



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**EFFECTOS DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO SOBRE EL SERVICIO
ECOSISTÉMICO HÍDRICO DE PROVISIÓN EN LA MICROCUENCA
DEL RÍO ITAMBI**

**PLAN DE TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO/A EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

AUTORES:

MARTHA ELIZABETH RUALES MESTANZA

NELSON JEFFERSON DÁVILA LARA

DIRECTOR:

ING. DARÍO PAUL ARIAS MUÑOZ, MSC

IBARRA-ECUADOR

MAYO 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**“EFECTOS DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO SOBRE EL
SERVICIO ECOSISTÉMICO HÍDRICO DE PROVISIÓN EN LA
MICROCUCUENCA DEL RÍO ITAMBI”**

Trabajo de Titulación revisada por el Comité Asesor, previa a la obtención del
Título de:

INGENIEROS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Ing. Paul Arias, MSc
DIRECTOR


.....
FIRMA

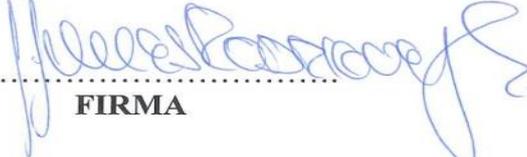
Ing. Melissa Layana, MSc
ASESOR


.....
FIRMA

Ing. Oscar Rosales, MSc
ASESORA


.....
FIRMA

Dr. James Rodríguez, Ph.D
ASESOR


.....
FIRMA

IBARRA – ECUADOR

MAYO 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CEDULA DE IDENTIDAD:	100360392-3		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ruales Mestanza Martha Elizabeth		
DIRECCIÓN:	Olmedo 1-43 y Luis Fernando Villamar		
EMAIL:	heyelizabeth1994@gmail.com		
TELEFONO FIJO:	2 603-594	TELEFONO MOVIL:	0998668822

DATOS DE CONTACTO			
CEDULA DE IDENTIDAD:	100375377-7		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Dávila Lara Nelson Jefferson		
DIRECCIÓN:	"La Victoria" - Ibarra		
EMAIL:	davila.jefferson7@gmail.com		
TELEFONO FIJO:	2 615-229	TELEFONO MOVIL:	0992170864

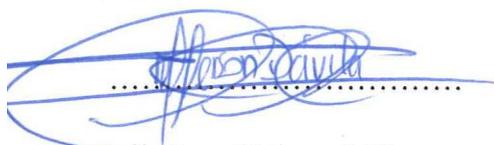
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“EFECTOS DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO SOBRE EL SERVICIO ECOSISTÉMICO HÍDRICO DE PROVISIÓN EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ITAMBI”
AUTORES:	Ruales Mestanza Martha Elizabeth Dávila Lara Nelson Jefferson
FECHA:	16 de Mayo del 2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSTGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Ing. Darío Paul Arias Muños, MSc

2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor a terceros, por lo tanto, la obra es original y que es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 14 días del mes mayo de 2019

LOS AUTORES:



Dávila Lara Nelson Jefferson

CI: 100375377-8



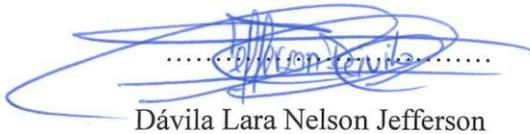
Ruales Mestanza Martha Elizabeth

CI: 100360392-3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

Nosotros, MARTHA ELIZABETH RUALES MESTANZA, con cédula de identidad Nro. 100360392-3 y NELSON JEFFERSON DÁVILA LARA, con cédula de identidad Nro. 100375377-7; manifestamos la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, Artículo 4, 5 y 6, en calidad de autores de la obra de trabajo de grado denominada “**EFFECTOS DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO SOBRE EL SERVICIO ECOSISTÉMICO HÍDRICO DE PROVISIÓN EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ITAMBI**”, que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingenieros en Recursos Naturales Renovables en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad Facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.



.....
Dávila Lara Nelson Jefferson

CI: 100375377-8



.....

Ruales Mestanza Martha Elizabeth

CI: 100360392-3

Ibarra, a los 14 días del mes de mayo del 2019

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la señorita RUALES MESTANZA MARTHA ELIZABETH, con cédula de ciudadanía Nro. 100360392-3 y el señor DÁVILA LARA NELSON JEFFERSON, con cédula de ciudadanía Nro. 100375377-7, bajo mi supervisión en calidad de director.



.....
Ing. Paul Arias, MSc

DIRECTOR

Ibarra, a los 14 días del mes de Mayo del 2019

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

GUIA: FICAYA – UTN

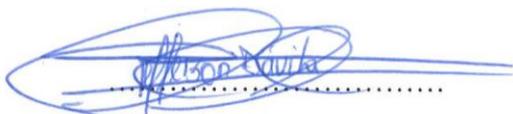
FECHA: 14 de mayo del 2019

Martha Elizabeth Ruales Mestanza y Nelson Jefferson Dávila Lara, “EFECTOS DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO SOBRE EL SERVICIO ECOSISTÉMICO HÍDRICO DE PROVISIÓN EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ITAMBI”. Trabajo de titulación. Ingenieros en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Ibarra 14 de mayo de 2019.

DIRECTOR: Ing. Paul Arias, MSc

El objetivo general de la presente investigación fue: Analizar los efectos de los cambios de los usos del suelo en el servicio ecosistémico de provisión hídrica en la microcuena del río Itambi, para el periodo 2000-2014. Los objetivos específicos fueron: 1) Determinar el cambio de cobertura vegetal y cambio de uso del suelo. 2) Determinar la oferta del servicio ecosistémico de provisión hídrica. 3) Cuantificar los efectos del cambio del uso del suelo sobre el servicio ecosistémico de provisión del recurso hídrico.

LOS AUTORES

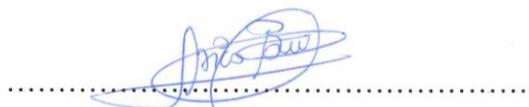


Dávila Lara Nelson Jefferson



Ruales Mestanza Martha Elizabeth

DIRECTOR



Ing. Paul Arias, MSc

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios que día a día bendijo y guió nuestro camino, a nuestros padres Gaby, Washo y Martha, Homero, quienes supieron darnos palabras de aliento, para jamás rendirnos y siempre salir adelante, a todos nuestros hermanos y sobrinos, por brindarnos apoyo y confianza en esta etapa de nuestras vidas, ellos continuamente serán parte fundamental en cada uno de nuestros logros.

A nuestros docentes que durante estos años, nos formaron con paciencia y dedicación, para ser personas de bien y aplicar todo el conocimiento adquirido en las diferentes actividades que realicemos en nuestras vidas profesionales, a nuestro director de tesis Ing. Darío Arias MSc, quien nos orientó desde un inicio con nuestro tema de tesis y estuvo con nosotros hasta el final, a nuestros asesores: Ing. Eleonora Layana MSc, Ing. Oscar Rosales MSc, Dr. James Rodríguez, ya que más que maestros, también fueron amigos, que supieron entender Ph.D, ayudar y dirigir de la mejor manera este trabajo de titulación de Ingenieros en Recursos Naturales Renovables, de todo corazón muchas gracias, ustedes siempre serán un ejemplo maravilloso para nosotros.

A la Universidad Técnica del Norte, que fue nuestro segundo hogar, ya que pasamos días y noches enteras en las aulas de esta casona universitaria, que es muy hermosa, jamás te olvidaremos UTN, aquí se quedarán maravillosos recuerdos únicos e inolvidables, gracias por darnos la oportunidad de ser parte de esta institución.

Nuestros amigos y compañeros, quienes supieron brindarnos una amistad verdadera, con ellos compartimos todo este tiempo de aprendizaje, locuras, risas, llantos y consejos, todo fue maravilloso. También agradecemos a esas personas que aunque no las nombramos formaron parte de nuestra vida.

Muchas gracias por todo, les queremos mucho.

Eli Ruales y Jeffer Dávila

DEDICATORIA

Gracias Dios por darles la vida a mis padres y a toda la familia que tengo, también porque cada día bendices mi vida, con la hermosa oportunidad de estar a su lado y disfrutar junto a ellos.

La vida es hermosa y una de las principales características, es poderla compartir y disfrutar con las personas que amamos. Es por eso que dedico esta tesis a mis padres Homero y Martha, por haberme dado la vida, el amor recibido, la dedicación y la paciencia con la que día a día se esforzaron para sacarme adelante, ellos son los promotores principales de mis sueños, siempre creyeron y confiaron en mí y en todas las expectativas que tuve, ellos son mi vida entera, los amo demasiado.

Mis hermanos Anita, Catalina, Monserrat y German, quienes lejos o cerca estuvieron pendientes de los avances y pasos que daba en mi vida, gracias por esas palabras de aliento y consejos que me brindaron.

Mis sobrinos, los cuales son como mis hijos, ya que todos los días me alegran la vida y la iluminan con cada una de sus locuras y ocurrencias. Les amo demasiado mis pequeños.

A mi compañero y gran amigo de tesis Jefferson, con quien he compartido gran parte de mi vida, él ha sido una parte fundamental, para que este sueño se haga realidad, cada risa, discusión y diversión valieron la pena.

A mis compañeros y amigos, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías, tristezas y a todas aquellas personas que durante estos años estuvieron a mi lado apoyándome y logrando que este sueño se haga realidad.

“Cree en ti mismo y en lo que eres. Se consciente de que hay algo en tu interior que es más grande que cualquier obstáculo.”

Christian D. Larson.

Martha Elizabeth Ruales Mestanza

DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios, por haberme dado la oportunidad de estar en este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre, que con su inigualable amor ha sido un apoyo fundamental en cada paso de mi vida.

A mi padre quien me ha demostrado que el esfuerzo sobre un trabajo se lo hace con dedicación por el cariño a las personas que se ama.

A mi hermana por ser la compañera incondicional de mi vida.

A mi mejor amiga por haber compartido esta experiencia, en la que nos complementamos como un equipo que logró cumplir este objetivo.

Son el motor que mueve mi mundo, son el principal motivo por el que me despierto con la inspiración de seguir adelante, los amo, tal vez aquí termina esta etapa, pero en realidad apenas comienza.

“Un ganador, es un soñador que nunca se rinde”

Nelson Mandela

Nelson Jefferson Dávila Lara

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Página
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación y justificación	1
1.2. Preguntas directrices de la investigación	6
1.3. Objetivos	6
1.3.1. Objetivo general	6
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4. Hipótesis.....	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Marco teórico referencial	7
2.1.1. Cambio del uso del Suelo.....	7
2.1.2. Servicio ecosistémico de provisión hídrica.....	8
2.1.3. Determinación de caudales mediante el modelo hidrológico SWAT.....	10
2.1.4. Efectos del cambio de uso de suelo sobre la hidrología	11
2.1.5. Cuenca hidrográfica	12
2.2. Marco legal	13
2.2.1. Constitución de la República del Ecuador.	13
2.2.2. Convenios y Tratados Ambientales Internacionales.....	14
2.2.3. Código Orgánico Ambiental	15
2.2.4. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua.	15
2.2.5. Reglamento a la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua.....	16

2.2.6. Ordenanza de creación de la empresa pública municipal de agua potable y alcantarillado de Otavalo "EMAPAO-EP"	17
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	18
3.1. Descripción del área de estudio	18
3.2 Métodos.....	21
3.2.1 Etapa 1: Análisis de los cambios del uso del suelo y cobertura vegetal ...	21
3.2.2 Etapa 2: Evaluación de los efectos del cambio de uso del suelo sobre el servicio ecosistémico de provisión hídrica.	23
Determinación de la oferta del servicio ecosistémico de provisión hídrica.....	40
Calibración de datos de caudales	41
Validación del modelo hidrológico.....	42
Modelo de regresión lineal.....	43
Modelo de regresión geográficamente ponderada	43
3.3 Materiales y equipos	44
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1 Cambio de cobertura vegetal y uso del suelo.....	46
4.1.1 Cambio de cobertura vegetal del suelo.	46
4.1.2 Cambio de uso del suelo	50
4.2 Oferta del servicio ecosistémico de provisión hídrica	52
4.2.1. Modelación hídrica SWAT.	52
4.3. Efectos del cambio del uso del suelo sobre el servicio ecosistémico de provisión del recurso hídrico.....	60
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
5.1. Conclusiones	73
5.2. Recomendaciones.....	74
REFERENCIAS.....	75

ANEXOS.....	84
--------------------	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1. Marco legal para los recursos hídricos en el Ecuador.....	13
Figura 2. Ubicación de la microcuenca del río Itambi en el Ecuador	18
Figura 3. Estaciones Meteorológicas más cercanas a la microcuenca del río Itambi.....	27
Figura 4. Cobertura vegetal y uso de suelo del año 2000 de la microcuenca del río Itambi	29
Figura 5. Cobertura vegetal y uso de suelo año 2007 de la microcuenca del río Itambi.....	30
Figura 6. Cobertura vegetal y uso de suelo año 2011 de la microcuenca del río Itambi.....	31
Figura 7. Cobertura vegetal y uso de suelo año 2014 de la microcuenca del río Itambi.....	32
Figura 8. Texturas del suelo de la microcuenca del río Itambi.....	37
Figura 9. Modelo digital de elevación de la microcuenca del río Itambi.	38
Figura 10. Pendientes generadas por SWAT en la microcuenca del río Itambi.	40
Figura 11. Coberturas vegetales de los años 2000 y 2007.....	46
Figura 12. Coberturas vegetales de los años 2007 y 2011.....	48
Figura 13. Coberturas vegetales de los años 2011 y 2014.....	49
Figura 14. División por quebradas de la microcuenca del río Itambi.....	53
Figura 15. Correlación entre el área de bosque y caudales en los periodos: 2000-2007, 2007-2011 y 2011-2014.....	61
Figura 16. Correlación entre el área de vegetación arbustiva y caudales en los periodos: 2000-2007, 2007-2011 y 2011-2014.	62
Figura 17. Correlación entre el área de pastos y caudales en los periodos: 2000-2007, 2007-2011 y 2011-2014.....	63
Figura 18. Correlación entre el área de páramo y caudales en los periodos: 2000-2007, 2007-2011 y 2011-2014.	64

Figura 19. Correlación entre el área de cultivos y caudales en los periodos: 2000-2007, 2007-2011 y 2011-2014.	65
Figura 20. Correlación entre el área de zona urbana y caudales en los periodos: 2000-2007, 2007-2011 y 2011-2014.	65
Figura 21. Correlación entre el área no vegetada y caudales en los periodos: 2000-2007, 2007-2011 y 2011-2014.	66
Figura 22. Patrones espaciales del R^2 local en las quebradas del río Itambi.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Página
Tabla 1. Tipos de servicios ecosistémicos	9
Tabla 2. Clasificación de cuencas propuestas para el Ecuador.....	12
Tabla 3. Coordenadas de los puntos extremos de la microcuenca del río Itambi en el sistema WGS84 UTM Zona 17S.	19
Tabla 4. Comunidades y familias de las parroquias San Pablo del Lago, González Suárez y San Pedro de Pitaquí.	20
Tabla 5. Polígonos de las Áreas de Entrenamiento proyección WGS 84 UTM Zona 17 Sur.....	22
Tabla 6. Parámetros climáticos ingresados al sistema de modelamiento SWAT.	24
Tabla 7. Código SWAT de cada Área de Entrenamiento	28
Tabla 8. Parámetros edáficos ingresados al sistema de modelamiento SWAT. .	33
Tabla 9. Valores ingresados de los parámetros edáficos al software SWAT	36
Tabla 10. Relieve de las pendientes en la microcuenca del río Itambi.	39
Tabla 11. Criterio de aceptabilidad del coeficiente de Nash	42
Tabla 12. Parámetros de sensibilidad utilizados para la calibración del modelo hídrico.	42
Tabla 13. Criterio de aceptabilidad del coeficiente R^2	43
Tabla 14. Criterios de aceptabilidad del coeficiente R^2 para el análisis de Regresión Ponderada Geográficamente.....	44
Tabla 15. Materiales y equipos utilizados en la investigación	45
Tabla 16. Cambio de cobertura vegetal de la microcuenca del río Itambi del periodo 2000-2007	47
Tabla 17. Cambio de cobertura vegetal de la microcuenca del río Itambi del periodo 2007-2011	48
Tabla 18. Cambio de cobertura vegetal de la microcuenca del río Itambi del periodo 2011-201	49

Tabla 19. Cambio de cobertura vegetal de la microcuenca del río Itambi del periodo 2000-2014.....	50
Tabla 20. Cambio de uso del suelo de la microcuenca del río Itambi del período 2000-2007	50
Tabla 21. Cambio de uso del suelo de la microcuenca del río Itambi del período 2007-2011	51
Tabla 22. Cambio de uso del suelo de la microcuenca del río Itambi del período 2011-2014.....	51
Tabla 23. Cambio de uso del suelo de la microcuenca del río Itambi del período 2000-2014.....	52
Tabla 24. Caudales de entrada y salida de las quebradas de la microcuenca del río Itambi.	54
Tabla 25. Comparación de caudales mensuales del año 2000.....	55
Tabla 26. Comparación de caudales mensuales del año 2007	56
Tabla 27. Comparación de caudales mensuales del año 2008.....	57
Tabla 28. Comparación de caudales mensuales del año 2011	58
Tabla 29. Comparación de caudales mensuales del año 2014.....	59
Tabla 30. Oferta del servicio ecosistémico de provisión hídrica de la microcuenca del río Itambi, para los años: 2000, 2007, 2011 y 2014.	60
Tabla 31. Variación de la oferta del servicio ecosistémico de provisión hídrica por períodos.	60
Tabla 32. Diferencias del área de bosque y del caudal de la microcuenca del río Itambi.....	61
Tabla 33. Diferencia de área de vegetación arbustiva y del caudal de la microcuenca del río Itambi.	62
Tabla 34. Diferencia de área de pastos y del caudal.....	63
Tabla 35. Diferencia de área de páramo y del caudal	64
Tabla 36. Diferencia de área de cultivos y del caudal	64
Tabla 37. Diferencia de área de zona urbana y del caudal.....	65
Tabla 38. Diferencia de área no vegetada y del caudal	66

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

EFFECTOS DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO SOBRE EL SERVICIO
ECOSISTÉMICO HÍDRICO DE PROVISIÓN EN LA MICROCUENCA
DEL RÍO ITAMBI

Nombre de los estudiantes: Martha Elizabeth Ruales Mestanza;
Nelson Jefferson Dávila Lara

RESUMEN

El río Itambi es uno de los principales afluentes del Lago San Pablo, se encuentra en la provincia Imbabura, cantón Otavalo, en un rango altitudinal de 2680 a 4600 m s.n.m. Dentro de esta microcuenca se ubican los centros poblados San Pablo del Lago, González Suárez y San Pedro de Pitaquí, en los cuales ha existido un aumento de la densidad poblacional y por la tanto de actividades económicas como la agricultura, ganadería. Esto ha ocasionado un aumento de la presión ambiental por el cambio de uso de suelo y pérdida de servicios ecosistémicos. En ese contexto, el presente estudio analizó los efectos del cambio del uso del suelo en el servicio ecosistémico de provisión hídrica en la microcuenca del río Itambi, para el periodo 2000-2014. Por ello, se analizó el cambio multitemporal la cobertura vegetal y el uso del suelo mediante el uso de herramientas SIG, después se determinó la variación en la producción de caudales y posteriormente se aplicó regresiones lineales y regresiones geográficamente ponderadas para conocer la relación entre cambios de uso de suelo y variación de caudales. Los resultados muestran que durante el año 2000 al 2014 existieron variaciones como: el aumento de la zona urbana, pastos e infraestructura agrícola con el 0.09%, 0.06% y 0.12%, respectivamente, mientras que las coberturas de bosque, vegetación arbustiva y páramo disminuyeron en un 2.2%, 2.59% y 0.19%. Sin embargo, la cobertura de cultivos predominó en este periodo con valores de 50.13% y 49.91%, tomando en cuenta que son actividades que necesitan de la disponibilidad del agua, se determinó la oferta del servicio ecosistémico hídrico en función de los caudales del río Itambi, observando que para el periodo en general 2000-2014, disminuyó en 0.09 m³/s. En este contexto, la relación entre el cambio de cobertura vegetal y el cambio de caudales fue que la dominancia de los cultivos, la reducción de áreas naturales y el aumento de las zonas urbanas incidieron en la disminución del caudal, presentando que este cambio se produjo de forma más significativa en las quebradas Cruz Huaycu, Santo Domingo y Avijo.

Palabras clave: alteraciones, análisis multitemporal, calibración, caudales precipitación, simulados.

ABSTRACT

Itambi River is one of the main tributaries of San Pablo Lake, it is located in the Imbabura province, Otavalo canton, in an altitudinal range of 2680 to 4600 masl. San Pablo del Lago, González Suárez and San Pedro de Pitaquí parishes are located within this micro-basin, here has been an increase in population along with economic activities such as agriculture and livestock have caused an increase in environmental pressure due to the change in land use and loss of ecosystem services. In this context, this research analysed the effects of changes in land use in the water supply as an ecosystem service in the Itambi River micro-basin, from 2000 to 2014. For this reason, the multitemporal change in vegetation cover and land use was analysed through the use of GIS tools, after which the variation in water flow production was determined, linear regressions and weighted geographical regressions were applied to know the relationship between changes in land use and variation of water flows. The results show that from 2000 to 2014 there were variations such as: the increase of the urban area, pastures and agricultural infrastructure with 0.09%, 0.06% and 0.12%, while the coverage of forest, shrub vegetation and “páramo” (highlands) decreased by 2.2%, 2.59% and 0.19%. Though, the crop coverage prevailed in this period with values of 50.13% and 49.91%, taking into account that these activities need water availability, the supply of the water ecosystem service was determined according to the water flows of the Itambi River, noting that from 2000 to 2014, it decreased by 0.09 m³/s. In this research, the relationship between the change in plant cover and the change in water flows was represented by the dominance of crops, the reduction of natural areas and the increase of urban areas decreased the water flow, this change was more perceptible in the cliffs of Cruz Huaycu, Santo Domingo and Avijo.

Key words: alterations, calibration, multitemporal analysis, precipitation, simulated flows.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación y justificación

El recurso hídrico y el suelo son servicios ecosistémicos vitales, los cuales provienen de los ecosistemas naturales y aportan beneficios a los seres humanos para mejorar la salud, el desarrollo económico y la calidad de vida de las futuras generaciones (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Los recursos hídricos se encuentran repartidos de manera desigual tanto en el espacio como en el tiempo y sometidos a presión debido a las actividades humanas. La actividad humana y los factores naturales están agotando los recursos hídricos disponibles. Aunque en la última década la sociedad se ha ido concienciando de la necesidad de mejorar la gestión y protección del agua. Los criterios económicos y los factores políticos tienden todavía a dirigir los ámbitos de la política del agua (Green, 2017).

El uso del suelo es la interacción humana sobre un área de tierra, y puede ser caracterizado mediante datos obtenidos por teledetección. La cobertura del suelo o cobertura vegetal se refiere a la composición biofísica de la superficie del planeta, y los tipos de cobertura pueden ser detectados o determinados mediante imágenes aéreas o sensores satelitales (Lambin et al., 2001). El cambio de uso de suelo modifica dos aspectos estructurales de los ecosistemas: la vegetación y el suelo, alterando el almacenamiento y la disponibilidad de agua, este también reduce la capacidad de retención del agua entre 5% y 25%, dependiendo del uso y la alteración que le estén dando al suelo (Galicía, 2014).

El manejo integral del suelo y agua, se los considera como principales factores de producción, ya que son una parte clave para la producción agrícola sostenible. El suelo y el agua sustentan la producción de biomasa en general y de productos agropecuarios (alimentos), en particular (FAO, 2015). El suelo provee materias primas, garantiza la acumulación y almacenamiento de carbono, el almacén del patrimonio geológico, facilita la reserva de agua, el ciclo de nutrientes y la reserva

de la biodiversidad. Así, es crucial para satisfacer la necesidad de cultivos y el bienestar de la población creciente (FAO, 2015).

El mundo es afectado principalmente por la utilización del suelo para el abastecimiento de las necesidades de la humanidad (Vitousek, Mooney, Lubchenco y Melillo, 1997). Es por esto que el cambio del uso del suelo o de cobertura vegetal, alteran el funcionamiento de los servicios ecosistémicos como lo es el recurso hídrico (Vitousek et al., 1997).

América Latina y el Caribe tienen las reservas de suelos cultivables más grandes de todo el mundo. Cerca del 47% se encuentra cubierto por bosques, pero esta cifra se ha ido reduciendo considerablemente debido a la expansión de la producción agrícola (FAO, 2015). Durante los últimos 50 años, la superficie agrícola aumentó de 561 a 714 millones de hectáreas, esta expansión ha generado degradación del suelo y agua, reducción de la biodiversidad, riesgo a la calidad y disponibilidad de los recursos naturales (FAO, 2015).

El manejo del suelo puede afectar significativamente a la disponibilidad de agua en una quebrada. El balance hidrológico se ve alterado por la deforestación, los cambios del uso del suelo, la cobertura vegetal, la sobre explotación de los acuíferos y el drenaje de cuerpos de aguas naturales. En las tres últimas décadas la extracción de agua se ha duplicado con un ritmo muy superior al promedio mundial (FAO, 2015).

En el mundo, el sector agrícola y especialmente la agricultura de riego, utiliza la mayoría del agua, con un 70% de las extracciones, le sigue la extracción para el uso doméstico con un 20% y la industria con un 10%. Vale destacar que el suelo es un excelente reservorio de humedad, lo que reafirma la conveniencia de manejar integralmente suelo y agua (FAO, 2015).

En Ecuador, según la encuesta de superficie y producción agropecuaria continua 2014, la superficie de uso del suelo es de 12.5 millones de hectáreas entre ellos

están: usos agrícolas permanentes, transitorios, descanso, pastos cultivados, pastos naturales, páramos, montes, bosques y otros usos (INEC, 2014). Otro de los usos que ejerce fuerte presión sobre los suelos es la ganadería, donde los pastos cultivados comprenden el 30.01% de la superficie de uso agropecuario. Los dos tipos de uso: agrícolas y ganaderos, representan el 51.04%, de la superficie del país. Los usos relacionados con las condiciones naturales del suelo (montes, bosques y páramos en estado natural) son el 35.28% de la superficie del país (FLACSO ECUADOR et al., 2008).

La implementación de usos intensivos del suelo, como la agroindustria florícola o la acuicultura (camaroneras) representan el 0.69% de la superficie del país, generando presiones significativas sobre el recurso suelo (FLACSO ECUADOR et al., 2008). En los dos casos, aunque la superficie afectada por el cambio de uso del suelo es relativamente pequeña, el uso de agroquímicos modifica fuertemente las condiciones de los suelos y altera sus procesos naturales (FLACSO ECUADOR et al., 2008).

El recurso hídrico en Ecuador está sujeto a una presión que es la demanda del agua para satisfacer las necesidades vitales y por la desigual distribución. Muchas instituciones públicas y privadas nacionales tienen que ver con la escasez de este recurso natural, perjudicando su racional accionar al momento de servir a las comunidades y habitantes, que en muchos de los casos, comparten y litigan con fronteras naturales, políticas y administrativas. La conservación y el manejo adecuado del agua es importante en el país, pues las desigualdades de riqueza entre diferentes cuencas y entre diferentes actores sociales están estrechamente vinculadas al acceso del agua; adicionalmente, el 70% de la energía eléctrica en el Ecuador es de origen hidráulico (Galárraga, 2004).

Según estudios, Ecuador cuenta con recursos hídricos suficientes para asegurar el abastecimiento de agua a su población, riego, procesos industriales, entre otros. Sin embargo, el deterioro de las fuentes de agua avanza aceleradamente siendo necesario organizar su manejo y conservación, para que garantice la

disponibilidad del recurso para futuras generaciones y desarrollo (Cisneros y Pacheco, 2010).

El último inventario nacional de Recursos Hídricos fue realizado en 1989 a través de un convenio entre INHERI (Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos), lo que antes se conocía como ORSTOM (Centro de Investigaciones Científicas y Técnicas de Ultramar de Francia) (Cisneros y Pacheco, 2010). Debido a las condiciones de reordenamiento institucional en el país, no fue posible lograr consolidar una base de información sólida, es por eso que en la actualidad y de manera general la información que existe sobre el recurso hídrico es limitada (Cisneros y Pacheco, 2010).

El cantón Otavalo, ubicado al sur de la provincia Imbabura en Ecuador, posee problemas como la alta densidad poblacional humana, ocasionando que su interacción con el ambiente genere degradación de los ecosistemas, aumentando el deterioro de los recursos naturales del cantón (Morales, 2013).

El uso inadecuado del suelo como: suelos agrícolas y suelos para ganadería presentes en el cantón, han generado problemas como: la deforestación, la pérdida de fertilidad del suelo, quema de páramos, pérdida de bosques nativos, entre otros, los cuales han afectado también al recurso hídrico. Cabe resaltar que la poca conciencia ambiental ante la importancia de los páramos y bosques nativos, también es un inconveniente en la población del cantón Otavalo (Morales, 2013).

La microcuenca del río Itambi ubicada en el cantón Otavalo, posee alrededor del 32.2% de su área afectada por la erosión del suelo, sujeta a erosiones de tipos: fuertes y muy fuertes, esta erosión es causada por los cultivos agrícolas y las fuertes lluvias presentes en la microcuenca (Carrera y Gunkel, 2003). Otro problema dentro del área de estudio es que gran parte de la vegetación nativa ha sido habilitada para pastizales y reemplazada por plantaciones de eucaliptos en las zonas bajas de la microcuenca. Sin embargo, sobre los 2800 m s.n.m. se puede

encontrar parches de vegetación nativa, los cuales conservan la estructura propia de los ecosistemas de la microcuenca (Carrera y Gunkel, 2003).

Las principales actividades productivas dentro de la microcuenca son: agrícola y la ganadera, eventos que necesitan de la disponibilidad del recurso hídrico para llevar a cabo sus producciones. También el estado histórico de la microcuenca del río Itambi posee varios problemas ambientales como: la deforestación, lo que ha impedido el aprovechamiento eficiente del recurso hídrico para el desarrollo de las comunidades; entonces, fue necesario realizar un diagnóstico del cambio del uso del suelo y sus efectos en la producción del recurso hídrico dentro de la microcuenca, para contribuir al logro del Objetivo 3 del Plan Nacional de Desarrollo: "Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones" (SENPLADES, 2017).

De acuerdo a lo anterior, el presente estudio identificó los principales efectos que ha provocado el cambio del uso del suelo y la cobertura vegetal en el caudal producido en la microcuenca del río Itambi, en el cantón Otavalo. Se utilizó el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool o Herramienta para la Evaluación del Suelo y Agua para una cuenca hidrográfica), mismo que es un modelo matemático para el estudio de cauces, ríos y cuencas hidrográficas, el cual fue desarrollado para evaluar el impacto que tienen las prácticas de manejo de suelo, agua, vegetación, cultivos, sus insumos sobre la producción de agua, sedimentos y productos de sustancias agrícolas químicas, en las cuencas y quebradas con variedad de suelos, uso de tierra y condiciones de manejo durante largos periodos de tiempo (Torres et al., 2004). En este contexto fue necesario analizar multitemporalmente la cobertura vegetal y el uso del suelo para identificar las actividades humanas que generan alteraciones sobre el medio físico (Galicia, 2014).

Esta investigación benefició a los actores del manejo de los suelos de la microcuenca del río Itambi, ya que se mostraron las causas y efectos del cambio de uso del suelo por el aumento de las actividades agrícolas y de esta manera

desarrollar conciencia ambiental para mantener su recurso hídrico. El estudio contribuyó con información sobre la temática, en vista de que no existen investigaciones sobre el mismo.

1.2. Preguntas directrices de la investigación

¿Cuáles son los efectos del cambio del uso del suelo en el servicio ecosistémico de provisión hídrica en la microcuenca del río Itambi, cantón Otavalo, provincia de Imbabura?

¿El cambio de cobertura vegetal, ha producido variaciones en los caudales del río Itambi?

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Analizar los efectos de los cambios de los usos del suelo en el servicio ecosistémico de provisión hídrica en la microcuenca del río Itambi, para el periodo 2000-2014.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el cambio de cobertura vegetal y cambio de uso del suelo.
- Determinar la oferta del servicio ecosistémico de provisión hídrica.
- Cuantificar los efectos del cambio del uso del suelo sobre el servicio ecosistémico de provisión del recurso hídrico.

1.4 Hipótesis

El cambio de usos del suelo y la cobertura vegetal alteran la oferta del servicio ecosistémico hídrico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Marco teórico referencial

2.1.1. Cambio del uso del Suelo

El suelo es una fina capa de material que cubre la superficie de la Tierra, situado en el límite entre la atmósfera y la zona continental de la corteza terrestre (López, 2006) formado por una fase sólida (minerales y materia orgánica), una fase líquida y una fase gaseosa que ocupa la superficie de la tierra, organizada en capas de distintos materiales a la roca madre, como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de materia y energía (USDA, 1998). El uso del suelo comprende la mayoría de las acciones, actividades, procesos y proyectos que las personas aplican sobre un área o espacio geográfico determinado, el espacio de suelo utilizado debe poseer características para producir, ser modificado o mantenerlo (FAO, 1997).

El uso de la tierra o suelo es el uso actual que se está dando a una superficie determinada, ya sea agrícola o no; sin embargo el desarrollo óptimo de las actividades depende de la estructura del suelo y no tanto de la necesidad humana. Pero la influencia humana, acaba por afectar el paisaje, las propiedades físicas y químicas del suelo (FAO, 1997) y esto debido al continuo cambio de uso de suelo, lo que finalmente ocasionará problemas, que según la FAO (1997) principalmente son la erosión.

Los cambios de uso del suelo se presentan durante el tiempo, ya que las actividades antrópicas evolucionan diariamente con el fin de satisfacer al máximo las necesidades del ser humano (Gutiérrez et al., 2015). Los estudios sobre el cambio de la cobertura vegetal y el uso del suelo han servido como ayuda para conocer información acerca de la tendencia de los procesos de la deforestación,

degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de un área determinada. (Lambin et al. 2001).

Sin embargo la pérdida de la cobertura vegetal, no únicamente se da por en uso antrópico del suelo, sino que se puede ser ocasionado de manera natural, por ejemplo, variaciones de temperatura, o exceso de la precipitación, pero durante las últimas décadas, las actividades humanas se han convertido en el principal condicionante de la estructura y funcionalidad de los ecosistemas (Peter et al., 1997).

Generalmente para el análisis de los cambios de uso del suelo se utiliza los Sistemas de Información Geográficos para fotointerpretar los mapas de usos y coberturas vegetales del suelo, además se puede obtener por la utilización de la herramienta espacial Crosstabulación con el fin de calcular la variación de los usos en formato vectorial (Little, y Lara, 2010).

Los estudios de caso para el análisis del cambio de uso del suelo muestran que los métodos utilizados en general son diferentes (Palacio et al., 2000; Velazquez et al., 2002). Así, algunos estudios hacen uso de técnicas estadísticas para conocer las causas de los cambios ocurridos (Mas et al., 1996; Castillo et al., 1998; Bocco y Mendoza, 1999; Mendoza y Dirzo, 1999; Mas y Puig, 2001; Marquez et al., 2005), y por otro lado existen estudios que tratan explicar los cambios de uso del suelo utilizando variables socioeconómicas y ambientales (Bocco et al., 2001). En la actualidad, se ha analizado los cambios de uso de suelo y sus implicaciones ambientales a través del uso de herramientas SIG (Jalmacin et al., 2017). Dentro del SIG resaltan estudios cuyos métodos se basan en la creación de soportes gráficos y uso de datos alfanuméricos en diferentes formatos con el fin de generar categorías de uso de suelo (Silva y Rubio, 2014).

2.1.2. Servicio ecosistémico de provisión hídrica.

Servicio ecosistémico

Son elementos, recursos o procesos de los ecosistemas naturales considerados también como bienes o servicios que benefician a los seres humanos. Dentro de esta definición se incluyen los productos como el agua potable y procesos tales como la descomposición de los desechos (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Los servicios ecosistémicos de acuerdo a Millennium Ecosystem Assessment (2005) se los ha clasificado en cuatro categorías: aprovisionamiento, regulación, apoyo, cultural (Tabla 1).

Tabla 1. Tipos de servicios ecosistémicos

Tipo	Definición	Ejemplos
Servicios de Aprovisionamiento	Son los servicios ecosistémicos referidos a la cantidad de bienes o materias primas que un ecosistema ofrece	El agua, la madera, los alimentos, minerales, farmacéuticos y energía como la hidroeléctrica o combustibles de biomasa
Servicios de Regulación	Son los servicios del ecosistema que regulan los procesos de los sistemas naturales	El control de las inundaciones, control de las plagas y enfermedades, mantenimiento de la calidad del aire, descomposición de residuos y desintoxicación y del suelo o la polinización de cultivos.
Servicios de Apoyo	Son los servicios del ecosistema considerados necesarios para la producción de todos los demás servicios de la naturaleza	Dispersión de semillas, producción primaria, hábitat para las especies, Conservación de la diversidad genética, dispersión y reciclaje de nutrientes
Servicios Culturales	Son beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas a través del enriquecimiento espiritual	El desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación, las experiencias estéticas y el descubrimiento científico.

Fuente: Millennium Ecosystem Assessment, 2005

Servicio Ecosistémico Hídrico

Los servicios ecosistémicos hídricos son elementos que brindan beneficios para el bienestar de los organismos vivos y ecosistemas (Silva, 2016). Retamal et al. (2008) numera los siguientes servicios hídricos; permitir la regulación del flujo del agua, especialmente durante la estación seca, control de inundaciones, erosión, sedimentación, regulación de aguas subterráneas, manutención de los habitats acuáticos, generación de agua para sistemas hidroeléctricos y consumo humano.

2.1.3. Determinación de caudales mediante el modelo hidrológico SWAT.

SWAT corresponde al acrónimo “Soil and Water Assessment Tool” lo que se traduce como herramienta para la evaluación del suelo y del agua en el conjunto de una cuenca hidrográfica, utilizando la siguiente ecuación general del balance hídrico (Fernandez, 2017).

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

Dónde: SW_t es el contenido de agua en el suelo (mm), SW_0 es el contenido inicial de agua en el suelo (mm), t es el tiempo (día, mes, año), R_{day} es la precipitación diaria (mm), Q_{surf} es la escorrentía superficial (mm), E_a es la evapotranspiración (mm), W_{seep} es la cantidad de agua acumulada en la zona no saturada del suelo (mm) y Q_{gw} es la cantidad de agua subterránea que retorna hacia los ríos como flujo base o caudal de base (mm).

Por tanto, SWAT se puede definir como un software de modelación hidrológica del impacto que presentan las prácticas de manejo del suelo sobre el ciclo hidrológico, la producción de sedimento y la difusión de sustancias químicas en cuencas grandes o en cuencas de alta complejidad. Por lo tanto, permite conocer la dinámica hídrica de las cuencas bajo escenarios actuales y futuros (Fernandez, 2017).

El modelo SWAT se compone de una serie de submodelos que en conjunto recrean distintos escenarios de trabajo como son el módulo meteorológico el cual incorpora y/o simula los datos meteorológicos, módulo sedimentario, destinado a evaluar la erosión hídrica, el transporte y la sedimentación, módulo de simulación de crecimiento de cultivos y vegetación, módulo de simulación de los ciclos de nutrientes, módulo de simulación de la dinámica de pesticidas y agentes químicos, módulo de gestión agrícola y finalmente el módulo hidrológico el cual transforma la precipitación en caudales de los cauces de la cuenca hidrográfica (Fernandez, 2017).

Existen varios estudios de modelación hidrológica que utilizan el modelo SWAT. Así, por ejemplo se desarrollaron investigaciones en base a unidades de respuesta hidrológica para conocer la producción de caudales (Barrios y Urribarri, 2009), otros que se desarrollaron con el fin conocer la producción de sedimentos (Ríos et al., 2013), y otros con el fin de conocer la relación entre usos de suelo, producción de caudales (Guzha et al., 2018) y usos agrícolas y producción de sedimentos (Barbudo, Ochoa, y Verbel, 2016).

2.1.4. Efectos del cambio de uso de suelo sobre la hidrología

El cambio de uso del suelo tiene efectos negativos sobre algunos elementos del ciclo hidrológico como: la evapotranspiración, la precipitación y las temperaturas superficiales. Además, modifica dos aspectos estructurales de los ecosistemas: la vegetación y el suelo, alterando el almacenamiento y la disponibilidad de agua (Galicia, 2014).

Los suelos de vegetaciones naturales se caracterizan por cumplir un rol importante dentro del proceso de regulación y almacenamiento de agua, sin embargo aún se desconocen procesos que tienen lugar a nivel del suelo (Borja et al, 2008), ocasionando que este desconocimiento lleve a muchas personas y organizaciones a alterar éstos ecosistemas, ya sea para usarlos en la producción agropecuaria o forestal, las mismas que provocan una pérdida en la producción primaria (materia

orgánica) por la alteración de la cobertura vegetal original (Hofstede, 1995; Ramsay y Oxley, 2001) teniendo un efecto directo en la regulación del agua.

2.1.5. Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica constituye la principal unidad territorial, donde el agua proveniente del ciclo hidrológico, es captada, almacenada y distribuida a través de sus vertientes. La extensión de una cuenca hidrográfica puede variar, desde pocas a miles de hectáreas en la clasificación propuesta para el Ecuador por el INEFAN, 1995 (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de cuencas propuestas para el Ecuador.

Categoría	Superficie en ha	Superficie en km²
Sistema Hidrográfico	Mayor a 300.000	Mayor a 3.000
Cuenca Hidrográfica	100.001 a 300.00	1.001 a 3.000
Subcuenca	15.001 a 100.000	151 a 1.000
Microcuenca	4.000 a 15.000	40 a 150
Minicuenca o Quebrada	Menor a 4.00	Menor a 40

Fuente: INEFAN (1995)

Los principales problemas generados en las cuencas hidrográficas del Ecuador como: el inadecuado manejo de las cuencas hidrográficas, la expansión de la frontera agrícola hacia las zonas altas de las montañas, especialmente los páramos y las zonas boscosas, pérdida paulatina de suelos y la reducción de la capacidad productiva de los mismos, un incremento en los caudales, disminución de la capacidad de retención en los suelos y la alteración del ciclo hidrológico a nivel de la cuenca (CEPAL, 2000), obligaron a que en la década de 1970, se empezaran a tomar cuenta procesos como la erosión, los torrentes estacionales, la saturación del suelo y las inundaciones en las tierras bajas como planificación del territorio. Adicionalmente el enfoque de desarrollo integrado obligó a poner mas atención a las consecuencias sociales, ambientales y económicas del manejo de cuencas,

evolucionando hacia una gestión integrada de cuencas hidrográficas (MAE y FAO, 2014)

2.2. Marco legal

La presente investigación se basó en los artículos de la Constitución de la República del Ecuador 2008, Convenios y Tratados internacionales, Código Orgánico del Ambiente, Ley Orgánica de Recursos Hídricos y Aprovechamiento del Agua, , Reglamento a la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, usos y aprovechamiento del agua y Ordenanzas municipales de Otavalo (Figura 1).



Figura 1. Marco legal para los recursos hídricos en el Ecuador.

Fuente: Legislación del Ecuador 2016

2.2.1. Constitución de la República del Ecuador.

Desde la Constitución de la República del Ecuador, el marco regulatorio legal para la presente investigación fue el siguiente:

Artículo 12. Derecho al agua.

Este artículo tiene relación con el trabajo, porque el derecho al agua es indispensable para vivir dignamente, contemplando los principales beneficios del bienestar humano.

Además el agua es el recurso elemental para todos los organismos con vida en el planeta.

Artículo 71. Derecho de la Naturaleza

La naturaleza es considerada importante en la constitución y el principal derecho que se establece es el respeto de su integridad y su existencia, manteniendo la regeneración de sus ciclos vitales, su estructura y sus procesos naturales. El medio físico que nos rodea es considerado como naturaleza, entonces las actividades humanas que hacen uso de los recursos naturales para satisfacer sus necesidades, deben respetar los derechos de la naturaleza.

Artículo 276, número 4, de la Constitución de la República del Ecuador:

Los objetivos del régimen de desarrollo serán 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.

2.2.2. Convenios y Tratados Ambientales Internacionales.

Convención de la Lucha contra la Desertificación y Sequía

Definición: Instrumento Internacional que se relaciona con la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas, subhúmedas y secas, resultantes de diversos factores como las variaciones climáticas y actividades humanas.

Objetivo: Manejo Sostenible de la Tierra en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, degradación neutral.

Convención Ramsar relativa a los Humedales

Definición: Tratado intergubernamental para la conservación y uso racional de los recursos naturales.

Objetivo: Conservación y uso racional y sostenible de los ecosistemas húmedos mediante acciones tendientes a la cooperación nacional e internacional como medio para alcanzar el desarrollo sustentable a nivel mundial.

2.2.3. Código Orgánico Ambiental:

Desde el Código Orgánico Ambiental, el marco regulatorio legal para la presente investigación fue el siguiente:

Artículo 5.- Derecho de la población a vivir en un ambiente sano.

El derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado comprende.

Artículo 6.- Derechos de la naturaleza.

Son derechos de la naturaleza los reconocidos en la Constitución, los cuales abarcan el respeto integral de su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, así como la restauración

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

Desde la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, el marco regulatorio legal para la presente investigación fue el siguiente:

Artículo 12. Protección y conservación de fuentes

La parte social que se abastece del agua de las fuentes hídricas naturales, son responsables de la protección, recuperación y conservación de las mismas.

Las autoridades y los usuarios de las fuentes que manejan para sus actividades, son los principales actores de dar un manejo sustentable al recurso hídrico.

Artículo 14. Cambio del uso del suelo

El estado es el encargado de regular las actividades antrópicas que causen deterioro al recurso suelo, ya que se han demostrado estudios en los que el cambio del uso del suelo altera la disponibilidad del recurso agua.

Artículo 64. Conservación del agua

El agua de los afluentes de los ríos de la microcuenca, abastece con su caudal a la mayor parte de la población de la zona y desemboca en el Lago San Pablo de Otavalo, lugar turístico, entonces es primordial la conservación del agua para mantener sanas las fuentes naturales de este recurso.

Artículo 78. Áreas de protección hídrica

Las áreas de interés público, como es el caso del Lago San Pablo, debe considerarse como área de interés público, con el fin de mantener la integridad de los ecosistemas y beneficiar a la sociedad con un ambiente sano.

Artículo 111. Protección en fuentes de agua

La mayor parte de la microcuenca tiene un uso del suelo para la agricultura y abastecimiento de alimento para la población, entonces la protección de las fuentes de agua garantizarán la soberanía alimentaria.

2.2.5. Reglamento a la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua.

Desde el Reglamento a la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, el marco regulatorio legal para la presente investigación fue el siguiente:

Artículo 61. Formas de protección del dominio hídrico público

Las estrategias de acción para la protección de los recursos hídricos, se pueden tonar como medidas de solución para algunos conflictos que se presenten.

Artículo 69. Régimen jurídico de la zona delimitada como fuente de agua

Cuando la delimitación afecte a terrenos que en ese momento sean de propiedad privada, deberá llevarse a cabo la compensación adecuada a su titular. Todo ello si la ocupación del terreno por el privado ha sido legítima. En caso contrario, no habrá derecho a ningún tipo de compensación. La Secretaría del Agua, en coordinación con la Autoridad Ambiental Nacional, emitirán los lineamientos para la elaboración de un programa de sostenibilidad de la fuente de agua, la ausencia de cumplimiento de un programa de sostenibilidad de la fuente de agua por parte de los Gobiernos Autónomos Descentralizados será considerada como infracción administrativa.

Artículo 70. Régimen jurídico de las áreas de influencia de las fuentes de agua

En estos artículos se puede argumentar que las fuentes de agua como ríos, arroyos, o cualquier tipo de cuerpo de agua, se rige a normas para su utilización

responsable, dentro de la microcuenca se presentan actividades económicas como la agricultura que genera desechos en fuentes cercanas de agua.

2.2.6. Ordenanza de creación de la empresa pública municipal de agua potable y alcantarillado de Otavalo "EMPAO-EP"

Sección I

De la constitución, domicilio, razón social, objetivos, finalidad, políticas, funciones y atribuciones

Artículo 5.- Son Objetivos de la "EMPAO-EP"

- a) Coordinar con otras instituciones públicas u organizaciones sociales o comunitarias, acciones para contribuir con la preservación, protección y conservación del entorno ecológico de las fuentes hídricas aprovechables.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Descripción del área de estudio

La microcuenca del río Itambi se encuentra ubicada políticamente al sur oriente de la provincia Imbabura en el cantón Otavalo en la zona norte del Ecuador (Figura 2).

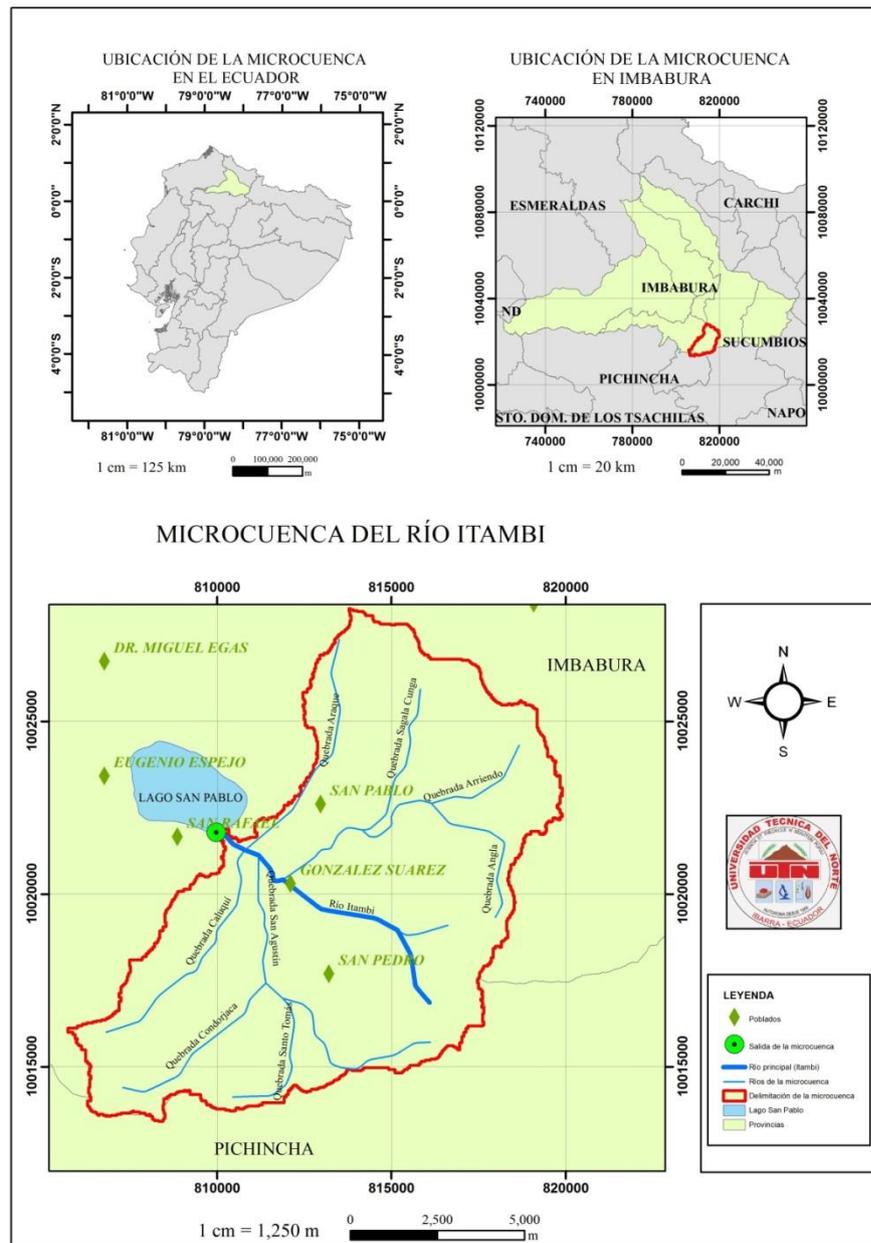


Figura 2. Ubicación de la microcuenca del río Itambi en el Ecuador

La microcuenca del río Itambi se encuentra en un rango altitudinal de 2680 a 4600 m s.n.m. La superficie es de 110.17 km² y las coordenadas en el sistema WGS 1984 UTM Zona 17S de los puntos extremos (Tabla 3):

Tabla 3. Coordenadas de los puntos extremos de la microcuenca del río Itambi en el sistema WGS84 UTM Zona 17S.

Punto	X	Y	Altitud (m s.n.m.)
Norte	814424	10027920	4306
Sur	813432	10013911	3079
Este	819464	10020578	3154
Oeste	809951	10021417	2671

Entre la microcuenca del río Itambi se ubican las parroquias rurales San Pablo del Lago, González Suárez y San Pedro de Pitaquí que se ubican cerca al núcleo urbano de la ciudad de Otavalo y forman parte de la cuenca hidrográfica del lago San Pablo o Imbakucha y poseen 11, 8 y 6 comunidades respectivamente (Tabla 4). El área de estudio posee 3 zonas de vida correspondiente a: bosque muy húmedo Montano, con temperaturas entre 6° a 12°C, precipitaciones entre 1000 a 2000 mm, bosque húmedo Montano con temperaturas que oscilan en 6° a 12°C, con precipitaciones que varían entre 500 a 1000 mm y la zona de vida perteneciente a bosque seco Montano Bajo, con temperaturas entre los 12° y 18°C, mientras que las precipitaciones varían de 500 a 1000 mm anuales (GAD, 2015).

Tabla 4. Comunidades y familias de las parroquias San Pablo del Lago, González Suárez y San Pedro de Pitaquí.

Parroquia	Comunidades	Familias
San Pablo del Lago	Lomakunga	55
	Araque	750
	Abatag	83
	Imbabura	198
	Cocha Loma	50
	Cusín Pamba	300
	Gualabí	250
	Casco Valenzuela	150
	El Topo	200
	Ugsha	170
González Suárez	Angla	275
	Pijal	700
	Calukí	300
	Mariscal Sucre	130
	San Agustín de Cajas	200
	Eugenio Espejo de Cajas	120
	Gualacata	100
	Inti Huaycopungo	66
San Francisco de Cajas	110	
San Pedro de Pitaquí	Cabecera parroquial	52
	La Buena Esperanza	2
	San Joaquín	8
	La Loma	13
	La Buena Esperanza	6
	La Playa baja	10

Fuente: PDOT parroquial San Pablo del Lago, 2015, PDOT parroquial de González Suárez, 2015, PDOT parroquial de San Pedro de Pitaquí, 2015

Las principales actividades económicas de la población de las parroquias de San Pablo, Gonzalez Suárez, y San Pedro de Pitaquí, por ende de la población de la microcuena hidrográfica, son las siguientes: agricultura, ganadería, silvicultura y pesca (37.79%) construcción (10.99%), enseñanza (9.31) y comercio (6.76%) pero también hay población de actividad no declarada que correspondería al

desempleo con un porcentaje de 9% de acuerdo al VI y VII censos de población y vivienda (INEC, 2010).

3.2 Métodos

La presente investigación fue de carácter descriptiva y el tipo de investigación es No experimental Longitudinal, porque contiene análisis multitemporales de como: uso de suelo, precipitación, temperatura, velocidad de viento, heliofanía, punto de rocío y caudales. Con la finalidad de cumplir los objetivos del proyecto, se realizó un seguimiento de las siguientes etapas con sus respectivas actividades que llegaron al producto final.

3.2.1 Etapa 1: Análisis de los cambios del uso del suelo y cobertura vegetal

Se obtuvo imágenes satelitales: Landsat 7 ETM, para los años: 2000, 2007, 2011 y 2014, mismas que se descargaron de la página de la NASA proporcionadas por el Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS ubicadas en el centro nominal designado por los números PATH y ROW 10 y 60 respectivamente.

Además se realizó el tratamiento digital de las imágenes satelitales usando el software QGIS 3.0.2, se utilizó esta herramienta para realizar la corrección atmosférica y radiométrica de imágenes y la composición de bandas, como se muestra a continuación:

Corte de la imagen satelital: corte de la imagen con el área de estudio.

Corrección geométrica: proyección de la imagen satelital desde la zona 17 Norte a la 17 Sur utilizando puntos GPS en el sistema WGS 1984 UTM Zona 17S.

Corrección radiométrica: realce radiométrico para reducir efectos atmosféricos como la nubosidad.

Combinación de bandas: realce multiespectral, mediante la combinación de bandas de la imagen satelital, con el fin de obtener una imagen en infrarrojo o falso color, útil para interpretar las diferentes coberturas existentes en la microcuenca.

También se realizó una clasificación supervisada con la recopilación de Áreas de Entrenamiento teniendo en cuenta los usos de suelo pertenecientes a la

microcuenca del río Itambi como: bosques, vegetación arbustiva, pastos, páramo, cultivos, área urbana, áreas no vegetadas y cuerpos de agua, para los cuales se tomaron puntos geográficos y se los clasificó asignando un valor numérico para cada uso de suelo, con el fin de validar los datos reales con los datos del software ArcGIS (Tabla 5).

Tabla 5. Polígonos de las Áreas de Entrenamiento proyección WGS 84 UTM
Zona 17 Sur.

Polígono	X	Y	Área de Entrenamiento
1	807761	10016028	Páramo
	808314	10015106	
	807727	10014519	
	806604	10015576	
2	815704	10018048	Bosque
	816311	10017959	
	816332	10017489	
	815655	10017576	
3	809052	10015978	Vegetación Arbustiva
	809286	10015693	
	808985	10015408	
	808767	10015861	
4	815341	10023310	Cultivos
	816565	10022053	
	815425	10022221	
	815392	10023294	
5	811528	10018482	Pastos
	811770	10018377	
	811783	10018199	
	811501	10018233	

Polígono	X	Y	Área de Entrenamiento
6	812953	10021120	
	813153	10021080	Infraestructura
	813081	10020964	Agrícola
	812939	10021015	
7	812618	10022043	
	813112	10021647	Zona urbana
	812415	10021501	
	812366	10021883	

Posteriormente se analizaron multitemporalmente los cambios del uso del suelo y cobertura vegetal, restando el área de cada cobertura para cada uno de los periodos, es decir: 2007-2000, 2011-2007 y 2014-2011 con el fin de conocer la variación de las mismas, para ello se usó imágenes tratadas de los años: 2000, 2007, 2011 y 2014.

3.2.2 Etapa 2: Evaluación de los efectos del cambio de uso del suelo sobre el servicio ecosistémico de provisión hídrica.

Se utilizó el modelo hidrológico SWAT, el cual permitió que los procesos físicos de una cuenca hidrográfica puedan ser simulados, es decir este modelo dio a conocer, a lo largo del tiempo, el impacto de las prácticas de manejo de cultivos en la disponibilidad de agua, con distintos tipos de suelo y uso, también se generó en la cuenca hidrográfica la división en sub-cuencas (Bermúdez, 2010).

Para ejecutar el modelo hidrológico se crearon 4 proyectos en el software SWAT para los períodos 1998-2002, 2003-2007, 2008-2012 y 2011-2015, en los cuales se ingresaron parámetros climáticos, edáficos, de uso del suelo y geomorfológicos.

Parámetros Climáticos

Parámetros climáticos para el periodo de estudio desde 1998 hasta el 2015: temperatura mínima, temperatura máxima, precipitación, heliofanía, velocidad del viento, punto de rocío, siendo la mayoría de ellos requeridos obligatoriamente por la herramienta SWAT (Tabla 6):

Tabla 6. Parámetros climáticos ingresados al sistema de modelamiento SWAT.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	REQUERIDA / OPCIONAL
WLATITUDE	Latitud de la estación a emplear en grados decimales	Requerido
WLONGITUD	Longitud de la estación en grados decimales	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 (mmH ₂ O)	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

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	REQUERIDA / OPCIONAL
RAINHHMX (mon)	Máxima lluvia de media hora por mes (mmH20).para este parámetro se tomó en cuenta los valores históricos de lluvia máxima para 24 horas	Requerida
SOLRAV (mon)	<p>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, el al, 2006).</p> $Rs = \left(as + bs \frac{n}{N} \right) Ra$ <p>Donde:</p> <p>Rs: radiación solar o de onda corta [MJ*m-2*día-1]</p> <p>n: duración real de la insolación[horas]</p> <p>N: duración máxima posible de la insolación [horas]</p> <p>n/N: duración relativa de la insolación[-]</p> <p>Ra: radiación extraterrestre [MJ*M-2*DÍA-1]</p> <p>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)</p> <p>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</p>	Requerido
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
WNDVAV (mon)	Promedio mensual de la velocidad del viento (m/s)	Requerido

Posteriormente se realizó la interpolación espacial de variables climáticas: el modelo SWAT requiere datos mensuales y diarios de los parámetros climáticos antes mencionados (Arias, 2015).

La interpolación fue realizada mensualmente en rangos de 5 años (Fries, Rollenbeckb, Nauß, y Bendixb, 2012). Para ello al período total 1998-2015 se dividió en cuatro períodos: 1998-2002, 2003-2007, 2008-2012 y 2011-2015.

Por lo tanto se determinaron valores diarios y mensuales: proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) (Figura 3). También se seleccionó un mínimo de tres estaciones climáticas con disponibilidad de información: Otavalo, Inguincho y San Gabriel, estas tienen distancias en línea recta de 10.5 km, 26.3 km y 60.4 km respectivamente en relación con la microcuenca.

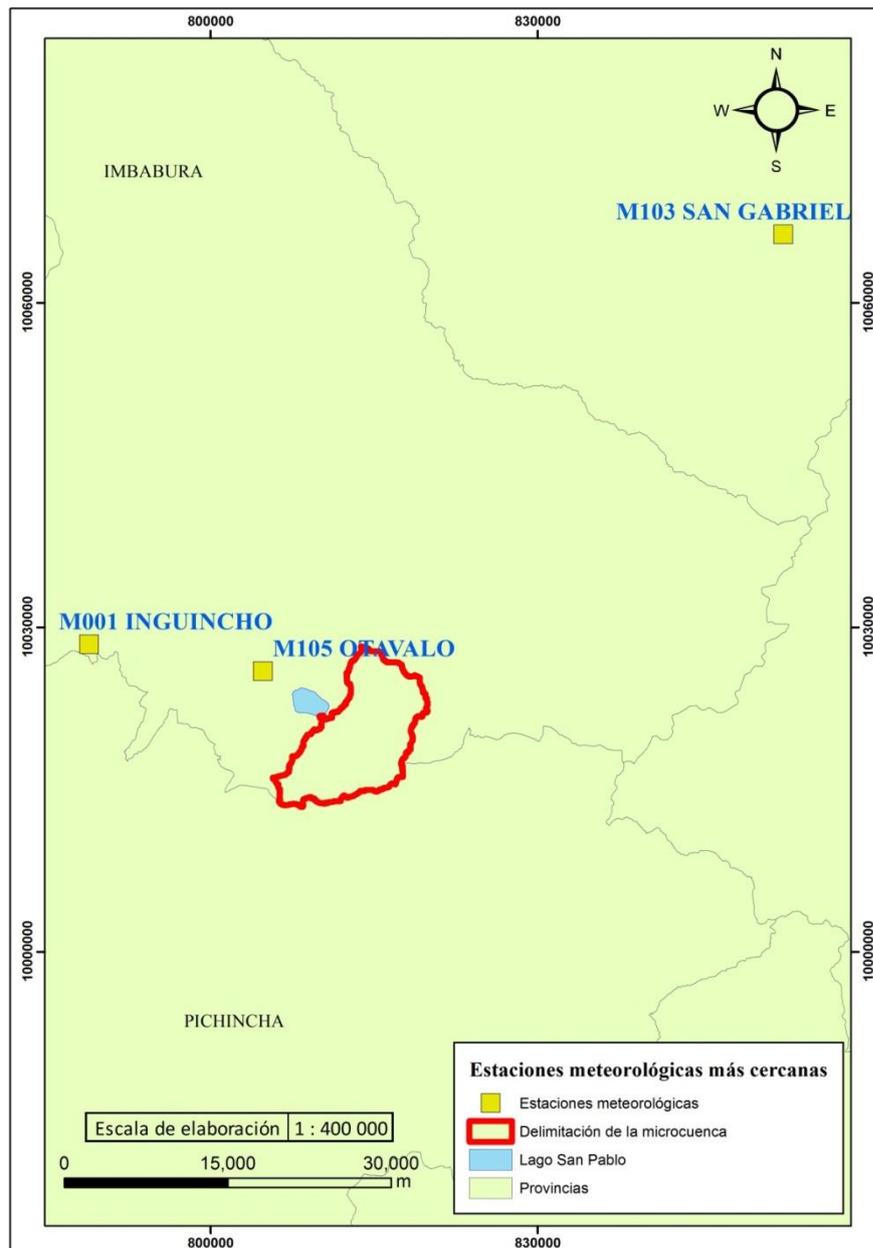


Figura 3. Estaciones Meteorológicas más cercanas a la microcuenca del río Itambi.

Parámetros de usos del suelo

En la microcuenca del río Itambi, se determinaron 9 tipos de cobertura vegetal y 6 tipos de uso del suelo, mismos que se interpretaron mediante códigos en el software SWAT (Tabla 7).

Tabla 7. Código SWAT de cada Área de Entrenamiento

Código	Código SWAT	Áreas de Entrenamiento	
		Cobertura	Uso
1	FRSE	Bosque	Conservación y protección
2	FRST	Vegetación arbustiva	Conservación y protección
3	PAST	Pastos	Agropecuario
4	RNGB	Páramo	Conservación y protección
5	AGRR	Cultivos	Agrícola
6	URML	Zona urbana	Antrópico
7	BARR	Área no vegetada	Tierras improductivas
8	WATR	Cuerpo de agua	Cuerpo de agua
14	AGRL	Infraestructura agrícola	Agrícola

Posteriormente se ingresó la información cartográfica tipo raster del cambio y uso de suelo obtenido en el análisis multitemporal.

La cobertura vegetal de la microcuenca del río Itambi en el año 2000 presentó dominancia de cultivos con el 50.12%, mientras que las zonas urbanas únicamente tenían el 1.08% de la superficie total del área de estudio (Figura 4).

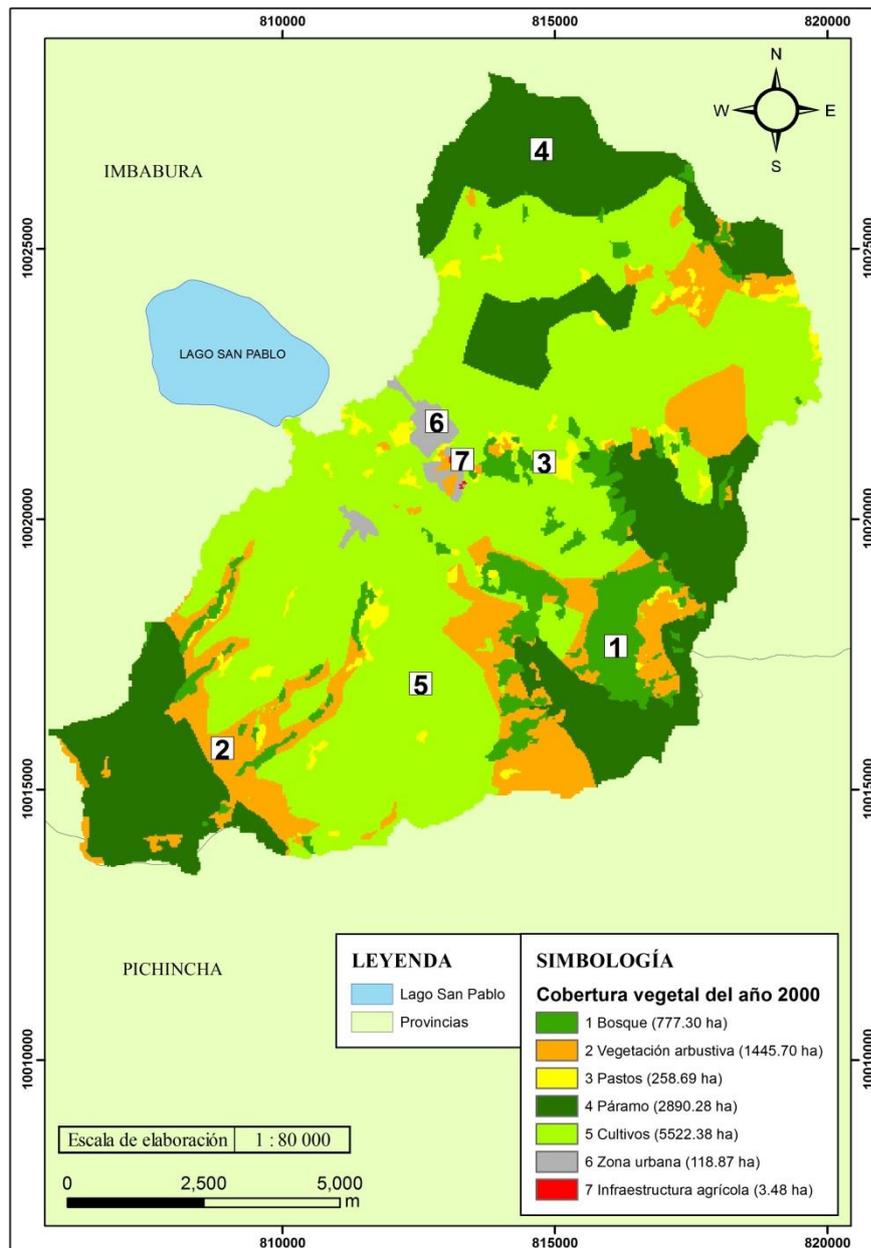


Figura 4. Cobertura vegetal y uso de suelo del año 2000 de la microcuenca del río Itambi

Para el año 2007, también se observó una ocupación del 51.22% por cultivos siendo la cobertura más representativa dentro de la microcuenca, no obstante, las áreas menos representativas fueron la zona urbana y la infraestructura agrícola con 1.08% y 0.03% respectivamente (Figura 5).

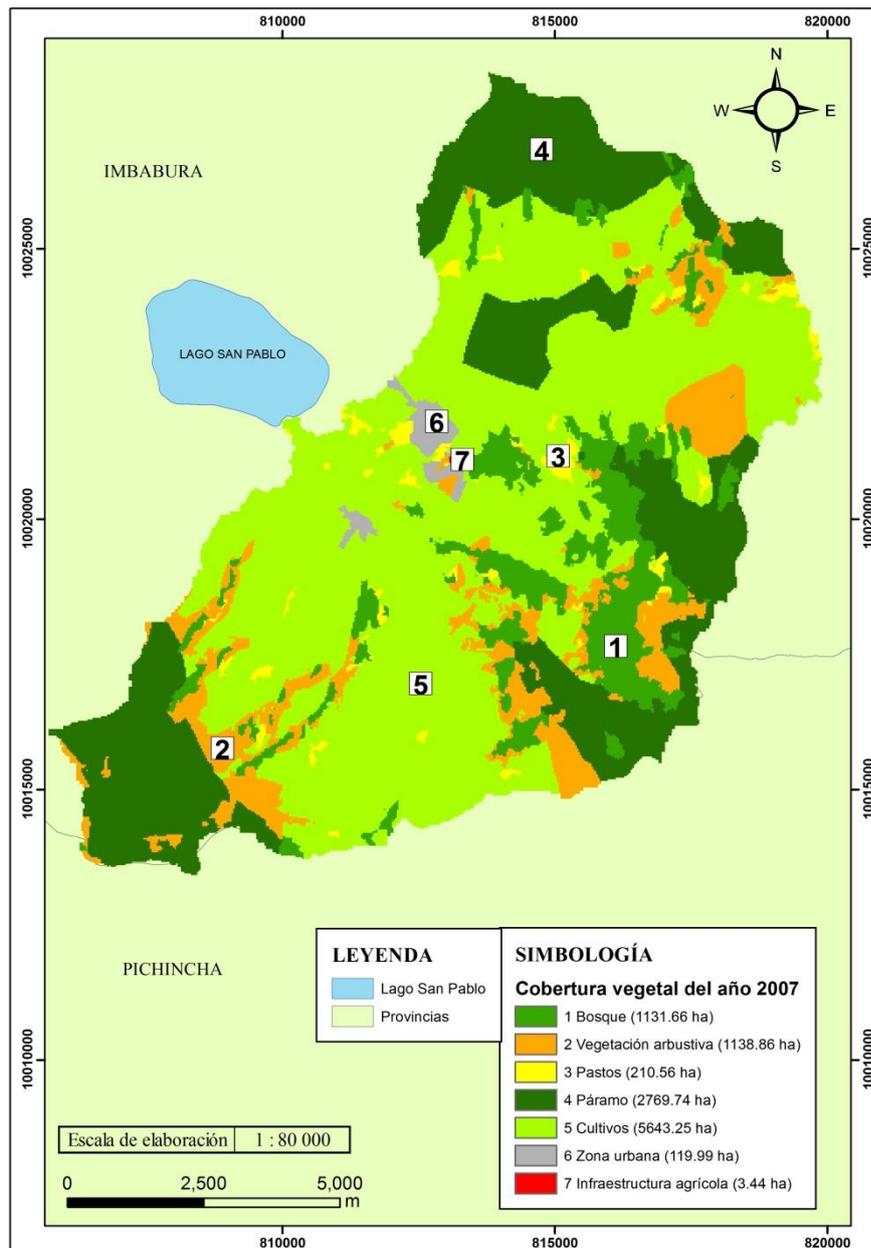


Figura 5. Cobertura vegetal y uso de suelo año 2007 de la microcuenca del río Itambi

En el año 2011, la cobertura mayoritaria fueron los cultivos con el 41.24% y la menos sobresaliente fue la infraestructura agrícola con el 0.35% (Figura 6).

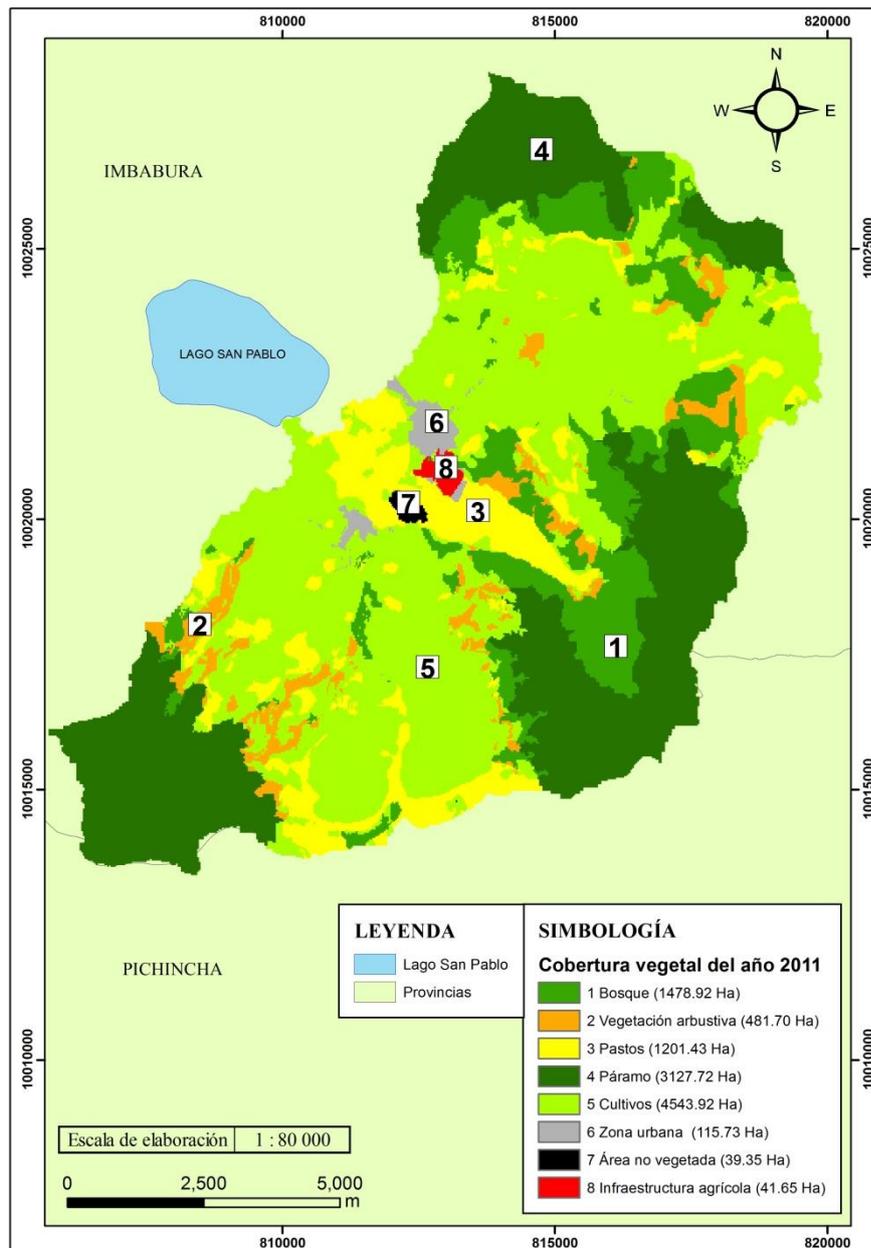


Figura 6. Cobertura vegetal y uso de suelo año 2011 de la microcuenca del río Itambi.

De la misma manera, durante el año 2014 se evidenció que las principales coberturas fueron los cultivos con el 49.9% y la infraestructura agrícola con el 0.14% del área total de la microcuenca (Figura 7).

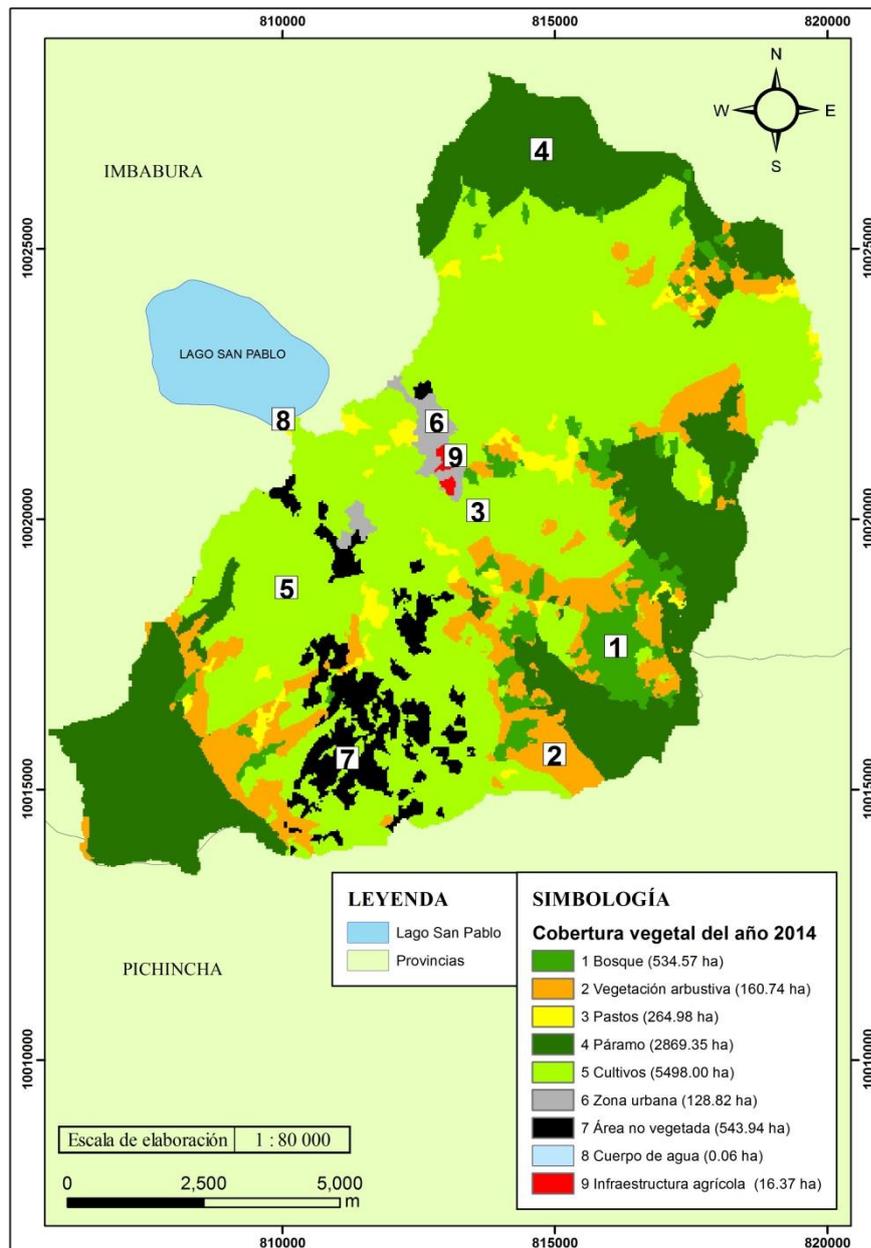


Figura 7. Cobertura vegetal y uso de suelo año 2014 de la microcuenca del río Itambi

Parámetros edáficos

Seguidamente se ingresaron parámetros edáficos para el área de estudio, obtenidos del Ministerio de Agricultura Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) (Tabla 8).

Tabla 8. Parámetros edáficos ingresados al sistema de modelamiento SWAT.

CAMPO SWAT	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
SNAM	Nombre del suelo.	Clasificación taxonómica del suelo por Gran grupo
SOL_ZMX	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 (SIN, 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.	Dato opcional.
SOL_Z	Es la profundidad desde la superficie del suelo hasta la parte inferior de cada capa (mm).	Tomado de (SNI, 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, $\rho_b = \text{Ms}/\text{Vt}$.	Se calculó utilizando el triángulo textural y la herramienta “Soil Characteristics Tool versión 6.02.70” (Saxton, Keith, y Rauls, 2009).
SOL_AWC	Agua disponible por las plantas, también llamada capacidad	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”

CAMPO SWAT	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
	de agua disponible AWC.	(Saxton, Keith, y 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 calculó utilizando el triángulo textural y la herramienta “Soil Characteristics Tool versión 6.02.70” (Saxton, Keith, y Rauls, 2009).
SOL_CBN	Es el contenido de carbono orgánico (% del peso del suelo) en el suelo.	Se utilizó la siguiente formula: C.org=Materia orgánica %1.724
CLAY	Es el contenido de arcilla (% del peso del suelo).	Se calculó utilizando el triángulo textural y la herramienta “Soil Characteristics Tool versión 6.02.70” (Saxton, Keith, y Rauls, 2009).
SILT	Es el contenido de limo (% del peso del suelo).	Se calculó utilizando el triángulo textural y la herramienta “Soil Characteristics Tool versión 6.02.70” (Saxton, Keith, y Rauls, 2009).
SAND	Es el contenido de arena (% del peso del suelo).	Se calculó utilizando el triángulo textural y la herramienta “Soil Characteristics Tool versión 6.02.70” (Saxton, Keith, y 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	(Baumer, 1990) propone estimar el albedo en la superficie del suelo en función de la materia orgánica mediante la siguiente ecuación: $A=0.6exp(0.4.OM)$ Dónde: A =es el albedo del suelo OM =es la materia orgánica del suelo (%).

CAMPO SWAT	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
	sobre éste, expresado como una fracción.	
USLE_K	Es el factor K de erodabilidad del suelo de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo.	<p>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.</p> <p>La ecuación es:</p> $KUSLE = \frac{0.00021 M^{1.14} (12 - OM) + 3.25 C_{soilstr}}{100}$ <p>Dónde:</p> <p>KUSLE: es el factor de erodabilidad del suelo. M: es el parámetro del tamaño de las partículas. OM: es el porcentaje de materia orgánica. Csoilstr: es el código de la estructura del suelo en la clasificación del suelo. Cperm: es el perfil de las clases de permeabilidad.</p>
SOL_EC	La conductividad eléctrica (ds/m)	No se encuentra actualmente activa.

Fuente: Arnold, 2010

En este sentido, se utilizó la capa de cobertura de textura del suelo del Ecuador y los softwares libres: Soil Water Characteristics, esta relaciona la succión del suelo y el volumen del agua en los poros del suelo (Soares, Nogueira, y Toscano, 2004). Num Curv, el cual se basa en el grupo de suelo hidrológico del área, el uso del suelo, el tratamiento y la condición hidrológica, determinó el número de curva (Ponce y Hawkins, 1996) (Tabla 9) y (Figura 8).

Tabla 9. Valores ingresados de los parámetros edáficos al software SWAT

TEXTURA	Franco arenoso	Arcillo arenoso	Arcillo limoso	Franco arcillo arenoso	Franco limoso
HYDGRP	B	C	D	C	C
SOL_Z	1000	350	750	350	1000
SOL_BD	1.46	1.48	1.24	1.51	1.37
SOL_AWC	0.10	0.11	0.14	0.10	0.18
SOL_K	50.34	0.84	3.81	7.84	12.19
SOL_CBN	4.06	0.87	1.74	1.74	1.74
CLAY	10	42	47	28	20
SILT	25	6	46	12	60
SAND	65	52	7	60	20
ROCK	<10	<10	<10	<10	<10
SOL_ALB	0.04	0.33	0.18	0.18	0.18
USLE_K	0.31	0.31	0.21	0.38	0.47

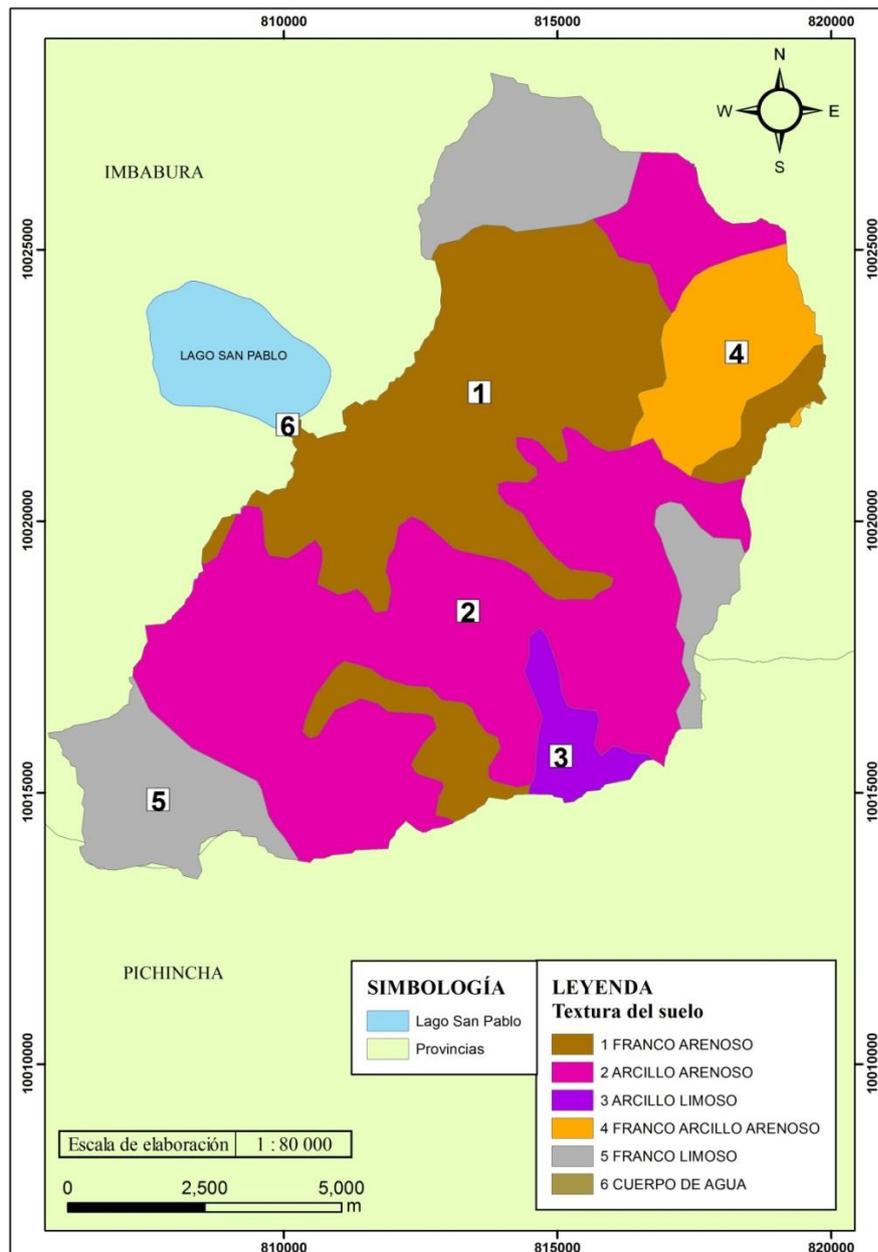


Figura 8. Texturas del suelo de la microcuenca del río Itambi

Parámetros geomorfológicos

Se ingresaron parámetros de relieve, mediante el Modelo Digital de Elevación (DEM) con un rango altitudinal desde los 2662 hasta los 4568 m s.n.m. (Figura 9).

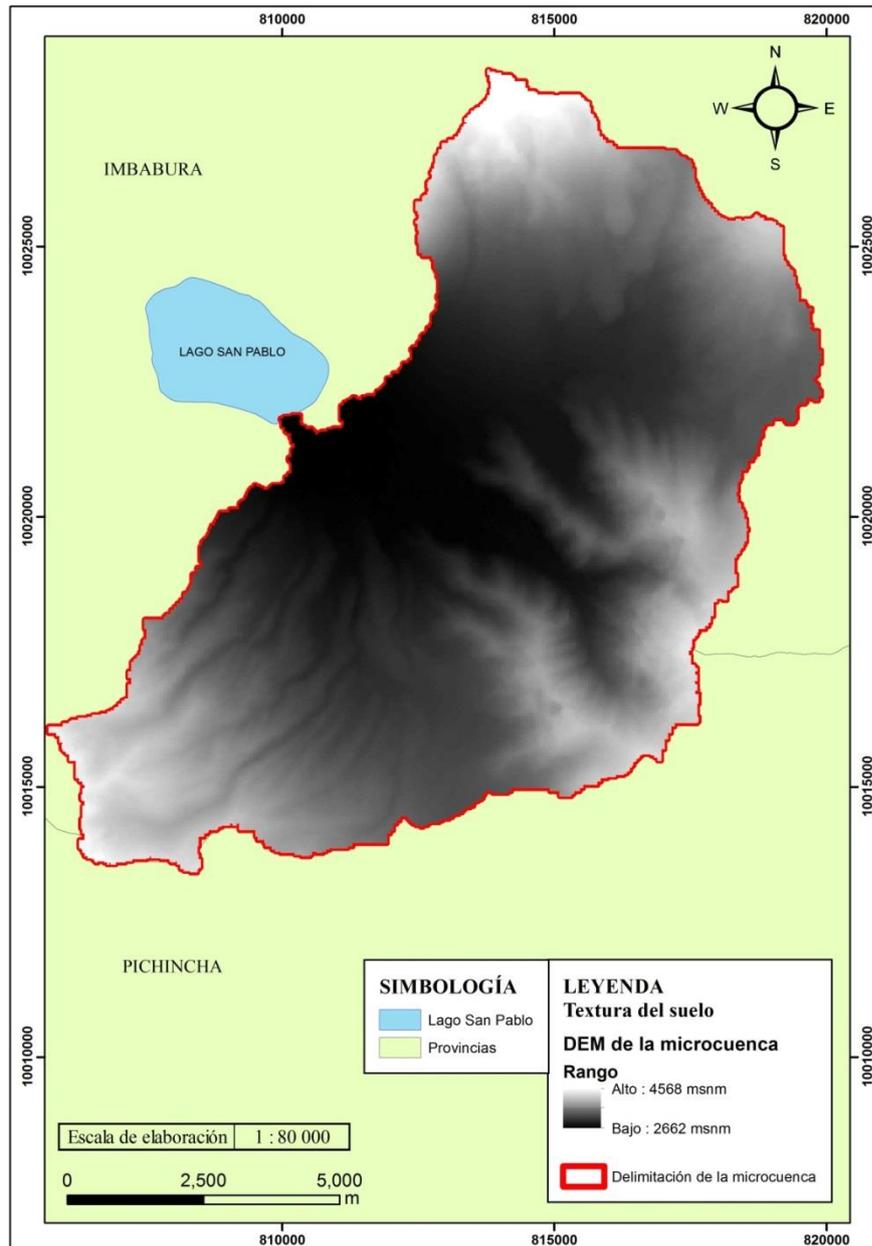


Figura 9. Modelo digital de elevación de la microcuenca del río Itambi.

Finalmente se ingresaron las pendientes del área de la microcuenca del río Itambi para que se genere la Modelación Hídrológica (Tabla 10).

Tabla 10. Relieve de las pendientes en la microcuenca del río Itambi.

Rango de pendiente %	Relieve
0-5	Plano
5-12	Ligeramente ondulado
12-25	Ondulado
25-50	Montañoso
50-70	Muy montañoso
>70	Escarpado

La pendiente más reelevante dentro de la microcuenca pertenece al rango de 25-50%, lo que quiere decir que las zonas Montañosas predominan en el área (Figura 10).

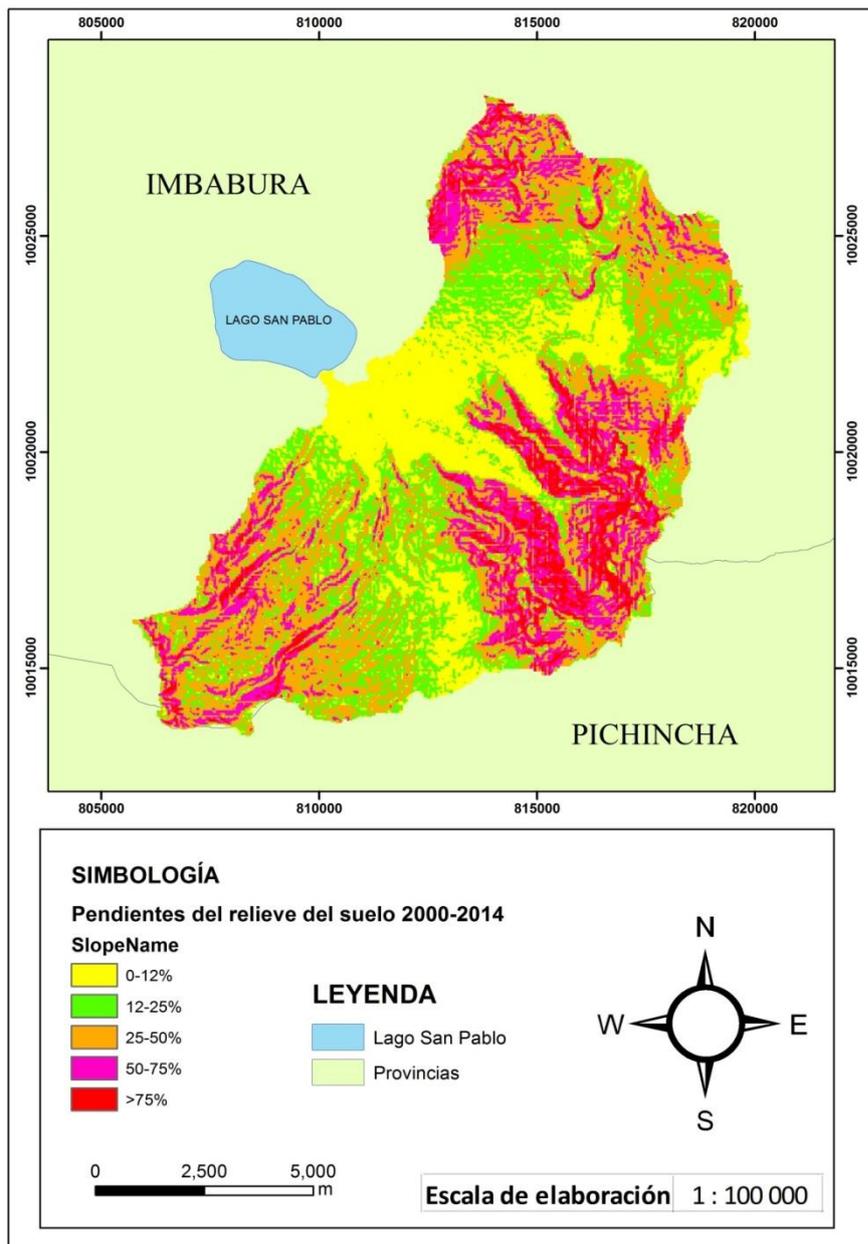


Figura 10. Pendientes generadas por SWAT en la microcuenca del río Itambi.

Determinación de la oferta del servicio ecosistémico de provisión hídrica.

Se obtuvieron los caudales medios del cause principal de la microcuenca del río Itambi para los siguientes años: 2000, 2007, 2011 y 2014, llegando a determinar la oferta hídrica.

Consecutivamente se realizó la calibración del modelo hidrológico (Galván, Olías, Villarán, y Santos, 2007). También se realizó la validación de los modelos hidrológicos (Galván et al., 2007).

Calibración de datos de caudales

Se calcularon el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe y el coeficiente R^2 de la relación de regresión lineal entre los datos hidrológicos reales proporcionados por el INAMHI y los datos simulados inicialmente por el software.

Una vez ejecutado el software ArcSWAT y obtenidos los datos de caudales simulados de la microcuenca del río Itambi, se observó que al calcular el coeficiente de Nash Sutcliffe, resultaron valores menores a 0.36, perteneciendo a la no aceptabilidad, entonces se procedió a calibrar el software ArcSWAT. El método de calibración consistió en la aproximación a la similitud de: los caudales conseguidos por el software y los caudales reales proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2016).

Fórmula del 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

Ya que no existen criterios globalmente estandarizados sobre los rangos en la interpolación de los valores del coeficiente, se puede abarcar criterios de diferentes autores (Ritter, Muñoz, y Regalado, 2011). Por lo tanto para la presente investigación se utilizó el siguiente criterio (Tabla 11):

Tabla 11. Criterio de aceptabilidad del coeficiente de Nash

Rango	Eficiencia del ajuste
<0.36	No aceptable
0.36-0.75	Aceptable
>0.75	Bueno

Fuente: Camel, Lucio, Bosco, y Marques, 2018

Para la calibración de los datos de los caudales se escogieron parámetros que según Ortiz (2010) y Urrutia (2016), poseen mayor sensibilidad dentro del modelo hidrológico (Tabla 12).

Tabla 12. Parámetros de sensibilidad utilizados para la calibración del modelo hídrico.

Nombre del parámetro	Descripción	Simulación Inicial	Simulación calibrada
GW_DELAY (days)	Agua subterránea	31 u	88 / 80 u
ALPHA_BF (days)	Caudal base	0.06 u	1.048 / 0.06 u
GWQMIN (mm)	Umbral de profundidad del agua en el acuífero superficial requerido para que ocurra el flujo de retorno.	500 u	1800 / 1850 u
CN2	Variación del número de curva	55 u	39 u

Validación del modelo hidrológico

Una vez calibrado el modelo hidrológico se calculó nuevamente el coeficiente de Nash Sutcliffe que según su criterio de aceptabilidad en donde los valores se acerquen a 1 la simulación se considera buena, si se encuentra entre $NS = 0.36-0.75$, se considera aceptable, pero bajo el valor de 0.36, la simulación no es aceptable. Para el caso del coeficiente R^2 , los valores que se consideraron aceptables, fueron mayores que 0.60 (Tabla 13).

Tabla 13. Criterio de aceptabilidad del coeficiente R^2

Rango	Aceptabilidad
<0.60	No aceptable
>0.60	Aceptable

Fuente: Nash-Sutcliffe, 1970

Una vez validados los caudales del río Itambi en la modelación hídrica, se calcularon valores del servicio ecosistémico de provisión hídrica, utilizando el indicador de estado de la cantidad presente del servicio, transformando los resultados obtenidos de la modelación hídrica desde mm a m^3/ha (Groot et al., 2010).

Modelo de regresión lineal

Para determinar los efectos del cambio del uso de suelo sobre el servicio ecosistémico de provisión hídrica, se realizó un modelo de regresión lineal para las coberturas vegetales, a excepción de las coberturas de infraestructura agrícola y cuerpo de agua, debido a que son menos representativas, además la primera es parte de los cultivos y ambas equivalen a menos del 1% de la superficie total de la microcuenca. Es por esto que se utilizaron los cambios de uso del suelo como variable independiente y los cambios de los caudales como variable dependiente.

Modelo de regresión geográficamente ponderada

Finalmente se aplicó el modelo de regresión geográficamente ponderada GWR por sus siglas en inglés, el cual es una extensión del marco de regresión estándar tradicional al permitir estimar los parámetros locales en lugar de los globales (Fotheringham et al., 2002). Es un tipo de estadística local que puede producir un conjunto de estimaciones de parámetros locales que muestran cómo varían las relaciones en el espacio para una mejor comprensión de las posibles causas ocultas de este patrón (Fotheringham et al., 2002). En contraste, el método de regresión tradicional, como los mínimos cuadrados ordinarios, es un tipo de estadística global que asume que la relación bajo estudio es constante en el

espacio. El modelo de regresión geográficamente ponderado se puede expresar mediante la siguiente fórmula (Rodríguez et al., 2017):

$$y_i = \beta_0(u_j, v_j) + \sum_{i=1}^p \beta_i(u_j, v_j)X_{ij} + \varepsilon_j$$

Dónde: u_j y v_j son las coordenadas de cada ubicación j , $\beta_0(u_j, v_j)$ es la intersección de la ubicación j , $\beta_i(u_j, v_j)$ es la estimación del parámetro local para la variable independiente X_i en la ubicación j .

Este proceso fue realizado automáticamente por la herramienta GWR del software ArcGIS 10.4.1, utilizando: el cambio de cobertura vegetal y el cambio de los caudales, como variables independiente y dependiente respectivamente. La ejecución del proceso calculó varios parámetros, de los cuales se utilizó el denominado R^2 local, mismo que presentó distintos valores de ajuste por cada quebrada. La interpretación de estos valores se los realizó en base a la tabla 8 del criterio de aceptabilidad del coeficiente R^2 . Sin embargo, se ajustaron nuevos rangos de acuerdo a los valores del análisis del modelo de Regresión Geográficamente Ponderada (Tabla 14).

Tabla 14. Criterios de aceptabilidad del coeficiente R^2 para el análisis de Regresión Ponderada Geográficamente.

Rango R^2	Aceptabilidad
0 – 0.25	Muy baja
0.25 – 0.50	Baja
0.50 – 0.75	Alta
0.75 – 0.96	Muy alta

Fuente: Nash-Sutcliffe, 1970

3.3 Materiales y equipos

Los materiales y equipos que se utilizaron en la investigación fueron: publicaciones hidrológicas y meteorológicas en el periodo 1998-2015 que dispone

el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), cartografía de libre acceso del Sistema Nacional de Información (2013) a escala 1:50 000, para elaborar mapas: de pendiente, cobertura vegetal, uso del suelo, taxonomía del suelo, entre otros. También se utilizó: software ArcGIS 10.4.1, NumCur, Soil Water Characteristics, SWAT y QGIS 3.0.2 (Tabla 15).

Tabla 15. Materiales y equipos utilizados en la investigación

De campo	De Información
	Computador, software ArcGIS 10.4.1, NumCur, Soil Water Characteristics, SWAT y QGIS 3.0.2.
	Datos hidrológicos y meteorológicos, del INAMHI.
Navegador GPS	Coberturas shp: Curvas de nivel, cobertura vegetal, usos del suelo, ríos de la microcuenca del S.N.I.
Libreta de campo	
Cámara digital	Mapa de la cobertura vegetal de la microcuenca del río Itambi 2000-2015 del S.N.I.
Vehículo	
Flash memory	Mapa de las texturas del suelo de la microcuenca del río Itambi del S.N.I.
Cinta métrica	Caudales asignados para consumo y riego por la Secretaria Nacional de Agua SENAGUA.
	Bibliografía sobre la temática.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Cambio de cobertura vegetal y uso del suelo

4.1.1 Cambio de cobertura vegetal del suelo.

El cambio de cobertura vegetal más representativo para el periodo 2000 a 2007, fue el aumento de la superficie de bosques con una variación del 3.22% y el cambio menos representativo fue la persistencia de la cobertura de infraestructura agrícola (Figura 11) y (Tabla 16).

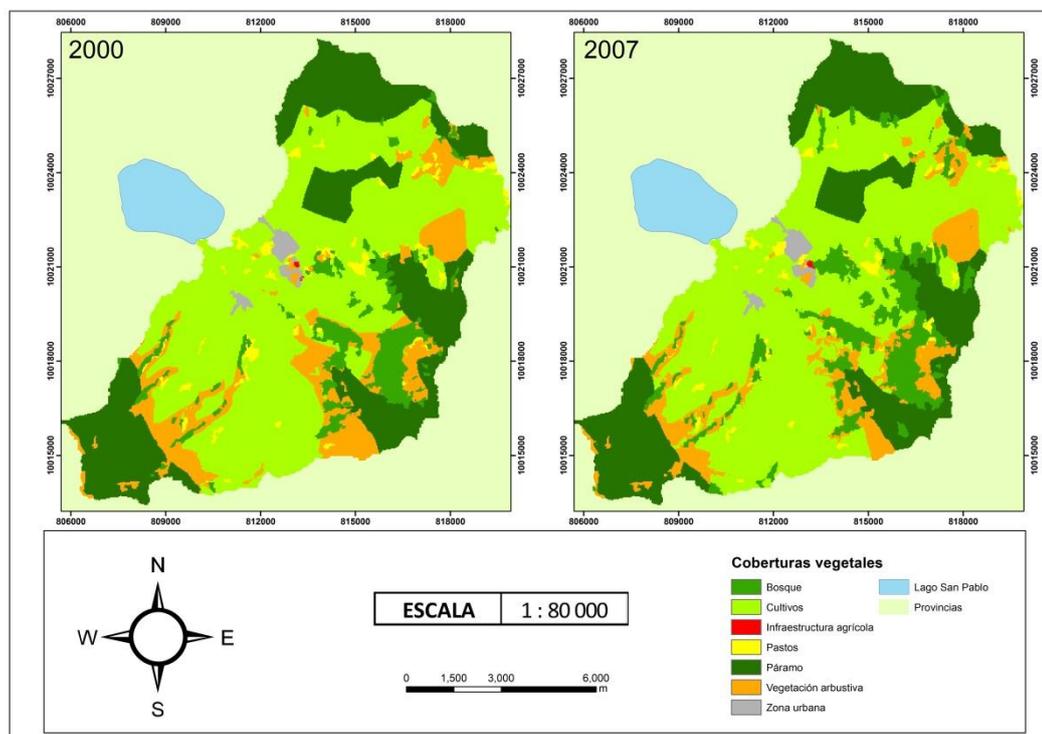


Figura 11. Coberturas vegetales de los años 2000 y 2007.

Tabla 16. Cambio de cobertura vegetal de la microcuenca del río Itambi del periodo 2000-2007

Cobertura	Porcentaje		Porcentaje de Variación	Cambio de cobertura
	2000	2007		
Bosque	7.06%	10.27%	3.22%	Aumentó
Vegetación arbustiva	13.12%	10.34%	-2.79%	Disminuyó
Pastos	2.35%	1.91%	-0.44%	Disminuyó
Páramo	26.24%	25.14%	-1.10%	Disminuyó
Cultivos	50.13%	51.22%	1.09%	Aumentó
Zona urbana	1.08%	1.09%	0.01%	Aumentó
Infraestructura agrícola	0.03%	0.03%	0.00%	Sin cambio

En este sentido, durante el transcurso de los años del 2007 al 2011 se evidenció un cambio de la cobertura predominante en la superficie de la microcuenca. Los cultivos disminuyeron su área en un 10.03%, mientras que la variación menos significativa fue la reducción del área urbana en un 0.04%. Cabe destacar que en el año 2011 se observó la presencia de una nueva cobertura, la cual fue el área no vegetada, misma que ocupó tan sólo un 0.36% dentro de la microcuenca (Figura 12) y (Tabla 17).

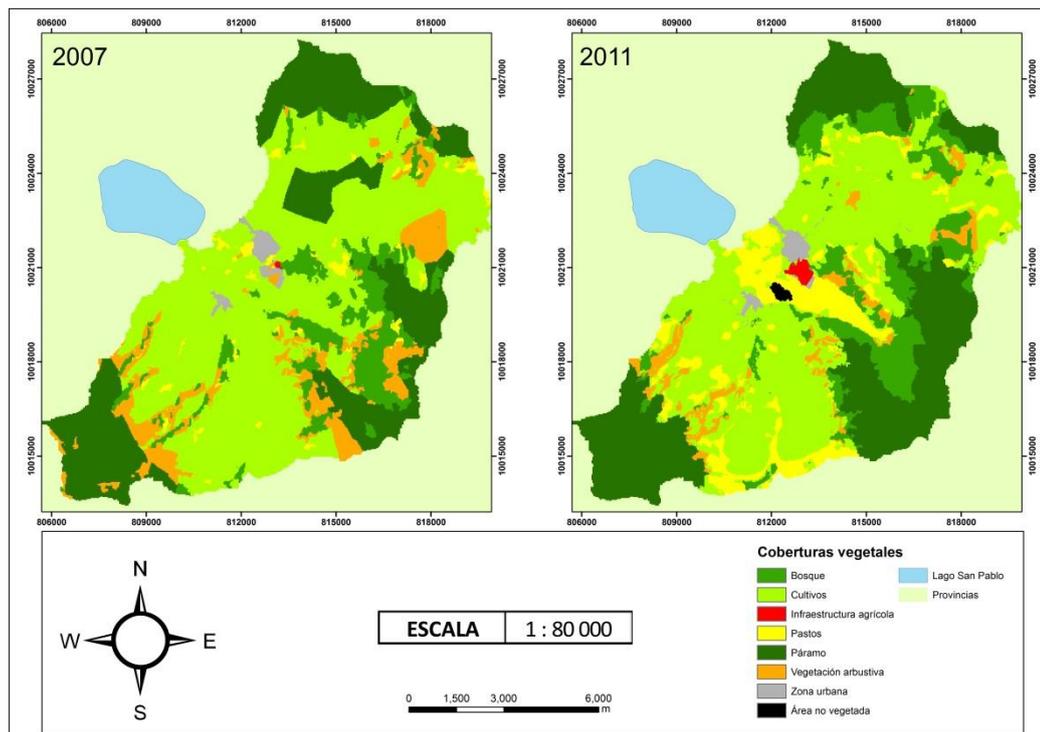


Figura 12. Coberturas vegetales de los años 2007 y 2011.

Tabla 17. Cambio de cobertura vegetal de la microcuenca del río Itambi del periodo 2007-2011

Cobertura	Porcentaje		Porcentaje de cambio	Cambio de cobertura
	2007	2011		
Bosque	10.27%	13.41%	3.14%	Aumentó
Vegetación arbustiva	10.34%	4.37%	-5.97%	Disminuyó
Pastos	1.91%	10.89%	8.98%	Aumentó
Páramo	25.14%	28.36%	3.22%	Aumentó
Cultivos	51.22%	41.19%	-10.03%	Disminuyó
Zona urbana	1.09%	1.05%	-0.04%	Disminuyó
Área no vegetada	0.00%	0.36%	0.36%	Se generó
Infraestructura agrícola	0.03%	0.38%	0.35%	Aumentó

Además, para el periodo del 2011 al 2014 el mayor cambio de cobertura observado fue el aumento de los cultivos con una variación del 8.71%. Es importante resaltar que la cobertura de cuerpo de agua, perteneciente al lago San Pablo, aumentó su superficie en 0.001%, ocupando parte del área terrestre de la microcuenca (Figura 13) y (Tabla 18).

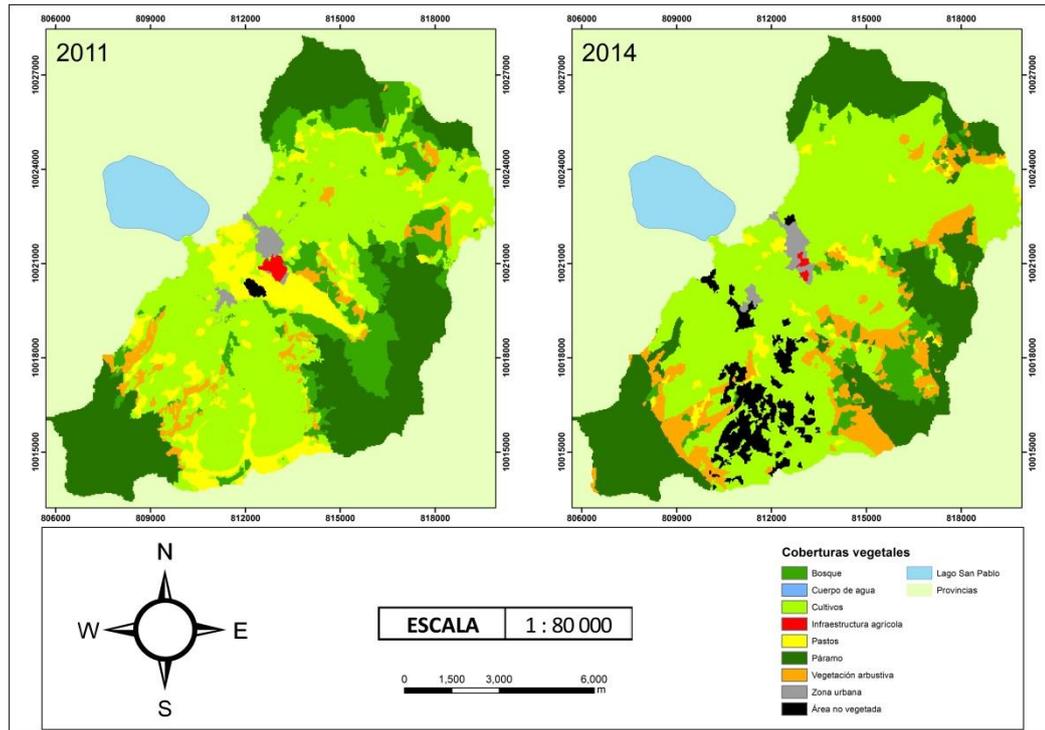


Figura 13. Coberturas vegetales de los años 2011 y 2014.

Tabla 18. Cambio de cobertura vegetal de la microcuenca del río Itambi del periodo 2011-201

Cobertura	Porcentaje		Porcentaje de cambio	Cambio de cobertura
	2011	2014		
Bosque	13.41%	4.85%	-8.56%	Disminuyó
Vegetación arbustiva	4.37%	10.54%	6.17%	Aumentó
Pastos	10.89%	2.41%	-8.49%	Disminuyó
Páramo	28.36%	26.05%	-2.31%	Disminuyó
Cultivos	41.19%	49.91%	8.71%	Aumentó
Zona urbana	1.05%	1.17%	0.12%	Aumentó
Área no vegetada	0.36%	4.94%	4.58%	Aumentó
Cuerpo de agua	0.00%	0.001%	0.001%	Aumentó
Infraestructura agrícola	0.38%	0.15%	-0.23%	Disminuyó

De tal modo que el cambio de cobertura vegetal más representativo durante el periodo 2000 al 2014 fue la generación de áreas no vegetadas, ocupadas por un 4.94% en el año 2014, y el cambio menos relevante fue el aumento del cuerpo de agua con un 0.001% de superficie. Cabe mencionar que las áreas naturales como

el páramo, bosque y vegetación arbustiva, disminuyeron en 0.19%, 2.20% y 2.59% respectivamente (Tabla 19).

Tabla 19. Cambio de cobertura vegetal de la microcuenca del río Itambi del periodo 2000-2014

Cobertura	Porcentaje		Porcentaje de cambio	Cambio de cobertura
	2000	2014		
Bosque	7.06%	4.85%	-2.20%	Disminuyó
Vegetación arbustiva	13.12%	10.54%	-2.59%	Disminuyó
Pastos	2.35%	2.41%	0.06%	Aumentó
Páramo	26.24%	26.05%	-0.19%	Disminuyó
Cultivos	50.13%	49.91%	-0.22%	Disminuyó
Zona urbana	1.08%	1.17%	0.09%	Aumentó
Área no vegetada	0.00%	4.94%	4.94%	Se generó
Cuerpo de agua	0.00%	0.001%	0.001%	Aumentó
Infraestructura agrícola	0.03%	0.15%	0.12%	Aumentó

4.1.2 Cambio de uso del suelo

El cambio de uso del suelo más significativo se observó en el aumento del 1.09% en el uso agrícola, llegando a ocupar más de la mitad de la superficie total de la microcuenca del río Itambi y el aumento del uso antrópico con el 0.01% es el cambio menos significativo para el periodo 2000-2007 (Tabla 20).

Tabla 20. Cambio de uso del suelo de la microcuenca del río Itambi del período 2000-2007

Uso	Porcentaje		Porcentaje de cambio	Cambio de uso
	2000	2007		
Agrícola	50.16%	51.25%	1.09%	Aumentó
Agropecuario	2.35%	1.91%	-0.44%	Disminuyó
Antrópico	1.08%	1.09%	0.01%	Aumentó
Conservación y protección	46.41%	45.75%	-0.67%	Disminuyó

En consecuencia, el cambio de uso más representativo para el siguiente periodo 2007-2011, fue la disminución del uso agrícola en un 9.68%, dando lugar al

aumento del uso agropecuario, tierras improductivas y las zonas de conservación y protección con diferencias de 8.98%, 0.36% y 0.38% respectivamente (Tabla 21).

Tabla 21. Cambio de uso del suelo de la microcuenca del río Itambi del período 2007-2011

Uso	Porcentaje		Porcentaje de cambio	Cambio de uso
	2007	2011		
Agrícola	51.25%	41.57%	-9.68%	Disminuyó
Agropecuario	1.91%	10.89%	8.98%	Aumentó
Antrópico	1.09%	1.05%	-0.04%	Disminuyó
Conservación y protección	45.75%	46.13%	0.38%	Aumentó
Tierras improductivas	0.00%	0.36%	0.36%	Aumentó

Para el periodo del 2011 al 2014, se determinó que el uso agrícola aumentó un 8.48% y el uso antrópico aumentó en un 0.12%. Sin embargo, a diferencia del anterior periodo, las áreas para la conservación y protección disminuyeron en un valor del 4.70% y el uso para cuerpo de agua, referente al lago San Pablo, aumentó un 0.001% ocupando una parte de la superficie terrestre de la microcuenca (Tabla 22).

Tabla 22. Cambio de uso del suelo de la microcuenca del río Itambi del período 2011-2014

Uso	Porcentaje		Porcentaje de cambio	Cambio de uso
	2011	2014		
Agrícola	41.57%	50.05%	8.48%	Aumentó
Agropecuario	10.89%	2.41%	-8.49%	Disminuyó
Antrópico	1.05%	1.17%	0.12%	Aumentó
Conservación y protección	46.13%	41.43%	-4.70%	Disminuyó
Cuerpo de agua	0.00%	0.001%	0.001%	Aumentó
Tierras improductivas	0.36%	4.94%	4.58%	Aumentó

De tal manera los cambios más característicos de uso de suelo desde el año 2000 hasta el año 2014, fueron: la disminución de las zonas para la conservación y

protección con una diferencia del 4.98%, la generación de las tierras improductivas y el aumento de uso agropecuario con valores de 4.94% y 0.06% respectivamente (Tabla 23).

Tabla 23. Cambio de uso del suelo de la microcuenca del río Itambi del período 2000-2014

Uso	Porcentaje		Porcentaje de cambio	Cambio de uso
	2000	2014		
Agrícola	50.16%	50.05%	-0.10%	Disminuyó
Agropecuario	2.35%	2.41%	0.06%	Aumentó
Antrópico	1.08%	1.17%	0.09%	Aumentó
Conservación y protección	46.41%	41.43%	-4.98%	Disminuyó
Cuerpo de agua	0.00%	0.001%	0.001%	Aumentó
Tierras improductivas	0.00%	4.94%	4.94%	Aumentó

4.2 Oferta del servicio ecosistémico de provisión hídrica

4.2.1. Modelación hídrica SWAT.

La modelación hídrica dividió la microcuenca en 27 quebradas, determinadas por los efluentes del río Itambi (Figura 14).

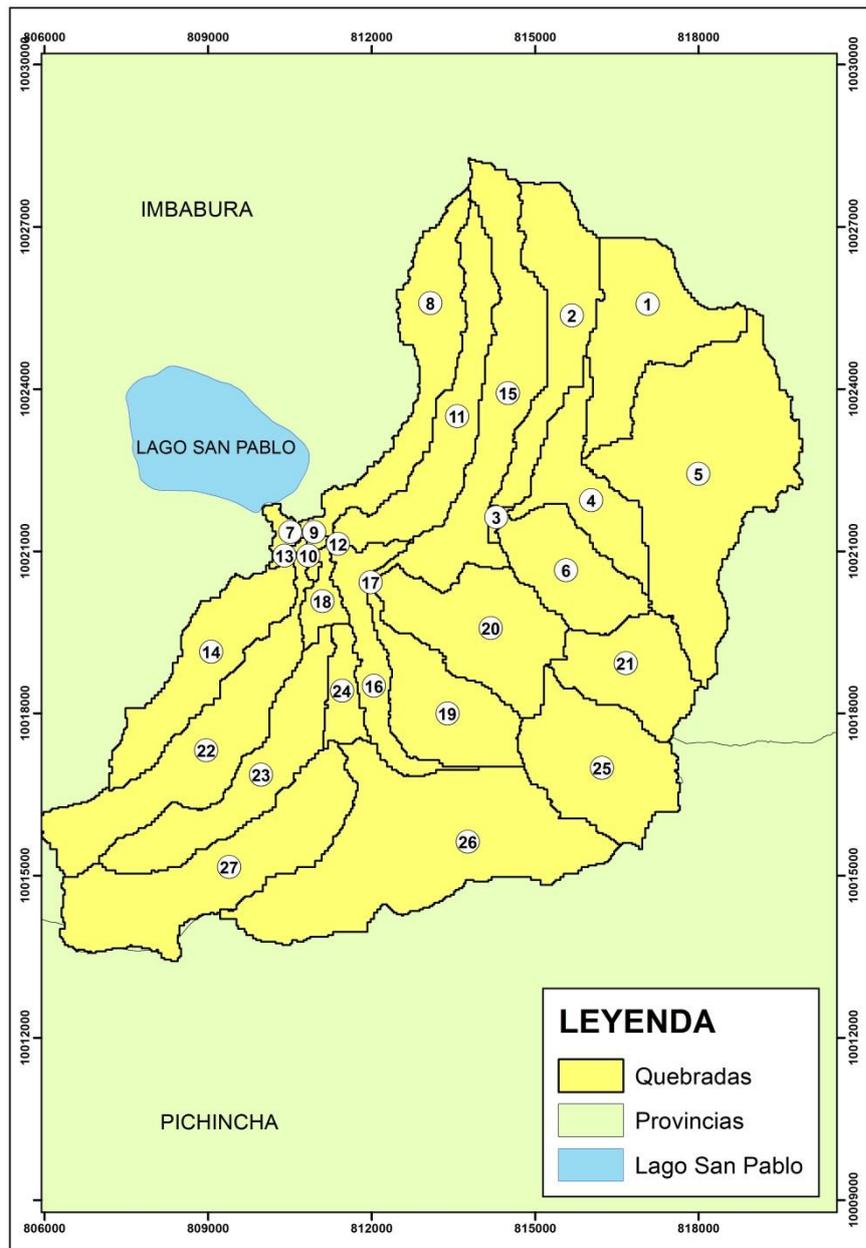


Figura 14. División por quebradas de la microcuenca del río Itambi.

La microcuenca está conformada por 27 quebradas, mismas que poseen la oferta hídrica con salidas de los caudales. La quebrada número 7 representa las salidas de la microcuenca del río Itambi. (Tabla 24).

Tabla 24. Caudales de entrada y salida de las quebradas de la microcuenca del río Itambi.

Quebrada	Caudales	Caudales	Caudales	Caudales
	2000 (m ³ /s)	2007 (m ³ /s)	2011 (m ³ /s)	2014 (m ³ /s)
	Salida	Salida	Salida	Salida
1	0.01371	0.05498	0.07380	0.01247
2	0.01669	0.02949	0.05551	0.01558
3	0.07423	0.26030	0.35350	0.06219
4	0.06459	0.21920	0.30260	0.05607
5	0.04011	0.12620	0.17090	0.03036
6	0.00991	0.03742	0.04866	0.00877
7	0.30310	1.02800	1.43500	0.17750
8	0.02071	0.03490	0.05772	0.01876
9	0.00000	0.00004	0.00006	0.00001
10	0.25520	0.86630	1.22900	0.17470
11	0.01324	0.03801	0.05836	0.01271
12	0.00000	0.00003	0.00003	0.00000
13	0.02762	0.10630	0.14440	0.02677
14	0.01103	0.04679	0.06091	0.00991
15	0.11640	0.34860	0.51200	0.09632
16	0.17350	0.57650	0.80610	0.13210
17	0.05214	0.18900	0.24890	0.04704
18	0.06984	0.24500	0.36160	0.06450
19	0.00993	0.04597	0.05828	0.00803
20	0.04258	0.14280	0.19040	0.04101
21	0.01361	0.02940	0.04540	0.01135
22	0.01701	0.05773	0.08275	0.01593
23	0.01253	0.04393	0.06184	0.01100
24	0.05671	0.18800	0.27310	0.05396
25	0.01489	0.05247	0.07092	0.01348
26	0.02756	0.12190	0.15580	0.02392
27	0.02605	0.04887	0.08778	0.02336

La oferta hídrica para los años 2000, 2011, 2014 fue determinada a través del SWAT con su respectivo cálculo del coeficiente de eficiencia de Nash Sutcliffe (NS).

De esta manera, la oferta hídrica de cada año se calculó mediante la simulación para el año 2000 del primer período 1998-2002, se obtuvieron valores del coeficiente de NS = -2.79 y $R^2 = 0.56$, resultando valores bajos para considerar

válido el modelo, razón por la que se realizó una calibración y se obtuvo valores para $NS = 0.73$ y $R^2 = 0.6024$ (Tabla 25).

Tabla 25. Comparación de caudales mensuales del año 2000

Mes	Caudal medido INAMHI m ³ /s	Caudal inicialmente simulado m ³ /s	Caudal calibrado m ³ /s
Enero	0.702	1.015	0.184
Febrero	0.265	1.378	0.258
Marzo	0.468	1.111	0.294
Abril	0.686	3.033	0.590
Mayo	1.272	3.490	0.668
Junio	0.752	2.378	0.350
Julio	0.415	1.196	0.167
Agosto	0.373	0.284	0.162
Septiembre	0.398	0.148	0.252
Octubre	0.384	0.093	0.233
Noviembre	0.447	0.443	0.327
Diciembre	0.685	0.550	0.359
Simulación inicial		NS= -2.79	R ² = 0.56
Simulación calibrada		NS= 0.73	R ² = 0.6024

En lo que se refiere a la simulación para el período 2003-2007, se utilizaron los valores del modelo hidrológico del año 2007, los cuales presentaron resultados de: $NS = 0.35$ y $R^2 = 0.73$, durante la simulación inicial. Sin embargo, aplicando la calibración se obtuvieron valores de $NS = 0.54$ y $R^2 = 0.614$ (Tabla 26).

Tabla 26. Comparación de caudales mensuales del año 2007

Mes	Caudal medido INAMHI m ³ /s	Caudal inicialmente simulado m ³ /s	Caudal calibrado m ³ /s
Enero	1.111	1.679	1.651
Febrero	1.064	1.078	1.149
Marzo		2.089	1.464
Abril	1.809	1.600	1.536
Mayo	1.471	2.149	1.821
Junio	0.194	1.085	1.350
Julio	0.149	0.369	0.738
Agosto	0.146	0.105	0.330
Septiembre	0.184	0.108	0.224
Octubre	0.238	0.094	0.131
Noviembre	-	0.372	0.249
Diciembre	0.533	0.746	0.714
Simulación inicial		NS= 0.35	R ² = 0.73
Simulación calibrada		NS= 0.54	R ² = 0.614

En consecuencia, para los resultados de la simulación del tercer período 2008-2012, se utilizaron los caudales reales del INAMHI del 2008, debido a que los datos reales para el año 2011 se encuentran con valores de 0 en todos los meses, lo que dificultó la calibración. Sin embargo, los coeficientes para la simulación inicial del 2008 resultaron: NS = -4.92 y R² = 0.31. Por lo tanto, se calibró, los mejores valores que se obtuvieron fueron: NS = -1.31 y R² = 0.0004 (Tabla 27).

Tabla 27. Comparación de caudales mensuales del año 2008

Mes	Caudal medido INAMHI m³/s	Caudal inicialmente simulado m³/s	Caudal calibrado m³/s
Enero	0.735	0.171	0.101
Febrero	0.829	0.415	0.146
Marzo	0.615	0.824	0.218
Abril	0.88	1.556	0.344
Mayo	0.871	1.466	0.521
Junio	0.387	0.782	0.543
Julio	0.279	0.293	0.552
Agosto	0.247	0.105	0.436
Septiembre	0.259	0.067	0.251
Octubre	0.635	0.679	0.507
Noviembre	0.81	1.472	0.963
Diciembre	0.558	1.936	1.202
Simulación inicial		NS= -4.92	R ² = 0.31
Simulación calibrada		NS= -1.31	R ² = 0.0004

De esta manera, se acogió la manera de calibración del año 2008 para aplicarla en el 2011 (Tabla 28). Sin embargo, la calibración y validación no se concretaron, debido a que los datos proporcionados por el INAMHI para el periodo 2008 al 2011 son erróneos, ya que no puede existir un año sin caudales.

Tabla 28. Comparación de caudales mensuales del año 2011

Mes	Caudal medido INAMHI m ³ /s	Caudal inicialmente simulado m ³ /s	Caudal calibrado m ³ /s
Enero	0	0.992	0.889
Febrero	0	1.140	0.825
Marzo	0	1.367	0.976
Abril	0	4.415	2.000
Mayo	0	3.270	2.202
Junio	0	2.094	2.023
Julio	0	1.107	1.806
Agosto	0	0.247	1.384
Septiembre	0	0.108	1.040
Octubre	0	0.599	0.987
Noviembre	0	0.997	0.961
Diciembre	0	2.050	1.432

El índice de eficiencia de Nash Sutcliffe para el último período estudiado en la simulación inicial, resultó con un valor de $NS = -73.72$ y el coeficiente de correlación lineal $R^2 = 0.08$, los valores variaron con la calibración a: $NS = -0.06$ y $R^2 = 0.107$ (Tabla 29), por lo tanto para este año no se calibró el modelo, debido a la inexistencia de datos para algunos años del último período estudiado 2011-2015.

Tabla 29. Comparación de caudales mensuales del año 2014

Mes	Caudal medido INAMHI m³/s	Caudal inicialmente simulado m³/s	Caudal calibrado m³/s
Enero	0.096	0.992	0.252
Febrero	0.06	1.701	0.385
Marzo	0.337	1.459	0.256
Abril	0.174	2.550	0.243
Mayo	0.563	2.630	0.399
Junio	0.205	1.724	0.162
Julio	0.169	0.836	0.142
Agosto	0.159	0.184	0.091
Septiembre	0.198	0.193	0.083
Octubre	0.295	0.571	0.191
Noviembre	0.467	0.921	0.213
Diciembre	0.356	1.360	0.323
Simulación inicial		NS= -73.72	R ² = 0.08
Simulación calibrada		NS= -0.06	R ² = 0.107

A continuación se observan los caudales promedio registrados para cada año de estudio, obteniendo en el 2011 el valor más alto con 1.38 m³/s y para el año 2014 el menor valor con 0.23 m³/s, por lo tanto no se calibró el modelo para el presente año. Además se calcularon valores de la oferta del servicio ecosistémico de provisión hídrica mediante el indicador de estado de cantidad del servicio ecosistémico (Tabla 30).

Tabla 30. Oferta del servicio ecosistémico de provisión hídrica de la microcuenca del río Itambi, para los años: 2000, 2007, 2011 y 2014.

Año	2000	2007	2011	2014
Cantidad hídrica de la modelación hidrológica (mm)	7.54	22.27	32.40	5.37
Caudal en (m ³ /s)	0.32	0.95	1.38	0.23
Oferta del Servicio ecosistémico de provisión hídrica (m ³ /ha)	75.37	222.68	324.01	53.72

De la misma manera, se calculó la variación de la oferta del servicio ecosistémico de provisión hídrica para cada período del 2000 al 2007, 2007 al 2011 y 2011 al 2014, resultando una disminución de las ofertas en el transcurso de los periodos. (Tabla 31).

Tabla 31. Variación de la oferta del servicio ecosistémico de provisión hídrica por períodos.

Año	2000 – 2007	2007 – 2011	2011 - 2014
Diferencias entre los periodos (m ³ /ha)	222.68 - 75.37	324.01 – 222.68	53.72 – 324.01
Variación de la oferta del ecosistémico de provisión hídrica (m ³ /ha)	+147.31	+101.33	-270.29

4.3. Efectos del cambio del uso del suelo sobre el servicio ecosistémico de provisión del recurso hídrico.

Se consideró para el análisis dos variables, una independiente: cambio de cobertura de suelo y una dependiente: cambio de escorrentía, mismas que se relacionaron para determinar los efectos del cambio de uso del suelo sobre el servicio ecosistémico de provisión hídrica.

Para esto, se restaron los valores de estas variables de la siguiente manera: 2007-2000, 2011-2007 y 2014-2011, con el fin de realizar una regresión lineal.

En el análisis de correlación lineal entre las variables de variación de coberturas vegetales y la variación de caudales para los periodos: 2000-2007, 2007-2011 y 2011-2014, se determinaron dos tipos de relaciones: inversamente proporcionales y directamente proporcionales:

A medida que la cobertura de bosque disminuyó en superficie, la oferta del servicio ecosistémico de provisión hídrica también disminuyó, siendo una relación directamente proporcional (Tabla 32) y (Figura 15).

Tabla 32. Diferencias del área de bosque y del caudal de la microcuenca del río Itambi.

Diferencias	Cobertura: Bosques	Caudal
Año	Área km ²	m ³ /s
2007-2000	3.54	0.626
2011-2007	3.47	0.431
2014-2011	-9.44	-1.121

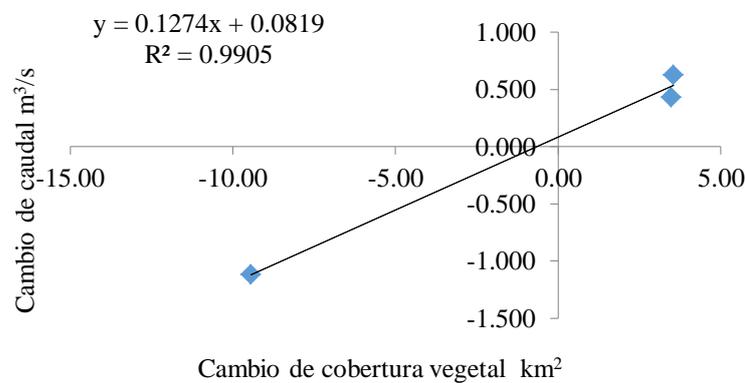


Figura 15. Correlación entre el área de bosque y caudales en los periodos: 2000-2007, 2007-2011 y 2011-2014.

Por otro lado, la diferencia de los bosques, la variación de la superficie de vegetación arbustiva causó diferentes efectos, ya que al aumentar parches de esta cobertura vegetal, el caudal disminuyó, siendo una relación inversamente proporcional (Tabla 33) y (Figura 16).

Tabla 33. Diferencia de área de vegetación arbustiva y del caudal de la microcuenca del río Itambi.

Diferencias	Cobertura:	
	Vegetación arbustiva	Caudal m ³ /s
Año	Área km ²	
2007-2000	-3.07	0.626
2011-2007	-6.57	0.431
2014-2011	6.79	-1.121

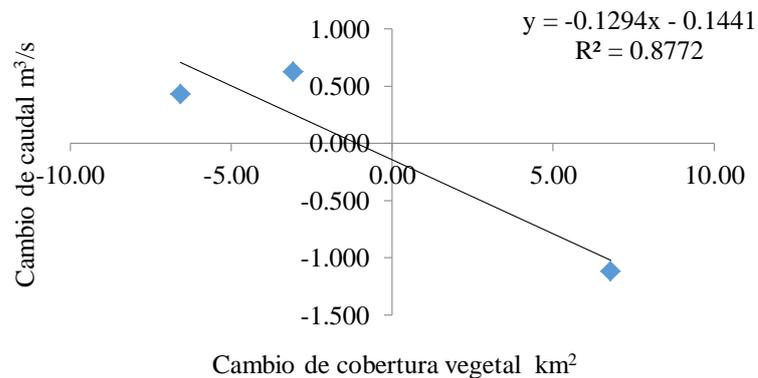


Figura 16. Correlación entre el área de vegetación arbustiva y caudales en los periodos: 2000-2007, 2007-2011 y 2011-2014.

La variación de los pastos indicó que en vista de que su superficie disminuyó, la cantidad de producción del recurso hídrico disminuyó de manera proporcional, dando lugar a una relación directamente proporcional (Tabla 34) y (Figura 17).

Tabla 34. Diferencia de área de pastos y del caudal

Diferencias	Cobertura: Pastos	Caudal m ³ /s
Año	Área km ²	
2007-2000	-0.48	0.626
2011-2007	9.91	0.431
2014-2011	-9.36	-1.121

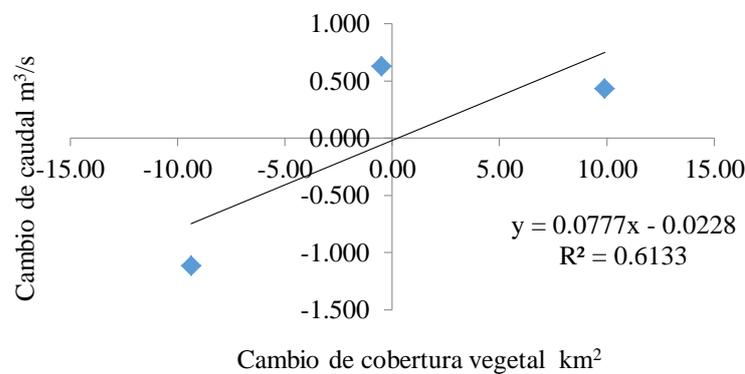


Figura 17. Correlación entre el área de pastos y caudales en los periodos: 2000-2007, 2007-2011 y 2011-2014.

El índice de correlación lineal entre la variación de páramo y la variación de la cantidad de escurrimiento del recurso hídrico, presentó un valor de 0.35, resultando un valor bajo para determinar una relación confiable, esto indicó que el cambio de cobertura de páramo tuvo una mínima relación sobre el caudal del río Itambi, es decir que la reducción del páramo no influyó significativamente en la reducción del caudal, siendo una relación directamente proporcional (Tabla 35) y (Figura 18).

Tabla 35. Diferencia de área de páramo y del caudal

Diferencias	Cobertura:	Caudal m ³ /s
	Páramo	
Año	Área km ²	
2007-2000	-1.21	0.626
2011-2007	3.58	0.431
2014-2011	-2.58	-1.121

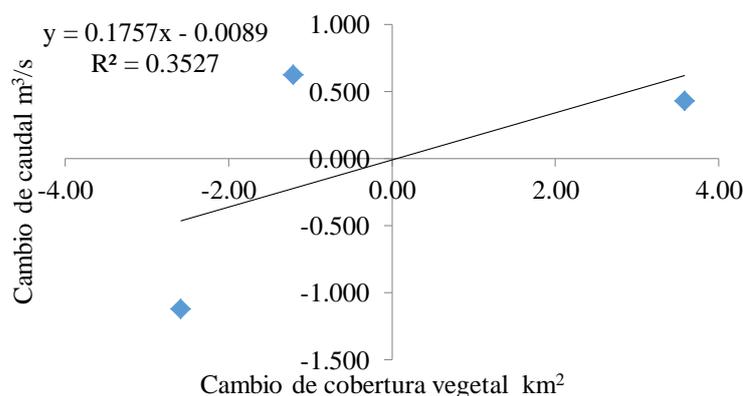


Figura 18. Correlación entre el área de páramo y caudales en los periodos: 2000-2007, 2007-2011 y 2011-2014.

Para el caso de la relación entre los cultivos y el caudal, el índice de correlación presentó un valor no aceptable de 0.55, el cual determinó que el aumento de la superficie de cultivos, tuvo el efecto de disminuir la cantidad del caudal del río Itambi, perteneciendo a una relación inversamente proporcional (Tabla 36) y (Figura 19).

Tabla 36. Diferencia de área de cultivos y del caudal

Diferencias	Cobertura:	Caudal m ³ /s
	Cultivos	
Año	Área km ²	
2007-2000	1.21	0.626
2011-2007	-10.99	0.431
2014-2011	9.54	-1.121

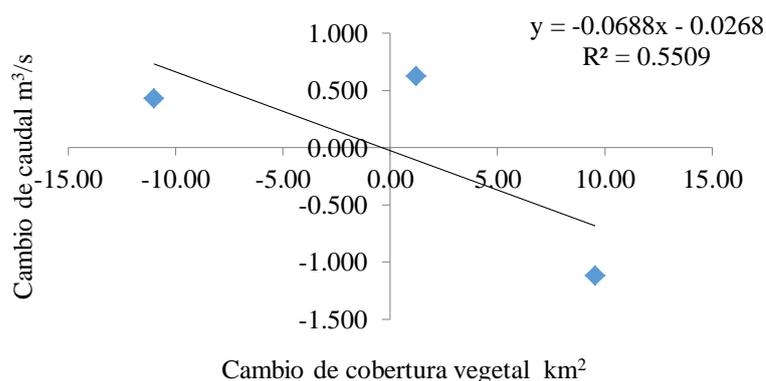


Figura 19. Correlación entre el área de cultivos y caudales en los periodos: 2000-2007, 2007-2011 y 2011-2014.

El estudio presentó que la cobertura de zonas urbanas aumentó en superficie, influyendo en la disminución del caudal del río, dando lugar a una relación inversamente proporcional (Tabla 37) y (Figura 20).

Tabla 37. Diferencia de área de zona urbana y del caudal

Diferencias	Cobertura: Zona urbana	Caudal m ³ /s
Año	Área km ²	
2007-2000	0.00	0.626
2011-2007	-0.04	0.431
2014-2011	0.13	-1.121

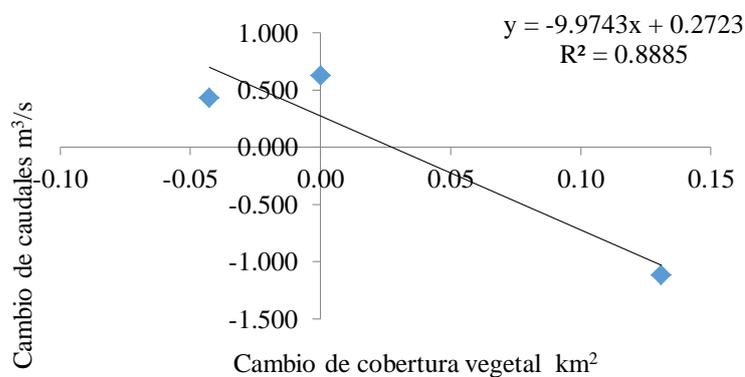


Figura 20. Correlación entre el área de zona urbana y caudales en los periodos: 2000-2007, 2007-2011 y 2011-2014.

La aparición de áreas no vegetadas en el año 2011 y el aumento de las mismas para el 2014, presentó una elación inversamente proporcional sobre la variación de la oferta del servicio ecosistémico hídrico, a medida que aumentaron las áreas no vegetadas, el caudal disminuyó (Tabla 38) y (Figura 21).

Tabla 38. Diferencia de área no vegetada y del caudal

Diferencias	Cobertura:	
	Área no vegetada	Caudal m ³ /s
Año	Área km ²	
2007-2000	0.00	0.626
2011-2007	0.39	0.431
2014-2011	5.05	-1.121

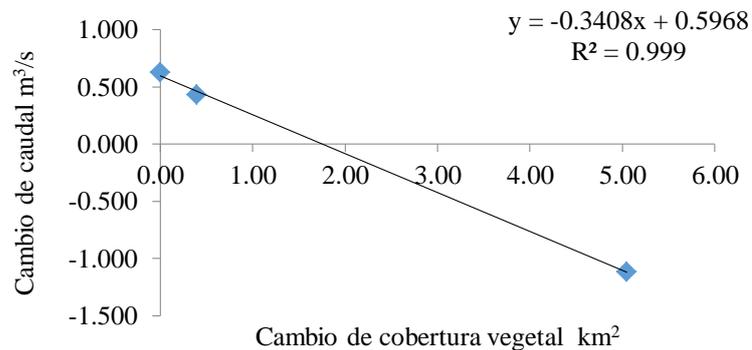


Figura 21. Correlación entre el área no vegetada y caudales en los periodos: 2000-2007, 2007-2011 y 2011-2014.

4.3.1. Modelo de Regresión Geográfica Ponderada.

Finalmente se realizó una Regresión Geográficamente Ponderada, utilizando la herramienta ArcGIS en la cual se analizó el cambio de cobertura vegetal y cambio de caudal por subdivisión de la microcuenca, proceso que permitió conocer cuáles de las 27 quebradas son más significativas en el análisis total del efecto del cambio del uso del suelo sobre el servicio ecosistémico de provisión hídrica. Resultando que las quebradas con los números: 3, 14 y 19 (Cruz Huaycu, Santo

Domingo y Avijo), poseen valores de R^2 entre 0.75 a 1, siendo las áreas con más cambios de coberturas vegetales y por consecuencia con más variación de los caudales (Figura 22).

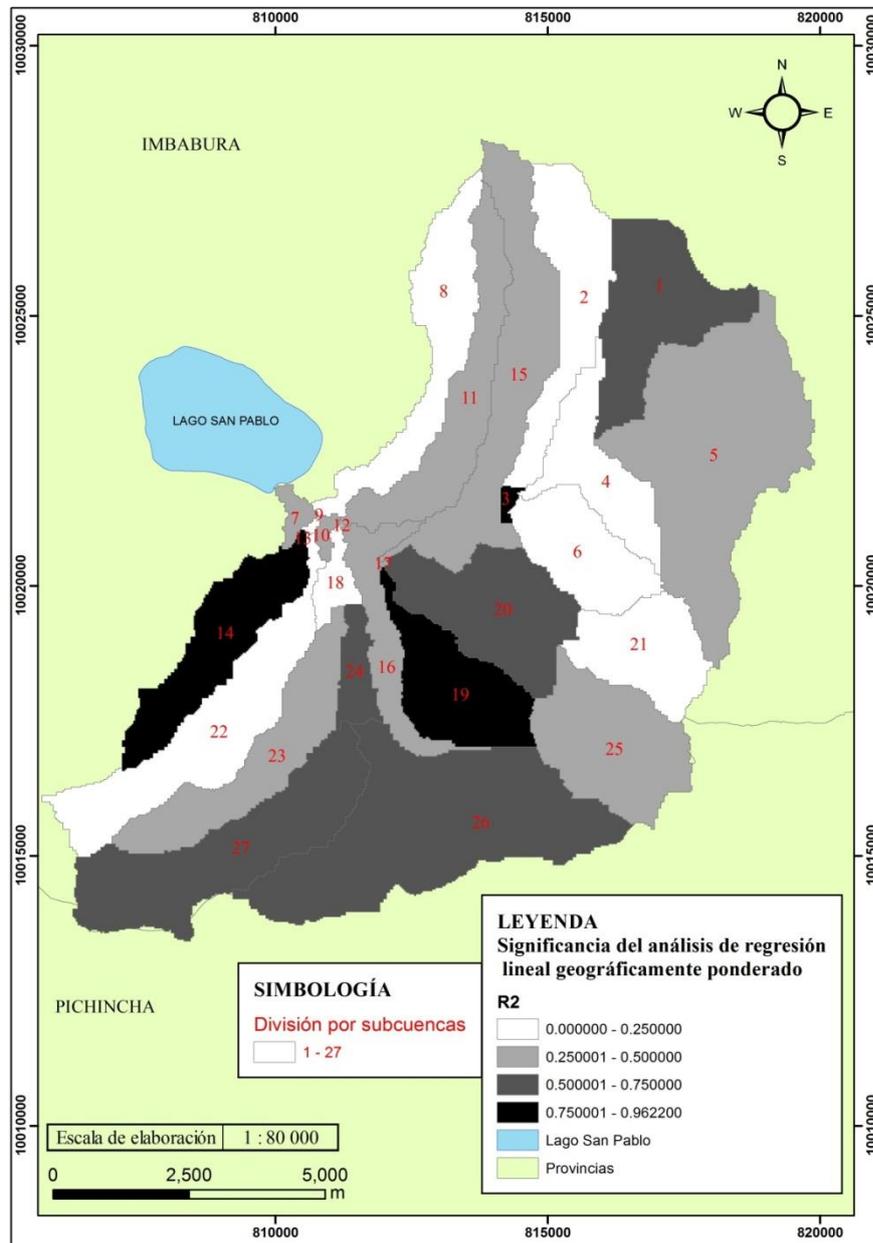


Figura 22. Patrones espaciales del R^2 local en las quebradas del río Itambi.

En el contexto de las variaciones de coberturas vegetales que se obtuvieron en el análisis del cambio de uso del suelo para los periodos 2000-2007, 2007-2011 y 2011-2014, fluctuaron para cada uno de ellos. Sin embargo, al analizar el periodo total desde el año 2000 hasta el 2014, se observó que las coberturas de: bosques,

vegetación arbustiva, páramo y cultivos, disminuyeron en tamaño de superficie, mientras que las coberturas de: pastos, zona urbana, cuerpo de agua e infraestructura agrícola, aumentaron en área con respecto a la microcuenca, y la cobertura restante: área no vegetada, tuvo lugar a generarse a partir del año 2011.

Durante los primeros periodos del estudio, 2000-2007 y 2007-2011, la cobertura de bosque aumentó, esto se justifica debido a que el gobierno decidió crear el programa Socio Bosque, cuyo objetivo principal fue la conservación de bosques y páramos nativos en todo el país, creando incentivos económicos a comunidades indígenas, las que se comprometieron voluntariamente a esta iniciativa (MAE, 2008). Estos resultados coinciden con el incremento de cobertura boscosa en la cuenca hidrográfica de Srepok en Viet Nam, debido a la política de reforestación de su gobierno en 1998, en donde el crecimiento de los bosques provocó que el flujo superficial del agua disminuyera, a causa del aumento de la capacidad de infiltración del agua y el flujo base, según Nguyen Thi Ngoc Quyen., Nguyrn Duy y Nguyen Kim Loi (2014). Es decir, que los gobiernos influyen directamente sobre el cambio de cobertura vegetal mediante la aplicación de políticas y la toma de decisiones.

El aumento de la cobertura urbana es el resultado del crecimiento poblacional, ya que de acuerdo a los datos proporcionados por el V, VI y VII censos ecuatorianos realizados en la ciudad de Otavalo para los años: 1990, 2001 y 2010, se obtuvieron tasas de crecimiento anuales para los periodos de: 1990-2001 y 2001-2010, con valores de: 3.73% y 1.98% respectivamente, dando lugar al aumento de la población para cada año de esta investigación INEC (2001) y INEC (2010).

Aumento de los habitantes para los años 2000, 2007, 2011 y 2014

Año	Habitantes
2000	85752
2007	98837
2011	105059
2014	109981

Estos resultados coinciden con los efectos obtenidos en la investigación realizada por Pineda, Sendra, Gómez y Plata (2009), en donde afirman que los factores responsables del cambio del uso del suelo son diversos y uno de los principales pertenece al crecimiento demográfico, el cual contribuye al aumento de la superficie destinada a la agricultura.

El estudio realizado por García, Gutiérrez, Pérez y Plata (2011), también posee resultados semejantes a los de ésta investigación, ya que demuestran que el incremento de la población fue el factor principal que generó pérdida de la biodiversidad local, esto a causa de las prácticas agrícolas que a través del tiempo han provocado cambios en la cobertura vegetal, deforestando 182.73 hectáreas de bosques de coníferas.

De igual manera los resultados de un estudio realizado en México estiman que la pérdida de bosques ha tomado casi la mitad de la superficie original del país, fenómeno ocasionado por el aumento de la densidad poblacional (Wisniewski y Engelman, 2000). En las últimas décadas las actividades humanas se han convertido en las principales fuentes de transformación de las coberturas vegetales y los ecosistemas (Vitousek, Mooney, Lubchenco y Melillo, 1997).

En este contexto, la pérdida de cobertura de áreas naturales en la microcuenca del río Itambi, se deriva de las necesidades básicas de los habitantes como la alimentación. Al incrementar el número de habitantes en el tiempo de estudio, se aumentó la demanda del espacio para las zonas urbanas, las áreas para las actividades productivas como: la agricultura y pastos, las cuales ocupan áreas naturales como: el bosque, la vegetación arbustiva y los páramos, produciendo el cambio del uso del suelo y la cobertura vegetal, teniendo consecuencias en la fragmentación de áreas naturales y poniendo en riesgo su persistencia (SEMARNAT, 2010).

Aumento poblacional de las parroquias de la microcuenca del río Itambi

Parroquias	Aumento de la población	Año de proyección del aumento	Porcentajes del aumento
San Pablo de Lago	11086	2015	9.44%
Gonzales Suarez	6304	2015	5.37%
San Pedro de Pitaquí	303	2015	0.26%

Fuente: PDOTs parroquiales de San Pablo del Lago, Gonzales Suarez y San Pedro de Pitaquí del año 2015.

El análisis espacial multitemporal mostró cambio de cobertura vegetal notorio en la microcuenca del río Itambi, uno de los aspectos principales fue la generación de áreas no vegetadas producidas por la erosión del suelo, en función del uso agrícola y el aumento demográfico. Este resultado se relaciona con el informe realizado por FAO (2015), en donde indica que durante los últimos 50 años desde 1961 hasta el 2011, se observó degradación de: el suelo y la disponibilidad de los recursos naturales, por el aumento de zonas agrícolas.

De esta manera, el cambio de uso del suelo en el análisis multitemporal se vio afectado por el aumento poblacional y las diferentes actividades productivas practicadas por las comunidades de la microcuenca, incidiendo en el patrón estructural de los ecosistemas naturales y antrópicos, cambiando el espacio y composición de las diferentes coberturas vegetales en el área de estudio.

Al comparar el cambio de cobertura del uso del suelo de la microcuenca con los caudales del río Itambi durante los períodos 2000-2007 y 2007-2011, se evidenció el aumento de bosques, evento que tuvo la incidencia en el aumento de la escorrentía superficial del río Itambi. Estos resultados no coinciden con los obtenidos por Quyen, Liem y Loi (2014), ya que en su estudio, el área de la cobertura de bosque aumentó, pero este suceso hizo que el flujo de agua superficial disminuyera, llegando a la conclusión de que los bosques aumentan el nivel de infiltración del suelo.

Por otro lado en un estudio realizado por Mishra et al. (2007) no coinciden con los resultados de esta investigación, de igual manera utilizaron SWAT, para el estudio

del impacto del uso del suelo en la escorrentía y producción de sedimentos, en una cuenca ubicada en la región subtropical de la India. En la evaluación se analizó la correlación entre escorrentía y precipitación para dos escenarios, mostrando un coeficiente de 0.86 respectivamente, concluyendo que el primer escenario se observó mayor área forestal y a la vez tuvo un menor caudal en relación con el segundo escenario, en el que se presentaba mayor influencia de cultivos. Demostrando que existe una estrecha relación entre el tipo de cobertura vegetal y la escorrentía. En este sentido, este aumento de caudal e incremento forestal, fue causado por el aporte de humedad que brinda la vegetación forestal al suelo y también por su textura gruesa del suelo (Hurkmans, Terink, Uilenhet, Moors, Troh, y Verburg, 2015). Es así, que al observar el tipo en el que están situadas las áreas de bosques de la microcuenca del río Itambi, pertenecieron a: franco arenoso y arcillo arenoso, las cuales presentaron texturas finas, que retrasan la infiltración del agua provocando mayor producción de caudal que en suelos de texturas gruesas.

Es así, que los resultados obtenidos por la variación de Quyen, Liem y Loi (2014), los bosques sobre la producción del recurso hídrico tienen una relación directamente proporcional, ya que el aumento de los bosques produjo aumento del caudal y durante el periodo 2011-2014 del presente estudio la cobertura de bosque disminuyó, reduciendo proporcionalmente la cantidad de escorrentía. De esta manera, los bosques se pueden considerar como fuentes hídricas de gran importancia, por su aporte de producción de agua en la escorrentía, debido a sus mayores tasas de infiltración y flujo superficial que las zonas agrícolas (Muñoz et al., 2015).

Una vez analizado el cambio de cobertura vegetal y cambio de caudal a través del modelo de regresión geográficamente ponderado, se identificó que de las 27 quebradas presentes en la microcuenca, 3 tienen mayor influencia en el efecto de cambio de uso del suelo sobre el caudal del río Itambi, ya que presentaron los valores más altos de R^2 entre 0.75 a 1, éstas fueron denominadas por los números 3, 14 y 19 respectivamente (Figura 22). En el estudio realizado por Rodríguez et al., 2017, se utilizó la misma metodología en la cual se analizó la biodiversidad,

los servicios de provisión de agua, el control de erosión y acumulación de suelo, en base a esto, se pudo conocer que algunas quebradas se encuentran en área de conflicto y estas a su vez no proporcionaron un servicio ecosistémico para la conservación de la biodiversidad, ya que tenían valores de R^2 entre 0.05 a 0.95. Concluyendo que los resultados de ambos estudios lograron definir espacialmente las quebradas con mayor incidencia en el efecto del cambio del suelo sobre el servicio ecosistémico de provisión hídrica.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Las variaciones de la cobertura vegetal desde el año 2000 al 2014 fueron: el aumento de la zona urbana, pastos e infraestructura agrícola con el 0.09%, 0.06% y 0.12%, respectivamente, y la disminución de los cultivos en un 0.22%. Sin embargo, durante este periodo la cobertura de cultivos predominó con valores entre el 50.13% y 49.91 % del área de la microcuenca del río Itambi, es por esto, que las áreas naturales como: bosques, vegetación arbustiva y páramo disminuyeron en un 2.2%, 2.59% y 0.19%, respectivamente, debido a las condiciones geomorfológicas y edafológicas que las zonas naturales proporcionaron para que las actividades antrópicas tengan un mejor rendimiento.

La producción de caudales en la microcuenca, en general, para el periodo 2000-2014, disminuyó en $0.09 \text{ m}^3/\text{ha}$. Sin embargo, en los periodos 2000-2007 se registró un aumento con $147.31 \text{ m}^3/\text{ha}$, para el período 2007-2011 se observó un aumento de $101.33 \text{ m}^3/\text{ha}$, pero se produjo una mayor disminución para el periodo 2011-2014 disminuyó con $270.29 \text{ m}^3/\text{ha}$. Concluyendo que durante el transcurso de los periodos el servicio ecosistémico hídrico disminuyó en $21.65 \text{ m}^3/\text{ha}$

Exisitó alta correlación lineal entre la variación de coberturas vegetal y la producción de escorrentía superficial para el periodo: 2000-2014, se determinó que la reducción de la oferta del servicio ecosistémico de provisión hídrica disminuyó en este tiempo, a causa de la presencia dominante de los cultivos, la reducción de los bosques y el aumento tanto de las zonas urbanas como de las áreas no vegetadas.

Tomando en cuenta que los páramos influyen en el ciclo hidrológico de las cuencas hidrográficas, se concluyó que en la presente investigación esta cobertura vegetal no tuvo una alta relación con el caudal, ya que el modelo hidrológico

SWAT, no se ajustó a la realidad de las características de la cobertura de páramos del Ecuador.

El análisis de la oferta hídrica de la microcuenca presentó una disminución de caudales entre los años 2000 al 2014, pero este cambio se produjo de forma más significativa en las quebradas número 3, 14, 19 (Cruz Huaycu, Santo Domingo y Avijo). Se considera que en estas unidades hidrológicas la presencia de cultivos siempre fue predominante y el aumento de pastos y la zona urbana produjo la disminución del volumen de los caudales, lo cual se valida de acuerdo a los valores obtenidos de la regresión geográficamente ponderada (R^2 mayores a 0.75) entre caudales y tipo de cobertura vegetal presente. En este contexto se acoge la hipótesis en donde expresa la alteración del cambio de cobertura vegetal sobre el servicio ecosistémico de provisión hídrica.

5.2. Recomendaciones

La agricultura y ganadería al ser las principales actividades económicas en la microcuenca y al necesitar el aprovisionamiento del recurso hídrico, deben ser reguladas y complementadas a través del mantenimiento de coberturas vegetales naturales. Por lo que se recomienda actividades agroforestales y silvopastoriles como medidas de mitigación.

Se recomienda realizar la presente investigación en otras cuencas hidrográficas que presenten cambios espaciales en el tiempo, para estudiar los efectos sobre la producción del servicio ecosistémico hídrico, con la finalidad de aportar con estudios comparativos que sirvan como aporte para el desarrollo local.

Implementar políticas enfocadas en el manejo integral de cuencas hidrográficas, con el fin de gestionar correctamente las actividades que generan impactos sociales, ambientales, económicos y de esta manera proteger los componentes bióticos y abióticos inmersos en las cuencas hidrográficas.

REFERENCIAS

- Arias, D. (2015). *Vulnerabilidad al cambio climático e inseguridad hídrica: el caso de la cuenca del río Pichaví*. (Cotacachi-Ecuador). (Tesis de Maestría). Universiät Heidelberg. Santiago de Chile, Chile.
- Arnold, J., Kiniry, J., Srinivasan, R., Williams J., Haney, E. y Neitsch, W. (2009). *Soil and Water Assessment Tool Input/Output File Documentation Version 2009*. Texas
- Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución de la Republica del Ecuador*. Quito,Ecuador: Editorial Jurídica del Ecuador.
- Asamblea Nacional. (2016). *Código Orgánico del Ambiente*. Quito, Ecuador: Editorial Jurídica del Ecuador.
- Baumer, O. (1990). *Predictions of Soil Hydraulic Parameters*. WEPP Data Files for Indiana SCS National Soil Survey Lab. Lincoln, Nebraska, United States
- Barbudo, L., Ochoa, J. y Verbel, E. (2016). *Aplicación del Modelo SWAT en el Estudio Hidrosedimentológico de la Cuenca Quebrada San Pedro en el Municipio de Curumaní, Departamento del Cesar*. (Colombia-Manizales). (Tesis de Pregrado). Universidad de Manizales. Colombia.
- Barrios, A. y Urribarri, A. (2009) Aplicación del modelo swaT en los Andes venezolanos: Cuenca alta del río Chama. *Revista Geográfica Venezolana 1*, 11 – 29.
- Bermúdez, O. (2010). Aplicabilidad del modelo hidrológico SWAT en cuencas con características extremas – Cuencas de los ríos Taquiña y Tolomosa. *Acta Nova 4*, 568-577.
- Bocco, G. y Mendoza, M. (1999). *Evaluación de los cambios de la cobertura vegetal y uso del suelo en Michoacán (1975-1995)*. *Lineamientos para la ordenación ecológica de su territorio*, Programa SIMORELOSCONACYT, Informe Técnico, Departamento de Ecología de los Recursos Naturales, Instituto de EcologíaMorelia, UNAM, Morelia.
- Bocco, G., Mendoza, M. y Masera, O. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los

- procesos de deforestación, Instituto de Geografía, UNAM, México. *Investigaciones Geográficas* 44, 18-38.
- Borja, P. y Garrido. J. (2008). *Análisis de las características Hidrofísicas de los Andosoles y la influencia del uso del suelo en su capacidad de retención de agua*. (Tesis de Ingeniero Agrónomo). Universidad de Cuenca – Ecuador.
- Carrera, P. y Gunkel, G. (2003). *Limnológica: Ecology of a high Andean stream, Río Itambi*. Ecuador: Board
- Castillo, S., García, S., March, G., Fernández, I., Valencia, J., Osorio, E. y Flamenco, A. (1998). *Diagnóstico geográfico y cambios de uso del suelo en la Selva El Ocote, Chiapas. Informe Final, El Colegio de la Frontera Sur-Fondo Mundial para la Naturaleza WWF México, Biodiversity Support Program, U.S. AID*. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.
- CEPAL. (2000). *Agua para el Siglo XXI para América del Sur de la Visión a la Acción. Inform Nacional Sobre la Gestión del Agua en el Ecuador*. Editorial: GWP SAMTAC
- Cisneros, F. y Pacheco, E. (2010). *Investigación en Agua y Suelo como Recursos Estratégicos*. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Universidad de Cuenca – Ciencias Naturales. Cuenca-Ecuador.
- Condado, S. (2016). *Generalización de Variables Mediambientales Mediante Interpolación GIS*. (Tesis Doctoral), Universidad Politécnica de Madrid Madrid
- Congreso Nacional. (2004). *Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre*. Quito, Ecuador: Editorial Jurídica del Ecuador.
- FAO. (1997). *The State of Food and Agriculture*. FAO Agricultura Series 30. Roma, Italia: Publication Cataloguing.
- FAO. (2015). *Conservación de suelos y aguas en América Latina y el Caribe*. Roma, Italia.
- FAO. (2015). *Suelos y Aguas en riesgo: El Uso de la Tierra, El Uso del Agua*. Roma, Italia
- FAO. (2019). *Servicios ecosistémicos y biodiversidad*. Roma, Italia: Publication Cataloguing.

- Fernandez, R. (2017). Utilización del Programa “SWAT” para la Estimación de la Emisión de Sedimentos en Cuencas. *TRIM* 12, 21 -32.
- FLACSO ECUADOR, MAE, BID, ECORAE, PMRC, ESPOL y PNUMA. (2008). *Geo Ecuador 2008, Informe Sobre el Estado del Medio Ambiente*. Ecuador: Rispergraf. I edición.
- Fries, A., Rollenbeckb, R., Nauß, T. y 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.
- Fotheringham, A., Brunson, M. y Charlton, M. (2002). Geographically weighted regression: The analysis of spatially varying relationships. New York, USA. Wiley, 284p.
- GADPR. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia San Pablo 2015 – 2019*. Otavalo-Ecuador: Editorial: Habreluz Cia.
- GADPR. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Gonzales Suarez 2015 – 2019*. Otavalo-Ecuador: Editorial: Habreluz Cia.
- GADPR. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia San Pedro de Pitaquí 2014 – 2019*. Otavalo-Ecuador: Editorial: Habreluz Cia.
- Galárraga, R. (2004). *Estado y Gestión de los Recursos Hídricos en el Ecuador*. Departamento de Ciencias del Agua Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. CYTED.
- Galván, L., Olías, M., Villarán, R. y Santos, J. (2007). Aplicación del modelo hidrológico SWAT a la cuenca del río Meca (Huelva, España). *Geogaceta* 42, 63-66.
- Galicia, L. (2014). Cambio de uso de suelo: consecuencias en el ciclo hidrológico y la disponibilidad del agua. Tabasco, México. *Revista Educación y Cultura* 82, 19-21.
- García, J., Gutiérrez, J., Pérez, J. y Balderas, M. (2011). Cambio de uso de suelo en una quebrada del altiplano mexicano. Universidad de Murcia Murcia, España. *Papeles de Geografía* 54, 125-135

- Green, F. (2017). *Recursos Hídricos*. Resumen del 2° Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. Roma, Italia.
- Gobierno Autónomo Descentralizado - Otavalo. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia gonzales suerez 2015-2019*. Otavalo: Eskeletra Editorial.
- Gobierno Autónomo Descentralizado - Otavalo. (2015). *Ordenanza de creación de la empresa pública municipal de agua potable y alcantarillado de Otavalo "EMAPAO-EP"*. Otavalo: Eskeletra Editorial.
- Groot, R., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L. y Willemen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity* 7, 260-272
- Gutiérrez, M., Rodríguez, G. y Francois. (2015). Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México. *Investigaciones Geograficas* 90, 89 – 104.
- Guzha, A., Rufino, M., Okoth, S., Jacobs, S. y Nóbrega, R. (2018). Impacts of land use and land cover change on surface runoff, discharge and low flows: Evidence from East Africa. *ELSEVIER* 15, 49 – 67.
- Hofstede, R. (1995). *Effects of burning and grazing on a Colombian páramo ecosystem*. (Tesis para Ph. D). University van Amsterdam.
- Hurkmans, R., Terink, W., Uilenhet, R., Moors, E., Troh, P. y Verburg, P. (2015). Efectos de los cambios en el uso de la tierra en la generación de flujo en la cuenca del Rin. *Water resources research* 7, 32-38
- INEC. (2001). *Distribución de la población del cantón Otavalo*. Censo 2001. Quito-Ecuador: Postdata
- INEC. (2010). *Distribución de la población del cantón Otavalo*. Censo 2010. Quito-Ecuador: Postdata
- INEC. (2014). *Encuesta de Produccion Agropecuaria Continua de Ecuador*. Quito-Ecuador: Postadata

- INEFAN, 1995. *Política Forestal y de Áreas Naturales y Vida Silvestre en el Ecuador, Lineamientos y Estrategias y Acciones*. Quito, Ecuador.
- Jalmacin, A., Gonzáles, G., Mendoza, M. y Silva, F. (2017). Cambio de cobertura y uso de suelo en cuencas tropicales costeras del Pacífico central mexicano. *Investigaciones Geográficas* 94, 64 – 81.
- Lambin, E., Turner, B., Geist, H., Agbola, S., Angelsen, A., Bruce, J., Coomes, C., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E., Mortimore, M., Ramakrishnan, P., Richards, J., Skånes, H., Will, S., Stone, G., Svedin, U., Veldkamp, T., Vogel, C. y Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 4, 261-269.
- Little, C. y Lara, A. (2010). Análisis de los cambios de usos del suelo en el área de Casapalma (Valle del Guadalhorce, Málaga) entre 1991 y 2007. *BOSQUE* 3, 175 -178.
- López, A. (2006). *Manual de Edafología. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla*. España. Ed. Masson.
- Nash, J. y Sutcliffe, J. (1970). River flow forecasting through conceptual models. Part 1. A discussion of principles. *J. Hydrology. Journal of Hydrology*. 3, 282-290.
- Nguyen Thi Ngoc Quyen., Nguyrn Duy y Ngueyen Kim Loi. (2014). Effect of land use change on water discharge in Srepok watershed, Central Highland, Viet Nam. *Global NEST Journal* 3, 74-86.
- MAE. (2008). *Socio Bosque. Programa de Protección de Bosques*. Quito-Ecuador.
- MAE., FAO. (2014). *Experiencia de Manejo y Gestión de Cuencas en el Ecuador: Indicadores para una Evaluación Rápida*. Quito – Ecuador.
- Márquez, I., De Jong, B., Eastmond, A., Ochoa,G, y Hernández, S. (2005). “Estrategias productivas campesinas: un análisis de los factores condicionantes del uso del suelo en el oriente de Tabasco, México”, *Universidad y Ciencia* 22, 56-72

- Mas, J., Sorani, V. y Álvarez, R. (1996). “Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación” Instituto de Geografía, UNAM, México *Investigaciones Geográficas* 5, 43-57.
- Mas, J. y Puig, H. (2001). “Modalités de la déforestation dans le Sud-Ouest de l'état du Campeche, Mexique”, *Canadian Journal of Forest Research/Journal Canadien de Recherche forestiere* 31, 1280-1288.
- Mendoza, E. y Dirzo, R. (1999). “Deforestation in Lacandonia (southeast Mexico): evidence for the declaration of the northernmost tropical hot-spot”, *Biodiversity and Conservation* 8, 1641.
- Meneses, G. (2017). *Modelamiento del servicio ecosistémico de suministro hídrico ante un escenario prospectivo de minería en la quebrada del río Chalguayacu, Cotacachi-Imbabura* (Tesis de ingeniería). Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-Being*. Washington: Mestor Associates Ltd.
- Mishra, A., Kar, S. y Singh, V. (2007). Prioritizing structural management by quantifying the effect of land use and land cover on watershed runoff and sediment yield. *Water Resources Management* 11, 1899-1913.
- Morales, S. (2013). *Zonificación ecológica-ambiental del cantón Otavalo, provincia de Imbabura* (Tesis inédita de ingeniería). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Muñoz, L., Holwerda, F., Alvarado, M., Geissert, D., Marín, B. y Gómez, A. (2015). Efectos hidrológicos de la conversión del bosque de niebla en el centro de Veracruz, México. *Bosque* 36, 395-407.
- Ortiz, A., Mendoza, M. E. y 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.
- Palacio, J., Bocco, G., Velazquez, A., Mas, J., Takaki, F., Victoria, A., Luna, L., Gomez, G., Lopez, J., Palma, M., Trejo, I., Peralta, A., Prado, J., Rodriguez, A., Mayorga, R. y Gonzalez, F. (2000). “La condicion actual de los recursos forestales en Mexico: resultados del inventario forestal

- nacional 2000”, Instituto de Geografía, UNAM, Mexico. *Investigaciones Geográficas* 43, 183-203
- Peter M. Vitousek, P., Mooney, H., Lubchenco, J. y Melillo, J. (1997). Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science* 5325, 494 - 499
- Pineda, J., Sendra, B., Gómez, D. y Plata, R. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes: Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones geográficas* 69, 33-52.
- Pinos, N. (2016). Prospectiva del uso de suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial - Caso cantón Cuenca. *Estoa* 5, 7-19
- Ponce, V y Hawkins, R. (1996). Número de la curva de escorrentía: ¿Ha alcanzado la madurez? *Revista de ingeniería hidrológica* 1, 11-19.
- Ramsay, P. y Oxley, E. (2001). An assessment of aboveground net primary productivity in Andean grasslands of Central Ecuador. *Mountain Research and Development* 2, 161-167.
- Retamal, R., Madrigal, R., Francisco, A., y Jiménez, F. (Agosto de 2008). *Metodología para valorarla oferta de servicios ecosistémicos asociados al agua de consumo humano, Copán Ruinas*. Honduras. Turrialba: CATIE
- Ritter, A., Muñoz, R. y Regalado, C. (2011). Capacidad de predicción de modelos aplicados a la ZNS: Herramienta informática para la adecuada evaluación de la bondad de ajuste con significación estadística. *Estudios en la zona no saturada del suelo*, 10.
- Ríos, N., Ibrahim, M., y Faustino, J. (2013). *Uso del modelo SWAT para estimar la producción de sedimentos en una cuenca dominada por Ganadería*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza. Costa Rica: CATIE
- Rodríguez, J., Echeverría, C., Oyarzún, C. y Morales L. (2017). Spatial congruence between biodiversity and ecosystem services in a forest landscape in southern Chile: basis for conservation planning. *BOSQUE* 3, 495-507.
- Saxton, K. y Rawls, W. (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.
- Secretaría General Jurídica. (2015). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua*. Quito, Ecuador: Editorial Jurídica del Ecuador.
- SENPLADES. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo*. Quito, Ecuador.
- SEMARNAT. (2016). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y de desempeño ambiental y crecimiento verde*. Secretaria y Medio Ambiente de Recursos Naturales. Edición 2015. México: ISBN
- Silva, C. (2016). *Valoración Económica de los Servicios Ecosistémicos Hídricos en la Cadena de Valor de la Leche en la Zona De Intag, Cantón Cotacachi*. (Tesis de Grado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- SIN. (2013). *Sistema Nacional de Información*. Quito-Ecuador: Postdata
- Silva, A. y Rubio, M. (2014). Análisis de cambios de uso del suelo en la Delegación Municipal de Ingeniero White (Buenos Aires, Argentina): Aplicación de Geotecnologías. *Geografía* 23, 133 – 146.
- Soares, D., Nogueira, M. y Toscano, E. (2004). Evaluation of Soil-Water Characteristic Curves for Problems of Unsaturated flow in Soils from Brazil. *Revista Brasileira de Geotecnia* 1, 57-68.
- Tapia, M., Molina., A., Pérez, O. y Torres, A. (2014). Análisis Morfométrico de Quebradas afectadas por lujos de detritos bajo precipitación intensa en la quebrada de Camiña, Norte Grande de Chile. *Diálogo andino* 44, 15-24.
- Torres, E., Fernández, D., Oropeza, J. y Mejía, E. (2004). Calibración del modelo hídrico SWAT en la cuenca El Tejocote, Atlacomulco, Estado de México. Sociedad Mexicana de Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. *Terra Latinoamericana* 4, 437-444.

- Tribunal Constitucional de la Republica del Ecuador. (2014). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del agua*. Quito, Ecuador: Editorial Jurídica del Ecuador.
- 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.
- USDA. (1998). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Introduction to the principles and practice of soil science*. México Ed. Limusa. WHITE, R.E. Blackwell Publ.
- Velázquez, A., Mas, J., Díaz, G., Mayorga, S., Alcántara, P., Castro, R., Fernández, T., Bocco, F., Ezcurra, E. y Palacio, J. (2002). “Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México”, *Gaceta Ecológica* 62, 21-37
- Vitousek, P., Mooney H., Lubchenco, J. y Melillo, J. (1997). Human Domination of Earth`s Ecosystems. *Science, New Series* 277, 494-499.
- Wischmeier, W., Johnson, C. y Cross, B. (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation* 26, 189-191.
- Wisnewski, J. y Engelman, R. (2000). Human population in the biodiversity hotspots. Washintong DC. *Nature* 404, 990-992

ANEXOS

Anexo A. Datos edafológicos ingresados para la modelación hidrológica en SWAT

Datos del suelo ingresados al programa SWAT

T I T L E / T E X: X:	I N G L E S	C O D E X 1	C O D E X 2	S N A M	H Y D G R P	S O L _ Z M X	A N I O _ N E X C L	S O L _ C R K	T E X T U R E	P R O F E N m m	S O L _ Z (layer #)	S O L _ B D (layer #) g/c m3	S O L _ A _ W C (layer #) %	S O L _ K (layer #) mm /hr	S O L _ C B N (layer #)	C L A Y (layer #)	S I L T (layer #)	S A N D (layer #)	R O C K (layer #) %	S O L _ A L B (to p layer)	U S L E _ K (to p layer)	
Arcillo arenoso (sandy clay)	Sandy clay	4	43	Arcillo arenoso	C	Opcional	0.5	Opcional	Opcional	350	Poco profundo/superficial	1.48	0.11	0.84	0.87	42	6	52	< 10	Sin pedreg.	0.33	0.31
Arcillo limoso (silty clay)	Silty clay	4	44	Arcillo limoso	D	Opcional	0.5	Opcional	Opcional	750	Moderadamente profundo	1.24	0.14	3.81	1.74	47	46	7	< 10	Sin pedreg.	0.18	0.21
Arenosa (sand)	Sand	1	11	Arenoso	A	Opcional	0.5	Opcional	Opcional	1000	Profundo	1.42	0.04	114.05	0.87	5	3	92	< 10	Sin pedreg.	0.33	0.72
Franco (loam)	Loam	3	31	Franco	C	Opcional	0.5	Opcional	Opcional	750	Moderadamente profundo/profundo	1.44	0.14	18.6	1.74	18	40	42	< 10	Sin pedreg.	0.18	0.47
Franco arcillo arenoso (sandy clay loam)	Sandy clay loam	3	34	Franco arcillo arenoso	C	Opcional	0.5	OPCIONAL	OPCIONAL	350	Poco profundo	1.51	0.10	7.84	1.74	28	12	60	< 10	Sin pedreg.	0.18	0.38
Franco arenoso (sandy loam)	Sandy loam	2	21	Franco arenoso	B	Opcional	0.5	Opcional	Opcional	1000	Profundo	1.46	0.10	50.34	4.06	10	25	65	< 10	Sin pedreg.	0.04	0.31

Franco limoso (silty loam)	Silty loam	2	22	Franco limoso	C	Opcional	0.5	Opcional	Opcional	1000	Profundo	1.37	0.18	12.19	1.74	20	60	20	< 10	Sin pedreg.	0.18	0.47
Cuerpo de agua		98	98	Cuerpo de agua		Opcional	0.5	Opcional	Opcional													
Poblaciones		97	97	Poblaciones		Opcional	0.5	Opcional	Opcional													

**Anexo B. Datos climáticos ingresados para la modelación hidrológica en
SWAT**

Estación meteorológica Inguincho

ESTACIÓN METEREOLÓGICA	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
INGUINCHO	-78.4	0.26	3140

TMPMX (mon) Promedio mensual de la temperatura máxima diaria (°C).
Requerida.

PERIODO	INGUINCHO M001												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1998-2002	TMPMX (mon):	14.63	14.59	14.79	14.84	14.70	14.21	14.45	15.02	15.27	15.87	15.03	15.24
	TMPSTDMX (mon): Desviación estándar	1.31	1.44	0.96	0.57	0.62	0.40	0.58	0.78	0.95	0.95	0.37	0.86
2003-2007	TMPMX (mon):	16.45	16.33	16.02	16.15	16.46	15.56	15.99	16.36	16.97	17.11	16.94	16.28
	TMPSTDMX (mon): Desviación estándar	0.75	0.67	0.60	0.87	0.67	0.43	0.83	0.46	0.78	0.67	0.66	0.98
2008-2012	TMPMX (mon):	15.58	14.90	15.46	15.43	15.83	15.45	15.15	15.65	15.87	15.80	16.14	15.44
	TMPSTDMX (mon): Desviación estándar	0.90	1.12	1.07	0.96	0.88	0.78	0.34	0.55	0.87	0.93	1.41	1.00
2011-2015	TMPMX (mon):	15.12	14.55	14.82	15.22	15.14	14.99	15.12	15.52	16.04	15.70	15.78	15.71
	TMPSTDMX (mon): Desviación estándar	0.51	0.86	0.63	0.70	0.19	0.51	0.35	0.40	0.86	0.62	0.40	0.86

TMPMN (mon): Promedio mensual de la temperatura mínima diaria (°C).
Requerida.

PERIODO	INGUINCHO M001												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1998-2002	TMPMN (mon)	6.19	6.11	6.51	6.58	6.44	5.97	5.46	5.06	5.59	6.10	6.29	6.45
	TMPSTDMN (mon): Desviación estándar	0.43	0.62	0.67	0.65	0.53	0.53	0.42	0.30	0.35	0.23	0.22	0.38
2003-2007	TMPMN (mon)	6.22	6.58	6.80	6.85	6.68	6.26	5.68	4.95	5.14	6.16	6.41	6.24

	TMPSTDMN (mon): Desviación estándar	0.19	0.87	0.19	0.39	0.97	0.16	0.59	0.53	0.78	0.65	0.63	0.36
	TMPMN (mon)	6.41	6.36	6.30	6.75	6.62	6.21	5.73	5.61	5.81	6.22	6.33	6.38
2008-2012	TMPSTDMN (mon): Desviación estándar	0.23	0.75	0.77	0.61	0.62	0.78	0.65	0.51	0.13	0.33	0.77	0.58
	TMPMN (mon)	6.68	6.62	6.82	7.00	6.87	6.32	5.89	5.55	5.87	6.53	6.51	6.62
2011-2015	TMPSTDMN (mon):Desviación estándar	0.50	0.67	0.99	0.50	0.57	0.75	0.71	0.44	0.20	0.63	0.86	0.40

Significado de las siglas de los datos ingresados del PCPSTAT

Siglas	Significado
PCPMM (mon):	Promedio mensual de la precipitación diaria (mm H2O).
PCPSTD (mon):	Desviación estándar mensual de la precipitación diaria (mm H2O/día).
PCPSKW(mon):	Coefficiente de asimetría mensual de la precipitación diaria.
PR_W(1.mon):	Probabilidad mensual de ocurrencia de un día húmedo luego de un día seco (días).
PR_W(2.mon):	Probabilidad mensual de ocurrencia de un día húmedo luego de un día húmedo (días).
PCPD (mon):	Promedio mensual del número de días de lluvia.

Datos de precipitación del programa PCPSTAT de Inguincho

PERIODO	Month	PCP_MM	PCPSTD	PCPSKW	PR_W1	PR_W2	PCPD
1998-2002	Jan.	100	6.0207	2.129	0.2273	0.6716	13.4
	Feb.	110.88	6.9556	2.54	0.2429	0.7183	14.2
	Mar.	116.78	6.2236	2.113	0.2927	0.6301	14.6
	Apr.	181.72	9.5331	1.7617	0.375	0.686	17.2
	May.	132.1	8.2682	3.1328	0.2436	0.7143	15.4
	Jun.	70.52	6.4019	4.1809	0.2222	0.5098	10.2
	Jul.	10.5	0.8282	2.701	0.1765	0.4167	7.2
	Aug.	16.94	2.75	7.8143	0.1545	0.3125	6.4
	Sep.	66.34	5.0331	3.6313	0.3059	0.5846	13
	Oct.	74	4.7037	2.2131	0.2059	0.5849	10.6
	Nov.	117.4	7.0451	2.2611	0.24	0.72	15
	Dec.	100.78	5.5968	2.3463	0.3056	0.7229	16.6
2003-2007	Month	PCP_MM	PCPSTD	PCPSKW	PR_W1	PR_W2	PCPD
	Jan.	72.88	5.8637	3.8061	0.2105	0.65	12
	Feb.	101.68	7.1959	3.2821	0.2639	0.7246	13.8
	Mar.	149.16	8.1302	2.1406	0.3478	0.7093	17.2

Apr.	174.16	8.5742	1.7347	0.4565	0.7885	20.8
May.	89.82	5.5277	2.6981	0.3247	0.6538	15.6
Jun.	53.14	5.2514	4.5816	0.18	0.58	10
Jul.	15.54	1.5365	3.8139	0.1382	0.4688	6.4
Aug.	15.26	1.8945	4.8588	0.0992	0.4583	4.8
Sep.	43.1	5.2559	5.4553	0.1638	0.4412	6.8
Oct.	120.64	6.4792	2.3822	0.3134	0.7386	17.6
Nov.	159.84	7.3558	1.9016	0.4167	0.7745	20.4
Dec.	148.96	7.6898	2.0504	0.3158	0.7755	19.6

	Month	PCP_MM	PCPSTD	PCPSKW	PR_W1	PR_W2	PCPD
2008-2012	Jan.	167.5	9.2111	2.0115	0.2903	0.7849	18.6
	Feb.	142.5	7.7882	2.0851	0.3333	0.7766	18.8
	Mar.	140.6	7.623	2.4068	0.3621	0.7732	19.4
	Apr.	232.98	9.7044	1.4588	0.4167	0.8509	22.8
	May.	117.46	7.6295	2.6331	0.2169	0.6944	14.4
	Jun.	59.48	4.5938	3.2832	0.32	0.64	15
	Jul.	48.2	4.7269	4.8074	0.1584	0.6481	10.8
	Aug.	39.76	4.4858	5.1635	0.2091	0.4222	9
	Sep.	52.38	6.3845	7.6117	0.1524	0.6	9
	Oct.	113.22	7.1243	2.7348	0.2875	0.6933	15
	Nov.	131.46	7.1189	2.0747	0.2985	0.7349	16.6
	Dec.	151.8	8.0876	2.4024	0.3571	0.7677	19.8

	Month	PCP_MM	PCPSTD	PCPSKW	PR_W1	PR_W2	PCPD
2011-2015	Jan.	143.7	8.7514	2.2482	0.2703	0.7284	16.2
	Feb.	139.04	7.2158	1.6356	0.3725	0.7444	18
	Mar.	134.64	7.0496	2.2738	0.4098	0.7128	18.8
	Apr.	161.04	9.0747	1.9377	0.3276	0.7717	18.4
	May.	99.22	6.4417	2.6654	0.2597	0.7051	15.6
	Jun.	24.82	2.1355	3.5122	0.2	0.54	10
	Jul.	33.58	4.1169	6.331	0.1875	0.4884	8.6
	Aug.	25.68	4.1037	6.6101	0.1429	0.3103	5.8
	Sep.	38.3	5.9736	9.106	0.1468	0.6098	8.2
	Oct.	114.24	6.2288	1.887	0.3086	0.6486	14.8
	Nov.	130.54	7.9321	2.5097	0.3235	0.7317	16.4
	Dec.	81.56	6.0237	3.338	0.2473	0.5806	12.4

RAINHHMX (mon): Máxima lluvia de media hora por mes (mmH₂O).

PERIODOS	INGUINCHO M001												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1998-2002	Max	29.40	37.70	37.10	46.70	59.10	44.60	4.00	26.60	35.20	21.20	34.10	30.10
2003-2007	Max	41.10	46.00	41.70	34.80	32.60	34.80	8.90	12.30	45.20	34.40	39.10	41.30
2008-2012	Max	44.00	40.00	45.40	46.50	43.10	25.80	38.50	32.90	66.30	42.00	34.40	40.90
2011-2015	Max	44.00	31.00	34.50	39.20	35.60	13.30	38.50	32.90	66.30	29.60	44.50	40.90

SOLARAV (mon): Promedio mensual de la radiación solar diaria (MJ/m²/ día).

PERIODOS	INGUINCHO M001												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1998-2002	Prom	16.42	15.86	15.13	15.41	14.83	16.01	17.83	19.24	16.91	18.23	16.74	16.39
2003-2007	Prom	17.59	17.01	15.26	15.38	16.02	15.98	18.81	19.23	17.99	17.02	16.37	15.54
2008-2012	Prom	15.62	14.90	15.06	14.39	15.49	15.66	16.66	17.82	18.11	16.46	15.59	15.65
2011-2015	Prom	14.91	14.40	13.95	14.70	13.66	15.38	16.46	16.81	15.15	14.03	13.34	13.69

DEWPT (mon): Promedio mensual de la temperatura del punto de rocío (°C)

PERIODOS	INGUINCHO M001												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1998-2002	Prom	8.54	8.54	8.80	8.82	8.62	8.12	7.81	7.28	7.70	8.18	8.38	8.72
2003-2007	Prom	8.09	8.21	8.25	8.61	8.45	7.41	6.58	6.04	6.48	7.70	8.33	8.24
2008-2012	Prom	8.21	7.94	8.03	8.35	7.99	8.11	7.48	7.39	7.45	8.00	8.28	8.29
2011-2015	Prom	8.42	8.39	8.54	8.53	8.30	7.98	7.33	7.09	7.33	8.15	8.61	8.39

WNDVAV (mon): Promedio mensual de la velocidad de viento diaria (km/h).
Promedios en m/s

PERIODOS	INGUINCHO M001												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1998-2002	Prom	1.42	1.36	1.28	1.00	1.07	1.47	1.85	2.08	1.61	1.71	1.43	1.26
2003-2007	Prom	1.47	1.36	1.29	1.18	1.30	1.61	1.91	2.04	1.84	1.34	1.23	1.15
2008-2012	Prom	1.01	1.04	1.87	0.99	1.24	1.34	1.57	1.63	1.71	1.21	1.06	1.13
2011-2015	Prom	1.11	0.97	0.97	1.01	1.11	1.39	1.69	1.57	1.70	1.20	1.03	1.17

Estación meteorológica Otavalo

ESTACIÓN METEREOLÓGICA	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
OTAVALO	-78.26	0.24	2550

TMPMX (mon) Promedio mensual de la temperatura máxima diaria (°C).
Requerida.

Periodo		OTAVALO M105											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1998-2002	TMPMX (mon):	20.92	21.13	20.99	21.23	20.95	20.99	21.46	22.09	22.13	22.45	21.48	21.56
	TMPSTDMX (mon): Desviación estándar	1.54	1.66	1.27	1.00	1.27	0.85	0.99	0.95	1.61	1.49	0.69	1.15
2003-2007	TMPMX (mon):	22.08	22.29	21.77	22.08	22.08	21.55	22.22	22.78	22.64	22.77	22.23	21.52
	TMPSTDMX (mon): Desviación estándar	0.61	0.35	0.42	0.48	0.43	0.67	0.30	0.89	0.54	0.47	0.55	0.61
2008-2012	TMPMX (mon):	21.26	21.04	21.56	21.42	21.76	21.48	21.72	22.13	22.49	22.36	22.39	21.54
	TMPSTDMX (mon): Desviación estándar	1.02	1.23	1.20	0.85	1.01	0.42	0.88	0.52	0.82	1.03	1.13	0.85
2011-2015	TMPMX (mon):	21.33	20.92	21.37	21.50	21.34	21.49	21.80	22.05	22.59	21.92	22.17	21.84
	TMPSTDMX (mon): Desviación estándar	0.63	0.91	0.54	0.72	0.49	0.49	0.71	0.46	0.73	0.52	0.44	0.79

TMPMX (mon) Promedio mensual de la temperatura mínima diaria (°C).
Requerida.

PERIODO		OTAVALO M105											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1998-2002	TMPMN (mon)	8.71	8.44	8.49	8.14	7.98	7.57	6.94	6.44	7.62	8.36	9.15	9.17
	TMPSTDMN (mon): Desviación estándar	1.80	1.65	1.42	1.68	2.20	1.74	1.43	1.13	0.93	1.30	1.83	1.11
2003-2007	TMPMN (mon)	8.15	8.56	9.52	9.65	9.31	8.32	6.70	6.54	6.96	9.00	9.25	9.36
	TMPSTDMN (mon): Desviación estándar	1.28	2.30	0.49	0.75	0.91	1.04	1.32	0.81	1.45	1.56	1.13	0.84

2008-2012	TMPMN (mon)	8.67	8.79	8.48	9.18	8.45	7.85	7.31	6.94	6.74	8.05	8.56	8.88
	TMPSTDMN (mon): Desviación estándar	1.38	0.34	0.78	0.67	1.04	0.88	0.61	0.92	0.76	0.61	0.75	1.07
2011-2015	TMPMN (mon)	8.67	9.26	9.40	9.01	9.14	8.31	7.75	7.17	7.03	8.91	9.27	8.76
	TMPSTDMN (mon):Desviación estándar	1.19	0.57	1.43	0.45	1.19	1.27	0.88	1.03	0.75	0.92	0.90	1.13

Datos de precipitación del programa PCPSTAT de Otavalo

PERIODO	Month	PCP_MM	PCPSTD	PCPSKW	PR_W1	PR_W2	PCPD
1998-2002	Jan.	71.52	4.4336	2.4201	0.2188	0.5932	11.8
	Feb.	100.3	7.1542	3.0053	0.2436	0.6508	12.6
	Mar.	106.38	7.201	3.1492	0.2785	0.6711	15.2
	Apr.	121.52	6.6839	2.2237	0.4516	0.6591	17.6
	May.	116.38	6.4713	2.8578	0.2985	0.7386	17.6
	Jun.	49.26	4.0671	4.6063	0.2447	0.5357	11.2
	Jul.	13.78	1.7608	7.2635	0.1145	0.375	4.8
	Aug.	10.04	1.3988	8.3841	0.0977	0.3636	4.4
	Sep.	59.98	4.5065	3.2261	0.2889	0.5667	12
	Oct.	67.76	5.1433	3.9928	0.2347	0.5789	11.4
	Nov.	74.78	5.2732	3.4144	0.2667	0.55	12
	Dec.	79.84	5.3153	2.9894	0.2323	0.5714	11.2
2003-2007	Jan.	44.5	3.395	3.4007	0.1845	0.6346	10.4
	Feb.	53.22	4.6145	3.5323	0.236	0.5769	10.4
	Mar.	115.36	6.5738	2.1823	0.325	0.64	15
	Apr.	146.08	7.9534	3.0512	0.54	0.72	20
	May.	75.8	5.0755	3.0173	0.3256	0.5652	13.8
	Jun.	29.46	2.7951	4.3687	0.1296	0.5952	8.4
	Jul.	21.24	2.5845	4.9879	0.1298	0.25	4.8
	Aug.	11.68	1.4858	5.3623	0.1136	0.3478	4.6
	Sep.	32.66	4.3524	6.0571	0.1624	0.4242	6.6
	Oct.	84.12	5.7094	4.9617	0.3718	0.5974	15.4
	Nov.	120.06	6.1826	2.5502	0.4754	0.6517	17.8
	Dec.	96.56	5.5428	2.469	0.2568	0.7407	16.2
2008-2012	Jan.	90.32	6.5657	3.3597	0.2963	0.6622	14.8
	Feb.	106.02	6.6802	2.8326	0.3182	0.6711	15.2
	Mar.	111.6	6.2791	2.6688	0.3768	0.6977	17.2

Apr.	179.38	8.5729	2.5486	0.3947	0.8482	22.4
May.	93.42	6.2362	3.0736	0.2	0.6615	13
Jun.	47.4	3.6091	3.0681	0.2747	0.5424	11.8
Jul.	31.86	3.3472	5.0536	0.1441	0.5682	8.8
Aug.	26.78	2.6038	4.0697	0.1557	0.3636	6.6
Sep.	39.88	4.7343	6.945	0.1892	0.4359	7.8
Oct.	84.4	5.3766	2.9987	0.3659	0.589	14.6
Nov.	110.04	6.4724	2.4385	0.274	0.7273	15.4
Dec.	81.12	4.5822	3.024	0.3117	0.641	15.6

	Month	PCP_MM	PCPSTD	PCPSKW	PR_W1	PR_W2	PCPD
2011-2015	Jan.	87.86	7.9071	4.8971	0.1895	0.6833	12
	Feb.	100.04	5.7666	1.8311	0.3529	0.6301	14.6
	Mar.	104.74	5.7731	2.2702	0.2877	0.7195	16.4
	Apr.	136.26	7.8838	2.8412	0.2769	0.7647	17
	May.	99.38	7.0605	3.703	0.2857	0.6056	14.2
	Jun.	18.36	1.7532	4.0608	0.1491	0.4722	7.2
	Jul.	22.82	2.7651	6.3308	0.125	0.5143	7
	Aug.	16.82	2.1671	4.6539	0.0889	0.35	4
	Sep.	30.54	4.5575	7.9749	0.122	0.4444	5.4
	Oct.	103.68	6.0952	2.2681	0.2989	0.6029	13.6
	Nov.	85.74	5.3869	2.6522	0.3158	0.6757	14.8
	Dec.	61.98	4.8676	3.7921	0.2059	0.5849	10.6

RAINHHMX (mon): Máxima lluvia de media hora por mes (mmH₂O).

PERIODOS	OTAVALO M105												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1998-2002	Max	22.00	44.80	43.90	36.20	40.00	34.70	17.90	15.20	30.00	37.80	37.10	35.30
2003-2007	Max	22.50	26.30	32.00	51.70	29.80	35.90	17.20	11.20	38.30	52.00	41.60	31.10
2008-2012	Max	40.20	46.00	36.50	49.00	37.30	21.20	25.10	17.00	47.00	31.40	34.60	31.20
2011-2015	Max	64.70	24.80	27.90	38.70	52.80	10.40	25.10	13.60	47.00	31.40	28.50	31.20

SOLARAV (mon): Promedio mensual de la radiación solar diaria (MJ/m²/ día).

PERIODOS	OTAVALO M005												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1998-2002	Prom	15.96	15.75	15.71	15.31	14.51	15.67	16.71	17.67	16.53	17.78	16.30	16.45
2003-2007	Prom	16.51	16.39	14.84	14.99	15.21	14.34	16.06	17.09	16.51	16.59	15.86	15.46
2008-2012	Prom	14.75	13.91	14.66	13.38	14.18	13.93	14.59	15.40	16.80	15.93	15.97	15.68
2011-2015	Prom	15.50	14.99	14.62	13.70	13.75	14.37	15.06	15.87	16.83	16.15	16.32	16.24

DEWPT (mon): Promedio mensual de la temperatura del punto de rocío (°C)

PERIODOS	OTAVALO M105												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1998-2002	Prom	11.06	11.15	11.47	11.76	11.29	10.30	9.49	8.63	9.93	10.55	11.28	11.72
2003-2007	Prom	11.22	11.37	11.84	12.32	12.33	10.95	9.62	9.40	9.77	11.64	11.88	11.67
2008-2012	Prom	11.16	11.31	11.16	11.76	11.16	10.47	9.75	9.18	9.11	10.79	11.38	11.57
2011-2015	Prom	11.10	11.47	11.60	11.50	11.42	10.13	9.35	8.93	8.99	10.93	11.63	11.13

WNDV (mon): Promedio mensual de la velocidad de viento diaria (km/h).
Promedios en m/s

PERIODOS	OTAVALO M105												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1998-2002	Prom	0.53	0.52	0.44	0.46	0.48	0.46	0.67	0.81	0.81	0.81	0.72	0.64
2003-2007	Prom	0.54	0.51	0.47	0.43	0.47	0.65	0.77	0.87	0.73	0.51	0.39	0.38
2008-2012	Prom	0.36	0.36	0.37	0.28	0.37	0.48	0.52	0.57	0.63	0.46	0.37	0.39
2011-2015	Prom	0.80	0.67	0.66	0.70	0.69	0.96	1.09	0.97	0.94	0.81	0.77	0.78

Estación meteorológica San Gabriel

ESTACIÓN METEREOLÓGICA	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
SAN GABRIEL	-77.82	0.60	2860

TMPMX (mon) Promedio mensual de la temperatura máxima diaria (°C).
Requerida

PERIODO	SAN GABRIEL M103												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
	TMPMX (mon):	18.19	18.46	18.32	18.34	17.36	16.69	16.73	16.11	17.84	18.83	18.93	18.92
1998-2002	TMPSTDMX (mon): Desviación estándar	0.64	0.89	0.87	0.89	0.41	0.43	0.42	0.54	0.35	1.50	0.83	0.96
	TMPMX (mon):	18.48	18.66	18.12	18.11	17.76	16.51	16.50	16.22	16.92	18.78	18.81	18.12
2003-2007	TMPSTDMX (mon): Desviación estándar	1.14	0.60	0.51	0.42	0.43	0.81	0.35	0.68	1.12	0.54	0.88	0.64
2008-2012	TMPMX (mon):	18.17	17.57	17.94	18.57	17.85	17.14	16.85	16.87	17.18	18.69	19.15	18.42

	TMPSTDMX (mon): Desviación estándar	0.91	0.85	0.82	0.75	1.02	0.28	0.52	0.58	0.89	0.54	1.13	0.56
	TMPMX (mon):	18.12	17.67	17.95	17.80	17.47	16.43	16.09	16.26	16.85	18.41	18.98	18.07
2011-2015	TMPSTDMX (mon): Desviación estándar	0.72	0.42	0.30	0.55	0.71	0.77	0.65	0.63	0.57	0.53	0.60	0.27

TMPMX (mon) Promedio mensual de la temperatura mínima diaria (°C).
Requerida.

		SAN GABRIEL M103											
PERIODO		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	TMPMN (mon)	6.69	6.80	6.94	7.51	7.39	6.20	5.84	5.80	4.99	5.97	6.41	6.57
1998-2002	TMPSTDMN (mon): Desviación estándar	0.96	0.68	0.79	1.18	1.35	0.93	0.84	0.40	0.72	0.53	1.17	0.85
	TMPMN (mon)	6.52	6.73	7.15	7.57	7.53	6.99	6.53	6.82	6.47	7.08	7.43	7.38
2003-2007	TMPSTDMN (mon): Desviación estándar	0.81	1.38	0.41	0.34	0.44	0.57	0.36	0.42	0.63	0.55	0.50	0.45
	TMPMN (mon)	6.61	6.98	6.78	7.27	7.43	6.64	6.79	6.10	5.91	6.55	7.18	7.27
2008-2012	TMPSTDMN (mon): Desviación estándar	0.51	0.74	0.85	1.11	1.07	0.56	1.02	0.96	0.89	0.86	1.05	0.57
	TMPMN (mon)	7.24	7.21	7.46	7.20	7.58	7.11	7.52	6.80	6.55	7.37	7.52	7.67
2011-2015	TMPSTDMN (mon):Desviación estándar	0.95	1.01	1.41	0.85	1.26	0.92	1.03	1.19	0.81	1.45	1.26	0.70

Datos de precipitación del programa PCPSTAT de San Gabriel

PERIODO	Month	PCP_MM	PCPSTD	PCPSKW	PR_W1	PR_W2	PCPD
1998-2002	Jan.	91.32	5.6413	3.488	0.3382	0.7011	17.4
	Feb.	94.18	5.9651	2.7951	0.4068	0.6341	16.4
	Mar.	105.18	7.4723	3.4987	0.4328	0.6477	17.6
	Apr.	94.66	5.9855	2.9035	0.5094	0.6804	19.4
	May.	123.4	8.2558	3.558	0.54	0.7238	21
	Jun.	80.94	4.6695	2.9098	0.6136	0.7075	21.2

Jul.	45.46	2.8201	3.0792	0.4638	0.6047	17.2
Aug.	50.44	4.2072	5.6654	0.3636	0.6854	17.8
Sep.	38.64	2.6495	3.2467	0.3704	0.5362	13.8
Oct.	110.36	10.4916	6.4156	0.2667	0.6154	13
Nov.	97.72	6.742	2.8344	0.4286	0.6437	17.4
Dec.	110.56	6.2671	2.2334	0.3971	0.6552	17.4

	Month	PCP_MM	PCPSTD	PCPSKW	PR_W1	PR_W2	PCPD
2003-2007	Jan.	68.62	4.8713	3.667	0.2727	0.6269	13.4
	Feb.	69.76	5.52	3.2075	0.3733	0.5455	13.2
	Mar.	108.22	6.9403	3.2621	0.4507	0.5952	16.8
	Apr.	130.2	6.6939	3.1407	0.4872	0.8018	22.2
	May.	71.16	4.0342	2.5204	0.459	0.6702	18.8
	Jun.	59.1	4.8122	4.5453	0.4237	0.6703	18.2
	Jul.	48.96	3.6147	4.3393	0.4706	0.5977	17.4
	Aug.	36.34	2.4524	3.0787	0.3214	0.5915	14.2
	Sep.	48.08	3.3668	3.608	0.403	0.6386	16.6
	Oct.	113.56	6.6401	2.8696	0.4429	0.6235	17
	Nov.	114.2	6.4697	2.416	0.4576	0.6703	18.2
	Dec.	129.08	7.6522	3.7871	0.38	0.781	21

	Month	PCP_MM	PCPSTD	PCPSKW	PR_W1	PR_W2	PCPD
2008-2012	Jan.	113.98	7.1478	2.7794	0.3333	0.7609	18.4
	Feb.	122.62	6.6838	2.7479	0.6316	0.7308	20.8
	Mar.	88.92	5.1871	3.1155	0.5469	0.6044	18.2
	Apr.	119	6.1806	2.5094	0.625	0.6961	20.4
	May.	91.12	5.3618	2.9089	0.4286	0.7172	19.8
	Jun.	52.2	3.1805	3.7314	0.4906	0.6907	19.4
	Jul.	52.54	3.0602	3.3161	0.4706	0.7212	20.8
	Aug.	38.5	2.2547	2.9547	0.4688	0.6374	18.2
	Sep.	41.38	3.066	3.3008	0.35	0.5429	14
	Oct.	112.6	7.2747	3.1058	0.403	0.6591	17.6
	Nov.	135.12	7.5079	2.5437	0.3607	0.7191	17.8
	Dec.	138.44	6.3684	1.8004	0.4419	0.7857	22.4

	Month	PCP_MM	PCPSTD	PCPSKW	PR_W1	PR_W2	PCPD
2011-2015	Jan.	71.68	4.7414	3.1423	0.338	0.6905	16.8
	Feb.	109.1	6.0603	2.2428	0.449	0.7174	18.4
	Mar.	92.96	5.1536	2.9781	0.5926	0.6634	20.2
	Apr.	96.74	5.4537	2.6165	0.5091	0.6842	19
	May.	102.04	6.723	4.1848	0.6596	0.6944	21.6
	Jun.	57.58	2.6273	2.508	0.6875	0.7712	23.6
	Jul.	56.8	3.1444	2.9217	0.4792	0.757	21.4
	Aug.	36.12	2.1366	3.6062	0.4211	0.7245	19.6

Sep.	27.64	2.0482	3.8674	0.3514	0.6053	15.2
Oct.	78.2	4.9083	3.2724	0.4375	0.6593	18.2
Nov.	121.48	6.5066	2.2498	0.4444	0.6667	17.4
Dec.	85.88	5.0403	2.5203	0.459	0.6702	18.8

RAINHHMX (mon): Máxima lluvia de media hora por mes (mmH₂O).

PERIODOS		SAN GABRIEL M103											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1998-2002	Max	41.60	39.00	48.70	36.40	53.40	26.90	17.20	38.40	18.10	103.50	34.80	32.60
2003-2007	Max	30.60	34.40	45.70	46.50	19.90	34.20	26.70	9.90	23.40	39.60	33.60	29.90
2008-2012	Max	36.90	43.60	35.70	36.50	30.00	23.30	19.00	12.40	16.00	43.40	43.60	28.60
2011-2015	Max	27.00	32.10	35.70	31.20	50.00	17.90	19.00	16.20	15.00	33.30	36.30	25.70

SOLARAV (mon): Promedio mensual de la radiación solar diaria (MJ/m²/ día).

PERIODOS		SAN GABRIEL M103											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1998-2002	Prom	16.18	15.94	15.06	15.14	14.23	14.40	15.20	16.12	16.96	17.73	16.00	16.34
2003-2007	Prom	16.17	16.60	14.25	14.76	14.86	13.59	15.21	15.31	15.54	16.38	16.01	15.22
2008-2012	Prom	15.37	14.31	14.91	15.24	15.04	14.59	14.58	16.04	16.24	16.12	15.64	15.00
2011-2015	Prom	15.22	14.63	14.71	14.91	14.18	14.05	14.75	15.59	15.54	15.65	15.55	14.66

DEWPT (mon): Promedio mensual de la temperatura del punto de rocío (°C)

PERIODOS		SAN GABRIEL M103											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1998-2002	Prom	8.91	8.94	9.17	9.50	9.32	8.66	8.73	8.76	8.94	9.06	9.08	9.29
2003-2007	Prom	8.48	8.60	8.88	9.22	9.19	8.43	7.77	7.78	8.19	8.93	9.15	8.81
2008-2012	Prom	9.21	9.42	9.77	10.11	9.78	9.67	8.98	8.56	8.39	9.07	9.50	9.21
2011-2015	Prom	9.65	9.84	10.12	10.22	9.45	9.71	9.41	9.35	8.98	9.49	9.74	9.59

WNDVAV (mon): Promedio mensual de la velocidad de viento diaria (km/h).
Promedio en m/s

PERIODOS		SAN GABRIEL M103											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1998-2002	Prom	0.81	0.76	0.71	0.77	0.73	0.84	0.94	1.00	0.90	0.92	0.84	0.81
2003-2007	Prom	0.85	0.81	0.75	0.74	0.77	0.89	0.98	1.06	0.94	0.82	0.79	0.79
2008-2012	Prom	0.73	0.68	0.76	0.67	0.74	0.79	0.85	0.92	0.94	0.76	0.69	0.66
2011-2015	Prom	0.98	0.88	0.97	0.97	0.98	1.08	1.16	1.24	1.23	1.01	0.97	0.96

Generación de información georeferenciada para el desarrollo sustentable del sector agropecuario. Atributos morfo-edafológicos

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	Fina, media, gruesa
	2	franco arenoso	Fino a Grues
		franco limoso	
		franco limoso	
	3	franco arcilloso	Media
		franco arcillo arenoso	
		arenoso	
		franco arcillo limoso	
	4	franco arcilloso	Fina
		arcilloso	
arcillo arenoso			
arcillo limoso			
arcilloso			
5	arcilloso	Muy fina	
PROFUNDIDAD (cm)	1	0-20	Superficial
	2	20-50	Poco profundidad
	3	50-100	Moderadamente profundo
	4	>100	Profundo
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)
NIVEL FREÁTICO (cm)	1	0-20	Superficial
	2	20-50	Poco profundo
	3	50-100	Medianamente profundo
	4	>100	Profundo

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
TOXICIDAD (presencia de CO ₂ Ca o Aluminio)	1	s	Sin o nula
	2	l	Ligera
	3	m	Media
	4	a	Alta
NIVEL DE FERTILIDAD (mediante: pH, MO, SB, CIC, BI)	1	Mb	Muy baja
	2	B	Baja
	3	M	Mediana
	4	A	Alta
OTROS	94	Playas, cordones litorales, bancos de arena	
	95	Camaroneras	
	96	Nieve y Hielo	
	97	Población	
	98	Cuerpos de agua (naturales o artificiales)	
	99	Afloramiento rocoso	

Fuente: (SIN, 2013)

Anexo C. Mapas

Anexo D. Registro fotográfico de la fase de campo



Fotografía 1. Río Itambi y residuos vegetales que interfieren en la escorrentía natural del río Itambi



Fotografía 2. Río Itambi adyacente a las coberturas vegetales de pastos y cultivos



Fotografía 3. Coberturas vegetales de cultivos de Fresa (*Fragaria*)



Fotografía 4. Cultivos de Maíz (*Zea mays*) y sobrepastoreo.



Fotografía 5. Actividades ganaderas diarias realizadas por la población.



Fotografía 6. Unión de Río Itambi con el Lago San pablo



Fotografía 7. Área urbana (Parroquia San Pablo)



Fotografía 8. Coberturas vegetales de bosques con plantaciones de Eucalipto (*Eucalyptus*)



Fotografía 9. Cobertura de infraestructura agrícola y pastos.