



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL
TÍTULO DE**

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**MODELAMIENTO DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE SUMINISTRO HÍDRICO
ANTE UN ESCENARIO PROSPECTIVO DE MINERÍA EN LA MICROCUENCA
DEL RÍO CHALGUAYACU, COTACACHI-IMBABURA**

AUTOR:

Gabriel Andrés Meneses Yépez.

DIRECTOR:

Ing. Darío Paúl Arias Muños MSc.

Ibarra – Ecuador

2017

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

MODELAMIENTO DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE SUMINISTRO
HÍDRICO ANTE UN ESCENARIO PROSPECTIVO DE MINERÍA EN LA
MICROCUENCA DEL RÍO CHALGUAYACU, COTACACHI-IMBABURA

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

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

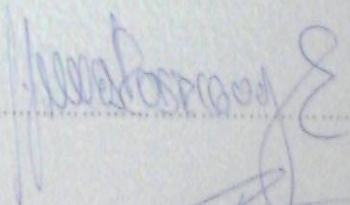
APROBADO

Ing. Dario Paúl Arias Muños MSc.
Director de Trabajo de Titulación.



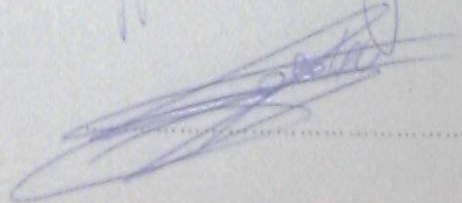
.....

PhD. James Rodriguez
Tribunal de Titulación



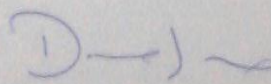
.....

Ing. Oscar Rosales MSc.
Tribunal de Titulación



.....

Ing. Daniel Sono MSc.
Tribunal de Titulación



.....



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401590575		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Meneses Yépez Gabriel Andrés		
DIRECCIÓN:	Bayardo Tobar y Jorge Subía		
EMAIL:	gabo_meneses08@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0990083556

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Modelamiento del servicio ecosistémico de suministro hídrico ante un escenario prospectivo de minería en la microcuenca del río Chalguayacu, Cotacachi-Imbabura
AUTOR (ES):	Meneses Yépez Gabriel Andrés
FECHA: AAAAMMDD	2017-10-26
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Recursos Naturales Renovables
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Paúl Arias MSc.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, **Meneses Yépez Gabriel Andrés**, con cédula de identidad Nro. **0401590575**, 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 la 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 que 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, a los 26 días del mes de octubre de 2017

EL AUTOR:


.....
Gabriel Andrés Meneses Yépez



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

Yo, **Gabriel Andrés Meneses Yépez**, con cédula de identidad Nro. **0401590575**, 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 autor de la obra o trabajo de grado denominado: **Modelamiento del servicio ecosistémico de suministro hídrico ante un escenario prospectivo de minería en la microcuenca del río Chalguayacu, Cotacachi-Imbabura**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **Ingeniero 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 26 días del mes de octubre de 2017

.....
Gabriel Andrés Meneses Yépez
Cédula: 0401590575

DEDICATORIA

A Dios, por las bendiciones que diariamente me brinda, y por darme la fortaleza para cumplir todos mis objetivos.

A mis padres Manuel Meneses y Narcisa Yépez, a quienes admiro. Por todo su apoyo, esfuerzo y sacrificio diario. Ustedes son para mí el mejor ejemplo de superación y entrega. Gracias a ustedes puedo ver mi meta alcanzada. Los amo.

A mis hermanos por todos los consejos que cariñosamente me han brindado durante el desarrollo de mi formación personal y académica.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Msc. Paúl Arias por guiarme durante el desarrollo de mi trabajo de titulación, compartiendo su conocimiento y tiempo. Debo destacar su disponibilidad y paciencia. De igual manera agradezco a mis asesores Msc Oscar Rosales, Msc. Daniel Sono y PhD. James Rodríguez, por el apoyo incondicional en todas las etapas del proyecto. Su participación ha enriquecido el trabajo realizado.

Agradezco al Proyecto Prometeo Valoración Ecológico-Económico de los Servicios Ecosistémicos Hídricos en Condiciones de Cambio Climático en los Ecosistemas Tropicales Andinos y Amazónicos Del Ecuador (V5e). Por incluirme en su equipo de investigación y por guiarme durante el desarrollo de mí trabajo.

De igual manera quiero agradecer a mi mejor amiga y amor Mairita, por su apoyo incondicional y cariño brindado durante el tiempo que hemos compartido. Por creer en mí e impulsarme a ser mejor cada día.

Finalmente quiero agradecer a mis amigos y compañeros por estar presentes en los momentos de alegría y por extenderme su mano en las épocas de dificultad. Gracias por todas las aventuras que hemos compartido.

Gracias infinitas

Gabriel Meneses

RESUMEN.

El presente estudio se realizó en la microcuenca hidrográfica de Chalguyacu, ubicada en el Cantón de Cotacachi, dentro de la provincia de Imbabura; el río Chalguyacu es uno de los afluentes pertenecientes a la subcuenca del río Guayllabamba. En la parte alta de la cuenca se desarrolla un proyecto minero, el cual no ha comenzado aún labores de explotación minera. Por lo tanto, se desconoce el grado de afectación en el territorio. En este sentido, se propuso la aplicación del modelo hidrológico SWAT, para simular el balance hídrico actual y su afectación con un escenario prospectivo de explotación minera.

La metodología aplicada generó dos escenarios: uno para determinar el estado actual de la cuenca en el período 2010-2014; y otro para simular el cambio de uso de la tierra producto de la minería, durante 2030 años. Para el período 2010-2014 se obtuvo un déficit anual del caudal de la microcuenca de 799.74 mm. El escenario proyectado para el año 2030, prevé que las actividades de minería generarían un cambio en la cobertura vegetal de alrededor de un 15.15% del área total. En consecuencia, la escorrentía del río aumentaría en un 20,11% hasta ese año, pero también se produciría una reducción en los valores de percolación. El modelo fue calibrado con datos históricos de la cuenca de Guayllabamba. Los resultados mostraron un coeficiente de correlación $R^2 = 0,79$ y el índice de eficiencia Nash-Sutcliffe = 0,96, lo que indica que la simulación es aceptable.

SUMMARY

The present study was carried out in Chalguaycu's watershed, which is located in Cotacachi Canton inside Imbabura province; besides belongs to Guayallabamba's basin. In the upper part of watershed a mining project is being developed, which has not yet started with mineral exploitation work. Therefore, it still is unknown the affectation degree on territory. In this sense, it was proposed the application of the SWAT hydrological model, in order to simulate the current water balance and its affectation with a prospective mining exploitation scenario. The applied methodology was generating two scenarios: one to determine the current state of the watershed in the period 2010-2014; and another one to simulate the land use change product by mining.

The applied methodology was generating two scenarios: one to determine the current state of the watershed in the period 2010-2014; and another one to simulate the land use change product by mining for 2030 year. For period 2010-2014 it was obtained an annual deficit of flow of the watershed of 799.74 mm. In 2030 with mining would be a change a vegetation cover around of 15.15%. Consequently, it would be a change on river runoff. The river runoff would increase by 20.11% until that year, but it would reduce the percolations values. The model was calibrated with runoff historical data of Guayllabamba's basin. The results showed a correlation coefficient $R^2 = 0.79$ and efficiency index Nash-Sutcliffe= 0,96, which indicates that model is acceptable.

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.3. Objetivos.....	3
1.4. Pregunta Directriz.....	3
1.5. Hipótesis.....	3
1.5.1. Hipótesis nula.....	3
1.5.2. Hipótesis alternativa.....	3
CAPÍTULO II.....	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Marco Teórico.....	4
2.1.1. Balance Hídrico.....	4
2.1.2. Modelos Hidrológicos.....	5
2.1.3. Soil and Water Assessment Tool (SWAT).....	6
2.1.4. Estudios de aplicación del modelo SWAT.....	12
2.1.5. Servicios ecosistémicos.....	14
2.1.6. Extracción Minera.....	16
2.1. Marco Legal.....	19
2.1.1. Constitución Política de la República del Ecuador.....	19
2.1.2. Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente.....	19
2.1.3. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua.....	20
2.1.4. Ley de minería.....	21
CAPÍTULO III.....	23
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1. Materiales.....	23
3.2. Métodos.....	23
3.2.1. Limitaciones metodológicas.....	24
3.3. Caracterización del área de estudio.....	24
3.3.1. Población.....	27
3.3.2. Etapas metodológicas aplicadas.....	28
3.3.1. Cálculo de parámetros del balance hídrico.....	42
3.3.2. Calibración de resultados.....	43
3.3.3. Validación de resultados.....	45
3.3.1. Cambio de uso de suelo para el año 2030.....	46

3.4.	Etapa 2. Cálculo del balance hídrico en un escenario prospectivo proyectado de explotación minera en la microcuenca del río Chalguyacu	48
3.4.1.	Análisis de variación de caudales bajo un escenario hipotético de minería....	49
3.4.2.	Análisis de la variación de cobertura vegetal	49
3.4.3.	Análisis de oferta y demanda del recurso hídrico en la microcuenca para el escenario base y el escenario prospectivo de minería	50
3.5.	Etapa 3. Elaboración de estrategias de gestión hídrica considerando un escenario prospectivo de explotación minera.....	50
CAPÍTULO IV		52
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1.	Determinación del balance hídrico de la microcuenca del río Chalguyacu... ..	52
4.2.	Resultados de la simulación inicial de la microcuenca del río Chalguyacu ..	52
4.3.	Calibración de Datos.....	53
4.3.1.	Calibración de datos en la subcuenca del río Guayllabamba.	53
4.4.	Validación de resultados.	56
4.5.	Balance hídrico de la microcuenca del río Chalguyacu para el año 2014.	57
4.6.	Resultados de excedente o déficit de agua en la microcuenca del río Chalguyacu.	57
4.7.	Simulación de un escenario prospectivo de explotación minera para el año 2030.....	59
4.8.	Análisis de variación de caudal y percolación.....	61
4.9.	Tasa de variación de deforestación y caudal.....	63
4.10.	Oferta y demanda del recurso hídrico.....	64
4.11.	Estrategias de gestión hídrica encaminadas a prevenir, mitigar y conservar el recurso hídrico de la microcuenca del río Chalguyacu ante un escenario prospectivo de explotación minera.	66
4.11.1.	Datos Generales.....	66
4.11.2.	Objetivos de la Propuesta.	71
4.11.3.	Estrategias de ejecución.....	72
4.11.3.3.1.	<i>Proyecto 1: monitoreo sistemático de las fuentes de agua.</i>	78
CONCLUSIONES.....		80
RECOMENDACIONES.		81
5.	REFERENCIAS.	82
ANEXOS		91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Principales servicios ecosistémicos hídricos presentes en cuencas hidrográficas	15
Tabla 2.2. Reservas probadas de minerales (toneladas) en el año 2009.....	17
Tabla 3.1. Materiales y equipos.....	23
Tabla 3.2. Número estimado de habitantes por comunidad	28
Tabla 3.3. Parámetros edafológicos que requiere el modelo SWAT.....	30
Tabla 3.4. Parámetros edafológicos ingresados al modelo SWAT	32
Tabla 3.5. Tipos de cobertura vegetales presentes en la microcuenca del río Chalguayacu.	35
Tabla 3.6. Tipo de coberturas vegetales ingresadas al modelo SWAT para el período 2010-2014.....	35
Tabla 3.7. Rango de pendientes ingresadas al modelo SWAT para el período 2010-2014	37
Tabla 3.8. Parámetros climáticos que requiere el modelo SWAT.....	38
Tabla 3.9. Estaciones cercanas a la microcuenca del río Chalguayacu	39
Tabla 3.10. Valores referenciales del criterio de Nash-Sutcliffe.....	46
Tabla 3.11. Áreas de ocupación estimadas para el proyecto minero Junín/Llurimagua. Estudio de exploración JICA, 1998.....	47
Tabla 4.1. Resultados de los componentes del Balance hídrico simulados para el período 2010-2014.....	52
Tabla 4.2. Caudales simulados vs caudales estación Guayllabamba DJ Alambí.....	53
Tabla 4.3. Parámetros simulados inicialmente por el modelo SWAT y calibrados por la interface SWAT-CUP.....	54
Tabla 4.4. Cuadro comparativo de caudal mensual total simulado por SWAT y el caudal mensual observado, expresados en mm.....	56
Tabla 4.5. Cuadro comparativo de caudal mensual total simulado por SWAT y el caudal mensual observado, expresados en m ³ /s.....	56
Tabla 4.6. Balance de masas de la microcuenca del río Chalguayacu para el año 2014. Balance de masas de la microcuenca del río Chalguayacu para el año 2014.....	57
Tabla 4.7. Excedente y déficit de agua de la microcuenca del río Chalguayacu para el año 2014.	58
Tabla 4.8. Variación de caudales simulados y proyectados.	61

Tabla 4.9. Variación promedio mensual para el escenario base y escenario prospectivo.	62
Tabla 4.10. Tasa anual de variación de cobertura vegetal y caudal para los períodos 2014-2015, 2020-2021 y 2029-2030.	63
Tabla 4.11. Demanda del recurso hídrico per cápita para el año 2014.....	65
Tabla 4.12. Demanda del recurso hídrico per cápita para el año 2030.....	65
Tabla 4.13. Reservas hídricas de la microcuenca del río Chalguayacu.....	67
Tabla 4.14. Principales usos del recurso hídrico en la microcuenca.	67
Tabla 4.15. Elaboración de matriz FODA.	69
Tabla 4.16. Matriz de análisis de involucrados.	70
Tabla 4.17. Esquema estructural de Talleres.	77
Tabla 5.7.	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema metodológico de calibración y validación.	12
Figura 3.1. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio.....	26
Figura 3.2. Delimitación de la microcuenca del río Chalguayacu.....	29
Figura 3.3. Texturas de la microcuenca del río Chalguayacu.	33
Figura 3.4. Mapa de cobertura vegetal del año 2014 identificada en la microcuenca del río Chalguayacu.....	36
Figura 3.5. Pendientes reclasificadas por el modelo SWAT para el período de simulación 2010-2014.	37
Figura 3.6. Mapa de ubicación de estaciones utilizadas para el proceso de interpolación.	40
Figura 3.7. Mapa de la cuenca del río Guayllabamba, usada en el proceso de calibración.	44
Figura 3.8. Representación el área de ocupación minera para la fase de explotación del proyecto.	47
Figura 4.1. Análisis de regresión y correlación de los caudales simulados y observados.	54
Figura 4.2. Análisis de regresión y correlación de los caudales observados vs calibrados	55
Figura 4.3. Comparación de caudales simulados y observados	55
Figura 4.4. Mapa de cobertura vegetal proyectado para el año 2030.....	60
Figura 4.5. Variación de caudales promedio mensual para los escenarios base y proyectados.....	62
Figura 4.6. Variación de la percolación promedio para los escenarios base y prospectivo.	63
Figura 4.7. Análisis de correlación entre cobertura vegetal y caudales para los períodos 2014-2015, 2020-2021 y 2029-2030.	64
Figura 4.8. Determinación de organizaciones estratégicas.....	71

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En el estudio denominado “Ecosistemas del Milenio”, realizado por la Alianza Internacional de Organizaciones se llegó a la conclusión de que cerca de las dos terceras partes de los servicios que brinda la naturaleza a la humanidad (15 de 24 servicios examinados) están degradándose en el ámbito mundial, y especialmente los servicios ecosistémicos que ofrecen las cuencas hidrográficas. (Guerrero, De Keizer, Córdoba, 2006). Lo que muestra la ineficaz manera en que el ser humano maneja los recursos en general.

Latinoamérica cuenta con el 8% de la población mundial, y tiene el 31% de las reservas de agua dulce del planeta. Esta gran cantidad de reservas le proporciona a la región una serie de ventajas competitivas, y hasta la fecha solamente el 30% de su potencial ha sido explotado (BID, 2009). Sin embargo, el agua corre el riesgo de ser la primera afectada por el cambio climático, y en algunos países de la región, ya se evidencian los primeros efectos de la escasez del recurso hídrico (Wilkinson, 2010). Ecuador presenta un patrimonio hídrico importante, según Campos, et. al, (2014) en la vertiente pacífica del país el agua dulce disponible por habitante sería de 4.863,41 m³/habitante/año y en la vertiente amazónica de 172.786,36 m³/habitante/año.

Una de las zonas con mayor abundancia del recurso hídrico es la región de Intag, la cual se extiende por dos de las 34 áreas biológicas más importantes del mundo (Knee y Encalada, 2012). Intag se caracteriza por ser una zona cuya actividad productiva predominante es la agropecuaria, lo que conlleva a una alta dependencia por parte de la población inmersa en el área, hacia el recurso hídrico. A pesar de su importancia para la región, esta no está exenta de amenazas, puesto que en su subsuelo se han detectado yacimientos minerales importantes, los cuales han despertado el interés de las industrias extractivas durante décadas. “El Proyecto Llurimagua” es uno de los megaproyectos mineros que se están desarrollando actualmente en el país, como respuesta ante la decreciente producción hidrocarburífera (Latorre, Walter, & Larrea, 2015). Sin embargo, pese a que la ejecución de este tipo de proyectos genera ingresos económicos importantes para el país, existen grandes implicaciones sobre el impacto que esta actividad provoca al ambiente. Según estudios previos la microcuenca más afectada

sería la del río Changuayacu, debido a que gran parte del yacimiento se ubica bajo su suelo.

La minería es una actividad que utiliza grandes cantidades de agua en muchos de sus procesos, lo que representa una gran presión para el recurso hídrico. Solamente para producir una tonelada de cobre puro se usa decenas de miles de litros de agua diariamente (Zorilla, 2012). Además los cambios del uso del suelo, podrían alterar la capacidad de almacenamiento de agua, ocasionando repercusiones ambientales en la zona en donde se desarrolla esta actividad.

La región se caracteriza por la presencia de bosques nublados. Este tipo de bosques presentan gran capacidad para almacenar agua, y al encontrarse en zonas tropicales su capacidad de acumulación se calcula en un promedio de 3.000 a 50.000 litros por hectárea (Sangarun, Srisang, Jaroensutasinee y Jaroensutasine, 2007).

La disminución de los caudales cercanos a la concesión minera, podría convertirse en una grave amenaza para los actuales y potenciales requerimientos hídricos de las poblaciones cercanas (Machado Aráoz, 2010), desencadenando posibles conflictos ya que generalmente compiten con otras actividades que requieren de agua, como es el caso la agricultura y la ganadería.

Es importante mencionar que en el área de concesión minera del proyecto Llurimagua no se han realizado trabajos de explotación, por lo que no se conoce con exactitud los impactos que esta actividad desencadenaría en el recurso hídrico. El presente estudio, enmarcado dentro del proyecto “Valoración Ecológico-Económica de los servicios Ecosistémicos hídricos en condiciones de cambio climático en los Ecosistemas subtropicales y andinos del Ecuador (V5E), propone simular un escenario prospectivo de cambio de uso de suelo generado por la explotación minera, mediante el uso del modelo hidrológico SWAT, con la finalidad de evaluar dichas afectaciones. Convirtiéndose en una herramienta científica válida en procesos de toma de decisiones encaminados a un mejor manejo del recurso hídrico.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo General.

Analizar las posibles afecciones en el servicio ecosistémico de suministro hídrico de la microcuenca del río Chalguayacu, ante un escenario prospectivo de minería para el año 2030.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Determinar el balance hídrico de la microcuenca del río Chalguayacu.
- Proyectar un escenario prospectivo de explotación minera y suministro de la microcuenca del río Chalguayacu para el año 2030.
- Elaborar estrategias de gestión hídrica ante un escenario prospectivo de explotación minera.

1.4. Pregunta Directriz.

- ¿Cómo se afectaría el servicio ecosistémico de suministro de agua en un escenario prospectivo de explotación minera?

1.5.Hipótesis.

1.5.1. Hipótesis nula.

El cambio de uso del suelo proyectado bajo un escenario de minería para el año 2030 no modifica la producción de agua de la microcuenca del río Chalguayacu.

1.5.2. Hipótesis alternativa.

El cambio de uso del suelo proyectado bajo un escenario de minería para el año 2030 modifica la producción de agua de la microcuenca del río Chalguayacu.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1.Marco Teórico.

2.1.1. Balance Hídrico

Es el estudio de la estructura y funcionamiento de las cuencas superficiales y subterráneas, cuerpos de agua y ríos. A partir del balance hídrico es posible evaluar cuantitativamente el recurso hídrico y sus alteraciones, convirtiéndose en una herramienta importante en la gestión del mismo (Rosales, 2012).

El balance hídrico se encarga de diagnosticar la oferta, demanda y disponibilidad del recurso hídrico, mediante la cuantificación de los parámetros comprendidos en el ciclo hidrológico, y de los consumos de agua en diferentes sectores (López, Delgado, 2009).

En hidrología el balance hídrico está basado en el principio de conservación de masas, o ecuación de la continuidad. Según Rosales, (2012) “Esta, establece que, para cualquier volumen arbitrario, y durante cualquier período de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada”.

El balance hídrico sintéticamente puede expresarse de la siguiente forma:

$$\sum Estado_{t+1} = Estado_t + \sum_{i=1}^n Entradas\ i - \sum_{j=1}^m Salidas\ j$$

En donde:

Estado t+1 =nuevo estimación del balance hídrico.

Estado t= balance hídrico de la cuenca antes de iniciar el análisis (almacenamiento en el suelo).

Entradas i= entradas de agua al sistema (precipitación, aportes de agua almacenada en el suelo y subsuelo).

Salidas j= salidas de agua del sistema (evapotranspiración, escurrimientos).

2.1.2. Modelos Hidrológicos

A partir del siglo XIX la modelación hidrológica empezó a ser considerada una herramienta útil para el diseño de diversos proyectos, como canales, presas, puentes, entre otros. Para el siglo XX la modelación se limitaba apenas a explicar los diferentes procesos del ciclo hidrológico, mediante fórmulas matemáticas. No fue hasta 1966, que se elaboró el primer modelo capaz de representar el ciclo hidrológico. A partir del desarrollo tecnológico, la modelación en cuencas hidrológicas evolucionó considerablemente, haciendo posible el modelar grandes períodos de tiempo (Singh, 1995).

El proceso de generar escenarios prospectivos es complejo, considerando que los cambios de uso de suelo dependen de factores biofísicos y socioeconómicos propios de una determinada localidad (Verburg et al., 2009). A pesar de la complejidad del sistema socio ambiental, en la actualidad el uso de un modelo hidrológico, aplicados en períodos y áreas definidas, presentan un nivel de precisión avanzado (Cabascango y Walter, 2015).

Un modelo hidrológico es una simplificación de un sistema natural (Bergström, 1991), ya que permite comprender de mejor manera el comportamiento de los distintos componentes del ciclo hidrológico en una cuenca. Convirtiéndose en una herramienta útil en procesos de gestión y planeamiento, tanto de calidad y disponibilidad del recurso hídrico como de distintos tipos de manejo del suelo, ya que permiten simular escenarios futuros a partir de condiciones actuales.

Cabrera (2012), menciona que los modelos hidrológicos pueden clasificarse según sus características básicas de la siguiente manera:

- a) **De acuerdo a la conceptualización de procesos básicos:** empíricos, conceptuales o basados en procesos.
- b) **De acuerdo a la naturaleza de los algoritmos básicos:** pueden ser determinísticos o estocásticos.
- c) **De acuerdo a su representación espacial:** agrupados o distribuidos

Otra forma para clasificación a los modelos es según sus procesos:

Modelos conceptuales: usa un gran número de procesos por lo que los procesos físicos pierden claridad y descripción. En este tipo de modelo los procesos físicos se representan tal como son observados. Los parámetros de este tipo de modelos no pueden ser medidos directamente requieren y con frecuencia requieren de calibración. Por lo que una adecuada interpretación física es importante para calibrar el modelo.

Modelos empíricos: Este tipo de modelos se construye y calibra de acuerdo a las mediciones para el modelo entrada y salida. No presenta una descripción interna además no refleja ninguna estructura de un sistema físico, El modelo empírico puede ser condicionado en el periodo de uso por la calibración. Un inconveniente en este tipo de modelos es la dificultad de proveer una interpretación física de los parámetros.

Modelos físicos: en donde el enlace entre el modelo de entrada y salida se describe por una serie de ecuaciones matemáticas que representan los procesos físicos. De acuerdo a sus características el modelo SWAT se clasifica en este grupo.

La evolución de este tipo de modelos han permitido mejorar la representación de los procesos hidrológicos en los últimos años, actualmente el avance tecnológico se ha convertido en una herramienta indispensable para los procesos de simulaciones en espacio y tiempo, como datos digitales, de teledetección y herramientas que permiten medir datos climáticos (Daofeng, Ying, Changming y Fanghua, 2004; Ruelland, Ardoin-Bardin, Billen, y Servat, 2008)

Comparados con los modelos empíricos y analíticos, los modelos físicos se caracterizan por una mayor precisión intrínseca al momento de predecir los efectos del cambio climático o de un determinado manejo de la tierra. Sin embargo, estos modelos requieren de datos más detallados.

2.1.3. Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

El modelo SWAT ha sido desarrollado con el propósito de predecir las afectaciones que una determinada actividad causará en el agua en cuencas hidrográficas en largos periodos de tiempo, reproduciendo todos los procesos físicos que forman parte del ciclo hidrológico (Valdivieso & Naranjo, 2003).

La herramienta SWAT presenta gran potencial con respecto al análisis especialmente de variables físicas que aportan valiosa información para procesos de toma de decisiones, incorporando instrumentos y rutinas para áreas de agricultura, ordenamiento y

zonificación, agropecuaria, manejo de cuencas, entre otros (Arroyo, Heidinger, Amaya, 2010).

Según Neitsch, et. al, (2005), La hidrología del modelo está basada en el proceso de entrada, salida y almacenamiento del agua (balance hídrico) como lo describe la ecuación:

$$SW_t = SW + \sum_{i=1}^t (R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i)$$

Donde:

SW_t: es el contenido final de agua en el suelo

SW: es el contenido inicial de agua en el suelo

t: el tiempo

R_i: la precipitación

Q_i: la escorrentía superficial

ET_i: evapotranspiración

P_i: cantidad de agua acumulada en la zona no saturada

QR_i: cantidad de agua que retorna hacia los ríos como flujo base.

A partir del cruce de tipos de suelo, pendiente y la cobertura vegetal presente se obtienen las unidades de respuesta hidrológica (HRU), dividiendo a la cuenca en sub cuencas obteniendo así los cálculos (Valdivieso & Naranjo, 2003). Las HRU son áreas que presentan características similares, por lo que se plantea la teoría de que zonas con propiedades similares, generan respuestas similares. Aunque la desventaja que se presenta es la falta de conectividad entre áreas (Del Rio, 2010).

La simulación hidrológica puede ser dividida en dos fases. La primera es la fase terrestre del ciclo hidrológico, siendo primordial para el presente estudio, debido a que en esta fase se controla la cantidad de agua presente en el sistema. Y la segunda fase es la de enrutamiento hidrológico. (Barbudo, Ochoa, & Verbel, 2016).

2.1.3.1.Fase Terrestre del Ciclo Hidrológico

2.1.3.1.1. El clima

El modelo requiere de variables como precipitación, temperatura, velocidad del viento y humedad relativa, y radiación solar. (Benavides, Gonzales, López, Valdéz, 2008). En el país, las variables climáticas, dificultan en gran porcentaje el proceso de modelación, debido a los múltiples vacíos existentes en la base de datos de la red de estaciones. Limitando el grado de exactitud de los resultados obtenidos.

Este tipo de vacíos pueden darse debido a que las estaciones meteorológicas se encuentra muy dispersas una de otra, o no cuentan con la tecnología necesaria para realizar mediciones periódicas de todas las variables climatológicas. Esta falta de datos climáticos puede ser suplida al aplicar métodos de interpolación espacial.

- **Métodos de interpolación espacial.**

La interpolación espacial es un procedimiento matemático utilizado para predecir el valor de un atributo en una localidad precisa, a partir de valores obtenidos de puntos vecinos, ubicados al interior de la misma área de estudio (Miranda Salas y Condal, 2003).

Los métodos de interpolación pueden ser probabilísticos y determinísticos. La selección de un método de interpolación apropiado depende en gran medida del tipo de datos de los que se disponga, del esfuerzo de cálculo y el grado de precisión que el investigador requiera aplicar en el estudio (Lam, 1983).

- **Métodos de interpolación determinísticos.**

Este tipo de métodos basan su funcionalidad en el cálculo de fórmulas matemáticas que pretenden un mayor o menor grado de certeza de los datos (Morillo, Baselga, et al., 2002). En este tipo de interpoladores la relación causa efecto está establecida por lo que

no dependen de la probabilidad (Moreano, 2008). Los métodos determinísticos más conocidos son (Hengl, 2009):

- Polígonos de Thiessen
- Interpolación inversa a la distancia (IDW)
- Regresión con coordenadas
- Métodos de splines

- **Inverse Distance Weighted (IDW)**

Método donde el peso es un valor inversamente proporcional a la distancia entre cada punto muestral considerado y el no muestral, al cual se le determinan las alturas (Pacheco y Barrios, 2004). Parte del supuesto de que los puntos más cercanos tienen mayor similitud, por lo tanto tienen más peso e influencia sobre el punto que se desea estimar. Para efectuar los cálculos debe fijarse la distancia, el número de vecinos a tener en cuenta,

Y la potencia, es decir, la fuerza con la que disminuye la ponderación a medida que aumenta la distancia. El peso estimado mediante este método se expresa de la siguiente manera (Días Padilla et al., 2008):

$$W_i = \frac{N \frac{1}{(dei)^B}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{(dei)^B}}$$

Donde:

N: representa el número total de estaciones

W_i: representa el peso de la estación i.

dei: representa distancia geométrica entre la estación y el punto a interpolar.

B: coeficiente de ponderación.

El valor del punto se estima con base en el promedio ponderado de los datos medidos. Se asigna pesos a las estaciones dependiendo de la distancia entre otras y el punto que se desea estimar, mediante la siguiente ecuación:

$$Pe = \sum_{i=1}^N Wi * Pi$$

Donde:

Pe: representa el valor estimado de la variable.

Wi: representa el peso de la estación i.

Pi : representa el valor de la variable en un punto conocido i.

N: representa el número total de estaciones vecinas utilizadas en el proceso de estimación de la variable.

Una ventaja importante del IDW es que se utiliza en cualquier paso de tiempo (Teegavarapu y Chandramouli, 2005). IDW utiliza los promedios de los valores de entrada, por lo que los valores interpolados resultantes no superarán los límites máximos y mínimos dispuestos en los puntos de entrada del análisis (Abad, 2014).

2.1.3.1.2. *Hidrología.*

El escurrimiento superficial se calcula por dos métodos: la curva numérica (USDA-SCS, 1972) que utiliza la ecuación de la curva numérica y tablas que proporcionan un valor de escurrimiento para diferentes tipos de vegetación y de suelo, además se debe tomar en cuenta la humedad del suelo.

El método de infiltración (Green y Ampt, 1911) se basa en una ecuación de las tasas de infiltración que dependen de la conductividad hidráulica.

2.1.3.1.3. *La evapotranspiración (ET).*

El modelo calcula la evapotranspiración potencial mediante tres métodos: el primero es el método Penman-Monteith que requiere datos de radiación solar, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento; el segundo es el método Priestley-Taylor que requiere de datos de radiación solar, temperatura y humedad relativa; y finalmente el

método Hargreaves, el cual requiere sólo de temperatura. (Benavides, Gonzales, López, Valdéz, 2008).

2.1.3.2. Enrutamiento del Ciclo Hidrológico

2.1.3.2.1. Enrutamiento De Flujo

Cuando el agua fluye río abajo, una porción puede perderse debido a la evaporación y transmisión a través del lecho del cauce. Otra pérdida potencial se debe a la eliminación del agua del cauce para uso humano o agrícola. El caudal puede ser suplementado por la lluvia caída directamente sobre el cauce y la proveniente de fuentes puntuales. El flujo es dirigido a través del cauce usando un método variable de coeficientes de almacenamiento (Barbudo, Ochoa & Verbel, 2016).

2.1.3.2.2. Enrutamiento Del Sedimento

El volumen de sedimentos también es calculado por el flujo lateral y por el escurrimiento subsuperficial. El modelo SWAT, entre otras cosas, también predice los rendimientos de los cultivos y el movimiento de los nutrientes, pesticidas y la calidad del agua. (Benavides, Gonzales, López, Valdéz, 2008).

2.1.3.3. Calibración y Validación.

En el proceso de ingresar los datos al SWAT se debe realizar la calibración del modelo la cual consiste en ajustar de manera satisfactoria los datos simulados y medidos tomando en cuenta los parámetros de mayor influencia (Galvan, et. al, 2007).

Una vez realizada la simulación se debe realizar la validación de los datos obtenidos en el proceso, con el fin de verificar la precisión de la simulación.

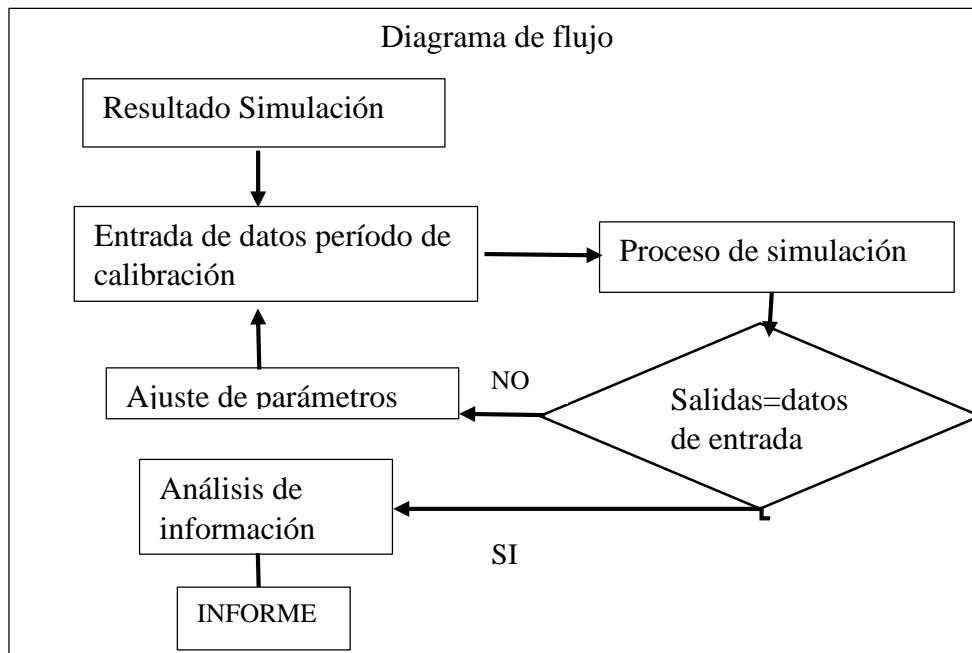


Figura 2.1. Esquema metodológico de calibración y validación.

Elaborado: Autor.

2.1.4. Estudios de aplicación del modelo SWAT.

Existen diversos estudios de generación de escenarios prospectivos que muestran como la deforestación causada por la actividad antrópica podría afectar a un determinado ecosistema.

En el trabajo de Urrutia (2016), realizado en la parte alta de la cuenca del río San Juan en el departamento del Chocó, Colombia; se plantea la simulación de tres escenarios: a) escenario para el período de 1990-2000; b) escenario para el período de 2000 a 2010 y c) escenario prospectivo de minería. Donde comparando los resultados de los dos primeros escenarios con el escenario prospectivo de expansión minera, se observó un cambio en el escurrimiento superficial, pasando de 2713.1 mm a 2813.9 mm y el caudal sub superficial de 163.53 mm a 158.28 mm. Concluyendo que el caudal promedio anual aumentó en el escenario de expansión minera, por lo que se argumenta que al aumentar el área deforestada aumenta también el caudal de escorrentía superficial en la cuenca.

El estudio de aplicación del modelo SWAT con el objetivo de obtener el mapa edafológico y cobertura ideal para el manejo de la microcuenca Santa Inés, en Honduras. Mostrando la influencia de la cobertura vegetal en la producción de caudales.

Para lo cual se generaron escenarios de intervención y de optimización de suelos, a partir de bases de datos climatológica y de coberturas presentes, en donde se determinó un estado de conservación de su cobertura natural del 86%. El estudio concluyó que la pérdida de un porcentaje de su cobertura forestal derivaría en la disminución gradual de entre 0.11 a 0.19% de su caudal actual. (Acosta Velasquez & Kucharsky Lezana, 2012)

Por su parte Mishra et al. (2007) utilizaron el modelo SWAT para estudiar el impacto del uso de la tierra en la escorrentía y producción de sedimentos, evaluando los cambios en una cuenca ubicada en una región subtropical subhúmeda de la India. El análisis de correlación entre escorrentía y precipitación aplicado mostró un coeficiente de 0.86. El estudio concluyó que el escenario A, con mayor área forestal producía un caudal relativamente menor, frente a un escenario B, que presentaba mayor influencia de cultivos. Demostrando que existe una estrecha relación entre el tipo de cobertura vegetal y la escorrentía.

(Sánchez, 2015) en su estudio de simulación hidrológica de la cuenca del río Alambí en Nanegal, propuso evaluar la incidencia del cambio de uso del suelo en el régimen hidrológico de la cuenca, mediante la generación de escenarios prospectivos. La generación de los diversos escenarios dio la posibilidad de observar como los cambios de uso del suelo y la cobertura vegetal incidían en la respuesta hidrológica e la cuenca. Dentro de la investigación se generaron cuatro escenarios: a) un escenario base, b) escenario de deforestación, c) escenario de proyección poblacional para el año 2020 y d) escenario de deforestación y proyección poblacional.

Una vez generada la simulación de los escenarios propuestos, se observó que los caudales sufrieron un ligero incremento en épocas lluviosa, mientras que en época de baja precipitación el caudal tiende a disminuir. Este comportamiento se debe a que el agua que ingresa al sistema no se almacena, provocando problemas de escasez del recurso hídrico en época seca y posibles inundaciones en época lluviosa. Por lo tanto se concluye que el cambio de cobertura vegetal afecta de manera directa al ciclo hidrológico.

Los resultados obtenidos en el período de calibración fueron satisfactorios ya que se obtuvo un NSE de 0.881 en el período de calibración y un NSE de 0.875 en el período de validación, lo que demuestra la efectiva capacidad que tiene el modelo SWAT en predecir los valores medios mensuales de caudal.

Otro estudio realizado en la región es el de Oñate y Aguilar (2003), en la cuenca alta del río Catamayo, la investigación buscó determinar la respuesta hidrológica a la aplicación de una cobertura generada a partir del uso potencial del suelo. Los resultados obtenidos muestran que el modelo SWAT no mostró un grado de precisión aceptable en la simulación, debido principalmente a la escasa cantidad de datos climáticos causados por la ausencia de estaciones meteorológicas en la zona de estudio. Agregando que antes de realizar investigaciones similares, se deberá en primer lugar ampliar la base de datos climatológica actual.

Además hay que mencionar el estudio de Ortiz, Mendoza y Bravo (2010), en donde se utilizó el modelo en la cuenca del lago de Cuitzeo. Se simularon cinco años para determinar cambios significativos en la cobertura, y posteriormente se simularon escenarios sujetos a cambios de cobertura vegetal propuestos por el investigador. En donde concluyó que el modelo simula de manera apropiada los procesos hidrológicos, convirtiéndose en una alternativa eficaz para representar y predecir la cantidad de escorrentía superficial y arrastre de sedimentos que se estima en una determinada cuenca.

2.1.5. Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos son componentes de la naturaleza, que son, consumidos o utilizados por el ser humano con el fin de contribuir a su bienestar (Boyd and Banzhaf, 2007). Es decir que no todas las funciones del sistema ecológico pueden ser considerados como servicios ecosistémicos, sino solo aquellas que ofrecen algún tipo de beneficio a la sociedad.

Estos servicios involucran a su vez la provisión de bienes materiales y no materiales, por lo cual es indispensable pensar en un valor tanto en el aspecto cuantitativo como intangible. Este valor depende de cuán importante, o útil es el servicio ecosistémico para los diferentes grupos de la sociedad, por lo que para un grupo de personas en particular podría ser más valioso que para otro (Díaz et al., 2006).

2.1.5.1. Servicios ecosistémicos hídricos

Se definen como los beneficios que brinda una cuenca hidrográfica los cuales contribuyen al bienestar humano y a la naturaleza (UICN, 2010). Según la comisión técnica especial del medio ambiente CONTEMA-OLACEFS (2014), los principales servicios ecosistémicos hídricos que generalmente presentan las cuencas hidrográficas son los siguientes:

Tabla 2.1. *Principales servicios ecosistémicos hídricos presentes en cuencas hidrográficas*

SERVICIOS DE APROVISIONAMIENTO	SERVICIOS DE REGULACIÓN
Servicios de abastecimiento de productos alimentarios y no alimentarios. <ul style="list-style-type: none"> • Provisión de agua. • Producción de cultivos. • Producción de ganado. • Provisión de madera y materiales de construcción. • Medicinas. • Energía hidroeléctrica. 	Servicios relacionados con la regulación de flujos o la reducción de riesgos relativos a los flujos hídricos. <ul style="list-style-type: none"> • Regulación de flujos hidrológicos (escorrentía, infiltración, recarga de acuíferos, mantenimiento de flujos basales). • Mitigación de riesgos naturales (prevención de inundaciones, reducción de movimientos de tierra). • Protección del suelo y control de la erosión y sedimentación. • Control de la calidad del agua superficial y subterránea.
SERVICIOS DE SOSTÉN	SERVICIOS CULTURALES
Servicios relacionados con el mantenimiento de hábitats y con el funcionamiento de los ecosistemas. <ul style="list-style-type: none"> • Hábitat para fauna. • Régimen hidrológico requerido para mantener el hábitat y los usos corrientes abajo. 	Servicios de recreación y satisfacción de necesidades intelectuales y emocionales. <ul style="list-style-type: none"> • Recreación. • Goce estético. • Patrimonio cultural. • Inspiración espiritual y artística.

Fuente: CONTEMA-OLACEFS (2014)

Elaboración: Autor.

2.1.5.1.1. Servicio ecosistémico de provisión hídrica.

Portilla (2011), menciona que tomando en consideración su carácter multipropósito e insustituible, el recurso hídrico que fluye a través de la cuenca es posiblemente el servicio más importante que brinda un ecosistema, debido a que de ella dependen desde actividades económicas hasta medios de vida sostenibles.

La disponibilidad de agua en cantidad y calidad está estrechamente ligada al estado de conservación del ecosistema. Este servicio involucra procesos de filtrado, retención y almacenamiento de agua en acuíferos y cauces superficiales. La filtración depende

necesariamente de la cobertura vegetal y la biota (del suelo) presente. Mientras que la capacidad de almacenamiento está estrechamente ligada a la topografía y características sub-superficiales del sistema ecológico. (De Groot et al. 2002).

Desde la perspectiva humana, los servicios hídricos involucran no sólo la provisión de agua para distintos usos, sean estos de consumo humano, industrial, riego, recreación sino también la regulación de los flujos de agua como fuerzas destructoras y/o contaminantes, como inundaciones, salinización, contaminación de reservas de agua (Postel y Carpenter 1997, MA 2005).

2.1.6. Extracción Minera

La minería es el proceso de extracción y comercialización de los recursos con el fin de obtener un beneficio económico. La minería es una actividad que se ha desarrollado de manera acelerada en los últimos años, debido a que es rentable a corto plazo. En este contexto, el extractivismo se presenta en muchos casos como una actividad más lucrativa que la suma de todas las actividades productivas que puedan realizarse en la zona.

2.1.6.1. Minería en Ecuador

En los últimos años el desarrollo de la minería en Ecuador se ha vuelto una actividad importante, debido a los yacimientos detectados en diversos lugares del país.

Los principales recursos minerales metálicos existentes en el Ecuador son: oro, plata, antimonio y cobre, siendo este último el que cuenta con la mayor reserva en el país. Mientras que los minerales no metálicos detectados son caliza, caolín y arenas ferruginosas (Varela, 2010).

Tabla 2.2. *Reservas probadas de minerales (toneladas) en el año 2009.*

MINERALES METÁLICOS	
Cobre	30 000 000
Plata	4 000
Oro	2 000
MINERALES NO METÁLICOS	
Caliza	105 691 000 000
Arenas Ferruginosas	12 300 000 000
Caolín	11 945 000 000

Fuente: Ministerio de Recursos no Renovables, Petroecuador citado en Varela (2010)

Elaboración: Autor.

En el año 2009 se detectaron reservas minerales considerables, lo que confirmaba el potencial minero del país. Para el año 2013 la extracción de minerales registró una producción de 8.676 ton de oro, 1.198 ton de plata y 945.548,11 ton de cobre, generando utilidades por 3'232.340,88 USD para ese año, cifra que para el año 2015 alcanzó los 4'447.691,24 USD (ARCOM, 2014).

2.1.6.2. Procesos de extracción minera metálica.

Latorre et al. (2015) señala que de explotarse una mina en la zona de Intag lo más probable es que sea a cielo abierto. Para (Aráoz, 2010) este tipo de método de explotación generalmente usa el recurso hídrico de la siguiente manera:

- En la fase de extracción: se requiere del agua para abastecimiento de campamentos y en riego constante de vías y áreas en donde se necesita reducir la gran cantidad de polvos en suspensión.
- Fase de procesamiento y concentración de minerales: en donde se aplica aditivos químicos en el recurso hídrico para separar los minerales de los desechos, lo que generalmente se hace por flotación o por lixiviación por pilas.
- Además se usa agua a presión para impulsar los concentrados minerales a través de los mineraloductos.

2.1.6.3. Afectaciones de actividades mineras sobre servicios ecosistémicos hídricos.

La actividad minera genera perturbaciones en la estructura y composición de un sistema ecológico, afectando especialmente a la capacidad de retención, regulación y provisión del recurso hídrico (Leal y Morales, 2013). Según la UICN (2006), El crecimiento de actividades de minería y agricultura han afectado a aproximadamente el 50% de acuíferos en Suramérica.

En países como Perú, en donde la minería es una de las actividades productivas más importantes, ya se evidencian diversos impactos; de entre los cuales se destacan cambio en el régimen natural de las aguas, disponibilidad y deterioro de la calidad del recurso hídrico y alteraciones de los ecosistemas acuáticos. Aunque, generalmente en este país el uso de agua por parte de una mina es relativamente bajo en comparación de otras actividades productivas, podría generar serias afectaciones en las zonas en donde se presente época de escasez del recurso.

Las consecuencias de explotar una mina en regiones caracterizadas por su alta biodiversidad y pluviosidad podrían ser más grave que en zonas desérticas, por lo que no es igual explotar una mina a cielo abierto en el desierto chileno que en la Cordillera del Cóndor o Quimsacocha (Kuhn, 2011).

En Ecuador, muchos de los yacimientos minerales detectados se encuentran en las estribaciones de los Andes, en áreas con grandes extensiones de bosques nublados y páramos. Estos ecosistemas ayudan a la protección de las cuencas altas y medias de la mayoría de ríos del país, y proveen de agua bebible a sus habitantes (Zorilla, 2013).

Según el estudio de impacto ambiental que la empresa japonesa de cooperación internacional (JICA, 1996) realizó en la zona de Intag se destacan deforestación masiva y contaminación de afluentes superficiales y subterráneos, es así que la JICA determinó que tres subcuencas e innumerables microcuencas serán afectadas entre las cuales se encuentra la microcuenca del río Chalguayacu (JICA, 1996).

2.1.Marco Legal

La presente investigación se enmarca en los artículos de la Constitución de la república del Ecuador 2008, Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua y la Ley de Minería del Ecuador y Ley de minería

2.1.1. Constitución Política de la República del Ecuador

Los artículos 12, 276,318, 411, mencionan lo siguiente:

Art. 12. Señala que 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.276. se menciona que uno de los objetivos del régimen de desarrollo será: Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

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

El **Art. 411.** Menciona que 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

2.1.2. Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente.

El libro VI. Calidad Ambiental, título 1 menciona lo siguiente:

Art. 2.- Toda forma de afectación al ambiente incurrirá en sanciones correspondientes, e implicará la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas procurando el retorno a su estado inicial o previo al daño, e indemnizar a las personas y comunidades afectadas.

2.1.3. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

Los artículos 14, 57, 60, 64, 110,112, mencionan lo siguiente:

Art. 14.- Cambio de uso del suelo. El Estado regulará las actividades que puedan afectar la cantidad y calidad del agua, el equilibrio de los ecosistemas en las áreas de protección hídrica que abastecen los sistemas de agua para consumo humano y riego; con base en estudios de impacto ambiental que aseguren la mínima afectación y la restauración de los mencionados ecosistemas.

Art. 57.- se menciona 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. El derecho al agua es fundamental e irrenunciable.

Art. 60.- Libre acceso y uso del agua. El derecho humano al agua implica el libre acceso y uso del agua superficial o subterránea para consumo humano, siempre que no se desvíen de su cauce ni se descarguen vertidos ni se produzca alteración en su calidad o disminución significativa en su cantidad ni se afecte a derechos de terceros y de conformidad con los límites y parámetros que establezcan la Autoridad Ambiental Nacional y la Autoridad Única del Agua. La Autoridad Única del Agua mantendrá un registro del uso para consumo humano del agua subterránea.

Art. 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. Conservación de su dinámica natural del ciclo integral del agua. Así como de la restauración de suelos en caso de contaminación y erosión de suelos.

Art. 110.- Autorización de aprovechamiento. Las actividades mineras deberán contar con la autorización de aprovechamiento productivo de las aguas que se utilicen, que será otorgada por la Autoridad Única del Agua, de conformidad con los procedimientos y requisitos establecidos en esta Ley y su Reglamento, para lo que se respetará estrictamente el orden de prelación que establece la Constitución, es decir, consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas. Al efecto, coordinará con la Autoridad Ambiental Nacional.

Art. 112.- Devolución de las aguas. El agua destinada para actividades mineras, se devolverá al cauce original de donde se la tomó o al cauce que sea más adecuado, con la obligación del usuario de tratarla antes de su descarga y vertido, de acuerdo con lo que

establece el permiso ambiental y la Ley, la cual garantizará condiciones seguras que no afecten a los acuíferos de agua dulce en el subsuelo, fuentes de agua para consumo humano, riego, ni abrevadero.

2.1.4. Ley de minería

Los artículos 61, 70, 79, 80 y 81, mencionan lo siguiente:

Art. 61.- Las aguas alumbradas durante las labores mineras podrán ser usadas por el concesionario minero, previa autorización de la autoridad única del agua, con la obligación de descargarlas, observando los requisitos, límites permisibles y parámetros técnicos establecidos en la legislación ambiental aplicable.

Art. 70.- Los titulares de concesiones y permisos mineros están obligados a ejecutar sus labores con métodos y técnicas que minimicen los daños al suelo, al medio ambiente, al patrimonio natural o cultural, a las concesiones colindantes, a terceros y, en todo caso, a resarcir cualquier daño o perjuicio que causen en la realización de sus trabajos.

Art. 79.- Tratamiento de aguas.- Los titulares de derechos mineros y mineros artesanales que, previa autorización de la autoridad única del agua, utilicen aguas para sus trabajos y procesos, deben devolverlas al cauce original del río o a la cuenca del lago o laguna de donde fueron tomadas, libres de contaminación o cumpliendo los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental y del agua vigentes, con el fin que no se afecte a los derechos de las personas y de la naturaleza reconocidos constitucionalmente.

El tratamiento a darse a las aguas para garantizar su calidad y la observancia de los parámetros de calidad ambiental correspondientes, deberá preverse en el respectivo sistema de manejo ambiental, con observancia de lo previsto en las leyes pertinentes y sus reglamentos.

La reutilización del agua, a través de sistemas de recirculación es una obligación permanente de los concesionarios

Art. 80.- Si la actividad minera requiere de trabajos a que obliguen al retiro de la capa vegetal y la tala de árboles, será obligación del titular del derecho minero proceder a la revegetación y reforestación de dicha zona preferentemente con especies nativas, conforme lo establecido en la normativa ambiental y al plan de manejo ambiental.

Art. 81.-Los titulares de derechos mineros y mineros artesanales, para acumular residuos minero-metalúrgicos deben tomar estrictas precauciones que eviten la contaminación del suelo, agua, aire y/o biota de los lugares donde estos se depositen, en todas sus fases incluyendo la etapa de cierre, construyendo instalaciones como escombreras, rellenos de desechos, depósitos de relaves o represas u otras infraestructuras técnicamente diseñadas y construidas que garanticen un manejo seguro y a largo plazo.

Se prohíbe la descarga de desechos de escombros, relaves u otros desechos no tratados, provenientes de cualquier actividad minera, hacia los ríos, quebradas, lagunas u otros sitios donde se presenten riesgos de contaminación.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

En esta parte se presenta la metodología aplicada en cada etapa de la investigación, para lo cual se adquirieron los equipos, materiales e insumos, detallados en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. *Materiales y equipos*

Equipos	Computador
	Navegador GPS Garmin
	Molinete Electrónico
	Cámara fotográfica
Materiales	Flexómetro
	Libreta de campo
	Poncho de aguas
	Mochila
	Anuarios hidrológicos y meteorológicos del INAMHI
	Botas de caucho
	Cartografía base digital del IGM a escala 1:50000
Software	ArcGis 10.2 de licencia temporal
	Extensión Soil and Water Assessment Tool
	Software Soil Water characteristics

Elaboración: Autor.

3.2. Métodos

La presente investigación es de tipo descriptivo, y se llevó a cabo en la microcuenca del río Chaguayacu, ubicada en el Valle de Intag. La metodología aplicada, consistió en separar la investigación por etapas. Primero se realizó la caracterización del área de estudio, a fin de obtener las diferentes variables de entrada que requiere el modelo hidrológico SWAT. Posteriormente, se procedió a simular un escenario base y uno prospectivo. Finalmente, a partir de la información obtenida de las etapas anteriores, se plantaron estrategias de preservación del recurso hídrico. Durante el desarrollo de la

investigación se presentaron diferentes limitaciones metodológicas, las cuales se detallan a continuación.

3.2.1. Limitaciones metodológicas.

Las limitaciones metodológicas se detectaron en el desarrollo de la primera etapa de la investigación, principalmente durante la obtención de información climática, además se presentaron dificultades en la campaña de aforos del río principal de la microcuenca.

3.2.1.1. Limitaciones durante la obtención de variables climáticas.

El modelo SWAT requiere de información climática asociada a precipitación, temperatura máxima y mínima, heliofanía, punto de rocío y velocidad del viento. Las limitaciones mencionadas se presentaron debido a que la información generada por la red de estaciones meteorológicas del INAMHI presenta vacíos, lo que dificulta el desarrollo de investigaciones que requiera la aplicación de modelos hidrológicos.

3.2.1.2. Limitaciones en la campaña de aforos.

Para el proceso de calibración del modelo SWAT se requiere de información de caudal del río principal. Durante la fase de campo se dificultó la obtención de este tipo de información, debido principalmente a que las condiciones climáticas presentes en la época lluviosa, dificultaron el acceso a la zona. Finalmente se obtuvo registros de aforo para cinco meses. Los datos obtenidos fueron insuficientes para validar la producción de caudales de forma anual.

3.3. Caracterización del área de estudio

El microcuenca del río Chalguayacu se ubica en las estribaciones de la cordillera occidental del Ecuador. En la Parroquia de García Moreno, Cantón Cotacachi, Provincia de Imbabura (Figura 3.1. Mapa Anexo N° 1). Sus coordenadas UTM son X: 758546 y Y: 10032068 en el sistema DATUM WGS 84, zona 17S, con rangos altitudinales que van desde los 720 hasta los 3160 m.s.n.m. Sus límites geográficos son al norte con la

Cordillera de Toisán, al sur con el río Guayllabamba, al este con la cuenca del río Intag y al oeste con la microcuenca del río Chontal, (ver Figura 3.1, Anexo A1). Pertenece a la cuenca de río Esmeraldas dentro de la vertiente del pacífico (SENAGUA, 2012). Además se encuentra conformada por siete drenajes que desembocan en la subcuenca del río Guayllabamba y su río principal cuenta con una extensión total de 14.83 km y un caudal promedio de 3,6 m³/s.

Los tipos de climas presentes son tropical megatérmico húmedo en la parte alta de la microcuenca y Ecuatorial mesotérmico semi húmedo en su parte baja. Los rangos de temperatura media varían entre 20 y 23°C y presenta una precipitación media anual entre 1414,2 mm a 1730,2 mm. Según la clasificación de Holdrige (1995), las formaciones ecológicas presentes en el área de estudio son bosque húmedo pre montano (bhPM) y bosque muy húmedo pre montano (bmhPM).

En la zona confluyen dos bioregiones, la del chocó y de los andes tropicales, lo que le da un gran valor ecológico a la misma. Estas características le dan a la zona un elevado endemismo y abundancia de especies; muchas en peligro de extinción, formando parte de una de las áreas calientes más importantes o “hot spots” del planeta (Kocian, Batker, & Harrison-Cox, 2011).

MAPA DE UBICACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHALGUAYACU

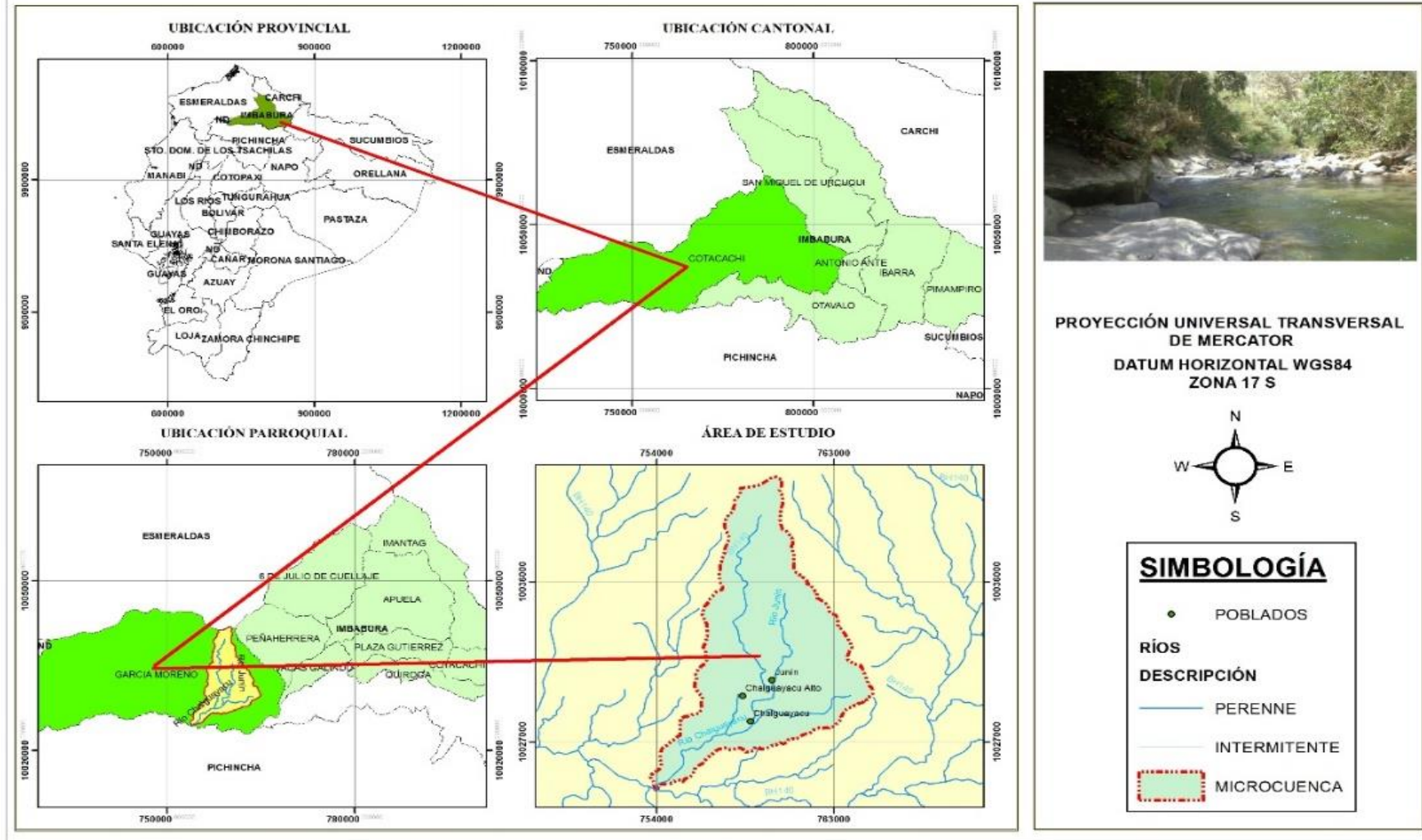


Figura 3.1. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio.

Elaboración: Autor

Su área total es de 8920.002 hectáreas, su perímetro es de 50.13 km, presenta una longitud axial de 18.63 km, un ancho promedio de 4.71 km y un coeficiente de compacidad (K_C) de 1.51. El K_C obtenido muestra que la microcuenca presenta una forma oval alargada, lo que disminuye la concentración de agua. Los diferentes tipos de suelo según el departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), encontrados en el área de estudio son de Gran Grupo Dystrandept e Hydrandept, ambos pertenecientes al orden Inceptisol, y de Gran Grupo Tropofluent perteneciente al orden Entisol. Se identificaron cuatro clases texturales el tipo de textura de suelo predominante en la microcuenca es el Franco con un porcentaje de 58,07%, seguido por el suelo Franco Arcilloso con un 32.49%, Franco Limoso 6.07% y Franco Arenoso con un 3.37% (ver mapa Anexo A 3).

Dentro del área de estudio se localiza la concesión minera “Llurimagua”, actualmente en etapa de exploración avanzada, la cual cuenta con un área de 4839 has (ENAMI EP, 2012). Diversos estudios han detectado reservas minerales ricas en cobre y molibdeno. Según (JICA, 1996) Se estima que las reservas minerales que se esperan extraer en el área bordean aproximadamente los 318 millones de toneladas métricas. Varela, (2010) menciona. “Aún si los recursos minerales detectados en la zona se extrajeran con los mayores cuidados ambientales. Los réditos económicos que el Estado obtuviese por estas actividades no podría remediar la totalidad del daño causado.”

El estudio de impacto ambiental que la empresa japonesa de cooperación internacional (JICA) realizó en la zona de Intag, concluyó que de explotarse una mina en la zona las afectaciones más importantes serían: deforestación masiva y contaminación de afluentes superficiales y subterráneos. (JICA, 1996).

3.3.1. Población.

En la microcuenca del río Chalguayacu habitan aproximadamente 772 personas, distribuidas en tres comunidades, de las cuales la más numerosa es la de Chalguayacu Alto con una población estimada de 360 habitantes, como se detalla en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. *Número estimado de habitantes por comunidad*

COMUNIDAD	POBLACIÓN ESTIMADA ACTUAL
JUNÍN	300
CHALGUAYACU ALTO	360
CHALGUAYACU BAJO	112
TOTAL	772

Fuente: Proyecto V5e.

Elaboración: Autor.

La población de las comunidades del área de estudio se auto identifican como Mestizos en las comunidades de Junín y Chalguayacu Bajo; mientras que en Chalguayacu Alto un 97,30% de sus habitantes se reconocen como Mestizos y un 2,70% como Blancos (ENTRIX, INC. Cardno, 2014).

3.3.2. Etapas metodológicas aplicadas

A continuación se presentan las etapas metodológicas que siguió la presente investigación:

3.3.2.1. Etapa 1. Cálculo del Balance Hídrico de la microcuenca del río Chalguayacu

El balance hídrico del área de estudio fue determinado mediante la herramienta SWAT. Los pasos metodológicos que siguió esta etapa son: a) ingreso de variables al modelo, b) cálculo de parámetros del balance hídrico c) calibración y d) validación del modelo.

3.3.2.2. Ingreso de parámetros: edafológicos, cobertura vegetal, relieve y climáticos.

El ingreso de variables al modelo empieza con la delimitación de la cuenca, a partir del Modelo de Elevación Digital (DEM) (Ver figura 3.2.). Posteriormente se ingresó archivos geográficos en formato “*Raster*” de tipo de texturas, cobertura vegetal y relieve de la microcuenca a escala 1:50000. Finalmente se ingresó al modelo la información climática correspondiente al período de análisis.

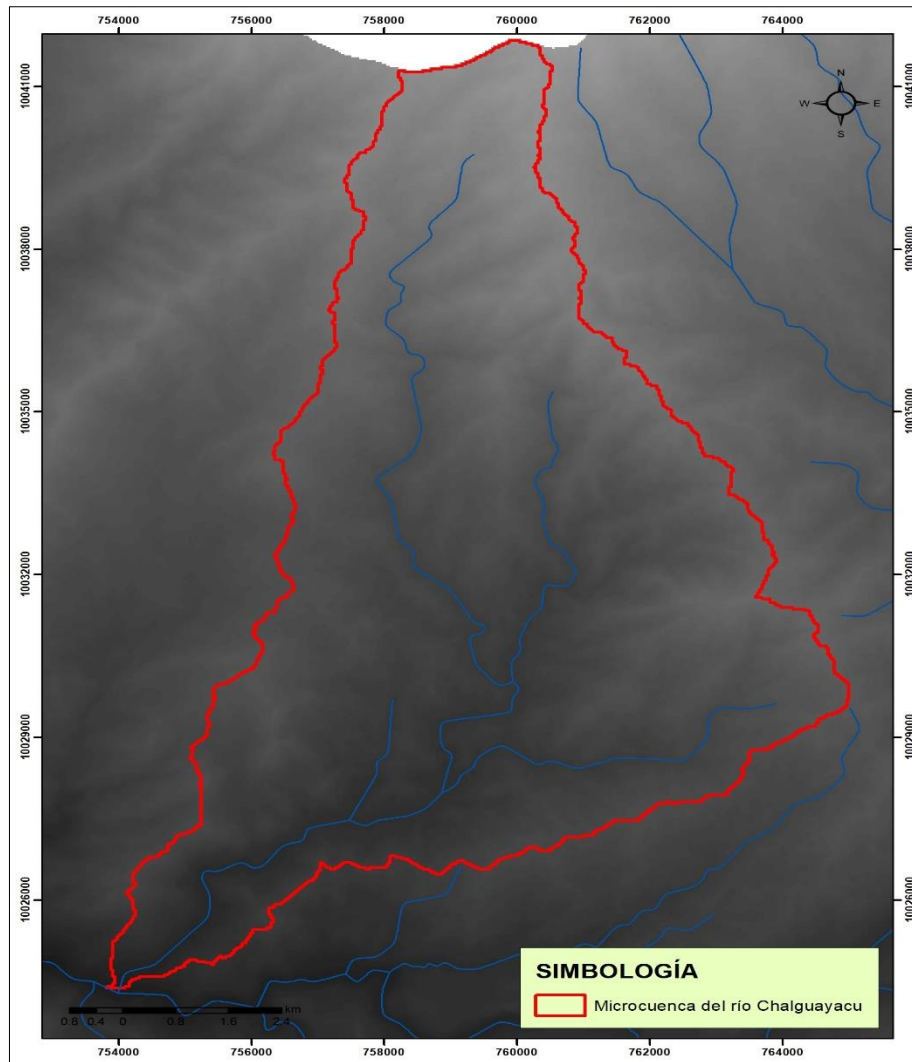


Figura 3.2. Delimitación de la microcuenca del río Chalguyacu.

Elaboración: Autor

3.3.2.3. Ingreso de parámetros edafológicos.

Los parámetros edafológicos requeridos por el modelo, descritos en la tabla 3.3., se obtuvieron a partir de la capa de cobertura de textura de suelo generada por el Ministerio de Agricultura Ganadería, Acuacultura y pesca (MAGAP) a escala 1:50000, posteriormente se utilizó el software libre Soil water characteristics y num curv.

Tabla 3.3. *Parámetros edafológicos que requiere el modelo SWAT.*

CAMPO SWAT	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
SNAM	Corresponde al nombre del suelo.	Nombre de la clasificación taxonómica del suelo por Grangrupo
SOL_ZMX	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)
ANION_EXCL	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.
SOL_CRK	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.
TEXTURE	La textura de la capa de suelo.	Es un dato opcional.
SOL_Z	Es la profundidad desde la superficie del suelo hasta la parte inferior de cada capa (mm).	Tomado de (SIN, 2013).
SOL_BD	La densidad aparente del suelo (Mg/m ³ o g/cm ³), 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).
SOL_AWC	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).
SOL_K	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).
SOL_CBN	Es el contenido de carbono orgánico (% del peso del suelo) en el suelo.	Se utilizó la siguiente fórmula: $C_{org} = \frac{\text{Materia orgánica \%}}{1.724}$
CLAY	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).
SILT	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).
SAND	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)
ROCK	Es el contenido de fragmento de roca (% del peso total).	Este valor fue tomado de los mapas de suelo (SIN, 2013).
SOL_ALB	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 (%).

	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:
USLE_K		$K_{USLE} = \frac{0.00021 \cdot M^{1.14} \cdot (12 - OM) + 3.25 \cdot (c_{soilstr}}{100}$ <p>Donde: K_{USLE}: es el factor de erodabilidad del suelo. M: es el parámetro del tamaño de las partículas. OM: es el porcentaje de materia orgánica. $c_{soilstr}$: es el código de la estructura del suelo en la clasificación del suelo. c_{perm}: es el perfil de las clases de permeabilidad.</p>
SOL_EC	La conductividad eléctrica (ds/m)	No se encuentra actualmente activa.

Fuente: Arnold, 2010.

Elaboración: Autor.

Para determinar los parámetros edafológicos se aplicaron dos software libres y uno comercial de licencia temporal. El software Soil Water Characteristics se utilizó para obtener datos de: Contenido de materia orgánica, Conductividad hidráulica, densidad aparente, entre otros, a partir de datos de contenido (en porcentaje) de arena y arcilla presentes (Saxton y Rawls, 2009) y el software libre Num Curv con el que se determinó el grupo hidrológico de cada tipo de suelo. Las variables restantes se calcularon mediante la aplicación de las fórmulas correspondientes. Las variables ingresadas se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. *Parámetros edafológicos ingresados al modelo SWAT*

PARÁMETROS EDAFOLÓGICOS				
TIPO DE SUELO	TROPOFLUVENT	DYSTRANDEPT		HYDRANDEPT
TEXTURA	Franco arenoso	Franco limoso	Franco arcilloso	Franco
HYDGRP	A	B	C	B
SOL_ZMX	1000	1000	1000	1000
SOL_Z	750	750	750	750
SOL_BD	1.46	1.37	1.4	1.44
SOL_AWC	0.098	0.184	0.137	0.141
SOL_K	50.34	12.19	4.56	18.6
SOL_CBN	1.74	1.74	1.74	4.06
CLAY	10	20	34	18
SILT	25	60	33	40
SAND	65	20	33	42
ROCK	10	10	10	10
SOL_ALB	0.299	0.299	0.299	0.118
USLE_K	0.55	0.44	0.3009	0.36

Elaboración: Autor.

Finalmente los parámetros edafológicos fueron ingresados al modelo SWAT. Esto mediante el vínculo a un archivo geográfico tipo “raster”, generado en el software Arc Gis 10.2, de licencia temporal. El archivo geográfico se muestra en la figura 3.3.

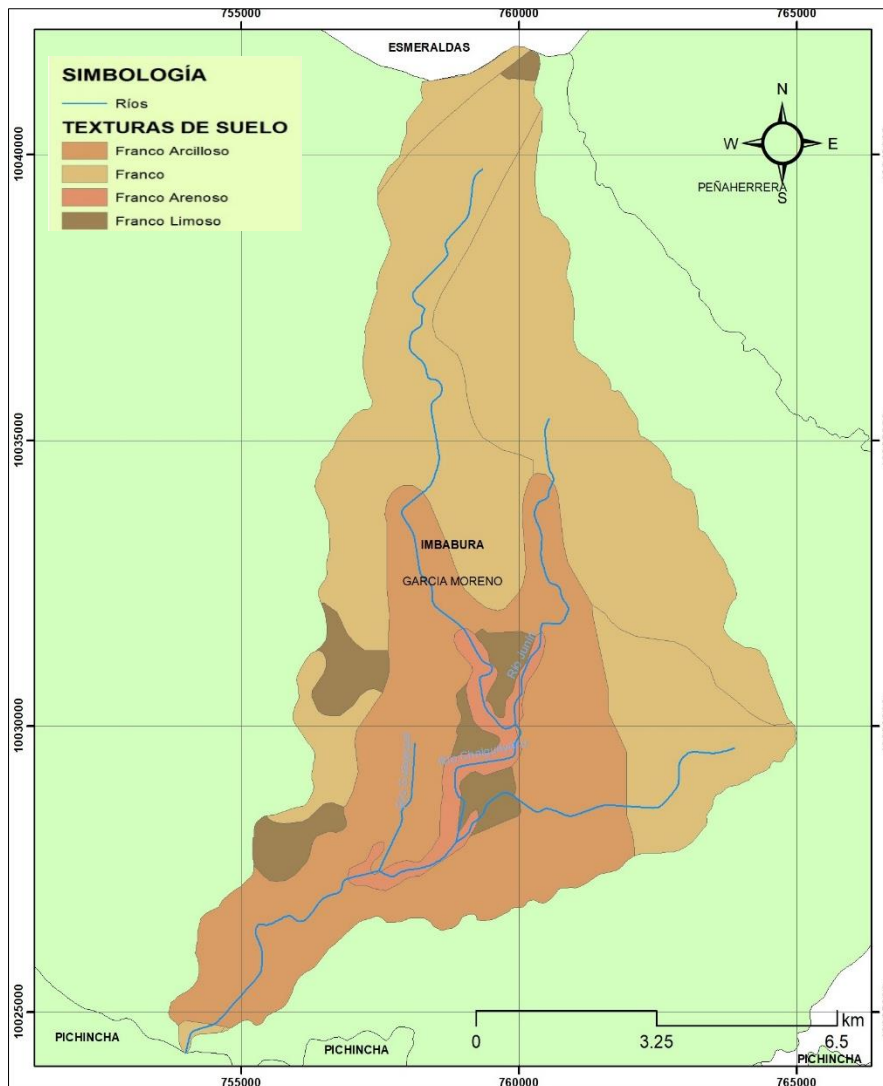


Figura 3.3. Texturas de la microcuenca del río Chaguayacu.

Elaboración: Autor.

3.3.2.4. Ingreso de parámetros de cobertura vegetal

La cobertura vegetal para el año 2014 se obtuvo a partir de una imagen satelital recuperada de Landsat 8 OLI/TIRS, obtenidas de manera digital del sitio web de la NASA earthexplorer.usgs.gov., con una resolución espacial de 30 x 30 metros. La imagen fue seleccionada considerando la poca nubosidad presente sobre el área de estudio.

3.3.2.5. Tratamiento de imágenes.

El tratamiento de imágenes consiste en eliminar cualquier cambio ocurrido en los números digitales (ND) que conforman los píxeles de las mismas, mediante correcciones geométricas y radiométricas (Chuvieco, 1996).

3.4.1.1.2. Corrección geométrica.

La corrección geométrica consiste en proyectar la imagen satelital en un sistema de coordenadas determinado, con el propósito de eliminar cualquier distorsión geométrica. Para esta investigación se proyectó la imagen satelital en el sistema de coordenadas UTM, DATUM WGS84, 17 Sur.

3.4.1.1.3. Corrección radiométrica.

Adicionalmente las imágenes fueron sometidas a un realce radiométrico para eliminar efectos atmosféricos como partículas y nubosidad presente.

3.4.1.1.4. Corte de imagen satelital.

Una vez realizadas las correcciones geométrica y radiométricas se cortó las imágenes para el área de estudio. Se utilizó la herramienta extract by mask de ArcGis 10.2 y se cargó la microcuenca en formato vector (shapefile), obteniendo un archivo de salida en formato *.img. En el proceso se debe considerar que tanto la imagen y el shapefile de la cuenca deben estar en el mismo sistema de coordenadas.

3.4.1.1.5. Combinación de bandas

Se realizó un realce multispectral combinando las bandas de la imagen satelital en RGB 4, 3, 2; para obtener una imagen en infrarrojo o falso color, útil para discriminar e interpretar las diferentes coberturas existentes en la microcuenca.

3.3.2.6. Clasificación supervisada.

Se aplicó una clasificación supervisada en las imágenes a partir de la recopilación en campo de firmas espectrales (ver Anexo), que servirán para posteriormente formar “clusters” de píxeles con características similares a fin de identificar las categorías de cobertura vegetal.

Dentro de la microcuenca se identificaron cuatro tipos de cobertura vegetal. Se encontró principalmente bosque nativo con un 60.25 % del total de la superficie del área de estudio, seguido por cultivos y pastizales en menor porcentaje, lo que indica que la

microcuenca presenta un buen estado de conservación. En la tabla 3.5. Mapa Anexo 4., se muestran los diferentes tipos de coberturas encontradas.

Tabla 3.5. *Tipos de cobertura vegetales presentes en la microcuenca del río Chalguyacu.*

COBERTURA VEGETAL	ÁREA (has)	PORCENTAJE (%)
Bosque Nativo	5373.88	60.25
Cultivo	2379.95	26.68
Pastizal	1165.999	13.07
Cuerpo de Agua	0.17	0.002
TOTAL	8920.00	100

• **Elaboración:** Autor.

A partir de la clasificación de las coberturas vegetales identificadas previamente, se procedió al ingreso manual de variables y a la posterior reclasificación de acuerdo a los requerimientos de SWAT. Las categorías reclasificadas por el modelo se muestran en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. *Tipo de coberturas vegetales ingresadas al modelo SWAT para el período 2010-2014*

COBERTURA VEGETAL	
Sistema Nacional de Información	SWAT
Bosque Nativo	Forest Evergreen (FRSE)
Cultivo	Agricultural land row crops (AGRR)
Pastizal	Pasture (PAST)
Cuerpo De Agua	Water (WATR)

Elaboración: Autor.

Finalmente las categorías de cobertura vegetal para SWAT fueron ingresadas al modelo, esto mediante el vínculo a un archivo geográfico tipo “raster”, generado mediante el software Arc Gis 10.2 de licencia temporal. El archivo geográfico se muestra en la figura 3.4.

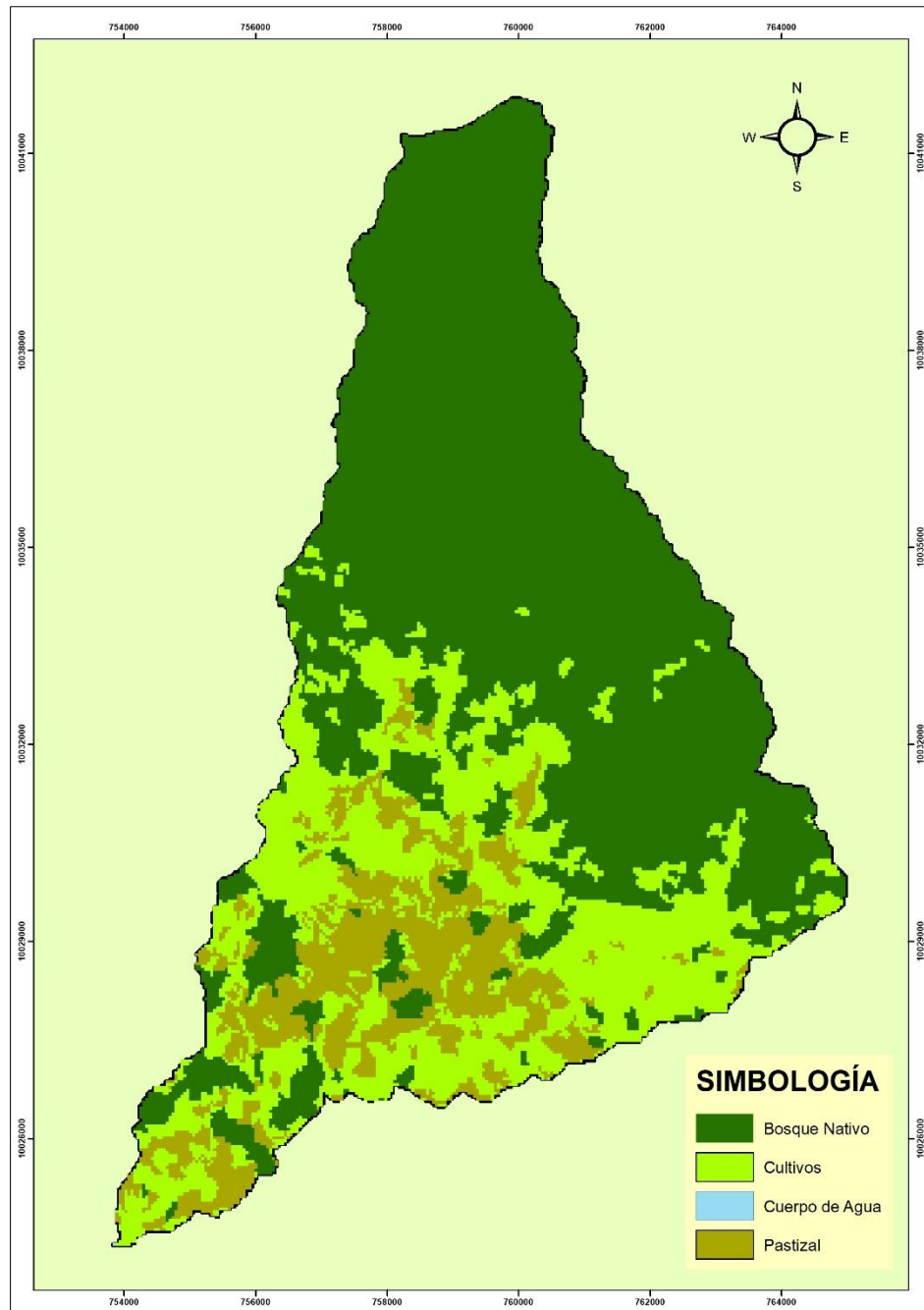


Figura 3.4. Mapa de cobertura vegetal del año 2014 identificada en la microcuenca del río Chaguayacu

Elaboración: Autor

3.3.2.7. *Ingreso de parámetros de relieve*

Se ingresaron los diferentes rangos de pendientes detallan en la Tabla 3.7., al modelo para su posterior reclasificación, para obtener un archivo geográfico generado por SWAT en formato “raster”, el cual se muestra en la figura 3.5.

Tabla 3.7. Rango de pendientes ingresadas al modelo SWAT para el período 2010-2014

NÚMERO	RANGO DE PENDIENTES (%)
1	0-12
2	12-25
3	25-50
4	50-75
5	75-100

Elaboración: Autor.

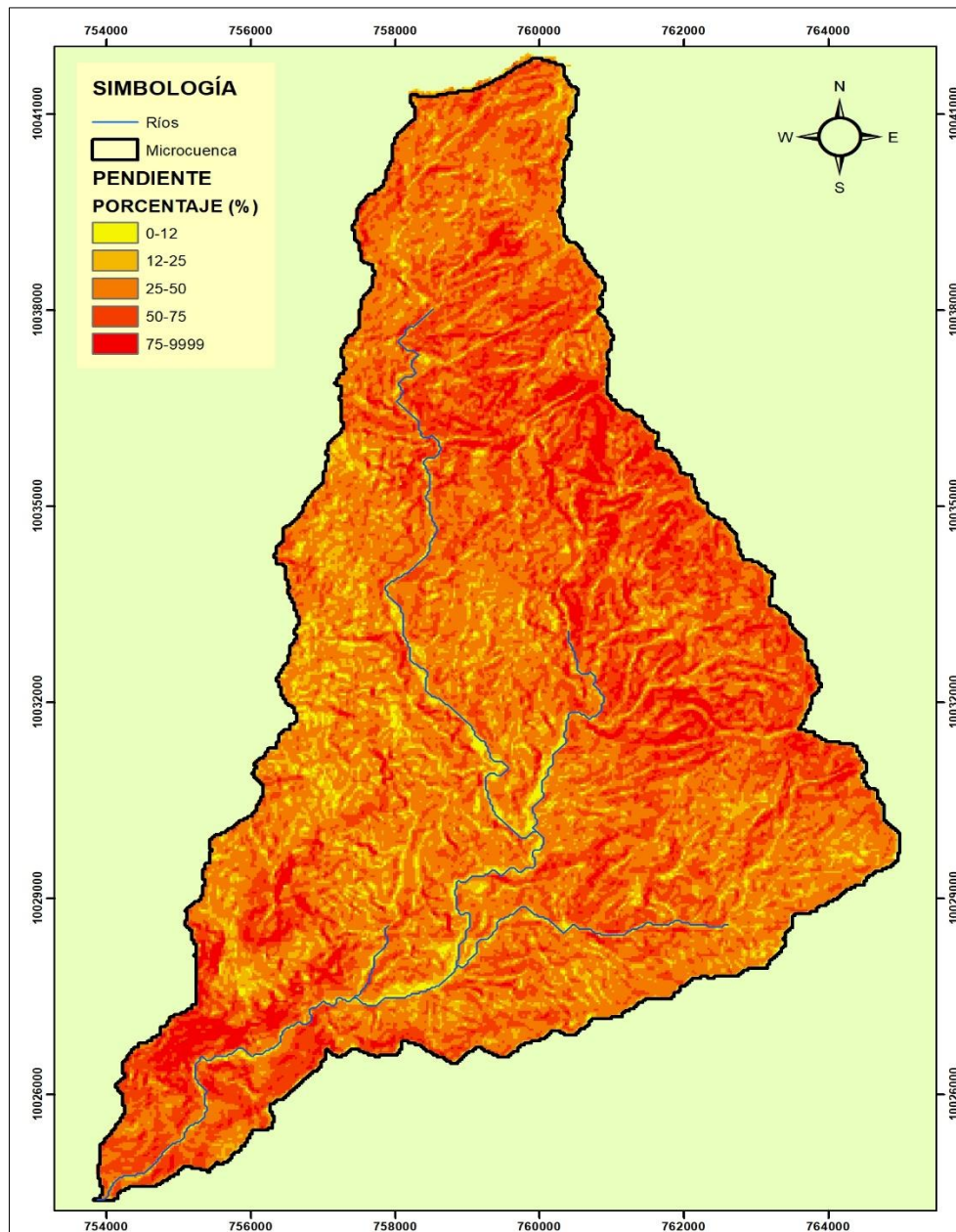


Figura 3.5. Pendientes reclasificadas por el modelo SWAT para el período de simulación 2010-2014.

Elaboración: Autor.

3.3.2.8. Ingreso de parámetros climáticos

La tabla 3.8., presenta las variables climatológicas que requiere el modelo, las cuales fueron ingresadas manualmente, junto con la ubicación geográfica de cada estación meteorológica.

Tabla 3.8. *Parámetros climáticos que requiere el modelo SWAT.*

VARIABLES	DESCRIPCIÓN	REQUERIDA/O PCIONAL
WLATITUDE	latitud de la Estación a emplear en grados	Requerido
WLONGITUD	Longitud de la estación en grados	Opcional
WELEV	Elevación de la estación climática	Requerida
RAIN_YRS	Número de días máximo para la media hora de lluvia mensual usada para los valores de RAIN_HHMX(1)-RAIN_HHMX(12)	Requerida
TMPMX(mon)	Promedio mensual de la temperatura máxima (°C)	Requerida
TMPMN(mon)	Promedio mensual de la temperatura mínima (°C)	Requerida
TMPSTDMX(mon)	Desviación estándar mensual de la temperatura máxima diaria (°C)	Requerida
TMPSTDMN(mon)	Desviación estándar mensual de la temperatura mínima diaria (°C)	Requerida
PCPMM(mon)	Promedio mensual de la precipitación diaria (mmH2O)	Requerida
PCPSTD(mon)	Desviación estándar de la precipitación diaria (°C)	Requerida
PCPSKW(mon)	Coefficiente de asimetría mensual de la precipitación diaria	Requerida
PR_W(1.mon)	Probabilidad mensual de ocurrencia un día húmedo luego de un día seco (días)	Requerida
PR_W(2.mon)	Probabilidad mensual de ocurrencia un día húmedo luego de un día húmedo (días)	Requerida
PCPD(mon)	Promedio mensual del número de días de lluvia	Requerida
RAINHHMX(mon)	Máxima lluvia de media hora por mes (mmH2O). para este parámetro se tomó en cuenta los valores históricos de lluvia máxima para 24 horas	Requerida
SOLRAV(mon)	Promedio mensual de la radiación solar diaria (MJ/m2/día). Los valores del promedio de solar diaria fueron calculados mediante la fórmula e Angstrom que relaciona la radiación solar con la radiación extraterrestre y la duración relativa de la insolación. (Allen, et al, 2006). $R_s = (a_s + b_s \frac{n}{N}) R_a$	Requerido
	Donde: Rs: radiación solar o de onda corta [MJ*m-2*día-1] n: duración real de la insolación[horas] N: duración máxima posible de la insolación [horas] n/N: duración relativa de la insolación[-] Ra: radiación extraterrestre [MJ*M-2*DÍA-1] as: constante de regresión, que expresa la fracción radiación extraterrestre que llega a la tierra en días muy nublados (n=0), as+bs fracción de la radiación extraterrestre que llega a la tierra en días despejados(n=N) (Ib) en caso en que no se dispongan de datos reales de radiación solar y cuando no se han realizado calibraciones previas a la ecuación mencionada, se recomienda usar valores de as=0,25 y de bs=0,50	
DEWPT(mon)	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	Requerido
WNAV(mon)	Promedio mensual de la velocidad del viento (m/s)	Requerido

Fuente: Arnold, 2010.

Elaboración: Autor.

Las presentes variables climáticas fueron obtenidas a partir de la información recopilada de la base nacional de datos meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2016), de las siguientes estaciones climatológicas y pluviométricas (ver Tabla 3.9; Figura 3.6.):

Tabla 3.9. Estaciones cercanas a la microcuenca del río Chalguayacu

CÓDIGO	NOMBRE	TIPO	ALTITUD	LONGITUD			LATITUD			DISTANCIA RESPECTO A LA MICROCUENC A (km)		
				msnm	°	'	"	°	'		"	
M001	INGUINCHO	CP	3140	78	24	3	W	0	15	30	N	20.7
M105	OTAVALO	CP	2550	78	15	0	W	0	14	36	N	41.2
M003	IZOBAMBA	AP	3058	78	33	18	W	0	21	57	S	68.77
M0025	CONCORDIA	CP	379	78	33	18	W	0	1	29	S	85.31
M0156	QUININDÉ	CP	115	79	26	0	W	0	19	10	S	86.39
M0160	EL CARMEN	CO	260	79	25	37	W	0	15	35	S	106.17
M0153	MUISNE	CP	6	80	1	28	W	0	36	54	N	151.36
M0103	SAN GABRIEL	CP	2860	77	49	10	W	0	36	15	N	95.3
M0102	EL ANGEL	CO	3000	77	56	38	W	0	37	35	N	85.43
M0318	APUELA- INTAG	PV	1620	78	30	40	W	0	21	18	N	14.73
M0325	GARCIA MORENO	PV	1950	78	37	36.5	W	0	14	4.6	N	2.85
M0327	GUAYLLAB AMBA DJ ALAMBI	PV	675	78	44	57	W	0	14	14	N	2.35
M0326	SELVA ALEGRE- IMBABURA	PV	1800	78	34	36.3	W	0	14	46.4	N	5.62

NOTA: *CP:* Climatológica Principal; *AP:* Agrometeorológica; *CO:* Climatológica Ordinaria; *PV:* Pluviométrica.

Fuente: INAMHI (2015)

Elaboración: Autor

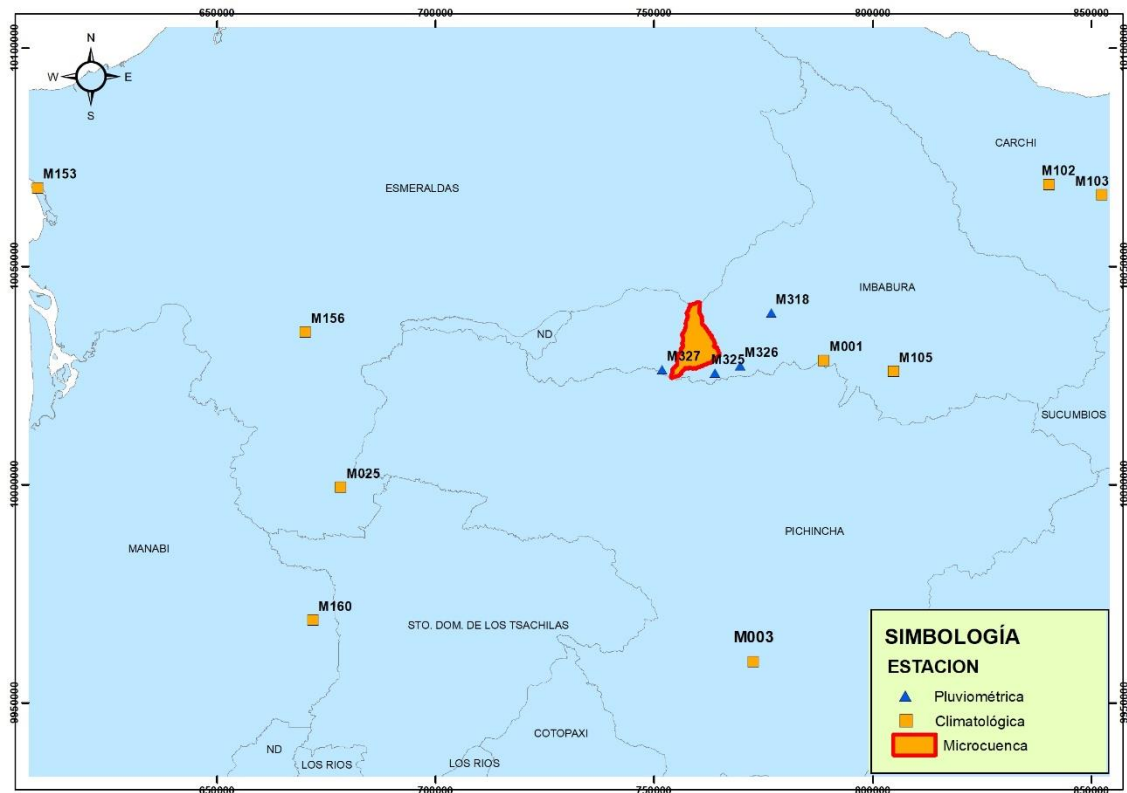


Figura 3.6. Mapa de ubicación de estaciones utilizadas para el proceso de interpolación.

Elaboración: Autor.

Una de las limitaciones metodológicas que presentó la investigación estuvo asociada a la obtención de variables climáticas requeridas por el modelo SWAT. Esta limitación fue superada mediante la aplicación de un método de interpolación, con el fin de generar información climática para las estaciones **M0318**, **M0325**, **M0326** y **M0327** (ver Anexo 2).

3.3.2.9. Interpolación de variables climáticas

El modelo SWAT requiere de información mensual y diaria de temperatura máxima y mínima, heliofanía, precipitación y punto de rocío. Arias, (2015) menciona que para el proceso de interpolación estas variables pueden ser agrupadas, debido a su relación con la gradiente altitudinal.

La interpolación de variables se realizó de forma mensual para el período 2010-2014. Los pasos metodológicos aplicados para la interpolación fueron los sugeridos por Fries, et. al (2012); Arias, (2015):

a) Determinación de valores mensuales.

La información climática mensual fue proporcionada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Estos datos fueron corroborados con los presentados en los anuarios meteorológicos. Para una adecuada homogenización de resultados.

b) Selección de estaciones climáticas con disponibilidad de datos para la interpolación

Fries et. al, (2012) señalan que como mínimo deben existir tres estaciones para la interpolación. Estas estaciones se seleccionaron de acuerdo a los datos disponibles. De acuerdo al criterio de los autores, no se consideraron las estaciones con más de tres meses de información perdida. Posteriormente se determinó la relación existente entre las variables climáticas y la altitud mediante un análisis de correlación lineal

c) Homologación de variables climáticas a una misma altitud

La homologación se realizó a un nivel de referencia de mil metros debido a que es el valor promedio de la altitud en el área de estudio. Posteriormente se interpoló los datos climáticos al nivel de referencia y correlación previamente determinada a través de la siguiente fórmula planteada por los autores:

$$Vc_{Det} = Vc_{mensual} + (r * (z_{det} - z_{estación}))$$

Donde:

VcDet: son los valores climáticos obtenidos a nivel de referencia.

VC: mensual son los valores mensuales de las variables climáticas.

r: es el gradiente altitudinal correspondiente al valor del coeficiente (x) en la ecuación de regresión lineal

zdet: es el nivel de referencia planteado y z estación es el valor de la altitud al cual se ubica cada estación climática

d) Interpolación de datos climáticos homologados.

La interpolación se realizó mediante la aplicación del método determinístico de interpolación Inverse Distance Weighted IDW de ArcGis. Para el proceso se consideró

la ubicación espacial de las estaciones a interpolar, y se optó por utilizar una resolución espacial del “raster” de 30 m.

e) Interpolación de variables climáticas a su nivel altitudinal real.

El procedimiento se lo realizó mediante la herramienta “raster calculator” de Arc Gis. Una vez obtenidos los valores mensuales se procedió a calcular el valor real de cada variable. Para lo cual se utilizó el modelo digital de elevación (DEM) con el cual se re-estableció la distribución vertical de las variables climáticas por pixel aplicando la siguiente ecuación:

$$Vc_{(x,y)} = Vc_{Det} + (r * (z_{x,y}DEM - z_{DET}))$$

Donde:

Vc: (x, y) es el resultado del promedio mensual de las variables climáticas interpoladas

VcDet: es el valor de las variables climáticas a un nivel de referencia

r: es el gradiente altitudinal $z_{x,y}$ DEM es el modelo digital de elevación

Zdet: es el valor nivel de referencia determinado (1000 msnm)

3.3.1. Cálculo de parámetros del balance hídrico

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

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

Donde:

SW_t es el contenido final de agua en el suelo (mm H₂O).

SW_0 es el contenido inicial de agua del suelo en un día i (mm H₂O).

t es el tiempo (días).

R_{day} es la cantidad de precipitación en un día i (mm H₂O).

Q_{surf} es la cantidad de escorrentía de la superficie en día i (mm H₂O)

E_a es la cantidad de evapotranspiración en día (mm H₂O).

W_{seep} es la cantidad de agua que entra en la zona que percola en el perfil del suelo en día (mm H₂O).

Q_{gw} es la cantidad del flujo de retorno en un día (mm H₂O).

Una vez culminado el proceso de simulación, SWAT muestra resultados de precipitación (PREC), caudal superficial (SURQ), caudal lateral (LATQ), caudal subterráneo (GWQ), percolación (PERCOLATE), contenido inicial de agua en el suelo (SW), evapotranspiración real (ET), evapotranspiración potencial (ETP), y caudal total (WATER YIELD). El caudal total es la suma de SURQ, LATQ Y GWQ.

Después de obtener las variables de la ecuación del equilibrio de agua, se procedió a realizar el balance de masas para determinar el balance hídrico de la microcuenca.

$$P - Q - ET - P - \Delta S = 0$$

Donde:

P= precipitación.

Q= escorrentía.

ET= Evapotranspiración.

P= percolación.

ΔS = variación de almacenaje.

3.3.2. Calibración de resultados.

Los resultados del proceso de simulación mostraron valores de caudal mensual total excesivos para los valores reales. Por lo que fue necesario calibrar los datos de mayor sensibilidad del modelo con los datos simulados con la subcuenca de la que forma parte la microcuenca en estudio, en este caso la subcuenca del río Guayllabamba (ver figura 3.7). Esto debido a que en esta subcuenca hidrográfica, se encuentra ubicación de la estación hidrométrica Guayllabamba DJ Alambí, de donde se dispone los datos diarios y mensuales de caudales.

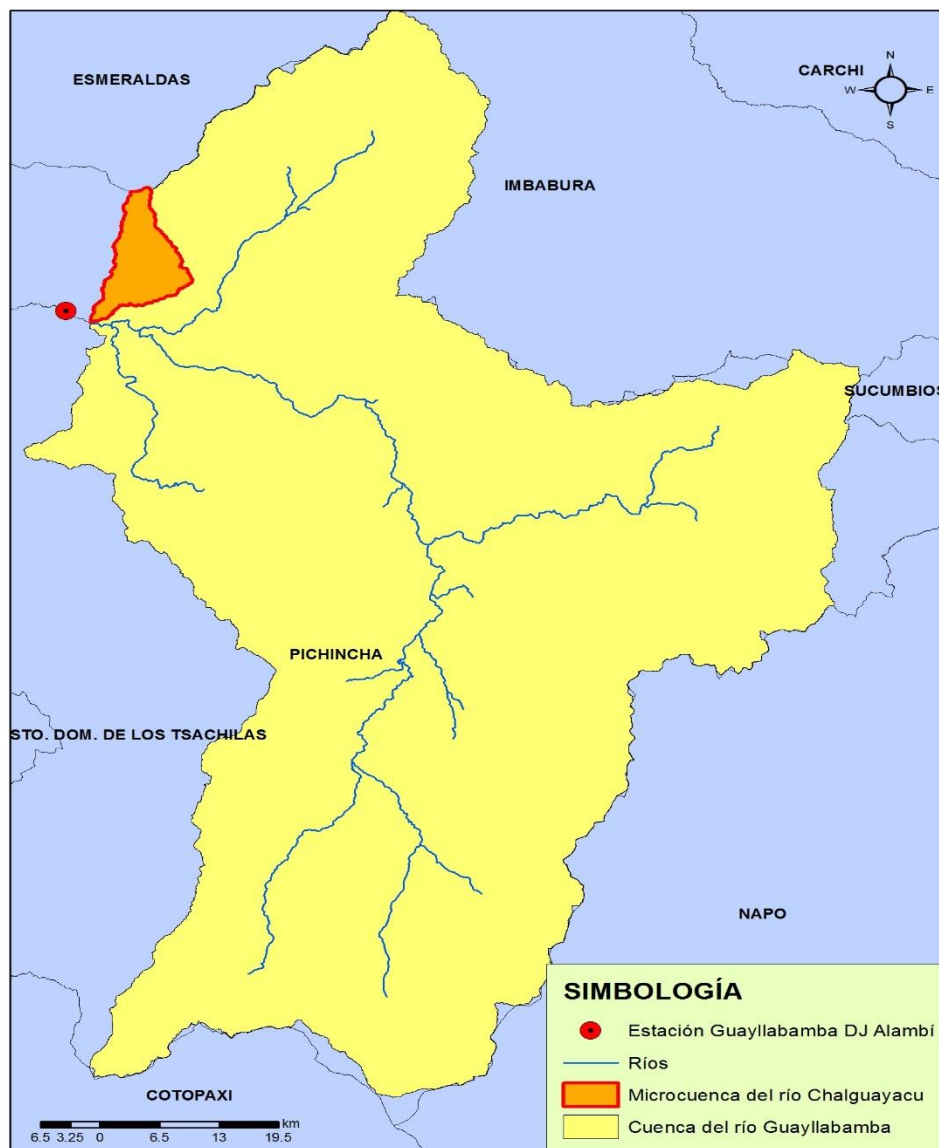


Figura 3.7. Mapa de la cuenca del río Guayllabamba, usada en el proceso de calibración.

Elaboración: Autor.

Como se mencionó anteriormente, una de las limitaciones metodológicas de la investigación se presentó en la campaña de aforo del río principal. Por lo que fue necesario simular la producción de caudales en la subcuenca del río Guayllabamba con el fin de calibrar los resultados de SWAT, a partir de los datos reales recopilados de la estación hidrométrica Guayllabamba DJ Alambí. El modelo permite la calibración de algunos valores de alta sensibilidad que pueden modificarse una y otra vez hasta lograr que los datos sean similares a los que se tomaron en el campo, tomando en cuenta que los parámetros modificados cumplan con las características físicas (Benavidez,

González, López y Valdez, 2008). En este contexto los pasos metodológicos aplicados fueron los siguientes:

- a) Simulación de caudales en el modelo SWAT: Se ingresó variables climáticas, edafológicas y cobertura y uso de suelo para la subcuenca. Se creó las Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU) y se obtuvo los caudales producidos para el periodo 2010-2014.
- b) Comparación de caudales simulados vs caudales reales: Se analizó la correlación entre ambos tipos de caudales y se obtuvo el coeficiente de determinación respectivo (R^2)
- c) Calibración de datos: Se realizó mediante la interface SWAT-CUP, en el que los parámetros calibrados, de mayor sensibilidad, fueron: el factor de compensación de evaporación solar (ESCO), tiempo de retraso del almacenaje de aguas subterráneas (GW_DELAY), factor alfa del flujo base (ALPHA_BF), valor del umbral de profundidad de agua en el acuífero superficial (GWQMIN), coeficiente REVAP del agua subterránea (GW_REVAP), temperatura de nevadas (SFTMP), curva número promedio (CN2).
- d) Comparación de caudales calibrados vs caudales reales: Se analizó la correlación lineal de ambos tipos de caudales y se determinó nuevo coeficiente de determinación (R^2). Adicionalmente fue calculado la variación de los coeficientes de determinación calculados.

3.3.3. Validación de resultados.

Después de obtener los resultados de la simulación mediante el modelo se procede a la validación de datos. La validación de datos se realiza con el fin de evaluar la precisión y eficiencia del modelo en el proceso de simulación. Para este proceso es necesario comparar los datos simulados con los datos observados. Los resultados se validaron mediante el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (1970):

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{simi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}$$

Donde:

Q_{simi} = Caudal simulado.

Q_i =Caudal observado.

\bar{Q} =Caudal medio observado

Cuando el valor de NSE =1, la simulación es perfecta.

Según Ritter, Muñoz y Regalado (2011), no existen criterios globalmente aceptados sobre los rangos utilizados en la interpretación de los valores del coeficiente, por tanto se puede considerar criterios de diferentes autores. Para la presente investigación se consideraron los criterios de Sign, Knapp y Demissie (2004).

Tabla 3.10. *Valores referenciales del criterio de Nash-Sutcliffe*

Rango	Eficiencia del ajuste
<0.75	No aceptable
0.75-0.84	Aceptable
0.84-0.91	Bueno
>0.91	Muy bueno

Fuente: Sign, et al (2004)

Elaboración: Autor.

3.3.1. Cambio de uso de suelo para el año 2030.

Para este escenario prospectivo se buscó determinar el área deforestada por las actividades mineras. Esta área se dividió en dos categorías para el proceso de simulación mediante SWAT.

- 1) **ÁRIDO:** esta categoría corresponde a la superficie de suelo sin ningún tipo de cobertura vegetal. En el estudio, esta categoría representó el área de extracción de minerales, carretera minera, área presa de desperdicios y área presa de relaves. Para cambiar el uso de suelo en el modelo a árido es necesario seleccionar entre las opciones de cobertura vegetal el tipo “BARREN”.
- 2) **ZONA INDUSTRIAL:** corresponde al área en donde se encuentra la infraestructura del sistema de procesamiento del mineral extraído.

Estas dos categorías se detallan en la tabla 3.11 y la figura 3.8:

Tabla 3.11. Áreas de ocupación estimadas para el proyecto minero Junín/Llurimagua. Estudio de exploración JICA, 1998.

ACTIVIDAD	CATEGORÍA DE COBERTURA VEGETAL DE SWAT
Área de extracción de minerales	BARREN
Carretera minera	BARREN
Área presa desperdicios	BARREN
Área presa relaves	BARREN
Planta minera	INDUSTRIAL

Fuente: Latorre, Walter, Larrea, 2015.

Elaboración: Autor.

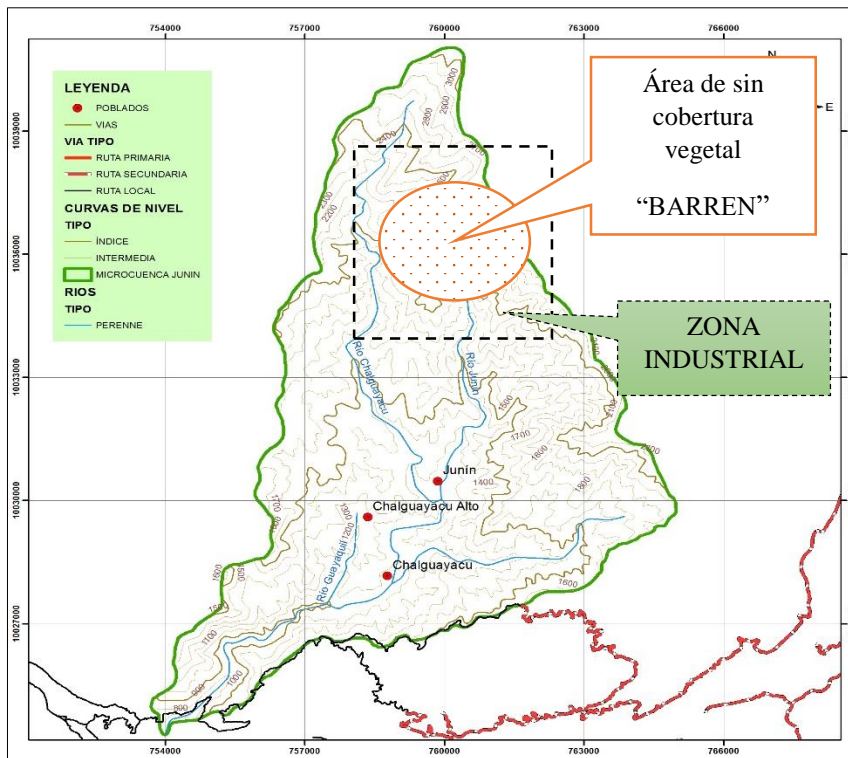


Figura 3.8. Representación el área de ocupación minera para la fase de explotación del proyecto.

Elaboración: Autor.

Para lo cual se recurrió a bibliografía primaria como manuales de minería, estudio de impacto y plan de manejo del proyecto Llurimagua, estudio exploratorio de la Empresa Japonesa de Cooperación Internacional.

Es importante mencionar que autores y expertos recomiendan considerar como más consistentes los datos del estudio exploratorio obtenidos por la Empresa Japonesa de Cooperación Internacional (JICA, 1998), debido a que el estudio de la empresa japonesa fue el único proyecto exploratorio realizado hasta la fecha (Latorre, Walter, Larrea, 2015).

Una vez estimada el área que perdió su cobertura vegetal, se procedió a generar un mapa de cambio de uso de suelo mediante el software ArcGis 10.2, con el que se creó dos polígonos en formato “*shapefile*” con las dimensiones de la superficie deforestada por las actividades mineras. Posteriormente se ingresaron al modelo el mapa de cobertura vegetal modificado con las categorías antes mencionadas, conjuntamente con las variables edafológicas y climatológicas. Finalmente se generó la simulación del escenario prospectivo.

3.4.Etapa 2. Cálculo del balance hídrico en un escenario prospectivo proyectado de explotación minera en la microcuenca del río Chaguayacu

Es importante mencionar que este es un escenario hipotético, debido a que el proyecto minero no ha empezado con labores de explotación en la zona, por lo tanto no existe certeza de las afectaciones que esta actividad generaría en el recurso hídrico.

Se debe tener en cuenta que los escenarios hipotéticos sirven para conocer y analizar la respuesta del modelo ante cambios extremos, como deforestación ocasionada por la implementación de una actividad minera.

Para efectos de estudio se simuló un escenario de actividad minera para el año 2030, en donde se espera que las actividades de minería se encuentren en etapas finales. El período de años fue seleccionado tomando en consideración que el tiempo estimado para un proyecto de estas características es de alrededor de 17 años. (Latorre, Walter, Larrea, 2015).

3.4.1. Análisis de variación de caudales bajo un escenario hipotético de minería

Para determinar las afectaciones de la actividad minera sobre el recurso hídrico se aplicó la ecuación de variación porcentual aplicada por (Arias, 2015), que se explica a continuación:

$$\text{Variación} = \frac{Q_{\text{modificado}} - Q_{\text{base}}}{Q_{\text{base}}} * 100$$

Donde:

Variación = valor de la variación de caudal en el período simulado.

Qmodificado= es el caudal mensual total obtenido del escenario prospectivo.

Qbase= es el caudal mensual total obtenido del escenario base.

3.4.2. Análisis de la variación de cobertura vegetal

Para el análisis de la cobertura se aplicó la fórmula de la tasa anual de cambio de cobertura vegetal y caudal.

3.4.2.1. Tasa de cambio de cobertura vegetal anual.

Este indicador mide la variación anual del área boscosa de una región en dos épocas diferentes (Puyravaud, 2003).

$$q = \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^{1/(t_2-t_1)} - 1$$

Donde:

Q: Tasa de pérdida de cobertura vegetal en el Ecuador continental (%).

A₁: Área de vegetación inicial (ha)

A₂: Área de vegetación final (ha)

t₁: Año inicial

t₂: Año final

Posteriormente, se realizó un análisis de la relación entre variación de cobertura vegetal y variación de caudales, para lo cual se aplicó un análisis de correlación lineal de Pearson. El coeficiente de Pearson es una medida de la relación entre dos variables

Paramétricas. Este análisis se aplicó en el proceso de aceptación las hipótesis nula o alternativa, planteadas en la presente investigación

Además se determinó la oferta y demanda de recurso hídrico por habitante tanto para el escenario base, como para el escenario prospectivo.

3.4.3. Análisis de oferta y demanda del recurso hídrico en la microcuenca para el escenario base y el escenario prospectivo de minería

La oferta del recurso hídrico para el año 2014 fue obtenido de la simulación del escenario base, el cual fue dividido para el número de habitantes de la microcuenca. El total de población fue obtenido del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2010).

La oferta del recurso hídrico para el año 2030, se determinó con base en los caudales mensuales promedio generados en el proceso de simulación del escenario prospectivo y las proyecciones demográficas del INEC. Finalmente se analiza conjuntamente los resultados para cada escenario.

Además se generó cartografía temática, en donde se identificó los diferentes drenajes que conforman la microcuenca. Finalmente se consideró el volumen de caudal total y caudal ecológico en época seca y época lluviosa. El caudal ecológico se calculó a partir de las consideraciones de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua aprobada en agosto del 2014, en su art. 76, que menciona que el 10% del caudal medio anual debe ser mantenido como caudal ecológico en los ríos de la vertiente del Pacífico (Cuyo, 2016).

3.5. Etapa 3. Elaboración de estrategias de gestión hídrica considerando un escenario prospectivo de explotación minera.

Las estrategias de gestión del recurso hídrico se plantearon a partir de los datos obtenidos del modelo SWAT para los dos escenarios propuestos en el presente estudio y los datos obtenidos del taller con participación de las comunidades en donde se realizó Mapas parlantes para determinar los usos, problemas actuales, riesgos potenciales y reservas hídricas presentes en la microcuenca. Además se aplicaron los criterios de la “Guía para la elaboración de planes de manejo de microcuencas” UICN, (2009); CEPAL (2003). A continuación se presentan datos generales de la propuesta:

- a) Identificación de los factores externos (oportunidades y amenazas) e internos (fortalezas, debilidades) que conforman la situación actual de la microcuenca, mediante la construcción de una matriz FODA, sobre las cuales se plantearán las estrategias de gestión hídrica.
- b) La normativa legal vigente.
- c) Identificación de los diferentes actores involucrados en la preservación y manejo, control y uso del recurso hídrico.
- d) Planteamiento de Objetivos estratégicos y específicos.
- e) Definición de estrategias
- f) Elaboración de proyectos y determinación de metas acordes a cada estrategia

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación del balance hídrico de la microcuenca del río Chalguayacu.

El balance hídrico de la microcuenca se determinó mediante el uso del modelo hidrológico SWAT. Los resultados de la simulación se muestran a continuación:

4.2. Resultados de la simulación inicial de la microcuenca del río Chalguayacu

Una vez realizado la simulación del período 2010-2014 de la microcuenca del río Chalguayacu, se obtuvieron datos mensuales de precipitación (PREC), caudal superficial (SURQ), caudal lateral (LATQ), caudal subterráneo (GWQ), percolación (PERCOLATE), contenido inicial de agua en el suelo (SW), evapotranspiración real (ET), evapotranspiración potencial (ETP), y caudal total mensual (WATER YIELD) presentados en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. *Resultados de los componentes del Balance hídrico simulados para el período 2010-2014*

MES	PREC	SURQ	LATQ	GWQ	PERCOLATE	SW	ET	PET	WATER YIELD
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
ENERO	239.75	4.98	97.16	63.69	98.8	70.65	43.68	80.4	167.62
FEBRERO	218.78	25.15	79.6	69.86	66.95	70.21	46.63	102.72	176.82
MARZO	287.68	23.81	107.76	79.05	103.29	65.8	56.25	106.07	213.51
ABRIL	266.06	18.57	96.23	79.94	83.98	70.26	59.12	100.42	197.91
MAYO	161.88	5.51	63.3	79.03	44.09	70.72	52.78	97.13	151.36
JUNIO	78.43	1.04	32.03	59.98	15.35	68.37	38.17	82.45	96.35
JULIO	26.66	0.08	9.66	37.53	4.19	50.63	31.39	123.89	50.26
AGOSTO	32.19	0.28	11.05	10.66	3.52	46.94	20.92	100.57	24.41
SEPTIEMBRE	64.2	0.4	20.94	4.99	6.89	56.52	26.11	99.38	28.16
OCTUBRE	30.45	0.95	12.62	4.89	5.47	41.13	27.25	140.8	19.96
NOVIEMBRE	153.59	13.44	45.38	4.82	31.65	70.68	28	112.95	64.8
DICIEMBRE	149.21	3.56	53.8	19.73	51.98	66.75	43.89	106.88	78.3

Elaboración: Autor

4.3. Calibración de Datos.

Se simuló la producción de caudales de la sub cuenca del río Guayllabamba. Posteriormente se calibró los resultados obtenidos mediante la interface SWAT-CUP, a partir de los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2016). Finalmente se ajustaron los parámetros calibrados a la cuenca en estudio. Los parámetros edafológicos y de cobertura vegetal utilizados para la simulación de la subcuenca presentan en el Anexo 3.

4.3.1. Calibración de datos en la subcuenca del río Guayllabamba.

La simulación de producción de caudales mostraron ser excesivos en comparación de los caudales registrados por la estación hidrométrica Guayllabamba DJ Alambí, como se muestra en la tabla 4.2., por lo que se procedió a la calibración, en donde se modificó los parámetros de mayor sensibilidad mencionados anteriormente, y detallados en la tabla 4.3. Los resultados de la simulación de la subcuenca se presentan en el Anexo 4.

Tabla 4.2. *Caudales simulados vs caudales estación Guayllabamba DJ Alambí*

MES	SWAT	Estación Guayllabamba DJ Almbí
ENERO	108.89	109,802
FEBRERO	97.79	199,110
MARZO	121.7	258,195
ABRIL	125.62	224,722
MAYO	107.78	148,41
JUNIO	70.05	80,88
JULIO	44.45	70,94
AGOSTO	15.91	52,91
SEPTIEMBRE	21.4	42,17
OCTUBRE	21.8	47,22
NOVIEMBRE	30.42	56,22
DICIEMBRE	62.33	121,83

Elaboración: Autor

Tabla 4.3. *Parámetros simulados inicialmente por el modelo SWAT y calibrados por la interface SWAT-CUP.*

NOMBRE DEL PARÁMETRO	SIMULACIÓN INICIAL	CALIBRADO
CN2.mgt	78	0.16
ALPHA_BF.gw	0.048	0.1
GW_DELAY.gw	31	55.199997
GWQMN.gw	1000	1.96
GW_REVAP.gw	0.02	0.052
ESCO.hru	0.95	0.988
CH_N2.rte	0.014	0.018
CH_K2.rte	0	72.5
ALPHA_BNK.rte	0	0.98
SOL_AWC.sol	0.141	-0.14
SOL_K.sol	18.6	-0.704
SOL_BD.sol	1.44	-0.17

Elaboración: Autor.

El análisis de correlación inicial para la subcuenca del río Guayllabamba previo al proceso de calibración muestra un $r^2 = 0.79$, (figura 4.1.), y un coeficiente de 0.8 según el criterio de Nash-Sutcliffe; este valor muestra un grado de eficiencia de la simulación del modelo aceptable.

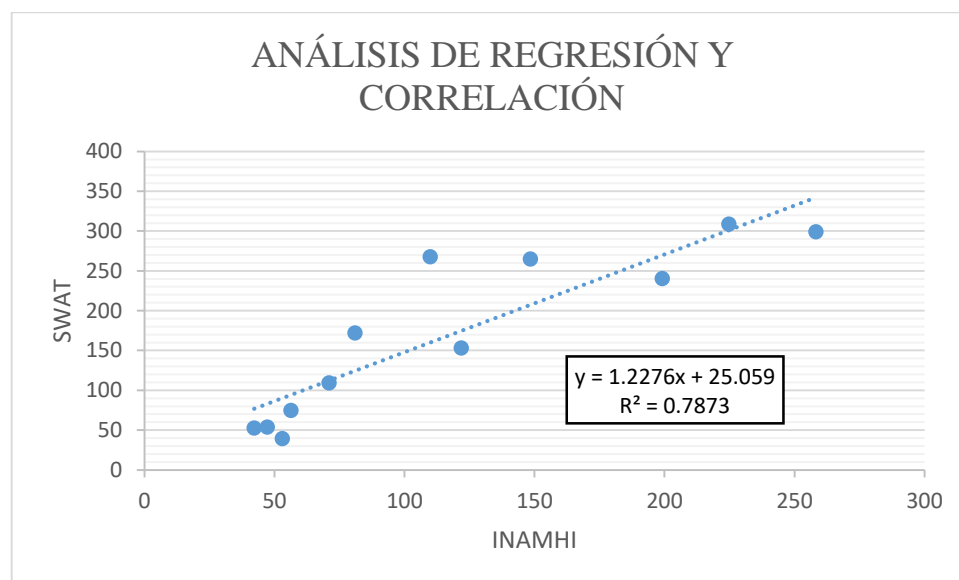


Figura 4.1. *Análisis de regresión y correlación de los caudales simulados y observados.*

Elaboración: Autor.

Una vez ajustados los parámetros de mayor sensibilidad la correlación entre variables se modifica ligeramente, como se muestra en las figuras 4.2. Además la figura 4.3., muestra mejor simulación obtenida por la extensión SWAT-CUP.

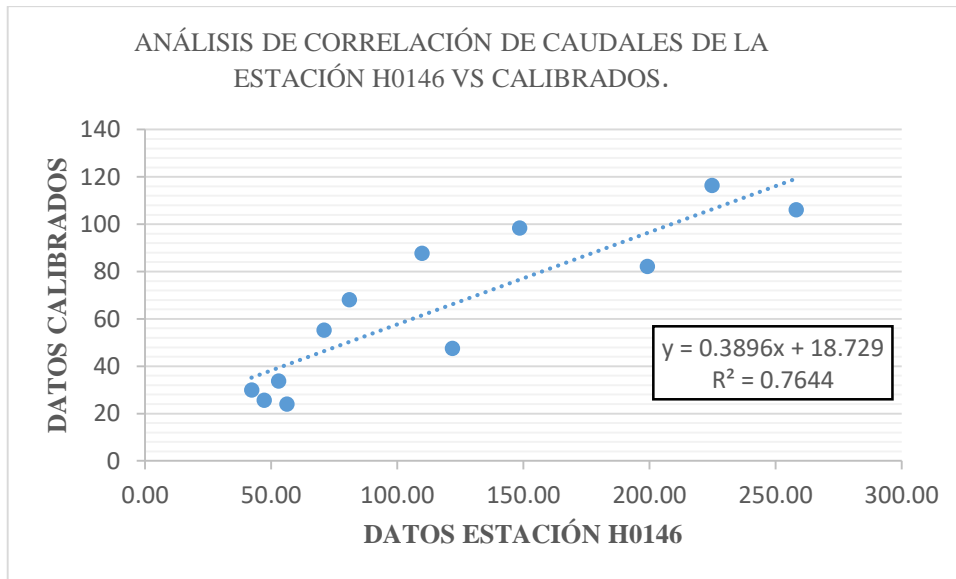


Figura 4.2. Análisis de regresión y correlación de los caudales observados vs calibrados

Elaboración: Autor.

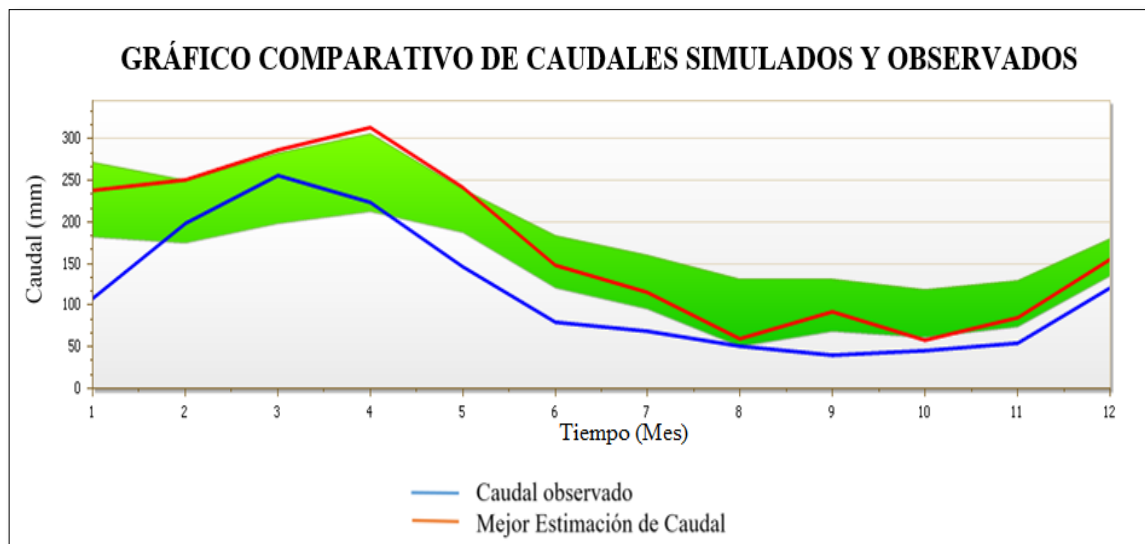


Figura 4.3. Comparación de caudales simulados y observados

Elaboración: Autor

4.4. Validación de resultados.

Según el criterio de Nash-Sutcliffe mientras los valores se acercan a 1 la simulación se considera excelente o perfecta, por el contrario si es cero se considera como insatisfactoria. En el estudio se consiguió un índice de 0.96 lo que muestra una eficiencia muy buena según los valores expuestos por Sign et. al, (2004) y mencionados anteriormente en la Tabla 3.7. Los resultados calibrados se detallan en el anexo 4.

En la tabla 4.4., se muestra los valores iniciales de caudal mensual total simulados por el modelo SWAT y los valores modificados resultantes del proceso de calibración ambos expresados en mm. Mientras que en la tabla 4.5., se detallan los valores transformados a metros cúbicos, para efecto de análisis.

Tabla 4.4. Cuadro comparativo de caudal mensual total simulado por SWAT y el caudal mensual observado, expresados en mm

MES	CAUDAL SIMULADO	CAUDAL CALIBRADO
	mm	mm
Enero	167.62	112.91
Febrero	176.82	143.15
Marzo	213.51	193.01
Abril	197.91	173.31
Mayo	151.36	147.92
Junio	96.35	113.01
Julio	50.26	85.65
Agosto	24.41	55.57
Septiembre	28.16	37.66
Octubre	19.96	31.8
Noviembre	64.8	47.46
Diciembre	78.3	50.92

Elaboración: Autor.

Tabla 4.5. Cuadro comparativo de caudal mensual total simulado por SWAT y el caudal mensual observado, expresados en m³/s.

MES	CAUDAL SIMULADO	CAUDAL CALIBRADO
	m ³ /s	m ³ /s
Enero	5.77	3.89
Febrero	6.09	4.93
Marzo	7.35	6.64
Abril	6.81	5.96
Mayo	5.21	5.09
Junio	3.32	3.89
Julio	1.73	2.95
Agosto	0.84	1.91
Septiembre	0.97	1.30
Octubre	0.69	1.09
Noviembre	2.23	1.63
Diciembre	2.7	1.75

Elaboración: Autor

4.5. Balance hídrico de la microcuenca del río Chalguayacu para el año 2014.

Mediante aplicación de las formulas detalladas en el capítulo anterior se calculó el balance de masas de la microcuenca, cuyos resultados se muestran en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. *Balance de masas de la microcuenca del río Chalguayacu para el año 2014.*

MES	PREC	PERCO LATE	SW	ET	PET	SURQ	LAT Q	GWQ	WATE R YIELD	BALANCE
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
ENERO	239.75	156.84	83.82	52.09	80.4	34.24	3.37	59.73	100.25	0
FEBRERO	218.78	109.47	83.55	56.43	102.72	48.2	3.57	59.71	114.21	0
MARZO	287.68	134.09	84.68	64.01	106.07	81.75	4.33	71.21	160.47	0
ABRIL	266.06	132.09	90.68	65.72	100.42	56.07	4.56	73.89	137.77	0
MAYO	161.88	90.01	79.47	57.08	97.13	21.3	4.92	80.36	110.16	0
JUNIO	78.43	48.78	57.01	45.83	82.45	3.46	4.58	76.93	88.61	0
JULIO	26.66	10.27	34.26	38.44	123.89	0.22	4.17	74.78	83	0
AGOSTO	32.19	8.85	32.86	24.22	100.57	0.34	3.43	67.96	75.52	0
SEPTIEMBRE	64.2	17.12	43.94	34.92	99.38	0.65	2.77	60.59	67.59	0
OCTUBRE	30.45	10.43	28.11	32.95	140.8	2.67	2.4	57.79	66.41	0
NOVIEMBRE	153.59	42.38	75.8	34.73	112.95	27.16	1.99	51.9	84.32	0
DICIEMBRE	149.21	83.29	71.22	54.27	106.88	11.64	2.4	55.46	72.74	0

Elaboración: Autor.

4.6. Resultados de excedente o déficit de agua en la microcuenca del río Chalguayacu.

Para determinar el déficit o excedente de agua se aplicó la fórmula:

$$P(ef) - ETP + S(a)_{mes} - 1$$

Donde:

P(ef)= precipitación – escorrentía.

ETP: Evapotranspiración potencial.

S(a) mes= contenido final de agua en el suelo.

Para el año 2014 se determinó un excedente de agua en la cuenca del río Chalguayacu para los meses de Febrero, Marzo, Abril y Diciembre, mientras que para el resto de meses se evidencia un déficit de agua. Los resultados se muestran en la tabla 4.7.

Tabla 4.7. *Excedente y déficit de agua de la microcuenca del río Chalguayacu para el año 2014.*

MES	Precipitación (mm)	Percolación (mm)	ETP (mm)	Caudal (mm)	SWt (mm)	Excedente (mm)	Déficit (mm)
ENERO	239.75	156.84	80.4	100.25	20.67	-	-
FEBRERO	218.78	109.47	102.72	114.21	28.52	21.52	0
MARZO	287.68	134.09	106.07	160.47	21.3	48.66	0
ABRIL	266.06	132.09	100.42	137.77	28.97	48.17	0
MAYO	161.88	90.01	97.13	110.16	-7.4	0	17.44
JUNIO	78.43	48.78	82.45	88.61	-39.56	0	101.03
JULIO	26.66	10.27	123.89	83	-62.79	0	220.79
AGOSTO	32.19	8.85	100.57	75.52	-36.32	0	207.69
SEPTIEMBRE	64.2	17.12	99.38	67.59	-5.14	0	140.09
OCTUBRE	30.45	10.43	140.8	66.41	-45.28	0	182.9
NOVIEMBRE	153.59	42.38	112.95	84.32	73.22	0	89.96
DICIEMBRE	149.21	83.29	106.88	72.74	15.77	41.81	0
TOTAL						0	799.74

Elaboración: Autor.

Los resultados de la primera simulación mostraron un régimen de escorrentía superficial muy alto, el cual fue corregido en la calibración, obteniendo un coeficiente de 0.79 en el análisis de eficiencia, lo que indica que el modelo representó de manera aceptable las condiciones reales del sistema. El grado de eficiencia del modelo depende de la preparación adecuada de los datos de entrada, como lo señala Galván et. al (2007). Una de las variables de entrada de mayor influencia es la climática, lo que presenta dificultades en el proceso de simulación, si no se cuenta con una la información adecuada (Valdivieso y Naranjo, 2003). Estos resultados se reflejan en el análisis de eficiencia del modelo, mostrado anteriormente.

Ortiz (2010) y Urrutia (2016), menciona que los parámetros de mayor sensibilidad son: factor de compensación de la evaporación del suelo (ESCO), coeficiente del revap del agua subterránea (GW_ REVAP), el factor de erosión del suelo (USLE_K), variación del número de curva (CN2), conductividad hidráulica saturada (SOL_K) y capacidad de agua disponible en el suelo (SOL_KWC). Según Zuleta (2013), la interface SWAT-CUP es capaz de predecir de manera eficiente los valores promedios mensuales de

caudal, demostrando ser fiable para procesos de modelación en cuencas. Para el estudio la aplicación de la interface permitió ajustar todos los parámetros de sensibilidad citados con anterioridad de manera satisfactoria, lo que derivó en una mejor respuesta hidrológica del modelo, obteniendo resultados similares a los de los autores antes señalados.

4.7. Simulación de un escenario prospectivo de explotación minera para el año 2030.

Urrutia (2016) demostró en su estudio que la respuesta hidrológica de una cuenca, depende del tipo de cobertura vegetal y de suelo. Para este escenario lo que se buscó fue determinar el área que perdería su cobertura vegetal a causa de la explotación minera, para lo cual se recurrió a bibliografía primaria.

Se reemplazó un 14.69% de la cobertura vegetal original por suelo desnudo y un 0.46% por la categoría de zona industrial, dando un total de 15.15% de cobertura vegetal reemplazada.

Se generó el mapa de cobertura vegetal presentado en la Figura 4.4., y se ingresaron al modelo las nuevas categorías junto a las variables edafológicas y climáticas.

El modelo SWAT simuló una respuesta hidrológica diferente para cada una de los componentes del ciclo hidrológico, en especial para el caso de caudal total mensual (WATER YIELD). Como se mencionó en capítulos anteriores los valores del área que perdería su cobertura vegetal se obtuvieron con base en los datos del estudio exploratorio de la empresa japonesa de cooperación internacional, ya que según Latorre *et. al* (2015), este es el estudio que ha presentado resultados más consistentes hasta la fecha.

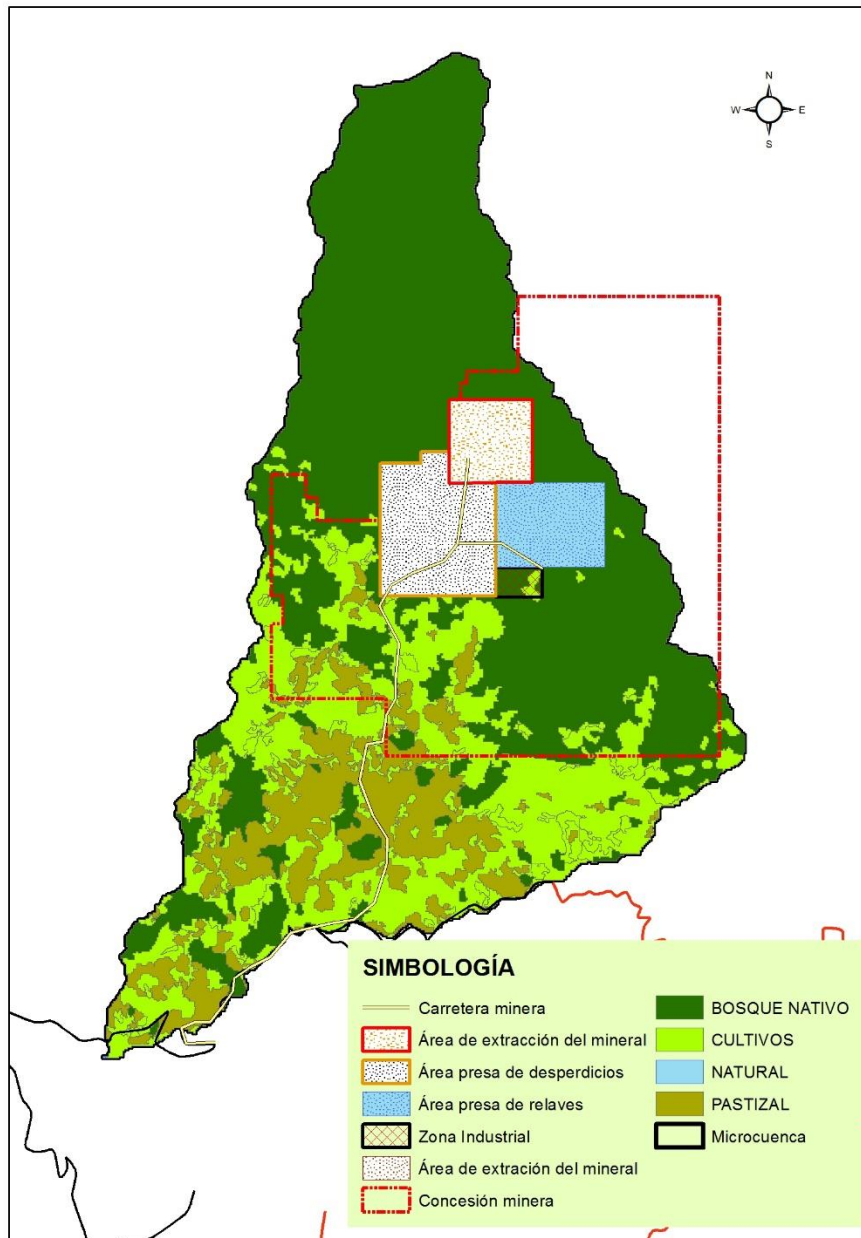


Figura 4.4. Mapa de cobertura vegetal proyectado para el año 2030

Elaboración: Autor

La simulación de un probable cambio de uso de suelo y cobertura vegetal presente en la microcuenca, mostró una variación considerable en el caudal. Los resultados de la simulación del balance hídrico para el año 2030, se presentan en el anexo 4.

4.8. Análisis de variación de caudal y percolación.

La variación de caudal se determinó mediante la fórmula aplicada por (Arias, 2015). En donde se observó un aumento en la escorrentía para los meses establecidos como de época lluviosa, en especial en el mes de Mayo, mientras que en los meses de época seca el caudal sufre una disminución leve. La disminución de caudal más significativa se presencia en el mes de Agosto. Los resultados detallados anteriormente se presentan en la tabla 4.8., y en la figura 4.5.

Tabla 4.8. Variación de caudales simulados y proyectados.

VARIACIÓN DE CAUDAL PROMEDIO MENSUAL			
MES	Caudal base (m ³ /s)	Caudal Prospectivo (m ³ /s)	Porcentaje de variación (%)
Enero	3.89	4.48	15.17
Febrero	4.93	6.56	33.06
Marzo	6.64	7.45	12.20
Abril	5.96	7.3	22.48
Mayo	5.09	10.1	98.43
Junio	3.89	3.79	-2.57
Julio	2.95	2.82	-4.41
Agosto	1.91	0.98	-48.69
Septiembre	1.3	0.47	-63.85
Octubre	1.09	0.74	-32.11
Noviembre	1.63	2.24	37.42
Diciembre	1.75	2.35	34.29
TOTAL	41.03	49.28	20.11

Elaboración: Autor.

Aunque se observa una respuesta hidrológica diferente para época seca y lluviosa para cada escenario, de manera general se evidencia un incremento en la producción de caudales para el año 2030 con respecto al escenario base.

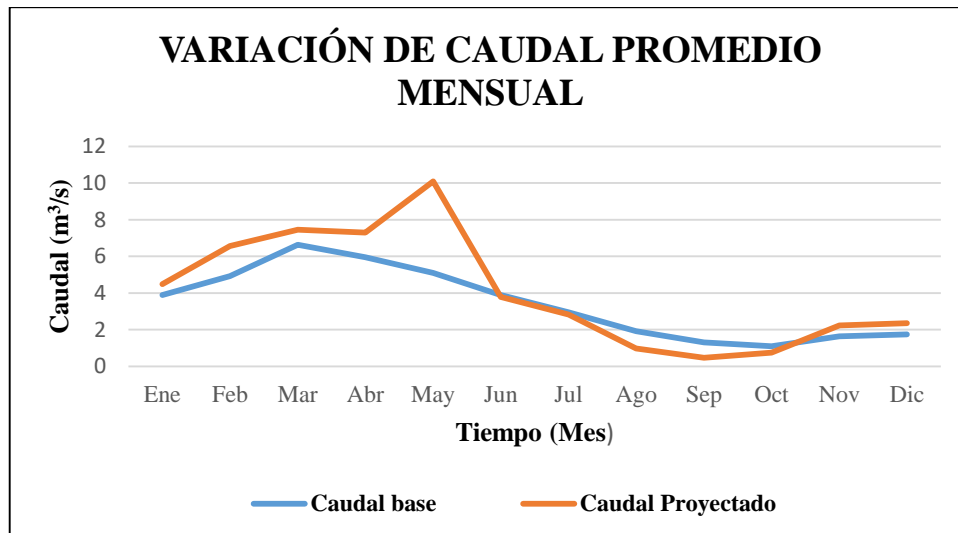


Figura 4.5. Variación de caudales promedio mensual para los escenarios base y proyectados.

Elaboración: Autor.

Se determinó que la percolación promedio anual, sufriría un decrecimiento de -18.33% para el escenario prospectivo con respecto al escenario base. Los valores de variación mensual se muestran en la tabla 4.9., y la figura 4.6., en el que se denota que en la mayoría de meses se reduce la percolación promedio, según los datos obtenidos por el modelo SWAT.

Tabla 4.9. Variación promedio mensual para el escenario base y escenario prospectivo.

VARIACIÓN DE LA PERCOLACIÓN MEDIA MENSUAL			
MES	Escenario base	Escenario Prospectivo	Porcentaje de variación
	(mm)	(mm)	(%)
ENERO	156.84	123.36	-21.3466
FEBRERO	109.47	120.68	10.240248
MARZO	134.09	98.06	-26.87001
ABRIL	132.09	110	-16.72345
MAYO	90.01	93.82	4.232863
JUNIO	48.78	14.17	-70.95121
JULIO	10.27	11.21	9.1528724
AGOSTO	8.85	0	-100
SEPTIEMBRE	17.12	0.04	-99.76636
OCTUBRE	10.43	13.51	29.530201
NOVIEMBRE	42.38	56.96	34.40302
DICIEMBRE	83.29	47.19	-43.34254
TOTAL	843.62	689	-18.33

Elaboración: Autor.

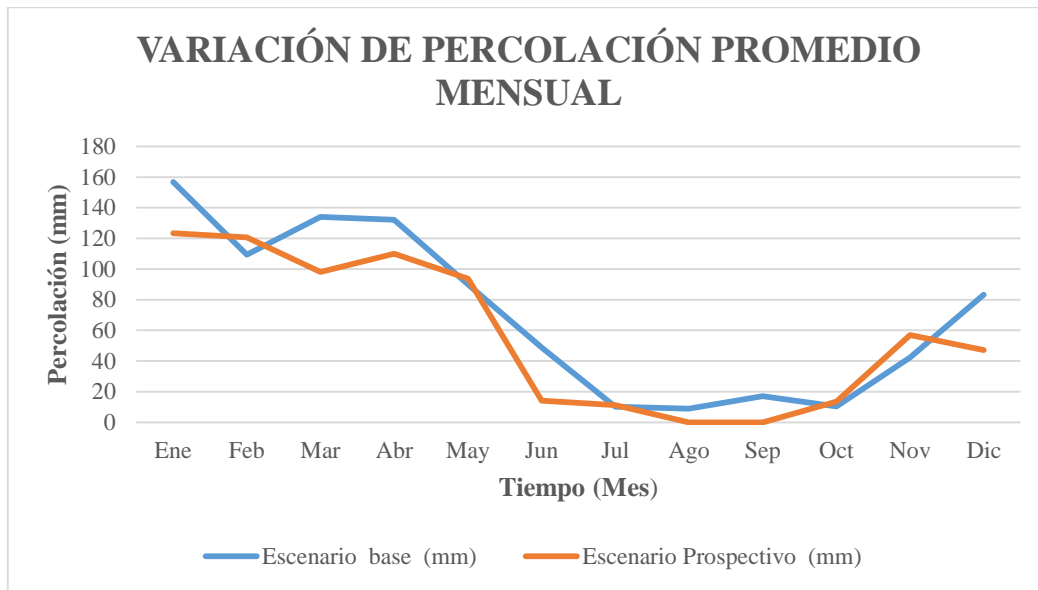


Figura 4.6. Variación de la percolación promedio para los escenarios base y prospectivo.

Elaboración: Autor.

Como se muestra en la gráfica 4.6 los meses de Marzo, Abril, Junio, Agosto, Septiembre y Diciembre sufren un decrecimiento drástico en el factor de percolación según el modelo SWAT.

4.9. Tasa de variación de deforestación y caudal.

Se estimó la tasa anual de pérdida de área para bosque, pastizal y cultivo para los períodos 2014-2015, 2020-2021 y 2029-2030 (tabla 4.10).y se determinó su relación con la variación en la producción de caudales como se muestra en la figura 4.7.

Tabla 4.10. Tasa anual de variación de cobertura vegetal y caudal para los períodos 2014-2015, 2020-2021 y 2029-2030.

AÑO	BOSQUE	PASTIZAL	CULTIVO	CAUDAL
2014-2015	-1.5	-0.079476	-0.281277	1.1
2020-2021	-10.5	-0.553476	-1.961277	7.7
2029-2030	-24	-1.185476	-4.481277	17.6

Elaboración: Autor.

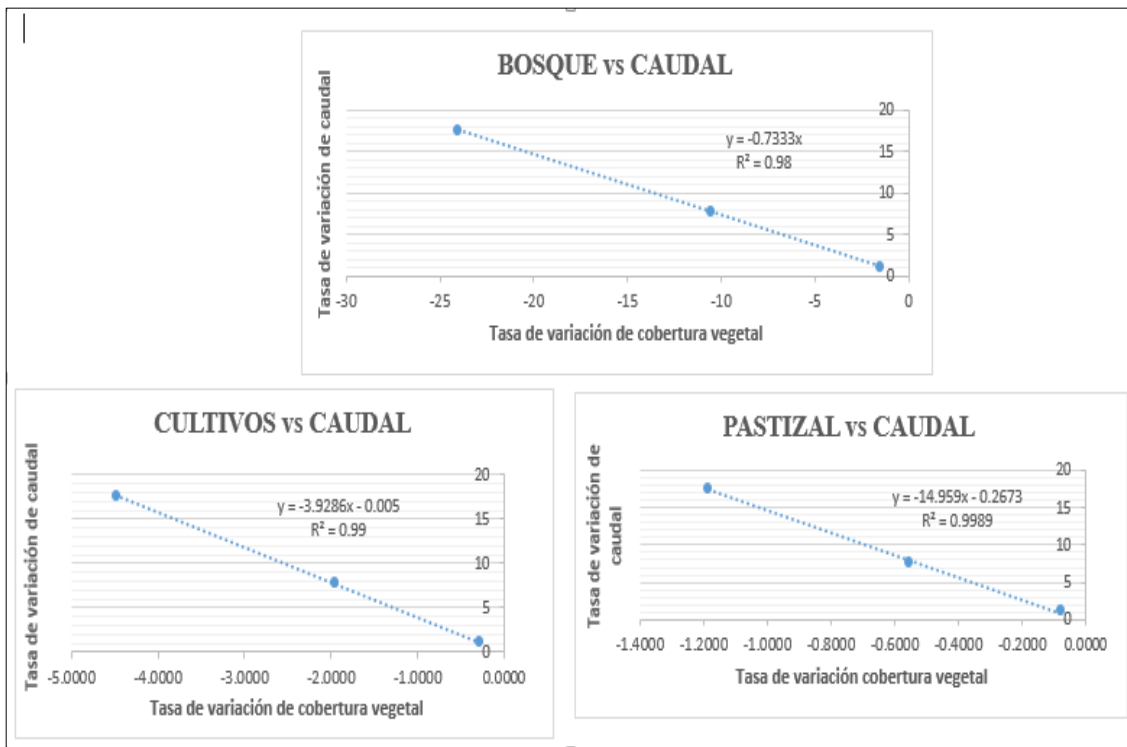


Figura 4.7. Análisis de correlación entre cobertura vegetal y caudales para los períodos 2014-2015, 2020-2021 y 2029-2030.

Elaboración :Autor.

El análisis de correlación lineal de Pearson entre las variables, se muestran en la figura 4.7. Se determinó una relación inversamente proporcional entre variables, ya que los valores de la tasa de cambio muestran que al disminuir la cobertura vegetal se incrementa la producción de caudales. Este efecto se evidencia a corto plazo ya que la disminución de la percolación para el período proyectado, podría afectar la capacidad de recarga del acuífero derivando en la disminución gradual de la escorrentía.

4.10. Oferta y demanda del recurso hídrico.

El caudal total promedio determinado en época lluviosa para el año 2014 fue de 5.067 m³/s, mientras que para época seca se determinó un caudal de 1.77 m³/s. Estos valores se restaron de 0.44 m³/s, que es el valor del caudal ecológico estimado para la microcuenca, obteniéndose un caudal aprovechable de 4.63 m³/s. finalmente se tomó este valor para determinar la demanda de recurso hídrico para cada habitante. Los resultados obtenidos se detallan en la tabla 4.11.

Tabla 4.11. *Demanda del recurso hídrico per cápita para el año 2014*

ÉPOCA	CAUDAL ESTIMADO	CAUDAL APROVECHABLE	POBLACIÓN ESTIMADA	DEMANDA DEL RECURSO HÍDRICO PER CÁPITA	
				(m ³ /s)	(L/s)
LLUVIOSA	5.067	4.63	772	0.0060	6.00
SECA	1.77	1.33		0.0017	1.72

Elaboración: Autor

Para el escenario prospectivo correspondiente al año 2030 se estimó una población aproximada de 973 habitantes según las proyecciones demográficas del (INEC, 2010). Además la simulación mostró un caudal proyectado de 6.61 m³/s en época lluviosa, mientras que en época seca se prevé un caudal promedio de 1.6 m³/s. los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12. *Demanda del recurso hídrico per cápita para el año 2030*

ÉPOCA	CAUDAL ESTIMADO	CAUDAL APROVECHABLE	POBLACIÓN ESTIMADA	DEMANDA DEL RECURSO HÍDRICO PER CÁPITA	
				(m ³ /s)	L/s
LLUVIOSA	6.61	6.17	973	0.0063	6.34
SECA	1.6	1.16		0.0012	1.20

Elaboración: Autor.

El modelo muestra un leve incremento en la producción de caudal para el año 2030 en comparación con el escenario base sin intervención minera para época lluviosa. Mientras que en época seca se evidenció un decrecimiento de caudal.

Discusión de resultados.

Al comparar el escenario base correspondiente al período 2010-2014 y al escenario prospectivo correspondiente al año 2030, se observó un incremento leve de caudal en época lluviosa, mientras que en época seca el caudal tiende a disminuir. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Urrutia (2016), en donde el autor concluyó que para su área de estudio la disminución del área forestal, conlleva a un aumento gradual en el caudal de escorrentía superficial. Uribe (2010), explica que aunque existe un aumento de escorrentía, también existe disminución en la capacidad de recarga de los acuíferos, reduciendo los flujos de retorno en época de estiaje. Pero la modificación de caudales no solo se debe al área, sino también al tipo de cobertura vegetal perdida (Hurtado *et. al*, 2014). Sánchez (2015), expone similares criterios, el autor resalta que este comportamiento se debe a que el agua que ingresa al sistema no se almacena

adecuadamente cuando se reemplaza la cobertura vegetal original, ocasionando posibles inundaciones y escasez del recurso hídrico en época lluviosa y seca respectivamente.

La información recopilada del taller participativo, reveló que actualmente el problema de las inundaciones es percibido por los habitantes de las comunidades, en los meses de mayor precipitación. Este problema podría acrecentarse, debido a que SWAT prevé un incremento de caudal del 20.11% para el año 2030.

Desde un punto de vista general se observa que los resultados de caudal total anual simulados para el escenario futuro, contrastan con los resultados expuestos por la (JICA, 1996) en su estudio de impacto ambiental, en donde menciona que el proyecto Junín; ahora Llurimagua, provocaría secamiento de las fuentes hídricas cercanas al proyecto. Pero un análisis más detallado muestra que los resultados de la empresa japonesa podría evidenciarse en la época de baja precipitación, ya que el modelo denota una disminución considerable de caudal, explicada de mejor manera en el análisis de demanda hídrica presentada anteriormente, en donde se destaca la disminución de volumen de agua aprovechable correspondiente para cada habitante, lo que representaría una seria amenaza a la seguridad hídrica de la población.

4.11. Estrategias de gestión hídrica encaminadas a prevenir, mitigar y conservar el recurso hídrico de la microcuenca del río Chalguayacu ante un escenario prospectivo de explotación minera.

Esta propuesta pretende convertirse en un instrumento o guía metodológica enfocada en generar un conjunto de acciones y operaciones encaminadas a resolver problemas actuales y posibles conflictos generados por el uso inadecuado del recurso hídrico. Es importante considerar el rol de las diferentes autoridades e instituciones inmersas en el área de estudio en el proceso de ejecución y monitoreo.

4.11.1. Datos Generales.

A continuación se detallan los datos generales de la propuesta de estrategias de gestión hídrica.

4.11.1.1. Vertientes hídricas.

Existen cinco reservas hídricas que abastecen a las comunidades de la microcuenca, de las cuales cuatro se ubican dentro del área de estudio, como se muestra en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13. Reservas hídricas de la microcuenca del río Chalguayacu.

NOMBRE DE LA RESERVA HÍDRICA	AÑO DE ESTABLECIMIENTO	ÁREA (Has)
Chalguayacu Bajo	2007	2
Junín 1	2003	5,4
Junín 2	2008	0,4
Junín 3	2009	1,3

Fuente: PDOT Parroquia de García Moreno, 2015.

Elaboración: Autor.

4.11.1.2. Abastecimiento y usos del recurso hídrico.

En el taller realizado por el proyecto V5e, los representantes de las comunidades existentes en la microcuenca, manifestaron que no cuentan con servicio de agua potable ni tratada y que su abastecimiento se realiza por medio de agua entubada.

En el caso de la comunidad de Junín sus representantes mencionaron que los principales usos que obtienen del recurso hídrico son agua para consumo humano y agua para bebedero animal. Por su parte, los representantes de la comunidad de Chalguayacu Alto y Chalguayacu bajo señalaron que usan el recurso hídrico para consumo humano, bebedero animal, riego y turismo. Los resultados se resumen en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14. Principales usos del recurso hídrico en la microcuenca.

PRINCIPALES USOS DEL RECURSO HÍDRICO	COMUNIDAD		
	JUNÍN	CHALGUAYACU ALTO	CHALGUAYACU BAJO
Consumo Humano	X	X	X
Bebedero Animal	X	X	
Riego		X	X
Turismo		X	

Fuente: Proyecto V5e.

Elaboración: Autor.

4.11.1.3. Descripción de la situación actual de la microcuenca

A continuación se describe la situación actual de la microcuenca de la que se partió para plantear las estrategias.

4.11.1.3.1. Descripción del problema.

Considerando los resultados de la caracterización del área de estudio y el modelamiento hidrológico se ha identificado un riesgo de pérdida de cobertura vegetal causada por la posible explotación de una mina a cielo abierto, especialmente en la parte alta de la cuenca. Mientras que en la parte media y baja se evidencia la intervención de cultivos y pastizales que han reemplazado la cobertura original. El modelamiento hidrológico de un escenario prospectivo de minería mostró un incremento de caudal en época de mayor precipitación, mientras que en época seca se observó una pérdida de caudal considerable especialmente en el mes de Septiembre, con respecto al escenario actual. Como se mencionó anteriormente este comportamiento se debe a la remoción de la cobertura original. Por lo que la propuesta se enfocará en la preservación del recurso hídrico.

Los problemas que afectan a la disponibilidad del recurso hídrico, se describen a continuación:

- Limitaciones institucionales, las cuales dificultan el desarrollo de proyectos.
- Contaminación de afluentes con aceites y agroquímicos en fuentes hídricas.
- Deforestación en la parte alta de la microcuenca.
- Avance de la frontera agrícola.
- Carencia de estrategias estatales para el desarrollo y conservación de ríos.

4.11.1.3.2. Elaboración de Matriz FODA.

En esta etapa se elaboró una matriz FODA con la que se determinó la situación actual de la microcuenca. Los elementos de la matriz se detallan en la Tabla 4.15

Tabla 4.15. *Elaboración de matriz FODA.*

Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Presencia de dos bosques protectores dentro de la microcuenca destinados a la conservación de especies.	Aumento en la demanda del turismo ecológico.	Difícil acceso a la microcuenca	falta de interés hacia los reclamos de las comunidades por parte del GAD Cantonal de Cotacachi
Existe una Junta de Agua con estructura organizada, manejada por un presidente y sus beneficiarios directos.	Existen áreas no aptas para actividades antrópicas donde se puede permitir procesos de regeneración natural.	Aumento de la extensión agrícola y ganadera en la parte media y alta de la cuenca.	Posible explotación de una mina a cielo abierto en la parte alta de la microcuenca del río Chalguyacu.
El análisis de balance hídrico aplicado a la microcuenca del río Chalguyacu para el año 2014 mostró un excedente de agua para los meses de Febrero, Marzo, Abril y Diciembre, el cual puede ser aprovechado.	Las diferentes entidades como Ministerio del Ambiente, y Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) municipales y parroquiales pueden brindar capacitaciones con base a la información generada por el proyecto VSE para la conservación del ecosistema.	Falta de control a la extracción maderera.	El escenario prospectivo de explotación minera prevé un aumento de caudal en época lluviosa y escasez del recurso en época seca.
Los moradores de las comunidades estudiadas son conscientes de la contaminación que se genera hacia el río Chalguyacu.	Aumento del número de asociaciones con enfoque de turismo ecológico en la zona.	Desconocimiento de la ley orgánica del recurso hídrico por parte de la población.	
	Mejoramiento de vías de acceso a la microcuenca debido a la implantación de un proyecto minero	Escasez de recurso hídrico en época seca	
		Condiciones climáticas dificultan el comercio a los moradores de la zona	
Valor paisajístico		Inundaciones por el aumento de caudal en época lluviosa	

Elaboración: Autor.

4.11.1.3.3. Identificación y análisis de involucrados

En este proceso se tomó en cuenta el interés y el poder de cada uno de los grupos y organizaciones que de una u otra forma se encuentran vinculados al área de estudio.

Tabla 4.16. *Matriz de análisis de involucrados.*

Ítem	Organización	Interés		Poder	
		Descripción	Puntuación/5	Descripción	Puntuación/5
1	ARCOM	agencia encargada de Control de las actividades mineras	5	Gestión a nivel nacional	5
2	Junta administradora de Agua	Mejoramiento organizativo y estructural	5	Autonomía de gestión Grupo interesado	3
3	GAD Parroquial García Moreno	Monitoreo y seguimiento de la propuesta de estrategias de gestión hídrica en conjunto con las comunidades inmersas en el área de estudio	5	Grupo organizado Coordinación con los demás GAD Autonomía financiera Gestión en toda la parroquia de García Moreno	4
4	GAD Municipal Cotacachi	Entidad encargada de aplicar la propuesta de estrategias de gestión hídrica	3	Gestión en todo el Cantón Cotacachi Crear ordenanzas Partidas presupuestarias	3
5	SENAGUA	Protección y manejo de fuentes hídricas	5	Gestión de los recursos hídricos. Gestión a nivel nacional	5
6	MAE	Uso sustentable de los recursos naturales estratégicos para alcanzar el buen vivir. Conservación de los ecosistemas.	4	Gestión a nivel nacional Rectoría de la gestión ambiental.	5
7	REI	Conservación y protección del recurso hídrico	5	Grupo organizado Grupo interesado	2
8	Comunidades	Conservación y protección del recurso hídrico	5	grupo interesado	2

Elaboración: Autor

En la Tabla 4.16. Se muestra a las organizaciones involucradas consideradas con mayor prioridad para el planteamiento de las estrategias de gestión hídrica. además en la figura 4.8., se observa en el cuadrante III las organizaciones prioritarias son las siguientes:

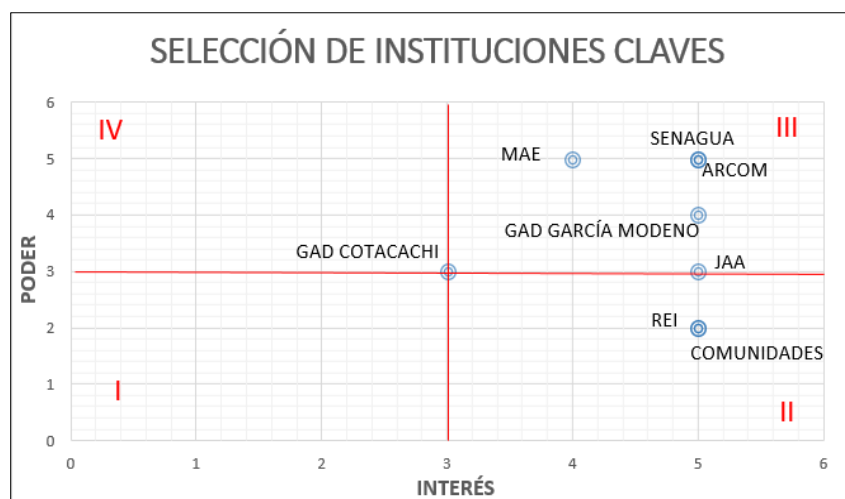


Figura 4.8. Determinación de organizaciones estratégicas.

Elaboración: Autor.

4.11.2. Objetivos de la Propuesta.

A continuación se describen el objetivo general y los objetivos estratégicos planteados:

4.11.2.1. *Objetivo general.*

Elaborar estrategias de gestión hídrica, encaminadas a prevenir, mitigar y conservar el recurso hídrico de la microcuenca del río Chaguayacu.

4.11.2.2. *Objetivos específicos.*

Establecer proyectos de conservación y recuperación de fuentes hídricas.

Impartir talleres de capacitaciones constantes en temáticas ambientales.

Conseguir un manejo adecuado de suelos de la microcuenca, con el fin de detener y prevenir procesos de degradación.

4.11.3. Estrategias de ejecución.

A continuación se describen las estrategias planteadas:

4.11.3.1. Estrategia 1: Prevención y Mitigación.

Esta estrategia está encaminada a proteger las fuentes hídricas de la microcuenca

Meta: Prevenir y mitigar las afectaciones negativas causadas por las malas prácticas ambientales, a partir de la ejecución de proyectos y actividades que promuevan la inclusión de la comunidad en el proceso de ejecución.

4.11.3.1.1. Proyecto 1: Recuperación de áreas intervenidas.

Justificación.

Este proyecto busca aumentar la cobertura vegetal perdida por las actividades antrópicas, entre las cuales se encuentra la minería, ya que se prevé un cambio de uso del suelo en un área del 15.15% del total de la microcuenca, con el fin de mejorar la captación y retención del recurso hídrico. La reforestación se realizará en áreas de mayor interés como zonas de pendientes pronunciadas, en donde la agricultura y pastizales han reemplazado a la cobertura vegetal original, y zonas cercanas a las fuentes de agua.

Objetivo.

- Recuperar las zonas degradadas por actividades antrópicas.
- Seleccionar las especies vegetales requeridas para la reforestación.
- Identificar las áreas de mayor interés.
- Incluir a las comunidades en el proceso de reforestación.

a) Actividad 1: Selección de especies nativas

Las especies se seleccionaran a partir de la aplicación de una ficha de evaluación ecológica rápida, en la cual se identificarán las especies vegetales nativas.

Resultados esperados: conocer las especies vegetales presentes en el lugar antes de la intervención antrópica.

Entidad responsable: Comunidades, Ministerio del Ambiente.

b) Actividad 2: Creación de un vivero forestal.

Para lo cual se requerirá de un espacio en donde se implementará el vivero que servirá para la producción, crecimiento y desarrollo de las plántulas seleccionadas anteriormente.

Resultados esperados: implementar un vivero forestal con especies nativas, el cual se encuentre manejado por las comunidades.

Entidad encargada: Comunidades, GAD Parroquial de García Moreno.

c) Actividad 3: Identificación de áreas degradadas por las actividades antrópicas.

Esta actividad requerirá de apoyo de técnicos expertos, para evaluar el estado de los espacios degradados.

Resultados esperados: Identificar zonas afectadas que requieran de recuperación.

Entidad responsable: Comunidades, MAE.

d) Actividad 4: Reforestación de especies nativas.

La reforestación se realizará con las especies nativas producidas en el vivero, con la participación de las comunidades.

Resultados esperados: reforestación de los espacios degradaos por las actividades antrópicas.

Entidad responsable: Comunidades, GAD Parroquial García Moreno, MAE.

4.11.3.1.2. Proyecto 2: Protección física de fuentes de abastecimiento hídrico.

Justificación.

En la zona de estudio las comunidades se abastecen principalmente de tres fuentes de agua ubicadas en la parte alta de la microcuenca. Actualmente estas fuentes se encuentran amenazadas por la invasión de ganado.

Objetivos.

Identificar el total de fuentes de abastecimiento del recurso hídrico.

Implementar un sistema de protección de fuentes hídricas.

a) Actividad 1: Identificación de las fuentes hídricas

Las fuentes hídricas se identificarán mediante recorridos guiados y entrevistas semiestructuradas a los habitantes de las comunidades inmersas en la microcuenca.

Resultados esperados: identificación del total de las fuentes de abastecimiento del recurso hídrico.

Entidad responsable: Juntas Administradoras de agua, SENAGUA.

b) Actividad 2: implementación de cercado

Dentro de esta actividad se plantea la implantación de un cercado con poste de cemento y alambre de púas, dispuestos alrededor del área de captación de agua.

Resultados esperados: protección física de las fuentes de captación por factores externos como la ganadería.

Entidad responsable: Comunidades, Juntas Administradoras de agua, SENAGUA.

4.11.3.2. Estrategia 2: Educación Ambiental.

Esta estrategia se enfoca en la propuesta de diversos talleres sobre temática ambiental, dirigidos a los habitantes de la microcuenca.

Meta: Fomentar en los habitantes una cultura de conservación del recurso hídrico.

4.11.3.2.1. Proyecto 1: buenas prácticas ambientales.

Meta: Promover en los pobladores de las comunidades actitudes de conservación del recurso hídrico, mediante la ejecución de talleres de capacitación.

Justificación.

La información obtenida en el taller realizado sobre el estado actual de la microcuenca muestra una falta de conciencia ambiental por parte de la población. Por lo que esta estrategia debe enfocarse en educación y capacitación en temas de conservación del recurso hídrico.

Se desarrollarán talleres de capacitación dirigidos hacia los usuarios del recurso hídrico y Juntas administradora de agua a fin de impulsar el desarrollo sustentable del recurso hídrico de la

microcuenca del río Chalguyacu, mediante la generación de conocimientos encaminados a disminuir y prevenir malas prácticas ambientales, que afectan directa e indirectamente al agua. Los talleres de capacitación se impartirán una vez cada tres meses mediante convocatoria de la junta administradora de agua y los temas de mayor prioridad a tratar son: el manejo adecuado y uso del recurso hídrico, legislación vigente, conservación de suelos y prevención de incendios forestales.

Objetivo.

Educar y capacitar a los habitantes de la microcuenca del río Chalguyacu, en temáticas ambientales enfocadas en mantener y conservar el recurso hídrico.

Ampliar conocimientos concernientes a educación ambiental, promoviendo el uso de técnicas y métodos que faciliten la comprensión de los asistentes.

a) Actividad 1: Talleres de socialización de la propuesta de estrategias e gestión hídrica

Los pobladores de las comunidades inmersas en el área de estudio son conscientes de los impactos que muchas de sus actividades productivas generan al recurso hídrico, este problema podría acrecentarse debido a la escasez de medidas de control, prevención y mitigación.

La presente actividad pretende socializar en cooperación con representantes del GAD Cantonal y GAD Parroquial, Junta administradora de agua y presidentes comunales, las acciones e insumos requeridos para la ejecución de la propuesta de estrategias encaminadas al manejo adecuado del recurso hídrico.

Objetivos

Fomentar la participación de la población inmersa en el área de estudio con el fin de corregir y ampliar la propuesta de estrategias.

Involucrar de manera activa a los habitantes de las comunidades del área de estudio en la ejecución de las actividades propuestas.

Aportar a las comunidades información referente a la situación actual del recurso hídrico en la microcuenca.

Resultados esperados: Participación activa de las comunidades para el conocimiento de la propuesta de gestión hídrica

Entidad responsable: GAD Cantonal de Cotacachi, CAG Parroquial de García Moreno.

a) **Actividad 2:** Taller de manejo y conservación del recurso hídrico.

Este taller estará a cargo de técnicos de SENAGUA y Ministerio del Ambiente, quienes impartirán conocimientos referentes a legislación ambiental e hídrica vigente y conservación del recurso hídrico.

Objetivos.

Educar y capacitar a los habitantes de la microcuenca del río Chalguayacu, en temáticas ambientales enfocadas en mantener y conservar el recurso hídrico.

Resultados esperados.

Los principios, reglamentos, artículos y conceptos dispuestos en la legislación ambiental e hídrica vigente fueron asimilados de manera aceptable por los participantes del taller. Además se asimilaron conocimientos referentes a conservación del recurso hídrico e importancia de los bosques y proceso mineros, Fomentando en los asistentes un sentido de conciencia ambiental

Entidad encargada: MAE, SENAGUA.

b) **Actividad 3:** Taller de buenas prácticas agrícolas

Justificación.

Considerando la situación actual de la microcuenca se determinó que uno de los temas prioritarios era disminuir los factores tensionantes hacia el recurso hídrico ocasionados por las malas prácticas agrícolas. Este taller pretende ampliar los conocimientos de los asistentes en técnicas de producción más limpias.

Objetivo.

Esta actividad busca es promover en los pobladores de la microcuenca una cultura de prácticas agrícolas más amigables con el ambiente.

Resultados esperados:

Participación activa en el taller por parte de los asistentes.

Los pobladores apliquen los conocimientos adquiridos en el taller.

Disminución de incendios ocasionados por los pobladores.

Entidad responsable: MAE

La estructura de los talleres se dispondrá de la siguiente manera (tabla 4.17.):

Tabla 4.17. *Esquema estructural de Talleres.*

MES	TALLER	TEMAS DE CAPACITACIÓN	RESULTADOS OBTENIDOS	ENTIDAD ENCARGADA
MES 1	Taller de socialización de la propuesta de estrategias de gestión hídrica	Datos obtenidos para los escenarios propuestos en la presente investigación. Estrategias y proyectos propuestos	Participación activa de las comunidades para el conocimiento de la propuesta de gestión hídrica	GAD Cantonal Cotacachi
MES 2	Manejo y conservación del recurso hídrico	Ley Orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento. Derechos de la naturaleza. Conservación del recurso hídrico Importancia de los bosques Procesos mineros y recurso hídrico	Conocimiento de la Legislación vigente. Fomentar un sentido de conciencia ambiental en la población	SENAGUA MAE
MES 3	Buenas prácticas agrícolas	Manejo y Conservación de suelos Agroecología Técnicas agroecológicas. Prevención de incendios	Los pobladores apliquen los conocimientos adquiridos en sus actividades productivas	MAE

Elaboración: Autor.

4.11.3.2.2. *Proyecto 2: Proyecto de señalización de fuentes de captación.*

a) **Actividad 1:** obtención de señalética

Se requerirá de tres letreros informativos hechos de madera los cuales se ubicaran en cada una de las fuentes hídricas. Los letreros deberán contar con las siguientes características:

- Dimensiones de 1.20 m de altura x 2.00 m de largo.
- Nombre de la fuente hídrica.
- Altitud
- Número de beneficiarios.

Resultados esperados: Se gestionaron los letreros correspondientes para cada fuente hídrica.

Entidad responsable: GAD Cantonal de Cotacachi, Junta Administradora de agua.

b) **Actividad 2:** implementación de señalética.

Resultados esperados:

Incluir a la comunidad en el proceso de colocación de señalética.

Los usuarios de la fuente hídrica interpretan de manera adecuada la información detallada en cada señalética.

Entidad responsable: Comunidades, Junta Administradora de agua.

4.11.3.3. Estrategia 3: Monitoreo y seguimiento.

Meta: Esta estrategia está encaminada a promover la participación de los habitantes de las comunidades en los procesos de desarrollo de mecanismos y acciones orientadas a la gestión del recurso hídrico. Cumpliendo con el artículo 12 de la ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento.

4.11.3.3.1. Proyecto 1: monitoreo sistemático de las fuentes de agua.

Objetivo:

Crear una comisión encargada de monitorear el estado de las fuentes de agua.

Impulsar el mantenimiento de la cobertura vegetal aledaña a las fuentes de agua.

Impulsar programas de recuperación ambiental a nivel escolar.

a) **Actividad 1:** Monitoreo sistemático de caudales.

Se realizarán campañas de aforo periódicas en las partes alta, media y baja de la microcuenca, creando un registro histórico de caudales, a fin de monitorear el estado del caudal del río, el cual sirva como línea base para la implantación de futuras estrategias encaminadas a preservar el recurso hídrico. Mediante la ejecución de esta actividad se podrían establecer un caudal máximo, caudal mínimo y un caudal ecológico, además de evaluar la disponibilidad hídrica una vez implantado el proyecto minero.

Resultados esperados: Se logró recopilar información hídrica referente a caudal de manera periódica, la cual sirvió para el planteamiento de futuras estrategias de gestión hídrica.

Entidad responsable: ARCA, SENAGUA.

b) **Actividad 2:** Monitoreo sistemático de áreas recuperadas.

Se realizará el monitoreo de las áreas que fueron reforestadas y recuperadas, mediante estudios técnicos dirigidos por expertos.

Resultados esperados: Se logró monitorear el total de las áreas recuperadas y reforestadas.

Entidad responsable: Ministerio del Ambiente.

a) **Actividad 3:** Creación de la comisión de veeduría

La comisión está conformada por los representantes de las comunidades o grupos interesados, conforme al artículo 70 de la ley de recursos hídricos, usos y aprovechamiento y artículo 78 de la ley de participación ciudadana. La cual se encargará de monitorear el estado de las fuentes de agua cercanas a la concesión minera, además podría identificar falencias en el sistema de gestión del recurso hídrico en la microcuenca.

Resultados esperados:

La comisión de veeduría ayuda a detectar falencias en el mantenimiento e infraestructura de distribución del recurso hídrico.

La comisión tomará parte activa en la elaboración del plan de mejora conforme dicta el artículo 51 de la ley de recursos hídrico, usos y aprovechamiento.

Entidad responsable: Comunidades, Junta de agua.

CONCLUSIONES.

1. El análisis de balance hídrico aplicado a la microcuenca del río Chaguayacu para el año 2014, mostró un excedente de agua para los meses de Febrero, Marzo, Abril y Diciembre, mientras que para el resto de meses se evidencia déficit del recurso hídrico.
2. Para el escenario base se determinó un caudal aprovechable de 4.63 m³/s en época lluviosa y de 1.33 m³/s en época seca. Relacionando estos valores con el número total de habitantes de la microcuenca se obtuvo una demanda del recurso hídrico per cápita de 6 L/s y 1.72 L/s para época lluviosa y época seca respectivamente.
3. Una vez culminado el proceso de calibración, los resultados de la simulación mostraron un coeficiente de regresión y correlación de $R^2 = 0.876$, y de 0.96 según los criterios de Nash-Sutcliffe. Estos valores indican que el modelo representó de manera precisa el comportamiento hidrológico de la subcuenca del río Guayllabamba, y posteriormente a la microcuenca en estudio. La precisión en los resultados obtenidos se atribuye a la preparación previa de los datos climáticos.
4. Bajo un escenario prospectivo de explotación minera en el área de estudio, se determinó que un 14.69% de la cobertura vegetal original sería sustituida por suelo desnudo y un 0.46% por la categoría de zona industrial, dando un total de 15.15% de cobertura vegetal reemplazada lo cual ocasionaría que la producción anual de caudales aumente en un 20.11%, y que la percolación disminuya en un 18.33% para este año. Esto se debe a que al remover la cobertura original de la microcuenca se elimina la capacidad de retención del agua del ecosistema, reduciendo el flujo de retorno en época de baja precipitación.
5. La demanda hídrica per cápita para el escenario prospectivo sería de 6.34 L/s para época lluviosa y de 1.20 L/s para época seca. Estos valores exponen la variación de caudal con respecto al escenario base. Evidenciándose un incremento en época de mayor precipitación y por el contrario disminución en época de estiaje.
6. Se determinó una relación inversamente proporcional entre la tasa de cambio de cobertura vegetal y producción de caudales para los períodos 2014-2015, 2020-2021, 2029-2030; detallado mediante el análisis de correlación lineal de Pearson, ya que la disminución en la cobertura vegetal genera un aumento de escorrentía, pero decrecimiento en la capacidad de retención del ecosistema, detallado en el análisis de variación de la percolación. Por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0) en donde no se denota afectación al caudal de la microcuenca del río Chaguayacu para el año 2030, y se acepta la hipótesis alternativa (H_a) que menciona

que el cambio de uso del suelo proyectado para el año 2030 modifica la producción de agua de la microcuenca del río Chalguyacu.

7. Las estrategias enfocadas en preservar el recurso hídrico de la microcuenca son: a) Prevención y mitigación, b) Educación Ambiental y c) Monitoreo Y seguimiento. Las estrategias y actividades propuestas en la investigación pueden ser ejecutadas de manera conjunta por las instituciones públicas y privadas interesadas en el manejo y conservación del recurso hídrico y los ecosistemas, considerando además a las comunidades inmersas en el área de estudio como beneficiarios y actores importantes en el proceso de ejecución, monitoreo y control.

RECOMENDACIONES.

1. Ya que el presente estudio se enfocó en analizar la cantidad de recurso hídrico para cada escenario. Se recomienda profundizar más en el análisis de producción de sedimentos obtenidos por el modelo, para la microcuenca.
2. Se recomienda considerar la presente investigación como aporte en la actualización del Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón de Santa Ana de Cotacachi, a fin de que sea integrado en un modelo estratégico aplicable a procesos de toma de decisiones enfocados en conservación del recurso hídrico.
3. Se recomienda replicar la presente investigación en otras cuencas afectadas por posibles cambios de uso de suelo en el país, con la finalidad de obtener estudios comparativos, que sirvan como aporte para el desarrollo local.

5. REFERENCIAS.

- Abad Encalada, I. O. (2014). *Estimación de precipitación espacial mediante correlación con variables secundarias y la ayuda de tecnologías de información geográficas*. (Tesis de maestría). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Acosta, A. F., & Kucharsky, O. A. (2012). *Estudio edafológico y de cobertura para la modelación hidrológica con el modelo SWAT de la microcuenca Santa Inés, Honduras* (tesis de pregrado). Universidad Zamorano, Zamorano, Honduras
- Aráoz, H. (2010). *Agua y Minería Transnacional. Desigualdades hídricas e implicaciones biopolíticas*. Universidad Nacional de Catamarca, Argentina.
- Arias, D. (2015). *Vulnerabilidad al cambio climático e inseguridad hídrica: el caso de la cuenca del río Pichaví*. (Cotacachi-Ecuador). (Tesis de Maestría). Universität Heidelberg. Santiago de Chile, Chile.
- Arroyo, L., Heidinger, H., Araya, E. (2010). *Modelo hidrológico SWAT como herramienta para procesos de toma de decisión*. (Informe técnico N° 14). Recuperado de <http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/08/00398-folletomodelohidrologicoswat.pdf>
- Barbudo, L., Ochoa, J., y Verbel, E. (2016). *Aplicación del modelo SWAT en el estudio hidrosedimentológico de la cuenca de la quebrada San Pedro en el municipio de Curumaní, departamento del Cesar* (tesis de pregrado). Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.
- Benavides, J., González, M., López, C., y Valdez, J. (2008). Oferta hídrica de la cuenca forestal Tapalpa, Jalisco, orientada hacia los servicios ambientales. *Madera y bosques*, 14(2), 05-28.
- Bergstrom, S. (1991). Principles and confidence in hydrological modeling. *Nordic Hydrology*, 22(2), 123-136
- BID. (2009). *Water: a threatened resource in Latin America and the Caribbean*, Washington, Nov 17. Recuperado de: <http://www.iadb.org/es/noticias/anuncios/2009-11-17/hoja-informativa-agua-un-recurso-en-jaque-en-america-latina-y-el-caribe,5956.html>
- Boyd, J. & Banzhaf, S. (2007). what are ecosystem services? the need for standardized environmental accounting units. *ecological economics*, 63(2), 616-626

- Cabascango, I., y Walter, M. (2015). *Modelación de cambios de usos y coberturas de la tierra bajo un escenario tendencial y restrictivo en la microcuenca Santa Inés* (tesis de pregrado). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Zamorano, Honduras.
- Cabrera, J. (2012). *Modelos hidrológicos*. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Perú.
- Campos, A., Sinichenko, E., Gritsuk, I. (2014). *Disponibilidad del recurso hídrico en el Ecuador*. Recuperado de: http://www.academia.edu/8618821/Disponibilidad_de_agua_en_Ecuador_2014
- CONTEMA-OLACEFS. (2014). *Auditoría Coordinadora sobre Recursos Hídricos. Informe Regional*. Recuperado de <http://www.olacefs.com/wp-content/uploads/2015/06/004.pdf>
- Chirinos, L., y Mallqui, C. (2016). Comparación entre Interpoladores Espaciales en el Estudio de Distribución de Partículas Sedimentables Insolubles en la Cuenca Atmosférica de Lima y Callao. *Información tecnológica*, 27(4), 111-120.
- Chuvieco, E. (1996) Fundamentos de teledetección espacial. Tercera edición. Ediciones RIALP S.A., Madrid. 568
- Cuyo, J. (2016). *Propuesta metodológica para el pronóstico de la demanda de agua potable a corto plazo (Días, semanas, meses) en la planta de tratamiento de agua potable de bellavista en el norte de la ciudad de Quito*. (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Daofeng, L., Ying, T., Changming, L., & Fanghua, H. (2004). Impact of land-cover and climate changes on runoff of the source regions of the Yellow River. *Journal of Geographical Sciences*, 14, 330–338.
- Del Río, J. (2010). *Introducción al tratamiento de datos espaciales en la hidrología*. España: Bubok
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics*, 41(3), 393-408.
- Díaz, G., Sánchez, I., Quiroz, R., Garatuza, J., Watts, C. y Cruz, I. (2008). Interpolación espacial de la precipitación pluvial en la zona de barlovento y sotavento del Golfo de México. *Agricultura técnica en México*, 34(3), 279-287. Recuperado en 08 de noviembre de 2016, de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000300002&lng=es&tlng=e.

- Diaz, S., Fargione, J. Chapin III & S. Tillman, D. (2006). Biodiversity loss threatens human well-beings. *PLoS*, 4(8), 1300-1301. doi: 10.1371/journal.pbio.0040277
- Dwarakish, G, y Ganasri, B. (2015). Impact of land use change on hydrological systems: A review of current modeling approaches. *Cogent Geoscience*,1(1).
- ENTRIX, INC Cardno. (2014). *Estudio de impacto ambiental y plan de manejo ambiental para la fase de exploración avanzada para minerales metálicos de la Concesión Minera N° 403001*. Quito.
- Fattorelli, S., & Fernández, P. (2011). *Diseño Hidrológico 2da. Edición*. Recuperado de: http://www.ina.gov.ar/pdf/Libro_diseno_hidrologico_edicion_digital.pdf
- Ferrando, F. (2015). Alcances en torno a la gestión ambiental a nivel de cuencas hidrográficas. *Tiempo y Espacio*, (13), 175-184.
- Fries , A., Rollenbeckb, , R., Nauß, T., & Bendixb, J. (2012). Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization. *Agricultural and Forest Meteorology* 152, 17– 30.
- Galván, L., Olías, M., Villarán, R., y Santos, J. (2007). Aplicación del modelo hidrológico SWAT a la cuenca del rio Meca (Huelva, España).*Geogaceta*, 42, 63-66.
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Delgado, M., & Besteiro, S. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Buenos Aires, Argentina: EDULP.
- Green, W.H. y G. A. Ampt. 1991. Studies on soil physics, 1. The flow of air and water through soils. *Journal of Agricultural Sciences* 4(1)1-24.
- Greiber, T. (2010). *Pago por servicios ambientales. Marcos Jurídicos e Institucionales*. Gland, Suiza: UICN.
- Guerrero, E., De Keizer, O., Córdoba, R. (2006). *La Aplicación del Enfoque Ecosistémico en la Gestión de los Recursos Hídricos*. UICN. Quito: Fraga.
- Holdridge, L. (1987).*Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica: Agroamérica

- Hengl, T. (2009). A practical guide to geostatistical mapping. Recuperado de: www.lulu.com
- Hurtado, P., Cohen, I., Arriaga, G., Rodríguez, M., y Valle, M. (2014). Impacto del cambio en la vegetación sobre el escurrimiento utilizando el modelo swat. *AGROFAZ*, 14(2).
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS. (2010). *Censo de población y vivienda 2010*. Recuperado de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-2010/>
- Japan International Cooperation Agency. (1996). *Informe final sobre la exploración mineral de cooperación técnica en las áreas de Junín y Cuellaje, República del Ecuador*. Metal Mining Agency of Japan (MMAJ).
- Jiang, T., Chen, Y. D., Xu, C.-Y., Chen, X., Chen, X., y Singh, V. P. (2007). Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China. *Journal of Hydrology*, 336(3), 316–333.
- Keith E. Saxton y Walter Rawls. 2009. *Introducción al programa "Soil Water Characteristics" Hydraulic Properties Calculator*. Tutorial creado para la Maestría de Cuencas Hidrográficas de la Escuela de Bosques. Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires. Argentina.
- Knee, K., y Encalada, A. (2012). *La calidad de agua en la zona de Intag (Imbabura) y su relación con el uso del suelo, Ecuador*: Karen Knee DECOIN.
- Kocian, M. Barker, D. Harrison-Cox, J. (2011). *Estudio ecológico de la región de Intag, Ecuador: Impactos ambientales y recompensas potenciales de la minería*. Tacoma, Estados Unidos: Earth Economics.
- Kuhn, R. (2011). *No todo lo que brilla es oro: conflictos socio ambientales alrededor de dos proyectos de minería a gran escala en el Ecuador*. (Tesis de Maestría), Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador, Quito, Ecuador.
- Lam, N. S. N. (1983). Spatial interpolation methods: a review. *The American Cartographer*, 10(2), 129-150.
- Latorre, S., Walter, M & Larrea, C. (2015). *Intag, un territorio en disputa*. Quito, Ecuador: Abya-Yala.
- Leal, M. C., & Morales, J. F. (2013). Implicaciones ambientales y sociales del modelo extractivista en Colombia. En Garay, L., & Jorge, L. (Ed). *Minería en Colombia: Fundamentos para superar el modelo extractivista*. Bogotá, Colombia: Contraloría General de la Nación.

- López, A., Delgado, K. (2009). *Modelación Hidrológica de la Subcuenca Lempa Alto, en Cooperación con la Comisión Trinacional del Plan Trifinio (El Salvador, Honduras, Guatemala)*. Universidad Salvador, Santa Ana.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. (2005). *Ecosystems and Human Well-being*. Informe de síntesis. Borrador final. Recuperado de: <http://www.unep.org/maweb/documents/document.439.aspx.pdf>.
- Machado Aráoz, H. (2010). Agua y minería transnacional. Desigualdades hídricas e implicaciones biopolíticas. *Revista Proyección*, (9).
- Miranda Salas, M, y Condal, A. R. (2003). Importancia del análisis estadístico exploratorio en el proceso de interpolación espacial: caso de estudio Reserva Forestal Valdivia. *SCIELO*, 24(2), 29-42
- Mishra, A., Kar, S., & Singh, V. P. (2007). Prioritizing structural management by quantifying the effect of land use and land cover on watershed runoff and sediment yield. *Water Resources Management*, 21(11), 1899-1913.
- Morillo, J., Pozo, J., Pérez, F., Rodríguez, M. C., Gordillo, F., & Rebollo, J. (2002). *Análisis de calidad de un modelo digital de elevaciones generado con distintas técnicas de interpolación*. In XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica (pp. 5-7).
- Moreano Viteri, R. J. (2008). *Sistema de información para la interpolación espacial y temporal de datos sobre el tiempo atmosférico y el clima del Ecuador*. (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Morales, L., Heidinger, H. & Morales E. J. (2010). *Modelo Hidrológico SWAT como Herramienta para Procesos de Toma de Decisiones*. San José, Costa Rica.
- Murillo, D., Ortega, I., Carrillo, J. D., Pardo, A., & Rendón, J. (2015). Comparación de métodos de interpolación para la generación de mapas de ruido en entornos urbanos. *Ingenierías USBmed*, 3(1), 62-68.
- Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part 1. A discussion of principles. *J. Hydrology* 10(3) 282-290.
- Oñate Valdivieso, F. Y Galo Aguilar Naranjo, (2003). *Aplicación del modelo SWAT para la estimación de caudales y sedimentos en la cuenca alta del río Catamayo*. Arequipa, Perú.

- Ortiz, A., Mendoza, M. E., & Bravo, M. (2010). *Implementación del modelo hidrológico SWAT: modelación y simulación multitemporal de la variación de escorrentía en la Cuenca del lago de Cuitzeo*. Instituto Nacional de Ecología: Distrito Federal, México.
- Pacheco, C., Barrios, A. (2004). Evaluación de métodos de interpolación en la construcción de un modelo digital de elevación con fines hidrológicos: aplicación en una cuenca andina de montaña. *Revista Forestal Venezolana*, 2(048).
- Palacios, M. Á. (2015). ¿Agua Sí, Mina No?: La Guerra por el Acceso y Aprovechamiento del Recurso Hídrico en el Sur del País. *Derecho & Sociedad*, (35), 62-79.
- Parra, O. (2009). *Gestión integrada de cuencas hidrográficas*. Centro de Ciencias ambientales. Universidad de Concepción, Chile.
- Post, D. A., & Jones, J. A. (2001). Hydrologic regimes of forested, mountainous, headwater basins in New Hampshire, North Carolina, Oregon and Puerto Rico. *Advances in Water Resources*, 24(9), 1195–1210.
- Postel, S. y S. Carpenter. (Ed). (1997). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Washington, EE.UU: Island Press.
- Portilla Claudio, A. H. (2011). *Valoración económica de los beneficios del servicio ecosistémico regulación hídrica para una propuesta de pago por servicio ecosistémico hídrico en la cuenca del río Jequetepeque, Perú* *Economic valuation of ecosystem service benefits for a proposed water regulation of ecosystem service payment for water in the basin of Jequetepeque, Perú*. (Tesis de maestría). CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Proyecto Tacaná- UICN (2009). *Guía para la elaboración de planes de manejo de microcuencas*. San Marcos, Guatemala: UICN.
- Puyravaud J. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management* 177(1-3), 593-596.
- Restrepo Calle, S. (2014). *Estado de los humedales de la cuenca alta del río Otún (Departamento de Risaralda, Colombia), una reinterpretación desde la estadística espacial*. (Título de maestría). Universidad San Francisco de Quito. Quito-Ecuador.
- Rodríguez, E. M. (2007). Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una PYME. *Anuario jurídico y económico escurialense*, (40), 523-542.

- Rosales, E. (2012). *Metodología y estimación del balance hídrico de la cuenca del Usumacinta*.
https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2013/01/metodologia_y_estimacion_del_balance_hidrico_cuenca_usumacinta.pdf
- Ruelland, D., Ardoin-Bardin, S., Billen, G., & Servat, E. (2008). Sensitivity of a lumped and semi-distributed hydrological model to several methods of rainfall interpolation on a large basin in West Africa. *Journal of Hydrology*, 361, 96–117.
- Sánchez, H. (2015). *Simulación hidrológica de la Cuenca del río Alambí en Nanegal frente al cambio del uso de suelo y su impacto en el recurso hídrico*. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Quito.
- Sangarun, P., Srisang, W., Jaroensutasinee, K. and Jaroensutasine, M. (2007). *Cloud Forest Characteristics of Khao Nan, Thailand*. World Academy of Science, Engineering and Technology.
- SENAGUA, (2012). *Servicio de descarga y geo información*. Recuperado de: <http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/>
- Shen y Phanikumar, 2010 Shen, C., & Phanikumar, M. S. (2010). A process-based, distributed hydrologic model based on a large-scale method for surface–subsurface coupling. *Advances in Water Resources*, 33, 1524–1541.
- Silva, I. (2003). *Metodología para la elaboración de estrategias de desarrollo local*. Chile, Santiago de Chile: Naciones Unidas, CEPAL.
- Singh, V. (1995). *Computer models of watershed hydrology*. Colorado: Original Published Edition.
- USDA Soil Conservation Service. (1972). Hydrology, Section 4. *National Engineering Handbook*. US Government Printing Office, Washington, DC, USA.
- Teegavarapu, R. & Chandramouli, V. (2005). Improved weighting methods, deterministic and stochastic data driven models for estimation of missing precipitation records. *J. Hydrol.* 312(1-4).
- Thanapakpawin, P., Richey, J., Thomas, D., Rodda, S., Campbell, B. y Logsdon, M. (2006). Efectos del cambio de uso de la tierra en el régimen hidrológico de la cuenca del río Mae Chaem, NW Tailandia. *Journal of Hydrology*, 334, 215-230.

- Torres-Benites, E., Mejía-Sáenz, E., Cortés-Becerra, J., Palacios-Vélez, E. y Exebio-García, A. (2005). Adaptación de un modelo de simulación hidrológica en la cuenca del río Laja, Guanajuato, México. *Dialnet plus*, 39(5), 486.
- Umañas, E. (2002). Manejo de cuencas hidrográficas y protección de fuentes de agua. *Taller de capacitación "Educación ambiental con enfoque en cuencas y prevención de desastres. Universidad Nacional Agraria. San Nicolás, Nicaragua.*
- Uribe, N. Valencia, J. (2010). *Impacto del uso de la tierra en la generación de caudales y sedimentos: caso cuenca del río Tunjuelo-Cundinamarca.* Informe final. Recuperado de http://oab.ambientebogota.gov.co/apc-aa-files/57c59a889ca266ee6533c26f970cb14a/Informe_Final_Tunjuelo_Julio.pdf
- Urrutia, M. (2016). *Aplicación del modelo SWAT para la simulación del ciclo hidrológico de la cuenca alta del río San Juan bajo la influencia de la actividad minera.* (Tesis de posgrado). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá.
- Valdivieso, F. O., & Naranjo, G. A. (2003). Aplicación del modelo SWAT para la estimación de caudales y sedimentos en la cuenca alta del río Catamayo. *Tercer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográfica* (pp. 8-13).
- Vanfhowegen, P., Jaspers, F. (2000). *Marco analítico para el manejo de recursos hídricos lineamientos para la evaluación de marcos institucionales.* Washington D.C. Estados Unidos.
- Varela, M. (2010). *Las actividades extractivas en Ecuador*, en Ecuador Debate No 79. Quito, Ecuador.
- Varela, M. (2011). *Las relaciones entre estado, comunidades locales y empresas transnacionales en la dinámica de conflictos socioambientales en América latina; caso de Íntag en el Ecuador.* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Verburg, P.H., Overmars K.P. (2009). Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the DynaCLUE model. *Land Ecology*, 24(9), 1167-1181.
- Wilkinson, J. (2010). *Agua y Tierra en América Latina: Estrategias Globales Y Políticas.* Rio de Janeiro. Documento preparado para el Proyecto sobre Cambios Geopolíticos Globales y su impacto en las Democracias Latinoamericanas. Recuperado de: <http://www.plataformademocratica.org/Archivos/Agua y tierra en América Latina.pdf>.

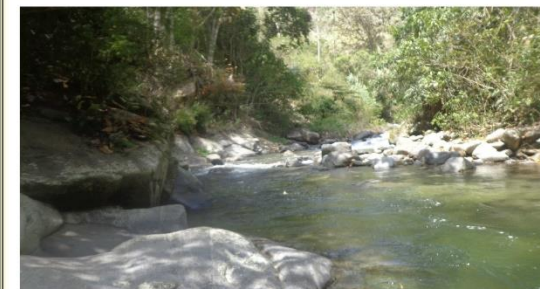
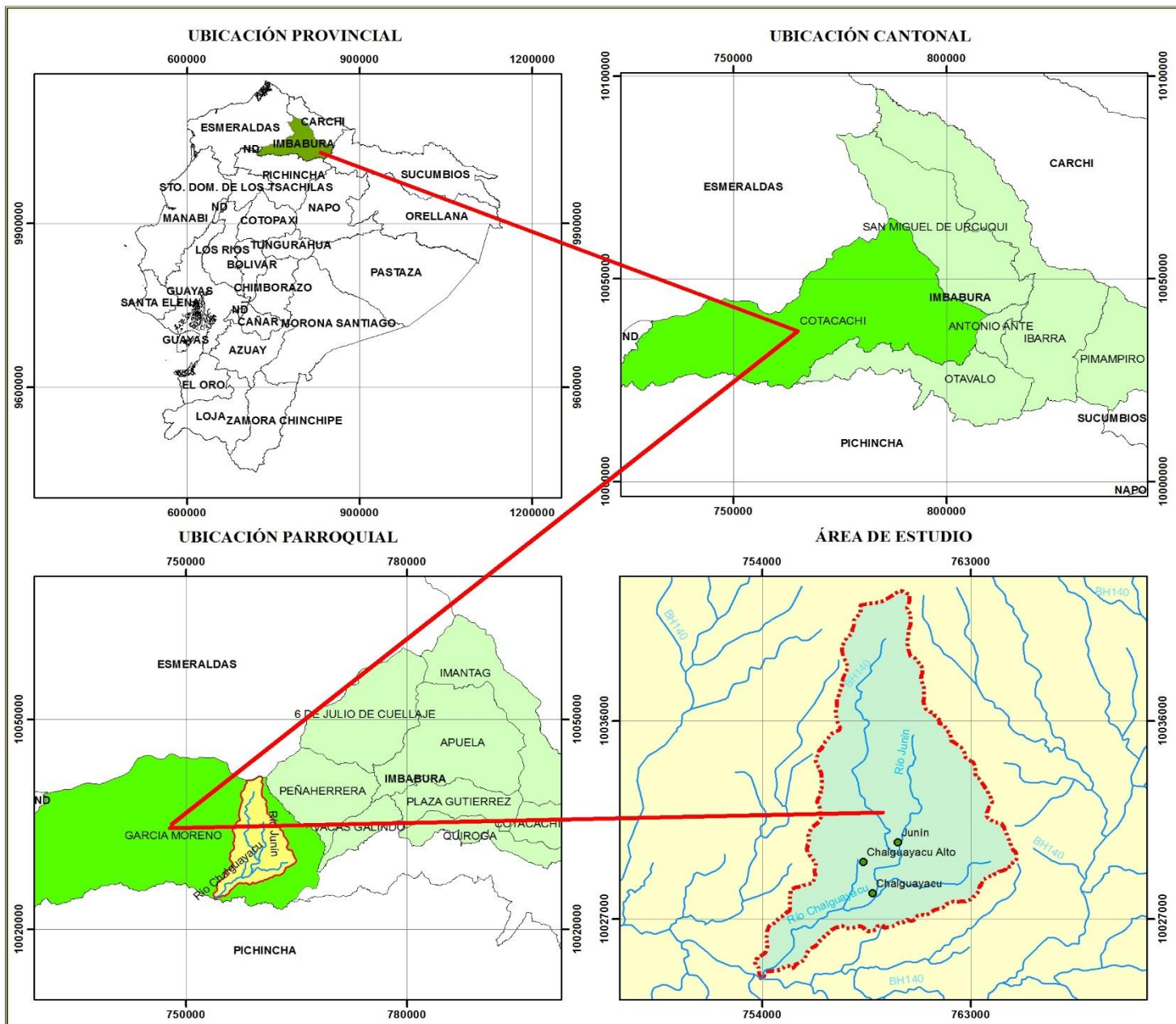
- Williams, J. R. 1995. The epic model, Chapter 25. *In: Computer models of watershed hydrology*. Water Resources Publications. Highlands Ranch, Colo. pp. 909-1000.
- Zhang, J., y Ross, M. (2015). Hydrologic modeling impacts of post-mining land use changes on streamflow of Peace River, Florida. *Chinese Geographical Science*, 25(6), 728-738.
- Zorrilla, C. (2012). La minería de cobre y sus impactos en el Ecuador. Quito: MIMEO.

ANEXOS

ANEXO 1.

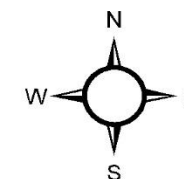
MAPAS

MAPA DE UBICACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHALGUAYACU



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSAL
DE MERCATOR

DATUM HORIZONTAL WGS84
ZONA 17 S



UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE

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

MODELAMIENTO DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE SUMINISTRO HÍDRICO
ANTE UN ESCENARIO PROSPECTIVO DE MINERÍA
EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CHALGUAYACU, COTACACHI-IMBABURA

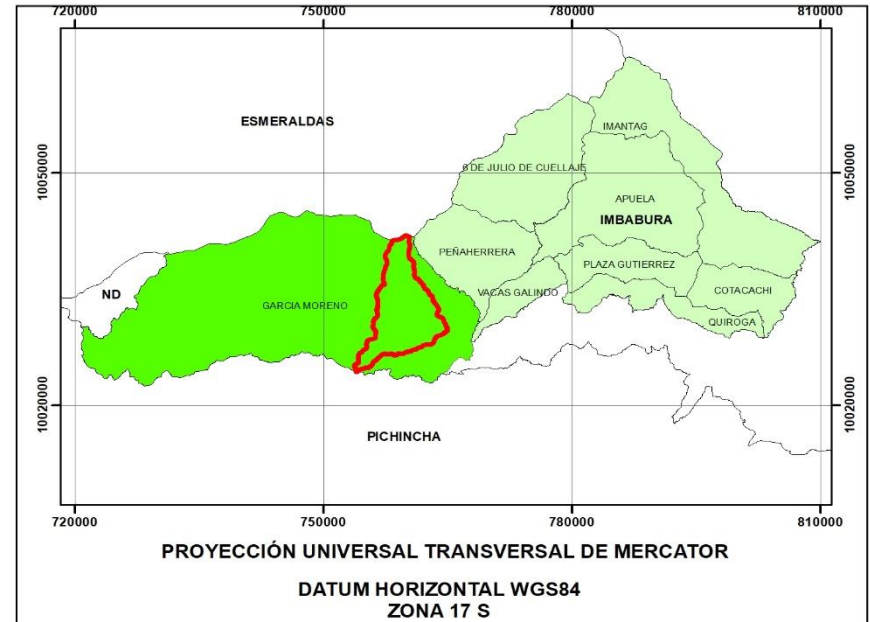
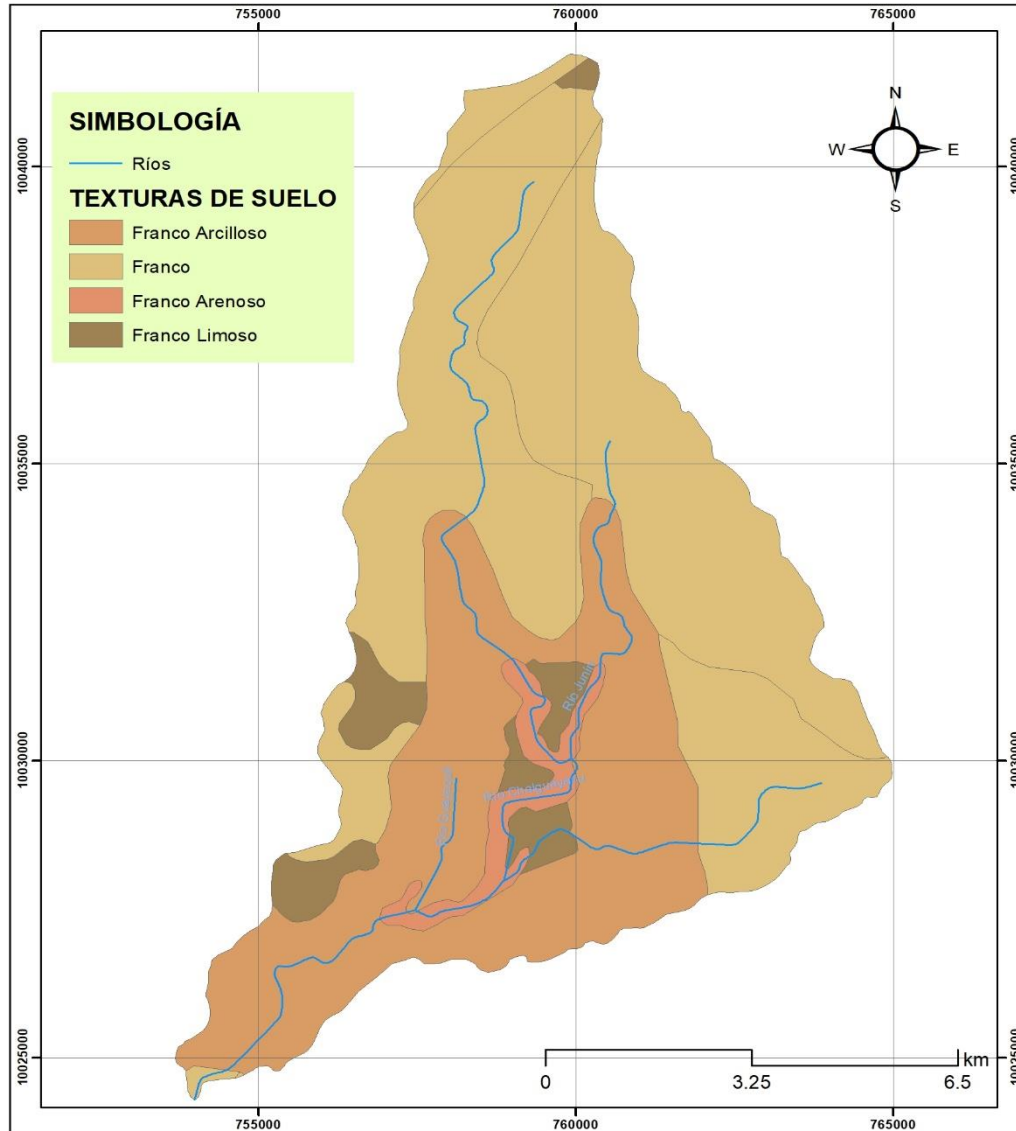
ELBORADO POR:
MENESES Y. GABRIEL

ESCALA:
1: 175000

FUENTE:
IGM, 2012
ELABORACION PROPIA, 2016.

FECHA:
2016-08-16

MAPA DE TIPOS DE TEXTURA DE SUELO



UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

MODELAMIENTO DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE SUMINISTRO HÍDRICO
ANTE UN ESCENARIO PROSPECTIVO DE MINERÍA
EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CHALGUAYACU, COTACACHI-IMBABURA

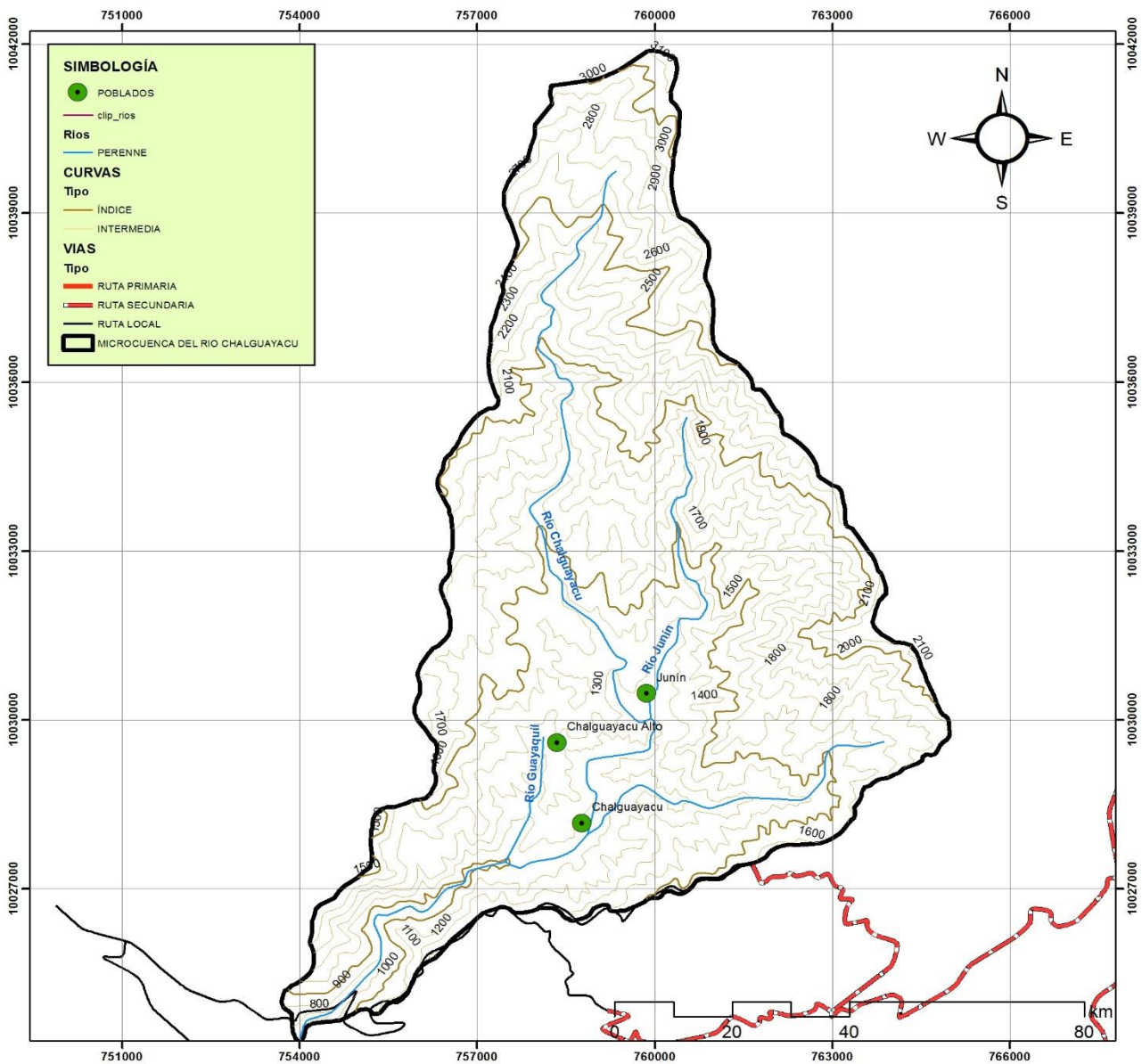
ELBORADO POR:
MENESES Y. GABRIEL

ESCALA:
1: 100.000

FUENTE:
MAGAP, 2012
ELABORACION PROPIA, 2016.

FECHA:
2016-08-16

MAPA BASE DE LA MICROCUENCA DEL RIO CHALGUAYACU

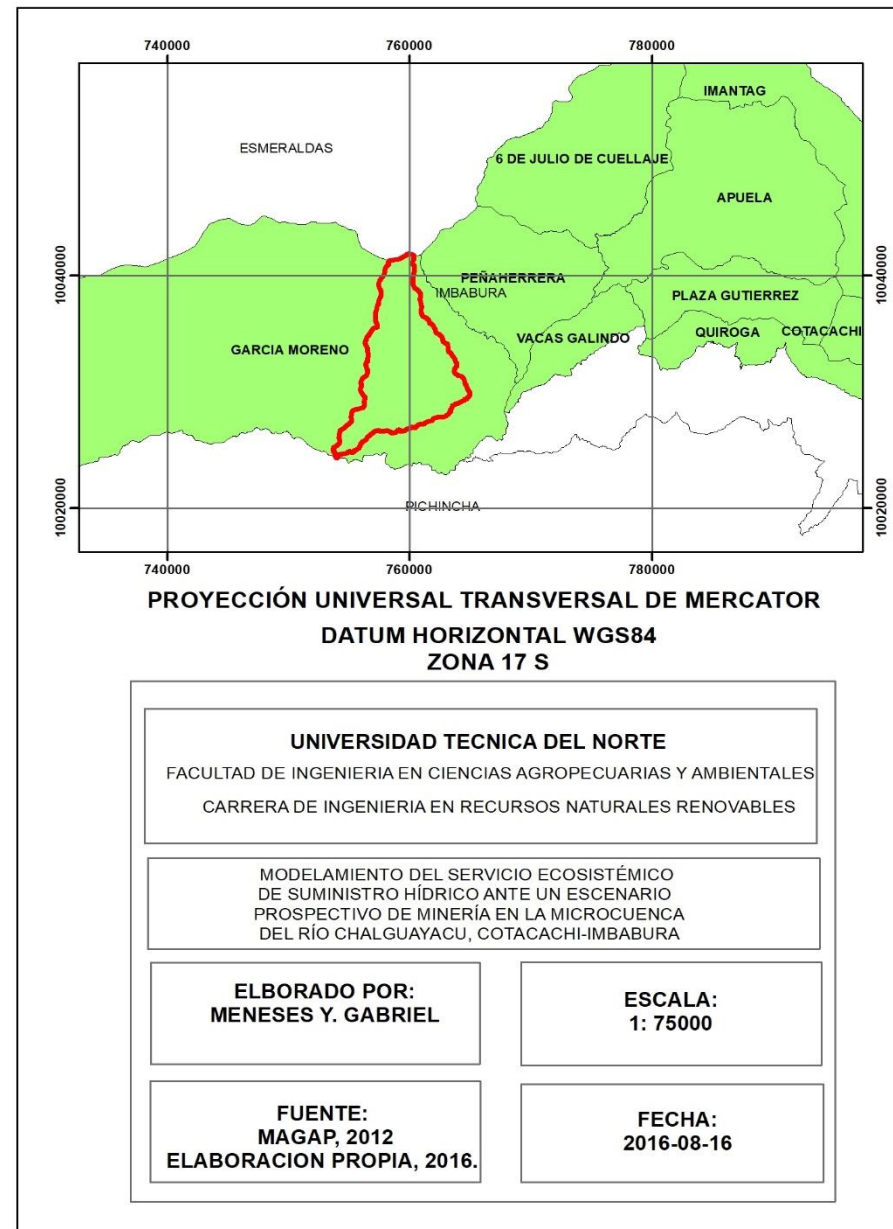
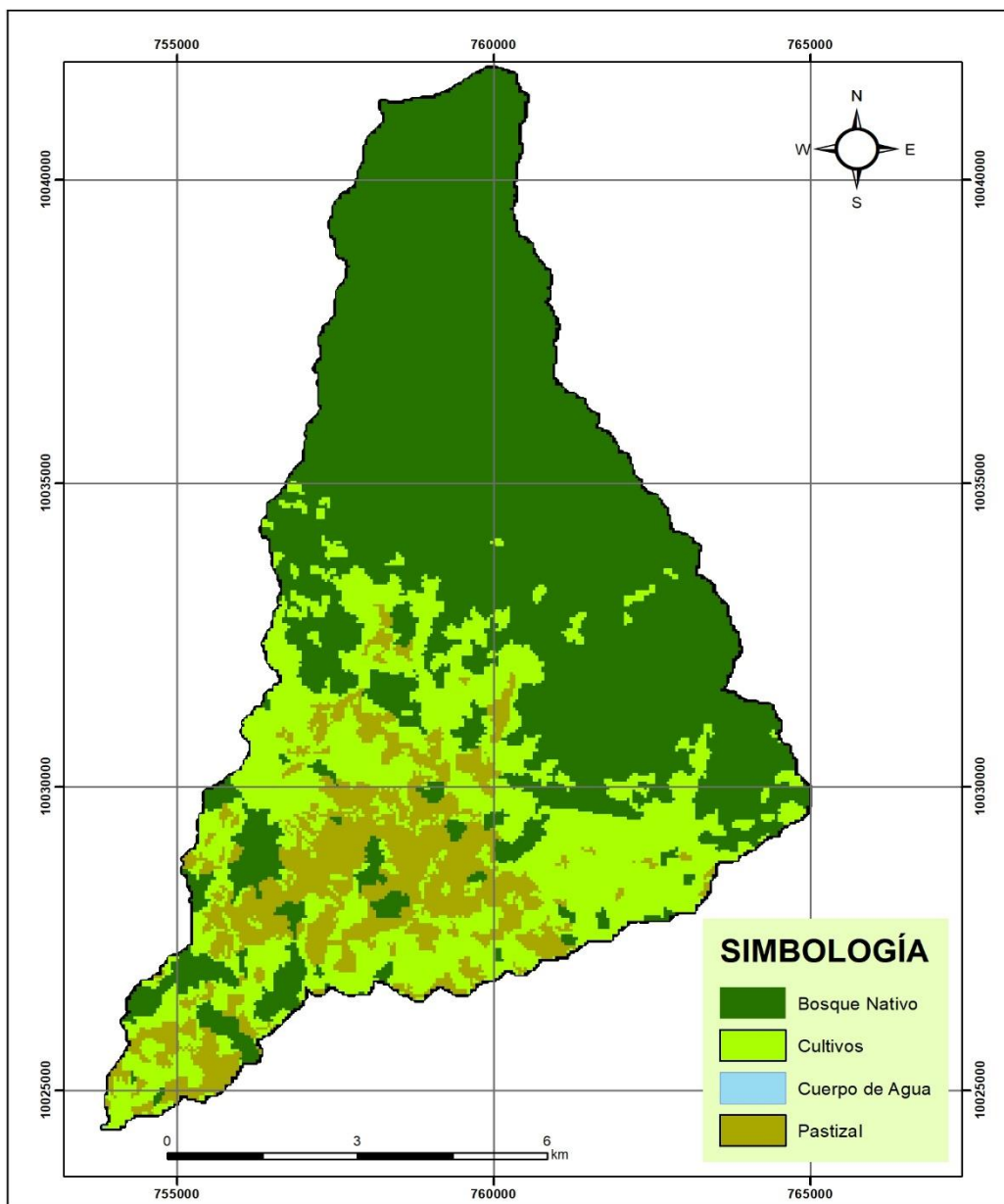


PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR

DATUM HORIZONTAL WGS84
ZONA 17 S

UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES	
MODELAMIENTO DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE SUMINISTRO HÍDRICO ANTE UN ESCENARIO PROSPECTIVO DE MINERÍA EN LA MICROCUENCA DEL RIO CHALGUAYACU, COTACACHI-IMBABURA	
ELBORADO POR: MENESES Y. GABRIEL	ESCALA: 1: 75000
FUENTE: IGM, 2012 ELABORACION PROPIA, 2016.	FECHA: 2016-08-16

MAPA DE COBERTURA VEGETAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHALGUAYACU 2014



ANEXO 2.
INTERPOLACIÓN DE VARIABLES CLIMÁTICAS.

ESTACIÓN	ALTURA	COORDENADAS X	COORDENADAS Y
APUELA	1620	776821.131	10039312.6

AÑO	TEMPERATURA MÁXIMA											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2010	25.91	25.35	25.94	25.03	25.74	24.59	24.45	26.34	25.03	24.99	24.29	23.27
2011	25.91	26.34	26.15	26.08	26.70	25.57	25.80	25.35	26.57	25.88	26.92	26.11
2012	23.26	23.59	24.32	24.26	24.00	24.05	23.50	23.90	24.84	25.23	23.97	24.64
2013	24.81	25.81	25.26	26.20	24.72	24.31	23.92	24.38	12.00	25.19	25.85	25.81
2014	24.85	25.07	25.43	26.13	24.99	24.53	26.12	24.86	25.63	25.15	25.77	25.75
AÑO	TEMPERATURA MÍNIMA											
2010	13.42	14.79	15.68	13.16	13.38	16.15	14.92	13.66	14.31	13.34	13.46	13.64
2011	14.18	14.02	13.37	14.31	13.49	13.29	8.84	12.13	16.59	12.04	13.20	17.29
2012	14.18	13.02	14.08	13.89	14.28	14.05	12.73	11.84	12.88	12.78	13.50	12.51
2013	14.74	14.99	15.28	14.57	15.03	13.53	12.77	12.00	12.83	13.73	12.69	11.74
2014	15.24	14.64	15.72	15.11	13.51	7.01	13.68	14.13	13.61	13.53	13.41	13.61
AÑO	HELIOFANÍA											
2010	129.38	91.36	95.93	96.74	102.77	72.10	89.58	122.69	76.08	83.23	54.59	50.83
2011	93.30	82.24	105.88	110.46	103.48	74.47	96.08	112.28	111.24	83.92	101.05	77.20
2012	87.06	80.78	106.97	114.49	80.80	82.60	99.37	113.43	102.78	93.18	98.22	88.45
2013	89.53	80.38	107.93	116.63	59.30	99.58	103.65	119.45	108.26	107.44	96.32	106.42
2014	80.95	75.25	99.74	107.70	90.24	117.59	121.20	102.12	108.79	87.40	93.54	99.62
AÑO	PUNTO DE ROCÍO											
2010	17.54	16.30	17.28	16.02	16.39	15.94	16.39	15.66	14.67	15.53	13.08	15.13
2011	15.96	15.68	15.43	15.83	15.16	16.37	15.25	16.03	14.74	13.82	10.54	15.75
2012	16.99	15.72	16.39	16.38	15.96	16.06	15.61	15.59	14.79	13.24	12.62	14.62
2013	15.86	16.98	17.18	15.95	15.99	15.75	13.33	15.73	14.96	15.18	12.65	15.01
2014	16.73	16.27	17.25	16.65	16.36	16.08	15.45	15.01	14.60	15.32	12.92	16.06

ESTACIÓN	ALTURA	COORDENADAS X	COORDENADAS Y
GARCIA MORENO	1950	763896.61	10025506.68

AÑO	TEMPERATURA MÁXIMA											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2010	27.07	26.63	27.08	26.42	26.87	25.68	25.51	27.37	26.08	26.08	25.09	24.16
2011	26.78	27.38	27.26	27.15	27.73	26.55	26.82	26.07	27.45	26.81	27.70	27.24
2012	24.59	24.95	25.70	25.69	25.37	25.40	24.77	25.18	26.32	26.65	25.35	25.97
2013	25.85	26.76	26.46	27.32	25.64	25.42	25.08	25.60	13.02	27.32	26.97	27.03
2014	25.68	26.16	26.45	27.26	26.09	25.64	27.36	26.02	26.60	26.17	26.79	26.88

AÑO	TEMPERATURA MÍNIMA											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2010	14.00	15.21	16.44	14.11	14.52	16.79	15.50	14.31	15.00	13.95	14.11	14.35
2011	15.04	14.88	14.16	15.21	14.77	14.50	9.68	13.30	16.47	13.16	14.27	16.56
2012	15.22	14.05	15.18	14.98	15.18	14.97	13.59	12.71	13.76	13.71	14.41	13.57
2013	15.53	15.76	16.18	15.58	15.86	14.57	13.74	13.02	13.66	14.66	13.61	12.56
2014	15.33	14.67	15.96	15.38	13.24	7.22	13.72	13.84	13.66	13.36	13.32	13.50

AÑO	HELIOFANÍA											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2010	119.33	88.00	94.50	96.42	98.35	67.83	84.08	114.75	72.03	77.89	51.00	48.92
2011	97.16	81.33	94.82	100.25	103.04	80.55	92.58	116.84	110.80	84.59	107.36	79.03
2012	91.01	77.95	99.52	106.22	80.12	86.46	98.81	116.79	106.01	93.27	100.80	89.55
2013	84.86	74.57	104.22	112.19	57.20	92.37	105.03	116.74	101.22	101.95	94.24	100.08
2014	77.79	73.20	86.78	100.36	89.71	108.62	116.67	96.33	102.53	84.78	88.15	93.85

AÑO	PUNTO DE ROCÍO											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2010	18.09	17.11	17.98	16.69	17.36	16.68	16.97	16.35	15.82	16.22	14.20	15.83
2011	16.76	16.52	16.29	16.77	16.28	17.12	16.06	16.70	15.70	14.78	11.94	16.45
2012	17.59	16.45	17.19	17.26	16.90	16.95	16.40	16.21	15.53	14.29	14.00	15.55
2013	16.76	17.67	17.99	16.88	16.95	16.53	14.56	16.30	15.72	16.01	13.83	15.86
2014	17.49	17.07	18.02	17.53	17.32	16.98	16.33	15.90	15.54	16.07	14.32	16.83

ESTACION		ALTURA					COORDENADAS X				COORDENADAS Y	
CHONTAL BAJO DJ ALAMBÍ		700					751874.619				10026347.7	
AÑO	TEMPERATURA MÁXIMA											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2010	29.08	28.73	29.03	28.74	28.78	27.58	27.35	29.09	27.89	27.92	26.55	25.72
2011	28.34	29.30	29.16	29.05	29.47	28.23	28.59	27.35	29.22	28.46	29.16	29.11
2012	26.81	27.33	28.01	28.10	27.70	27.59	26.74	27.19	28.65	29.03	27.59	28.21
2013	27.60	28.65	28.49	29.39	27.35	27.24	26.99	27.64	15.06	29.16	28.96	29.19
2014	27.34	28.17	28.27	29.35	28.07	27.59	28.83	28.10	28.37	27.99	28.58	28.91
AÑO	TEMPERATURA MÍNIMA											
2010	15.54	16.41	18.25	15.99	16.76	18.53	17.05	16.03	16.73	15.54	15.76	15.97
2011	16.95	16.73	15.91	17.13	17.17	16.82	11.08	15.59	16.30	15.28	16.30	14.74
2012	17.25	16.03	17.39	17.14	17.12	17.00	15.42	14.55	15.69	15.61	16.27	15.68
2013	17.42	17.50	18.12	17.74	17.67	16.60	15.91	15.06	15.47	16.61	15.48	14.22
2014	17.19	16.49	17.73	17.03	15.19	7.69	15.38	15.91	15.31	15.21	15.07	15.30
AÑO	HELIOFANÍA											
2010	99.68	79.78	90.03	89.60	89.16	58.59	71.75	98.84	62.15	66.08	43.11	43.31
2011	83.94	75.50	93.54	97.02	91.70	69.57	86.06	98.41	97.63	76.78	89.85	71.66
2012	77.41	71.22	97.04	104.45	71.24	73.01	89.55	103.40	92.91	83.45	88.41	78.78
2013	70.88	71.22	97.04	104.45	50.77	76.46	93.03	108.39	88.19	90.12	86.98	85.91
2014	67.58	64.91	76.39	87.86	86.90	91.04	103.13	83.49	89.67	76.20	75.90	81.70
AÑO	PUNTO DE ROCÍO											
2010	19.58	18.79	19.59	18.13	19.40	18.22	18.42	17.99	17.86	17.78	16.29	17.34
2011	18.47	18.27	18.08	18.64	18.42	18.81	17.77	18.31	17.56	16.67	14.35	17.97
2012	18.99	18.02	18.90	19.06	18.76	18.85	18.12	17.83	17.19	16.21	16.40	17.36
2013	18.53	19.22	19.68	18.95	18.76	18.21	16.65	17.78	17.38	17.69	15.94	17.57
2014	19.15	18.68	19.74	19.31	19.20	18.83	18.16	17.75	17.38	17.68	16.61	18.44

ESTACIÓN		ALTURA				COORDENADAS X				COORDENADAS Y			
SELVA ALEGRE IMB		1800				769730.767				10027155.7			
AÑO	TEMPERATURA MÁXIMA												
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
2010	26.03	25.53	26.07	25.20	25.88	24.71	24.57	26.50	25.15	25.12	24.36	23.36	
2011	25.98	26.41	26.31	26.19	26.84	25.71	25.93	25.43	26.56	25.99	26.98	26.29	
2012	23.44	23.73	24.49	24.43	24.16	24.24	23.70	24.10	25.07	25.41	24.16	24.81	
2013	24.95	25.81	25.41	26.29	24.79	24.47	24.09	24.54	12.00	26.41	25.97	25.94	
2014	24.85	25.18	25.54	26.23	25.10	24.66	26.56	24.99	25.72	25.26	25.89	25.87	
AÑO	TEMPERATURA MÍNIMA												
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
2010	13.29	14.66	15.59	13.17	13.41	15.99	14.78	13.52	14.19	13.22	13.34	13.58	
2011	14.14	14.00	13.33	14.29	13.56	13.33	8.93	12.17	16.56	12.08	13.23	17.37	
2012	14.15	13.01	14.04	13.86	14.21	13.98	12.68	11.79	12.82	12.75	13.47	12.50	
2013	14.65	14.93	15.24	14.52	14.97	13.59	12.70	12.00	12.78	13.69	12.65	11.74	
2014	14.46	13.81	15.13	14.59	12.31	7.00	12.93	12.84	12.87	12.48	12.48	12.64	
AÑO	HELIOFANÍA												
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
2010	128.95	91.87	96.54	96.86	102.79	72.26	89.96	122.49	76.69	83.56	54.81	51.50	
2011	102.99	91.87	96.54	96.86	108.70	86.48	95.78	126.35	118.13	88.15	116.03	82.10	
2012	96.89	84.04	102.19	106.46	84.37	93.22	103.15	123.34	112.98	97.76	106.52	94.28	
2013	90.78	76.20	107.85	116.06	60.03	99.96	110.52	120.34	107.83	107.37	97.00	106.46	
2014	81.89	76.24	91.68	107.11	90.76	117.68	122.69	102.64	108.85	88.28	93.65	99.63	
AÑO	PUNTO DE ROCÍO												
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
2010	17.40	16.30	17.21	16.00	16.38	15.93	16.29	15.58	14.80	15.48	13.17	15.11	
2011	15.94	15.68	15.42	15.86	15.23	16.31	15.24	15.95	14.79	13.86	10.73	15.72	
2012	16.92	15.69	16.37	16.39	15.99	16.03	15.57	15.46	14.74	13.34	12.80	14.66	
2013	15.90	16.93	17.18	15.89	16.06	15.72	13.51	15.61	14.92	15.19	12.78	15.02	
2014	16.69	16.29	17.20	16.67	16.40	16.09	15.44	15.00	14.64	15.30	13.16	16.06	

ANEXO 3.

CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA CUENCA DEL RÍO GUAYLLABAMBA.

Tabla 5.1.

Tipos de texturas presentes en la cuenca del río Guayllabamba.

NÚMERO	CLASES TEXTURALES	ÁREA (has)	PORCENTAJE (%)
1	Arcilloso	16658.5	2.61129577
2	Arcilloso Arenoso	71192.5	11.1597487
3	Arenoso	47383.2	7.42753246
4	Cuerpo de agua	762.232	0.11948334
5	Franco	212488	33.308462
6	Franco Arcilloso	7651.55	1.19941532
7	Franco Arcilloso Arenoso	37132.2	5.82064151
8	Franco Arenoso	84741.5	13.2836162
9	Franco Limoso	120048	18.8180709
10	Hielo	5157.31	0.80843184
11	Poblaciones	14724	2.30805408
12	Roca	20001	3.13524787
TOTAL		637939.992	100

Tabla 5.2.

Coberturas vegetales del año 2014 identificadas en la cuenca del río Guayllabamba

COBERTURA VEGETAL	
Coberturas Identificas	Uso de Suelo (Swat)
Area Poblada	Residential-Med/Low Density (URML)
Area sin Cobertura Vegetal	Barren (BARR)
Agua	Water (WATR)
Bosque Nativo	Forest Evergreen(FRSE)
Cultivo	Agricultural Land Row Crops(AGRR)
Hielo	Water (WATR)
Invernadero	Agricultural Land-Generic (AGRL)
Paramo	Range Brush(RNGB)
Pastizal	Pasture (PAST)
Vegetación Arbustiva	Forest Mixted (FRST)

Tabla 5.3.

Resultados de la simulación para el escenario 2010-2014.

MES	PRE C (mm)	SURQ (mm)	LATQ (mm)	GWQ (mm)	PERCO LATE (mm)	SW (mm)	ET (mm)	PET (mm)	WATE R YIELD (mm)
ENERO	172.51	15.26	31.07	60.78	84.28	75.58	51.76	90.15	108.89
FEBRERO	149.87	13.04	21.48	61.2	60.16	83.8	45.11	85.37	97.79
MARZO	188.82	22.9	27.77	68.41	85.03	80.78	56.34	84.64	121.7
ABRIL	192.7	24.11	26.61	72.08	80.12	77.19	64.56	94.63	125.62
MAYO	139.51	13.32	19.57	71.67	47.59	77.88	59.07	97.43	107.78
JUNIO	57.06	1.57	10.4	55.04	9.39	71.06	46.17	83	70.05
JULIO	47.58	2.29	5.76	33.68	7.4	54.26	50.17	109	44.45
AGOSTO	26.11	0.09	2.53	11.08	0.15	48.16	30.1	88.65	15.91
SEPTIEMBRE	102.42	5.73	9.52	4.48	36.08	61.62	35.96	83.28	21.4
OCTUBRE	27.67	0.84	4	15.4	2.58	39.95	43.83	141.28	21.8
NOVIEMBRE	129.85	5.45	11.71	11.98	28.7	79.88	40.88	98.24	30.42
DICIEMBRE	136.94	13.13	19.6	28.18	61.55	69.09	53.91	99.44	62.33

Tabla 5.4.

Variables calibrados por la interface SWAT-CUP para el período de simulación 2010-2014.

UNIT	PREC	SURQ	LATQ	GWQ	PERCO LATE	SW	ET	PET	WATER YIELD
TIME	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
ENERO	172.51	39.34	2.1	44.9	87.03	134.79	58.82	90.15	87.69
FEBRERO	149.87	27.55	2.24	50.82	54.64	147.14	51.84	85.37	82.22
MARZO	188.82	40.94	2.77	60.35	80.26	149.19	61.12	84.64	106.17
ABRIL	192.7	46.09	2.94	65.01	83.53	139.68	68.12	94.63	116.35
MAYO	139.51	23.39	3.15	69.09	56.58	130.78	65.29	97.43	98.46
JUNIO	57.06	3.1	2.93	59.16	28	101.45	53.72	83	68.07
JULIO	47.58	3.95	2.68	45.81	10.82	74.54	59.22	109	55.26
AGOSTO	26.11	0.12	2.19	28.98	0.11	64.9	35.69	88.65	33.79
SEPTIEMBRE	102.42	8.7	1.76	17.39	21.16	96.46	40.03	83.28	29.9
OCTUBRE	27.67	3.27	1.64	18.85	9.47	56.75	54.55	141.28	25.58
NOVIEMBRE	129.85	7.38	1.35	13.73	14.24	117.27	46.84	98.24	23.94
DICIEMBRE	136.94	22.4	1.56	22.14	57.46	108.98	62.45	99.44	47.53

ANEXO 4.

Tabla 5.5

Criterios de clasificación de suelo del Sistema Nacional de Información, (2013)

PARÁMETROS	CÓDIGO	RANGO	DESCRIPCIÓN
PENDIENTE (%)	1	0-5	Llano
	2	5-12	Ondulado
	3	12- 25	Fuertemente Ondulado
	4	12-25 (micro relieve)	Ligeramente Montañoso
	5	25-50	Moderadamente montañoso
	6	50-70	Montañoso
	7	>70	Escarpado
TEXTURA	1	Arenoso	Gruesa
	2	franco arenoso	Moderadamente Gruesa
		franco limoso	
	3	Franco	Media
		Limoso	
		franco arcilloso arenoso	
		franco arcilloso limoso	
	4	franco arcilloso	Fina
		arcilloso arenoso	
		arcillo limoso	
5	Arcilloso	Muy fina	
PROFUNDIDAD (cm)	1	0-20	Superficial
	2	20-50	Poco profundidad
	3	50-100	Moderadamente profunda
	4	>100	Profunda
PEDREGOSIDAD (%)	1	<10	Sin
	2	10-25	Pocas
	3	25-50	Frecuentes
	4	50-75	Abundantes
	5	>75	Pedregoso o rocoso
DRENAJE	1	A	Excesivo
	2	B	Bueno
	3	C	Moderado
	4	D	Mal drenado (imperfecto)
Ph	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
MATERIA ORGÁNICA (%)	1	<1	Muy bajo
	2	1-2	Bajo
	3	2-4	Medio
	4	4-10	Alto
	5	>10	Muy alto
SALINIDAD (mmhos/cm)	1	0-2	Sin
	2	2-4	Ligera
	3	4-8	Media
	4	8-16	Alta
	5	>16	Muy alta
NIVEL DE FERTILIDAD (mediante: pH, MO, SB, CIC, BI)	1	Mb	Muy baja
	2	B	Baja
	3	M	Mediana
	4	A	Alta

ANEXO 5

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHALCUAYACU

Tabla 5.6.

Variables calibrados por la interface SWAT-CUP para el período de simulación 2010-2014.

MES	PREC	SURQ	LATQ	GWQ	PERCO LATE	SW	ET	PET	WATER YIELD
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
ENERO	239.75	34.24	3.37	59.73	156.84	83.82	52.09	80.4	100.25
FEBRERO	218.78	48.2	3.57	59.71	109.47	83.55	56.43	102.72	114.21
MARZO	287.68	81.75	4.33	71.21	134.09	84.68	64.01	106.07	160.47
ABRIL	266.06	56.07	4.56	73.89	132.09	90.68	65.72	100.42	137.77
MAYO	161.88	21.3	4.92	80.36	90.01	79.47	57.08	97.13	110.16
JUNIO	78.43	3.46	4.58	76.93	48.78	57.01	45.83	82.45	88.61
JULIO	26.66	0.22	4.17	74.78	10.27	34.26	38.44	123.89	83
AGOSTO	32.19	0.34	3.43	67.96	8.85	32.86	24.22	100.57	75.52
SEPTIEMBRE	64.2	0.65	2.77	60.59	17.12	43.94	34.92	99.38	67.59
OCTUBRE	30.45	2.67	2.4	57.79	10.43	28.11	32.95	140.8	66.41
NOVIEMBRE	153.59	27.16	1.99	51.9	42.38	75.8	34.73	112.95	84.32
DICIEMBRE	149.21	11.64	2.4	55.46	83.29	71.22	54.27	106.88	72.74

Elaboración: Autor

Tabla 5.7.

Resultados de la simulación del escenario prospectivo para el año 2030.

MES	PREC	SURQ	LATQ	GWQ	PERCO LATE	SW	ET	PET	WATER YIELD
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
ENERO	302.14	47.66	43.22	37.61	123.36	103.13	66.98	86.63	130.12
FEBRERO	314.55	79.19	47.47	61.86	120.68	104.15	63.09	96.52	190.53
MARZO	285.1	65.76	48.89	98.57	98.06	93.68	88.81	113.38	216.31
ABRIL	313.03	60.51	46.76	101.03	110	101.84	83.96	98.05	211.94
MAYO	369.37	150.98	41.15	97.07	93.82	105.47	77.74	88.37	293.29
JUNIO	59.37	1.19	20.47	84.26	14.17	91.75	49.13	73.35	110.01
JULIO	81.54	18.79	8.49	50.99	11.21	94.3	38.68	112.2	82.01
AGOSTO	4.72	0	4.4	20.85	0	64.88	33.7	113.73	28.31
SEPTIEMBRE	57.21	1.7	5.44	4.1	0.04	81.1	32.96	96.66	13.55
OCTUBRE	102.09	9.36	9.53	0.85	13.51	95.47	52.25	121.53	21.55
NOVIEMBRE	177.03	21.15	27.7	14.7	56.96	104.45	61.02	97.97	65.09
DICIEMBRE	139.71	14.45	20.85	31.37	47.19	100.8	60.3	86.03	68.34

Elaboración: Autor

ANEXO 6

**REGISTRO DE ASISTENCIA DE LOS PARTICIPANTES EN EL TALLER DE ACTORES
LOCALES.**

Valoración ecológico-económica de los servicios ecosistémicos hídricos en condiciones de cambio climático en los ecosistemas tropicales andinos y amazónicos del Ecuador (VSE)

UTN – SENESCYT en colaboración con el Gobierno Municipal de Cotacachi

PRIMER TALLER DE TRABAJO CON ACTORES LOCALES

Lugar y fecha: Cotacachi (para actores del área andina) – 20 de junio 2014

★ Nangulvi (para actores de Intag y Manduriacuz) – 23 de junio 2014.

Nombre del participante	Nombre de la comunidad, organización o institución	Llene si desea ser contactado para fines del proyecto VSE	
		Teléfono	Correo electrónico
Agustín Villalón	Junta		
Walter Vique	Santa de Agua Madre de los Andes		
Gerardo Vera	CAPI	30455761	
Edwin Ruiz	Comunidad de Agua	3030015	
Roberto Guzmán	Ullaclara	30452881	
Edoardo Torres	Torres, María Victoria	0813342441	
Milena Flores	Santa María	0143243003	
Elis Salas	Talavera (C. de la)		
Gerardo Flores	La Loma	3045514	
Óscar Arauz	Torres	3045512	
Julio Sotomayor	Comunidad de Agua / Santa María	3045276	
Manuel Delgado	Comunidad de Agua	3045735	
David Prado	Bucalena	3035005	
Roberto Villalón	Chalchagua Alto	0813342442	
Gilberto Salazar	Agua		

Valoración ecológico-económica de los servicios ecosistémicos hídricos en condiciones de cambio climático en los ecosistemas tropicales andinos y amazónicos del Ecuador (VSE)

UTN – SENESCYT en colaboración con el Gobierno Municipal de Cotacachi

PRIMER TALLER DE TRABAJO CON ACTORES LOCALES

Lugar y fecha: Cotacachi (para actores del área andina) – 20 de junio 2014

✓ Nanguí (para actores de Intag y Manduriacuz) – 23 de junio 2014.

Nombre del participante	Nombre de la comunidad, organización o institución	¿Desea ser contactado para fines del proyecto VSE?	
		Teléfono	Correo electrónico
<i>David Sotelo</i>	<i>Quimsa Alto</i>	<i>3015351</i>	
<i>Enrique Arce</i>	<i>Obispo Pardo, Cotacachi</i>		
<i>Fernando Torres</i>	<i>Comunidad La Florida</i>	<i>26 5838</i>	
<i>Yanis Balza</i>	<i>Quimsa Alto</i>	<i>3015351</i>	
<i>Hilda (Mujer)</i>	<i>Comunidad Quimsa Alto</i>	<i>2586241</i>	
<i>Carlos Zúñiga</i>	<i>MAD Cotacachi</i>	<i>3048583</i>	
<i>Alicia Viquez</i>	<i>LGCE</i>	<i>099533242</i>	<i>alicia.viquez@lgce.gob.ec</i>
<i>Fernando Viquez</i>	<i>REI</i>	<i>0968142961</i>	<i>fernando.viquez@reim.gov.ec</i>
<i>Esteban Zúñiga</i>	<i>Intag</i>	<i>326-877</i>	
<i>Walter Arce</i>	<i>Intag</i>	<i>958960</i>	
<i>Miguel Viquez</i>	<i>Intag</i>	<i>0991333297</i>	<i>miguel.viquez@reim.gov.ec</i>
<i>Imelda Viquez</i>	<i>Perubenera "Desarrollo Integral Intag"</i>	<i>904-291</i>	<i>imelda.viquez@reim.gov.ec</i>
<i>José Balza</i>	<i>Intag</i>	<i>3015351</i>	<i>josé.balza@reim.gov.ec</i>
<i>Yanis Balza</i>	<i>Comunidad de Intag</i>	<i>3015351</i>	
<i>Yanis Balza</i>	<i>Representación de Intag</i>		
<i>Carolina Enriquez</i>	<i>Intag</i>	<i>0991333297</i>	

Valoración ecológico-económica de los servicios ecosistémicos hídricos en condiciones de cambio climático en los ecosistemas tropicales andinos y amazónicos del Ecuador (VSE)

UTN – SENESCYT en colaboración con el Gobierno Municipal de Cotacachi

PRIMER TALLER DE TRABAJO CON ACTORES LOCALES

Lugar y fecha: Cotacachi (para actores del área andina) – 20 de junio 2014

ii Nangulí (para actores de Intag y Manduriacac) – 23 de junio 2014.

Nombre del participante	Nombre de la comunidad, organización o institución	Llene si desea ser contactado para fines del proyecto VSE	
		Teléfono	Correo electrónico
Olivero, Gabriel	Intag	7070707	
José Rodríguez	Intag de San Cristóbal	3051296	osrodriguez@intag.gub.ec
Luis Salazar	Manabita		
Pablo Ríos	Pucallpa		pablorios@pucallpa.gub.ec
Emmanuel Torres	Intag	7055008	emmanuel.torres@intag.gub.ec
Diego Escoto	Intag	7055008	

Valoración ecológico-económica de los servicios ecosistémicos hídricos en condiciones de cambio climático en los ecosistemas tropicales andinos y amazónicos del Ecuador (VSE)

UTN – SENESCYT en colaboración con el Gobierno Municipal de Cotacachi

PRIMER TALLER DE TRABAJO CON ACTORES LOCALES

Lugar y fecha: Cotacachi (para actores del área andina) – 20 de junio 2014

Nanguilví (para actores de Intag y Manduriacús) – 23 de junio 2014.

Nombre del participante	Nombre de la comunidad, organización o institución	Llene si desea ser contactado para fines del proyecto VSE	
		Teléfono	Correo electrónico
UTN	UTN	021233232	utn@utn.edu.ec
Molina Ruiz	UTN	0932101520	molinar@utn.edu.ec
Molina Cuevas	UTN	0932101520	molinac@utn.edu.ec

ANEXO 7.

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA FASE DE CAMPO.



Fotografía 1. Medición del ancho del río Chalguayacu



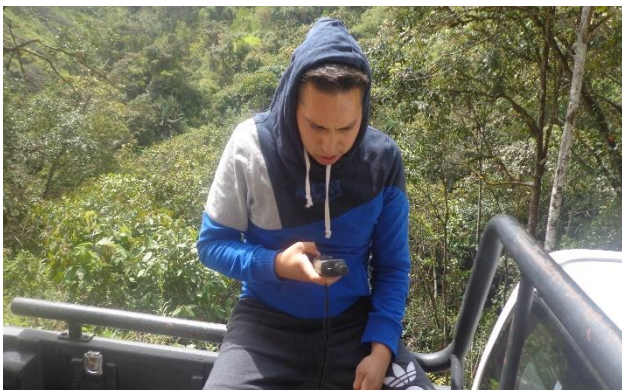
Fotografía 2. Medición de profundidades del río Chalguayacu



Fotografía 3. Zona laminar del río



Fotografía 4. Estado del río en época seca



Fotografía 5. Georeferenciación de firmas espectrales.



Fotografía 6. Georeferenciación de cobertura vegetal de bosque.



Fotografía 7. Georeferenciación de cobertura vegetal de cultivos.



Fotografía 8. Georeferenciación de cobertura vegetal de cultivos.



Fotografía 9. Georeferenciación de cobertura vegetal de pastizales



Fotografía 10. Participación en los talleres impartidos por el proyecto V5e.



Fotografía 11. Participación en los talleres impartidos por el proyecto V5e.