UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

"APLICACIÓN DEL MODELO SWAT EN LA MICROCUENCA DEL RÍO BOBO EN TRES ESCENARIOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES Y SEDIMENTOS, PROVINCIA DEL CARCHI"

Trabajo de Grado previo a la obtención del título de

Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

AUTORA

Geovana Estefanía Jácome Terán

DIRECTOR:

MSc. Oscar Rosales E.

Ibarra – Ecuador

2016

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

TEMA:

"APLICACIÓN DEL MODELO SWAT EN LA MICROCUENCA DEL RÍO BOBO EN TRES ESCENARIOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES Y SEDIMENTOS, PROVINCIA DEL CARCHI"

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

INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Director:	MSc. Oscar Rosales
Asesor:	PhD. James Rodríguez
Asesora:	MSc. Tatiana Grijalva
Asesora:	Ing. Elizabeth Velarde

Ibarra – Ecuador

2016

CERTIFICACIÓN DE LA AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Geovana Estefanía Jácome Terán, bajo mi supervisión.

Ing. Oscar Rosales

DIRECTOR DE TESIS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100400822-1		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Jácome Terán Geovana Estefanía		
DIRECCIÓN:	Pablo Rivera y Obispo Mosquera		
EMAIL:	geovanajacome@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	06 2533186	TELÉFONO MÓVIL:	0979492031
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	"APLICACIÓN DEL MODELO SWAT EN LA MICROCUENCA DEL RÍO BOBO EN TRES ESCENARIOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES Y SEDIMENTOS, PROVINCIA DEL CARCHI"		
AUTOR (ES):	Jácome Terán Geovana Estefanía		
FECHA:	2016/11/28		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	■ Pregrado ☐ Posgrado		
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES		
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Oscar Rosales E.		

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

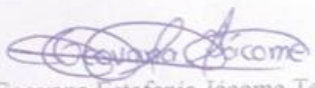
Yo, Geovana Estefanía Jácome Terán, con cédula de ciudadanía Nro 1004008221; en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de titulación descrito anteriormente, hago la entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior, Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 26 días del mes de noviembre del 2016

LA AUTORA:



Geovana Estefanía Jácome Terán

C.I 1004008221

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Geovana Estefanía Jácome Terán con cédula de identidad Nro. 1004008221, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4,5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado; "APLICACIÓN DEL MODELO SWAT EN LA MICROCUENCA DEL RÍO BOBO EN TRES ESCENARIOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES Y SEDIMENTOS, PROVINCIA DEL CARCHI", que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 26 días del mes de noviembre del 2016

Geovana Estefanía Jácome Terán

C.I 1004008221

DEDICATORIA

Esta investigación va dedicada a mi Dios que es el que cada día me ha dado fuerzas para luchar por mis sueños.

A mi padre Tarquino Jácome, mi ángel desde el cielo que me cuida, que en vida se esforzó y me dio todo el amor, comprensión y la guía para ser cada día un mejor ser humano.

A mi madre Mabel Terán mujer luchadora, sensible, que con sus consejos, su ejemplo, su amor a cuidado de mi, dándome siempre lo mejor y a mi querida hermana Carina Jácome que con un abrazo, una palabra de aliento en momentos difíciles ella ha logrado apoyarme.

Desde lo más profundo de mi corazón un gracias por todo, sin ustedes nada de esto hubiese sido posible, los amo muchísimo, mi corazón con ustedes.

Geovana

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Dios que siempre me ha bendecido y me ha guiado para que esta meta se cumpla satisfactoriamente.

Al ingeniero Óscar Rosales, docente de la FICAYA y Director de esta investigación, con su colaboración continua mediante sus conocimientos ha aportado certeramente para culminar con este trabajo.

A mis asesores la Ing. Elizabeth Velarde, MSc. Tatiana Grijalva y al PhD. James Rodríguez que con las respectivas recomendaciones encaminar a este trabajo a terminarlo adecuadamente.

A la Universidad Técnica del Norte que se constituyó en mi segundo hogar, durante mi periodo de estudio, brindando la oportunidad de enriquecerme de conocimientos.

A mis padres Tarquino y Mabel por todo su esfuerzo, amor, cuidado, apoyo incondicional y por encaminarme siempre por el camino del bien.

Geovana

RESUMEN

En la microcuenca del río Bobo se evidencia en la parte alta se evidencia el aumento de la frontera agrícola y la disminución de la cobertura vegetal natural, en la parte media está ubicada la central hidroeléctrica San Miguel de Car y la Playa, en esta área hay presencia de bosque intervenido y bosque natural, el cual registra disminución en su superficie y en la parte baja se observa una extensión de cultivos como zanahoria, papa, haba, melloco y zonas semiurbanas. El objetivo de la presente investigación fue aplicar el modelo SWAT como una herramienta para el manejo del recurso hídrico en la microcuenca del río Bobo en la provincia del Carchi, mediante este modelo se compararon caudales y sedimentos en un periodo de 18 años, tomando en cuenta las variables tipo de suelo, pendientes, cobertura vegetal y clima, luego se proponen proyectos para el manejo del recurso hídrico. Los resultados obtenidos indicaron que para los sedimentos a medida que la cobertura vegetal disminuye a través del tiempo, se observa que los sedimentos aumentan, siendo para el año 2002 de 0,06 Ton/ha/día, para el año 2015 de 0,45 Ton/ha/día, para el año 2020 de 0,55 Ton/ha/día, debido a que al no haber cobertura, las raíces de los árboles que son las que mantienen las partículas de suelo en su lugar, se desprenden y las tasas de pérdida de suelo aumentan significativamente. En cuanto a los caudales en el escenario actual (2015) se evidencia reducción de páramo, bosque y vegetación arbustiva, en comparación al escenario pasado (2002) y al no haber dicha cobertura, el agua de lluvia va directo al río, el caudal aumenta. Para el escenario futuro (2020) el caudal reducirá debido a que la precipitación será menor, e inclusive un estudio sobre calentamiento global, menciona que el aumento de temperatura en 1°C será igual a la reducción de caudal de agua en un 20%. Con los resultados obtenidos se plantea la propuesta de manejo del recurso hídrico para la microcuenca del río Bobo.

SUMMARY

In the microbasin of the river Bobo is evidenced in the upper part evidences the increase of the agricultural frontier and the reduction of the natural vegetal cover, in the middle part is located the hydroelectric power station San Miguel de Car and the Beach, in this area there are Presence of intervened forest and natural forest, which shows decrease in its surface and in the lower part there is an extension of crops such as carrot, potato, bean, melloco and semi-urban areas. The objective of the present investigation was to apply the SWAT model as a tool for the management of the water resource in the microbasin of the Bobo River in the province of Carchi, using this model, comparing flows and sediments in a period of 18 years, taking into account The variables soil type, slopes, vegetation cover and climate, then propose projects for the management of the water resource. The results indicated that for sediments as the vegetation cover decreases over time, it is observed that the sediments increase, being for the year 2002 of 0.06 Ton / ha / day, by the year 2015 of 0.45 Ton / ha / day, by 2020 of 0.55 Ton / ha / day, due to the lack of cover, the roots of the trees that hold the soil particles in place, Soil loss rates increase significantly. As for the flows in the current scenario (2015), there is a reduction of páramo, forest and shrub vegetation, compared to the past scenario (2002) and when there is no such cover, the rainwater goes directly to the river, the flow increases . For the future scenario (2020), the flow will reduce because the precipitation will be lower, including a study on global warming, mentions that the increase in temperature by 1 ° C will be equal to the reduction of water flow by 20%. With the results obtained is proposed the proposal of management of the water resource for the microbasin of the Bobo river.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I 1
1. INTRODUCCIÓN 1
2. OBJETIVOS 4
2.1. Objetivo General 4
2.2. Objetivos Específicos 4
3. PREGUNTA DIRECTRIZ 4
CAPÍTULO II 5
2. REVISIÓN DE LITERATURA 5
2.1. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua 5
2.2. Recopilación de Información 7
2.3. Análisis Multitemporal 8
2.4. Modelo SWAT 11
2.5. Calibración y Validación del Modelo SWAT 11
2.6. Ciclo del Agua 14
2.6.1. Precipitación 15
2.6.2. Evapotranspiración 16
2.6.3. Infiltración 17
2.6.4. Escorrentía 17
2.6.5. Relación Lluvia-Escorrentía 18
2.7. Arrastre de Sedimentos 18
2.8. Aplicación del Modelo SWAT 20
2.9. Incidencia de la Cobertura Vegetal en el Caudal a Corto Plazo 21
2.10. Propuesta de Manejo del Recurso Hídrico 22
CAPÍTULO III 24
3. MATERIALES Y MÉTODOS 24
3.1. Materiales y Equipos 24

3.2. Delimitación y Localización del Área de Estudio 25
3.3. Metodología 26
3.3.1. Caracterización Biofísica del Área de Estudio 26
3.3.2. Análisis Multitemporal 28
3.3.3. Aplicación del modelo SWAT (2002, 2015, 2020) 31
3.3.10. Propuesta de Manejo del Recurso Hídrico 44
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 45
4.1. Caracterización Biofísica del Área de Estudio 46
4.2. Análisis Multitemporal 55
4.3. Aplicación del modelo SWAT 62
4.3.1. PASADO 2002 62
4.3.2. ACTUAL 2015 65
4.5.3. FUTURO 2020 81
4.4. PROPUESTA DE MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO 91
4.4.1. ÁRBOL DE PROBLEMAS 92
4.4.2. ÁRBOL DE OBJETIVOS 92
4.4.3. FODA PROPUESTA MANEJO DEL RECURSO HIDRICO 93
4.4.5. Programas 93
CAPITULO V 105
5.1. CONCLUSIONES 105
5.2. RECOMENDACIONES 106
CAPITULO VI 108
6. BIBLIOGRAFÍA: 108

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Combinación de bandas 9
Cuadro 2.2. Variación de la Cobertura Vegetal 1991, 1999, 2007 10
Cuadro 2.3. Datos de Caudales Mensuales para el Escenario 3, ... 21
Cuadro 2.4. Matriz de Seguimiento y Control de Programas y Proyectos 23
Cuadro 3.1. Materiales y Equipos 24
Cuadro 3.2. Coordenadas de Ubicación de la Microcuenca del Río Bobo 26
Cuadro 3.3. Cobertura Vegetal para SWAT 32
Cuadro 3.4. Pendientes del Terreno 34
Cuadro 3.5. Coordenadas de las Estaciones Climáticas 34
Cuadro 3.6. Parámetros de Cobertura Vegetal que requiere SWAT 36
Cuadro 3.7. Variables Climáticas que Requiere el SWAT 37
Cuadro 3.8. Parámetros para Tipos de Suelo 38
Cuadro 3.9. Coordenadas Geográficas Datum WGS 84, Zona 17 Sur Puntos de Aforo 40
Cuadro 3.10. Métodos para Aforar 43
Cuadro 4.1. Parámetros de Forma 46
Cuadro 4.2. Estero y Quebradas dentro de la Microcuenca del río Bobo 47
Cuadro 4.3.Tipos de Suelo 48
Cuadro 4.4. Formaciones Geológicas 49
Cuadro 4.5. Tipos de Pendientes 50
Cuadro 4.6. Uso de Suelo y Cobertura Vegetal 51
Cuadro 4.7. Uso Potencial del Suelo 52
Cuadro 4.8. Conflictos de Uso del Suelo 52
Cuadro 4.9. Zonas de Vida 53
Cuadro 4.10. Áreas de Cobertura Vegetal 56
Cuadro 4.11. Pérdida de Coberturas Vegetales 57

Cuadro 4.12. Caudales Simulados SWAT (2002) 63
Cuadro 4.13. Sedimentos Simulados SWAT (2002) 64
Cuadro 4.14. Aporte de Sedimentos y Erosión Actual 65
Cuadro 4.15. Caudales Simulados y Calibrados SWAT (2015) 66
Cuadro 4.16. Regresión lineal para el caudal calibrado 66
Cuadro 4.17. Datos de Precipitación y Temperatura Medias Mensuales de la Estación San Gabriel y El Ángel 68
Cuadro 4.18. Datos de caudales 70
Cuadro 4.19. Coordenadas UTM y Datos Hidráulicos y Geométricos Punto 1 70
Cuadro 4.20. Coordenadas UTM, Datos Hidráulicos y Geométricos Punto 2 71
Cuadro 4.21. Coordenadas UTM, Datos Hidráulicos y Geométricos Punto 3 72
Cuadro 4.22. Coordenadas UTM, Datos Hidráulicos y Geométricos Punto 4 73
Cuadro 4.23. Coordenadas UTM, Datos Hidráulicos y Geométricos Punto 5 74
Cuadro 4.24. Sitios de Pruebas de Infiltración 75
Cuadro 4.25. Prueba de Infiltración Punto 1 76
Cuadro 4.26. Prueba de Infiltración Punto 2 77
Cuadro 4.27. Prueba de Infiltración Punto 3 77
Cuadro 4.28. Prueba de Infiltración Punto 4 77
Cuadro 4.29. Prueba de Infiltración Punto 4 78
Cuadro 4.30. Validación del Modelo SWAT (2015) 78
Cuadro 4.31. Sedimentos Simulados SWAT (2015) 80
Cuadro 4.32. Simulación Caudal SWAT (2020) 81
Cuadro 4.33. Calibración Caudal (2020) 82
Cuadro 4.34. Simulación Sedimentos (2020) 83
Cuadro 4.35. Datos de Caudales para el año 2002, 2015, 2020 84
Cuadro 4.36. Comparación de caudales 85
Cuadro 4.37. Comparación de caudales 86

Cuadro 4.38. Datos de Sedimentos para los años 2002, 2015, 2020 87
Cuadro 4.39. Datos de Caudales Mensuales para el Escenario 3, Escenario 2, Escenario1, 1956 , 2000 89
Cuadro 4.40. Datos de Caudales para el año 2002, 2015, 2020..... 90
Cuadro 4.41. FODA de la microcuenca del río Bobo 93
Cuadro 4.42. Valores de ponderación en la priorización de proyectos..... 94
Cuadro 4.43. Priorización de proyectos 94
Cuadro 4.44. Conservación del Páramo y Vegetación Arbustiva..... 96
Cuadro 4.45. Actividades valoradas para el proyecto de Conservación del Páramo y Vegetación Arbustiva..... 97
Cuadro 4.46. Programa de Conservación de los Recursos Hídricos..... 100
Cuadro 4.47. Actividades valoradas para el proyecto de educación ambiental..... 101
Cuadro 4.48. Programa de Educación Ambiental..... 103
Cuadro 4.49. Actividades valoradas para el proyecto de educación ambiental..... 104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Caudal Real – Caudal Calibrado para el periodo 1985- 2004 13
Figura 2.2. Ciclo del Agua 14
Figura 2.3. Tipos de Precipitación 15
Figura 2.4. Evapotranspiración 16
Figura 2.5. Infiltración de Agua en el Suelo 17
Figura 2.6. Escorrentía Superficial 18
Figura 3.1. Mapa de Ubicación de la Microcuenca del Río Bobo 25
Figura 3.2. Metodología Análisis Multitemporal 28
Figura 3.3. Metodología para la Aplicación del modelo SWAT 31
Figura 3.4. Progama Soil Water Characteristics 33
Figura 3.5. Base de Datos que Requiere el Modelo SWAT 35
Figura 3.6. Puntos de Aforo 41
Figura 3.7. Metodología para la Propuesta de Manejo del Recurso Hídrico 44
Figura 4.1. Análisis multitemporal para los años 2002, 2015, 2020 56
Figura 4.2. Análisis Multitemporal de la Microcuenca del río Bobo 58
Figura 4.3. Cambio de cobertura vegetal en diferentes años 58
Figura 4.4. Línea de tendencia para la cobertura bosque 59
Figura 4.5. Línea de tendencia para la cobertura páramo 59
Figura 4.6. Línea de tendencia para la cobertura vegetación arbustiva 60
Figura 4.7. Línea de tendencia para la cobertura pastizal 60
Figura 4.8. Línea de tendencia para la cobertura cultivo 61
Figura 4.9. Relación Precipitación – Caudal (2002) 63
Figura 4.10. Sedimentos (2002) 65
Figura 4.11. Calibración del Modelo SWAT (2015) 67
Figura 4.12. Diagrama Ombrotérmico Estaciones San Gabriel y El Ángel 68
Figura 4.13. Medición de Caudal 69

Figura 4.14. Área Mojada a) Época Lluviosa b) Época Seca Punto 1 71
Figura 4.15. Área Mojada a) Época Lluviosa b) Época Seca Punto 2 72
Figura 4.16. Área Mojada a) Época Lluviosa b) Época Seca Punto 3 73
Figura 4.17. Área Mojada a) Época Lluviosa b) Época Seca Punto 4 74
Figura 4.18. Área Mojada a) Época Lluviosa b) Época Seca Punto 5 75
Figura 4.19. Medición de Infiltración en Pasto Cultivado 76
Figura 4.20. Validación del Modelo SWAT (2015) 79
Figura 4.21. Sedimentos (2015) 81
Figura 4.22. Simulación, Relación Precipitación – Caudal (2020) 82
Figura 4.23. Calibración, Relación Precipitación – Caudal (2020) 83
Figura 4.24. Sedimentos (2020) 84
Figura 4.25. Comparación de Caudales para el año 2002, 2015, 2020 85
Figura 4.26. Caudales 2002, 2015 86
Figura 4. 27. Caudales 2015, 2020 87
Figura 4.28. Sedimentos en 2002, 2015, 2020 88

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Las centrales hidroeléctricas San Miguel de Car y La Playa, que generan energía eléctrica a la ciudad de Tulcán, incrementan los impactos antrópicos en la zona (Comunicación personal, 2015). Por lo tanto, solo mediante acciones pertinentes y eficaces se logrará reducir y mitigar los daños causados por procesos hidrológicos que se generan en la microcuenca del río Bobo. Por otro lado, la empresa eléctrica EMELNORTE abastece de energía a gran parte de la población de Tulcán, con un alto predominio de consumidores residenciales, un alto porcentaje de usuarios comerciales y en menor grado de consumidores de tipo industrial (EMELNORTE, 1975). Debido a lo anterior, la función de EMELNORTE es proteger el caudal de agua de los embalses, ya que si este se reduce la empresa tendría serios problemas con pérdidas de energía (EMELNORTE, 1975).

Actualmente, el deterioro de la microcuenca del río Bobo va en aumento, debido a que en los sitios aledaños al río se realizan actividades antrópicas como la agricultura y ganadería, las cuales generan efectos negativos (Com.pers, 2015). Dichas actividades ocasionan pérdida de suelo, acumulación de sedimentos en los embalses y captaciones de agua de las centrales San Miguel de Car y La Playa, que genera una disminución del caudal de agua.

En la parte alta de la microcuenca se evidencia el aumento de la frontera agrícola y la disminución de la cobertura vegetal natural (PDOT parroquia La Libertad, 2015). En la parte media de la microcuenca está ubicada la central hidroeléctrica San Miguel de Car y la Playa, en esta área hay presencia de bosque intervenido y bosque natural, el cual registra disminución en su superficie. En la parte baja se observa una extensión de cultivos como zanahoria, papa, haba, melloco y zonas semiurbanas (PDOT parroquia La Libertad, 2015). Esta actividad agrícola utiliza fertilizantes químicos que contienen nitrógeno y fósforo, los que provocan la eutrofización del agua. En síntesis, todos los factores anteriormente mencionados ocasionan la producción y acumulación gradual de sedimentos en la microcuenca (PDOT parroquia La Libertad, 2015).

En este contexto, se revisó literatura sobre investigaciones relacionadas al trabajo, la cual contribuyó en alcanzar los objetivos propuestos. Además, se realizaron salidas de campo que ayudaron a establecer puntos claves en donde se hicieron aforos de caudales y medición de infiltración de agua en el suelo, obteniendo datos que permitieron realizar la investigación. También, se empleó información proporcionada por el Gobierno Provincial del Carchi para conocer la vulnerabilidad y estado biofísico-ambiental del área de estudio.

Debido a la problemática anterior, el propósito de la investigación fue analizar el estado actual de la cobertura vegetal y caudales de la microcuenca del río Bobo, mediante la aplicación del modelo SWAT. Para ello se realizó una simulación hidrológica, lo que implicó analizar la escorrentía, precipitación y arrastre de sedimentos en la microcuenca durante un periodo de 18 años.

El estudio tuvo como objetivo calcular los caudales y sedimentos de la microcuenca del río Bobo, aplicando el modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT) desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) en conjunto con la Universidad de Texas (Arnold, *et*

al., 1998). De tal modo que esta investigación genera información clave, la cual contribuye en el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de la microcuenca, ya que permite realizar acciones de protección del recurso hídrico, el cual ha registrado una progresiva disminución de su caudal y un incremento en el transporte de sedimentos.

El estudio permitió aportar información hidrológica clave desde aplicaciones técnicas hidrológicas para que entidades como el Gobierno Provincial del Carchi (GPC) y EMELNORTE cuenten con información actualizada de la microcuenca del río Bobo, la cual les permitirá realizar proyectos de manejo de la misma.

La propuesta de manejo del recurso hídrico se constituyó en una herramienta de soporte para el Gobierno Provincial del Carchi, ya que las autoridades encargadas de la toma de decisiones podrán aplicar medidas ambientales para evitar que los sedimentos sigan en aumento y la disminución de caudales. Además el estudio es importante para los pobladores de la provincia del Carchi, ya que ellos se abastecen del recurso hídrico, ya sea para consumo, agricultura o uso de energía eléctrica.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Aplicar el modelo SWAT como una herramienta para el manejo del recurso hídrico en la microcuenca del río Bobo en la provincia del Carchi.

2.2. Objetivos Específicos

- Analizar tres escenarios en base al estudio multitemporal de cobertura vegetal.
- Realizar el modelamiento hidrológico en los escenarios pasado, actual y futuro en base al cambio del uso del suelo, cobertura vegetal y la incidencia en la escorrentía superficial.
- Elaborar una propuesta de manejo del recurso hídrico.

3. PREGUNTA DIRECTRIZ

¿Los caudales y sedimentos simulados en la microcuenca son diferentes para los tres escenarios propuestos pasado, actual y futuro?

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Este capítulo está enfocado en obtener información asociada a temas relevantes que permitan alcanzar los objetivos propuestos. La revisión de literatura tomará en cuenta el marco legal, sobre todo lo referente a las leyes acerca del recurso agua y literatura relevante sobre la herramienta SWAT que es el pilar fundamental de este estudio.

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

Las leyes que se revisaron fueron del registro oficial N° 305 de la actual constitución nacional, aprobadas el miércoles seis de agosto del 2014.

Art. 6.- Prohibición de Privatización. Se prohíbe toda forma de privatización del agua, por su trascendencia para la vida, la economía y el ambiente; por lo mismo esta no puede ser objeto de ningún acuerdo comercial, con gobierno, entidad multilateral o empresa privada nacional o extranjera.

Su gestión será exclusivamente pública o comunitaria, no se reconocerá ninguna forma de apropiación o de posesión individual o colectiva.

Art. 8.- Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. La Autoridad Única del Agua es responsable de la gestión integrada e integral de los recursos hídricos con un enfoque ecosistémico y por cuenca o sistemas de cuencas hidrográficas, la misma que se coordinará con los diferentes niveles de gobierno según sus ámbitos de competencia.

Se entiende por cuenca hidrográfica la unidad territorial delimitada por la línea divisoria de sus aguas que drenan superficialmente hacia un cauce común, incluyen en este espacio poblaciones, infraestructura, áreas de conservación, protección y zonas productivas.

Art. 12.- El Estado garantiza a los particulares el uso de las aguas, con la limitación necesaria para su eficiente aprovechamiento en favor de la producción.

Art.13.- Formas de Conservación y de Protección de Fuentes de Agua. Constituyen formas de conservación y protección de fuentes de agua: las servidumbres de uso público, zonas de protección hídrica y las zonas de restricción.

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

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

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

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

En la conservación del agua, la naturaleza tiene derecho a:

a) La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares.
b) El mantenimiento del caudal ecológico como garantía de preservación de los ecosistemas y la biodiversidad.
c) La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico.
d) La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación.

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico y que regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, especialmente en las fuentes y zonas de recarga. (Rivadeneira, 2014)

2.2. Recopilación de Información

Para la recopilación de información es necesario obtener datos a nivel topográfico, uso de suelo, edafológico, hidrométrico y climático (Arnold, *et al*., 1991).

En cuanto a cada uno de los parámetros se necesita conocer lo siguiente:

Topográfico: Características fisiológicas

Uso de suelo: Vegetación

Edafológica: Unidades de suelo, propiedades físico-químicas

Hidrométrica: Aforos de agua

Climática: Precipitación, radiación solar, temperaturas (años completos y serie histórica).

Para el procesamiento de información en ArcView se necesitará las características fisiológicas, vegetación, unidades de suelo y para la base de datos que alimenta el modelo SWAT se considerará propiedades físico-químicas, aforos de agua, años completos y serie histórica.

El modelo SWAT divide a una cuenca en subcuenca y cada una de estas se divide en una serie de unidades de respuesta hidrológica (URH), lo cual es bastante importante porque el modelo SWAT nos permite conocer el tipo de suelo y uso de la tierra en cada URH. De esta manera el modelo SWAT permite simular (caudales, aporte de sedimentos) en cada subcuenca (Ríos, et al., 2013).

2.3. Análisis Multitemporal

Este análisis permite que mediante datos e imágenes de distintas fechas se pueda comparar áreas, mediante la unión de bandas, que generalmente se descargan del GLCF o Earth Explorer y obtener una información conjunta, además permite determinar diferencias que existen entre ellas (Mehl & Peinado, 1997).

El satélite Landsat es el más empleado en aplicaciones agrícolas, forestales, uso del suelo, hidrología, recursos costeros y monitorización medioambiental. El satélite Landsat -7 tiene instalado el sensor ETM+ (Tematic Mapper +) y TM (Tematic Mapper), dichos sensores incluyen ocho bandas, la banda 1 visible azul, banda 2 visible verde, banda 3 visible rojo, banda 4 infrarrojo próximo, banda 5 infarrojo lejano, banda 6 térmico lejano, banda 7 térmico próximo, banda 8 visible. Para el análisis multitemporal se combinan las bandas de la imágen landsat -7 como se describe en el cuadro 2.1. Para el presente estudio se usó la combinación 4,3,2, falso color, pues se aprecia mejor la vegetación (Fernández, 2000).

Cuadro 2.1. Combinación de bandas

RGB	Interpretación
Falso color 4,3,2	Esta composición de bandas, muestra los bosques en rojo y las zonas cultivadas en distintos tonos de rojo y rosa. Las carreteras se ven como líneas de color rosa claro. Los lagos y el mar son de color azul oscuro.
Falso color 5,4,2	En esta imagen compuesta por las bandas 5, 4 y 2, los bosques aparecen en color verde, las zonas cultivadas en distintos tonos verde y las zonas edificadas en varios tonos grises y rosados. Además, se ven las carreteras como líneas oscuras. Los lagos aparecen en color negro.
Color natural 1,2,3	Las imágenes compuestas en color real o verdadero tienen un aspecto similar a lo que esperaríamos ver en una fotografía normal, ya que la combinación de colores se aproxima a la percepción del ojo humano. Las imágenes de color real tienden a presentar un bajo contraste y un aspecto algo borroso. Ello es debido a que la luz azul (Banda 1) es más sensible que las de otros anchos de banda al efecto de dispersión de la atmósfera.

Fuente: Fernández, 2000

Elaboración: La Autora

Se revisaron tres estudios sobre análisis multitemporal realizados en el Ecuador los cuales son:

1.- Estudio para el Análisis Multitemporal y Prospectivo del Uso del Suelo de la Provincia del Carchi, para los periodos 1987, 2009 y 2030 (Boada, et al., 2010).
2.- Estudio de Análisis Multitemporal en base a fotointerpretación de los movimientos de ladera en la ciudad de Loja (Gómez & Josuny, 2014).
3.- Estudio de variación de la Cobertura Vegetal y Estado Actual del Cerro Imbabura aplicando herramientas GIS con fines de declaración de área protegida en Ecuador (Aldás, 2013).

De los estudios mencionados se revisó la metodología y los resultados siendo así el estudio de variación de la Cobertura Vegetal y Estado Actual del Cerro Imbabura aplicando herramientas GIS con fines de declaración de área protegida en Ecuador (Aldás, 2013), el estudio que más se encaja a la presente investigación y con el cual se analizará en la discusión.

En un estudio de variación de la Cobertura Vegetal y Estado Actual del Cerro Imbabura aplicando herramientas GIS con fines de declaración de área protegida en

Ecuador (Aldás, 2013), se utilizó imágenes de los sensores HVR (ASTER) y ETM (LANDSAT) del servidor de la NASA (www.earthexplorer.org). Las imágenes ASTER y LANDSAT corresponden al path row 10 60, con fechas de toma LANDSAT (1991,1999) y ASTER (2007); se escogieron estas fechas de toma debido a la disponibilidad de imágenes para la cobertura del área de estudio, los resultados se muestran en el cuadro 2.2.

El cuadro 2.2 indica que las Coberturas Vegetales con un porcentaje respecto a la microcuenca tales como: Bosque tuvo un decrecimiento entre los años 1991 y 1999 de 51,29%, para el periodo 1999 y 2007 el bosque decreció en un 6,83%, el bosque plantado para el periodo 1991-1999 decreció en un 20,76% y para el periodo 1999-2007 aumentó en un 3,41%, el pajonal para el primer periodo decreció un 17,51%, para el segundo periodo redujo un 20,25%, todas estas coberturas disminuyeron a través de los años, debido al cambio de uso del suelo para la agricultura, ganadería, la Roca y Suelo Desnudo incrementó en el periodo 1999-2007 con 38,68%, Vegetación Arbustiva aumentó en el periodo segundo 1999-2007 con un porcentaje de 18,92%, y las Áreas Agropecuarias tuvo en el periodo 1991-1999 un incremento de 14,82%, en el segundo periodo el incremento fue de 0,63%, ya que los pobladores viven de la agricultura.

Cuadro 2.2. Variación de la Cobertura Vegetal 1991, 1999, 2007

Coberturas Vegetales	Clasificación_1991		Clasificación_1999		Clasificación_2007		1991-1999	1999-2007
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%		
Bosque	917,889	69,81	243,43	18,51	153,58	11,68	-51,29	-6,83
Bosque Plantado	59,702	46,04	32,78	25,28	37,20	28,69	-20,76	3,41
Pajonal	3133,24	51,75	2073,25	34,25	847,57	14,00	-17,51	-20,25
Roca y Suelo Desnudo	555,00	23,02	461,74	19,15	1394,37	57,83	-3,87	38,68
Vegetación Arbustiva	1076,33	24,19	1265,74	28,45	2107,71	47,37	4,26	18,92
Áreas Agropecuarias	2234,550	23,24	3659,620	38,06	3720,480	38,70	14,82	0,63
Cuerpo de Agua	1,044	33.33	1,044	33,33	1,044	33,33	0,00	0,00
Pajonal en regeneración	553,31	34,22	793,96	49,10	269,60	16,67	14,88	-32,43

Fuente: Aldás, 2013

2.4. Modelo SWAT

El modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) fue diseñado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en conjunto con la Universidad de Texas (Arnold, *et al*., 1998). Básicamente este modelo consiste en predecir cantidad de agua (caudal) y sedimentos.

Es un modelo de simulación continua que opera a paso de tiempo diario. Básicamente permite simular la producción de agua y sedimentos a escala de cuenca hídrica, así como el impacto que tienen las prácticas agronómicas en la calidad del agua, por el uso de pesticidas y fertilizantes. El modelo SWAT requiere información concreta acerca del clima, propiedades del suelo, topografía, cobertura vegetal, uso de la tierra y prácticas agrícolas que suceden en la cuenca. Los procesos físicos asociados con el movimiento del agua, de sedimentos, crecimiento del cultivo, son modelados con datos de entrada (Richardson, *et al*., 2008).

2.5. Calibración y Validación del Modelo SWAT

La calibración de este modelo se basa en obtener datos reales obtenidos en campo, éstos puedan ser comparados con los calculados en SWAT, en este estudio se usaron datos de la estación hidrométrica Bobo Planta Eléctrica Tulcán (Sorooshian, *et al*., 1998).

Es importante destacar que en la calibración del modelo SWAT se necesitará datos de entrada (parámetros climáticos como precipitación y temperatura) y datos de salida que se presentan como registros mensuales de caudal para la microcuenca. Estos valores son comparados con los datos observados en las estaciones de aforo y mediante ajustes sucesivos de un conjunto de parámetros que definen las características físicas y la dinámica de la cuenca se procede a la calibración (Brandizi & Labraga, 2000).

La calibración del modelo SWAT ayuda a minimizar los errores en la modelación. Una perspectiva sobre la calibración es que la calidad de los datos depende de la información acerca de los fundamentos de los parámetros, la presencia de errores de medición y registro de los mismos hace que la calidad se deteriore, reduciendo la confianza en las estimaciones de los parámetros. Los errores se dan debido a muchas razones entre las cuales están los errores de registro, mal funcionamiento de las máquinas, aproximaciones en curvas de calibración, cambios en el nivel del río, entonces para mejorar estos errores es necesario realizar una validación (Lamprea, 2011).

La validación del modelo consiste en medir su capacidad predictiva mediante la comparación de los escurrimientos calculados y los observados con los parámetros determinados en la fase de calibración, pero en un período diferente. El ajuste entre escurrimientos observados y calculados obtenido en la calibración, pero es más representativo de la exactitud de las predicciones que se hagan con el modelo (Palacios, 1986).

En el estudio de Aplicación del Modelo SWAT en la Subcuenca del río Ambato con un periodo de años de 1985 - 2004 (Proaño, 2006) para la calibración del modelo usaron datos de caudales que fueron proporcionados por la Agencia de Aguas de Tungurahua y que corresponden a la estación hidrométrica Ambato H-801 localizada en Ambato con información que va desde 1967 a 1989. Este punto de aforo permitió dividir a la Subcuenca en dos microcuencas, facilitando de esta manera la comparación de los datos reales de esta estación con los simulados por el SWAT.

En este proceso, primero se cambiaron las variables CN2, AWC, ESCO, sin embargo al no obtener los resultados esperados, se modificaron aquellas que corresponden a los parámetros de la nieve – Snow Melt Parameters:

- SON_HRU: Inicial Snow Water Content (mm H20)
- SLSUBBSN: Average Slope Length (m)

- Rainfall adjustment
- Humidity adjustment
- Elevation at the center of the elevation band (m)
- Fraction of subbasin area within the elevation band
- Initial snow water content in elevation band (mm)

Estas variables permitieron calibrar los datos y se observa la curva que se presenta en la figura 2.1.

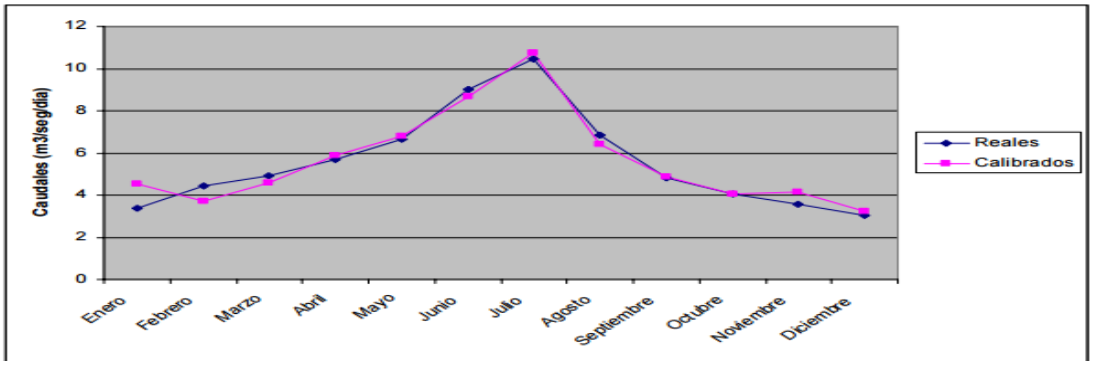


Figura 2.1. Caudal Real – Caudal Calibrado para el periodo 1985- 2004

Fuente: Proaño, 2006

Otro Estudio de Evaluación de Recurso Hídrico Superficial y Subterráneo del Cantón Tulcán (Burbano, et, al., 2003) se tomó en cuenta el río Chico, Grande y Bobo, realizando un aforo en Arroyo San Miguel de Car, cuya fecha fue el 11-07-2003.

La información hidrometeorológica fue 1965-1993, la misma que fue analizada, validada y rellenada, se hizo un análisis de correlación con un rango de (0.7-0.8) la cual es aceptable dando confiabilidad a los resultados, estableciendo un periodo de 1965-1993. Para el río Bobo se uso información de caudales diarios de las estaciones hidrométricas Chico A.J. Carchi y Bobo en Pta. Eléctrica Tulcán del periodo 1965-1970, en cuanto a la información meteorológica se contó con información de Tulcán-Aeropuerto (1930-1986) precipitación, temperatura, velocidad del viento y humedad relativa, Chalpatán (1985-1993) precipitación y, Tufiño (1976-1990) precipitación.

El modelo utilizado es el WATBAL (Water Balance), el cual es un modelo Lumped, recomendado como parte de la metodología de IPCC (International Panel of Climate Change), a seguirse para el análisis del impacto del Cambio Climático sobre el escurrimiento superficial de los ríos. Este modelo permitió obtener el caudal modelado a través de datos de precipitación, temperatura y caudales observados en la cuenca. El caudal anual para el río Bobo es de 1,45 m^3/s.

2.6. Ciclo del Agua

El ciclo del agua es un proceso que tiene varias etapas. En primera instancia el agua se evapora del océano a la atmósfera, el viento lleva el vapor de agua por la tierra donde se condensa para formar nubes, la precipitación ocurre cuando el agua cae sobre la tierra, fluye sobre y debajo de la tierra de regreso al océano, esto completa el ciclo del agua (Valencia & Zarate, 2012). En este sentido, el ciclo del agua no es más que el movimiento del agua dentro de la biósfera, con un desplazamiento continuo desde la atmósfera hacia la tierra y mares, gracias a esto se permite el moldeamiento del agua a través de procesos hidromorfodinámicos, consiguiendo que en la totalidad de ecosistemas tanto ecológicos como terrestres se produzcan procesos biológicos productivos (Andrade & Navarrete, 2004). Los componentes del ciclo del agua son: Precipitación, Evapotranspiración, Infiltración, Escorrentía, como se muestran en la figura 2.2.

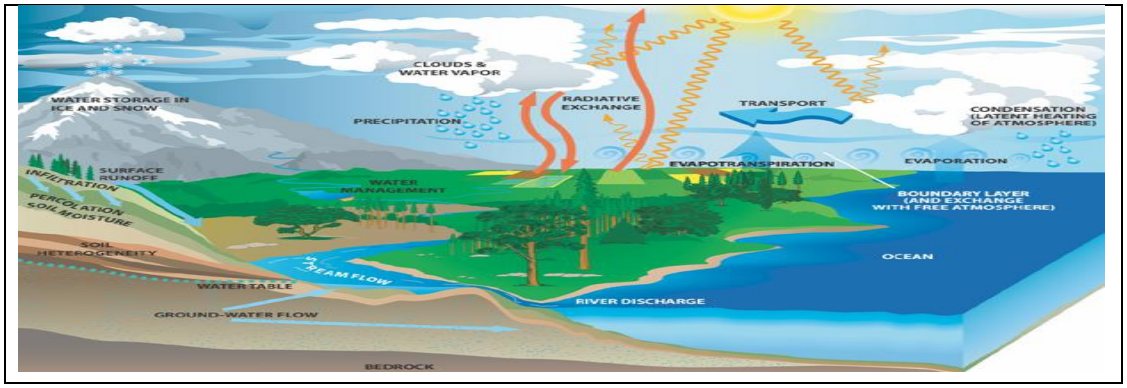


Figura 2.2. Ciclo del Agua

Fuente: Andrade & Navarrete, 2004

2.6.1. Precipitación

La teoría más sobresaliente es la Bergeron, en la cual se fundamenta que la humedad relativa del aire es mayor en relación a una superficie de hielo que con respecto a una superficie de agua. Asevera además que en la parte superior de toda nube la temperatura está por debajo de los cero grados, además si el recorrido desde la nube hacia el suelo no supera los 0 °C la precipitación es en forma de nieve (Rivas, 2001).

Para la formación de la precipitación es necesaria la elevación de una masa de agua a la atmósfera y esto se consigue mediante mecanismos, entre los cuales están:

Elevación frontal: el aire caliente es elevado sobre el aire frío por un pasaje frontal.

Elevación orográfica: una masa de aire se eleva producida por las barreras montañosas.

Elevación convectiva: levantamiento de masa de aire más ligero y cálido al encontrarse a su alrededor las masas de aire densas y frías.

A continuación se muestran los tipos de precipitación (figura 2.3).

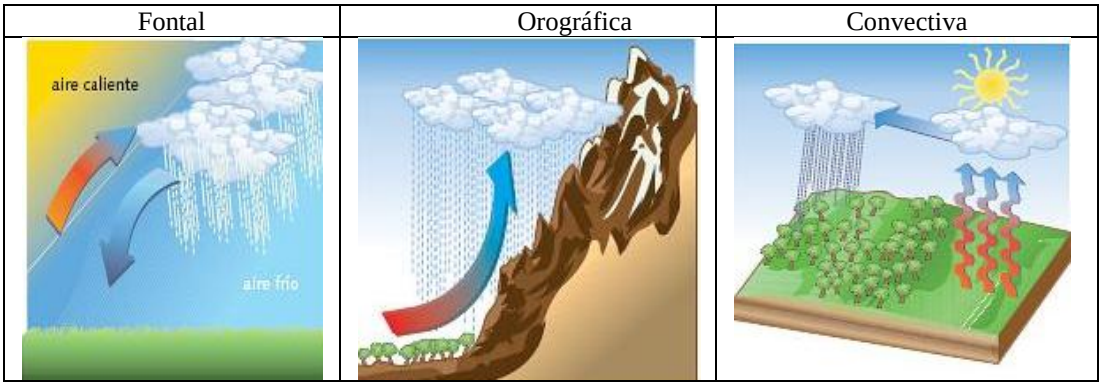


Figura 2.3. Tipos de Precipitación

Fuente: Rivas, 2001

El modelo de precipitación del SWAT es un modelo de cadena de Markov de primer orden, por lo tanto las entradas al modelo deben incluir las probabilidades mensuales de recibir precipitación, si el día anterior fue seco o húmedo. Dada la relación húmedo-seco el modelo determina causalmente si ocurre o no precipitación. Cuando un evento de precipitación ocurre, la lámina se calcula a partir de la generación de una distribución de la precipitación diaria (Nicks, 1974).

2.6.2. Evapotranspiración

La evapotranspiración depende de las características climáticas, la transpiración (coberturas o especies vegetales) y la disponibilidad hídrica (Belmote - Romero, 2006). La evapotranspiración es un término colectivo para todos los procesos en el que el agua en fase líquida, sólida o seca de la superficie terrestre se convierte en vapor atmosférico. Esta incluye la evaporación de ríos y lagos, suelo descubierto, y superficies de hielo y nieve. El modelo SWAT calcula la evaporación de suelos y plantas separadamente. La evaporación verdadera del agua en el suelo se estima utilizando funciones exponenciales de profundidad de suelo y contenido de agua (Ritchie, 1972). En la figura 2.4 se muestra el proceso del ciclo del agua (evapotranspiración).

Figura 2.4. Evapotranspiración

Fuente: Ritchie, 1972

2.6.3. Infiltración

La infiltración se refiere a la entrada de agua en un perfil de suelo de la superficie terrestre. Cuando la infiltración continúa, la tierra llega a ser cada vez más húmeda, causando que el promedio de infiltración disminuya con el tiempo hasta que alcance un valor constante. La tasa inicial de infiltración depende del contenido de humedad de la tierra antes de la introducción de agua en la superficie terrestre. La tasa final de infiltración equivale a la conductividad hidraúlica saturada de la tierra. La cantidad de agua que entra en la tierra se calcula como la diferencia entre la cantidad de lluvia y la cantidad de escorrentía de superficie (Arnold, *et al*., 2010). En la figura 2.5 se puede visualizar el proceso de infiltración.

Los factores que inciden en la infiltración son diversos entre los cuales están la humedad del suelo (cuando un suelo se encuentra seco la capacidad de infiltración es mayor), permeabilidad del suelo (depende del tamaño y distribución de los granos en el suelo), temperatura del suelo y condiciones externas (compactación del suelo por animales) (Pérez, 2007).

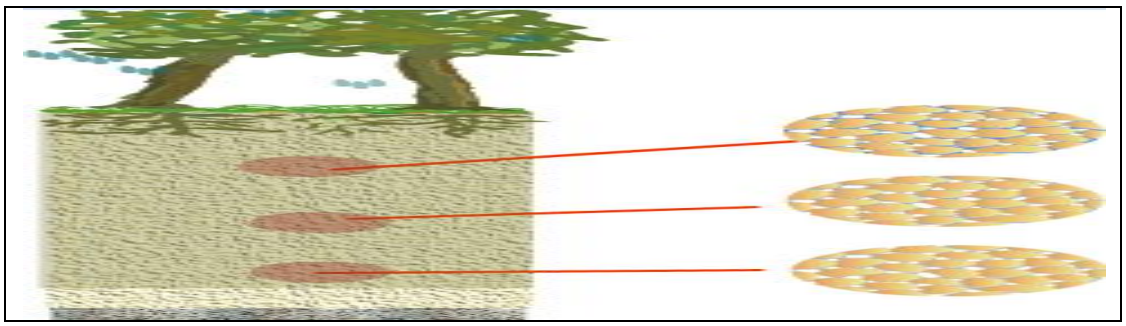


Figura 2.5. Infiltración de Agua en el Suelo
Fuente: Pérez, 2007

2.6.4. Escorrentía

El escurrimiento superficial es la porción de la lluvia que fluye sobre el suelo en zonas de ladera o de pendiente. La escorrentía se origina de dos formas: por las

lluvias de baja intensidad y larga duración que saturan el suelo y en consecuencia, el agua al no poder infiltrarse en el suelo fluye por la superficie pendiente a bajo por el camino de menor resistencia; o por las lluvias de alta intensidad que sobrepasan la capacidad de infiltración del suelo por ende se desliza superficialmente el agua de exceso (Proaño, et al., 2006). En la figura 2.6 se observa el proceso del escurrimiento superficial.

Figura 2.6. Escorrentía Superficial
Fuente: Proaño, et al., 2006

2.6.5. Relación Lluvia-Escorrentía

La escorrentía superficial es el resultado de la existencia de una mayor precipitación y una menor infiltración. Es el agua que no se infiltra, que se desliza por la superficie del terreno, gracias a la gravedad (Martínez & Navarro, 1996). Cuando el agua alcanza la red de drenaje se conoce como caudal, el cual tiene volumen, y el registro continuo del caudal se llama hidrograma, el cual es el conjunto de características fisiográficas y climáticas que inciden en las relaciones entre lluvia y escorrentía de una cuenca.

2.7. Arrastre de Sedimentos

Las fuentes de sedimentos principales son el suelo y rocas, los agentes de erosión y transporte son el agua y el viento. Existe también las fuentes naturales (erosión de la superficie del terreno, erosión del cauce principal, deslizamientos naturales del

terreno) y artificiales (destrucción de la vegetación, explotación de minas, desechos urbanos e industriales) (Linsley, *et al*., 1982).

Cuando el sedimento es transportado por el flujo se distinguen dos grupos de sedimentos como son:

- Sedimento de lavado: partículas muy finas como limos y arcillas que el agua transporta en suspensión.
- Sedimento de fondo: partículas mayores a 0.062mm y pueden ir dentro de la capa de fondo (arrastre) o en suspensión (según Einstein la capa de fondo es aquella cuya altura es igual a dos veces el diámetro de la partícula).

La mayoría de los modelos para estimar los sedimentos en suspensión relacionan la carga de sedimentos con el caudal líquido y en muchos casos usan modelos de correlación; utilizan como hipótesis la relación potencial simple que existe entre el caudal líquido, Q, y la descarga de sedimentos, Qs ($Qs = aQ^b$). Esta ecuación es comúnmente llamada curva de calibración del sedimento o curva del transporte sólido, estas relaciones para obtener la carga de sedimentos en suspensión. Ellos han encontrado que el exponente varía entre 1,8 y 2,5. El promedio de sólidos disueltos totales para los ríos de todo el mundo ha sido estimado en alrededor de 120 ppm (Livingston, 1963).

En el estudio de modelamiento de la microcuenca del río Illangama con la utilización del modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool "SWAT", Provincia de Bolívar, Ecuador (Cacoango, 2014) se muestra la producción de sedimentos, los mismos que no pudieron ser calibrados debido a que no existe información real de sedimentos en la microcuenca. Sin embargo, conociendo que éstos dependen de los caudales es posible afirmar que los datos simulados serán confiables considerando que los caudales del modelo han sido calibrados adecuadamente, la producción de sedimentos para el uso actual 2014 fue de (8255,33 $t.km^{-2}.año^{-1}$), para el escenario 1 en donde las coberturas vegetales fueron cambiadas incrementando el pastizal y

reduciendo páramo la producción de sedimentos fue de (8310,39 t.km-^{2}.año^{-1}), se evidencia un aumento en la producción de sedimentos siendo este de 55,06 t.km-^{2}.año$^{-1,}$ debido a que los pastizales cultivados y la vegetación arbustiva en la que se incluye el bosque natural son el tipo de uso de suelo que evitan en gran manera la pérdida de suelo por erosión hídrica, porque cubren la mayor superficie de suelo y las partes de suelo desnudo o descubierto son muy pocas, la vegetación arbustiva y el páramo funciona como el almacén de agua para las partes bajas de las cuencas hidrográficas, el tipo de vegetación que se encuentra ahí tiene esa función. Los pastizales cultivados ingresan como áreas poco erosionadas porque se emplean para su producción medidas de conservación como zanjas de infiltración y se las práctica en pendientes menores al 20%. Sin embargo, ya que en la microcuenca del río Illangama se tienen pendientes fuertes y abruptas, con ocupación de 30,33% y 28,49% respectivamente, los pastizales ayudan a disminuir la producción de sedimentos, siempre y cuando éstos no se vean afectados por el pastoreo.

2.8. Aplicación del Modelo SWAT

- Al aplicar el modelo SWAT en la microcuenca del río Ambato se concluyó que la microcuenca presenta poca producción de sedimentos, cuyo promedio se localiza en la categoría de Erosión Muy Baja (CIDIAT, 1995). Esto se debe a que la microcuenca presenta grandes extensiones de páramos que actualmente se encuentran bien conservados. Sin embargo, no se debe olvidar que estos valores no pudieron ser calibrados y que por lo tanto sólo constituyen un referente de la situación actual de la microcuenca (Cisneros, et al., 2006).

- El estudio realizado mediante la Aplicación del Modelo Hídrico SWAT 99.2 para el análisis del impacto de la deforestación y del avance de la frontera agrícola en la producción y almacenamiento del recurso agua en las partes alta y media de la Subcuenca del Río San Pedro" en Quito (Valenzuela, 2005) fue realizado en varias condiciones de uso de suelo, en la primera se ingresó el mapa de cobertura vegetal y

uso de suelo de 1956 y en la segunda se ingresó del 2000, posteriormente se diseñaron tres escenarios, en el primero dentro del mapa actual se eliminó toda la cobertura vegetal existente, reemplazándose por cultivo de papa o pasto, en el segundo es una proyección de 40 años de cómo se encontraría el uso del suelo y cobertura vegetal, el tercero es un escenario futuro en el cuál el páramo a decrecido levemente y se ha reforestado. En este estudio se realizaron cinco simulaciones, pero cabe recalcar que la calibración solo se la hizo para un escenario actual debido a la disponibilidad de información, en el cuadro 2.3 se observa los datos de caudales para el año 1956, 2000, y los tres escenarios.

Los caudales aumentaron en el escenario 1 con respecto a los otros escenarios teniendo un caudal anual de 5,08 m^3/s, debido a que en este escenario se reemplazo toda la cobertura vegetal existente por cultivo de papa y pasto, lo cual significa que hubo mayor erosión en el suelo, menor infiltración y mayor escorrentía.

Cuadro 2.3. Datos de Caudales Mensuales para el Escenario 3, Escenario 2, Escenario1, 1956 y 2000

Mes	Año 1956 (m^3/s)	Año 2000 (m^3/s)	Escenario 1 (m^3/s)	Escenario 2 (m^3/s)	Escenario 3 (m^3/s)
Enero	3,16	3,53	4,21	3,88	3,58
Febrero	4,72	5,39	6,27	5,85	5,38
Marzo	7,24	7,96	9,14	8,53	8,10
Abril	7,25	7,98	9,05	8,55	8,23
Mayo	5,82	6,43	7,25	6,87	6,65
Junio	3,35	3,76	4,25	4,01	3,91
Julio	2,20	2,36	2,60	2,47	2,33
Agosto	1,70	1,80	1,99	1,90	1,96
Septiembre	2,19	2,41	2,81	2,62	2,54
Octubre	2,58	2,96	3,63	3,30	3,05
Noviembre	3,97	4,34	5,09	4,71	4,39
Diciembre	3,58	3,95	4,69	4,34	4,04
Promedio	3,98	4,41	5,08	4,75	4,51

Fuente: Valenzuela, 2005

2.9. Incidencia de la Cobertura Vegetal en el Caudal a Corto Plazo

En un estudio realizado en Chile sobre los efectos de corto plazo de la restauración ecológica de bosques nativos en la provisión de los servicios ecosistémicos “cantidad

y calidad" de agua, en cuencas forestales (Acuña, 2012), menciona que la rápida conversión y la degradación de los bosques nativos ha provocado una serie de alteraciones en el balance hídrico en general y sustantivas modificaciones en los patrones hidrológicos en pequeñas y en grandes cuencas hidrográficas. Se estableció que una mayor proporción de bosques nativos que plantaciones forestales de rápido crecimiento, producen más agua en el año, especialmente en la estación de verano cuando existe mayor demanda por este recurso. Junto con esto, las actividades forestales provocan alteraciones que modifican la calidad de agua de los ríos y arroyos, como por ejemplo el aumento del arrastre de sedimentos, modificando la descarga y exportación de nutrientes.

2.10. Propuesta de Manejo del Recurso Hídrico

En la propuesta de manejo se pretende incluir lineamientos que ayuden a conservar la microcuenca. Por lo tanto, la propuesta de manejo es un conjunto de esfuerzos tendientes a identificar y aplicar opciones técnicas, socioeconómicas y legales, que establecen una solución a la problemática causada por el deterioro y mal uso de los recursos naturales, para lograr un mejor desarrollo de la sociedad humana insertada en ella y de la calidad de vida de su población.

En el estudio "Propuesta de Plan de Manejo del Recurso Hídrico en la Microcuenca del río Illangama, Subcuenca del río Chimbo, Provincia de Bolívar" (Narváez & Jácome, 2012), se incrementaron algunos programas para el manejo del recurso hídrico, dichos programas y sub programas serán un ordenamiento lógico de ideas que van enfocadas a mejorar la calidad de vida, como por ejemplo son las actividades realizadas en esta área: agrícola-ganadera, socio-cultural, y la conservación y protección de los recursos hídricos.

- Programa I. Programas de Conservación de los Recursos Hídricos
- Programa II. Educación Ambiental
- Programa III. Fortalecimiento de Organizaciones Locales

- Programa de Monitoreo

Cada programa se conformó de una justificación, objetivo general, objetivos específicos, resultados esperados y actividades para cada resultado. Finalmente se añadió una matriz de Seguimiento y Control de Programas y Proyectos que se observa en el cuadro 2.4.

Cuadro 2.4. Matriz de Seguimiento y Control de Programas y Proyectos

PROGRAMAS	ACTIVIDADES	RESPONSABLES
PROGRAMA DE CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS	Resultado a. Comunidades cuidadosas e influenciadas para la conservación del recurso hídrico.	SENAGUA Ministerio del Ambiente INIAP-Bolívar GAD´s MAGAP-Bolívar Gobierno Provincial Consultor Contratado
	Resultado b. Mejorar el uso y distribución del agua.	
	Resultado c. Control del uso de agroquímicos y evitar el drenaje directo a las vertientes o ríos de la microcuenca.	
	Resultado d. Manejo y disposición de residuos orgánicos.	
PROGRAMA DE EDUCACIÓN AMBIENTAL	Resultado a. Orientar y capacitar a los maestros con orientación en educación ambiental.	Ministerio del Ambiente Ministerio de Educación Junta Parroquial Presidente de las Comunidades GAD´s
	Resultado b. Involucrar a niños, niñas y adolescentes, motivados en temas de educación ambiental.	
	Resultado c. Formar clubes ecológicos con niños, niñas y jóvenes, orientado sus actividades hacia la protección y conservación de la naturaleza.	
PROGRAMA DE FORTALECIMIENTO DE ORGANIZACIONES LOCALES	Resultado a. Organizaciones consolidadas, reforzadas y comprometidas en el apoyo al desarrollo sustentable en beneficio de la comunidad.	Organizaciones Sociales Junta Parroquial Presidente de las Comunidades GAD´s
	Resultado b. Presidentes de juntas rurales o líderes capacitados en proyectos de gestión ambiental.	
PROGRAMA DE MONITOREO	Resultado a. Examinar las actividades de los proyectos propuestos de manera ya que en conjunto mitigan los impactos ambientales.	Junta Parroquial Ministerio del Ambiente Consultor Contratado INIAP- Bolívar SENAGUA GAD´s
	Resultado b. El monitoreo del plan de manejo ambiental debe ser realizado por personas desinteresadas, presidentes de las comunidades o delegados de las directivas, para que establezcan realmente los cambios dentro de la microcuenca.	

Fuente: Narváez & Jácome, 2012

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El capítulo indica los materiales con los que se trabajó tanto en campo como en laboratorio para la investigación, desde el reconocimiento del área de estudio, la realización de aforos para medición de caudales, pruebas de infiltración en diferentes tipos de suelos de la microcuenca del río Bobo.

3.1. Materiales y Equipos

Los materiales y equipos que se utilizaron permitieron realizar el trabajo de campo para la toma de datos hidrológicos y posteriormente procesarlos mediante el modelo SWAT, como se observa en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Materiales y Equipos

Materiales	**Equipos**	**Recurso Humano**
Imágenes satelitales del Global Land Cover Facility Cartas topográficas analógicas y digitales a escala 1:50.000 Cuerda de nylon de 20 metros Flotadores de material Espuma flex Botas de caucho Libretas de campo	Cámara fotográfica digital GPS Garmín Molinete electrónico Global Water 800-876-1172, Modelo: FP11 Flexómetro de 30 metros Vehículo 4x4 Computador (Software SWAT) Impresora Plotter Infiltrómetro	Tesista Director Asesores

Elaboración: La Autora

Fuente: Trabajo de campo, 2015

3.2. Delimitación y Localización del Área de Estudio

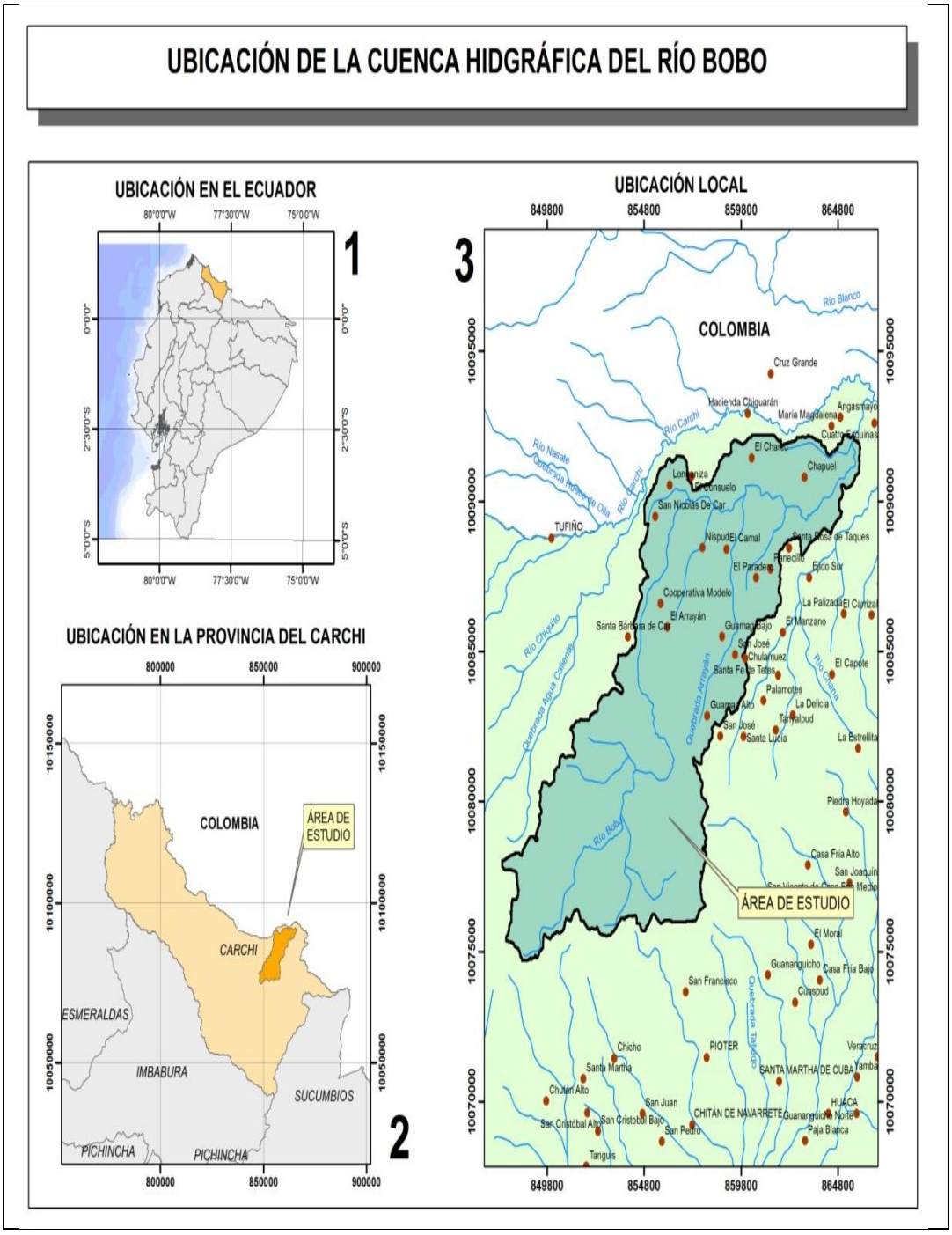


Figura 3.1. Mapa de Ubicación de la Microcuenca del Río Bobo

Elaboración: La Autora

La delimitación de la microcuenca del río Bobo se realizó mediante la herramienta SWAT. El área de estudio se localiza entre las parroquias de Tulcán, Tufiño, que pertenecen al cantón Tulcán, y las parroquias de San Gabriel, Chitan de Navarrete que pertenecen al cantón Montúfar de la provincia del Carchi. Tiene una superficie de 13068,72 hectáreas, altitudinalmente se ubica en el rango de 2880 a 3500 msnm. El mapa de ubicación de la microcuenca se observa en la figura 3.1, el mapa base se presenta en el Anexo 1, Mapa 1.

Las coordenadas UTM de los puntos extremos se presentan en el cuadro 3.2.

Cuadro 3.2. Coordenadas de Ubicación de la Microcuenca del Río Bobo

PUNTO	COORDENADA X	COORDENADA Y	ALTITUD
Norte	866411	10093650	2880
Sur	849883	10074285	3880
Este	860151	10083937	3200
Oeste	851239	10082611	3500

Elaboración: La Autora

3.3. Metodología

La metodología para el presente estudio incluyó la caracterización biofísica para conocer principalmente el tipo de suelo, pendientes, cobertura vegetal y clima, también la geología, uso potencial del suelo, zonas de vida, además se realizó, a) análisis multitemporal, b) Aplicación del modelo SWAT, todas estas características se emplearon para estimar los caudales y sedimentos que existen en la microcuenca del río Bobo y posteriormente realizar una propuesta de manejo del recurso hídrico.

3.3.1. Caracterización Biofísica del Área de Estudio

En la caracterización se conocieron datos importantes tales como el tipo de suelo, uso de suelo, cobertura vegetal y tipo de clima. La caracterización Biofísica se basó en levantamiento de información tanto en campo mediante observaciones y la interpretación de la cartografía temática a escala 1:50.000 en el laboratorio de

Geomática; la cartografía temática de cobertura vegetal, tipo de suelo y pendientes del terreno fue empleada para ingresar a la base de datos que requiere el modelo SWAT. Se realizaron trabajos de campo para levantar información sobre tipo, textura del suelo. Estos datos fueron recopilados en el área de estudio comparando con la cartografía temática a escala 1:50.000. El uso del suelo y las formaciones vegetales fueron comparados empleando las ortofotos del proyecto SIGTIERRAS.

- **Medio Físico**

Para el medio físico se caracterizaron aspectos como el clima, haciendo uso de la clasificación climática (Pourrut, 1995), mientras que los tipos de suelo y las formaciones geológicas fueron descritas empleando la información (MAGAP, 2003) y el Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico del Ecuador (INIGMME, 2003**)** respectivamente. El relieve de la microcuenca fue caracterizado mediante la descripción de los tipos de pendiente agrupados en 6 rangos, que van del relieve plano al relieve escarpado, empleando la metodología (CIDIAT, 1995).

- **Medio Biótico**

En el medio biótico se describieron las Zonas de Vida según la clasificación (Holdrige, 1987) y el Uso del Suelo de acuerdo a la clasificación (MAGAP, 2003), realizándose comprobaciones de formaciones vegetales y uso del suelo, la flora y fauna mediante observaciones directas en campo.

- **Medio Socioeconómico**

En el componente socioeconómico se describieron las actividades económicas de los pobladores de la cuenca hidrográfica, en base a la información del Censo Nacional de Población y Vivienda (INEC, 2010). La descripción de las actividades económicas fueron importantes para conocer el uso del suelo y la incidencia en el aporte de sedimentos en el río Bobo, especialmente en los sitios de captación para las centrales hidroeléctricas La Playa y San Miguel de Car.

3.3.2. Análisis Multitemporal

En la figura 3.2 se indica la metodología que se empleó en el análisis multitemporal para la generación de la cobertura vegetal de los años 2002, 2015, 2020; se consideraron algunos aspectos que se detallan a continuación: para la cobertura vegetal 2002 se usaron imágenes Landsat, para la cobertura vegetal 2015 se usó el shapefile (MAGAP, 2003), para la cobertura 2020 se la hizo con algebra de mapas, en la cual se aplicó la herramienta raster calculator para sobreponer el mapa 2002, 2015, en el cual el criterio principal fue el predominio de las actividades antrópicas como cultivos y pastizal (Ponce, 2015); una vez generadas las coberturas de vegetación se procedió a comparar las áreas. Para los escenarios generados por SWAT, se usó las coberturas 2002 (pasado), 2015 (actual) y 2020 (futura).

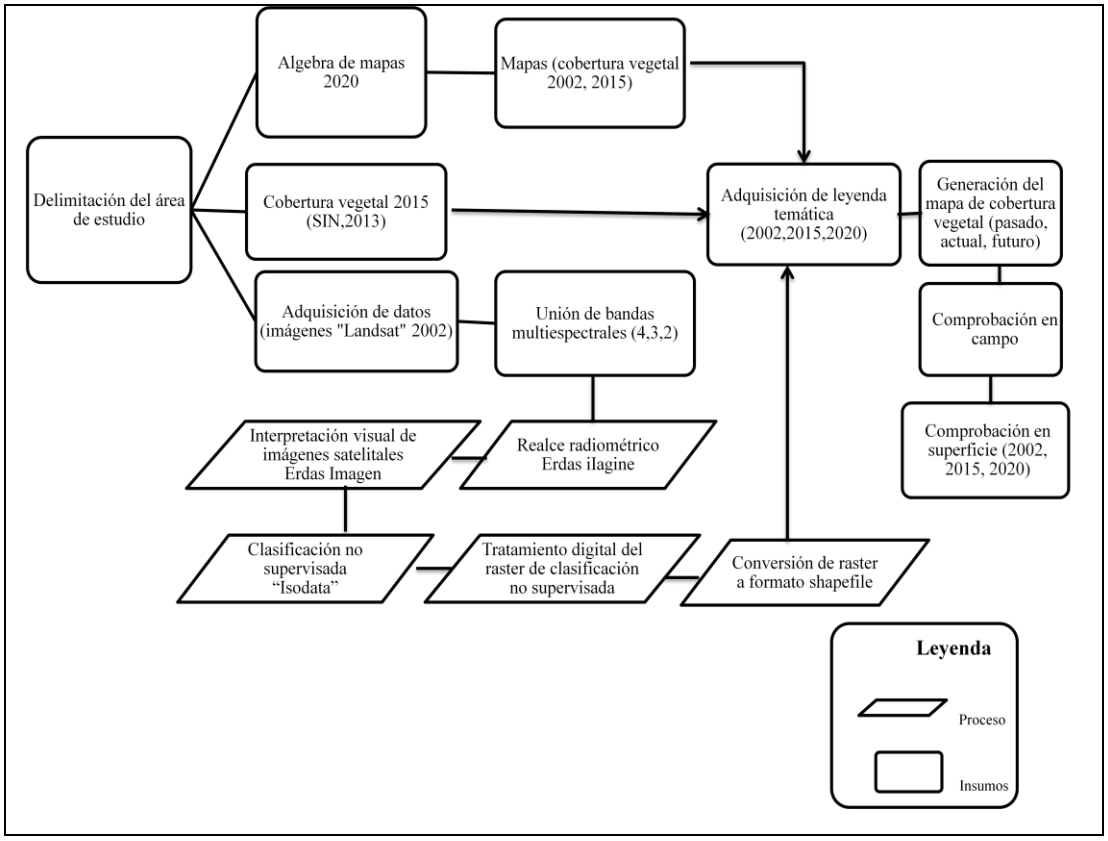


Figura 3.2. Metodología Análisis Multitemporal

Elaboración: La Autora

a) Delimitación del Área de Estudio (2002, 2015, 2020)

Se especificó la ubicación del área de estudio mediante la carta topográfica del IGM digital del año 2013 a escala 1:50.000, estableciendo los límites de la parte alta, media y baja de la microcuenca del río Bobo, tomando en cuenta la divisoria de aguas y la topografía.

b) Adquisición de datos (2002, 2015, 2020)

-Año 2002: se seleccionaron las imágenes satelitales de los satélites Landsat 5 y 7, sensores TM y ETM+ respectivamente (resolución espacial 30x30m-pixel) debido a la disposición de información para el estudio, dicha imágen se descargó del servidor GLCF-ESDI de la Universidad de Maryland y Earth Explorer de la NASA.

-Año 2015: se usó el shapefile del SIN, 2013.

-Año 2020: se realizó algebra de mapas sobreponiendo las Coberturas Vegetales: 2002, 2015, mediante el operador lógico suma de shapefile en el software ArcGis 10.2 se procedió a combinar dichas coberturas (Ponce, 2015). Con un periodo total de 18 años, un tiempo estimado para determinar los cambios en la cobertura vegetal.

c) Unión de Bandas Multiespectrales (2002)

Se procedió a unir las 7 bandas multiespectrales de los sensores TM y ETM+ mediante la opción Layer Stack de Erdas, ordenando de menor a mayor la secuencia de bandas multiespectrales para obtener una imagen en falso color en combinación RGB 4,3,2; debido a que en esta combinación se obtiene mayor reflectancia de la vegetación en el infrarrojo, luego para la identificación de la cobertura vegetal se uso la combinación 1, 2, 3 color verdadero.

d) Realce Radiométrico (2002)

Se realizó una corrección geométrica debido a que las imágenes del sensor TM carecen de referencia geográfica mediante la herramienta Geometric Calibration, de

esta manera se corrigió geométricamente la posición de las celdas y atribuyéndoles coordenadas en el sistema de referencia WGS 84 (Pinilla, 1995).

Mediante el software Erdas versión 2014, se procedió a la corrección radiométrica con las herramientas "Haze" que realiza el realce radiométrico para eliminar efectos atmosféricos, nubosidad, vapores, y partículas; y la herramienta "Noise" que permite eliminar humo y vapores de agua.

e) Clasificación no Supervisada (2002)

Mediante este método se define las firmas espectrales presentes en la imagen, esto implica que los números digitales de la imagen forman una serie de clusters de pixeles con similares características. De acuerdo a esto, el software localiza arbitrariamente vectores principales y los puntos medios de los grupos. Esta clasificación se la hizo a la imagen del año 2002 (Bakker & Jansen, 2001).

f) Comprobación en Campo

Luego de la generación del raster de la clasificación no supervisada, se convierte el raster a formato shapefile "shp" con las características de la cobertura vegetal (tipos de cobertura) para su respectiva leyenda temática para la generación de los mapas de cobertura vegetal.

g) Comparación en superficie (2002, 2015, 2020)

Una vez generados los mapas se compararon las áreas en hectáreas de los años 2002, 2015, 2020 para analizar el cambio de la cobertura vegetal a través del tiempo, comparándose las áreas de bosque nativo, páramo, vegetación arbustiva, pastizal, cultivos, área poblada, para cada cobertura vegetal se calculó el área con respecto al área total de la microcuenca del río Bobo.

En el análisis multitemporal se calculó la tasa de deforestación anual mediante la fórmula de (Puyravaud, 2003).

$$R = \frac{A_1 - A_2}{t_2 - t_1}$$

Dónde: R= Tasa de deforestación por año
t1: Año de inicio del periodo; t2: Año final del periodo
A1: Superficie de cobertura al inicio del periodo; A2: Superficie de cobertura al final del periodo

3.3.3. Aplicación del modelo SWAT (2002, 2015, 2020)

La metodología que se empleó para la Aplicación del modelo SWAT consistió en: a) recopilar información cartográfica base como es de cobertura vegetal (2002, 2015, 2020), tipo de suelo, clima; b) estructurar y sistematizar la cartografía temática para el modelo, la cual consiste en cambiar a los códigos que requiere la base de datos del SWAT c) ingresar la información a la base de datos del SWAT, una vez realizado este procedimiento se procede a la simulación, posteriormente la calibración y validación con los datos de campo, como se detalla en la figura 3.3.

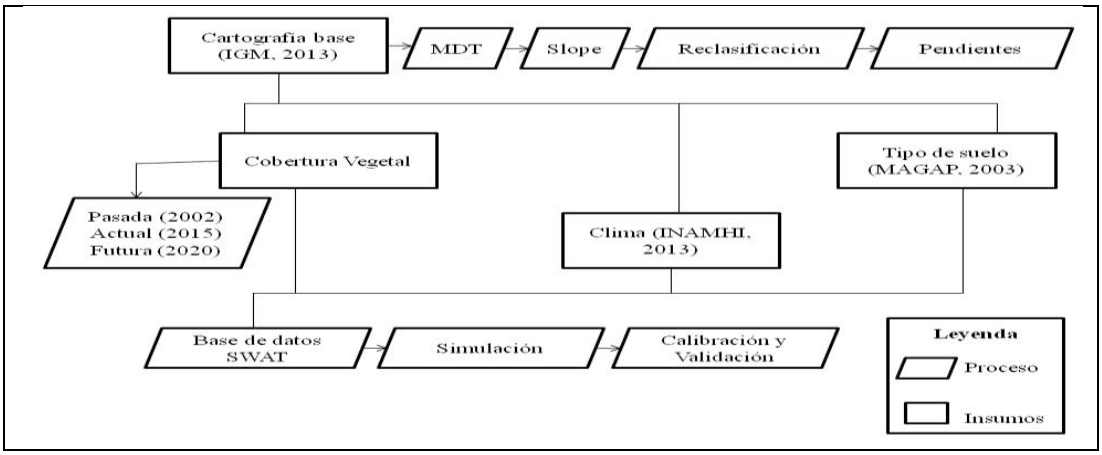


Figura 3.3. Metodología para la Aplicación del modelo SWAT

Elaboración: La Autora

a) Estructuración y Sistematización de Cartografía Temática para el modelo SWAT

Esta parte del trabajo permitió editar la base de datos del modelo SWAT, tomando en cuenta la cobertura vegetal, tipos de suelo y variables del clima, que posteriormente se emplearon en la simulación de caudales y aporte de sedimentos.

- **Cobertura Vegetal**

La información de cobertura vegetal se reclasificó de acuerdo a los parámetros del SWAT para generar una base de datos que sea compatible con las entradas del modelo. En el cuadro 3.3 se indican los valores reclasificados.

Cuadro 3.3. Cobertura Vegetal para SWAT

Cobertura Vegetal	Land cover	Código SWAT
Bosque	Forest evergreen	FRSE
Páramo	Range brush	RNGB
Vegetación Arbustiva	Forest mixed	FRST
Pastizal	Pasture	PAST
Cultivos	Agricultural land row crops	AGRR
Área Poblada	Urban	URBN

Elaboración: La Autora

Mediante el modelo SWAT se realizaron modelos de predicción de caudales y aporte de sedimentos en función de eventos de lluvia, condiciones actuales y futuras cobertura vegetal.

- **Tipos de Suelo**

Las coberturas digitales para los tipos de suelo se obtuvieron del Geoportal (MAGAP, 2003), en el área de estudio de la microcuenca del río Bobo se identificaron los órdenes Histosol, Inceptisol y Molisol, una vez identificados los órdenes se usó el programa Soil Water Characteristics, que se muestra en la figura 3.4, en el cual se identificó el SOL-BD es la densidad aparente del suelo (matrict BULK), SOL-AWC es el contenido de agua disponible para las capas de los suelos (Field capacity – wilting point/100), SOL-K es la conductividad hidraúlica saturada

(mm*h^{-1}), relaciona la proporción del flujo de agua (densidad del fluido) y el gradiente hidráulico. (sat. Hidraulic cand), SOL-CBN contenido de carbono orgánico (% del peso del suelo) en el suelo (fórmula de la materia orgánica), (Arnold, *et al.*, 2010).

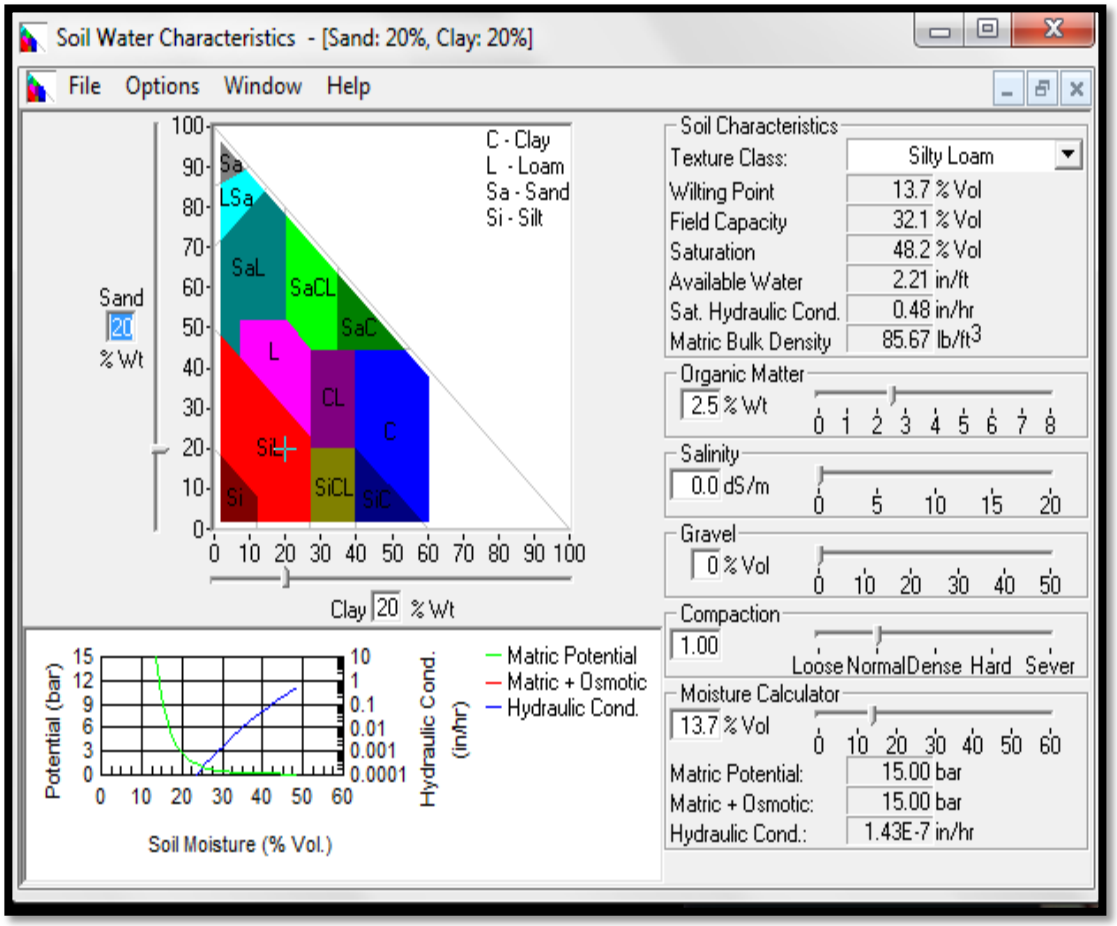


Figura 3.4. Ingreso de datos Progama Soil Water Characteristics

Elaboración: La Autora

Fuente: Arnold, *et al.*, 2010

- **Pendientes del Terreno**

Se elaboró el mapa de pendientes del terreno empleando metodología (CIDIAT, 1995), con la respectiva simbología que se detalla en el cuadro 3.4.

Cuadro 3.4. Pendientes del Terreno

Relieve	Código	Pendiente (%)
Plana	1	0-5
Ligeramente ondulada	2	5-12
Ondulada	3	12-25
Montañosa	4	25-50
Muy montañosa	5	50-70
Escarpada	6	>70

Elaboración: La Autora

- **Clima**

Con los datos de precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas: El Ángel y San Gabriel se editó la base de datos del Generador de Clima del SWAT.
Las coordenadas de cada una de las estaciones se observan en el cuadro 3.5.

Cuadro 3.5. Coordenadas de las Estaciones Climáticas

Nombre	Código	Latitud	Longitud	Altitud	Estado
San Gabriel	M0103	0° 36¨15¨N	77° 49¨10¨W	2860	Activa
El Ángel	M0102	0° 37¨35¨N	77° 56¨38¨W	3000	Activa

Fuente: INAMHI, 2013

La información meteorológica que el modelo requiere es: temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), precipitación (mm), punto de rocío (°C), heliofanía (h), humedad relativa (%). En las simulaciones realizadas, el programa SWAT calculó la precipitación diaria (mm) y temperatura (°C) en base a datos meteorológicos mensuales. Los datos de radiación solar (W), velocidad del viento (km/h) y humedad relativa (%) fueron simulados mediante el generador de clima que dispone el programa SWAT.

b) Interfase del Software SWAT

La información que requiere la base de datos del modelo es el uso del suelo, tipo de suelo y clima para que el SWAT genere escenarios de simulación. En la figura 3.5 se muestran las ventanas a usarse para llenar la base de datos que requiere el modelo.

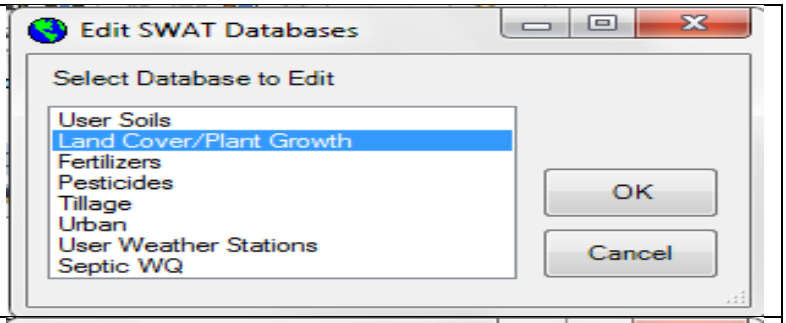
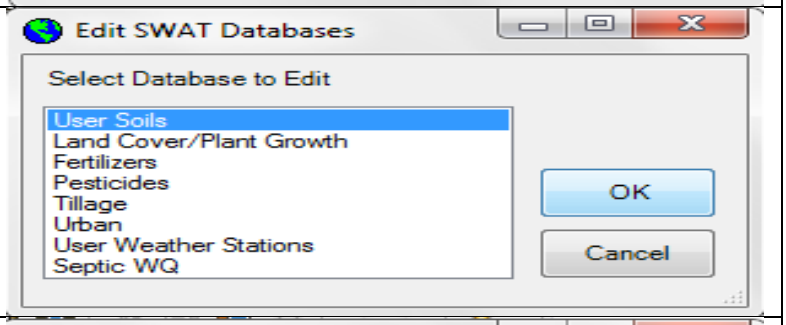
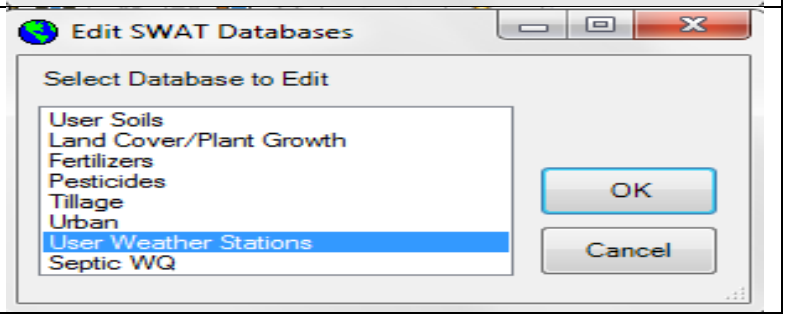
Base de datos uso de suelo y cobertura vegetal	
Base de datos tipo de suelo	
Base de datos clima	

Figura 3.5. Base de Datos que Requiere el Modelo SWAT

Elaboración: La Autora

c) Variables para el Modelo SWAT

El modelo SWAT requiere información básica de las siguientes variables, como datos de entrada, y a su vez se almacena la base de datos que requiere el modelo:

- **Cobertura vegetal y Uso del Suelo**

Para la cobertura vegetal el SWAT tiene las capas de páramo, bosque, vegetación arbustiva, pastizal, cultivos, se usaron por defecto estas coberturas vegetales, en la cuadro 3.6 se detallan las variables que se deben llenar en la base de datos para cobertura vegetal.

Cuadro 3.6. Parámetros de Cobertura Vegetal que requiere el Modelo SWAT

Códigos	Descripción
Crop Name	Nombre del cultivo cobertor.
CPNM	Nombre de la cobertura del suelo y la planta.
WAVP	Descenso en la eficiencia de uso de la radiación por unidad de incremento en el déficit de presión de vapor.
VPTH	Umbral del déficit de presión de vapor (Kpa).
T_OPT	Temperatura óptima para el crecimiento de las plantas.
T_BASE	Temperatura mínima para el creciemiento de las plantas.
BLAI	Máximo potencial del índice de área foliar.
IDC	Clasificación de las plantas cobertoras de la tierra.
DLP1	Primer punto de la curva de área foliar optimo.
DLP2	Segundo punto óptimo de la curva de índice de área foliar.
USLE_C	Es el factor de manejo de USLE o factor C de la cobertura.
CHTMX	Máxima altura del dosel.
RDMX	Máxima profundidad de raíces.
DLAI	Fracción de crecimiento estacional cuando el área foliar desciende.
PT2	Segundo punto en la curva de uso eficiente de la radiación.
CNYLD	Fracción normal de nitrógeno en semillas.
WSYF	Límite bajo del índice de cosecha.
BN1	Parámetro de extracción de nitrógeno # 1: fracción normal de nitrógeno en la biomasa de la planta en la emergencia.
BN2	Parámetro de extracción de nitrógeno #2: fracción normal de nitrógeno o nitrógeno en la biomasa de las plantas en 0.5 de maduración.
BN3	Parámetro de extracción de nitrógeno #3: fracción normal de nitrógeno o nitrógeno en la biomasa de las plantas en la madurez.
BP1	Parámetro de extracción de fósforo #1: fracción normal de nitrógeno o nitrógeno en la biomasa de las plantas en la emergencia.
BP2	Parámetro de extracción de fósforo #2: fracción normal de nitrógeno o nitrógeno en la biomasa de las plantas en 0.5 de maduración.
BP3	Parámetro de extracción de fósforo #3: fracción normal de nitrógeno o nitrógeno en la biomasa de las plantas en madurez.
GSI	Máxima conductancia de estomas a alta radiación y bajo déficit de presión de vapor.
BIO_E:	Coefiiente de Biomasa – Energía
HVSTI	Índice de cosecha. Esto es lo que produce la planta dividido por la biomasa.

Fuente: Arnold, *et al*., 2010

- **Clima**

La información meteorológica de las estaciones El Ángel y San Gabriel no disponen datos para años completos, para lo cual el primer paso fue ajustar los datos faltantes mediante el método racional, el cual consistió en calcular los porcentajes de cada mes en la lluvia anual, pero solamente en aquellos años con sus doce meses con datos y en las columnas (meses) donde falte el dato. Luego, se suman en los meses sin datos los porcentajes y se promedia. Ese promedio se coloca debajo del dato mensual faltante y se acepta que corresponde al porcentaje del mes de ese año (Guevara, 2003). Los periodos de clima disponibles fueron para el escenario pasado (2002), el periodo 2000 – 2005, para el escenario actual (2015), el periodo 2006 – 2012, para el escenario futuro, se usó la base de clima del SWAT, ya que no se cuenta con datos

diarios futuros en el INAMHI. Los parámetros de entrada para el generador del clima contienen datos estadísticos necesarios para generar datos climáticos diarios representativos para la microcuenca. A continuación en la cuadro 3.7 se describen algunas variables necesarias para el generador del clima del SWAT (Arnold, *et al*., 2010).

Cuadro 3.7. Variables Climáticas que requiere el Modelo SWAT

Variable	Descripción	Requerida / Opcional
WLATITUDE	La latitud de la estación a emplear en grados.	Requerida
WLONGITUD	La longitud de la estación en grados.	Opcional
WELEV	La elevación de la estación de la estación climática en (m).	Requerida
RAIN_YRS	El número de años máximo para la media hora de lluvia mensual usada para definir los valores de RAIN_HHMX(1) – RAIN_HHMX(12.)	Requerida
TMPMX (mon)	Promedio mensual de la temperatura máxima diaria (°C).	Requerida
TMPMN (mon)	Promedio mensual de la temperatura mínima diaria (°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 (mm H_2O).	Requerida
PCPSTD (mon)	Desviación estándar mensual de la precipitación diaria (mm H_2O/día).	Requerida
PCPSKW (mon)	Coeficiente de asimetría mensual de la precipitación diaria.	Requerida
PR_W (1.mon)	Probabilidad mensual de ocurrencia de un día húmedo luego de un día seco (días).	Requerida
PR_W (2.mon)	Probabilidad mensual de ocurrencia de un día húmedo luego de un día húmedo (días).	Requerida
PCPD (mon)	Promedio mensual del número de días de lluvia.	Requerida
RAINHHMX (mon)	Máxima lluvia de media hora por mes (mm H_2O). Para este parámetro se tomo en cuenta los valores históricos de lluvia máxima para 24 horas.	Requerida
SOLARAV (mon)	Promedio mensual de la radiación solar diaria (MJ/m^2/día). Los valores del promedio de radiación solar diaria fueron calculados mediante la fórmula de Angstrom que relaciona la radiación solar con la radiación extraterrestre y la duración relativa de la insolación. (Allen, et ál., 2006). $Rs = \left(a_s + b_s \frac{n}{N}\right) R_a$ Dónde: Rs: radiación solar o de onda corta [MJ *m-2 *día-1], n: duración real de la insolación [horas], N: duración máxima posible de la insolación [horas], n/N: duración relativa de la insolación[-], Ra: radiación extraterrestre [MJ* m-2* día-1], as: constante de regresión, que expresa la fracción radiación extraterrestre que llega a la tierra en días muy nublados (n = 0), as+ bs fracción de la radiación extraterrestre que llega a la tierra en días despejados (n = N). (Ib) En casos en que no disponga de datos reales de radiación solar y cuando no se han realizado calibraciones previas a la ecuación mencionada, se recomienda usar valores de as= 0,25 y de bs =0,50.	Requerida
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.	Requerida
WNDAV(mon)	Promedio mensual de la velocidad de viento (m/s).	Requerida

Fuente: Arnold, *et al*., 2010

- **Tipos de Suelo**

Para realizar el modelamiento, se editó la base de datos del SWAT, con el mapa de tipo de suelo, usando la cobertura digital descargada del Sistema Nacional de

Información (SNI, 2013), analizando algunos parámetros con sus respectivos rangos, para conocer el estado actual de la microcuenca del río Bobo que se detallan en la cuadro 3.8, la base de datos para tipo de suelo se ubica en el Anexo 2.

Cuadro 3.8. Parámetros para Tipos de Suelo

Parámetro	Código	Rango	Descripción
Pendiente (%)	1	0 – 5	Llano
	2	5 – 12	Ondulado
	3	12 – 25	Fuertemente Ondulado
	4	12 – 25 (microrelieve)	Ligeramente montañoso
	5	25 – 50	Moderadamente montañoso
	6	50 – 70	Montañoso
	7	> 70	Escarpado
Textura	1	Arenoso	Gruesa
	2	Franco arenoso, franco limoso	Moderadamente gruesa
	3	Franco, limoso, f. arcilloso arenoso, f. arcillo	Media
	4	f. arcilloso, arcillo arenoso, arcillo limoso	Fina
	5	Arcilloso	Muy fina
Profundidad (cm)	1	0 – 20	Superficial
	2	20 – 50	Poco profunda
	3	50 – 100	Moderadamente profunda
	4	> 100	Profunda
Pedregosidad (%)	1	<10	Sin
	2	10 – 25	Pocas
	3	25 – 50	Frecuentes
	4	50 – 75	Abundantes
	5	> 75	Pedregoso o rocoso
Drenaje	1	A	Excesivo
	2	B	Bueno
	3	C	Moderado
	4	D	Mal drenado (imperfecto)
Ph	1	< 4,5	Muy ácido
	2	4,5 – 5,5	Ácido
	3	5,6 – 6,5	Ligeramente ácido
	4	6,6 – 7,4	Neutro
	5	7,5 – 8,5	Moderadamente alcalino
	6	> 8,5	Alcalino
Materia orgánica (%)	1	< 1	Muy bajo
	2	1 – 2	Bajo
	3	2 – 4	Medio
	4	4 – 10	Alto
	5	> 10	Muy alto
Salinidad (mmhos/cm)	1	0 – 2	Sin
	2	2 – 4	Ligera
	3	4 – 8	Media
	4	8 – 16	Alta
	5	> 16	Muy alta
Nivel de fertilidad (mediante: pH, MO, SB, CIC, BI)	1	Mb	Muy baja
	2	B	Baja
	3	M	Mediana
	4	A	Alta

Fuente: Arnold, *et al*., 2010

d) Calibración y Validación del Modelo

-Calibración: para calibrar el modelo se utilizó los datos de la **Estación Hidrométrica Bobo Planta Eléctrica Tulcán,** localizada dentro del área de estudio,

con la finalidad de ajustar los datos hidrológicos de la microcuenca del río Bobo, para posteriormente comparar los datos simulados con los calibrados. Dicha calibración se la hizo mediante SWAT Cup, el cual requirió datos de entrada como la ubicación de la estación hidrométrica dentro de la microcuenca (Watershed, Subbasin 3) es el número tres, además se ingresan los meses que tienen datos de caudal de la estación hidrométrica, el número total de subbasin en este caso son 17, luego calibramos el modelo y los datos de salida que nos da SWAT Cup son Weather (Wgn), HRU (Hru), Groundwater (Gw), Management (Mgt) todas estas variables se las ingresa a Edit SWAT Input, Subbasins Data, en cada variable es necesario ingresar el número de Subbasin que es tres, la cobertura vegetal, tipo de suelo y la pendiente, una vez ingresadas estas variables se vuelve a correr el modelo. Además se realizó comparaciones entre caudales medidos y caudales modelados.

La calibración de un modelo como SWAT consistió en realizar un test de los parámetros de salida (caudal, sedimentos, escorrentía, etc) entre los caudales simulados y los tomados en campo; con la finalidad de poder determinar cuáles parámetros de entrada deben ser ajustados en el modelo (*Arnold, et al.*, 2010).

-Validación: se tomó en cuenta los datos de caudales calibrados y estos se los compara con los datos medidos en campo. En muchos casos el ajuste entre los caudales tomados en campo y los simulados durante la validación fue menos satisfactoria que el obtenido en la calibración, pero es más representativo de la exactitud de las predicciones que se hagan en el modelo (Vélez, 2013).

Para la validación se midieron en campo caudales y se midió la infiltración, para realizar esto fue necesario primero realizar la caracterización climática concediendo la época lluviosa y seca mediante el diagrama ombrotérmico, entonces se hizo la caracterización hídrica, como se describe a continuación.

- **Caracterización Climática**

Las épocas lluviosa y seca se identificaron empleando el diagrama ombrotérmico de

las estaciones San Gabriel (M103) y El Ángel (M102) según la metodología propuesta (Gaussen, 1953), tomando en cuenta que dichas estaciones se localizan a 10 km y 9 km respectivamente al área de estudio. El diagrama se realizó usando los datos multianuales de precipitación y temperatura correspondientes al periodo 2000-2012, obtenidos de la información de los anuarios meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2013).

Los resultados de los aforos fueron empleados para calibrar el modelo hidrológico comparando con los registros de la estación hidrométrica Bobo en planta eléctrica Tulcán (H0093).

- **Caracterización Hídrica**

Se identificaron 5 puntos estratégicos en la microcuenca para la realización de aforos; considerando la accesibilidad, aporte de caudal para el río y localización en la parte baja, media y alta de la microcuenca mediante el uso de un navegador GPS Garmin 64 Sc, los sitios fueron geo-referenciados e ingresadas las coordenadas UTM al software ArcGis 10.2, las coordenadas de los puntos de aforos se presentan en el cuadro 3.9; además se calcularon los caudales puntuales para conocer la cantidad de agua del río Bobo para uso en las centrales hidroeléctricas La Playa y San Miguel de Car.

Cuadro 3.9. Coordenadas Geográficas Datum WGS 84, Zona 17 Sur Puntos de Aforo

	Puntos	**Coordenada X**	**Coordenada Y**	**Altitud (msnm)**
Central Hidroeléctrica La Playa	Sección del Río Bobo	862976	10089617	2846
	Captación central hidroeléctrica la Playa	862959	10089490	2820
Central Hidroeléctrica San Miguel de Car	Embalse San Miguel de Car	855723	10089086	3110
	Sección del Río Bobo	854707	10085719	2986
	Captación Santa Bárbara de Car	854676	10085747	3088

Elaboración: La Autora

Fuente: Trabajo de campo, 2015

En el componente hidrológico se realizaron dos aforos de caudales en la época lluviosa (mes de mayo), y dos en la época seca (mes de septiembre) empleando el molinete electrónico Global Water 800-876-1172, Modelo: FP11; de igual forma se realizaron mediciones empleando el método indirecto del flotador debido a las condiciones del sitio; las mediciones se realizaron en las partes alta, media y baja de la microcuenca. En la figura 3.7 se observan los puntos de realización de aforos y en cada uno de ellos con el modelo hidrológico SWAT se estimó los caudales de escorrentía superficial y aporte de sedimentos.

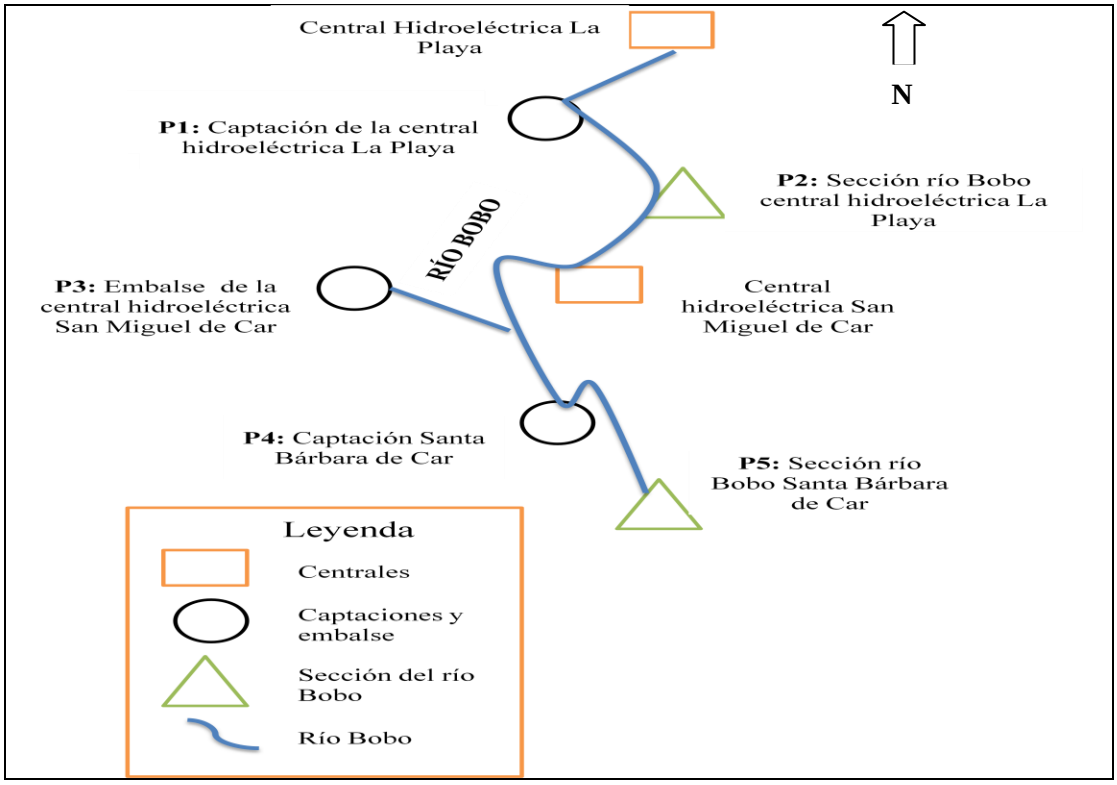


Figura 3.6. Ubicación Puntos de Aforo

Fuente: La Autora

Para la caracterización hídrica se analizaron aspectos que se detallan a continuación:

- **Medición de Caudales**

Las mediciones de caudales fueron puntuales, esto quiere decir que se realizaron en

los meses en los que se necesitó conocer el caudal de agua (Marbello, 2008). Estas mediciones se efectuaron mediante dos métodos como es el del molinete electrónico y el método indirecto del flotador.

El cauce del río Bobo debido a las características topográficas, geológicas y geomorfológicas no es regular, y por esta razón fue necesario medir a distintas distancias para conocer la profundidad del cauce principal, y determinar el área mojada (m^2), medir la velocidad promedio del agua en las orillas derecha e izquierda con intervalos de 1m para calcular la velocidad del caudal total.

El área mojada se la graficó en ArcGis 10.2 representando al área mojada en época lluviosa y época seca, los datos obtenidos en campo se los introdujo al Excel, en dónde se calculó el caudal.

- ✓ **Medición con el Molinete Electrónico**

Para estimar el caudal del río Bobo se requirió el uso del molinete, el cual consta de un contador y una hélice, y mientras la hélice gira el contador marca el tiempo y la velocidad del flujo del agua, además se usó un flexómetro para conocer la distancia del río desde la orilla izquierda hasta la orilla derecha, y se usó el flexómetro para conocer la profundidad, en las captaciones de las centrales hidroeléctricas y en el cauce natural del río (Cadena, 2012) para estimar el caudal promedio en función del área mojada y la velocidad de la corriente.

$$Q = A*V;\ Q = (d*p)*V \qquad \textbf{Fórmula (4)}$$

Dónde:
Q= caudal
A= área
d=distancia
p=profundidad
V= Velocidad

- ✓ **Medición por el Método Indirecto del Flotador**

En el método indirecto del flotador, se usó material sintético o espuma flex como

flotador, para determinar la sección transversal o área mojada se midieron la profundidad y el ancho con flexómetro, para el cálculo de la velocidad media de la escorrentía se basó en la medición de un segmento longitudinal del río, y se cronometró el tiempo de desplazamiento del flotador desde el punto inicial hasta el punto final, se realizaron de 5 a 6 mediciones para conocer el tiempo. Con estos datos se calculó el caudal medio (Cadena, 2012):

$$Qm = Am * Vm;\ Qm = (d*p)*(d/tm)$$ **Fórmula (5)**

Dónde:
Qm= caudal medio
Am= área mojada
d= distancia
p= profundidad
Vm= velocidad media
tm= tiempo promedio

En el cuadro 3.10 se muestran los puntos dónde se realizaron los aforos y el método empleado.

Cuadro 3.10. Métodos para Aforar

Puntos de Aforo	**Método del flotador**	**Molinete**
P1 Captación Central Hidroeléctrica La Playa	NO	SI
P2 Sección río Bobo Central Hidroeléctrica La Playa	NO	SI
P3 Embalse San Miguel de Car	SI	SI
P4 Captación Santa Bárbara de Car	SI	SI
P5 Sección río Bobo Santa Bárbara de Car	NO	SI

Elaboración: La Autora

Fuente: Trabajo de campo, 2015

- **Medición de Infiltración**

Mediante el uso del infiltrómetro marca COOK-RITE se realizaron mediciones de infiltración de agua en el suelo, este procedimiento consistió en introducir la base del infiltrómetro en el primer horizonte del suelo, y llenar de agua los dos anillos que tiene el equipo, luego se calibró en un tiempo de 15 minutos y reportó lecturas en milímetros. Se realizó el mapa de tipos de textura del suelo empleando la cartografía

digital del Sistema Nacional de Información (SNI, 2013) para conocer datos de infiltración en la microcuenca del río Bobo.

3.3.10. Propuesta de Manejo del Recurso Hídrico

Para la formulación de la propuesta de manejo del recurso hídrico se empleó la metodología que se indica en la figura 3.8 cuyo objetivo es mitigar y minimizar el impacto de las actividades de los pobladores sobre los recursos agua, suelo y cobertura vegetal de la microcuenca.

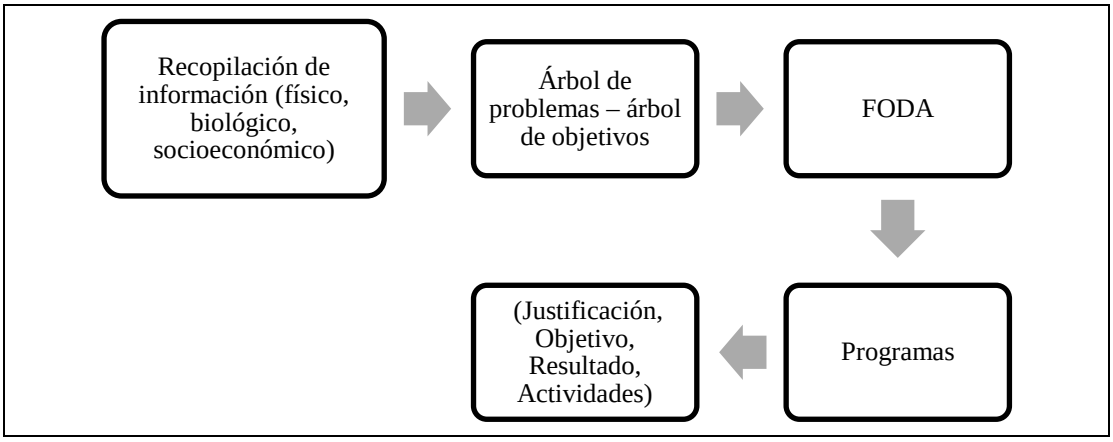


Figura 3.7. Metodología para la Propuesta de Manejo del Recurso Hídrico
Elaboración: La Autora

Se identificaron los aspectos físico, biológico y socioeconómico, que se detallaron en la caracterización biofísica e hídrica, luego se analizó esta información para identificar el problema en la microcuenca del río Bobo, de esta forma se realizó el árbol de problemas con efectos y causas, seguidamente se realizó el árbol de objetivos que es la transformación del árbol de problemas en aspectos positivos, luego se realizó el FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas), luego se elaboró la matriz de marco lógico que consistió en poner el programa, presupuesto referencial, Fuente de financiamiento, Tiempo de ejecución, Responsable de ejecución, y finalmente se añadió a cada programa una Justificación, Objetivo, Resultado, Actividades (Jácome – Narváez, 2012).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permitieron dar una respuesta a cada uno de los objetivos propuestos. Los parámetros morfométricos de la microcuenca del río Bobo se describen en el cuadro 4.1, en el cual se observa que la microcuenca tiene una superficie de 130,3687 km^2 es de tamaño pequeña, tiene una longitud axial mediana, la microcuenca presenta una morfología escarpada, la forma es oval redonda a oval oblonga, el piso altitudinal premontano y subalpino.

Cuadro 4.1. Parámetros de Forma

Parámetro	Método	Resultado	Interpretación
1. Área (A)	Cálculo de geometría en ArcGIS 10.2	A = 130,3687 km^2	De acuerdo al área calculada pertenece a una cuenca de tamaño mediana a pequeña.
2. Perímetro (P)	Cálculo de geometría en ArcGIS 10.2	P = 98,78km	
3. Longitud Axial (La)	Medición del eje principal de la cuenca en ArcGIS 10.2	La = 25,107km	La longitud axial del cauce principal pertenece a un cauce de longitud mediano.
4. Ancho Promedio (Ap)	$Ap = \frac{A}{La}$	Ap = 5,551364km	Cuenca ligeramente redondeada con la longitud axial ligeramente mayor al ancho promedio.
5. Factor Forma (Ff)	$Ff = \frac{Ap}{La}$	Ff = 0,221108	El factor forma muestra que tiene alta susceptibilidad a las crecidas.
6. Coeficiente de Compacidad (Kc)	$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi * A}}$	Kc = 2,360295	La forma de la cuenca es oval redonda a oval oblonga.
7. Altitud Mínima (Hmín)	DEM	Hmín = 2880 m	Piso altitudinal premontano.
8. Altitud Máxima (Hmáx)	DEM	Hmáx = 3880 m	Piso altitudinal subalpino
9. Desnivel Altitudinal	$Dh = Hmáx - Hmín$	Dh = 1000 m	Desnivel altitudinal moderado
10. Altitud Media (H)	DEM	Hm = 3278m	
11. Coeficiente de Masividad (m/km^2)	$Km = \frac{Hm}{A}$	Km = 23,51876m/km^2	Clase de masividad muy montañosa
12. Pendiente Media de la Cuenca	Clasificación por Porcentaje	14,390524%	La microcuenca presenta una morfología escarpada

Elaboración: La Autora

4.1. Caracterización Biofísica del Área de Estudio

Los resultados que se obtuvieron fueron del medio físico, biótico y socioeconómico.

- **Medio Físico**

Se analizaron diferentes componentes físicos dentro del área de estudio de la microcuenca del río Bobo tales como la hidrología, tipos de suelo, geología,

pendientes, uso de suelo y cobertura vegetal, uso potencial del suelo, conflictos de uso, zonas de vida, tipos de clima se obtuvo los siguientes resultados.

- **Hidrología**

En el área de estudio de la microcuenca del río Bobo, este río tiene una longitud de 39.26 kilómetros, se encuentran algunas quebradas y un estero, que se describen en el cuadro 4.2, y en el Anexo 1, Mapa 2 se puede ver su respectiva localización. Tanto el estero San Nicolás como las distintas quebradas aportan con agua al río Bobo, debido a que son de tipo perenne, esto quiere decir que durante todo el año tienen agua.

Cuadro 4.2. Estero y Quebradas dentro de la Microcuenca del río Bobo

Estero y quebradas	Tipo	Longitud (km)
Estero San Nicolás	Perenne	3,18
Quebrada Arrayán	Perenne	8,02
Quebrada de Piedras	Perenne	7,26
Quebrada Guamag	Perenne	4,79
Quebrada La Ovejería	Perenne	6,99
Quebrada Nispud	Perenne	4,79
Quebrada Puerta de Piedras	Perenne	1,06
Quebrada San José	Perenne	9,19
Quebrada San Juan	Perenne	0,46

Fuente: IGM, 2013

Elaboración: La Autora

- **Tipo de Suelo**

Los tipos de suelos que se encontraron en el área de estudio fueron del orden histosol, inceptisol y molisol, siendo el orden inceptisol el más representativo, se detallan en el cuadro 4.3, y se puede observar la distribución de los suelos en el Anexo 1, Mapa 3.

-Los suelos del suborden Hemist (Histosol) son suelos con grandes acumulaciones de materia orgánica sin evolucionar, con horizontes de materiales minerales, cuya textura es francosa y poca profunda. En la microcuenca del río Bobo estos suelos se encuentran en la parte alta, ocupando un área de 886,42 ha, con un porcentaje de 6,79%.

-Los suelos del suborden Udoll (Mollisol) presentan apropiadas propiedades físico-químicas en la zona radicular. La textura es limosa y son suelos profundos, en el área de estudio los molisoles ocupan 2701,54 ha, cuyo porcentaje es de 20,70%, y se ubican en la parte baja (Jaramillo, 2002).

-Los suelos del suborden Andept (Inceptisol) presentan baja o incluso media evolución, pero han logrado desarrollar horizontes con estructura de suelo, la textura es limosa y francosa, la profundidad va de moderadamente profunda a profunda. Este tipo de suelos es el que ocupa mayor área en la microcuenca del río Bobo, correspondiente a 9463,57 ha, con un porcentaje de 72,51%, ubicándose a nivel de toda la microcuenca, parte alta, media y baja.

Cuadro 4.3. Tipos de Suelo

Orden	Suborden	Área (ha)	Porcentaje (%)
Histosol	Hemist	886,424	6,79
Mollisol	Udoll	2701,54	20,70
Inceptisol	Andept	9463,57	72,51
Total		13051,53	100

Fuente: MAGAP, 2003

Elaboración: La Autora

- **Geología**

El mapa geológico permitió identificar a las formaciones geológicas presentes en el área de estudio, en el cuadro 4.4, se detalla cuánto de área ocupa cada formación y su respectivo porcentaje, y se puede visualizar las formaciones en el Anexo 1, Mapa 4. Andesita, basalto localizada en la parte alta del área de estudio, con un área correspondiente a 2036,12 ha representado un 15,59%. Andesita, Lutita, Basalto, Brechas volcánicas, Tobas se ubica en la parte alta del área de estudio, cuya área ocupa 16,53 ha cuyo porcentaje es de 0,12%.

Basalto, Andesita, Dacitambrecha volcánica, Tobas son formaciones volcánicas son del Boliche, se formaron en la edad terciaria, ubicados en la parte alta y media del área de estudio, ocupan un área de 808,75 ha con un porcentaje de 6,18%. Ceniza,

Lapilli **e**n la parte alta, media y baja del área de estudio se ubican las cenizas y el lapilli, constituidos por depósitos que se formaron en la edad cuaternaria, la permeabilidad es baja, el tipo de permeabilidad es porosidad intergranular, cuya área corresponde a 7864, 58 ha que representa el 60,18%, siendo la mayor área que ocupa en la microcuenca con respecto a las otras formaciones geológicas.

Deposito aluvial se ubican en la parte alta y baja de la microcuenca del río Bobo, con un área de 374,77 ha cuyo porcentaje es 2,87%. Deposito coluvial su localización está en la parte media y alta de la microcuenca del río Bobo, la superficie es de 464,58 ha el porcentaje es de 3,56%. Depósitos glaciares, morrenas estas formaciones geológicas se encuentran en la parte alta y media de la microcuenca en estudio, ocupando un área de160,32 ha cuyo porcentaje es 1,23%. Lutita, Toba, Brechas volcánicas se localiza en la parte alta de la micorcuenca en estudio, la superficie que ocupa es de 1343,06 ha el porcentaje es 10,27%.

Cuadro 4.4. Formaciones Geológicas

Geología	Área (ha)	Porcentaje (%)
Andesita, Basalto	2036,12	15,59
Andesita, Lutita, Basalto, Brechas volcánicas, Tobas	16,53	0,12
Basalto, Andesita, Dacitambrecha volcánica, Tobas	808,75	6,18
Ceniza, Lapilli	7864, 58	60,18
Deposito aluvial	374,77	2,87
Deposito coluvial	464,58	3,56
Depósitos glaciares, morrenas	160,32	1,23
Lutita, Toba, Brechas volcánicas	1343,06	10,27
Total	13068,71	100

Fuente: INIGMME, 2003

Elaboración: La Autora

- **Pendientes**

En el área de estudio predomina el relieve plano, luego se encuentra el relieve ligeramente ondulado, seguido del relieve ondulado, luego está el relieve montañoso y en menor proporción el relieve muy montañoso, como se puede muestra en el cuadro 4.5 y en Anexo 1, Mapa 5.

El relieve plano tiene una pendiente que va de 0 a 5%, ubicándose en la parte alta, media y baja, con un área total de 5943,01 ha y un porcentaje de 45,53%. Relieve ligeramente ondulado tiene pendientes que van de 5 a 12%, se encuentra en la parte alta, media y baja de la microcuenca, ocupando un área de 3444,67 ha que representa el 26,39%.

Relieve ondulado se localiza a nivel de toda la microcuenca del río Bobo, con mayor concentración en la parte media, la pendiente va de 12 a 25%, con un área de 3263,03 ha con un porcentaje de 25,00% con respecto a la superficie total. Relieve montañoso tiene pendientes que van desde 25 al 50%, ocupando una superficie de 3,06%, ubicándose en la parte media de la microcuenca, cuya extensión es de 398,77 ha. Relieve muy montañoso es el de menor proporción, cuya pendiente va de 50 a 70%, ocupando un área de 2,08 ha y con un porcentaje de 0,02%.

Cuadro 4.5. Tipos de Pendientes

Relieve	Pendiente (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)
Plano	0-5	5943,01	45,53
Ligeramente ondulado	5-12	3444,67	26,39
Ondulado	12-25	3263,03	25,00
Montañoso	25-50	398,77	3,06
Muy montañoso	50-70	2,08	0,02
Total		13051,56	100

Elaboración: La Autora

- **Uso de Suelo y Cobertura Vegetal**

En la microcuenca del río Bobo se encontraron cultivos de ciclo corto, pasto cultivado, vegetación arbustiva y área urbana. Ocupando el menor porcentaje de 0,53% el área urbana con un área de 69,54 ha, las áreas para cada uso de suelo se encuentran en el cuadro 4.6, en el Anexo 1, Mapa 6 se observa la ubicación de cada cobertura vegetal.

Cuadro 4.6. Uso de Suelo y Cobertura Vegetal

Uso	Cobertura	Simbología	Área (ha)	Porcentaje (%)
50% Cultivos de ciclo corto, 50% Pasto cultivado	Agropecuarias	Cc-Pc	2366,02	18,13
70% Cultivos de ciclo corto, 30% Papa	Agropecuarias	Cc-Cp	692,62	5,30
Pasto cultivado	Agropecuarias	Pc	7002,11	53,65
70% Pasto cultivado, 30% Cultivos de ciclo corto	Agropecuarias	Pc-Cc	790,21	6,05
70% Pasto cultivado, 30% Papa	Agropecuarias	Pc-Cp	1838,63	14,09
Área urbana	Antrópicos	U	69,54	0,53
70% Vegetación arbustiva, 30% Pasto cultivado	Vegetación arbustiva y herbácea	Va-Pc	292,42	2,24
Total			13051,55	100

Fuente: SIN, 2013

Elaboración: La Autora

- **Uso Potencial del Suelo**

Los usos potenciales del suelo que se identificaron en el área de estudio de la microcuenca del río Bobo fueron área urbana, bosque, cultivos, pastos, sin uso agropecuario, como se indica en el cuadro 4.7. y en el Anexo 1, Mapa 7. Área Urbana ocupa un área de 19,37 ha con un porcentaje de 0,15% referente al área de estudio. Páramo ocupa una superficie de 2110,59 ha y su porcentaje es de 16,17% dentro de la microcuenca del río Bobo. Pastos tienen un área de 5841,48 ha y representan el 44,76%. Sin Uso agropecuario ocupan un área de 2412,91 ha y el porcentaje es de 18,49% del área total.

Cultivos tienen un área de 2667,17 ha y porcentaje 20,44%, se encuentran algunos tipos de cultivos como C1b con un área de 490,11 ha cuya agricultura tiene limitaciones ligeras, mecanización y riego muy fáciles, C2b el área para este cultivo es de 333,85 ha tiene una agricultura con limitaciones muy importantes, mecanización y riego difíciles, C2c tiene un área de 583,32 ha cuya agricultura tiene limitaciones importantes, mecanización especializada y riego difícil, el cultivo C3b tiene un área de 1259,89 ha y su agricultura tiene limitaciones importantes, mecanización difícil y riego difícil a imposible.

Cuadro 4.7. Uso Potencial del Suelo

Uso Potencial	Simbología	Área (ha)	Porcentaje (%)
Área Urbana	U	19,37	0,15
Páramo	B	2110,59	16,17
Pastos	P	5841,48	44,76
Sin uso agropecuario	S	2412,91	18,49
Cultivos	C1b, C2b, C2c, C3b	2667,17	20,44
Total		13051,52	100

Fuente: SIN, 2013

Elaboración: La Autora

- **Conflictos de Uso**

Se determinaron los conflictos de uso en la microcuenca del río Bobo y se obtuvo área urbana, bien utilizado, sobreutilización, subutilización, en el cuadro 4.8 se indica el área perteneciente a cada conflicto, en el Anexo 1, Mapa 8 se observa la localización de cada conflicto.

Área Urbana ocupa un área de 340,20 ha, cuyo porcentaje es de 2,61%, ubicándose en la parte baja de la microcuenca del río Bobo. Bien utilizado estos suelos se localizan en la parte media y alta de la microcuenca del río Bobo, con un área de 4475,68 ha que representa el 34,29% respecto al área total. Sobreutilizado se ubica tanto en la parte alta, media y baja del área de estudio, lo cual es preocupante ya que se ha degradado al suelo, ocupando un área de 5548,63 ha, cuyo porcentaje es de 42,51%, este conflicto es el que mayor área ocupa. Subutilizado este uso representa el 20,59% de la superficie total, cuya área es de 2687,03 ha.

Cuadro 4.8. Conflictos de Uso del Suelo

Conflictos	Simbología	Área (ha)	Porcentaje (%)
Área Urbana	U	340,20	2,61
Bien utilizado	Bu	4475,68	34,29
Sobreutilización	So	5548,63	42,51
Subutilización	Su	2687,03	20,59
Total		13051,54	100

Fuente: MAGAP, 2003

Elaboración: La Autora

- **Zonas de Vida**

Las zonas de vida que se encontraron en el área de estudio son: Bosque húmedo Montano (bh-M.), Bosque muy húmedo Montano (bmh-M.) y Bosque pluvial Sub Alpino (bp-S-A) como se puede ver en el Anexo 1, Mapa 9, y en el cuadro 4.9 se observan las zonas de vida con sus áreas respectivamente.

Bosque Húmedo Montano se localiza en la parte baja del área de estudio, ocupando un área de 997,98 ha que corresponde a 7,65% del área total. Bosque muy Húmedo Montano ocupa mayor área que es de 10080,19 ha, ubicándose a nivel de toda la microcuenca del río Bobo, cuyo porcentaje es de 77,23%. Bosque Pluvial Sub Alpino se encuentra en la parte sur oeste del área de estudio, con una superficie de 1973,38 ha que representa el 15,12% del área total.

Cuadro 4.9. Zonas de Vida

Zonas de Vida	Simbología	Área (ha)	Porcentaje (%)
Bosque húmedo Montano	Bh-M	997,98	7,65
Bosque muy húmedo Montano	Bmh-M	10080,19	77,23
Bosque pluvial Sub Alpino	Bp-S-A	1973,38	15,12
Total	13051,55	100	

Fuente: MAGAP, 2003

Elaboración: La Autora

- **Tipo de Clima**

En el área de estudio de la microcuenca está dividido entre seco semi húmedo – frío ocupando un área de 471,068 ha y húmedo – frío cuya superficie es de 12580,5 ha con respecto al área total. En el Anexo 1, Mapa 10, se observa el mapa de tipo de clima.

- **Medio Biótico**

En el campo se levantó información referente a la flora, fauna, uso del suelo y la cobertura vegetal. Flora que se identificó fue bambú andino (*Chusquea scandens*),

lechero (*Sapium stylare*), chilca (*Braccharis latifolia*), uva camarona (*Maclenia rupestre*), zapatitos (*Calceolaria crenata*), el diente de león (*Taraxacum officinale*), trébol (*Trifolium repens*). Fauna se observo especies como: Vencejo (*Streptoprocne zonaris*), cacique montañes (*Cacicus leucoramphus*), gallinazo (*Coragyps atratus*), mirlo (*Turdus fuscater*), huirac-churo (*Pheucticus chrysogaster*), gorrión (*Zonotrichia capensis*).

Uso del Suelo se lo usa para cultivos de papa súper chola (*Solanum tuberosum L.*), melloco (*Ullucus tuberosus Loz.),* quinua *(Chenopodium quinoa),* haba (*Vicia faba*), zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza),* además cultivo de kikuyo (*Penisetum clandestinum*), en el tipo de suelo franco arenoso. Cobertura Vegetal se observa especies menores a 3 metros de altura conformando la vegetación arbustiva y árboles de eucalipto (*Eucalipto globulus*), los cuales son usados medicinalmente.

- **Medio Socioeconómico**

Con la información obtenida del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2010 sobre población y vivienda se pudo resaltar los siguientes datos de acuerdo al área de estudio de la microcuenca del río Bobo, la población fue de 86.498 habitantes, las actividades económicas que realizan son: pesqueras (trucha), turísticas (balneario de aguas termales), agricultura (papa), las industrias lácteas de Productos lácteos González e Industria Lechera Floralpa, los servicios básicos son: energía eléctrica, alcantarillado, teléfono convencional.

La mayoría de viviendas del cantón Tulcán con sus parroquias de Tulcán y Tufiño cuentan con el servicio de energía eléctrica cuyo abastecimiento en mayor porcentaje es desde la red de la empresa eléctrica de servicio público, en las dos parroquias del cantón Montúfar tienen acceso mayormente al servicio eléctrico. Las parroquias del cantón Tulcán tiene poco acceso a la telefonía convencional, al igual que en el cantón Montufar.

4.2. Análisis Multitemporal

Los mapas realizados se observan en el Anexo 1, Mapa 11, 12,13, en donde se ubica a cada cobertura vegetal. En el cuadro 4.10 se obtuvieron porcentajes de cada una de las coberturas con respecto al área total de la cuenca, se observa que el bosque nativo tuvo su mayor área en el año 2002, cuyo porcentaje representa un 2,68% con respecto a los otros años, el páramo tuvo un mayor porcentaje en el año 2002, el cual fue 58,98% en comparación al 2015 el páramo se reducirá con un porcentaje de 45,03%, en el 2020 el páramo se redujo aun más a un porcentaje de 42,20%, el pastizal aumento moderadamente, los cultivos aumentaron exponencialmente en el 2002 se ocupo un 4,68% y en el 2020 el porcentaje fue de 21,84%,el área poblada se mantuvo. En la figura 4.1 se muestra la diferencia de la superficie en las coberturas vegetales.

Los porcentajes obtenidos son con respecto al área de la microcuenca del río Bobo, el bosque se redujo entre el año 2002 y el 2015 en un 1,76%, entre el 2015 y el 2020 la disminución fue en un 0,03% fue reemplazado por pastizal y cultivos, el páramo disminuyó entre los años 2002 y 2015 en un 13,94%, entre los años 2015 y 2020 la reducción fue de 2,38% sustituido por pastizal y cultivos, la vegetación arbustiva entre los años 2002 y 2015 se redujo en 4,23% en comparación a los años 2015 y 2020 que fue de 0,70%, esto se debe a que antes los cultivos fueron sembrados en sectores en donde había vegetación arbustiva, debido al crecimiento en expansión de los mismos, pero para el 2015 y 2020 se ve que los cultivos aumentan pero no drásticamente, debido a que a pesar de que la agricultura y ganadería son sus actividades centrales, muchos pobladores han emigrado a las ciudades, ya sea por estudio o por trabajo.

Los pastizales y cultivos aumentaron entre los años 2002 y 2015, siendo el porcentaje 3,70% y 2,79% respectivamente, y para los años 2015 y 2020 el aumento fue de 16,38% y 0,77%, estas coberturas aumentaron puesto que el ganado y los cultivos

necesitaban más superficie, hasta alcanzar pendientes montañosas, el área poblada se mantuvo.

Cuadro 4.10. Áreas de Cobertura Vegetal

Cobertura vegetal	Año 2002		Año 2015		Año 2020		Variación 2002-2015		Variación 2015-2020	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Bosque nativo	350,3	2,68	120,87	0,92	117,53	0,90	-229,43	-1,76	-3,34	-0,03
Páramo	7705,5	58,98	5885,14	45,03	5514,2	42,20	-1820,42	-13,94	-370,9	-2,83
Vegetación arbustiva	783,84	6,00	231,25	1,77	139,18	1,07	-552,59	-4,23	-92,07	-0,70
Pastizal	3444,8	26,37	3929,78	30,07	4293,0	32,86	484,98	3,70	363,3	2,79
Cultivos	612,02	4,68	2752,9	21,06	2852,9	21,84	2140,88	16,38	100	0,77
Área Poblada	168,86	1,29	148,77	1,14	148,77	1,14	20,09	-0,15	0,00	0,00

Elaboración: La Autora

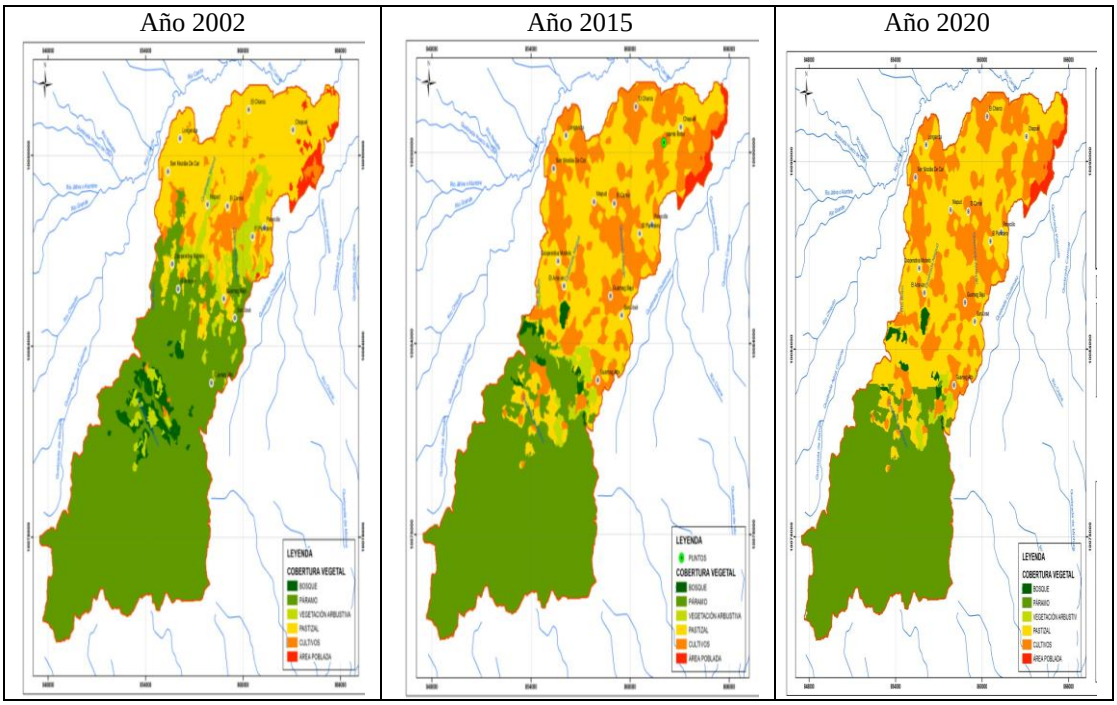


Figura 4.1. Análisis multitemporal para los años 2002, 2015, 2020

Elaboración: La Autora

La pérdida de bosque, páramo y vegetación con respecto al área de la microcuenca del río Bobo se muestra en el cuadro 4.11, en el cual se indica que el bosque en 18 años tuvo una pérdida de 232,77 ha, y anualmente se pierde 12,9 ha, el páramo es la

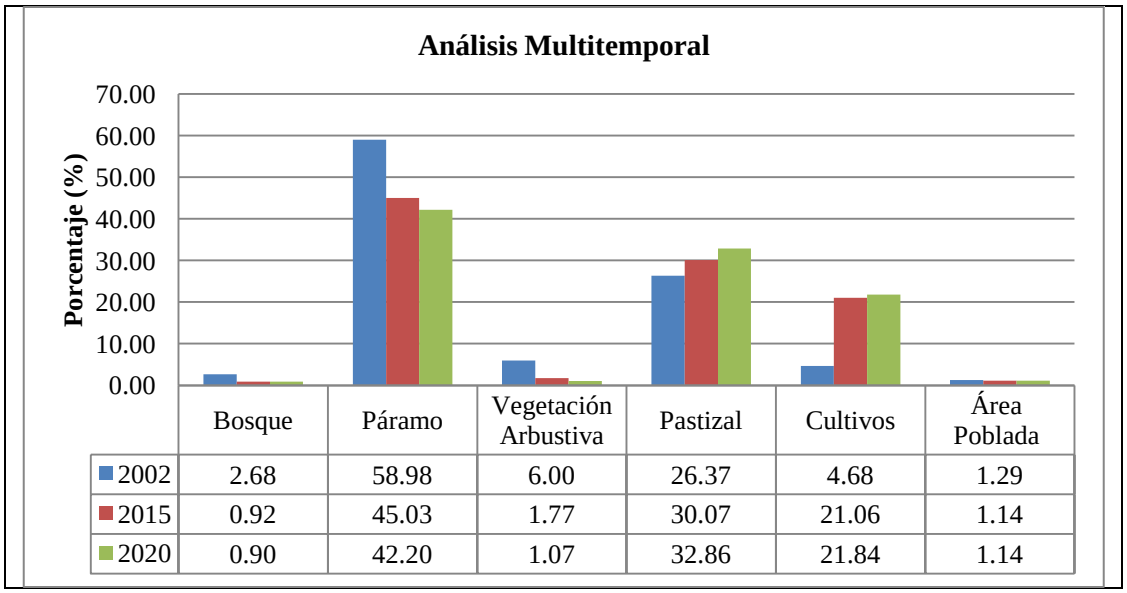
cobertura vegetal que más se ha perdido, se estima que al año se deforesta 121,7 ha, en cuanto a la vegetación arbustiva la pérdida anual es de 35,8 ha, dichas coberturas se han ido reduciendo a través del tiempo debido a las actividades antrópicas como agricultura y ganadería, ya que los pobladores viven de esas actividades. La tasa de deforestación anual en el Ecuador en cuanto a bosque es de 1,2% (FAO, 2005).

Cuadro 4.11. Pérdida de Coberturas Vegetales

Cobertura Vegetal	Variación 2002-2015		Variación 2015-2020		Variación en 18 años		Tasa de Deforestación Anual	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Bosque	-229,43	-1,76	-3,34	0,03	-232,77	1,78	-12,9	-0,1
Páramo	-1820,42	-13,94	-370,9	2,83	-2191,33	16,77	-121,7	-0,9
Vegetación arbustiva	-552,59	-4,23	-92,07	0,70	-644,66	4,93	-35,8	-0,3

Elaboración: La Autora

En la figura 4.2 se puede apreciar al año 2002 en la barra de color azul, el año 2015 con la barra de color rojo, el año 2020 en la barra de color verde, en cada barra se presenta la cobertura vegetal, identificando que el bosque nativo disminuyó en el 2020, teniendo en el 2002 un porcentaje de 2,68%, en el 2015 el porcentaje fue de 0,92% y en el 2020 el 0,90%, el páramo en la microcuenca del río Bobo tuvo su mayor porcentaje en el año 2002 el cual fue de 58,98%, en el 2015 fue de 45,03% y en el 2020 fue de 42,20%, la vegetación arbustiva redujo su porcentaje en el 2020, ya que la vegetación arbustiva en el 2002 fue de 6,00%, en el 2015 fue de 1,77% y en el 2020 fue de 1,07%, el pastizal incrementó; los cultivos se dispararon en el año 2020, ocupando un porcentaje de 21,84%, el área poblada tuvo un equilibrio teniendo un porcentaje de 1,29% en el 2002, 1,14% en el 2015 y 1,14% en el 2020.



	Bosque	Páramo	Vegetación Arbustiva	Pastizal	Cultivos	Área Poblada
2002	2.68	58.98	6.00	26.37	4.68	1.29
2015	0.92	45.03	1.77	30.07	21.06	1.14
2020	0.90	42.20	1.07	32.86	21.84	1.14

Figura 4.2. Análisis Multitemporal de la Microcuenca del río Bobo

Elaboración: La Autora

En la cobertura vegetal para evaluar sus cambios se aplicó el ajuste tendencial de la curva generada con los valores de vegetación en diferentes años y el cálculo de R^2. El ajuste de la tendencia es la estimación del modelo de regresión, basándose en la evolución temporal de la vegetación (serie analizada) en función del tiempo (variable). En la figura 4.3 se muestra el cambio de cobertura durante los años 2002, 2015, 2020, dicha figura indica que el bosque, páramo y vegetación arbustiva se redujo, mientras que pastizal y cultivos aumentaron a través del tiempo.

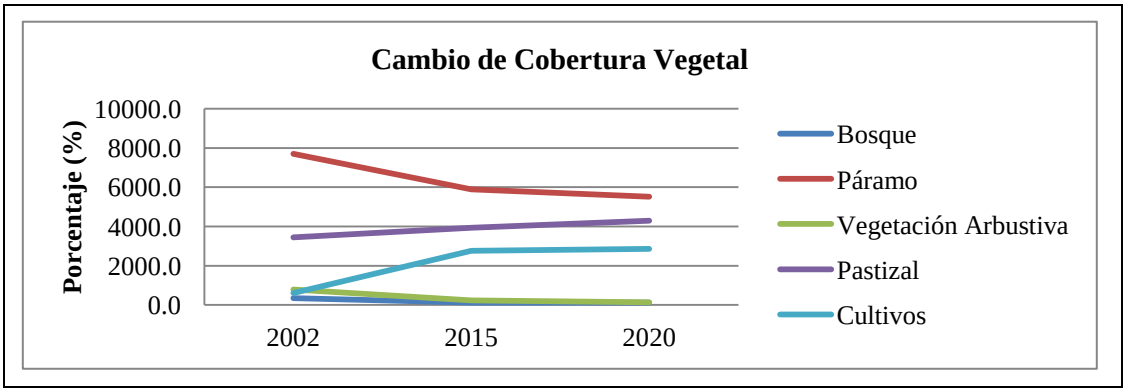


Figura 4.3. Cambio de cobertura vegetal en diferentes años

Elaboración: La Autora

El R^2 indicó la relación entre el tiempo y porcentaje de la variable, siendo de 0,7 a 1 aceptable. La cobertura bosque presenta un R^2 = 0,7608, como se indica en la figura 4.4, la cual indica que el bosque está decreciendo.

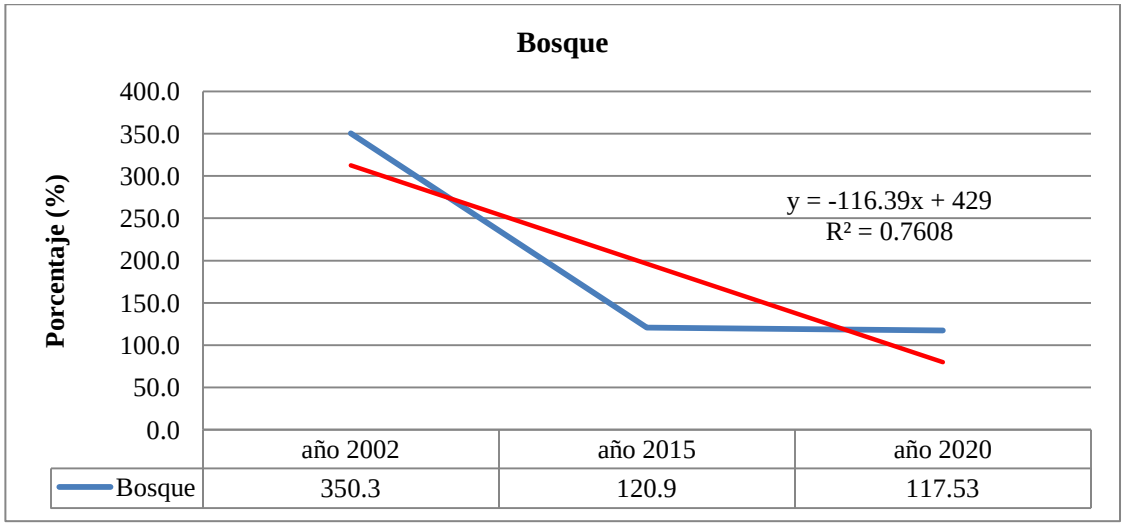


Figura 4.4. Línea de tendencia para la cobertura bosque

Elaboración: La Autora

La cobertura páramo presenta un R^2 = 0,8727, como se indica en la figura 4.5, la cual se caracteriza porque está decreciendo.

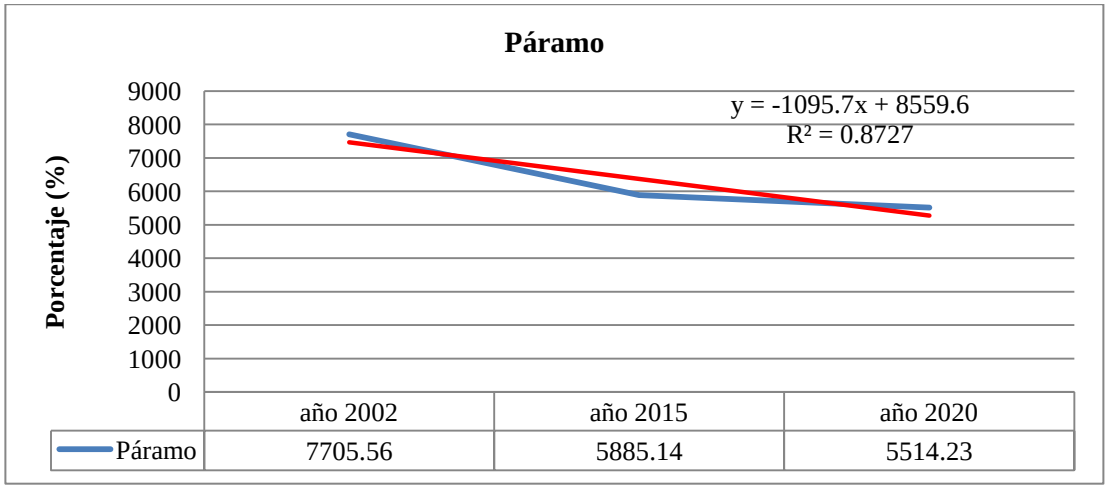


Figura 4.5. Línea de tendencia para la cobertura páramo

Elaboración: La Autora

La cobertura vegetación arbustiva presenta un R^2 = 0,8546, como se indica en la figura 4.6, la cual se caracteriza porque está decreciendo.

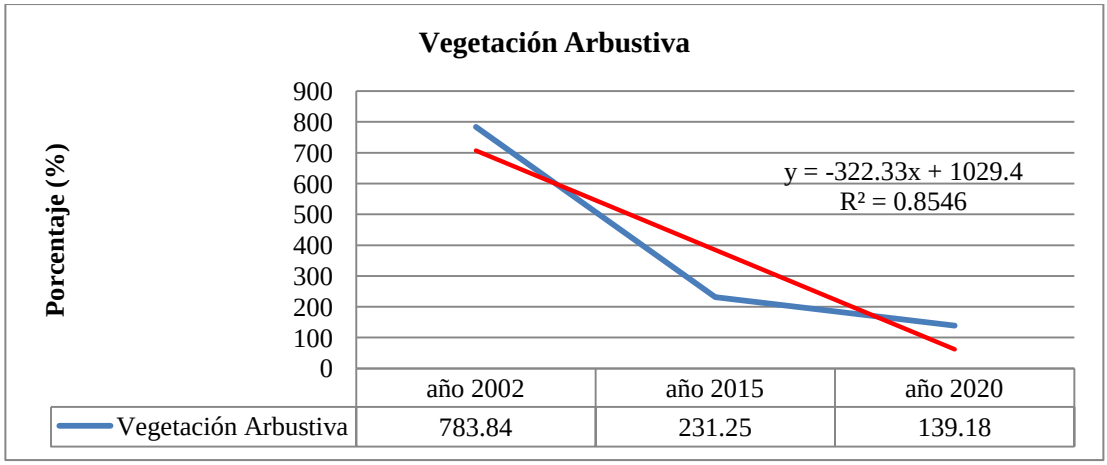


Figura 4.6. Línea de tendencia para la cobertura vegetación arbustiva

Elaboración: La Autora

La cobertura pastizal presenta un R^2 = 0,9932, como se indica en la figura 4.7, la cual se caracteriza porque está creciendo.

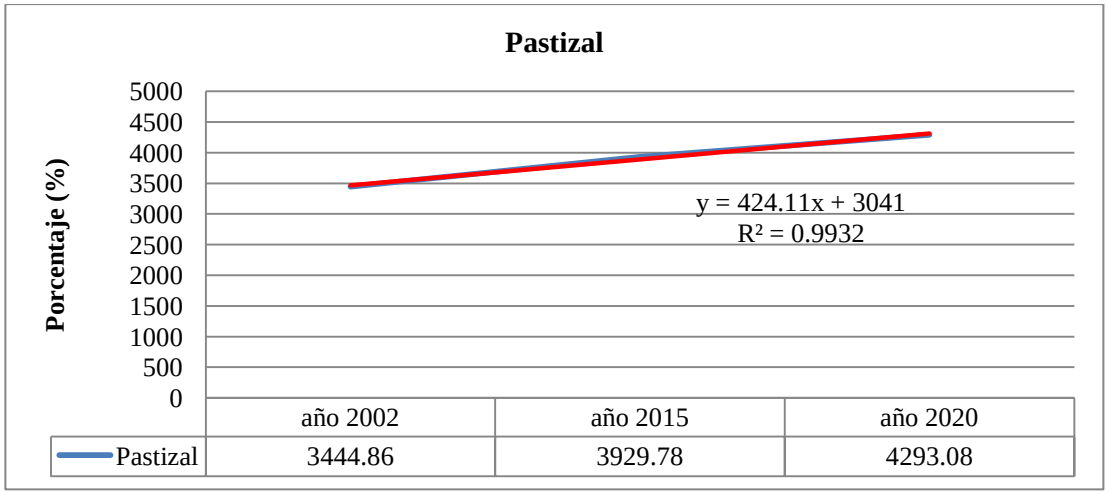


Figura 4.7. Línea de tendencia para la cobertura pastizal

Elaboración: La Autora

La cobertura pastizal presenta un R^2 = 0,7834, como se indica en la figura 4.8, la cual se caracteriza porque está creciendo.

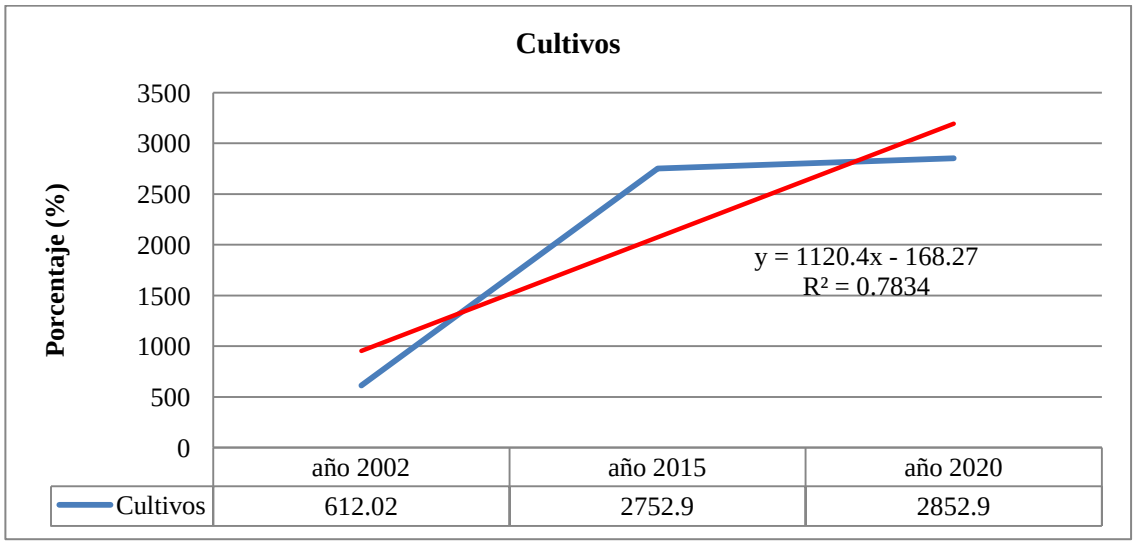


Figura 4.8. Línea de tendencia para la cobertura cultivo

Elaboración: La Autora

Discusión

En el estudio de variación de la Cobertura Vegetal y Estado Actual del Cerro Imbabura aplicando herramientas GIS con fines de declaración de área protegida en Ecuador (Aldás, 2013), se utilizó imágenes de los sensores HVR (ASTER) y ETM (LANDSAT) del servidor de la NASA (www.earthexplorer.org). Las imágenes ASTER y LANDSAT corresponden al path row 10 60, con fechas de toma LANDSAT (1991,1999) y ASTER (2007); se escogieron estas fechas de toma debido a la disponibilidad de imágenes para la cobertura del área de estudio. Dentro de este estudio se obtuvo las siguientes coberturas vegetales: bosque tuvo un decrecimiento entre los años 1991 y 1999 de 51,29%, para el periodo 1999 y 2007 el bosque decreció en un 6,83%, las áreas agropecuarias tuvieron en el periodo 1991-1999 un incremento de 14,82%, en el segundo periodo el incremento fue de 0,63%, ya que los pobladores viven de la agricultura.

En el área de estudio de la microcuenca del río Bobo las imágenes que se disponían fueron del 2002, 2015, 2020, la cobertura vegetal bosque se redujo entre el año 2002 y el 2015 en un 1,76%, entre el 2015 y el 2020 la disminución fue en un 0,03% fue

reemplazado por pastizal y cultivos, los cultivos aumentaron entre los años 2002 y 2015, siendo el porcentaje 16,38%, para los años 2015 y 2020 el aumento fue de 0,77%, esta cobertura aumentó puesto que los cultivos necesitaban más superficie, hasta alcanzar pendientes montañosas; estos resultados se asemejan a los encontrados por (Aldás, 2013) en el Cerro Imbabura, debido a que existe un cambio en las coberturas vegetales: bosque y cultivos aumentando y disminuyendo respectivamente.

4.3. Aplicación del modelo SWAT

Se generaron tres escenarios pasado (2002), presente (2015) y futuro (2020), usándose como variables de entrada cobertura vegetal, clima y tipo de suelo, en cada una de dichas variables fue necesario realizar una base de datos que requiere el modelo SWAT, dando como resultado caudales y sedimentos.

4.3.1. PASADO 2002

La calibración y validación para el año 2002 no fue posible debido a que no se tenía datos para este año en la estación hidrométrica Bobo planta eléctrica Tulcán, para este escenario se tomó en cuenta como datos de entrada al SWAT la cobertura vegetal del año 2002, el clima con sus distintas variables fueron usados los datos del periodo 2000 – 2006, en cuanto al tipo de suelo se ingreso a la base de datos inceptisol, mollisol, histosol. Los datos obtenidos por SWAT fueron: Caudal (Water Yield), Sedimentos (Sed Yield), estos datos están en mm y para compararlos con los datos reales tomados en campo para la validación fue necesario transformar la variable caudal a m^3/s, tomando en cuenta la superficie del área de estudio de la microcuenca del río Bobo que es de 13068,72 ha. Además, se uso la precipitación mensual para ver en qué meses hay aumento o disminución de caudal y sedimentos. En el cuadro 4.11 se observan los datos de caudales para cada mes, en la figura 4.9 se detallan los caudales, en el cuadro 4.12 se presentan los datos de sedimentos y en la figura 4.10 se aprecia la precipitación con los sedimentos.

Cuadro 4.12. Caudales Simulados SWAT (2002)

Mes	Caudal (mm)	Caudal (m^3/s)	Precipitación (mm)
Enero	34,15	1,67	76,33
Febrero	20,88	1,13	54,86
Marzo	35,12	1,71	87,38
Abril	33,99	1,71	73,09
Mayo	20,59	1,00	42,87
Junio	18,09	0,91	28,36
Julio	20,54	1,00	31,04
Agosto	11,23	0,55	16,84
Septiembre	12,89	0,65	26,93
Octubre	26,62	1,30	70,11
Noviembre	50,42	2,54	185,10
Diciembre	40,84	1,99	126,68

Elaboración: La Autora

Los valores de caudal en mm junto con los valores de precipitación en mm se graficaron en Excel para verificar en que meses hay mayor o menor cantidad de caudal. Según la figura 4.9 se observó que en el mes de agosto existió menor cantidad de precipitación de 16,84 mm y menor caudal 11,23 mm, en el mes de noviembre hubo mayor precipitación 185,10 mm y el caudal aumentó significativamente 50,42 mm debido a que el suelo se está erosionado y no hay infiltración de agua en el suelo, entonces esta agua mediante escorrentía va directo hacia el río Bobo. El caudal anual fue de 27,11 mm o 1,35m^3/s.

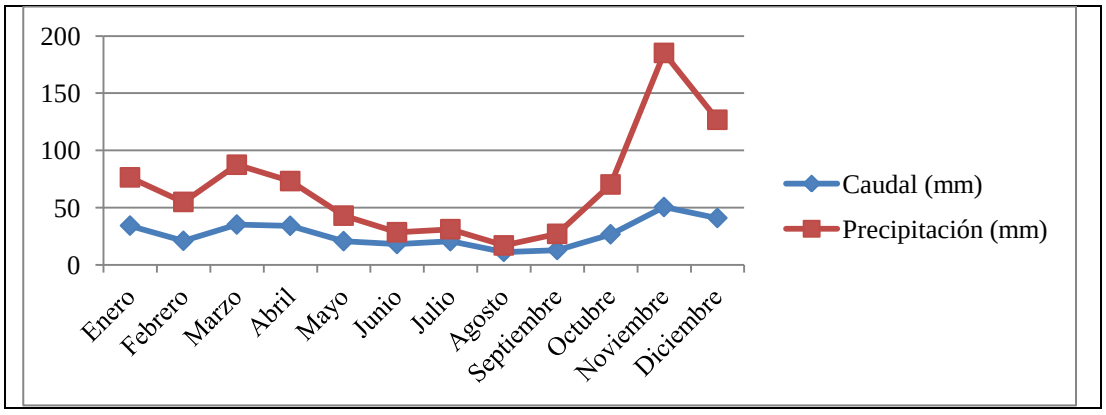


Figura 4.9. Relación Precipitación – Caudal (2002)

Elaboración: La Autora

En el cuadro 4.13 se detallan los sedimentos en Ton/ha y este valor es más claro para relacionarlo con la precipitación que está en mm, ya que en el mes de noviembre es en donde hay mayor precipitación y también hay mayor concentración de sedimentos 0,22 Ton/ha.

Cuadro 4.13. Sedimentos Simulados SWAT (2002)

Mes	Sedimentos (Ton/ha)	Precipitación (mm)
Enero	0,09	76,33
Febrero	0,07	54,86
Marzo	0,04	87,38
Abril	0,04	73,09
Mayo	0,04	42,87
Junio	0,01	28,36
Julio	0,01	31,04
Agosto	0,01	16,84
Septiembre	0,05	26,93
Octubre	0,04	70,11
Noviembre	0,22	185,10
Diciembre	0,08	126,68
Promedio	0.06	68.30

Elaboración: La Autora

Para interpretar los resultados de la producción de sedimentos y determinar el estado de erosión de la microcuenca ha sido necesario comparar los datos simulados por el modelo con el Aporte de Sedimentos y Erosión Actual establecido por el CIDIAT, 1995, el cual se muestra en el cuadro 4.14. Se procede a sacar un promedio de los valores mostrados en el cuadro 4.13, se puede decir que la microcuenca del río Bobo tiene una producción de sedimentos igual a 0,05833 Ton/ha/día. Transformando este valor a m^3/km^2/año, utilizando el valor de 1,3 gr/cm^3 como la densidad aparente promedio de los suelos volcánicos, se obtiene que el aporte de sedimentos de la microcuenca del río Bobo es de 580,26 m^3/km^2/año, y de acuerdo a los datos del CIDIAT, 1995, esta microcuenca tiene una erosión mediana, lo cual es preocupante ya que estos van aumentando y es necesario medidas de remediación.

Cuadro 4.14. Aporte de Sedimentos y Erosión Actual

Aporte de Sedimentos $m^3/km^2/año$	Erosión Actual
0 – 100	Insignificante
100 – 200	Muy Baja
200 – 500	Baja
500 – 1000	Mediana
1000 – 2000	Alta
> 2000	Muy Alta

Fuente: CIDIAT, 1995

En la figura 4.10 en el mes de noviembre la cantidad de sedimentos aumenta siendo 0,22 Ton/ha y la precipitación fue de 185,10 mm, a mayor precipitación más cantidad de sedimentos, debido a que hubo mayor escorrentía.

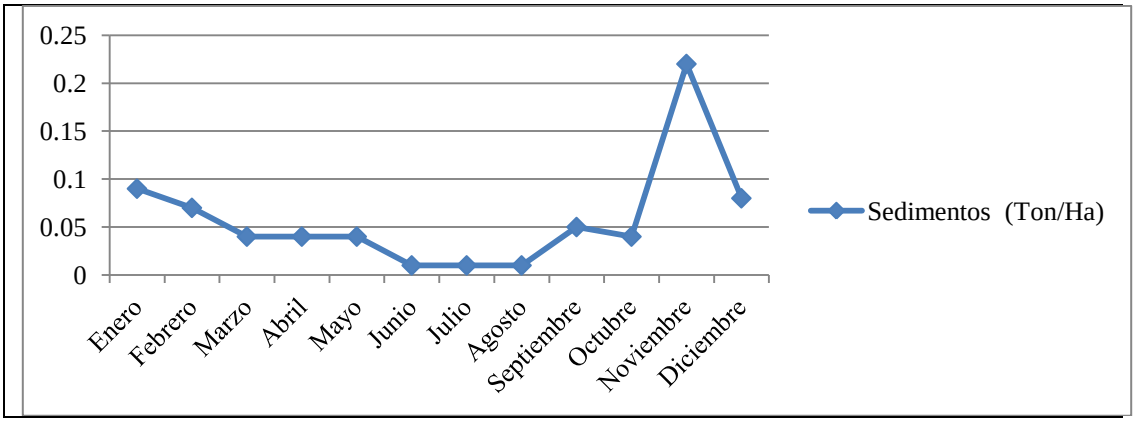


Figura 4.10. Sedimentos (2002)

Elaboración: La Autora

4.3.2. ACTUAL 2015

-Calibración

Los datos simulados fueron calculados en SWAT, la calibración se la hizo usando los datos de la estación hidrométrica Bobo Planta Eléctrica Tulcán que se muestran en el cuadro 4.15. Se puede ver que en los meses de agosto, septiembre y octubre hubo una variación entre los caudales simulados y calibrados debido a que para la región interandina se provee probabilidades significativas de lluvias bajo las normales en la zona sur (Cañar, Azuay y Loja) y en el norte (Pichincha, Imbabura y Carchi). Según

el VIII FORO CLIMÁTICO NACIONAL 2015 PERSPECTIVAS CLIMÁTICAS TRIMESTRE AGOSTO – OCTUBRE 2015 (Indanza, 2015).

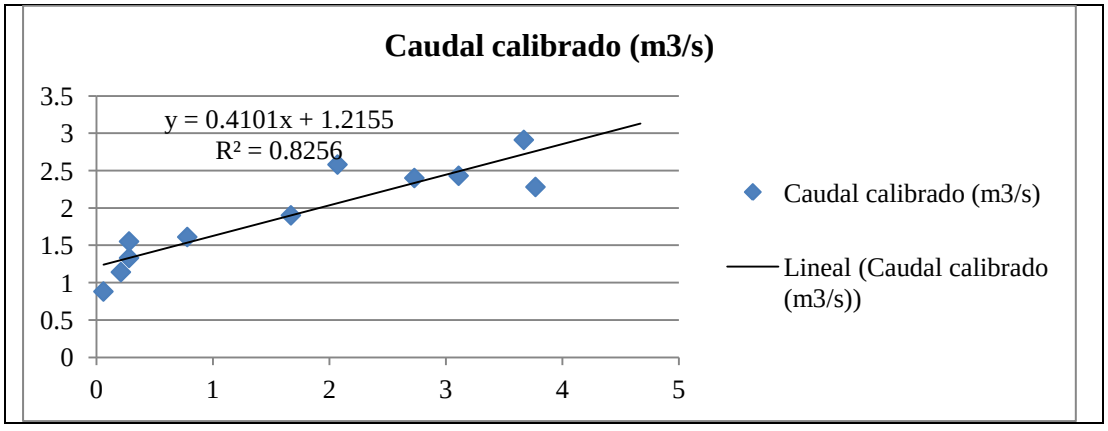
Cuadro 4.15. Caudales Simulados y Calibrados SWAT (2015)

Mes	Caudal simulado (m^3/s)	Caudal calibrado (m^3/s)
Enero	4,67	2,71
Febrero	3,77	2,28
Marzo	3,11	2,43
Abril	2,73	2,40
Mayo	1,67	1,90
Junio	0,78	1,61
Julio	0,28	1,33
Agosto	0,21	1,14
Septiembre	0,06	0,88
Octubre	0,28	1,55
Noviembre	2,07	2,58
Diciembre	3,67	2,91

Elaboración: La Autora

En el cuadro 4.15 se compararon los caudales simulados con los medidos en la estación hidrométrica Bobo Planta Eléctrica Tulcán, cabe resaltar que los datos simulados se corrieron en el SWAT y se los calibraron en SWAT CUP, los valores simulados comparándolos con los calibrados se ajustan en un 82,28% a los valores reales, siendo éste el nivel de confiabilidad asignado en este estudio, además se realizó el modelo de regresión lineal en el cual se obtuvo R^2 igual a 0,8256 lo cual significa que la confiabilidad es de un 82,56%, como se observa en el cuadro 4.16.

Cuadro 4.16. Regresión lineal para el caudal calibrado



Elaboración: La Autora

Analizando la figura 4.11 y relacionándolo con el diagrama ombrotérmico se puede determinar que el caudal de salida de la microcuenca tiene relación con el agua que ingresa a través de las precipitaciones. Esta figura nos indica que los datos de caudal simulado se ajustan a los datos calibrados, ya que estos se equilibran en todos los meses y tienen relación con los datos medidos en campo.

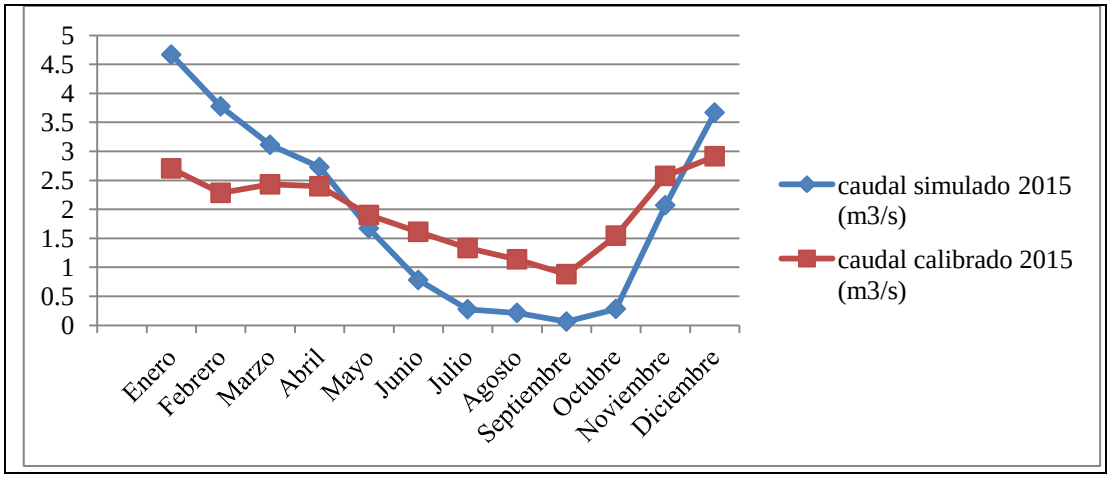


Figura 4.11. Calibración del Modelo SWAT (2015)

Elaboración: La Autora

-Validación

- **Fase de campo para la validación del modelo SWAT**

A continuación se indica los datos obtenidos en campo para cada punto en cuanto a caudales.

- **Estaciones Meteorológicas**

Fue necesario hacer el diagrama ombrotérmico para realizar las salidas de campo, se obtuvieron las épocas lluviosa y seca a partir de dicho diagrama de las estaciones meteorológicas San Gabriel y El Ángel. El periodo que se tomó en cuenta fue de de 13 años, en el cuadro 4.17 se aprecian los datos promedios mensuales de precipitación y temperatura del periodo 2000-2012.

Cuadro 4.17. Datos de Precipitación y Temperatura Medias Mensuales de la Estación San Gabriel y El Ángel

Meses	San Gabriel		El Ángel	
	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Precipitación(mm)	Temperatura (°C)
Enero	93,3	12,8	98,8	12,1
Febrero	95,3	12,8	80,5	12
Marzo	95,2	12,8	103,2	12,2
Abril	116,0	13,1	99,6	12,5
Mayo	91,4	12,8	57,2	12,5
Junio	63,6	12,1	41,2	11,9
Julio	48,9	11,8	26,5	11,7
Agosto	36,0	11,6	17,9	11,5
Septiembre	39,5	11,8	29,2	11,9
Octubre	102,3	12,8	93,4	12,3
Noviembre	113,4	13,0	105,2	12,1
Diciembre	121,2	12,9	119,7	12
Promedio	84,7	12,5	72,7	12,1

Fuente: INAMHI, 2015

Se realizó el diagrama ombrotérmico de la estación San Gabriel y El Ángel usando los datos de precipitación y temperatura del periodo 2000-2012, como se muestra en la figura 4.12. Se determinó que la época lluviosa en la estación meteorológica San Gabriel perteneció a los meses de abril y mayo, la época seca a los meses de agosto y septiembre. En la estación meteorológica El Ángel, la época lluviosa fue en marzo y abril, la época seca fue en los meses de julio y agosto.

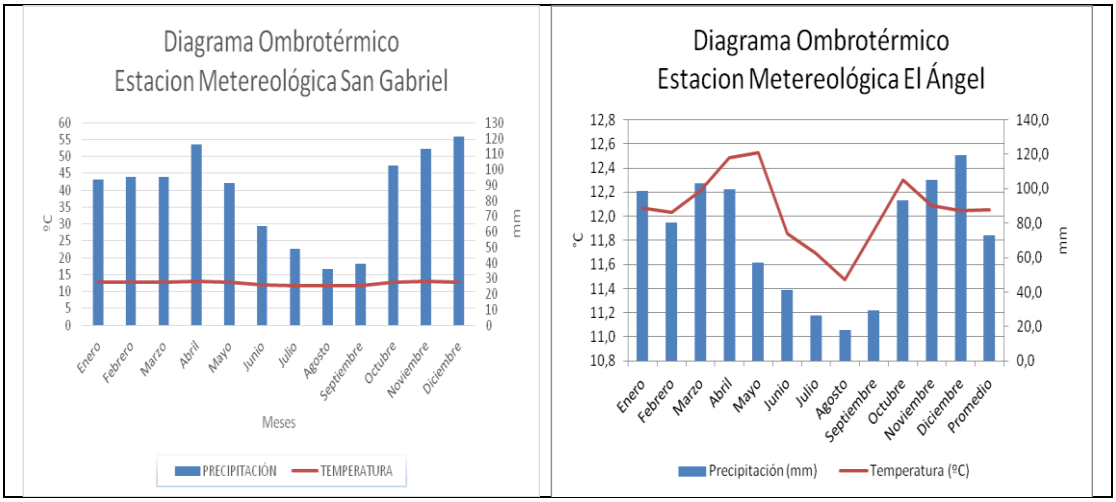


Figura 4.12. Diagrama Ombrotérmico Estaciones San Gabriel y El Ángel

Elaboración: La Autora

- **Caudal de Agua**

Los puntos de aforo tomados para la medición de caudales en época lluviosa y época seca se encuentran en el mapa de ubicación de caudales (Anexo 1, Mapa 14). A continuación se describen los aforos en cada punto de medición de caudales.

- ✓ **Aforos**

Los aforos que se realizaron en cada punto fueron medidos dos veces tanto en la época lluviosa en el mes mayo y dos en la época seca en el mes de septiembre. En la figura 4.13 se observa la medición de caudal tanto con el molinete como con el método del flotador.

Figura 4.13. Medición de Caudal

Elaboración: La Autora

En el cuadro 4.18 se puede ver los datos de caudales tanto para época lluviosa como para seca y mediante qué métodos se midieron.

Cuadro 4.18. Datos de caudales

Puntos de Aforo	Método del flotador	Molinete	
	Época lluviosa	Época lluviosa	Época seca
P1 Captación Central Hidroeléctrica La Playa		3,31 m^3/s	1,84m^3/s
P2 Sección río Bobo Central Hidroeléctrica La Playa		2,33 m^3/s	1,43m^3/s
P3 Embalse San Miguel de Car	1,73 m^3/s		1,33m^3/s
P4 Captación Santa Bárbara de Car	0,75 m^3/s		0,33m^3/s
P5 Sección río Bobo Santa Bárbara de Car		1,26m^3/s	0,50m^3/s

Elaboración: La Autora

Fuente: Trabajo de campo, 2015

- **Punto 1**

Ubicado en la captación de la Central Hidroeléctrica la Playa ((Anexo 3 (época lluviosa, Fotografía 1) (época seca, Fotografía 6)), además se puede verificar los datos obtenidos en campo en el Anexo 2, Ficha 1. Usando el molinete electrónico (medidor de velocidad de corriente), se obtuvo un caudal de 3,31 m^3/s o 3313 l/s en época lluviosa y en la época seca el caudal fue de 1,84 m^3/s o 1841 l/s, véase cuadro 4.19.

Cuadro 4.19. Coordenadas UTM y Datos Hidráulicos y Geométricos Punto 1

Punto	**X**		**Y**		**Z(msnm)**				
1	862959		10089490		2820				
Datos	**Época lluviosa**				**Caudal Promedio**	**Época seca**				**Caudal Promedio**
	Primera	Fecha de aforo	Segunda	Fecha de aforo	Total	Primera	Fecha de aforo	Segunda	Fecha de aforo	Total
Caudal	3,09m^3/s 3090 l/s		3,53m^3/s 3536 l/s		3,31 m^3/s 3313 l/s	1,63 m^3/s 1639 l/s		2,04m^3/s 20421l/s		1,84m^3/s 1841l/s
Área mojada	4,42m^2	17/05 / 2015	4,42m^2	31/05 / 2015	4,42 m^2	2,73m^2	21/09/ 2015	2,92m^2	29/09 / 2015	2,83 m^2
Velocidad	0,7m/s		0,8m/s		0,75m/s	0,6 m/s		0,7 m/s		0,65 m/s
Tiempo	60s		60s		60s	60s		60s		60s
Profundidad	1,44m		1,44m		1,44m	0,89m		0,95m		0,92m
Distancia	3,07m		3,07m		3,07m	3,07m		3,07m		3,07m

Elaboración: La Autora

Como se muestra en la figura 4.14 el área mojada en época lluviosa fue de 4,42m^2 y en época seca fue de 2,83 m^2, en el Anexo 2, Ficha 2 se muestran las profundidades.

Figura 4.14. Área Mojada a) Época Lluviosa b) Época Seca Punto 1

Elaboración: La Autora

- **Punto 2**

Situado en la Central Hidroeléctrica la Playa en una sección del río Bobo ((Anexo 3 (época lluviosa, Fotografía 2) (época seca, Fotografía 7)), obteniéndose un caudal de 2,33 m^3/s o 2337 l/s en época lluviosa y el caudal de la época seca fue de 1,43 m^3/s o 1438 l/s, lo cual se midió con la ayuda del molinete electrónico, los datos se pueden ver en el cuadro 4.20. Los datos obtenidos en campo se encuentran en el Anexo 2, Ficha 3.

Cuadro 4.20. Coordenadas UTM, Datos Hidráulicos y Geométricos Punto 2

Punto	**X**					**Y**				**Z(msnm)**
2	862976					10089617				2846
	Época lluviosa				**Caudal Promedio**	**Época seca**				**Caudal Promedio**
Datos	Primera	Fecha de aforo	Segunda	Fecha de aforo	Total	Primera	Fecha de aforo	Segunda	Fecha de aforo	Total
Caudal	2,04m^3/s 2041 l/s		2,63m^3/s 2633 l/s		2,33 m^3/s 2337 l/s	1,24 m^3/s 1249 l/s		1,62 m^3/s 1626 l/s		1,43m^3/s 1438 l/s
Área mojada	11,34m^2	24 /05/ 2015	11,44 m^2	31/05 / 2015	11,39 m^2	7,81 m^2	21/09 / 2015	8,13 m^2	29/09/ 2015	7,97 m^2
Velocidad	0,18m/s		0,23m/s		0,2m/s	0,16m/s		0,20m/s		0,18m/s
Tiempo	15s		15s		15s	15s		15s		15s
Profundidad promedia	1,06m		1,07m		1,06m	0,73m		0,76m		0,75m
Distancia	10,70m		10,70m		10,70m	10,70m		10,70m		10,70m

Elaboración: La Autora

En la figura 4.15 se observa el área mojada en época lluviosa fue de 11,39 m^2 y en época seca fue de 7,97 m^2, en el Anexo 2, Ficha 4 se aprecia las profundidades en dichas épocas.

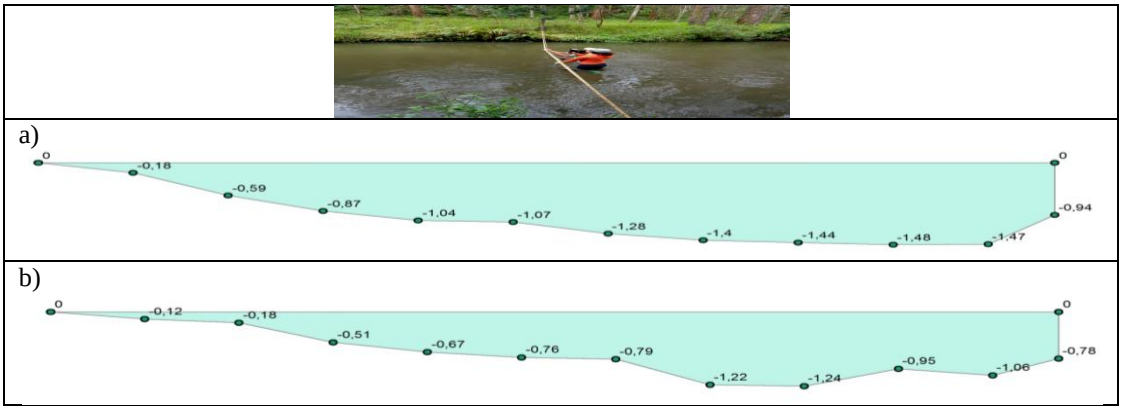


Figura 4.15. Área Mojada a) Época Lluviosa b) Época Seca Punto 2

Elaboración: La Autora

- **Punto 3**

Este punto se situó en el Embalse de la Central Hidroeléctrica San Miguel de Car ((Anexo 3 (época lluviosa, Fotografía 3) (época seca, Fotografía 8)), presentando un caudal de 1,73 m^3/s o 1730 l/s en época lluviosa y se realizó una medición del caudal con molinete y la otra medición se la hizo mediante el método del flotador y un caudal de 1,33 m^3/s o 1328 l/s en época seca, los datos se aprecian en el cuadro 4.21. Los datos en campo se pueden ver en el Anexo 2, Ficha 5.

Cuadro 4.21. Coordenadas UTM, Datos Hidráulicos y Geométricos Punto 3

Punto	**X**			**Y**				**Z(msnm)**		
3	855723			10089086				3110		
Datos	**Época lluviosa**				**Caudal Promedio**	**Época seca**				**Caudal Promedio**
	Primera	Fecha de aforo	Segunda	Fecha de aforo	Total	Primera	Fecha de aforo	Segunda	Fecha de aforo	Total
Caudal	1,6m^3/s 1600 l/s	17/05 / 2015	1,86m^3/s 1861 l/s	24/05 / 2015	1,73 m^3/s 1730 l/s	1,28m^3/s 1280l/s	21/09 / 2015	1,37m^3/s 1376 l/s	29/09 / 2015	1,33m^3/s 1328 l/s
Área mojada	8m^2		7,92m^2		7,96 m^2	6,4m^2		6,9m^2		6,7m^2
Velocidad	0,2m/s		0,235m/s		0,21m/s	0,2m/s		0,2m/s		0,2m/s
Tiempo	60s		19,08s		39,54s	60s		60s		60s
Profundidad	2m		1,98m		1,99m	1,60m		1,72m		1,66m
Distancia	4m		4m		4m	4m		4m		4m

Elaboración: La Autora

En la figura 4.16 se observa el área mojada en época lluviosa fue de 7,96 m^2 y en época seca fue de 6,7 m^2, cada una de las profundidades se encuentran en el Anexo 2, Ficha 6.

Figura 4.16. Área Mojada a) Época Lluviosa b) Época Seca Punto 3

Elaboración: La Autora

- **Punto 4**

Localizado en la captación de Santa Bárbara de Car ((Anexo 3 (época lluviosa, Fotografía 4) (época seca, Fotografía 9)), en el Anexo 2, Ficha 7 están los datos recogidos en campo, cuyo caudal en época lluviosa fue de 0,751 m^3/s o 751 l/s y se midió mediante el método del flotador y el molinete y en época seca fue de 0,333 m^3/s o 333 l/s como se detalla en el cuadro 4.22.

Cuadro 4.22. Coordenadas UTM, Datos Hidráulicos y Geométricos Punto 4

Punto	**X**					**Y**				**Z(msnm)**
4	854676					10085747				3088
Datos	**Época lluviosa**				**Caudal Promedio**	**Época seca**				**Caudal Promedio**
	Primera	Fecha de aforo	Segunda	Fecha de aforo	Total	Primera	Fecha de aforo	Segunda	Fecha de aforo	Total
Caudal	0,746m^3/s 746 l/s	24/05/2015	0,756 m^3/s 756 l/s	31/05/2015	0,751 m^3/s 751 l/s	0,324m^3/s 324 l/s	21/09/2015	0,342m^3/s 342 l/s	31/09/2015	0,333m^3/s 333 l/s
Área mojada	4,23m^2		3,78 m^2		4 m^2	3,24m^2		3,43m^2		3,34 m^2
Velocidad	0,176m/s		0,2m/s		0,188 m/s	0,1m/s		0,1m/s		0,1m/s
Tiempo	21,48s		60s		40,74s	1,20s		60s		30,6s
Profundidad	1,57m		1,40m		1,48m	1,20m		1,27m		1,24m
Distancia	2,70m		2,70m		2,70m	2,70m		2,70m		2,70m

Elaboración: La Autora

La figura 4.17 muestra el área mojada en época lluviosa fue de 4 m^2 y en época seca fue de 3,34 m^2, el Anexo 2, Ficha 8 se detallan cada una de las profundidades.

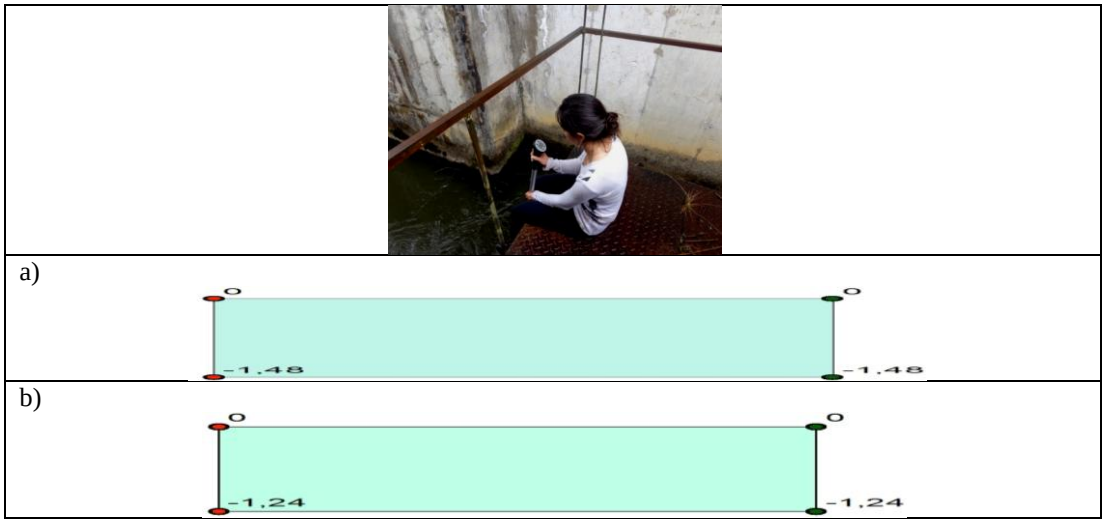


Figura 4.17. Área Mojada a) Época Lluviosa b) Época Seca Punto 4

Elaboración: La Autora

- **Punto 5**

Este punto se ubicó en una sección del río Bobo en Santa Bárbara de Car (Anexo 3 (época lluviosa, Fotografía 5) (época seca, Fotografía 10)), en el Anexo 2, Ficha 9 se encuentran los datos de campo, el caudal en época lluviosa el caudal fue de 1,26 m^3/s o 1269 l/s y en la época seca el caudal fue de 0,50 m^3/s o 501,2 l/s como se observa en el cuadro 4.23.

Cuadro 4.23. Coordenadas UTM, Datos Hidráulicos y Geométricos Punto 5

Punto	**X**					**Y**				**Z(msn)**
5	854707					10085719				2986
Datos	**Época lluviosa**				**Caudal Promedio**	**Época seca**				**Caudal Promedio**
	Primera	Fecha de aforo	Segunda	Fecha de aforo	Total	Primera	Fecha de aforo	Segunda	Fecha de aforo	Total
Caudal	1,17m^3/s 1179 l/s	24/05 /2015	1,36 m^3/s 1360 l/s	31/05 /2015	1,26 m^3/s 1269 l/s	0,43m^3/s 437,9 l/s	21/09 /2015	0,56m^3/s 564,4 l/s	31/09/ 2015	0,50m^3/s 501,2l/s
Área mojada	4,36m^2		5,04 m^2		4,7 m^2	2,58m^2		3,14m^2		2,86m^2
Velocidad	0,27m/s		0,27m/s		0,27 m/s	0,17m/s		0,18m/s		m/s
Tiempo	15s		15s		15s	15s		15s		15s
Profundidad	0,39m		0,45m		0,42m	0,23m		0,28m		0,26m
Distancia	11,20m		11,20m		11,20m	11,20m		11,20m		11,20m

Elaboración: La Autora

La figura 4.18 muestra que el área mojada en época lluviosa fue 4,7 m^2 y en época seca fue de 2,86 m^2, en el Anexo 2, Ficha 10 se indican las profundidades.

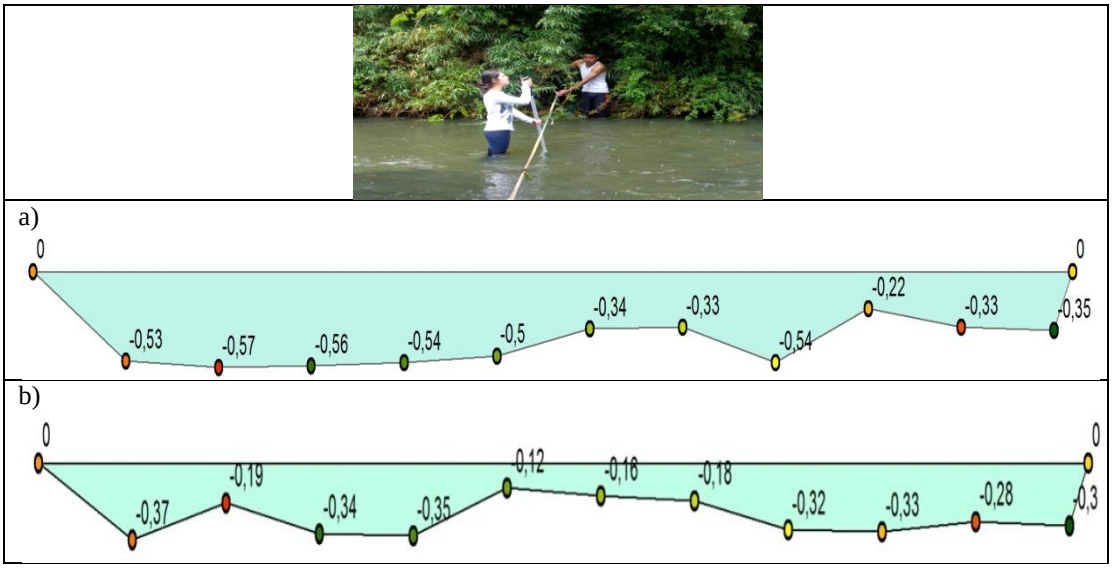


Figura 4.18. Área Mojada a) Época Lluviosa b) Época Seca Punto 5

Elaboración:: La Autora

- **Medición de Infiltración**

Las pruebas de infiltración se las realizaron usando el infiltrómetro y se las hizo una vez en época lluviosa y una en época seca, en cultivos de papa súper chola, vegetación arbustiva, pasto natural y pasto cultivado. En el cuadro 4.24 se indican los puntos donde se hicieron las pruebas de infiltración y en la figura 4.19 se observa el equipo empleado para mediciones de infiltración en campo.

Cuadro 4.24. Sitios de Pruebas de Infiltración

Centrales hidroeléctricas	Tipo de vegetación	Coordenadas UTM		
		X	Y	Z (msnm)
La Playa	Pasto natural	862980	10089479	2900
San Miguel de Car	Pasto cultivado	855826	10088997	3068
	Vegetación arbustiva	855999	10088945	3017
	Cultivo papa súper chola	855968	10089033	3029

Elaboración: La Autora

Fuente: Trabajo de campo, 2015

Figura 4.19. Medición de Infiltración en Pasto Cultivado

Elaboración: La Autora

En el Anexo 1, Mapa 15, se ubicó los puntos en dónde se realizaron las pruebas de infiltración de acuerdo a cada textura, a continuación se presenta cada punto en el cual se realizó la prueba de infiltración:

- **Infiltración Punto 1**

La medición de infiltración en este punto fue cerca a la captación de la Central Hidroeléctrica la Playa (Anexo3, Fotografía 11), se midió dicha infiltración en pasto natural con horizonte oscuro hasta 90cm y con una pendiente **de 7%,** cuyo suelo pertenece al orden Mollisol, presenta una textura moderadamente gruesa, para estas mediciones se uso el infiltrómetro el cual nos permitió tomar datos de una forma precisa, dándonos la lectura en milímetros (mm) en un tiempo de 15 minutos, como se observa en el cuadro 4.25.

Cuadro 4.25. Prueba de Infiltración Punto 1

Punto	X	Y	Z(msnm)
1	862980	10089479	2900
Velocidad de infiltración (mm/min)			
12mm/15min			

Elaboración: La Autora

- **Infiltración Punto 2**

Este punto está ubicado cerca al Embalse de la Central Hidroeléctrica San Miguel de Car (Anexo 3, Fotografía 12), tiene un suelo que pertenece al orden Inceptisol, con

una textura media, se midió la infiltración en pasto cultivado, con una pendiente mayor al 70%, los datos obtenidos se observan en el cuadro 4.26.

Cuadro 4.26. Prueba de Infiltración Punto 2

Punto	X	Y	Z(msnm)
2	855826	10088997	3068
Velocidad de infiltración (mm/min)			
26mm/15min			

Elaboración: La Autora

- **Infiltración Punto 3**

Este punto está ubicado cerca al Embalse de la Central Hidroeléctrica San Miguel de Car (Anexo 3, Fotografía 13), se midió la infiltración en vegetación arbustiva, el suelo pertenece al orden Inceptisol, y la textura es media, con una pendiente mayor al 70%, con la ayuda del infiltrómetro se midió la infiltración, los datos obtenidos se pueden apreciar en el cuadro 4.27.

Cuadro 4.27. Prueba de Infiltración Punto 3

Punto	X	Y	Z(msnm)
3	855999	10088945	3017
Velocidad de infiltración (mm/min)			
8mm/ 15 min			

Elaboración: La Autora

- **Infiltración Punto 4**

Este punto está ubicado cerca al Embalse de la Central Hidroeléctrica San Miguel de Car (Anexo 3, Fotografía 14), se midió la infiltración en cultivo de papa súper chola, con una pendiente mayor al 70%, el suelo pertenece al orden Inceptisol y la textura es media, los datos obtenidos se detallan en el cuadro 4.28.

Cuadro 4.28. Prueba de Infiltración Punto 4

Punto	X	Y	Z(msnm)
4	855968	10089033	3029
Velocidad de infiltración (mm/min)			
10mm / 15min			

Elaboración: La Autora

En el cuadro 4.29 se observa que en las coberturas vegetales pasto cultivado y cultivos, la infiltración de agua en el suelo es menor, por ende en el infiltrómetro la velocidad de infiltración aumenta, debido a que el suelo es compacto, en comparación al pasto natural y vegetación arbustiva, la infiltración de agua en el suelo es mayor, por ende en el infiltrómetro la velocidad de infiltración disminuye.

Cuadro 4.29. Prueba de Infiltración Punto 4

Punto	**Sitio**	**Velocidad de infiltración (mm/min)**
1	Pasto natural	12mm/15min
2	Pasto cultivado	26mm/15min
3	Vegetación arbustiva	8mm/ 15 min
4	Cultivo (papa súper chola)	10mm / 15min

Elaboración: La Autora

Para la validación del modelo SWAT se usó la información de los datos tomados en campo, estos puntos están dentro del área en donde se encuentra el punto de salida de la estación hidrométrica Bobo Planta Eléctrica Tulcán como se observa en el cuadro 4.30.

Cuadro 4.30. Validación del Modelo SWAT (2015)

Mes	Caudal medido estación hidrométrica (m3/s)	P1 Caudal m3/s	P2 Caudal m3/s	P3 Caudal m3/s	P4 Caudal m3/s	P5 Caudal m3/s
Enero	2,71					
Febrero	2,28					
Marzo	2,43					
Abril	2,40					
Mayo	1,90	3,31	2,3	1,73	0,75	1,26
Junio	1,61					
Julio	1,33					
Agosto	1,14					
Septiembre	0,88	1,84	1,43	1,33	0,33	0,50
Octubre	1,55					
Noviembre	2,58					
Diciembre	2,91					

Elaboración: La Autora

En la figura 4.20 se comparan los datos de caudales de la Estación Hidrométrica Bobo Planta Eléctrica Tulcán con los datos de caudales tomados en campo en cinco puntos, en el mes de Mayo correspondiente a la época lluviosa el caudal calibrado en

la estación hidrométrica Bobo Planta Eléctrica Tulcán fue de 1,90 m^3/s que se compara con el caudal medido en campo en el punto tres Embalse Central Hidroeléctrica San Miguel de Car el caudal es de 1,73 m^3/s, en el mes de Septiembre correspondiente a la época seca el caudal en el punto cinco fue de 0,50 m^3/s y el calibrado en la estación hidrométrica Bobo Planta Eléctrica Tulcán fue de 0,88 m^3/s y concluyendo que la eficacia del modelo SWAT es bastante confiable debido a que los datos obtenidos por el modelo se acercan bastante a la realidad.

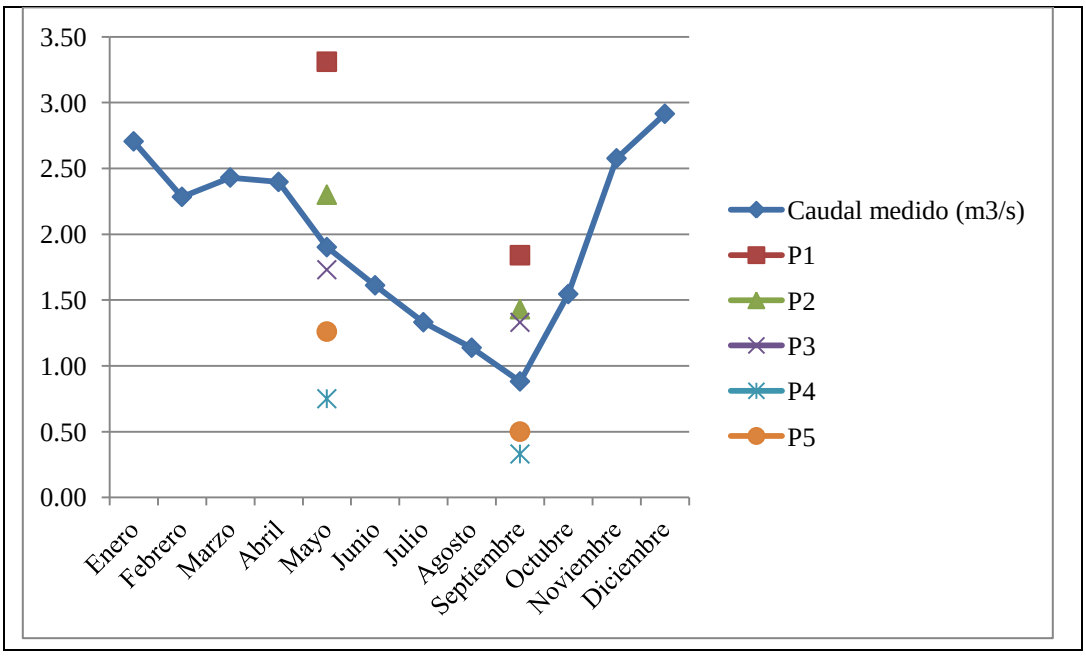


Figura 4.20. Validación del Modelo SWAT (2015)

Elaboración: La Autora

P1.- Captación de la Central Hidroeléctrica La Playa

P2.- Sección del Río Bobo Santa Bárbara de Car

P3.- Embalse Central Hidroeléctrica San Miguel de Car

P4.- Captación de Santa Bárbara de Car

P5.- Sección del Río Bobo Santa Bárbara de Car

Los resultados de sedimentos simulados SWAT (2015) corresponden al cuadro 4.30 en donde se analizan tanto los sedimentos relacionándolos con la precipitación. Como se observa en el cuadro 4.31 se pretende conocer la erosión de la microcuenca del río Bobo, se sacó un promedio de los valores mostrados en este cuadro, se puede decir que la microcuenca del río Bobo tiene una producción de sedimentos igual a 0,4525 Ton/ha/día. Transformando este valor a m^3/km^2/año, utilizando el valor de 1,3 gr/cm^3 como la densidad aparente promedio de los suelos volcánicos, se obtiene que el aporte de sedimentos de la microcuenca del río Bobo fue de 4501,45 m^3/km^2/año, y de acuerdo a los datos del CIDIAT, 1995, esta microcuenca tiene una erosión muy alta.

Cuadro 4.31. Sedimentos Simulados SWAT (2015)

Mes	Sedimentos (Ton/ha)	Precipitación (mm)
Enero	0,19	92,06
Febrero	0,09	69,75
Marzo	1,52	96,68
Abril	0,81	113,31
Mayo	0,06	53,12
Junio	0,03	65,50
Julio	0,07	60,63
Agosto	0,05	36,66
Septiembre	0,08	16,92
Octubre	0,06	102,15
Noviembre	0,92	146,97
Diciembre	1,55	199,79
Promedio	0.45	87.80

Elaboración: La Autora

En la figura 4.21 en el mes de diciembre la cantidad de sedimentos aumenta siendo 1,55 Ton/ha y la precipitación fue de 199,79 mm, evidenciando que en el mes en que más llueve hay mayor cantidad de sedimentos.

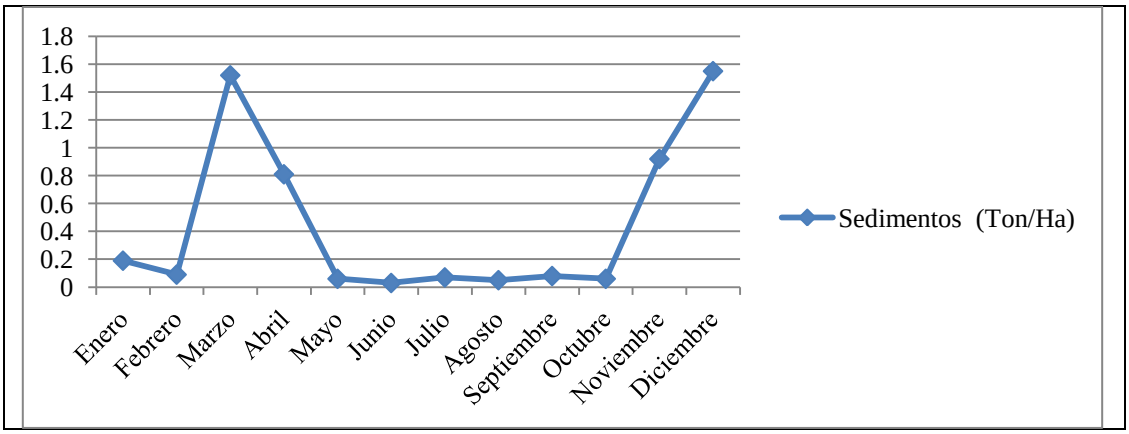


Figura 4.21. Sedimentos (2015)

Elaboración: La Autora

4.5.3. FUTURO 2020

Calibración y no hay validación

En el escenario futuro se realizó la calibración pero la validación no se hizo debido a que no se tiene datos de campo, el mapa de cobertura futura se la aprecia en el Anexo 1, Mapa 11, en el cuadro 4.32 se detallan los datos de caudales.

Cuadro 4.32. Simulación Caudal SWAT (2020)

Mes	Caudal (mm)	Caudal (m^3/s)	Precipitación (mm)
Enero	50,65	2,47	85.2
Febrero	40,28	2,18	63.34
Marzo	46,87	2,29	92.01
Abril	44,34	2,24	93.21
Mayo	33,97	1,66	58.12
Junio	29,45	1,48	47.94
Julio	24,85	1,21	45.86
Agosto	21,93	1,07	27.75
Septiembre	15,06	0,76	22.92
Octubre	28,43	1,39	87.13
Noviembre	52,76	2,66	120.32
Diciembre	55,23	2,69	163.24

Elaboración: La Autora

En la figura 4.22 se relacionan los datos de caudales simulados por el SWAT con la precipitación y se obtiene que el caudal en los meses de enero, febrero, marzo abril,

mayo, noviembre y diciembre son los meses en donde hay más cantidad de caudal y en estos meses es en donde hay mayor precipitación.

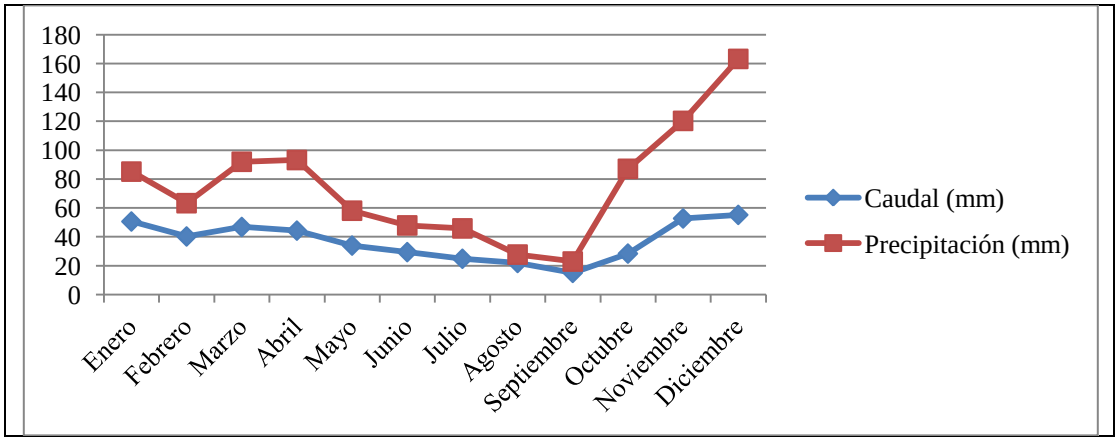


Figura 4.22. Simulación, Relación Precipitación – Caudal (2020)

Elaboración: La Autora

La calibración se la hizo usando los datos de la Estación Hidrométrica Bobo Planta Eléctrica Tulcán como indica el cuadro 4.33.

Cuadro 4.33. Calibración Caudal (2020)

Mes	Caudal (mm)	Caudal (m^3/s)	Precipitación (mm)
Enero	48,62	2,37	85.2
Febrero	39,26	2,12	63.34
Marzo	44,21	1,16	92.01
Abril	41,97	2,12	93.21
Mayo	31,19	1,52	58.12
Junio	27,65	1,39	47.94
Julio	22,74	1,11	45.86
Agosto	19,05	0,93	27.75
Septiembre	13,64	0,69	22.92
Octubre	26,37	1,29	87.13
Noviembre	50,65	2,55	120.32
Diciembre	53,36	2,60	163.24

Elaboración: La Autora

En la figura 4.23 se graficaron los caudales y se los compararon con la precipitación ajustándose los datos y observándose que en los meses en donde hubo un aumento de caudal fue en octubre, noviembre y diciembre.

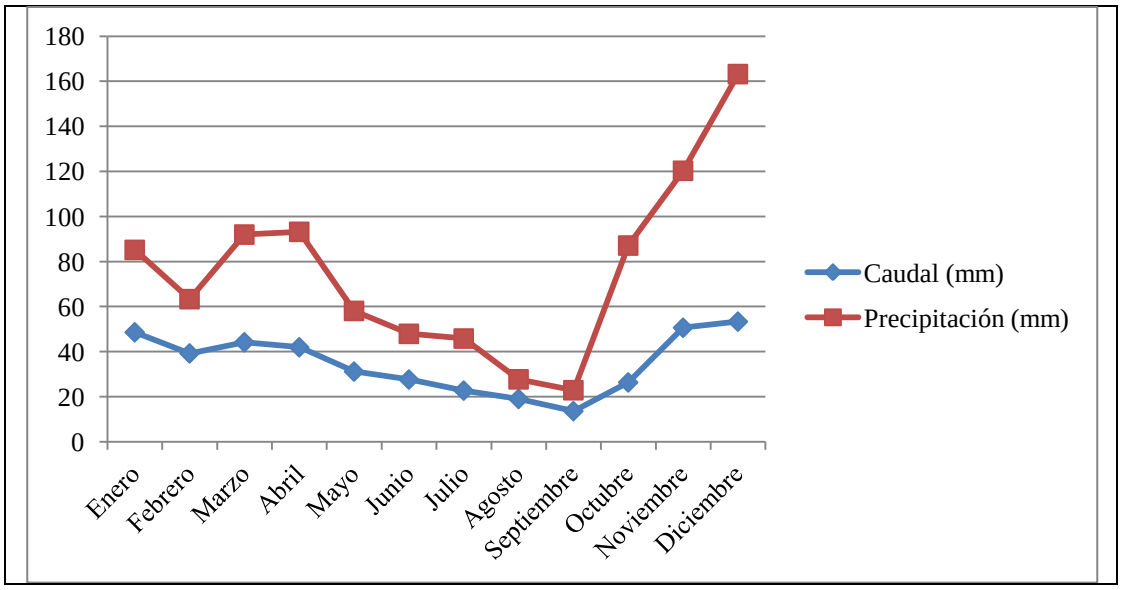


Figura 4.23. Calibración, Relación Precipitación – Caudal (2020)

Elaboración: La Autora

Los datos de sedimentos para el 2020 se detallan en el cuadro 4.34.

Cuadro 4.34. Simulación Sedimentos (2020)

Mes	Sedimentos (Ton/ha)	Precipitación (mm)
Enero	0,22	85.2
Febrero	0,13	63.34
Marzo	1,64	92.01
Abril	0,92	93.21
Mayo	0,14	58.12
Junio	0,08	47.94
Julio	0,17	45.86
Agosto	0,09	27.75
Septiembre	0,12	22.92
Octubre	0,15	87.13
Noviembre	1,21	120.32
Diciembre	1,76	163.24

Elaboración: La Autora

En la figura 4.24 se aprecia la diferencia del aumento o disminución de sedimentos, siendo el mes de marzo, abril, noviembre, diciembre los meses en donde más acumulación de sedimentos existe, de acuerdo al CIDIAT, 1995 el promedio de sedimentos es de 0,5525 Ton/ha siendo 5496,25 m^3/km^2/año representando una erosión muy alta.

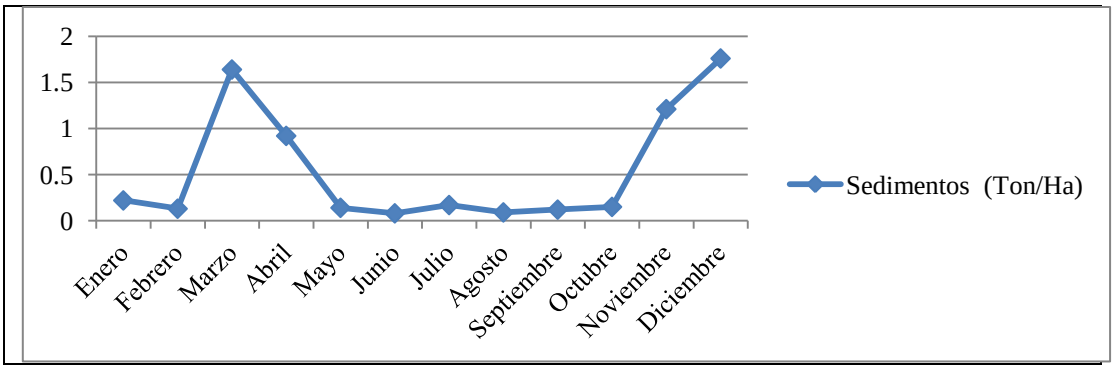


Figura 4.24. Sedimentos (2020)

Elaboración: La Autora

Se compararon los caudales de los años 2002, 2015, 2020, es decir, pasado, actual y futuro como se observa en el cuadro 4.35 en donde se aprecia que los caudales del 2002 fueron menores en comparación al 2015 y 2020, en el 2015 aumentaron y en el 2020 se fueron reduciendo, debido a que la cobertura vegetal tuvo mayor extensión en el año 2002, lo cual significa que el caudal fue menor en este año, ya que se infiltraba mayor agua en el suelo y la escorrentía era mucho menor, evitando que el agua vaya hacia el cauce.

Cuadro 4.35. Datos de Caudales para el año 2002, 2015, 2020

Mes	Caudal (m^3/s) 2002	Caudal (m^3/s) 2015	Caudal (m^3/s) 2020
Enero	1,67	2,71	2,37
Febrero	1,13	2,28	2,12
Marzo	1,71	2,43	2,16
Abril	1,71	2,40	2,12
Mayo	1,00	1,90	1,52
Junio	0,91	1,61	1,39
Julio	1,00	1,33	1,11
Agosto	0,55	1,14	0,93
Septiembre	0,65	0,88	0,69
Octubre	1,30	1,55	1,29
Noviembre	2,54	2,58	2,55
Diciembre	1,99	2,91	2,60
Promedio	1,35	1,98	1,74

Elaboración: La Autora

En la figura 4.25 se observa que los caudales pertenecientes al 2002 son menores en comparación a los caudales del 2015 y 2020, teniendo similitud en el mes de

Noviembre, ya que la precipitación fue equilibrada en este mes.

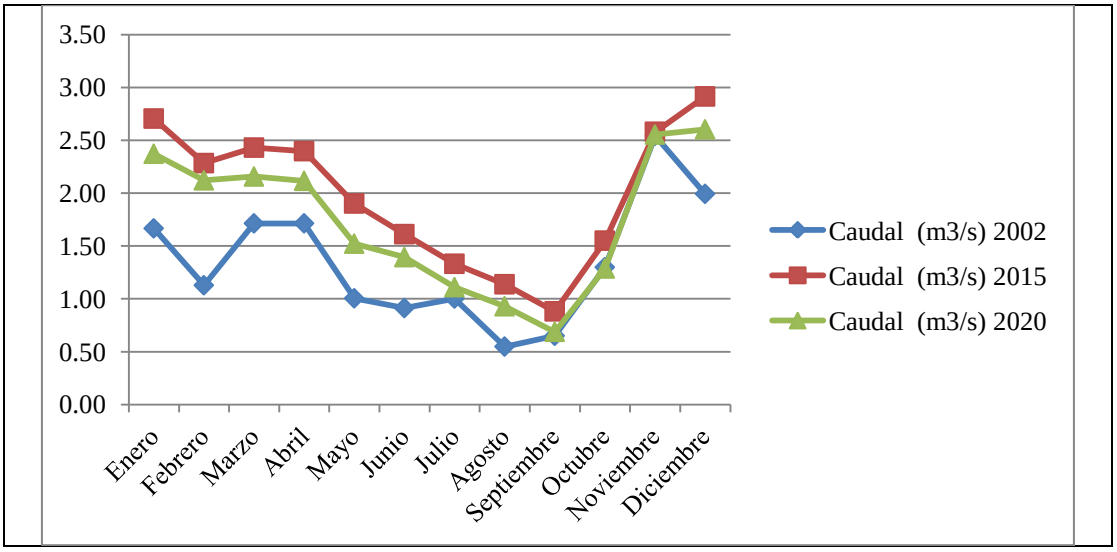


Figura 4.25. Comparación de Caudales para el año 2002, 2015, 2020

Elaboración: La Autora

En el cuadro 4.36, figura 4.26 se observa que a mayor caudal menor cobertura vegetal, debido a que en el año 2015 se evidencia reducción de páramo, bosque, vegetación arbustiva y al no haber dicha cobertura, el agua de lluvia va directo al río (Acuña, 2012).

Cuadro 4.36. Comparación de caudales

Mes	Año 2002	Año 2015
Enero	1.67	2.71
Febrero	1.13	2.28
Marzo	1.71	2.43
Abril	1.71	2.40
Mayo	1.00	1.90
Junio	0.91	1.61
Julio	1.00	1.33
Agosto	0.55	1.14
Septiembre	0.65	0.88
Octubre	1.30	1.55
Noviembre	2.54	2.58
Diciembre	1.99	2.91
Promedio	1.35	1.98

Elaboración: La Autora

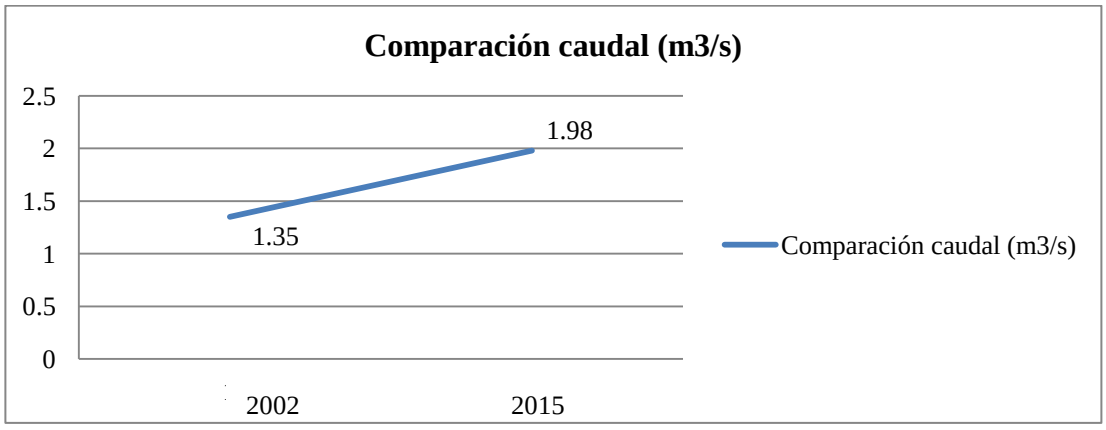


Figura 4.26. Caudales 2002, 2015

Elaboración: La Autora

En el cuadro 4.37, figura 4.27 se observa que a menor precipitación menor caudal, ya que a largo plazo el caudal reducirá pues la precipitación será menor, además menciona un estudio sobre calentamiento global (Seris, 2016), que hasta el 2050 el aumento de temperatura en 1 °C será igual a la reducción de caudal de agua en un 20%.

Cuadro 4.37. Comparación de caudales

Mes	Año 2015	Precipitación (mm)	Año 2020	Precipitación (mm)
Enero	2.71	92.06	2.37	85.2
Febrero	2.28	69.75	2.12	63.34
Marzo	2.43	96.68	2.16	92.01
Abril	2.40	113.31	2.12	93.21
Mayo	1.90	53.12	1.52	58.12
Junio	1.61	65.5	1.39	47.94
Julio	1.33	60.63	1.11	45.86
Agosto	1.14	36.66	0.93	27.75
Septiembre	0.88	16.92	0.69	22.92
Octubre	1.55	102.15	1.29	87.13
Noviembre	2.58	146.97	2.55	120.32
Diciembre	2.91	199.79	2.60	163.24
Promedio	1.98	87.80	1.74	75.59

Elaboración: La Autora

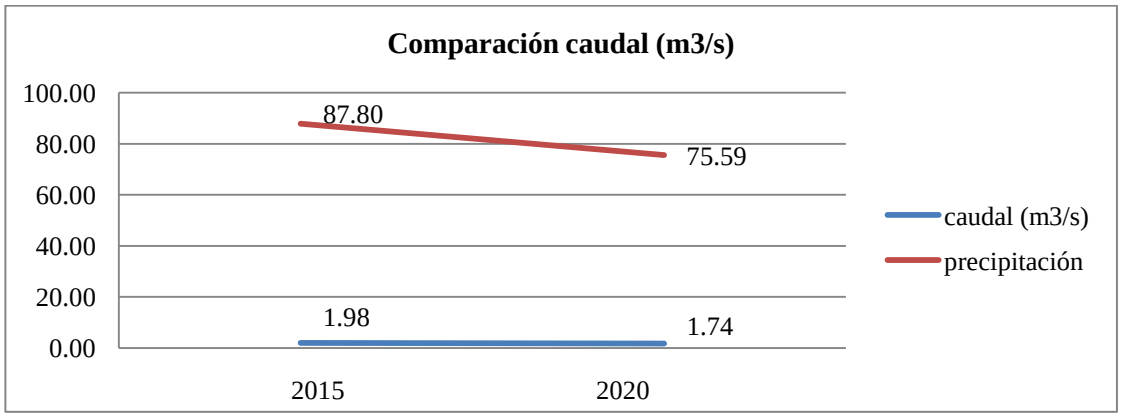


Figura 4.27. Caudales 2015, 2020

Elaboración: La Autora

En el cuadro 4.38, figura 4.28 se detallan los datos de sedimentos para los distintos años, observándose que en el mes de marzo, abril, noviembre, diciembre es en donde hay más precipitación y por ende mayor escorrentía existiendo mayor arrastre de sedimentos, a medida que la cobertura vegetal disminuye a través del tiempo, se observa que los sedimentos aumentan, debido a que al no haber cobertura, las raíces de los árboles que son las que mantienen las partículas de suelo en su lugar, se desprenden y las tasas de pérdida de suelo aumentan significativamente (Coppin & Richards, 1990).

Cuadro 4.38. Datos de Sedimentos para los años 2002, 2015, 2020

Mes	Sedimentos (Ton/ha) 2002	Sedimentos (Ton/ha) 2015	Sedimentos (Ton/ha) 2020
Enero	0.09	0.19	0.22
Febrero	0.07	0.09	0.13
Marzo	0.04	1.52	1.64
Abril	0.04	0.81	0.92
Mayo	0.04	0.06	0.14
Junio	0.01	0.03	0.08
Julio	0.01	0.07	0.17
Agosto	0.01	0.05	0.09
Septiembre	0.05	0.08	0.12
Octubre	0.04	0.06	0.15
Noviembre	0.22	0.92	1.21
Diciembre	0.08	1,55	1,76
Promedio	0.06	0.45	0.55

Elaboración: La Autora

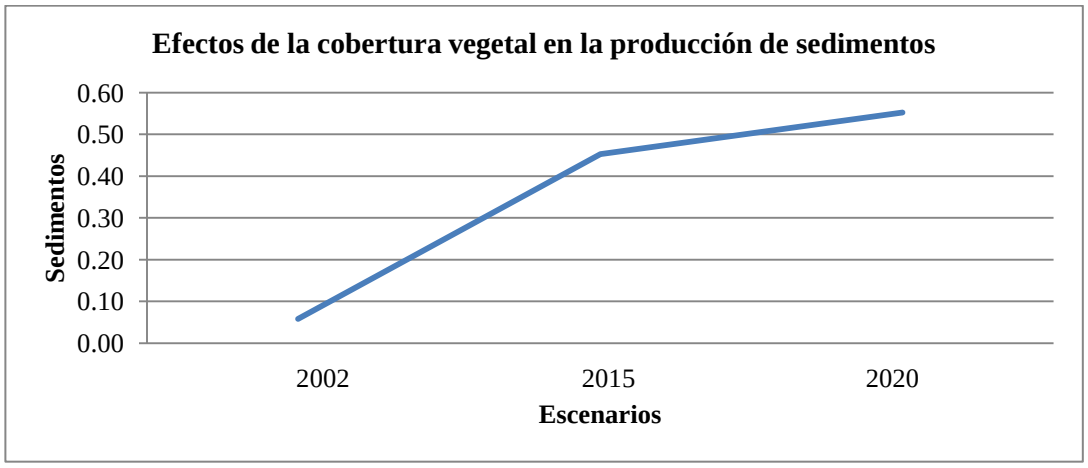


Figura 4.28. Sedimentos en 2002, 2015, 2020

Elaboración: La Autora

Discusión

- **Caudal**

El estudio realizado mediante la Aplicación del Modelo Hídrico SWAT 99.2 para el análisis del impacto de la deforestación y del avance de la frontera agrícola en la producción y almacenamiento del recurso agua en las partes alta y media de la Subcuenca del Río San Pedro" en Quito (Valenzuela, 2005) se lo hizo en varias condiciones de uso de suelo, en la primera se ingresó el mapa de cobertura vegetal y uso de suelo de 1956 y en la segunda se ingresó del 2000, posteriormente se diseñaron tres escenarios, en el primero dentro del mapa actual se eliminó toda la cobertura vegetal existente, reemplazándose por cultivo de papa o pasto, en el segundo es una proyección de 40 años de cómo se encontraría el uso del suelo y cobertura vegetal, el tercero es un escenario futuro en el cuál el páramo a decrecido levemente y se ha reforestado. En este estudio se realizaron cinco simulaciones, pero cabe recalcar que la calibración solo se la hizo para un escenario actual debido a la disponibilidad de información, en el cuadro 4.39 se observa los datos de caudales para el año 1956, 2000, y los tres escenarios.

Cuadro 4.39. Datos de Caudales Mensuales para el Escenario 3, Escenario 2, Escenario1, 1956, 2000

Mes	Año 1956 (m^3/s)	Año 2000 (m^3/s)	Escenario 1 (m^3/s)	Escenario 2 (m^3/s)	Escenario 3 (m^3/s)
Enero	3,16	3,53	4,21	3,88	3,58
Febrero	4,72	5,39	6,27	5,85	5,38
Marzo	7,24	7,96	9,14	8,53	8,10
Abril	7,25	7,98	9,05	8,55	8,23
Mayo	5,82	6,43	7,25	6,87	6,65
Junio	3,35	3,76	4,25	4,01	3,91
Julio	2,20	2,36	2,60	2,47	2,33
Agosto	1,70	1,80	1,99	1,90	1,96
Septiembre	2,19	2,41	2,81	2,62	2,54
Octubre	2,58	2,96	3,63	3,30	3,05
Noviembre	3,97	4,34	5,09	4,71	4,39
Diciembre	3,58	3,95	4,69	4,34	4,04

Fuente: Valenzuela, 2005

Los caudales aumentaron en el escenario 1 debido a que en este escenario se reemplazo toda la cobertura vegetal existente por cultivo de papa y pasto, lo cual significa que hubo mayor erosión en el suelo, menor infiltración y mayor escorrentía.

En el presente estudio en la microcuenca del río Bobo se compararon los caudales de los años 2002, 2015, 2020, es decir, pasado, actual y futuro como se observa en el cuadro 4.40 en donde se aprecia que el caudal del 2002 fue menor en comparación al 2015, en el 2020 volvieron a disminuir, debido a que la cobertura vegetal tuvo mayor extensión en el año 2002, lo cual significa que el caudal fue menor en este año, ya que existe mayor reserva de agua en la cobertura vegetal, pero en el año 2015 los caudales aumentan a corto plazo debido a que la cobertura vegetal se reduce, en el 2020 el caudal vuelve a reducirse ya que la cobertura vegetal se reduce aun más.

Cuadro 4.40. Datos de Caudales para el año 2002, 2015, 2020

Mes	Caudal (m^3/s) 2002	Caudal (m^3/s) 2015	Caudal (m^3/s) 2020
Enero	1,67	2,71	2,37
Febrero	1,13	2,28	2,12
Marzo	1,71	2,43	2,16
Abril	1,71	2,40	2,12
Mayo	1,00	1,90	1,52
Junio	0,91	1,61	1,39
Julio	1,00	1,33	1,11
Agosto	0,55	1,14	0,93
Septiembre	0,65	0,88	0,69
Octubre	1,30	1,55	1,29
Noviembre	2,54	2,58	2,55
Diciembre	1,99	2,91	2,60
Promedio	1,34	1,98	1,74

Elaboración: La Autora

El estudio de Aplicación del Modelo Hídrico SWAT 99.2 para el análisis del impacto de la deforestación y del avance de la frontera agrícola en la producción y almacenamiento del recurso agua en las partes alta y media de la Subcuenca del Río San Pedro" en Quito (Valenzuela, 2005), tiene mucha relación con la presente investigación en la microcuenca del río Bobo, ya que se observa que en los años en donde hubo más cobertura vegetal (bosque, vegetación arbustiva), el caudal fue menor y en los años que se redujo la cobertura vegetal, el caudal aumento debido a que existió menor cobertura vegetal, en el escenario futuro en donde el páramo y el bosque se reduce aun más, el caudal también va reduciéndose.

- **Sedimentos**

En el estudio de Aplicación del Modelo SWAT en la Subcuenca del río Ambato con un periodo de años de 1985 - 2004 (Proaño, 2006), se interpretaron los resultados de la producción de sedimentos y determinaron el estado de erosión de la Subcuenca mediante el Aporte de Sedimentos y Erosión Actual establecido por el Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial-CIDIAT, 1995, al realizar un promedio de los sedimentos simulados por el SWAT se puede decir que la Subcuenca tiene una producción de sedimentos igual a 0,0053 Ton/ha/día. Transformando este valor a m^3/km^2/año, utilizando el valor de 1.3 gr/cm^3 como la

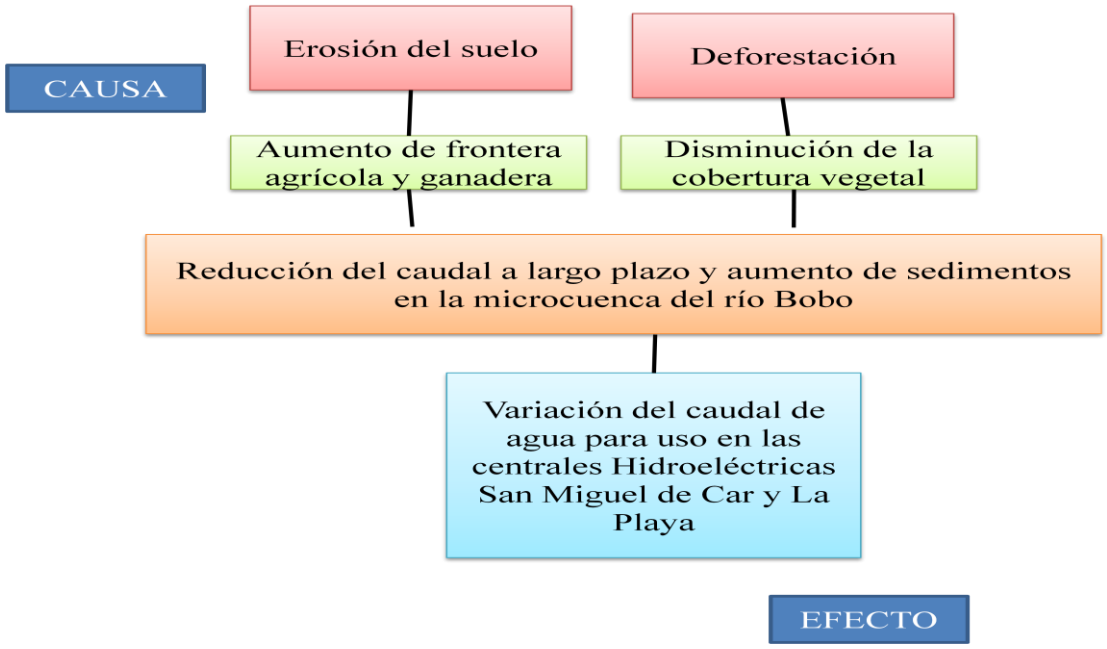
densidad aparente promedio de los suelos volcánicos, se obtiene que el aporte de sedimentos de la Subcuenca del Río Ambato es de 148,339 m^3/km^2/año, que corresponde a la categoría Muy Baja.

En la microcuenca del río Bobo para el año 2002 tuvo una producción de sedimentos igual a 0,05833 Ton/ha/día. Transformando este valor a m^3/km^2/año, utilizando el valor de 1,3 gr/cm^3 como la densidad aparente promedio de los suelos volcánicos, se obtiene que el aporte de sedimentos de la microcuenca del río Bobo es de 580,26 m^3/km^2/año, y de acuerdo a los datos del CIDIAT, 1995 esta microcuenca tiene una **erosión mediana**, para el año 2015 tiene una producción de sedimentos igual a 0,4525 Ton/ha/día y en m^3/km^2/año es de 4501,45 m^3/km^2/año, y de acuerdo a los datos del CIDIAT, 1995 esta microcuenca tiene una **erosión muy alta**, para el 2020 el promedio de sedimentos es de 0,5525 Ton/ha/día siendo 5496,25 m^3/km^2/año, representando una **erosión muy alta**, lo cual es preocupante ya que estos van aumentando y es necesario medidas de remediación. Los resultados de la microcuenca en comparación al estudio de la Subcuenca discrepan, ya que en el río Ambato presenta grandes extensiones de páramos que actualmente se encuentran bien conservados, y la erosión es baja, en el río Bobo la erosión es alta ya que la extensión de páramo, bosque están reduciéndose.

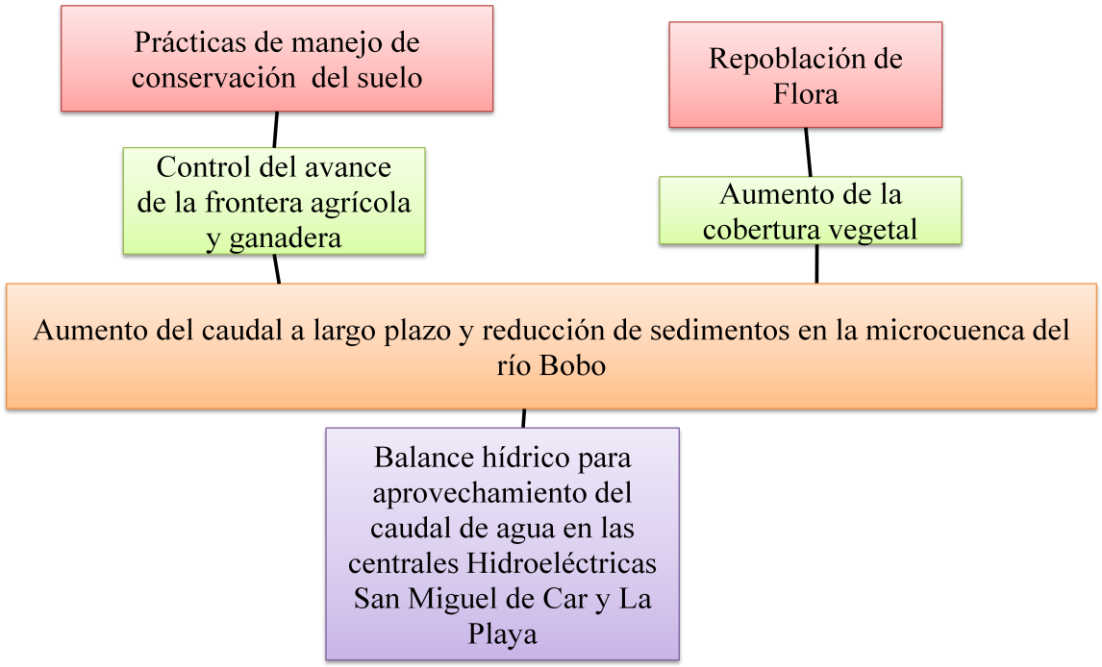
4.4. PROPUESTA DE MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO

Para estructurar la propuesta de manejo se procedió a realizar el árbol de problemas para identificar el problema central que existe en la microcuenca del río Bobo, con sus respectivas causas en la parte superior y sus efectos en la parte inferior, luego se realizo el árbol de objetivos transformando el árbol de problemas en positivo, seguidamente se hizo un FODA, también una matriz con sus respectivos proyectos.

4.4.1. ÁRBOL DE PROBLEMAS



4.4.2. ÁRBOL DE OBJETIVOS



4.4.3. FODA PROPUESTA MANEJO DEL RECURSO HIDRICO

DESARROLLO:

El FODA permite visualizar las acciones internas y externas del territorio, a fin de potenciar y minimizar las situaciones favorables y desfavorables, o reducir su impacto, en el cuadro 4.41 de detalla los puntos positivos y negativos dentro del área de estudio.

Cuadro 4.41. FODA de la microcuenca del río Bobo

	POSITIVO	**NEGATIVO**
ANÁLISIS INTERNO	**FORTALEZAS** • Disponibilidad del recurso agua. • Existencia de organización social a nivel de GAD parroquial. • Existencia de bosque nativo y pajonal en la parte alta de la cuenta.	**DEBILIDADES** • Aumento de la extensión agrícola y ganadera en la parte alta de la microcuenca. • Aumento del arrastre de sedimentos en el cauce del río Bobo. • El caudal de agua aumenta a corto plazo debido a que la infiltración de agua en el suelo se reduce significativamente, causada por las actividades antrópicas.
ANÁLISIS EXTERNO	**OPORTUNIDADES** • Participación del Gobierno Provincial del Carchi (GPC) en la ejecución de proyectos de intervención en la microcuenca del río Bobo. • Convenios interinstitucionales con la Universidad Estatal del Carchi para desarrollar proyectos de investigación.	**AMENAZAS** • Escasa financiación y apoyo técnico para el desarrollo socioeconómico de la población de la microcuenca. • Reducción de relictos de bosque nativo ocasionado por las actividades antrópicas. • Eutrofización de los embalses y reservorio de las centrales Hidroeléctricas San Miguel de Car y La Playa. • Ocurrencia de deslizamientos en las vías que aumenta el aporte de sedimentos en los drenajes menores (quebradas).

Elaboración: La Autora

4.4.5. Programas

Los datos obtenidos dieron como resultado conocer el problema con los recursos hídricos siendo las variables a analizar la producción de agua, producción de

sedimentos, permitiendo incorporar programas y proyectos para implementar acciones encaminadas a solucionar el problema en la microcuenca del río Bobo.

Se calificó a cada proyecto usando la metodología de Modelos de puntuación emitida por la (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, s/f) de acuerdo a este método se utilizan ponderaciones por objetivo y puntajes de cada proyecto. Los niveles de ponderación son: 100: interés mayor de ejecución – 75: interés medio de ejecución – 40: interés bajo de ejecución – 0: sin interés de ejecución, los números restantes valores intermedios como se muestra en el cuadro 4.42.

Cuadro 4.42. Valores de ponderación en la priorización de proyectos

Priorización	Objetivo cumplido en un plazo	Ponderación
100-76	Corto plazo	Mayor interés
75-41	Mediano plazo	Interés medio
40-1	Largo plazo	Interés bajo
0	Largo plazo	Sin interés

Elaboración: La Autora

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe, s/f

Los proyectos están enmarcados dentro del plan nacional del buen vivir en el objetivo 7, el cual trata de garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global como principal lineamiento. A cada proyecto se calificó y priorizó de acuerdo al orden de interés de ejecución como se indica en el cuadro 4.43.

Cuadro 4.43. Priorización de proyectos

Variable	Programa	Proyecto	Nivel de ponderación	Priorización
Producción de agua y sedimentos	Programa de conservación del recurso hídrico	Proyecto de conservación del páramo y vegetación arbustiva	80	Primero
		Proyecto de conservación del recurso hídrico	74	Segundo
Socio-organizativo	Programa de participación activa a través de la parte social	Proyecto de educación ambiental	70	Tercero

Elaboración: La Autora

- ✓ **Proyecto I: Conservación del Páramo y Vegetación Arbustiva**

Los páramos constituyen el almacenamiento de agua, son reservorios de agua es por esta razón que los pobladores cercanos a la microcuenca deben conservarlos, en las salidas de campo se observo claramente que los pobladores llevan al ganado hasta el páramos, ocasionando el deterioro de los mismos.

Justificación:

Con este proyecto se pretende conservar el páramo, con la siembra de especies nativas consiguiendo la reforestación de áreas afectadas, siendo las comunidades los entes encargados en apoyar y colaborar con este proyecto, debido a que se busca un uso sustentable de los páramos para las futuras generaciones.

Objetivo General

Conservar los páramos mediante la reforestación para mantener las reservas de aguas.

Objetivos Específicos

Recuperar los páramos y la vegetación nativa para preservar las esponjas de agua.

Promover a las comunidades, escuelas y colegios a mingas para la siembra de especies nativas.

Resultados Esperados

Implementar un vivero forestal con especies nativas el cual sea manejado por la comunidad.

Realizar una capacitación a las comunidades para darles a conocer la importancia del cuidad del páramo.

Actividades

Resultado 1. Implementar un vivero forestal con especies nativas el cual sea manejado por la comunidad.

Actividad 1. Adquisición de un lote de terreno y construcción del vivero comunal.

Actividad 2. Producción de plántulas con especies nativas para repoblación de flora de 50 hectáreas.

Actividad 3. Repoblación de flora en una superficie de 50 hectáreas en la parte alta de la cuenca.

Resultado 2. Realizar una capacitación a las comunidades para darles a conocer la importancia del cuidad del páramo.

Actividad 1. Capacitación a líderes comunitarios en la producción y plantación de especies nativas. En el cuadro 4.44 se resumen las actividades con sus respectivos responsables.

Cuadro 4.44. Conservación del Páramo y Vegetación Arbustiva

Actividades	**Responsables**
Resultado 1. Implementar un vivero forestal con especies nativas el cual sea manejado por la comunidad.	
Actividad 1. Adquisición de un lote de terreno y construcción del vivero comunal.	MAE MAGAP-Tulcán Gobierno Provincial del Carchi
Actividad 2. Producción de plántulas con especies nativas para repoblación de flora de 50 hectáreas.	MAE MAGAP-Tulcán Gobierno Provincial del Carchi Universidad Estatal del Carchi
Actividad 3. Repoblación de flora en una superficie de 50 hectáreas en la parte alta de la cuenca.	MAE, MAGAP-Tulcán Gobierno Provincial del Carchi Universidad Estatal del Carchi
Resultado 2. Realizar una capacitación a las comunidades para darles a conocer la importancia del cuidad del páramo.	
Actividad 1. Capacitación a líderes comunitarios en la producción y plantación de especies nativas.	MAE, MAGAP-Tulcán Gobierno Provincial del Carchi Universidad Estatal del Carchi

Elaboración: La Autora

Actividades Valoradas

En el cuadro 4.45 se muestran las actividades para este proyecto, y en cada actividad

se indica el presupuesto referencial, fuentes referenciales de financiamiento, tiempo de ejecución, medio de verificación.

Cuadro 4.45. Actividades valoradas para el proyecto de Conservación del Páramo y Vegetación Arbustiva

Actividad	Presupuesto referencial	Fuentes referenciales de financiamiento	Tiempo de ejecución (meses)	Medio de verificación
Adquisición de un lote de terreno y construcción del vivero comunal.	15000	MAE MAGAP-Tulcán Gobierno Provincial del Carchi	4	Fotografias
Producción de plántulas con especies nativas para repoblación de flora de 50 hectáreas.	20000	MAE MAGAP-Tulcán Gobierno Provincial del Carchi Universidad Estatal del Carchi	6	Fotografias
Repoblación de flora en una superficie de 50 hectáreas en la parte alta de la cuenca.	5000	MAE MAGAP-Tulcán Gobierno Provincial del Carchi Universidad Estatal del Carchi	4	Fotografias, registros e informes
Capacitación a líderes comunitarios en la producción y plantación de especies nativas.	3000	MAE MAGAP-Tulcán Gobierno Provincial del Carchi Universidad Estatal del Carchi	3	Lista de asistencia
Sub Total	43000			

Elaboración: La Autora

- ✓ **Proyecto II: Conservación del Recurso Hídrico**

Debido a que los suelos de la zona actualmente están siendo usados para cultivos, ganadería, paulatinamente se están erosionando, y la infiltración cada vez disminuye ocasionando escorrentía con arrastre de sedimentos hacia el agua, por todo esto es importante que mediante este proyecto de conservación del recurso hídrico se pueda poner mayor interés a los factores que están afectando a dicho recurso.

Justificación

Este proyecto tiene como propósito la protección y recuperación del recurso hídrico en la microcuenca del río Bobo, debido a que está siendo afectada por el aumento de la frontera agrícola, la ganadería, altera la cobertura vegetal (páramo, bosque natural) reemplazándolo por cultivos.

Objetivo General

Conservar el recurso hídrico en la microcuenca del río Bobo mediante acciones de protección para mantener o aumentar el caudal de agua.

Objetivos Específicos

Implementar talleres de capacitación y concientización acerca de la conservación y respeto de la naturaleza y el agua.

Impulsar las buenas prácticas agrícolas para evitar el desfogue directo hacia la microcuenca del río Bobo.

Resultados Esperados

Las comunidades sean un ente fuerte que cuide y proteja el recurso hídrico.

Control del uso de agroquímicos y evitar el drenaje directo a las vertientes o ríos de la microcuenca del río Bobo.

Actividades

Resultado 1. Las comunidades sean un ente fuerte que cuide y proteja el recurso hídrico.

Actividad 1. Talleres de capacitación a los pobladores de la microcuenca del río Bobo sobre los beneficios, e importancia de la conservación del recurso hídrico.

Se dará a conocer a los pobladores aledaños a la microcuenca del río Bobo de cómo deben proteger a dicha microcuenca, que riesgos hay si ellos no protegen y lo importante que es conservarla.

Actividad 2. Socialización de las leyes y reglamentos que mencionan sobre la conservación de los recursos hídricos.

Se dará a conocer leyes sobre la conservación del recurso hídrico, las cuales son: CAPÍTULO I DEFINICIÓN, INFRAESTRUCTURA Y CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS. Artículo 12.- Protección, recuperación y conservación de fuentes. El Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua y del manejo de páramos así como la participación en el uso y administración de las fuentes de aguas que se hallen en sus tierras, sin perjuicio de las competencias generales de la Autoridad Única del Agua de acuerdo con lo previsto en la Constitución y en esta Ley.

Artículo 13.- Formas de conservación y de protección de fuentes de agua. Constituyen formas de conservación y protección de fuentes de agua: las servidumbres de uso público, zonas de protección hídrica y las zonas de restricción. Los terrenos que lindan con los cauces públicos están sujetos en toda su extensión longitudinal a una zona de servidumbre para uso público, que se regulará de conformidad con el Reglamento y la Ley. Para la protección de las aguas que circulan por los cauces y de los ecosistemas asociados, se establece una zona de protección hídrica. (Constitución, 2008).

Resultado 2. Control del uso de agroquímicos y evitar el drenaje directo a las vertientes o ríos de la microcuenca del río Bobo.

Actividad 1. Capacitación a los agricultores sobre los peligros a la salud por el mal manejo de plaguicidas y productos químicos tóxicos para el ambiente.

Actividad 2. Talleres sobre el reglamento de uso y aplicación de plaguicidas y código de la salud y ley para la prevención y control de la contaminación ambiental.

Actividad 3. Capacitación a los comuneros acerca del uso de alternativas de control biológico de plagas. En el cuadro 4.46 se resumen las actividades con sus respectivos responsables.

Cuadro 4.46. Programa de Conservación de los Recursos Hídricos

Actividades	**Responsables**
Resultado 1. Las comunidades sean un ente fuerte que cuide y proteja el recurso hídrico.	
Actividad 1. Talleres de capacitación a los pobladores de la microcuenca del río Bobo sobre los beneficios, e importancia de la conservación del recurso hídrico.	Ministerio del Ambiente- Tulcán Gobierno Provincial del Carchi
Actividad 2. Socialización de las leyes y reglamentos que mencionan sobre la conservación de los recursos hídricos.	Ministerio del Ambiente- Tulcán Gobierno Provincial del Carchi
Resultado 2. Control del uso de agroquímicos y evitar el drenaje directo a las vertientes o ríos de la microcuenca del río Bobo.	
Actividad 1. Capacitación a los agricultores sobre los peligros a la salud por el mal manejo de plaguicidas y productos químicos tóxicos para el ambiente.	MAGAP-Tulcán Gobierno Provincial del Carchi
Actividad 2. Talleres sobre el reglamento de uso y aplicación de plaguicidas y código de la salud y ley para la prevención y control de la contaminación ambiental.	MAGAP-Tulcán Gobierno Provincial del Carchi
Actividad 3. Capacitación a los comuneros acerca del uso de alternativas de control biológico de plagas.	MAGAP-Tulcán Gobierno Provincial del Carchi

Elaboración: La Autora

Actividades Valoradas

En el cuadro 4.47 se muestran las actividades para este proyecto, y en cada actividad se indica el presupuesto referencial, fuentes referenciales de financiamiento, tiempo de ejecución, medio de verificación.

Cuadro 4.47. Actividades valoradas para el proyecto de educación ambiental

Actividad	Presupuesto referencial	Fuentes referenciales de financiamiento	Tiempo de ejecución (meses)	Medio de verificación
Talleres de capacitación a los pobladores de la microcuenca del río Bobo sobre los beneficios, e importancia de la conservación del recurso hídrico.	3000	MAGAP MAE	3	Lista de asistencia
Socialización de las leyes y reglamentos que mencionan sobre la conservación de los recursos hídricos.	2500	Consultora MAE	3	Fotografias de los participantes
Capacitación a los agricultores sobre los peligros a la salud por el mal manejo de plaguicidas y productos químicos tóxicos para el ambiente.	2000	MAGAP MAE Ministerio de Salud Pública	3	Informe de capacitación
Talleres sobre el reglamento de uso y aplicación de plaguicidas y código de la salud y ley para la prevención y control de la contaminación ambiental.	2000	MAE Ministerio de Salud Pública	3	Lista de asistencia
Capacitación a los comuneros acerca del uso de alternativas de control biológico de plagas.	2500	MAGAP-Tulcán INIAP-Tulcán Gobierno Provincial del Carchi MAE	3	Informe de capacitación
Sub Total	12000			

Elaboración: La Autora

- ✓ **Proyecto III: Educación Ambiental**

En la microcuenca del río Bobo se evidencia que los pobladores no protegen los suelos, debido a que en la agricultura no usan abonos verdes, no realizan la rotación de cultivos, tampoco protegen el agua ya que en la ganadería el ganado arroja sus heces directo al río, en cuanto al páramo los pobladores talan los árboles, reduciéndose el páramo, y la ganadería llega hasta el páramo existiendo compactación del suelo.

Justificación

Este proyecto incitará al cuidado y protección en la microcuenca del río Bobo, debido a que los pobladores estarán capacitados y al conocer la realidad existente en la microcuenca, se convertirán en protectores de la misma. Se impulsará mediante este proyecto a que los pobladores conozcan sobre las buenas prácticas agrícolas, cuidado del páramo.

Objetivo General

Promover en la población una conciencia de protección, mediante la educación ambiental garantizando el cuidado de los recursos naturales, y por ende el de los pobladores.

Objetivos Específicos

Realizar talleres sobre prácticas agroecológicas para evitar la erosión del suelo.

Realizar capacitaciones sobre protección del páramo, fuentes de agua, beneficios de la cobertura vegetal en el ambiente.

Resultados Esperados

Los pobladores pongan en práctica los conocimientos sobre las prácticas agroecológicas.

Los pobladores protejan el páramo mediante el conocimiento de su importancia.

Actividades

Resultado 1. Los pobladores pongan en práctica los conocimientos sobre las prácticas agroecológicas.

Actividad 1. Capacitación a los agricultores de la microcuenca del río Bobo sobre la importancia de la agroecología.

Partiendo de un conocimiento claro sobre la agroecología que es ofrecer un ambiente equilibrado, fertilidad biológica de los suelos, mediante la utilización de abonos verdes, las plantas más utilizadas son las leguminosas como las habas, que se encargan de acumular nitrógeno en sus raíces, ayudando a que la planta se desarrolle más sana, en la capacitación se tratará de enfocar como se realizan abonos verdes, y la rotación de cultivos.

Resultado 2. Los pobladores protejan el páramo mediante el conocimiento de su importancia.

Actividad 1. Capacitación sobre la importancia de conservación de los páramos como fuentes de recursos hídricos

Se pretende capacitar mediante charlas acerca de la importancia de los páramos debido a que es de donde nace el agua, para luego formar clubes ecológicos mediante acuerdos con el ministerio del ambiente para el manejo y conservación de páramos, convirtiéndose los pobladores en guardianes del páramo. En el cuadro 4.48 se resumen las actividades con sus respectivos responsables.

Cuadro 4.48. Programa de Educación Ambiental

Actividades	Responsables
Resultado 1. Los pobladores pongan en práctica los conocimientos sobre las prácticas agroecológicas.	
Actividad 1. Capacitación a los agricultores de la microcuenca del río Bobo sobre la importancia de la agroecología..	MAGAP- Tulcán Ministerio del Ambiente- Tulcán
Resultado 2. Los pobladores protejan el páramo mediante el conocimiento de su importancia.	
Actividad 1. Capacitación sobre la importancia de conservación de los páramos como fuentes de recursos hídricos.	Ministerio del Ambiente- Tulcán Gobierno Provincial del Carchi

Elaboración: La Autora

Actividades Valoradas

En el cuadro 4.49 se muestran las actividades para este proyecto, y en cada actividad se indica el presupuesto referencial, fuentes referenciales de financiamiento, tiempo de ejecución, medio de verificación.

Cuadro 4.49. Actividades valoradas para el proyecto de educación ambiental

Actividad	Presupuesto referencial	Fuentes referenciales de financiamiento	Tiempo de ejecución (meses)	Medio de verificación
Capacitación a los agricultores de la microcuenca del río Bobo sobre la importancia de la agroecología.	2500	MAGAP- Tulcán MAE	3	Lista de asistencia
Capacitación sobre la importancia de conservación de los páramos como fuentes de recursos hídricos.	2000	MAGAP- Tulcán MAE	3	Informe de capacitación
Sub Total	4500			

Elaboración: La Autora

CAPITULO V

5.1. CONCLUSIONES

- Dentro de la caracterización biofísica se generó información shapefile en formato compatible para Geodatabase a escala 1:50.000 y a escala 1:100.000 con información temática para cada mapa descrito en la metodología.
- Según el análisis multitemporal se evidenció que en las coberturas vegetales analizadas en el año 2002, 2015 y 2020, la cobertura vegetal que tuvo mayor cambio en área fue cultivos, siendo la superficie en el año 2002 fue de 612,02 ha y en el año 2015 fue de 2752,9 ha, en el año 2020 fue de 2852.9 ha, debido a que en el área de estudio de la microcuenca del río Bobo la producción de papa, melloco, zanahoria, haba cada vez va en aumento.
- El bosque anualmente pierde 12,9 ha, el páramo fue la cobertura que más se perdió, al año se reduce 121,7 ha y la pérdida anual de vegetación arbustiva fue de 35,8 ha.
- Al ingresar las variables cobertura vegetal (2002, 2015, 2020), tipo de suelo y clima al SWAT, se obtuvo caudales para cada año, se observa que en el año 2002 el caudal de agua es menor 1,34m^3/s, en comparación al año 2015, en el cual el caudal es de 1,98m^3/s, en el 2020 el caudal será 1,74m^3/s.
- El SWAT es un modelo que exige una información muy detallada para obtener resultados más exactos. Una de las variables de ingreso al SWAT en la que se puso mayor atención fue el clima debido a que no se cuenta con periodos históricos completos, esto obligo a duplicar esfuerzos y tiempo.

- Se generaron escenarios para el año 2002 en el que no se realizó calibración y validación debido a que no se tenía datos para este año en la estación hidrométrica Bobo planta eléctrica Tulcán, para el año 2015 se realizó la calibración y validación, la calibración se la hizo usando los datos de la estación hidrométrica Bobo Planta Eléctrica Tulcán, para la validación se tomaron en cuenta los datos medidos en campo, los calibrados se ajustan en un 82,28% a los valores reales, siendo éste el nivel de confiabilidad asignado en este estudio, para el año 2020 se realizo la calibración pero no se hizo validación.
- Cuando las coberturas vegetales bosque, páramo, vegetación arbustiva van siendo remplazadas por cultivos, pastizales, a través del tiempo (2002, 2015, 2020), se concluye que la producción de sedimentos va aumentando, ya que el suelo pierde su capacidad de almacenar agua, produciendo mayor escorrentía, lo cual significa que existe arrastre de partículas del suelo.
- Los proyectos tienen presupuestos muy elevados, pero el más conveniente es el proyecto de educación ambiental, es por esto que se debe comprender que la comunidad es la parte más fuerte para la conservación del recurso hídrico.

5.2. RECOMENDACIONES

- Usar el sistema nacional de información, para realizar la caracterización biofísica.
- De acuerdo al análisis multitemporal, socializar, involucrar y concientizar a partir de estudios a las instituciones político administrativas dentro de los municipios a la regulación del crecimiento agrícola.
- Antes de realizar cualquier estudio con SWAT es importante la verificación de información disponible que requiere el modelo, para no alargar el tiempo de investigación y que los resultados sean de total confiabilidad.
- Formar grupos de investigación a nivel nacional encargados de integrar toda la información de datos locales debidamente validada y que se busquen los

mecanismos adecuados para compartirla, de tal manera que estudios tan importantes para el desarrollo de un determinado lugar no se vean limitados, afectados o suspendidos por falta de fuentes de información.

- Dar a conocer modelos hidrológicos a personas interesadas en la investigación de las amenazas que sufren los páramos del Ecuador y su influencia sobre la producción de caudales y sedimentos.
- En el presente estudio se puntualizaron programas encaminados hacia cuidado y protección del recurso hídrico, con el fin de que las entidades competentes puedan ejecutarlos para de esta manera conservar a largo plazo la microcuenca del río Bobo.

CAPITULO VI

6. BIBLIOGRAFÍA:

Arnold, J.G., S.L. Neitsch & Williams, J.R. (2010) *Soil and Water Assessment Tool User's Manual. Version 99.2*. lacklandResearch Center, Texas Agricultural Experimental Station.Temple, TX.

Arnold, J., Srinivasin. R., Muttiah, R., & Williams J. (1998) *Large Area Hydrologic Modeling and Assessment: Part I. Model Development*. JAWRA 34 (1), pp.73-89.

Aldás, J. (2013) *Estudio de variación de la cobertura vegetal y estado actual del Cerro Imbabura aplicando herramientas GIS con fines de declaración de área protegida*. Universidad San Francisco de Quito, pp: 84-94.

Arnold, J., Kiniry, J., Neitsch, S. (2010) *Conceptos básicos y guía para el usuario*. CIAT, p.11.

Acuña, A. (2012) *Efectos de corto plazo de la restauración ecológica de bosques nativos en la provisión de los servicios ecosistémicos cantidad y calidad de agua, en cuencas forestales*. Universidad Austral de Chile. p.4.

Brandizi, L., Labraga, J. (2000) *Calibración del modelo hidrológico SWAT en la cuenca del río salado, Provincia de buenos aires*. Centro Nacional Patagónico, p.4.

Belmote, F., & Romero, A. (2006) *Medida de la evapotranspiración real en coberturas vegetales semiáridas (cuenca de Mula, Murcia), según las variaciones de humedad del suelo medidas mediante el procedimiento (TDR).* Papeles de Geografía, pp. 5-17.

Burbano, N., Becerra, S., Gutiérrez, C. & Ramírez, J. (2003) *Estudio de Evaluación de Recurso Hídrico Superficial y Subterráneo del Cantón Tulcán*. INAMHI, MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, pp. 5-53.

Bakker, W. & Jansen, F. (2001) Principles of Remote Sensing. The Ntherlands.

Boada, D., Moreno, R., Rojas, S. & Rendón, C. (2010) *Estudio para el Análisis Multitemporal y Prospectivo del Uso del Suelo de la Provincia del Carchi, para los periodos 1987, 2009 y 2030.* XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.

Cisneros, C., Gavilanes, C., Valenzuela, P. & Proaño, M. (2006) *Aplicación del modelo Swat en la microcuenca del Río Ambato,* p. 26.

Cadena, V. (2012) *Hablemos de riego*. Gobierno Autónomo Provincial del Carchi. Creadores Gráficos (1).

Cacoango, J. (2014) *Modelamiento de la microcuenca del del Río Illangama con la utilización del modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool "SWAT", Provincia de Bolívar, Ecuador,* p.74.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (s/f). *Metodología Multicriterio para la Priorización y Evaluación de Proyectos.* Obtenido de https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.cepa.org%2Filpes%2Fnoticias%2Fpaginas%2F7%2F29837%2FMetodolog%25C3%2

5ADa_Multicriteriocompleta.ppt&ei=1uazVN6SBsiOsQTJtoCQDQ&usg=AFQjCNG6.

Coppin, N. & Richards, I. (1990) *Use of vegetation in civil engineering*. CIRIA/Butterworths, London, p (64).

EMELNORTE. (1975) El Sistema Eléctrico de EMELNORTE S.A.

Fernández, I. (2000) *Análisis Visual de Imágenes obtenidas del sensor ETM+ Satélite Landsat*.

FAO, 2005. *Situación Forestal en la Región de América Latina y el caribe-2004*. Oficina. Regional para América latina y el Caribe. Santiago, Chile.

Gómez, O. & Josuny, K. (2014) *Análisis Multitemporal en base a fotointrerpretación de los movimientos de ladera en la ciudad de Loja.* Universidad Técnica Particular de Loja.

Indanza, L. (2015) *VIII FORO CLIMÁTICO NACIONAL 2015 PERSPECTIVAS CLIMÁTICAS TRIMESTRE AGOSTO – OCTUBRE 2015.* INAMHI-Secretaría de Gestión de Riesgos.

INIGEMM (2003) Realización de cartografía topográfica.

INEC (2010) Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.

Jaramillo, D. (2002) *Introducción a la ciencia del suelo.* Universidad Nacional de Colombia, p.20.

Jácome, D. & Narváez, F. (2012) *Propuesta De Plan De Manejo Del Recurso Hídrico En La Microcuenca Del Río Illangama, Subcuenca Del Río Chimbo, Provincia De Bolívar*. Universidad Técnica del Norte pp. (137-156).

Lamprea, Y. (2011) *Estudio comparativo de modelos multiparamétricos de balance hídrico a nivel mensual en cuencas hidrográficas de Cundinamarca y Valle del Cauca*, p. 18.

Linsley, Kohler & Paulhus. (1986) *Hydrology for Engineers*. 3rd ed. Cap.11.

Leopold, L. B. & Maddock. T. (1953) *The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications*. U.S. Geol. Survey. Prof. Paper 282 – A. Denver, EUA.

Livignstone, D. (1963) Chemical compositions of rivers and lakes. USGS Prof. p 440.

Martínez, A., & Navarro. (1996) *Hidrología Forestal, El ciclo hidrológico*. Universidad de Valladolid. Valladolid, España, p (286).

Marbello, R. (2008) *Hidrometría y Aforo de Corrientes Naturales.* Bogotá, p (20-80).

MAGAP, (2003) *Plan Nacional de Riego y Drenaje 2012 -2027*. Subsecretaría de Riego y Drenaje, Quito- Ecuador.

Nicks, A. (1974) *Generación estocástica de la ocurrencia, forma y localización de la cantidad máxima de lluvia diaria. In: Proc. Symp. Statistical Hydrology, Tucson, AZ. U.S. Gov. Print*. Office, Washington, D.C. pp: 154-171.

PDOT parroquia La Libertad (2015) *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento de la parroquia La Libertad*.

Puyravaud, J. (2003) *Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation*. Forest Ecology and Management 177, 593-596.

Pourrut, P. (1995) *El Agua en el Ecuador*. Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología (INAMHI), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), p. 35.

Ponce, M. (2015) *Influencia de la pérdida de cobertura vegetal en la vulnerabilidad y riesgos en el cantón Esmeraldas, provincia de Esmeraldas*. Universidad Técnica del Norte, pp:65-67.

Proaño, M. (2006) *Aplicación del Modelo SWAT en la Subcuenca del Río Ambato*. Proyecto Cuencas Andinas – CODESAN – GTZ. Ambato-Ecuador, p. 14.

Pinilla, C. (1995) *Elementos de Teledetección.* Rama – Madrid.

Proaño, M., Gavilanes, C., Cisneros, C. & Valenzuela, P. (2006) *Aplicación del modelo SWAT en la subcuenca del Río Ambato*. CODESAN. p.7.

Palacios, V. (1986) *El uso de modelos en irrigación y áreas afines*, p (41-49).

Pérez, K. (2007) *Estimación de la Oferta Hídrica en la cuenca alta del río Pita mediante el uso de herramientas Geoinformáticas, ESPE*. Ecuador. p.16.

Ríos, N., Ibrahim, M., & Faustino, J. (2013) *Uso del modelo SWAT para estimar la producción de sedimentos en una cuenca dominada por Ganadería*. Costa Rica.

Richardson, C., Bucks, D., & Sadlere (2008). *The Conservation Effects Assessment Project benchmark watersheds*. Synthesis of preliminary findings. Soil and Water Conservation Society. Pp. 590 – 604.

Ritchie, J. (1972) *A model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover*. Water Resour. Res. 8: 1204- 1213.

Rivas, G. (2001) *Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillados*. 2° Edición. Editorial Vegas, Caracas. p. 301.

Rivadeneira, G. (2014*) Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento*. Asamblea Nacional de la República del Ecuador. Quito – Ecuador.

Seris, A. (2016) *Calentamiento Global*. Universidad Georgia. México, p. 38.

Sorooshian, S., H. V. Gupta, & L. A. Bastidas. (1998) *Calibration of hidrologic Model Using Multi-Objectives and Visualization Techniques.* Final Report on Project Proposal Number EAR-9418147. Department of Hydrology and Water Resources. University of Arizona, Tuczon, p. 78.

Syvitski, J.P., Morehead, M.D., Bahr, D.B. & Mulder, T.(2000) *Estimating fluvial sediment transport: The rating parameters.* Water Resources Research, 36 (9), pp. 2747- 2760.

Saxton, E. & Walter, R. (2009) *Soil Water Characteristics Hydraulic Properties.* New York. Disponible en: http://hydrolab.arsusda.gov/ soilwater /Index.htm.

Valenzuela, P. (2005) *Aplicación del Modelo Hídrico Swat 99.2 para el análisis del impacto de la deforestación y del avance de la frontera agrícola en la producción y almacenamiento del recurso agua en las partes alta y media de la Subcuenca del Río San Pedro*. Escuela Politécnica del Ejército, pp. 28-106.

Valencia, J., Zarate, H. (2012) *Secuencia de actividades para la construcción de una concepción cíclica y compleja del proceso: "ciclo del agua".* Universidad del Valle, p. 18.

Vélez, D. (2013) *Determinación de sedimentos en tres escenarios de uso del suelo en la Subcuenca del río Milagro, provincia del guayas, usando el modelo SWAT*. Tesis de Ingeniería Agrícola. Guayaquil. Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrarias. p.90.

GLOSARIO DE ACRÓNICOS

HAZE: atmospheric correction

NOISE: noise reduction

TM: mapeo temático

ETM+: mapeo temático mejorado

GLCF: Global Land Cover Facility

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Isodata: método más empleado en los estudios de análisis multitemporal

Landsat 5: desde 1999 hacia atrás

Landsat 7: desde 1999 hasta 2003

Cobertura vegetal: asociaciones grandes como por ejemplo cultivos.

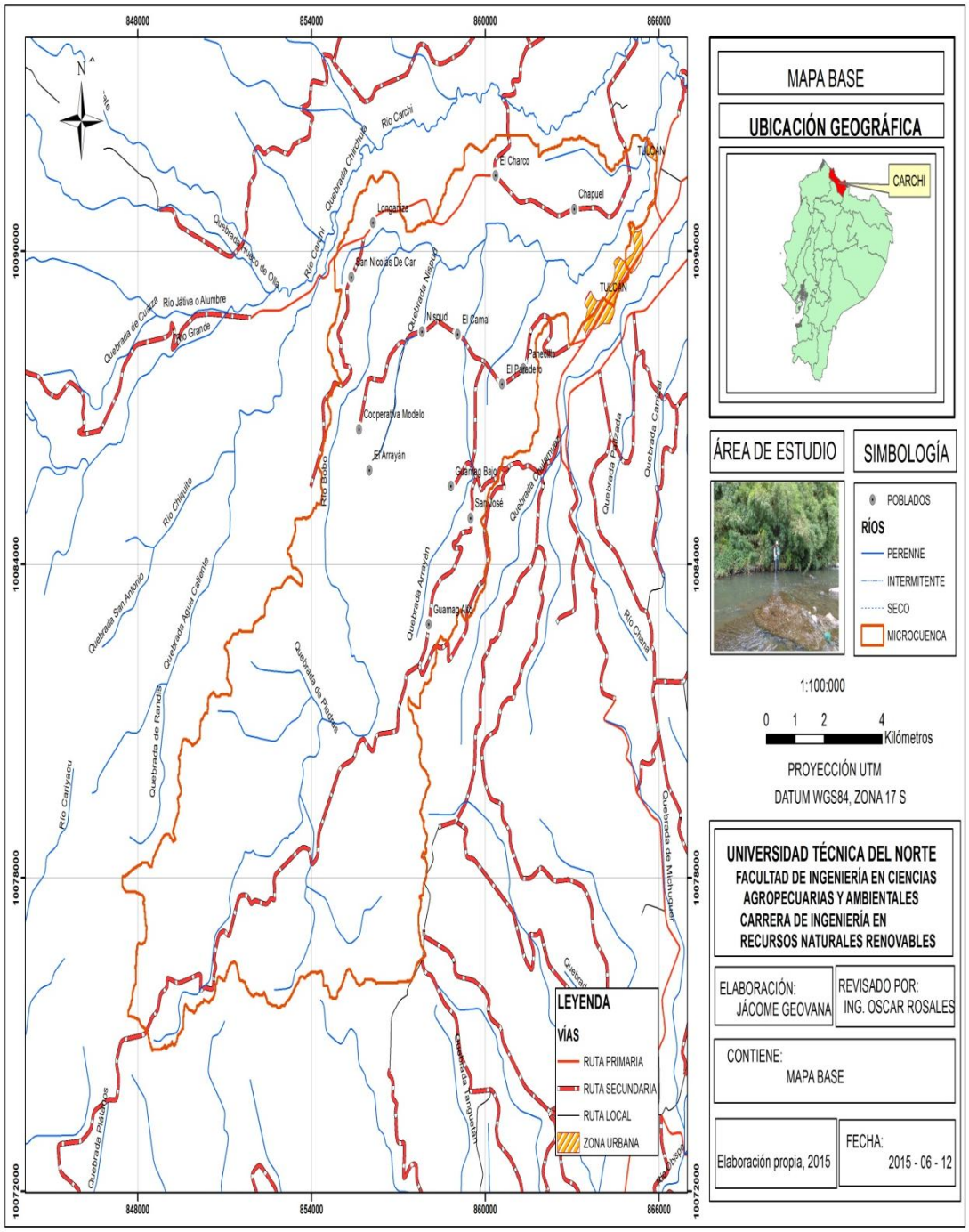
Uso de suelo: son las coberturas vegetales pero a detalles por ejemplo cultivos de ciclo corto.

ANEXOS

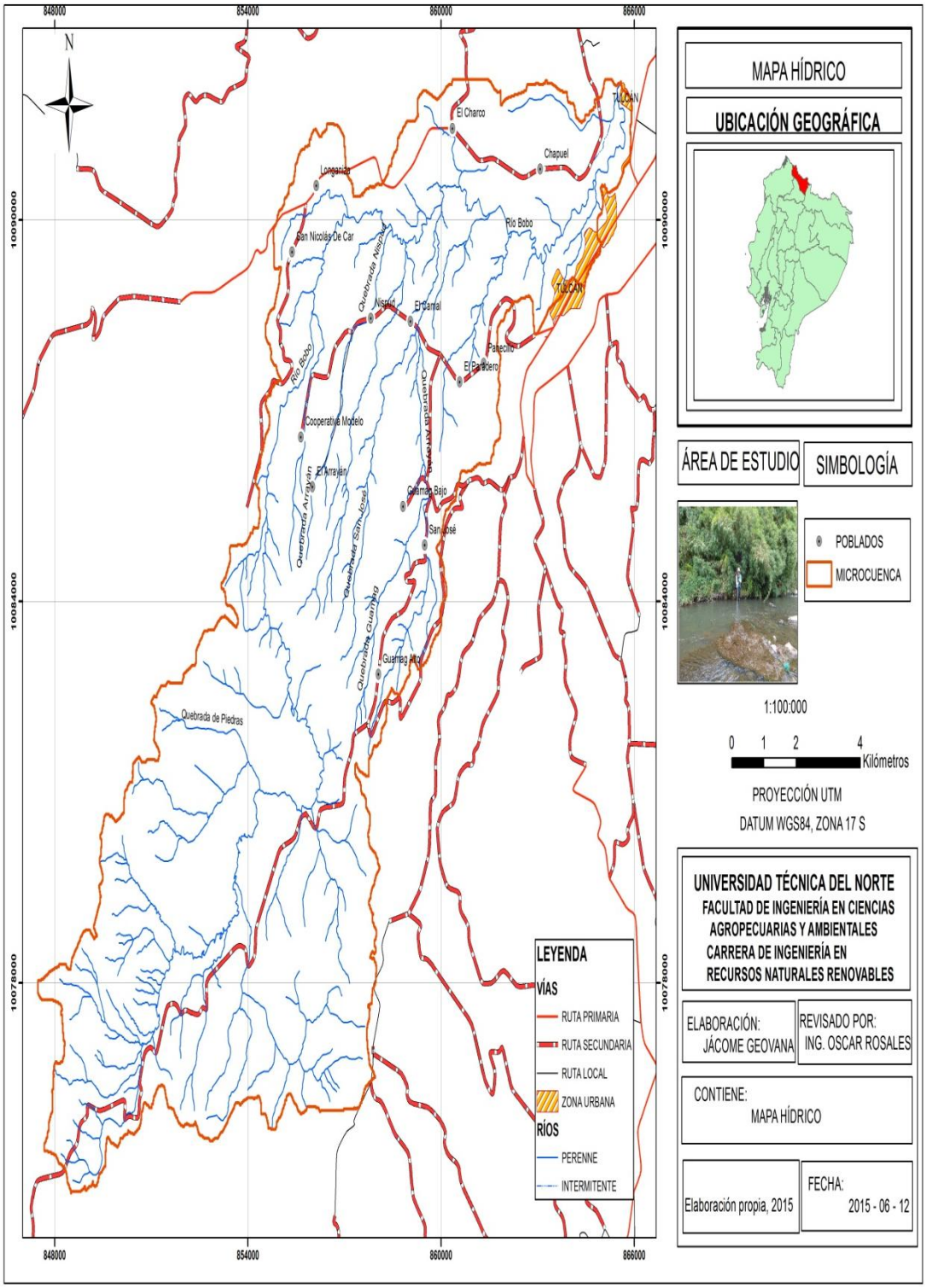
ANEXO 1

MAPAS

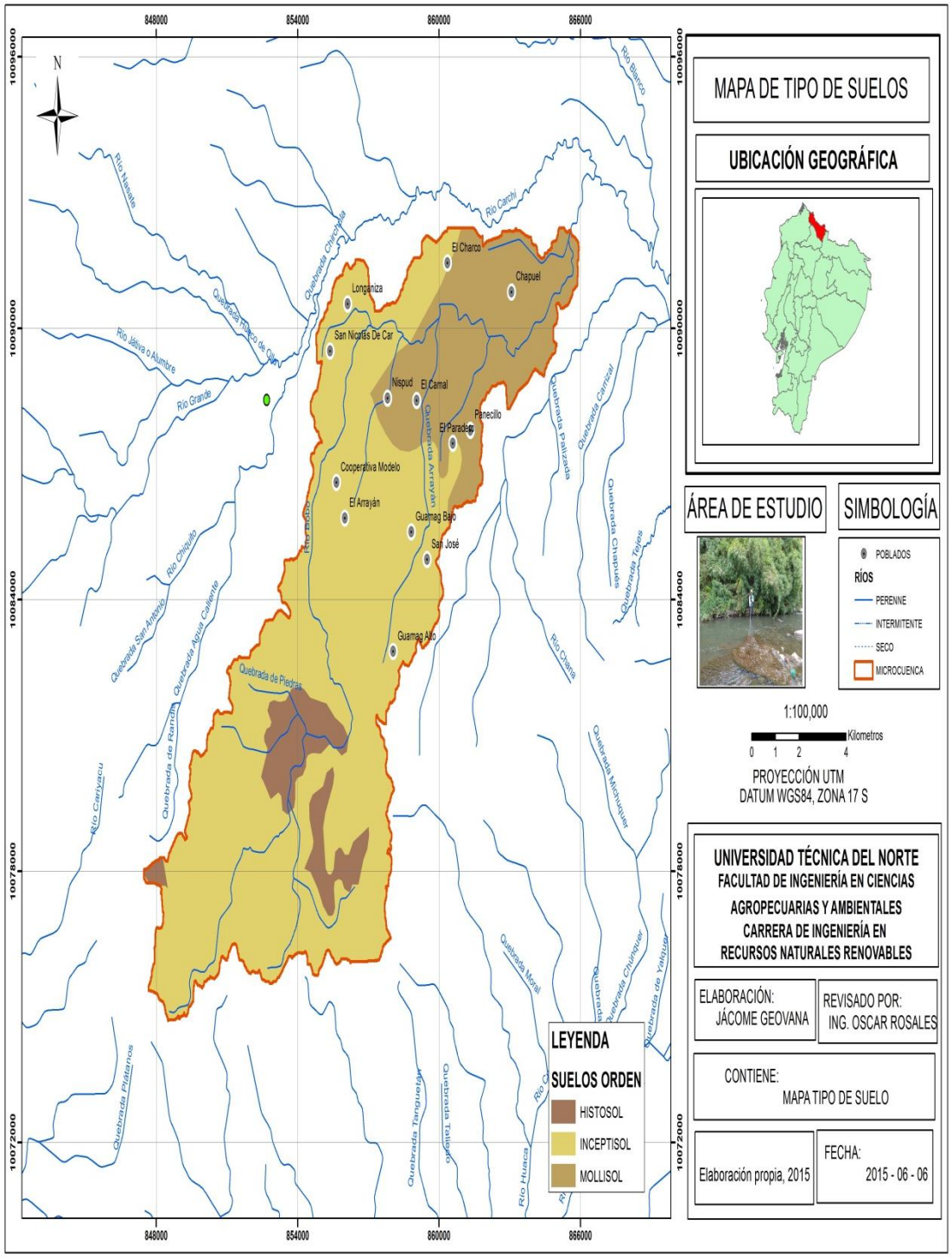
Mapa 1 Base



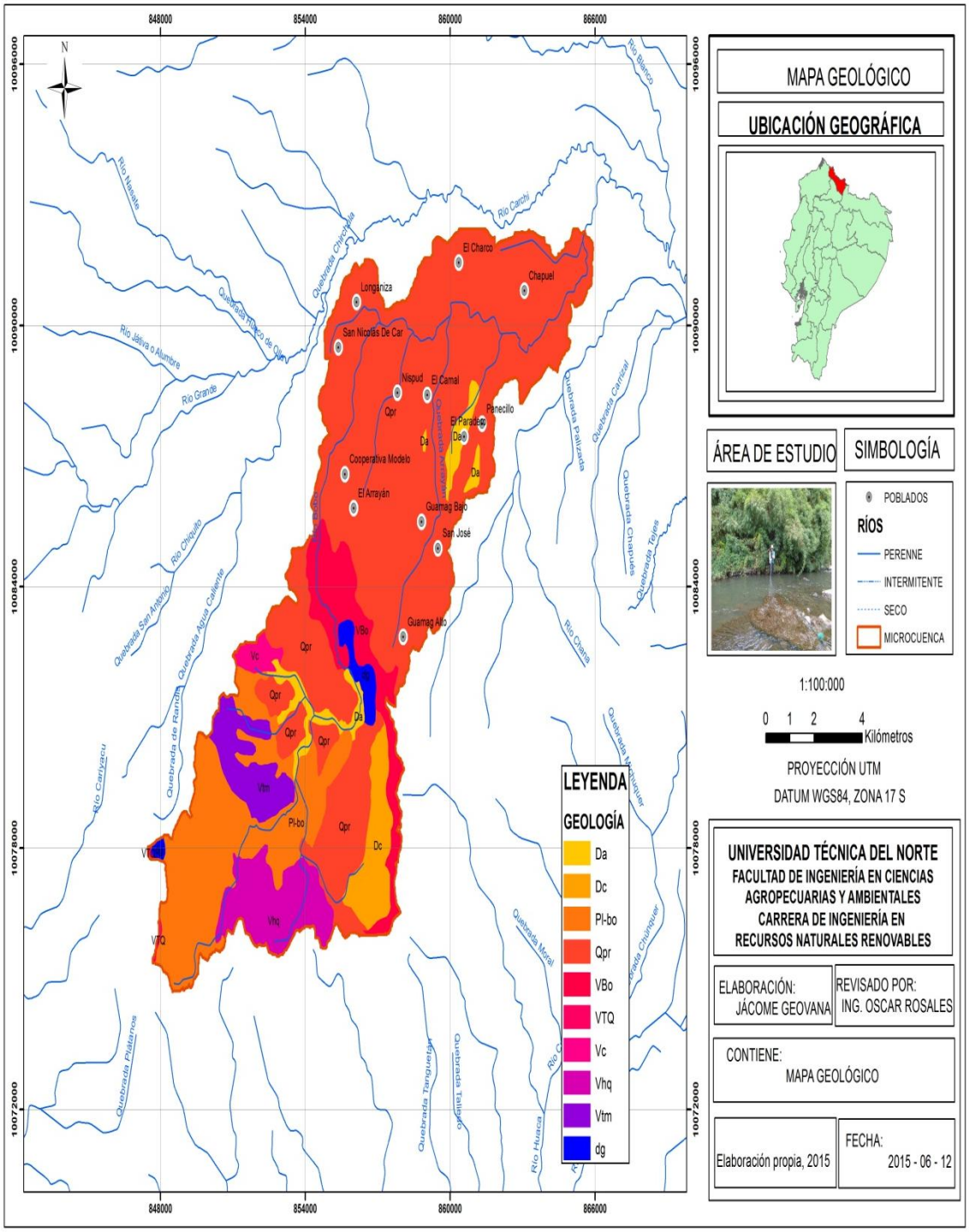
Mapa 2 Hidrología



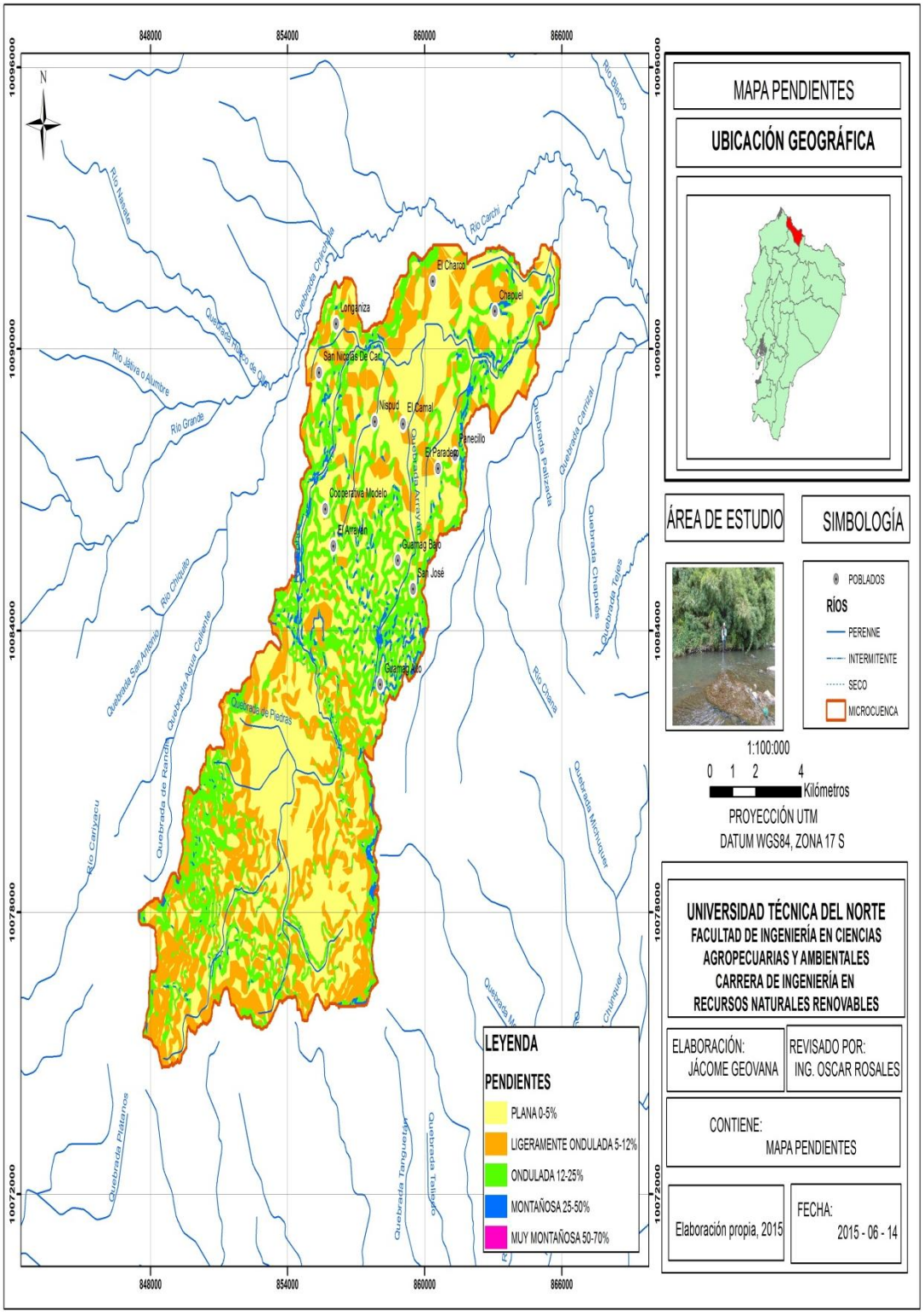
Mapa 3 Tipo de Suelos



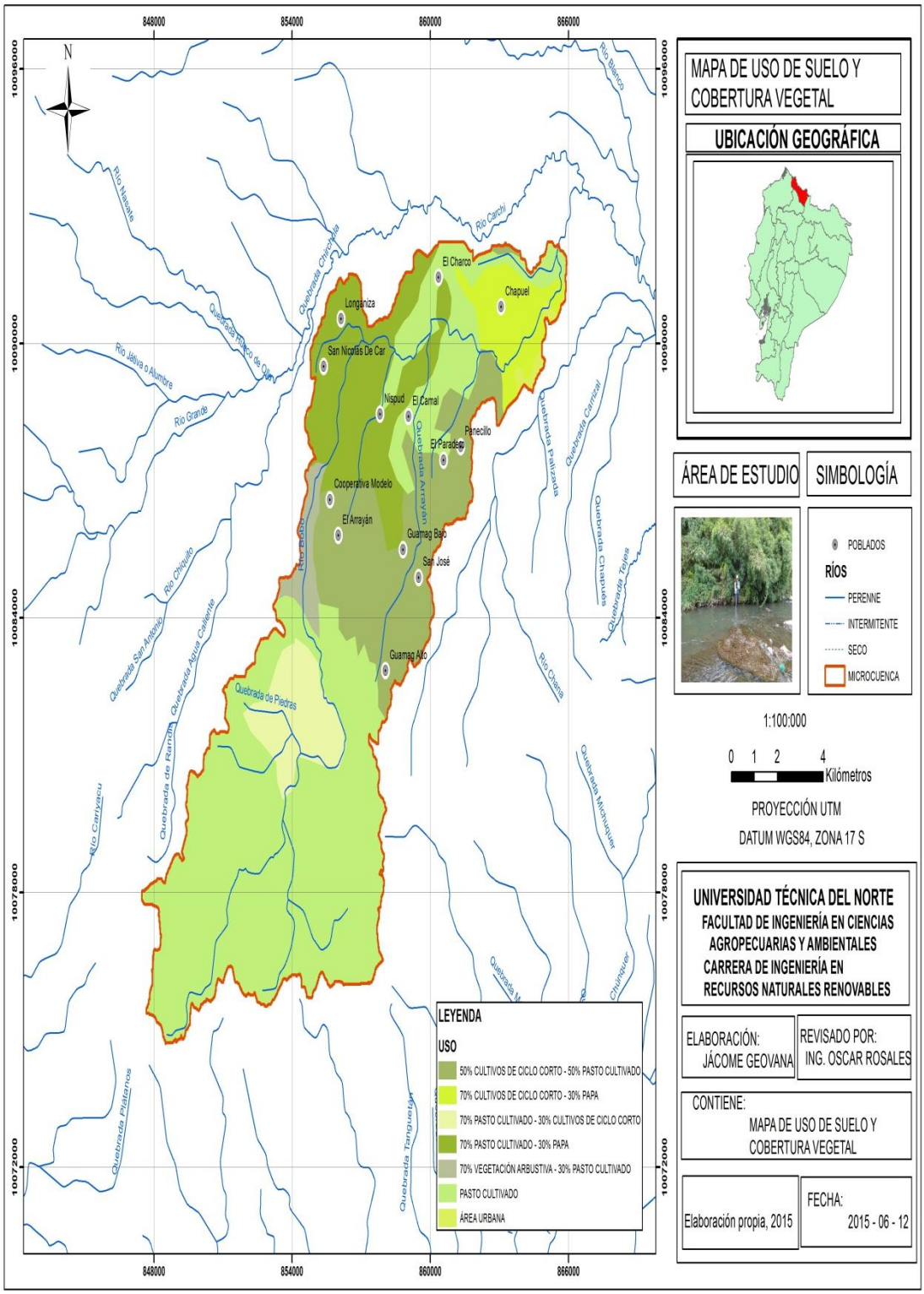
Mapa 4 Geológico



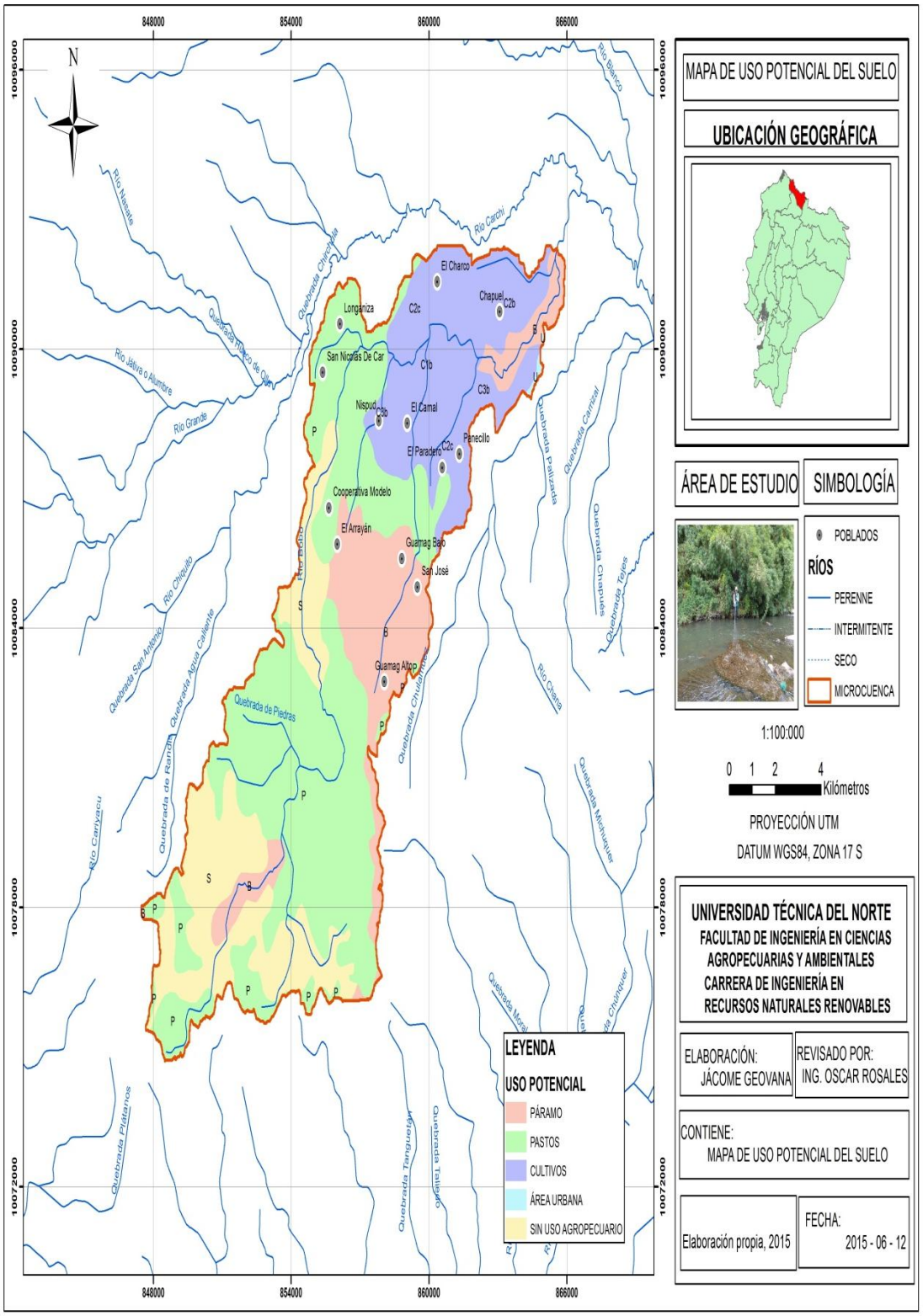
Mapa 5 Pendientes



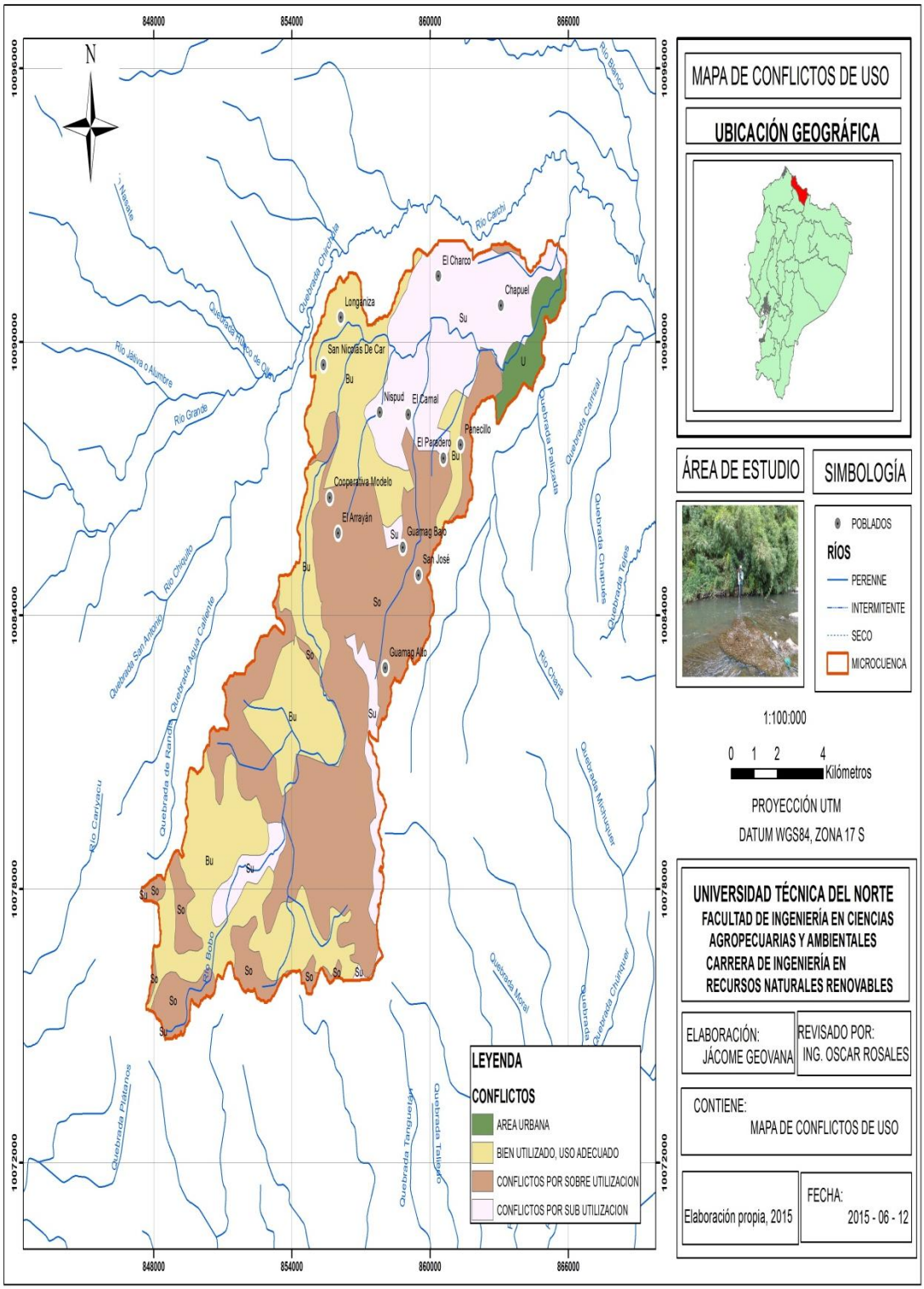
Mapa 6 Uso de Suelo y Cobertura Vegetal



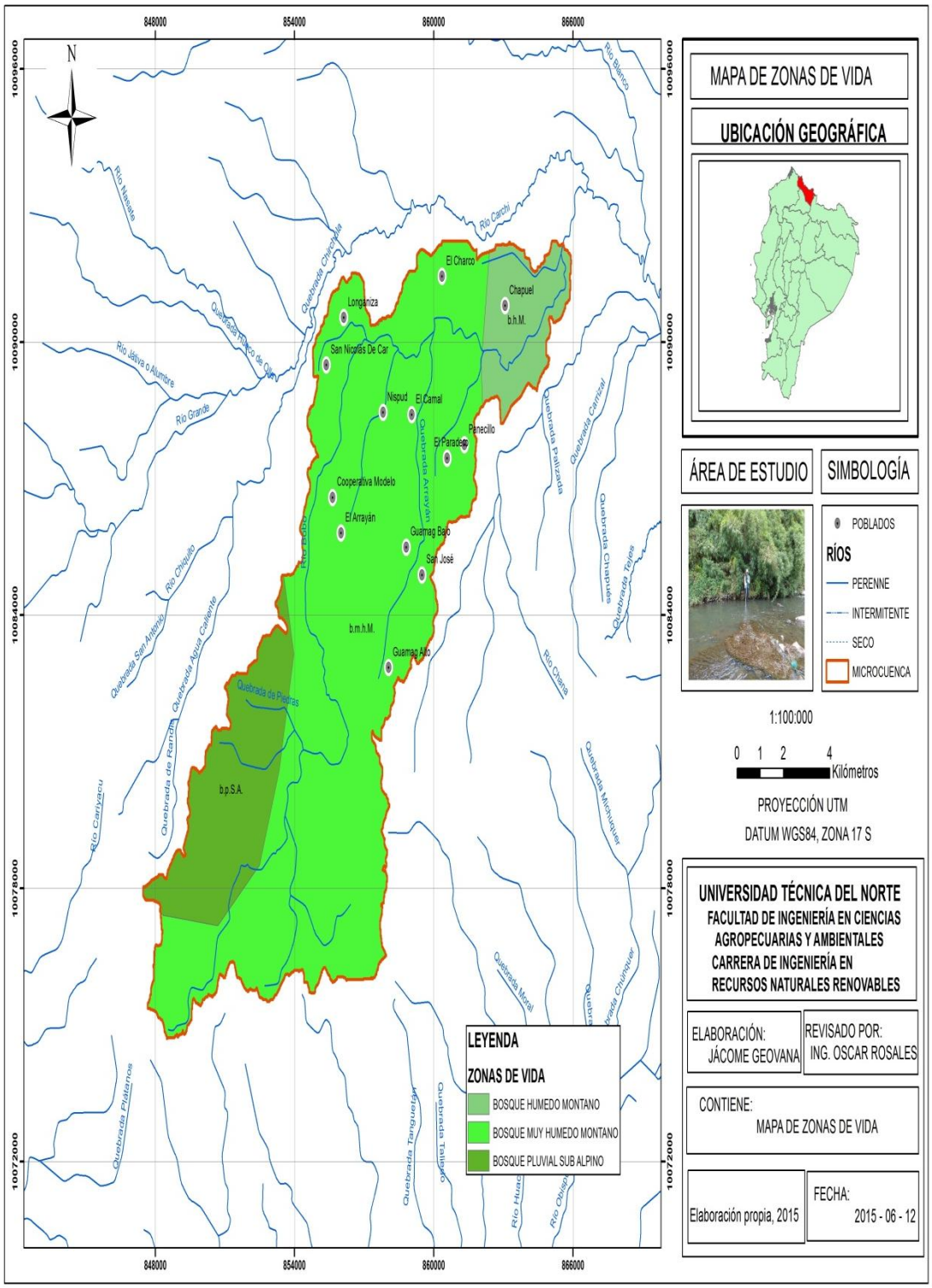
Mapa 7 Uso Potencial del Suelo



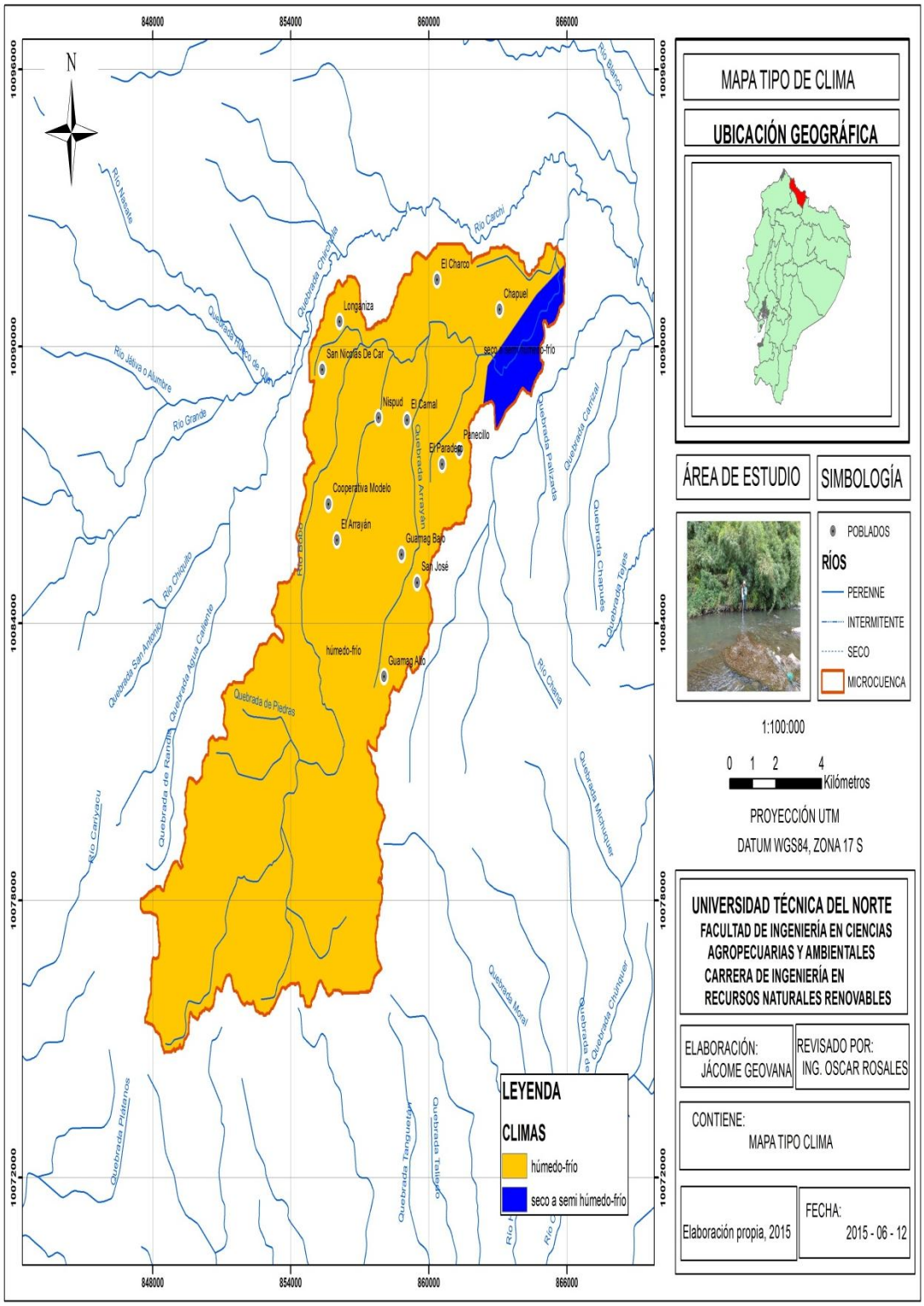
Mapa 8 Conflictos de Uso



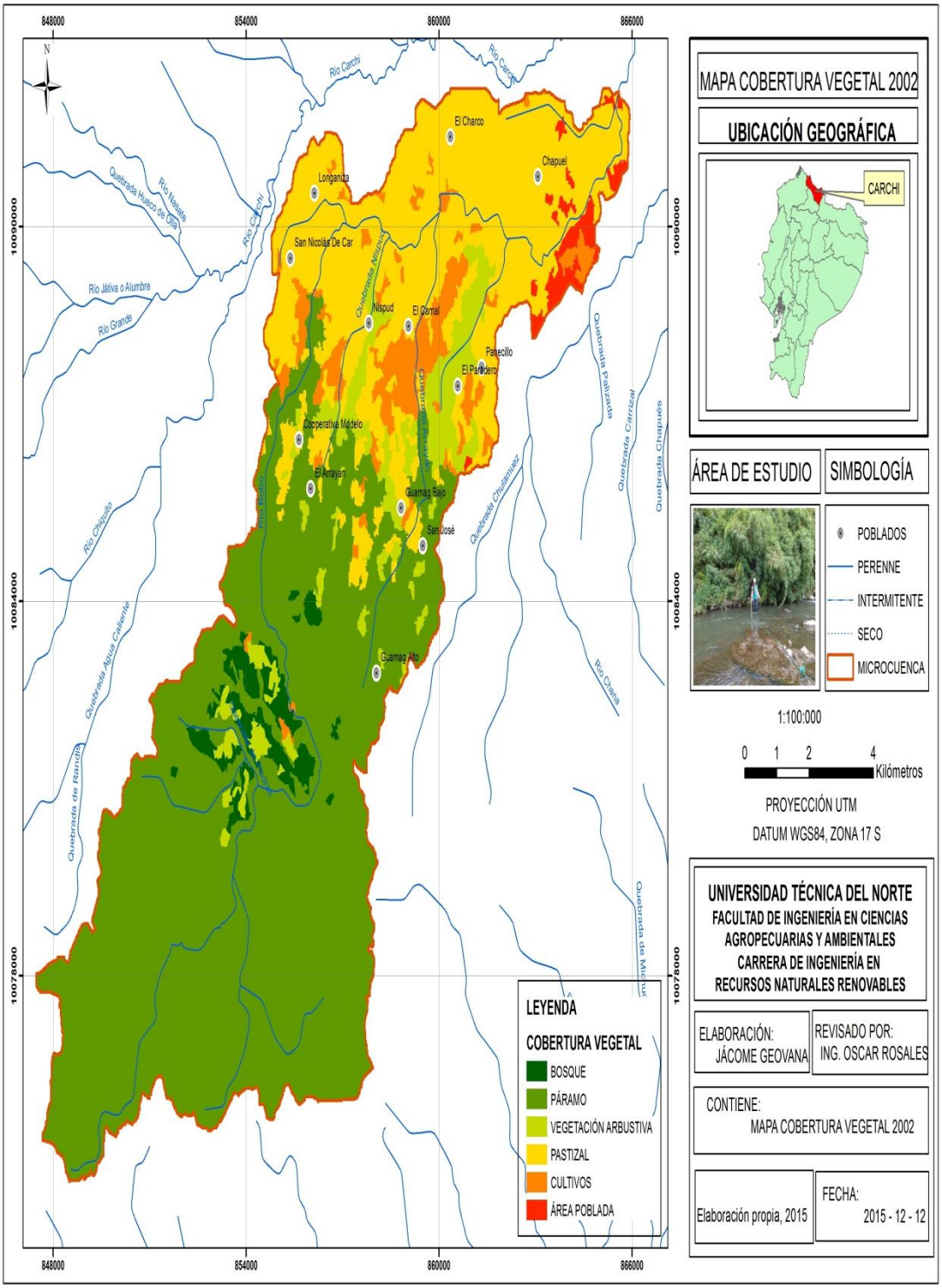
Mapa 9 Zonas de vida



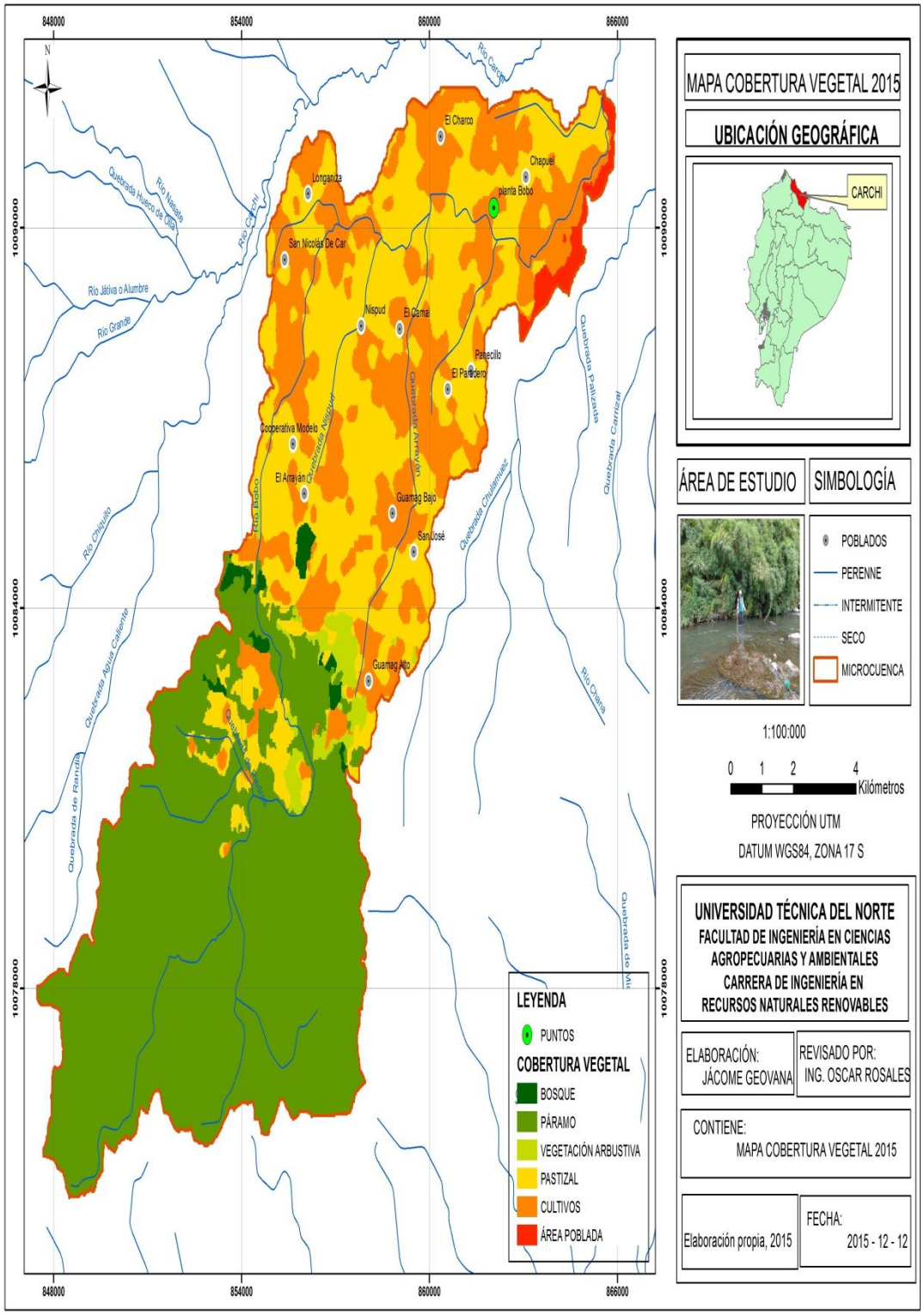
Mapa 10 Tipo de clima



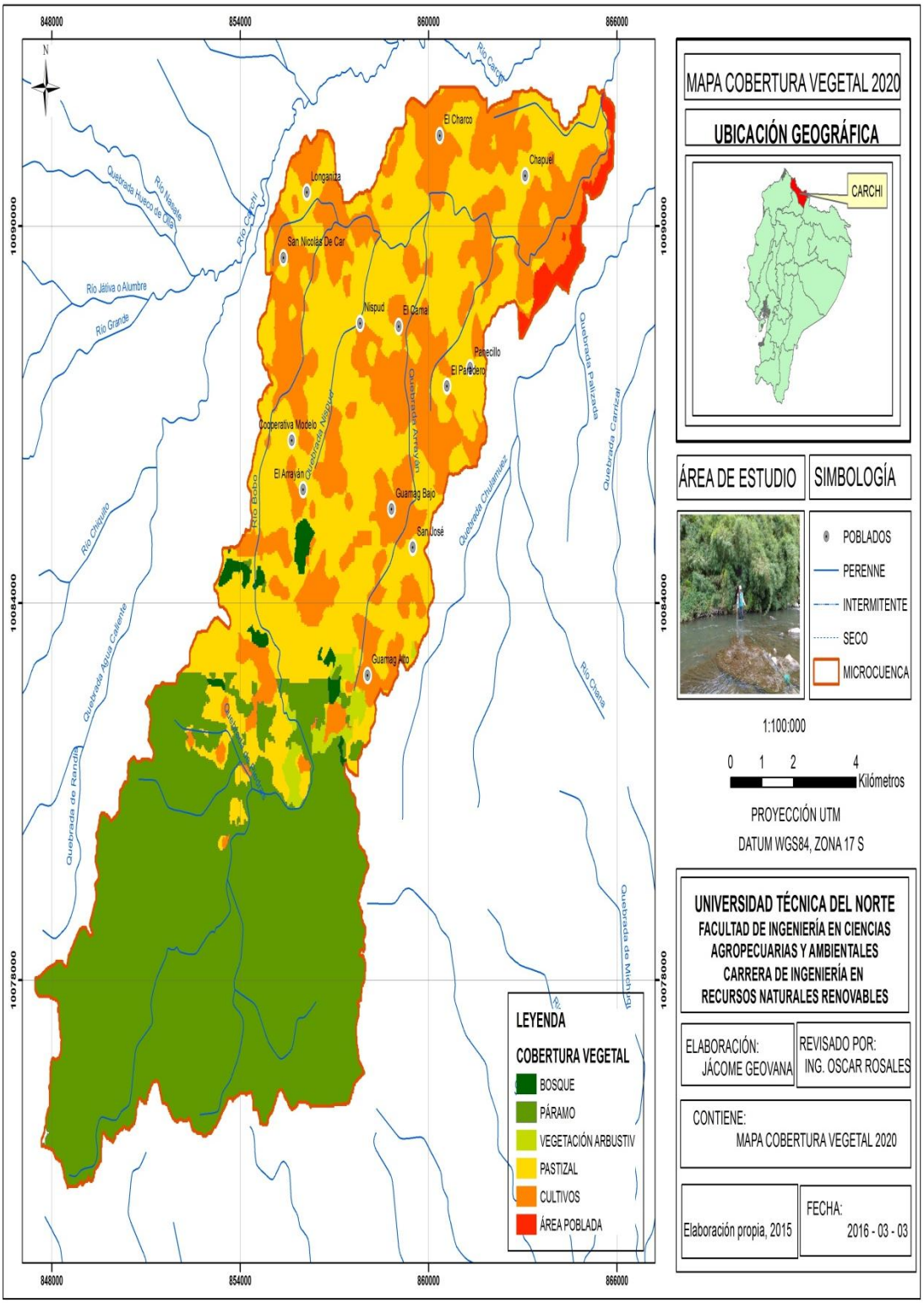
Mapa 11 Análisis Multitemporal 2002



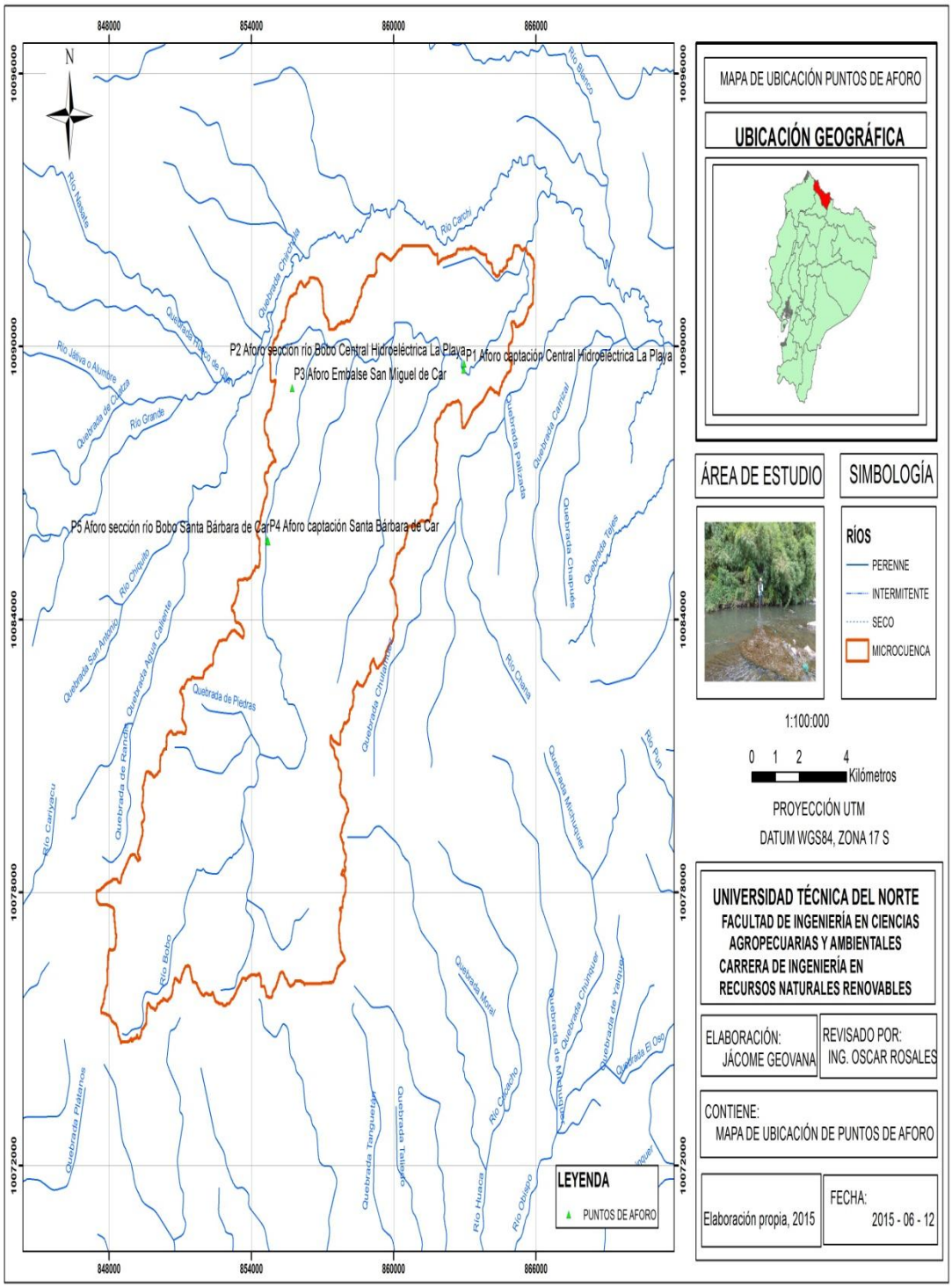
Mapa 12 Análisis Multitemporal 2015



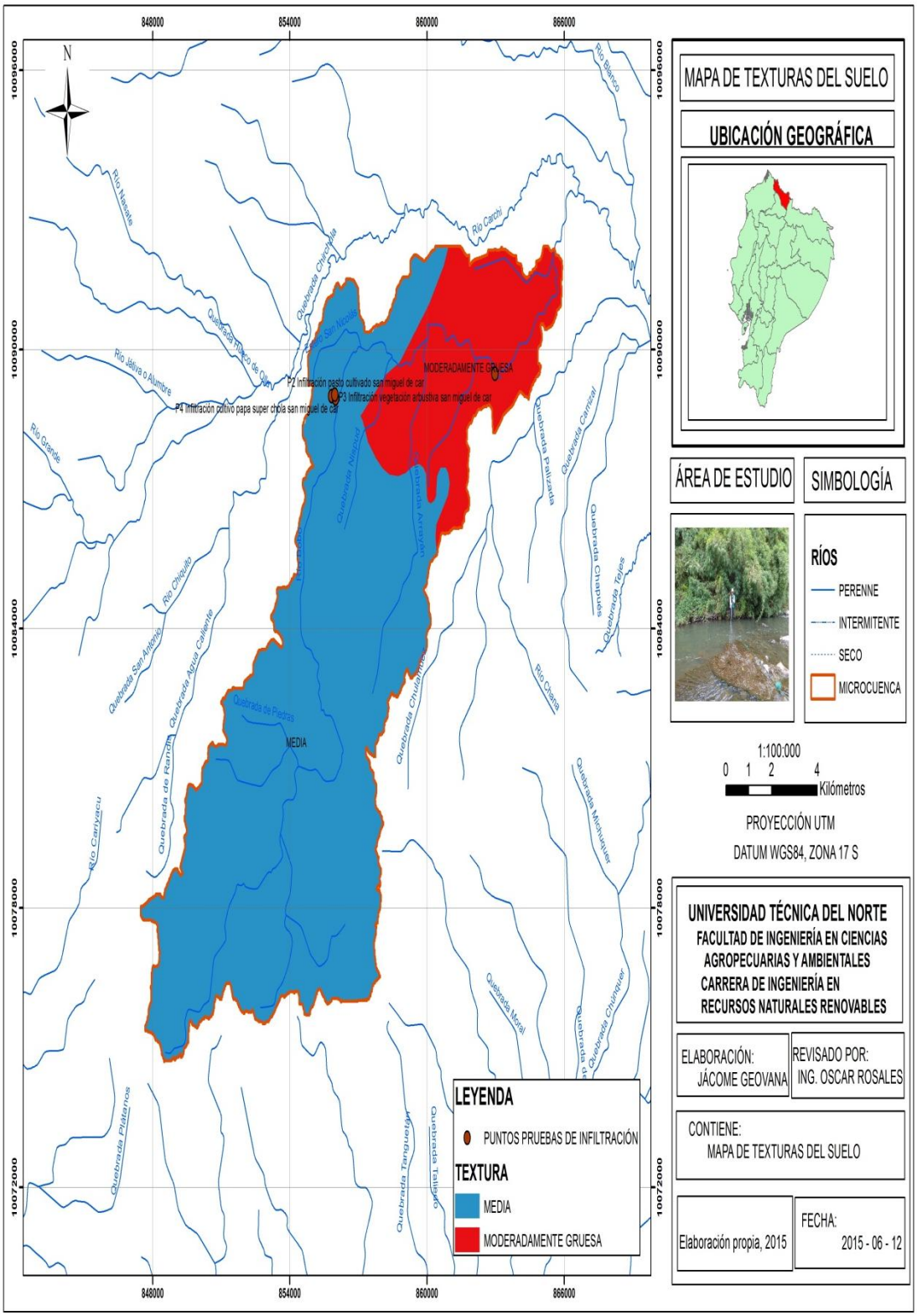
Mapa 13 Cobertura Vegetal futura 2020



Mapa 14 Ubicación de puntos de aforos



Mapa 15 Texturas del suelo



ANEXO 2

BASE DE DATOS TIPO DE SUELO

SNAM	Corresponde al nombre del suelo
HYDGRP	Grupo hidrológico del suelo ((A.- los suelos tienen una elevada tasa de infiltración inclusive cuando están totalmente húmedos, tienen bajo potencial de escurrimiento), (B.- Los suelos tienen una moderada tasa de infiltración cuando están totalmente húmedos. Son suelos moderadamente profundos a profundos), (C.- Los suelos tienen una lenta tasa de infiltración cuando están totalmente húmedos), (D.- Los suelos tienen una muy lenta tasa de infiltración cuando están totalmente húmedos)). El Servicio de Conservación de los Recursos Naturales clasifica a los suelos dentro de cuatro grupos hidrológicos, basados en las características de infiltración de los suelos.
SOL_Z	Profundidad desde la superficie del suelo hasta la parte inferior de cada capa (mm). Sus rangos son 100, 350, 750, 1000 (CLIRSEN – SIGAGRO, 2009).
SOL_ZMX	Profundidad máxima de enraizamiento en el perfil de suelo (mm). Si no se especifica la profundidad, el modelo asume que las raíces pueden desarrollarse completamente a lo largo de toda la profundidad del perfil del suelo. Sus rangos van desde 200, 500, 1000, >1000.
ANION_EXCL	Fracción de la porosidad (espacio vacío) donde los aniones son excluidos. La mayoría de los suelos minerales están cargados negativamente con un pH normal y la interacción neta con los aniones, tal como el nitrato, es una repulsión de las partículas superficiales. Dicha repulsión es un término de adsorción negativa o exclusión de aniones (Arnold, et al., 2010). Si no se ingresa un valor para ANION_EXCL, el modelo puede asumir un valor de 0.50. En éste caso, como no se encontraron valores de éste parámetro por lo tanto, el modelo SWAT asignó un valor para cada capa de suelo.
SOL_CRK	Volumen potencial o volumen máximo de ruptura del perfil del suelo expresa como una fracción del volumen total de suelo. Es un dato opcional que puede o no ser ingresado a las características del suelo.
TEXTURE	La textura de la capa de suelo es un dato que no procesa el modelo y su espacio puede mantenerse en blanco. Es un dato opcional.
SAND	Contenido de arena (% del peso del suelo). Es el porcentaje de partículas de suelo que tienen un diámetro entre 2.0 y 0.05 mm. El contenido en porcentaje de arcilla, limo y arena se obtuvieron de acuerdo al tipo de suelos obtenidos durante el estudio del (CLIRSEN – SIGAGRO, 2009).
SILT	Contenido de limo (% del peso del suelo). Es el porcentaje de partículas de suelo que tienen un diámetro equivalente entre 0.05 y 0.002 mm.
CLAY	Contenido de arcilla (% del peso del suelo). Es el porcentaje de partículas de suelo de diámetro equivalente menor a 0.002 mm.
SOL_BD	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, pb, Ms/Vt. Para determinar la densidad aparente pb, la masa del suelo húmedo es secado en el horno y el volumen total de suelo se determina cuando el suelo está a capacidad de campo o cercano a ésta. Los valores de la densidad aparente deben oscilar entre 1.1 y 1.9 Mg/m^3. Debido a la inexistencia de los datos de densidad aparente se procedió a calcularlos utilizando el triángulo textural y la herramienta "Soil Characteristics Tool versión 6.02.70" (Saxton, *et al.*, 2009).
SOL_AWC	Agua disponible por las plantas, también llamada capacidad de agua disponible AWC, se calcula al sustraer la fracción de agua presente a punto de marchitez permanente WP de la capacidad de campo presente FC, AWC= FC – WP. El valor del contenido de agua disponible para las capas de los suelos, se calculó de acuerdo a la clase textural de los suelos presentes, los datos de FC y WP se obtuvieron con la herramienta "Soil Characteristics Tool versión 6.02.70" (Saxton, *et al.*, 2009)
SOL_K	Conductividad hidraúlica saturada ($mm*h^{-1}$), 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 (Saxton, *et al.*, 2009).
SOL_CBN	Contenido de carbono orgánico (% del peso del suelo) en el suelo. Se define como la porción de la muestra que pasa a través del tamiz de 2mm. La concentración de carbón orgánico, es útil para calcular la relación carbón – nitrógeno a fin de determinar el grado de formación, la evolución de un suelo y la disponibilidad del nitrógeno para las plantas y los microorganismos (CLIRSEN – SIGAGRO, 2009). Es conocido que la materia orgánica posee alrededor de un 58% de carbono: Materia orgánica = C. orgánico x 1000/58 = C. orgánico x 1.724. En el caso de que no se disponga de datos de carbono orgánico, se despeja la fórmula: $C.org = \frac{\text{Materia organica \%}}{1.724}$
ROCK	Contenido de fragmento de roca (% del peso total). El porcentaje de la muestra que tiene un diámetro de la partícula mayor a 2 mm. Es decir, el porciento de la muestra que no pasa a través del tamiz de 2mm. Este valor fue tomado de los mapas de suelo (CLIRSEN – SIGAGRO, 2009).
SOL_ALB	Albedo del suelo es la relación de la cantidad de radiación solar reflejada por un cuerpo por la cantidad incidente sobre éste, expresado como una fracción. El valor para el albedo debería ser reportado cuando el suelo está a (o cerca de) capacidad de campo. Para calcular el albedo en la superficie del suelo en función de la materia orgánica (Vélez, 2013) se usa la siguiente ecuación: $A = \frac{0.6}{\exp(0.4.OM)}$

FICHAS

Ficha 1

Ficha para registro de datos										
Punto 1: Captación de la Central Hidroeléctrica La Playa										
Aforo: molinete	**Autora:**	Geovana Jácome		**Fechas:**		**Época lluviosa Aforo 1:** 17 mayo 2015	**Aforo 2:** 31 mayo 2015		**Época seca Aforo 1:** 21 septiembre 2015	**Aforo 2:** 29 septiembre 2015
Coordenadas	**X**	862959		**Y**		10089490	**Z**		2820	
Época	**Distancia (m)**	**Profundidad (m)** Aforo 1	Aforo 2	**Velocidad (m/s)** Aforo 1	Aforo 2	**Tiempo (s)**	**Caudal (m^3/s)** Aforo 1	Aforo 2	**Caudal (l/s)** Aforo 1	Aforo 2
Lluviosa	3,07	1,44	1,44	0,7	0,8	60	3,09	3,53	3090	3536
Seca	3,07	0,89	0,95	0,6	0,7	60	1,63	2,04	1639	2041

Ficha 2

P1: Captación Central Hidroeléctrica La Playa

EPOCA LLUVIOSA					EPOCA SECA	
distancias	Profundidad 1	Profundidad 2	**Profundidad total**	Profundidad 1	Profundidad 2	**Profundidad total**
3,07m	1,44m	1,44m	**1,44m**	0,89m	0,95m	**0,92m**

Ficha 3, Punto 2

Ficha para registro de datos

Punto 2: Sección río Bobo Central Hidroeléctrica La Playa

Aforo: molinete	**Autora:**	Geovana Jácome	**Fechas:**	**Epoca lluviosa**		**Epoca seca**	
				Aforo 1: 24 mayo 2015	**Aforo 2:** 31 mayo 2015	**Aforo 1:** 21 septiembre 2015	**Aforo 2**: 29 septiembre 2015
Coordenadas	**X**	862976	**Y**	10089617	**Z**	2846	

Epoca	**Distancia (m)**		**Profundidad (m)**		**Velocidad (m/s)**		**Tiempo (s)**	**Profundidad media (m)**		**Velocidad media (m/s)**		**Caudal (m^2/s)**		**Caudal (l/s)**	
			Aforo 1	**Aforo 2**	**Aforo 1**	**Aforo 2**		**Aforo 1**	**Aforo 2**	**Aforo 1**	**Aforo 2**	**Aforo 1**	**Aforo 2**	**Aforo 1**	**Aforo 2**
Lluviosa	10,70	Orilla Derecha	0,23m	0,13m	0m/s	0m/s	15s	1,06	1,07	0,18	0,23	2,04	2,63	2041	2633
		1	0,62m	0,57m	0,1m/s	0,2m/s	15s								
		2	0,90m	0,84m	0,3m/s	0,2m/s	15s								
		3	1,13m	0,95m	0,2m/s	0,3m/s	15s								
		4	1,10m	1,04m	0,2m/s	0,3m/s	15s								
		5	1,20m	1,36m	0,1m/s	0,3m/s	15s								
		6	1,42m	1,38m	0,3m/s	0,4m/s	15s								
		7	1,38m	1,50m	0,3m/s	0,3m/s	15s								
		8	1,55m	1,41m	0,1m/s	0,2m/s	15s								
		9	1,52m	1,43m	0,3m/s	0,3m/s	15s								
		Orilla Izquierda	0,68m	1,21m	0,1m/s	0,1m/s	15s								
Seca	10,70	Orilla Derecha	0,11m	0,13m	0m/s	0m/s	15s	0,73	0,76	0,16	0,20	1,24	1,62	1249	1626
		1	0,17m	0,19m	0,1m/s	0,1m/s	15s								
		2	0,49m	0,52m	0,1m/s	0,1m/s	15s								
		3	0,60m	0,73m	0,1m/s	0,2m/s	15s								
		4	0,70m	0,82m	0,1m/s	0,2m/s	15s								
		5	0.78m	0,79m	0,2m/s	0,2m/s	15s								
		6	1,20m	1,24m	0,2m/s	0,3m/s	15s								
		7	1,20m	1,28m	0,3m/s	0,3m/s	15s								
		8	0,92m	0,97m	0,2m/s	0,3m/s	15s								
		9	1,06m	1,07m	0,3m/s	0,3m/s	15s								
		Orilla Izquierda	0,84m	0,72m	0,2m/s	0,2m/s	15s								

Ficha 4

P2: Sección Río Bobo Central Hidroeléctrica La Playa

EPOCA LLUVIOSA				EPOCA SECA		
distancias	Profundidad 1	Profundidad 2	**Profundidad total**	Profundidad 1	Profundidad 2	**Profundidad total**
Orilla derecha	0,23m	0,13m	**0,18m**	0,11m	0,13m	**0,12m**
1m	0,62m	0,57m	**0,59m**	0,17m	0,19m	**0,18m**
2m	0,90m	0,84m	**0,87m**	0,49m	0,52m	**0,51m**
3m	1,13m	0,95m	**1,04m**	0,60m	0,73m	**0,67m**
4m	1,10m	1,04m	**1,07m**	0,70m	0,82m	**0,76m**
5m	1,20m	1,36m	**1,28m**	0.78m	0,79m	**0,79m**
6m	1,42m	1,38m	**1,4m**	1,20m	1,24m	**1,22m**
7m	1,38m	1,50m	**1,44m**	1,20m	1,28m	**1,24m**
8m	1,55m	1,41m	**1,48m**	0,92m	0,97m	**0,95m**
9m	1,52m	1,43m	**1,47m**	1,06m	1,07m	**1,06m**
Orilla izquierda	0,68m	1,21m	**0,94m**	0,84m	0,72m	**0,78m**

Ficha 5, Punto 3

Ficha para registro de datos											
Punto 3: Embalse San Miguel de Car											
Aforo 1: molinete **Aforo 2:** flotador	**Autora:**	Geovana Jácome		**Fechas:**	**Epoca lluviosa Aforo 1:** 17 mayo 2015		**Aforo 2:** 24 mayo 2015	**Epoca seca Aforo 1:** 21 septiembre 2015		**Aforo 2:** 29 septiembre 2015	
Coordenadas	**X**	855723		**Y**		10089086	**Z**		3110		
Epoca	**Distancia (m)**	**Profundidad (m) Aforo 1**	**Aforo 2**	**Velocidad (m/s) Aforo 1**	**Aforo 2**	**Tiempo (s)**		**Caudal (m^3/s) Aforo 1**	**Aforo 2**	**Caudal (l/s) Aforo 1**	**Aforo 2**
Lluviosa	4	2	1,98	0,2	0,235	60	T1=18,09m T2=18,92m T3=20,48s T4=18,91s T5=19,77s T6=18,33s Tm=T1/6 Tm=114,5/6 **Tm=19,08s**	1,6	1,86	1600	1861
Seca	4	1,60	1,72	0,2	0,2	60	60	1,28	1,37	1280	1376

Ficha 6

P3: Embalse San Miguel de Car

EPOCA LLUVIOSA				EPOCA SECA		
distancias	Profundidad 1	Profundidad 2	**Profundidad total**	Profundidad 1	Profundidad 2	**Profundidad total**
4m	2m	1,98m	**1,99m**	1,60m	1,72m	**1,66m**

Ficha 7, Punto 4

Ficha para registro de datos											
Punto 4: Captación Santa Bárbara de Car											
Aforo 1: flotador **Aforo 2:** molinete	**Autora:**	Geovana Jácome		**Fechas:**		**Epoca lluviosa Aforo 1:** 24 mayo 2015		**Aforo 2:** 31 mayo 2015		**Epoca seca Aforo 1:** 21 septiembre 2015	**Aforo 2:** 29 septiembre 2015
Coordenadas	**X**	854676		**Y**		10085747		**Z**		3088	
Epoca	**Distancia (m)**	**Profundidad (m)**		**Velocidad (m/s)**		**Tiempo (s)**		**Caudal (m^3/s)**		**Caudal (l/s)**	
		Aforo 1	**Aforo 2**	**Aforo 1**	**Aforo 2**	**Aforo 1**	**Aforo 2**	**Aforo 1**	**Aforo 2**	**Aforo 1**	**Aforo 2**
Lluviosa	2,70	1,57	1,40	0,176	0,2	T1= 20s T2= 22,67s T3= 18,99s T4= 26,04s T5= 19,73s Tm= Tt/5 Tm= 107,43s/5 **Tm= 21,48s**	60	0,746	0,756	746	756
Seca	2,70	1,20	1,27	0,1	0,1	1,20	60	0,324	0,342	324	342

Ficha 8

P4: Captación Santa Bárbara de Car

EPOCA LLUVIOSA				EPOCA SECA		
distancias	Profundidad 1	Profundidad 2	**Profundidad total**	Profundidad 1	Profundidad 2	**Profundidad total**
2,70m	1,57m	1,40m	**1,48m**	1,20m	1,27m	**1,24m**

Ficha 9, Punto 5

Ficha para registro de datos																	
Punto 5: Sección río Bobo Santa Bárbara de Car																	
Aforo: molinete		**Autora:**	Geovana Jácome		**Fechas:**		**Epoca lluviosa**				**Epoca seca**						
							Aforo 1: 24 mayo 2015		**Aforo 2:** 31 mayo 2015		**Aforo 1:** 21 septiembre 2015		**Aforo 2:** 29 septiembre 2015				
Coordenadas		**X**	854707		**Y**		10085719		**Z**		2986						
Epoca	**Distancia (m)**		**Profundidad (m)**		**Velocidad (m/s)**		**Tiempo (s)**	**Profundidad media (m)**		**Velocidad media (m/s)**		**Caudal (m^3/s)**		**Caudal (l/s)**			
			Aforo 1	**Aforo 2**	**Aforo 1**	**Aforo 2**		**Aforo 1**	**Aforo 2**	**Aforo 1**	**Aforo 2**	**Aforo 1**	**Aforo 2**	**Aforo 1**	**Aforo 2**		
Lluviosa	11,20	Orilla derecha	0,42m	0,65m	0,2m/s	0,1m/s	15s	0,39	0,45	0,27	0,27	1,17	1,36	1179	1360		
		1m	0,54m	0,61m	0,3m/s	0,2m/s	15s										
		2m	0,51m	0,61m	0,2m/s	0,3m/s	15s										
		3m	0,51m	0,58m	0,3m/s	0,5m/s	15s										
		4m	0,35m	0,65m	0,3m/s	0,7m/s	15s										
		5m	0,19m	0,50m	0,5m/s	0,6m/s	15s										
		6m	0,27m	0,39m	0,5m/s	0,5m/s	15s										
		7m	0,57m	0,51m	0,3m/s	0,4m/s	15s										
		8m	0,24m	0,20m	0,3m/s	0,2m/s	15s										
		9m	0,38m	0,29m	0,3m/s	0,2m/s	15s										
		10m	0,54m	0,17m	0,1m/s	0,1m/s	15s										
		Orilla izquierda	0,26m	0,35m	0m/s	0m/s	15s										
Seca	11,20	Orilla derecha	0,34m	0,40m	0,0m/s	0,0m/s	15s	0,23	0,28	0,17	0,18	0,43	0,56	437,9	564,4		
		1m	0,14m	0,23m	0,1m/s	0,1m/s	15s										
		2m	0,32m	0,35m	0,1m/s	0,1m/s	15s										
		3m	0,34m	0,36m	0,3m/s	0,2m/s	15s										
		4m	0,14m	0,17m	0,1m/s	0,2m/s	15s										
		5m	0,12m	0,19m	0,2m/s	0,3m/s	15s										
		6m	0,17m	0,19m	0,1m/s	0,2m/s	15s										
		7m	0,30m	0,33m	0,3m/s	0,3m/s	15s										
		8m	0,31m	0,34m	0,3m/s	0,2m/s	15s										
		9m	0,26m	0,30m	0,4m/s	0,3m/s	15s										
		10m	0,28m	0,32m	0,1m/s	0,2m/s	15s										
		Orilla izquierda	0,12m	0,18m	0,1m/s	0,1m/s	15s										

Punto 10

P5: Sección Río Bobo Santa Bárbara de Car

distancias	Profundidad 1	Profundidad 2	**Profundidad total**	Profundidad 1	Profundidad 2	**Profundidad total**
Orilla derecha	0,42m	0,65m	**0,53m**	0,34m	0,40m	**0,37m**
1m	0,54m	0,61m	**0,57m**	0,14m	0,23m	**0,19m**
2m	0,51m	0,61m	**0,56m**	0,32m	0,35m	**0,34m**
3m	0,51m	0,58m	**0,54m**	0,34m	0,36m	**0,35m**
4m	0,35m	0,65m	**0,5m**	0,14m	0,17m	**0,12m**
5m	0,19m	0,50m	**0,34m**	0,12m	0,19m	**0,16m**
6m	0,27m	0,39m	**0,33m**	0,17m	0,19m	**0,18m**
7m	0,57m	0,51m	**0,54m**	0,30m	0,33m	**0,32m**
8m	0,24m	0,20m	**0,22m**	0,31m	0,34m	**0,33m**
9m	0,38m	0,29m	**0,33m**	0,26m	0,30m	**0,28m**
10m	0,54m	0,17m	**0,35m**	0,28m	0,32m	**0,30m**
Orilla izquierda	0,26m	0,35m	**0,30m**	0,12m	0,18m	**0,15m**

ANEXO 3

FOTOGRAFÍAS

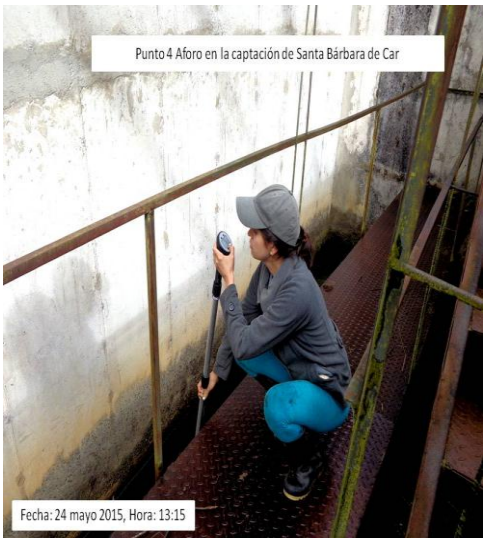
AFOROS ÉPOCA LLUVIOSA

Fotografía 1 Punto 1

Fotografía 2 Punto 2

Fotografía 3 Punto 3

Fotografía 4 Punto 4



Fotografía 5 Punto 5

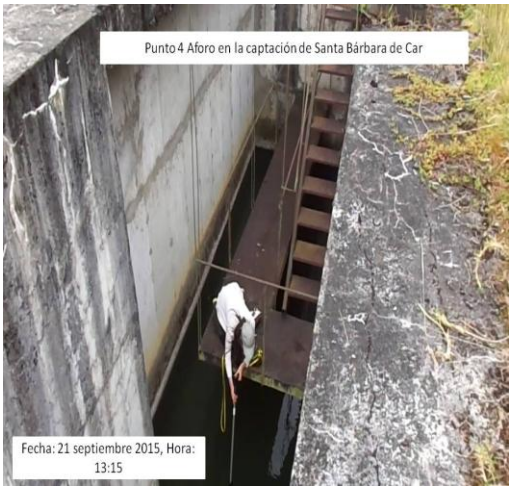
AFOROS ÉPOCA SECA

Fotografía 6 Punto 1

Fotografía 7 Punto 2

Fotografía 8 Punto 3

Fotografía 9 Punto 4



Fotografía 10 Punto 5

PRUEBAS DE INFILTRACIÓN

Fotografía 11 Punto 1

Fotografía 12 Punto 2

Fotografía 13 Punto 3

Fotografía 14 Punto 4