



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“MODELACIÓN CARTOGRÁFICA E HIDROLÓGICA DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA ACEQUIA ROSAS PAMBA, MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA”

**Tesis previa a la obtención del Título
de INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

Autora:

Yarima Cumandá Recalde Aza

Director:

Ing. Oscar Rosales

Ibarra - Ecuador

2015

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS
NATURALES RENOVABLES**

**“MODELACIÓN CARTOGRÁFICA E HIDROLÓGICA DEL
ÁREA DE INFLUENCIA DE LA ACEQUIA ROSAS PAMBA,
MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA”**

**Tesis previa a la obtención del Título
de INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

APROBADA:

Director: Ing. Oscar Rosales

Asesor: Ing. Jorge Granja

Asesor: Ing. Tania Oña

Asesor: Ing. Mónica León

Ibarra – Ecuador

2015



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:	1003434469		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Recalde Aza Yarima Cumandá		
DIRECCIÓN:	Ibarra, Machala 4-23 y Macas		
EMAIL:	yari@hotmail.es		
TELÉFONO FIJO:	062602849	TELÉFONO MÓVIL:	0969725475

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“MODELACIÓN CARTOGRÁFICA E HIDROLÓGICA DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA ACEQUIA ROSAS PAMBA, MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA”
AUTOR (ES):	Recalde Aza Yarima Cumandá
FECHA:	2015/01/26
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Oscar Rosales. M.Sc.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Yarima Cumandá Recalde Aza, con cédula de identidad Nro.1003434469, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.



Yarima Cumandá Recalde Aza
1003434469

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 enero del 2015

EL AUTOR:



Yarima Cumandá Recalde Aza
1003434469



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

Yo, Yarima Cumandá Recalde Aza con cédula de identidad Nro. 1003434469, 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: **MODELACIÓN CARTOGRÁFICA E HIDROLÓGICA DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA ACEQUIA ROSAS PAMBA, MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**”, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 26 días del mes de enero del 2015

Yarima Cumandá Recalde Aza
1003434469

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Yarima Cumandá Recalde Aza, bajo mi supervisión.



Ing. Oscar Rosales
DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

Con todo mi cariño y mi amor para la persona que hizo todo para que yo pudiera lograr mis metas, por motivarme, por estar siempre pendiente de mi y darme la fortaleza cuando lo necesité.

Mi Mami.

AGRADECIMIENTO

Debo agradecer de manera especial a mi tutor Ing. Oscar Rosales quien con su conocimiento supo guiarme durante el desarrollo de mi tesis y por facilitarme las herramientas necesarias para llevar a cabo todas las actividades propuestas en el proyecto. De igual manera agradezco a mis asesores Ing. Jorge Granja, Ing. Mónica León e Ing. Tania Oña por su ayuda incondicional cuando la necesité.

Quiero también resaltar el apoyo de mi amigo, colega, confidente y amor, Francisco quien siempre supo extenderme su mano cuando necesite de él; a mis amigos que con sus palabras de aliento siempre me motivaron a seguir adelante.

Finalmente, y para cerrar con broche de oro, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres por formarme como una persona de bien y por su apoyo incondicional durante todas las etapas de mi vida. A Dios gracias por mantenerme en pie, dándome fortaleza y guiando mi camino para poder cumplir con mis objetivos.

Gracias infinitas.

Yarima Recalde

RESUMEN

Durante los últimos años, los problemas dentro del área de influencia de la acequia Rosas Pamba han aumentado considerablemente debido a una inadecuada gestión del recurso y a la falta de información hidrológica que impide planificar las actividades de riego. Con la finalidad de generar ésta información se realizó una caracterización hídrica en campo durante las épocas lluviosa y seca mostrando una disminución del caudal de 125.07 l/s a 18 l/s respectivamente, a la vez se determinó que las pérdidas por infiltración en época seca predominan en la parte baja del área de estudio, poniendo en peligro la disponibilidad de agua para riego. Además se analizó los principales componentes del balance hídrico aplicando Sistemas de Información Geográfica (Ruiz, Arteaga, Vázquez, Capurata & López, 2012) para generar modelos de precipitación, temperatura y evapotranspiración a partir de datos meteorológicos de un período de 30 años (1969 a 1999). Se estimó una precipitación media anual de 800 a 1400 mm, una temperatura media anual de 13 a 15°C y una evapotranspiración media anual de 790 a 870 mm. La relación entre precipitación y evapotranspiración con la textura del suelo se utilizó para calcular el índice de humedad y generar modelos de balance hídrico anual, época lluviosa y seca. Así para la época lluviosa se determinó un déficit hídrico muy bajo, para la época seca un déficit hídrico alto y el modelo anual indicó un déficit hídrico bajo, es decir se dispone de agua durante todo el año. Los modelos hidráulicos simulando caudales potenciales de ingreso en el canal se generaron utilizando el software HEC-RAS; de esta forma se encontró que el aporte promedio de agua del río Tahuando a la acequia debe ser de 75 l/s para disponer de flujo de agua en los tramos sin revestimiento y de hormigón, sin tomar en cuenta los problemas de mantenimiento, infiltración y evaporación. Los resultados obtenidos se validaron con los datos de aforos tomados en campo, sustentando los modelos cartográfico e hidrológicos. Finalmente el proyecto se socializó con los actores clave en donde se adoptaron acuerdos para lograr el reparto equitativo del recurso hídrico entre los beneficiarios.

SUMMARY

During the last years, the problems within the area of influence of the ditch Rosas Pamba have increased considerably, due to inadequate resource management and lack of hydrological information that prevents the irrigation planning activities. In order to generate this information a water characterization was performed in the field during the rainy and dry season sand showing a decreased rate of 125.07 l / s to 18 l / s respectively, also it was determined that losses of infiltration in the dry season dominated in the lower part of the studying area endangering the availability of water for irrigation. Besides the main water balance components were analyzed using Geographic Information Systems (Ruiz, Arteaga, Vazquez, Capurata & Lopez, 2012) to generate models of precipitation, temperature and evapotranspiration from meteorological data for a period of 30 years (1969 - 1999). An average annual rainfall of 800-1400 mm, a medium annual temperature of 13-15 ° C and medium annual evapotranspiration of 790-870 mm was estimated. The relationship between precipitation and evapotranspiration with soil texture was used to calculate the moisture content and generate annual water balance models in the age rainy and dry seasons. So for the rainy season was determined a low water deficit during the dry season determined a high water deficit and the annual model indicated a water shortage under, water is available throughout the year. The hydraulic models simulating potential income flows in the channel were generated using the HEC-RAS software; of this form found that the contribution water of Tahuando river to the canal must be 75 l/s to provide water flow in the sections uncoated and concrete, regardless of maintenance problems, infiltration and evaporation. The results were validated with data from stream gauging taken in the field, supporting the mapping and hydrological models. Finally the project was socialized with key stakeholders where resolutions were adopted to achieve equitable distribution of water resources among the beneficiaries.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.2 PREGUNTAS DIRECTRICES	4

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Marco Legal	5
2.2 Ciclo hidrológico	8
2.2.1 Relación agua superficial y subterránea.....	9
2.2.2 Problemas del Ciclo Hidrológico	10
2.2.3 La función del bosque en la regulación de los ciclos del agua en cuencas hidrográficas	10
2.3 Balance hidrológico	12
2.3.1 Análisis del balance hídrico para el diseño de sistemas de riego.....	15
2.4 Balance oferta – demanda hídrica	17
2.4.1 Demanda hídrica	17
2.4.2 Demanda de agua para uso agrícola.....	17
2.5 Conflictos por el agua en el Ecuador	18
2.5.1 Falta de información de la situación de los sistemas de riego.	19
2.6 Sistemas de Información Geográfica e Hidrología Superficial	19
2.6.1 SIG en modelaciones hidrológicas	20
2.7 Canales de riego	21
2.7.1 Tipos de canales de riego	22
2.8 Modelación hídrica e hidráulica con HEC-RAS.....	22

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS	24
-------------------------------	----

3.1	Materiales y equipos	24
3.2	Métodología	25
3.2.1	Delimitación y localización del área de estudio	25
3.2.2	Caracterización biofísica	26
3.2.3	Caracterización hídrica	27
3.2.4	Análisis del uso y distribución del recurso hídrico	33
3.2.5	Análisis del balance hídrico anual y mensual del suelo en función de la evapotranspiración y precipitación	33
3.2.6	Modelación Hidrológica utilizando el Model Builder de ArcGis	36
3.2.7	Modelación Hidráulica	37
3.2.10	Socialización del modelo cartográfico-hidrológico.	40

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1	Delimitación y localización del área de estudio	42
4.2	Caracterización biofísica	43
4.3	Caracterización hídrica	55
4.3.1	Obras de ingeniería y mantenimiento.....	58
4.3.2	Caudal de agua	59
4.3.3	Pérdidas por infiltración	71
4.4	Uso y distribución del recurso hídrico	78
4.5	Balance hídrico anual y mensual del suelo en función de la precipitación y evapotranspiración	80
4.5.1	Precipitación	80
4.5.2	Temperatura media anual	83
4.5.3	Evapotranspiración media anual según Holdridge	84
4.5.4	Evapotranspiración mensual según Thornthwaite.....	85
4.6	Modelos de humedad del suelo	87
4.7	Modelación Hidráulica.....	92
4.7.1	Datos geométricos de las secciones transversales	93
4.7.2	Simulación con caudales potenciales de ingreso.....	99
4.7.3	Caudales simulados y medidos.....	117
4.8	Socialización del proyecto	119

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	121
5.1	CONCLUSIONES	121
5.2	RECOMENDACIONES.....	122

CAPÍTULO VI

6.	BIBLIOGRAFÍA CITADA	125
	ANEXOS	131

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Contenido de agua en la superficie de la Tierra	9
Cuadro 2.2 Esquema del Balance Hidrológico	13
Cuadro 2.3 Factores que condicionan la Evapotranspiración.	16
Cuadro 2.4 Contenido de humedad del suelo de acuerdo a la textura	16
Cuadro 3.5 Materiales y Equipos	24
Cuadro 3.6 Coeficientes de ajuste de velocidad.....	31
Cuadro 3.7 Ubicación de sitios de aforo de caudales y métodos utilizados	31
Cuadro 4.8 Coordenadas de los puntos extremos de la acequia Rosas Pamba.....	42
Cuadro 4.9 Tipos de suelos	43
Cuadro 4.10 Formaciones Geológicas.	44
Cuadro 4.11 Uso de suelo y Cobertura vegetal (2014)	46
Cuadro 4.12 Uso Potencial del Suelo (Clases agrológicas) 2014.	47
Cuadro 4.13 Conflictos de uso del suelo.....	49
Cuadro 4.14 Zonas de Vida.....	50
Cuadro 4.15 Pendientes.....	51
Cuadro 4.16 Ríos y quebradas dentro del área de estudio	52
Cuadro 4.17 Tipos de Bioclimas	53
Cuadro 4.18 Características Estación meteorológica de Ibarra-Aeropuerto	55
Cuadro 4.19 Precipitación y temperatura medias de la Estación de Ibarra.....	56
Cuadro 4.20 Características de la estación meteorológica Olmedo-Pichincha.....	57
Cuadro 4.21 Precipitación y temperatura medias Estación Olmedo-Pichincha....	57
Cuadro 4.22 Datos hidráulicos y geométricos del punto de aforo 1	60
Cuadro 4.23 Datos hidráulicos y geométricos del punto de aforo dos.....	62
Cuadro 4.24 Datos hidráulicos y geométricos del punto de aforo tres	63
Cuadro 4.25 Resultados del aforo en el punto cuatro	65
Cuadro 4.26 Datos hidráulicos y geométricos del punto de aforo 5 en la época lluviosa	66
Cuadro 4.27 Resultados del aforo en el punto 5 - época seca.....	67
Cuadro 4.28 Resultados del aforo en el punto 6	68
Cuadro 4.29 Resultados del aforo en el Punto siete.....	69
Cuadro 4.30 Diferencia de caudales en las épocas lluviosa y seca.....	70
Cuadro 4.31 Resultados prueba de infiltración – textura gruesa	71
Cuadro 4.32 Resultados prueba de infiltración – textura medianamente gruesa..	73
Cuadro 4.33 Resultados prueba de infiltración – sin suelo	75
Cuadro 4.34 Resultados prueba de infiltración – textura media	76
Cuadro 4.35 Precipitación media mensual por Estación Meteorológica (mm)	81
Cuadro 4.36 Temperatura media anual	83
Cuadro 4.37 Evapotranspiración media anual según Holdridge	84

Cuadro 4.38 Evapotranspiración mensual según Thornthwaite (mm).....	86
Cuadro 4.39 Índice de humedad mensual y anual.....	89
Cuadro 4.40 Balance hídrico del suelo por época seca y época lluviosa.....	89
Cuadro 4.41 Datos geométricos de los tramos de la acequia Rosas Pamba	94
Cuadro 4.42 Caudales simulados y medidos	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Sistema Hidrológico	8
Figura 2.2 Relación Bosque- Ciclo del Agua.....	12
Figura 3.3 Herramienta de programación gráfica Model Builder.....	37
Figura 3.4 Tramos de la acequia Rosas Pamba.....	38
Figura 4.5 Diagrama ombrotérmico de la estación Ibarra-Aeropuerto.....	56
Figura 4.6 Diagrama ombrotérmico de la estación Olmedo-Pichincha.....	58
Figura 4.7 Área mojada transversal punto 1	61
Figura 4.8 Área mojada transversal punto 2	63
Figura 4.9 Área mojada transversal punto 3	64
Figura 4.10 Área mojada transversal punto 4	65
Figura 4.11 Área mojada transversal punto 5	67
Figura 4.12 Área mojada transversal del punto 6 en la época lluviosa.....	68
Figura 4.13 Sección mojada del punto de aforo 7.....	69
Figura 4.14 Curva de infiltración - suelo con textura gruesa.....	72
Figura 4.15 Curva de infiltración - suelo con textura medianamente gruesa.....	74
Figura 4.16 Curva de infiltración - suelo con textura arenosa	76
Figura 4.17 Curva de infiltración - suelo con textura media.....	77
Figura 4.18 Precipitación mensual por Estación Meteorológica	81
Figura 4.19 Precipitación época lluviosa	82
Figura 4.20 Precipitación época seca	82
Figura 4.21 Precipitación media anual.....	83
Figura 4.22 Temperatura media anual	84
Figura 4.23 Evapotranspiración media anual según Holdridge	85
Figura 4.24 Evapotranspiración Época lluviosa.....	86
Figura 4.25 Evapotranspiración Época seca	87
Figura 4.26 Representación gráfica del modelo de humedad anual.....	87
Figura 4.27 Representación gráfica de los modelos de humedad, a)Época lluviosa, b)Época seca.....	88
Figura 4.28 Modelo de humedad del suelo en la época lluviosa	90
Figura 4.29 Modelo de humedad del suelo en la época seca	91
Figura 4.30 Modelo de humedad anual del suelo	92
Figura 4.31 Simulación tramo 1, 125 l/s.....	100
Figura 4.32 Vista del tramo 1 en 3d, Caudal 125l/s.....	101
Figura 4.33 Simulación tramo 1, 100 l/s.....	102
Figura 4.34 Vista del tramo 1 en 3d, Caudal 75 l/s.....	102
Figura 4.35 Simulación tramo 1, 50 l/s.....	103
Figura 4.36 Vista del tramo 1 en 3d, Caudal 75 l/s.....	104
Figura 4.37 Simulación tramo 1, 18 l/s.....	105

Figura 4.38 Vista 3d del tramo 1, Caudal 18 l/s.....	105
Figura 4.39 Perfil longitudinal del Tramo 1	106
Figura 4.40 Simulación tramo 2, 20 l/s	108
Figura 4.41 Vista 3d del tramo 2, Caudal 20 l/s.....	108
Figura 4.42 Simulación tramo 2, 70 l/s	109
Figura 4.43 Vista 3d del tramo 2, Caudal 15 l/s.....	110
Figura 4.44 Simulación tramo 2, 40 l/s	111
Figura 4.45 Vista 3d del tramo 2, Caudal 40 l/s.....	111
Figura 4.46 Perfil longitudinal del Tramo 2	112
Figura 4.47 Simulación tramo 3, 65 l/s	114
Figura 4.48 Vista 3d del tramo 2, Caudal 65 l/s.....	114
Figura 4.49 Simulación tramo 3, 37 l/s	115
Figura 4.50 Vista 3d del tramo 3, Caudal 3 l/s.....	116
Figura 4.51 Perfil longitudinal del Tramo 2	116
Figura 4.55 Correlación lineal, caudales medidos y simulados	119

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 3.1 Medición de caudales con el Molinete Electrónico.....	29
Fotografía 3.2 Medición de caudales utilizando el método del flotador.....	30
Fotografía 3.3 Difusión del evento	41
Fotografía 3.4 Exposición de los resultados del proyecto	41
Fotografía 4.5 Terraza Indiferenciada.....	45
Fotografía 4.6 Desarenador, 2014.....	59
Fotografía 4.7 Vegetación acuática y herbácea en el canal sin revestimiento	59
Fotografía 4.8 Ganado caballar en la Hacienda Rosas.....	79
Fotografía 4.9 Reservorio de agua en la Florícola Fiesta Flowers.....	79
Fotografía 4.10 Tramo 1 (sección sin revestimiento)	99
Fotografía 4.11 Tramo 2 (canal de hormigón).....	107
Fotografía 4.12 Tramo 3 (canal sin revestimiento).....	113
Fotografía 4.13 Discusión entre los actores clave.....	119

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: MAPAS

MAPA 1 Mapa de Ubicación.....	132
MAPA 2 Mapa Base	132
MAPA 3 Tipos de suelos	132
MAPA 4 Geología Regional	132
MAPA 5 Uso del suelo y cobertura vegetal.....	132
MAPA 6 Uso Potencial del Suelo.....	132
MAPA 7 Conflictos de Uso	132
MAPA 8 Zonas de Vida.....	132
MAPA 9 Pendientes del terreno.....	132
MAPA 10 Hidrología.....	132
MAPA 11 Tipos de Climas	132
MAPA 12 Ubicación de sitios de aforo	132
MAPA 13 Texturas del suelo.....	132
MAPA 14 Lotes en el área de riego de la Esperanza.....	132
MAPA 15 Precipitación época lluviosa	132
MAPA 16 Precipitación época seca.....	132
MAPA 17 Precipitación media anual.....	132
MAPA 18 Temperatura media anual	132
MAPA 19 Evapotranspiración media anual.....	132
MAPA 20 Evapotranspiración época lluviosa	132
MAPA 21 Evapotranspiración época seca.....	132
MAPA 22 Balance Hídrico del suelo Época lluviosa	132
MAPA 23 Balance Hídrico del suelo Época seca.....	132
MAPA 24 Balance Hídrico Anual del suelo	132

ANEXO 2: FICHAS.....156

FICHA 1: DE CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA

FICHA 2: AFOROS LÍQUIDOS SUPERFICIALES

FICHA 3: VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN EL SUELO

FICHA 4: ACTA RECEPCIÓN DE LAS INVITACIONES PARA LA
SOCIALIZACIÓN

FICHA 5: REGISTRO DE ASISTENCIA EN LA SOCIALIZACIÓN

ANEXO 3: FOTOGRAFÍAS.....169

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, los estudios hidrológicos en cuencas, constituyen la herramienta de planificación de cualquier tipo de proyecto, ya que el principal factor ambiental es el recurso agua. La presente investigación analiza el balance hídrico en la acequia Rosas Pamba; conocimiento obtenido mediante la toma de datos de campo y el uso de modelos hidrológicos, con el fin de generar información que permita planificar las actividades de riego y sugerir soluciones a los problemas con el recurso hídrico en el trazado de la acequia.

Con el aumento progresivo de la población humana, y de su necesidad de asentarse en lugares cercanos a fuentes de agua, los problemas en el medio natural acuático se han incrementado de manera alarmante en los últimos años. El uso sustentable del recurso agua en muchos lugares ha pasado desapercibido debido a la falta de conciencia ecológica en las poblaciones (Worster, 2008). Este problema social sumado a la falta de conocimiento sobre los procesos hidrológicos causan un desorden en el uso y manejo del recurso. La falta de información en cuanto al balance hídrico en una cuenca, ha causado problemas en la planificación de los proyectos hídricos importantes para mejorar la calidad de vida de la población. (Céleri, De Bièvre & Ochoa, 2012).

En el Ecuador, la entidad encargada de regular los proyectos hídricos es la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), cuya meta “Dirigir la gestión integral, integrada de los recursos hídricos en todo el territorio nacional a través de políticas, normas, control y gestión desconcentrada para generar una eficiente administración

del uso y aprovechamiento del agua” (SENAGUA, 2014). La SENAGUA se encuentra realizando y apoyando los estudios hidrológicos en sistemas hidrográficos del Ecuador. Años atrás, estos estudios hidrológicos tardaban mucho para obtener resultados, hoy en día con el avance de la tecnología y el desarrollo de herramientas informáticas como los SIG, se ha contribuido para que estos estudios se realicen con mayor agilidad y precisión (Sanchez & Amorós, 2012).

La acequia Rosas Pamba ubicada en las parroquias la Esperanza y Angochagua de la Ciudad de Ibarra, presenta varios problemas debido a actividades antrópicas cercanas a los agroecosistemas de pastos y cultivos. Dichas acciones están ocasionando una disminución de caudales en el trazado de la acequia la cual es utilizada en varias actividades, siendo la principal el riego de los cultivos que mantienen las comunidades. Las actividades que ocasionan esta disminución del caudal son los cambios en el uso del suelo, principalmente la urbanización; el avance de la frontera agrícola y la presencia de plantaciones comerciales con especies exóticas de valor maderable (eucalipto), lo que ocasiona el remplazo y disminución de la cobertura vegetal nativa de la zona. Además, la falta de limpieza y mantenimiento del canal sin revestimiento, así como la mala distribución del recurso para las distintas actividades productivas, contribuyen a la disminución del caudal de la acequia y alteración del balance hídrico.

Estos problemas ambientales pueden derivar problemas sociales relacionados con el uso del agua entre las comunidades y dueños de pequeños y medianos predios asentados en el área de influencia de la acequia. El aprovechamiento del agua principalmente en la parte alta y media del área de influencia, destinada para actividades productivas como ganadería y agricultura supone un riesgo para la disponibilidad del recurso en la parte baja de la acequia, lo que podría ocasionar conflictos internos difíciles de manejar.

El presente estudio está encaminado a generar información hidrológica que hasta la actualidad ha sido inexistente en el trazado de la acequia Rosas Pamba, utilizando datos hidrometeorológicos y aplicación de Sistemas de Información Geográfica

para crear modelos cartográfico-hidrológicos. Dicha información apoyará en el fortalecimiento de los Planes de Ordenamiento Territorial para la parroquia La Esperanza y Angochagua elaborado por Agnition Innovation (2011).

Esta investigación contribuirá a la toma de decisiones acertadas sobre el recurso agua y al planteamiento de posibles soluciones que garanticen su buen uso y manejo. La información generada será útil para determinar los procesos que forman parte del ciclo hidrológico y que de manera directa afectan al área de influencia de la acequia Rosas Pamba. Así, el presente estudio servirá para determinar las épocas del año en los que es importante formular planes de riego dentro del área de influencia. El modelamiento obtenido será aplicable como un prototipo para sistemas de riego localizados en condiciones ambientales similares en cualquier sitio del país, por parte de los actores clave.

1.1 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la modelación cartográfica e hidrológica del área de influencia de la acequia Rosas Pamba, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica, para manejar adecuadamente el recurso agua.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el recurso hídrico en el área de influencia de la acequia Rosas Pamba para el modelamiento hidrológico.
- Analizar el uso y distribución del recurso hídrico en la acequia Rosas Pamba.
- Analizar y modelar el balance hídrico anual y mensual en la acequia mediante la aplicación de herramientas SIG.
- Validar el modelo hidrológico obtenido y socializar a los actores clave.

1.2 PREGUNTAS DIRECTRICES

¿El modelo cartográfico-hidrológico del balance hídrico en el área de influencia de la acequia Rosas Pamba realizado mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica, puede ser validado a través de la presente investigación?

¿Las épocas seca y lluviosa, influyen en la disponibilidad de agua en la acequia Rosas Pamba para la zona de riego?

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Para la revisión de literatura se consideró el Marco Legal Ecuatoriano en el cual se apoya la investigación, así como temas científicos que aporten al desarrollo del estudio, prestando atención a artículos relacionados con el tema de ciclo hidrológico y balance hídrico en cuencas.

2.1 Marco Legal

La presente investigación se enmarca en los artículos de la Constitución 2008 y en los artículos de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, recientemente aprobada en la Asamblea Nacional luego de la discusión con las organizaciones indígenas, montubias y afroecuatorianas.

- **CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR**

TÍTULO II

DERECHOS

En el Capítulo segundo de los Derechos del Buen Vivir, sección agua y alimentación, el Art. 12 señala que el derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

TÍTULO VI

RÉGIMEN DE DESARROLLO

En el art. 318 del capítulo quinto se menciona que el agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos, así como se prohíbe toda forma de privatización del agua.

TITULO VII

RÉGIMEN DEL BUEN VIVIR

En el capítulo segundo, sección sexta trata del agua en donde en el Art. 411 se menciona que el Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua, y como se menciona el en el Art. 412, la planificación, regulación y control del recurso es responsable la autoridad a cargo.

- **LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA**

TÍTULO I

DISPOSICIONES PRELIMINARES

CAPÍTULO I DE LOS PRINCIPIOS

La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua en su Art. 5 indica que el agua constituye patrimonio nacional, sector estratégico de decisión y de control exclusivo del Estado a través de la Autoridad Única del Agua cuya gestión se enfocará en el interés público.

Al igual que la CONSTITUCIÓN prohíbe toda forma de privatización del agua, la presente Ley en su Art. 6 menciona que por su trascendencia para la vida, la economía y el ambiente, el agua no puede ser objeto de ningún acuerdo comercial.

El Art. 14 señala que 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.

CAPÍTULO II

INSTITUCIONALIDAD Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Sección Tercera Gestión y Administración de los Recursos Hídricos

La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria, es decir estará a cargo del Estado y de las comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y juntas de organizaciones de usuarios del servicio, juntas de agua potable y juntas de riego, como lo indica el Art. 32 de la presente Ley.

El Art. 40 indica los principios y objetivos para la gestión del riego y drenaje, los cuales son: ampliar la cobertura y mejorar la eficiencia de los sistemas de riego en función del cambio de la matriz productiva, impulsar la modernización y tecnificación del riego y garantizar la calidad y cantidad de agua. Por su parte el Art. 47 atribuye a las juntas de riego realizar el reparto equitativo del agua, resolver conflictos entre sus miembros, colaborar con la Autoridad Única del Agua en la protección de las fuentes de abastecimiento de agua del sistema de riego evitando su contaminación.

2.2 Ciclo hidrológico

Según Ordoñez (2011), el ciclo hidrológico se produce porque existe una fuente de evaporación, energía térmica y gravitación. La fuente de evaporación es cualquier medio acuoso en la superficie terrestre, la energía térmica son los rayos solares y los aportes térmicos por procesos endógenos de la tierra, mientras que la gravitación la constituye la fuerza de gravedad propia de la tierra que permite al agua circular en el planeta. En la Figura 2.1 se muestra el esquema del ciclo hidrológico, denominado sistema hidrológico debido a que es un proceso que describe el almacenamiento y movimiento del agua entre la Biósfera, Atmósfera, Litósfera, e Hidrósfera.

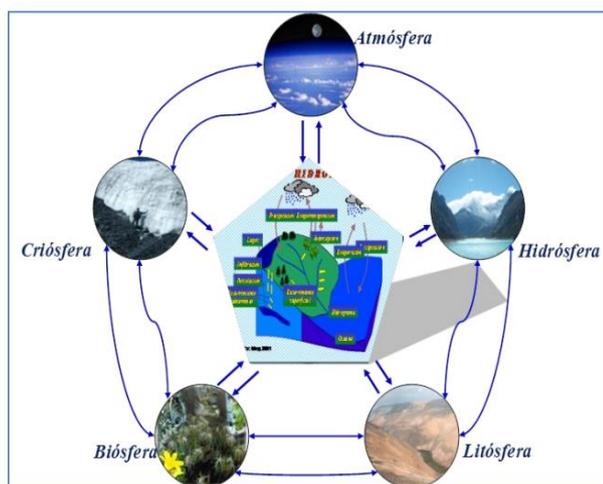


Figura 2.1 Sistema Hidrológico
Fuente: Ordoñez (2011)

Aproximadamente el 97% de toda el agua en la Tierra está en los océanos. El otro 3% se mantiene como el agua dulce en los glaciares y capas de hielo, las aguas subterráneas, lagos, suelos, la atmósfera, y dentro de la vida (Cuadro 2.1). El desequilibrio resultante entre la tasa de evaporación y precipitación, sobre la tierra y el océano, se corrige por la escorrentía y el flujo de agua hacia los océanos (Selles, 2011).

Cuadro 2.1 Contenido de agua en la superficie de la Tierra

Reservorios	Porcentaje (%)
Océanos	97,25
Glaciares	2,05
Agua subterránea	0,68
Lagos	0,01
Suelos húmedos	0,005
Atmósfera	0,001
Ríos	0,0001
Biósfera	0,00004

Fuente: Selles, (2014)

2.2.1 Relación agua superficial y subterránea

El ciclo hidrológico está alimentado por la **precipitación** el cual al caer fluye por la superficie del terreno que se recoge en cauces constituyendo la **escorrentía superficial**. Una fracción de la lluvia se infiltra en el terreno, otra parte importante regresa a la atmósfera por la evapotranspiración y la última parte recarga los **acuíferos** que a la vez descargan en ríos, lagos, quebradas y zonas húmedas (Ordoñez, 2011). De esta manera, las aguas superficiales y las subterráneas deben estudiarse como un solo recurso, debido a que se encuentran interconectadas entre sí y su uso puede ser alternado según las condiciones climáticas.

El agua subterránea constituye una fuente importante para el abastecimiento de la población mundial, y son reservas indispensables cuando el agua superficial está escasa por las sequías. A nivel mundial se analiza la importancia de este sistema, por ejemplo algunos análisis realizados en California indican que es posible aprovechar esta interconexión, haciendo uso de los almacenamientos subterráneos para mejorar la eficiencia en riego y usos urbanos (Sahuquillo, 2009).

2.2.2 Problemas del Ciclo Hidrológico

Sanchez & Bonilla (2008) mencionan que varios problemas sociales como el incremento desmedido de la población humana, así como problemas ambientales relacionados con el cambio de uso de suelo, la tala de los bosques, el avance de la frontera agrícola y la contaminación ambiental tienen efectos directos en el ciclo hidrológico y en el desarrollo normal de la vida en el planeta. Por su parte, García, Carvajal & Jiménez (2007) señalan que en algunas regiones el acceso al agua es cada vez más reducido; problemas como el aumento de la evapotranspiración aumentan la temperatura del aire y como consecuencia varían las precipitaciones, mientras que en otros lugares las precipitaciones incrementan, y se mejora la disponibilidad de agua.

Las modificaciones más importantes en el ciclo hidrológico debido al cambio climático según García et al. (2007), son:

- Cambios en el vapor de agua (el efecto invernadero)
- Cambios en las nubes (Albedo y efecto invernadero)
- Alteración en la temperatura del océano
- Modificación en almacenamiento de calor
- Variación en la escorrentía
- Cambios en la humedad del suelo (balance de calor superficial),
- Alteración de las interacciones entre ciclo del carbono y el ciclo del agua.

2.2.3 La función del bosque en la regulación de los ciclos del agua en cuencas hidrográficas

En el Ecuador, los páramos y otros ecosistemas de altura estratégicos en el ciclo del agua están en diversas formas de propiedad. Existen áreas en manos de haciendas, pequeños agricultores, indígenas y comunidades, muchas de ellas se encuentran dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), en donde se conserva

estos ecosistemas. Por otro lado en algunas regiones la presión es muy alta y los procesos de degradación son severos (Foro de los Recursos Hídricos, 2013).

Mintegui (2012) señala que desde el siglo XIX varios investigadores han comprobado experimentalmente que el bosque incide en los ciclos del agua y de los sedimentos dentro de una cuenca hidrográfica. Con la precipitación el agua se incorpora a la cuenca, incrementando los caudales en sus cauces y activando el ciclo de los sedimentos. Si se trata de importantes volúmenes de agua en un corto intervalo de tiempo pueden aparecer procesos de erosión del suelo y de movimiento de gran cantidad de sedimentos, así el bosque actúa como protector de las cuencas hidrográficas.

A escala local los bosques tienen un efecto significativo en los microclimas, ya que son fuente de humedad atmosférica en períodos secos, es decir producen este efecto debido a la acción combinada de evaporación y evapotranspiración regulando el ciclo hidrológico. Además, los bosques ayudan a disminuir la erosión del suelo en laderas, actúan como filtros para la infiltración de las escorrentías y retienen sedimentos (González, 2011). Por otra parte, las plantaciones o monocultivos son muy efectivas movilizand o nutrientes y acumulando biomasa o carbono, pero no son buenos reguladores del ciclo hidrológico y retenedores de sedimentos; en consecuencia son menos eficientes que el bosque pero mejor que suelo descubierto (Mintegui, 2012).

Según Hamilton (2009) el bosque juega un papel importante en la dinámica de la cuenca hidrográfica (Figura 2.2), siendo sus principales procesos:

- La protección de la cuenca ante los efectos que le pueden causar los eventos torrenciales.
- A lo largo de los ríos los bosques ofrecen sombra y así disminuyen la temperatura del agua.

- Los bosques protegen las masas de agua y las corrientes porque atrapan los sedimentos y los contaminantes producidos por las actividades y los usos de las zonas altas.
- Bajo el bosque el agua que llega al suelo atravesando la cubierta forestal encuentra unas condiciones óptimas para la infiltración, creadas por la capa de residuos forestales de hojarasca, ramillas, entre otros.

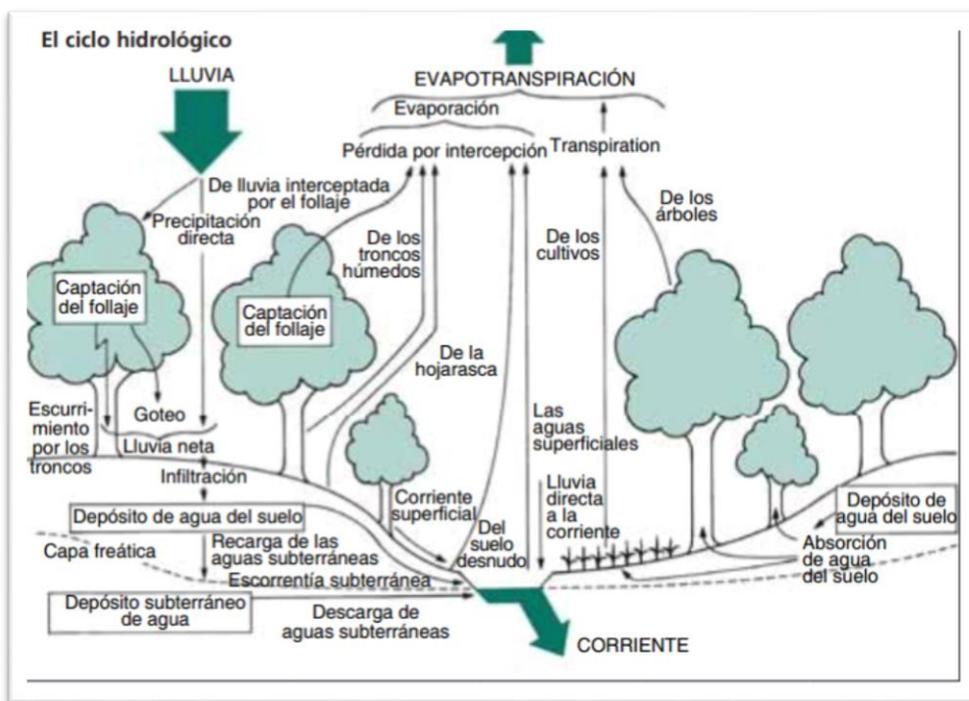


Figura 2.2 Relación Bosque- Ciclo del Agua
Fuente: Hamilton (2009)

2.3 Balance hidrológico

Para evaluar de forma correcta los recursos en una cuenca hidrográfica es necesario conocer su balance hidrológico en forma cuantitativa, considerando las entradas y salidas del sistema hídrico, el cual debe ser igual, caso contrario existe una alteración en el ciclo del agua. El esquema del balance hidrológico se presente en el Cuadro 2.2.

La información del balance hídrico en una cuenca permite obtener información sobre:

- La precipitación y evapotranspiración anual.
- El tiempo o periodo en el que se produce la infiltración.
- Períodos en los que se produce sequía para establecer la demanda de agua para riego en esa época.

Cuadro 2.2 Esquema del Balance Hidrológico

Esquema del Balance Hídrico	
Aportes o entradas	Salidas
<p>Precipitaciones: lluvia o nieve eventualmente rocío y condensación sobre la tierra</p> <p>Recursos provenientes del período anterior</p>	<p>Esguerrimiento o derrame: Caudal escurrido por el colector de la cuenca.</p> <p>Evapotranspiración: Evaporación física y fisiológica de los vegetales en el periodo considerado.</p> <p>Recursos acumulados al final del periodo considerado: aguas subterráneas, nieves y glaciares que no entraron en fusión</p>

Fuente: Gutiérrez, Dávila, De Anda & De Jesús (2013)

En un estudio de Balance Hidrológico Climático en la cuenca del río Cazonos en México, Gutiérrez *et al.* (2013) utilizaron variables climatológicas para su estimación, como datos de entrada de valores de precipitación y temperatura de un cierto periodo de años. Además, seleccionaron 10 estaciones climatológicas en operación reportadas en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), donde obtuvieron los datos mensuales de precipitación y temperatura de un periodo entre 1981 al 2010. Para el cálculo de la evapotranspiración potencial, utilizaron el método de Thornthwaite y Mather (1957), el cual está basado en la determinación de la evapotranspiración en función de la temperatura y de la latitud de la zona de estudio y del mes.

Las fórmulas utilizadas en el estudio del río Cazonos para estimar la evapotranspiración a través de la temperatura son:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$$

$$l = \sum i$$

$$\text{ETP sin corrección} = 16 \left(10 * \frac{t}{I}\right)^a$$

$$a = 6,75 * 10^{-7} * 13 - 7,71 * 10^{-5} * 12 + 1,792 * 10^{-2} * 1 + 0,49239$$

$$\text{ETP} = \text{ETP sin corrección} \left(\frac{N}{12} * \frac{d}{30}\right)$$

En donde:

- i es el índice de calor mensual,
- t es la temperatura media mensual
- I es el índice de calor anual
- a es un factor en función del índice de calor anual
- ETP sin corrección es la evapotranspiración potencial sin ajuste
- N es el número máximo de horas de sol dependiendo de la latitud y del mes
- d el número de días del mes
- ETP es la evapotranspiración potencial final.

Además, calcularon el valor de capacidad de campo en base a la capacidad de retención del agua según la textura del suelo y el tipo de vegetación, para ello se utilizó la fórmula:

$$CC = CR * PR$$

En donde:

- CC es la capacidad de campo,
- CR es la capacidad de retención y
- PR es la profundidad radicular de cierto tipo de vegetación

Los resultados obtenidos por Gutiérrez *et al.* (2013) determinaron que el aumento de temperatura en el periodo seco provoca un aumento de la evapotranspiración con

la consecuente pérdida de agua en el suelo, mientras que en el periodo húmedo sucede lo contrario disminuyendo la salida de agua en la cuenca.

2.3.1 Análisis del balance hídrico para el diseño de sistemas de riego

En el Ecuador el agua de lluvia no es suficiente para mantener los cultivos por lo que surge la necesidad de implementar sistemas de riego que aporten con el volumen de agua necesario para el desarrollo de la agricultura (SENAGUA, 2014). El análisis de los factores que intervienen en el ciclo hidrológico, es de vital importancia para diseñar estos sistemas de riego, siendo los principales:

- **Precipitación**

La cantidad de agua que ha caído se puede obtener mediante la información de las estaciones meteorológicas.

- **Evaporación y Evapotranspiración**

Es importante conocer la cantidad de agua que se pierde por estos dos factores, así como la cantidad de agua con la que es necesario dotar a los distritos de riego para determinar las fuentes y dimensiones de los sistemas de abastecimiento. Para poder calcular la cantidad de agua que se evapora se toma en cuenta factores como la humedad atmosférica, la temperatura del aire, la velocidad del viento, la radiación y la temperatura del agua. La evapotranspiración, además de la evaporación, toma en cuenta también la transpiración de la vegetación. (Santos, Valero, Picornell & Tarjuelo, 2010). Cadena, (2012) señala que los factores que condicionan la Evapotranspiración (Cuadro 2.3) se agrupan en condiciones meteorológicas, condiciones de cultivo y condiciones del suelo.

Cuadro 2.3 Factores que condicionan la Evapotranspiración.

Factor	Elemento	Efecto sobre la evapotranspiración del cultivo	
		Alta	Baja
Clima	Temperatura	Caliente	Frío
	Humedad relativa	Seco	Húmedo
	Vientos	Ventoso	Sin viento
	Nubosidad	Despejado	Nublado
Cultivo	Naturaleza	Mucho follaje	Poco follaje
	Ciclo vegetativo	Fase desarrollo	Inicio – cosecha
	Densidad	Cultivos densos	Cultivos espaciados
Suelo	Capacidad de retención	Húmedo	Seco

Fuente: Cadena (2012).

- **Infiltración**

Para conocer la infiltración del agua en un suelo se deben analizar factores como el tipo de suelo en cuanto al tamaño de las partículas, la textura (Cuadro 2.4), estructura, presencia de materia orgánica, las sales del suelo y del agua, y los sedimentos en el agua de riego (Cadena, 2012).

Cuadro 2.4 Contenido de humedad del suelo de acuerdo a la textura

Texturas	Velocidad (mm/hora)
Gruesa – arenoso	>30
Arenoso franco	15 – 30
Franco arenoso	12 – 18
Franco	8 – 14
Franco limoso	6 – 10
Areno limoso	20 – 30
Limoso	10 – 20
Arcillo limoso	5 – 8
Arcilloso	3 - 6

Fuente: Cadena (2012)

2.4 Balance oferta – demanda hídrica

La oferta constituye la precipitación, las aguas superficiales de un río o quebrada que alimenta la cuenca, más las aguas subterráneas, mientras que la demanda es los diferentes usos que se le da al agua a largo de la cuenca (Domínguez, Rivera, Vanegas & Moreno, 2008).

2.4.1 Demanda hídrica

Se refiere a los volúmenes de producción sectorial y de factores de consumo de agua por tipo de producto o servicio (Domínguez *et al*, 2008). La demanda de agua puede ser:

- Demanda doméstica
- Demanda industrial
- Demanda ambiental
- Demanda agrícola
- Demanda de agua para el sector de servicios
- Demanda para uso pecuario

La disponibilidad de agua en el Ecuador puede variar de 4.320.000 hm³ en la estación lluviosa hasta solo 146.000 hm³ en la estación seca. La mayor parte del agua utilizada proviene de los recursos superficiales y sus principales usos son: riego (82%), uso doméstico (12%) y uso industrial (6%). Los recursos subterráneos de agua han sido poco estudiados, pero se estima que el país posee un potencial de 10.400 hm³/año, de los que se aprovecha solo un 3% (Plan Nacional de Riego y Drenaje 2012-2027, 2013).

2.4.2 Demanda de agua para uso agrícola

Analizar la demanda de agua es una pieza básica para diseñar políticas que afecten al consumo de agua en los regadíos. Domínguez *et al*, (2008) establece la siguiente fórmula que indica los requerimientos del uso agrícola:

$$D'_{ua} = \sum_{i=1}^n D'_{ua}$$

$$D'_{ua} = \begin{cases} 0 \longrightarrow & \text{Si } [P - (ETP * kc)] \geq 0 \\ \text{abs } ([P - (ETP * kc)] * ha) \longrightarrow & \text{Si } [P - (ETP * kc)] < 0 \end{cases}$$

En donde:

D'_{ua} = Demanda del i-ésimo cultivo

P = precipitación anual

ETP = Evapotranspiración potencial

Kc = factor de consumo del i-ésimo cultivo

ha = número de hectáreas cultivadas

n = número de cultivos considerados

Según datos de la SENAGUA (2009), 3'140.000 hectáreas corresponden al área cultivable en el Ecuador, de éstas aproximadamente 939.000 hectáreas cuentan con infraestructura de riego, que corresponde al 30% de la superficie total cultivada en el país mientras que el 70 % restante mantiene la producción de secano.

2.5 Conflictos por el agua en el Ecuador

Son múltiples los conflictos en torno al agua en el Ecuador, con causas y consecuencias de todo tipo, así Zapata (2008), señala algunos de éstos que están presentes en el país:

- Aquellos derivados de la prestación de servicios públicos de agua y alcantarillado, así como la concesión de obra pública a la empresa privada, que permita el aprovechamiento del agua.
- Conflictos a causa de un aprovechamiento extractivista de ecosistemas frágiles como el páramo, bosques primarios afectando a los ecosistemas, contaminando el agua superficial y subterránea y en sí alterando el ciclo hidrológico.

- Problemas por el acceso al agua, especialmente en los sistemas de riego o sistemas comunitarios de agua para consumo doméstico.

2.5.1 Falta de información de la situación de los sistemas de riego.

Para una gestión eficiente del riego y el drenaje, es necesario conocer la disponibilidad de agua en las subcuencas del país, además de la información en cuanto a los balances hídricos y concesiones. La ausencia de información básica sobre el subsector riego, no permite cruzar la oferta con la demanda hídrica para obtener el balance de cada cuenca. La información acerca de las áreas equipadas, con concesión para riego y realmente regadas, no está suficientemente desarrollada. El Plan Nacional de Riego y Drenaje 2012 – 2027, hace énfasis en los problemas en cuanto a la situación de los derechos de riego atribuidos por el Estado (MAGAP, 2013). Estos problemas son:

- Muchos sistemas de riego tienen una infraestructura que no fue dimensionada en función de la cantidad de agua concesionada o disponible.
- Los usuarios no tienen la posibilidad de saber si se respetan o no las concesiones de agua de un sistema al otro dentro de la microcuenca.
- Las concesiones se atribuyeron sin considerar las épocas de estiaje. De hecho, en muchas partes la cantidad de agua concesionada es superior a lo que puede ofrecer la cuenca hidrográfica.
- Finalmente, existen comunidades, grupos de productores o personas que utilizan recursos hídricos para regar parcelas sin ninguna autorización legal.

2.6 Sistemas de Información Geográfica e Hidrología Superficial

Los Sistemas de Información Geográfica son sistemas de información espacial que trabajan con datos georeferenciados para la gestión y análisis de datos espaciales, y elaboración de cartografía. Estos sistemas han sido un paso importante en el desarrollo de la gestión del agua, no solo para mapear sino para tomar decisiones

mediante las aplicaciones que nos facilitan los análisis espaciales (Sanchez & Amorós, 2012).

En los sistemas de riego los SIG permiten analizar el estado de la infraestructura de los canales, consultar los usuarios del agua, el caudal que reciben y quien administra, número de parcelas, horarios de riego y multas (Espín, 2012).

2.6.1 SIG en modelaciones hidrológicas

Morad & Triviño (2001) manifiestan que los SIG son heramientas muy productivas y con grandes aportaciones en los modelos hidrológicos, debido a su gran operatividad, de esta manera son importantes en la experimentación rápida de nuevos conceptos. Cabe destacar que la estructura de datos en capas o estratos, posibilita que los modelos puedan ser analizados e interpretados de forma más rápida. Maidment (1991) citado en Morad & Triviño (2001) agrupa las aplicaciones de los SIG en hidrología de la siguiente manera:

- Gestionar y controlar las masas de aguas superficiales
- Evaluación e inventarios hidrológicos
- Determinación de parámetros hidrológicos.
- Construcción de modelos hidrológicos sencillos (sin análisis estadístico)
- Construcción de modelos hidrológicos integrados.

Un estudio de la oferta hídrica de una cuenca hidrográfica debe considerar el balance hídrico de la misma, mediante la toma de datos de campo y el uso de modelos hidrológicos. Estos modelos permiten conocer algunas variables que no han sido tomadas en el campo y que son fundamentales para realizar un balance hidrológico completo y confiable. Los modelos hidrológicos tienen varias ventajas con respecto a los métodos de medición de campo, tales como: realizar proyecciones futuras con base en los cambios de uso del suelo minimizando el

impacto sobre los ecosistemas, ajustar variables de medición de campo, además de la ventaja de la economía, ya que permiten tomar datos para calibrar modelos y obtener resultados sin esperar largos períodos de tiempo en la toma de datos de campo (Benavides, González, López, Valdez, 2008).

Badano (2010) manifiesta que:

La información actualizada sobre el uso actual de la tierra junto con el tipo de suelos, es uno de los componentes imprescindibles para la evaluación de la permeabilidad y la escorrentía superficial, los cuales son parámetros esenciales para alimentar los modelos de transformación lluvia/caudal.

Benavides *et al.* (2008) señalan que “Los modelos empleados para la simulación de cuencas son representaciones simplificadas de los sistemas hidrológicos reales que permiten estudiar el funcionamiento de los mismos y sus respuestas a los diferentes factores que se incorporan al modelo”. Asimismo se puede predecir la respuesta hidrológica ante modificaciones de los componentes del balance hídrico, cuando el modelo está bien sustentado. En general, los modelos hidrológicos de cuencas tienen cinco componentes básicos:

- Los procesos y características hidrológicas de las cuencas
- Los datos de entrada.
- Los límites y condiciones iniciales
- Las salidas

2.7 Canales de riego

Para el desarrollo de los diseños de canales de riego, el caudal es un parámetro clave en el dimensionamiento de las mismas y que está asociado a la disponibilidad del recurso hídrico, tipo de suelo, tipo de cultivo, condiciones climáticas, métodos de riego, es decir mediante la conjunción de la relación agua–suelo–planta (Autoridad Nacional del Agua, 2010).

2.7.1 Tipos de canales de riego

Los canales de riego por sus diferentes funciones adoptan las siguientes denominaciones (Autoridad Nacional del Agua, 2010):

- **Canal de primer orden.-** Llamado también canal madre y se le traza siempre con pendiente mínima.
- **Canal de segundo orden.-** Llamados también laterales, son aquellos que salen del canal madre.
- **Canal de tercer orden.-** Llamados también sub – laterales y nacen de los canales laterales, el caudal que ingresa a ellos es repartido hacia las propiedades individuales.

El tipo más común de canales de conducción son los excavados en la tierra, en los que una excesiva velocidad del agua puede causar erosión del suelo. La ventaja es el mínimo costo de construcción, mientras que en desventajas se encuentran las pérdidas de agua por infiltración y crecimiento de malezas en sus orillas. El problema de las malezas, retarda en forma significativa la velocidad del agua, disminuyendo la capacidad del canal en conducir un determinado caudal, además del consumo de agua por transpiración.

2.8 Modelación hídrica e hidráulica con HEC-RAS

Tahmasbinejad, Feyzolahpour, Mumipour & Zakerhoseini (2012), mencionan que el HEC-RAS está diseñado para realizar cálculos hidráulicos unidimensionales, es decir representa flujos de agua en ríos, canales naturales o artificiales. El sistema puede utilizarse para modelar un canal o una red de canales y simular flujos subcríticos, supercríticos y mixtos, además este sistema puede calcular perfiles de la superficie del agua para flujo gradualmente variado, tanto permanentes como no permanentes. Santos, Cubillos & Vargas (2008), señalan que el modelo requiere de las medidas de las secciones transversales del río o canal, factores de rugosidad de Manning para cada sección, coeficientes de contracción y expansión, distancias

entre secciones y pendientes, además para su calibración se utiliza la información de los aforos líquidos en cada tramo considerado.

Entre las principales características del modelo según Castro & Carrasco (2011) se tiene:

- Realiza el cálculo hidráulico de canales, puentes, aliviaderos, alcantarillas, entre otros.
- Permite la visualización gráfica de los datos y resultados.
- Permite la edición gráfica de las secciones transversales.

Nanía & Molero (2007) señalan los principales pasos para desarrollar un modelo hidráulico de un cauce, canal o río; éstos son:

- Crear un proyecto nuevo
- Introducir los datos geométricos
- Introducir los datos hidráulicos: caudal y condiciones de contorno
- Crear un plan seleccionando una geometría y unos datos hidráulicos y ejecutar la simulación
- Ver los resultados.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de la presente investigación, se utilizaron materiales de oficina y de campo los cuales sirvieron de apoyo en el cumplimiento de la metodología planteada en base a cada objetivo propuesto.

3.1 Materiales y Equipos

Los materiales que se utilizaron, fueron clasificados en materiales y equipos, los cuales se indican en el Cuadro 3.5.

Cuadro 3.5 Materiales y Equipos

Materiales.	Equipos	Recurso Humano
<ul style="list-style-type: none">• Cartas topográficas digitales del IGM a escala 1:50000• Imágenes aerotransportadas del SIGTIERRAS• Flexómetro de 50 m• Libretas de campo• Botas de caucho• Poncho de aguas.• Cuerda de 20 m• Estacas de madera de 30 cm• Regla Graduada• Martillo	<ul style="list-style-type: none">• Computador (ARCGIS 10)• Impresora• Molinete electrónico• GPS Garmín• Cámara Fotográfica• Transporte (Vehículo).• Cronómetro• Cilindro Infiltrómetro	<ul style="list-style-type: none">• Tesista• Director• Asesores• Dirigentes de la comunidad

Elaboración: La autora

3.2 Metodología

La metodología usada para la ejecución del presente estudio consistió en la delimitación y caracterización biofísica e hídrica del área de estudio para obtener datos de caudales, pérdidas por evaporación e infiltración; investigar los usos del recurso hídrico y analizar los datos de las estaciones meteorológicas, con el fin de determinar el balance hidrológico y generar el modelamiento hídrico del área de influencia de la acequia Rosas Pamba (Solarte, Trejos, Materón, 2009).

3.2.1 Delimitación y localización del área de estudio

Para la delimitación del área de estudio se realizó recorridos de campo, guiados por el señor Rafael Arroyo quien es el actual Tesorero de la Junta de Aguas La Magdalena, en donde se utilizó el GPS GARMÍN con la proyección DATUM WGS84 Zona 17 Sur, para obtener los puntos georeferenciados a lo largo del trazado de la acequia Rosas Pamba. Los puntos fueron ingresados a una Hoja de Excel y luego exportados a un documento de ARCMAP que junto con la fotografía aérea del área se dibujó el trazado de la acequia para luego elaborar el Mapa de Ubicación y Mapa Base.

Para la elaboración del Mapa de Ubicación en el Software ARC GIS 10.1, se utilizaron coberturas digitales de provincias, cantones y parroquias e información digital del Sistema Nacional de Información (SNI, 2012). El Mapa base a escala de impresión 1:30000 se realizó con la información digital de la Carta Topográfica de San Pablo del Lago obtenida del Instituto Geográfico Militar (IGM, 2013) en la cual constan poblados, casas, haciendas, redes hidrográficas, curvas de nivel y vías. Este trabajo permitió conocer la ubicación geográfica de la acequia así como se determinó la longitud exacta del trazado de la misma.

3.2.2 Caracterización biofísica del área de influencia de la acequia Rosas Pamba

Mediante recorridos en el área de estudio, utilizando fichas de campo y la generación de cartografía en el Laboratorio de Geomática se realizó la caracterización biofísica del área de influencia de la acequia Rosas Pamba utilizando la metodología de Grajales, De la Piedra & López (2008). Se fijaron 4 puntos estratégicos para la caracterización biofísica en donde se analizó los componentes abiótico, biótico, y socioeconómico.

- **Elaboración de cartografía base y temática**

Obtenida la ubicación geográfica de la acequia, se procedió a elaborar los mapas temáticos, a escala 1:30000 utilizando el software ARG GIS 10.1. Las coberturas digitales necesarias para la elaboración de cada mapa temático se obtuvieron de la página web del Sistema Nacional de Información (SNI, 2013); con ésta información se elaboró los mapas de suelos, geología, uso del suelo y cobertura vegetal, uso potencial del suelo, conflictos de uso, zonas de vida, hidrológico y climático. El mapa de pendientes se realizó a partir de las curvas de nivel en formato digital que se obtuvo de la carta topográfica de San Pablo del Lago, obteniendo el Modelo Digital de Elevación; además se reclasificaron los valores obtenidos para determinar los rangos de pendientes desde relieve plano hasta el relieve escarpado.

- **Observación en campo**

Los factores uso de suelo, cobertura vegetal, flora, fauna y zonas de vida correspondientes al componente biótico fueron caracterizados mediante observación directa y análisis de la clasificación Bioclimática de Holdridge (1992) tomando en cuenta la biotemperatura anual y precipitación media anual; y en el caso de la fauna muchas veces difícil de observar, se consultó a los moradores del sector. Dentro del componente abiótico se caracterizó la geología y tipo de suelo usando la metodología del ex PRONAREG-ORSTOM (Programa Nacional de

regionalización agraria–Organismo del Gobierno Francés para la investigación Científica y Asistencia Técnica, 1975) y observación directa, mientras que la precipitación media anual, temperatura media anual, y tipo de clima se determinó con el análisis de la clasificación bioclimática de Holdridge (1992); todo este proceso se realizó en los recorridos de campo. En cuanto a la caracterización socioeconómica se realizó el levantamiento de datos directamente en el área, como poblados, actividades económicas y servicios básicos; complementando con datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2014).

3.2.3 Caracterización hídrica de la acequia Rosas Pamba

Los puntos de caracterización hídrica fueron establecidos en zonas principales del trazado de la acequia y geo-referenciados mediante el uso de GPS Garmín, empleando la proyección UTM Datum WGS84 en Zona 17S. La caracterización se realizó mediante dos visitas de campo en la época lluviosa correspondiente al mes de marzo y abril y dos en la época seca correspondiente al mes de Julio y Agosto. Las épocas seca y lluviosa se determinaron mediante la realización de un Diagrama Ombrotérmico de Gaussen (1952) para las Estaciones Meteorológicas más cercanas al sitio de estudio, correspondiente a las Estaciones de Ibarra y Olmedo.

El diagrama se construyó empleando los anuarios disponibles en el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2011), en un período de 10 años desde 1994 a 2004 en los cuales se reportaron datos de precipitación y temperatura desde la Estación Meteorológica de Ibarra-Aeropuerto. La información de años recientes no están disponibles en la base de datos, debido a la irregularidad en el funcionamiento de la Estación que se encontraba ubicada en el Aeropuerto de Ibarra y el posterior traslado en el 2012 a la Granja Experimental Yuyucocha, de la cual los anuarios aún no están disponibles. En cuanto a la estación de Olmedo, se construyó el Diagrama Ombrotérmico, con los datos de los anuarios meteorológicos disponibles en la página web del INAMHI, en un período de 21 años desde 1990

hasta el 2011. Los aspectos que se se consideraron para la caraterización hídrica fueron:

3.2.3.1 Obras de ingeniería y mantenimiento

Durante la primera salida de campo correspondiente al reconocimiento del área de estudio se analizó el estado del canal de riego de la acequia Rosas Pamba, el mantenimiento que se realiza y los problemas que presenta. Además se procedió a realizar mediciones del canal de hormigón, así como del canal sin revestimiento.

3.2.3.2 Caudal de agua

Se determinaron en campo los puntos de aforo estratégicos determinados en base a los parámetros propuestos por Monroy (2010) quien señala que la sección transversal debe ser de fácil acceso, en un sitio recto, que en lo posible no presente degradación del lecho y no debe haber controles aguas abajo que afecten los valores obtenidos. Con los puntos GPS de los sitios seleccionados para el aforo de caudales, se elaboró una hoja de excel la cual posteriormente se exportó a ARC GIS. Para una mejor visualización y ubicación de los puntos de aforo se colocó la **fotografía aérea** del proyecto SIGTIERRAS (2011) correspondiente al área de estudio, además de las capas de poblados, casas, haciendas, redes hidrográficas, curvas de nivel, y vías obtenidas de la información digital de la Carta Topográfica de San Pablo, con el fin de elaborar el Mapa de ubicación de sitios de aforo.

- **Medición de caudales**

En las mediciones se empleó dos métodos, usando el molinete electrónico de la carrera de Recursos Naturales y mediante el método del flotador.

-Medición con molinete electrónico

En los puntos en donde si fue posible utilizar el molinete electrónico debido a un mayor flujo de agua, se tomó en cuenta la distancia de medición desde la orilla izquierda o derecha, la profundidad de medición, la altura de la hélice, las revoluciones y el tiempo, parámetros que fueron registrados en campo mediante la utilización de fichas de caracterización hídrica y luego en el laboratorio ingresados en un software obteniendo el caudal, los gráficos de curva de caudales y sección mojada en m^2 .

La función del molinete es medir la velocidad del agua en un punto determinado (Fotografía 3.1), que se relaciona a las revoluciones que da una rueda provista de una especie de conos en un tiempo determinado. Así al chocar el agua con ellas, se produce un movimiento de rotación en los conos, que es más rápido mientras mayor sea la fuerza de la corriente. Las revoluciones dadas en el tiempo establecido se puede visualizar en un contador conectado al molinete. (Tapia, Molina, Pérez & Torres, 2012)



Fotografía 3.1 Medición de caudales con el Molinete Electrónico
Fuente: La autora, 2014

-Medición utilizando el método del flotador

Para los sitios en donde el flujo de agua era mínimo se utilizó el método del flotador que consiste en dejar que el agua lleve un objeto liviano (cáscara de naranja o una

hoja) en una distancia establecida midiendo así el tiempo que tarda dicho objeto en atravesarla (Fotografía 3.2).



Fotografía 3.2 Medición de caudales utilizando el método del flotador
Fuente: La autora, 2014

Se realizaron 5 mediciones para así obtener un tiempo promedio. Además se determinó el área mojada, para así calcular los caudales instantáneos en función de la velocidad del flujo de agua. La fórmula que se utilizó según Cadena (2012) es:

$$Q = A * V$$

En donde:

Q= Caudal

A= Área mojada

V= Velocidad ajustada

Para los flotadores muy livianos que no se sumergen, la velocidad en la superficie es mayor a la velocidad del flujo en toda la sección de agua, por esto se utilizó los coeficientes de ajuste de velocidad según la profundidad media del cauce, los cuales se muestran en el Cuadro 3.6.

Cuadro 3.6 Coeficientes de ajuste de velocidad

Profundidad promedio (metros)	Coefficiente K
0.30	0.66
0.61	0.68
0.91	0.70
1.22	0.72
1.52	0.74
1.83	0.76

Fuente: Cadena, 2012

El Cuadro 3.7 muestra los puntos en los cuales se realizó la medición de caudales en la época seca y lluviosa, así como los métodos que se utilizó en cada uno de ellos.

Cuadro 3.7 Ubicación de sitios de aforo de caudales y métodos utilizados, WGS 84 Zona 17 Sur

Punto	Referencias	Método utilizado	X (m)	Y (m)	Altitud (msnm)
1	Punto de captación de la acequia en el río Tahuando	Molinete electrónico	823843	10028466	2642
2	Pérdida de agua natural (después)	Molinete electrónico	823753	10029052	2636
3	Pérdida de agua natural (antes)	Molinete electrónico	823753	10029052	2636
4	Desvío artificial del agua para actividades ganaderas dentro de la Hacienda La Magdalena	Método del flotador	823723	10029082	2641
5	Camino hacia la Hacienda Rosas	Molinete electrónico	823167	10029084	2634
6	Cauce sin revestimiento al pasar la Florícola, presencia de flujo de agua en la acequia	Método del flotador	822614	10030041	2622
7	Desvío de agua para la Florícola Fiesta Flowers	Método del flotador	822337	10030469	2621
8	Acequia en la comunidad Rumipamba	Sin flujo de agua	822200	10030654	2620
9	Fin del trazado de la acequia en el área de riego, La Esperanza	Sin flujo de agua	820877	10032053	2614

Elaboración: La autora

Las pérdidas de agua por evaporación se estimaron mediante la aplicación de fórmulas de Thornthwaite. Estos autores emplean parámetros atmosféricos y meteorológicos para calcular la evaporación de un lugar determinado en unidades de mm.

- **Pérdidas por infiltración**

Para determinar pérdidas por infiltración dentro del área de influencia de la acequia Rosas Pamba se realizó el Mapa de Texturas con la información digital del Sistema Nacional de Información (SNI, 2002), para así ubicar las áreas correspondientes a cada textura y realizar las pruebas en campo. Para la selección de los puntos experimentales, se tomó en cuenta los sitios que estén libres de fisuras, piedras, y hoyos hechos por animales o maquinaria.

Las pruebas de campo consistieron en determinar la velocidad de infiltración o tasa de infiltración, que hace referencia a la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo. El método que se usó para estimar esta relación es el de los cilindros infiltrómetros (Musgrave, 1935). Los resultados se anotaron en la Hoja de Datos de Velocidad de Infiltración (Cuadro 3.11) con lo que se elaboró la curva de infiltración. Este procedimiento se realizó en la época lluviosa donde el suelo está saturado y en la época seca donde el suelo pierde humedad, con lo cual se elaboró las curvas de infiltración Cabe recalcar que la velocidad de infiltración medida en la prueba no corresponde a la **infiltración básica** que se refiere al valor de la cantidad de agua infiltrada cuando ésta en el tiempo se vuelve constante.

Además se analizó algunos factores que intervienen en la velocidad de infiltración como:

- Tipo de suelo
- Grado de humedad del suelo
- El apelmazamiento del suelo

- La acción del hombre y de los animales

3.2.4 Análisis del uso y distribución del recurso hídrico en el área de influencia de la acequia Rosas Pamba

Se realizó un análisis sobre los usos, distribución y conflictos en torno al recurso agua en el área de influencia de la acequia Rosas Pamba. Para este análisis se empleó información recopilada en campo como: fichas de evaluación hidrológica, y conversaciones con los beneficiarios de la acequia. Además se levantó información directamente con la Junta de agua de riego de La Magdalena.

3.2.5 Análisis del balance hídrico anual y mensual del suelo en función de la evapotranspiración y precipitación

Mediante la aplicación de las herramientas SIG, la información recopilada de las Estaciones Meteorológicas más cercanas al área de estudio, fue transformada a archivos en formato RASTER, con lo que se analizó los componentes del Balance Hídrico anual y mensual en el trazado del canal y en las distribuciones a las áreas de riego. La metodología para el cálculo de los parámetros que intervienen en el Balance Hídrico se describe a continuación:

- **Precipitación**

Los datos de precipitación (mm/mes) reportados de las Estaciones Meteorológicas de Ibarra, Zuleta, Hacienda Topo y Olmedo-Pichincha en un período de 30 años correspondiente a los años de 1969 a 1999, fueron interpolados usando la Herramienta Spline con el fin de obtener un RASTER interpolado a partir de los valores de los puntos de muestra. En el raster obtenido para cada mes se reclasificó los valores de precipitación en intervalos iguales de 10 mm para los datos mensuales y en intervalos de 100 mm para el dato anual. Con esta información se elaboró los

mapas de Precipitación Época Seca, Precipitación Época lluviosa, y Precipitación media anual.

- **Temperatura media anual**

Para el cálculo de la temperatura anual se utilizó la fórmula de correlación y regresión entre temperatura y altitud (Pozo & Beltrán, 2012) expresada como:

$$T = 26.86004093 - 0.00504292 * h$$

En donde:

T: Temperatura anual

h: altitud a la que se encuentra la estación meteorológica.

- **Evapotranspiración media anual según Holdridge**

El cálculo de la evapotranspiración media anual se realizó utilizando la fórmula de Holdridge (1959), que relaciona la temperatura del aire comprendida entre los 0 °C y 30 °C (biotemperatura). La biotemperatura determina el ritmo e intensidad de los procesos fisiológicos de las plantas (fotosíntesis, respiración y transpiración) y la tasa de evaporación directa del agua contenida en el suelo y en la vegetación (Vega & Jara, 2009). Se expresa como:

$$ETP = T * 58.93$$

En donde:

ETP: Evapotranspiración media anual

T: Biotemperatura media anual

Con los valores de evapotranspiración anual de cada estación meteorológica se realizó una Interpolación de datos para obtener el archivo RASTER con el cual se elaboró el Mapa de Evapotranspiración Media Anual, época seca y época lluviosa.

- **Metodología de Thornthwaite para cálculo de la evapotranspiración mensual**

Para el cálculo de la ETP de las Estaciones meteorológicas de Ibarra y Olmedo-Pichincha de las cuales si se dispone de datos de temperatura se usó la metodología de Thornthwaite (1995) la cual se basa en la temperatura media mensual, con una corrección en función de la duración astronómica del día y el número de días del mes.

Se utilizaron las fórmulas:

$$ETP = 16 * (10 * \frac{tm}{l})^a$$

En donde:

ETP = evapotranspiración mensual sin ajustar en mm (mm/mes).

tm = temperatura media mensual en °C.

l = índice de calor mensual que se calcula como:

$$l = (\frac{tm}{5})^{1.514}$$

a = parámetro calculado en función de l según la expresión:

$$a = 0.000000675 * l^3 - 0.0000771 * l^2 + 0.01792 * l + 0.49239$$

Y para el cálculo de la ETP de un mes determinado se corrigió la ETP sin ajustar, mediante un coeficiente que tenga en cuenta el número de días del mes y horas de luz de cada día, en función de la latitud.

$$ETP_{Tho} = e * L$$

En donde:

L: Factor de corrección del número de días del mes y horas de sol de cada día.

Para las estaciones meteorológicas de Zuleta y Hacienda Topo en las cuales se calculó la temperatura media anual con la fórmula de correlación y regresión entre altitud y temperatura antes descrita, se realizó una extrapolación de datos con las

estaciones de Ibarra y Olmedo para así obtener las temperaturas medias mensuales. Para la estación de Zuleta se realizó una extrapolación de datos con la estación de Olmedo-Pichincha y para la estación Hacienda-Topo se realizó el mismo procedimiento pero con la estación de Ibarra. Obtenidas las temperaturas medias mensuales, se aplicó la Fórmula de Thornthwaite (1995), para el cálculo de la Evapotranspiración mensual, tal como se realizó para las estaciones de Ibarra y Olmedo.

3.2.6 Modelación Hidrológica utilizando el Model Builder de ArcGis

Calculada la ETP mensual se interpoló y reclasificó los datos de cada Estación Meteorológica en intervalos de dos mm con el fin de obtener los archivos RASTER de Evapotranspiración mensual, anual, época seca y lluviosa para el área de influencia de la acequia. Estos valores de ETP en conjunto con los datos de precipitación ya obtenidos se utilizaron para calcular el índice de humedad mensual empleando la siguiente fórmula propuesta por la UNESCO (1979):

$$IH = \frac{P}{ETP}$$

En donde:

IH: Índice de humedad

P: Precipitación mensual y anual en mm.

ETP: Evapotranspiración mensual y anual en mm.

Para el análisis del balance hídrico del suelo, los raster obtenidos se reclasificaron en tres clases que son:

- Humedad alta = valores mayores a 1
- Humedad media= valores entre 0.5 y 1
- Humedad baja= valores menores a 0.5

Éste procedimiento se realizó con la ayuda de la herramienta de programación gráfica Model Builder de ArcGis en donde los datos de entrada del modelo correspondieron a los rasters de precipitación y evapotranspiración obtenidos para la época seca, época lluviosa y anual. Para efectuar los cálculos se ingresó al Model el raster calculator y mediante conectores se sistematizó el modelo hidrológico. Finalmente se validó y corrió el modelo generado obteniendo el raster de índice de humedad, tal como se observa en la Figura 3.3.

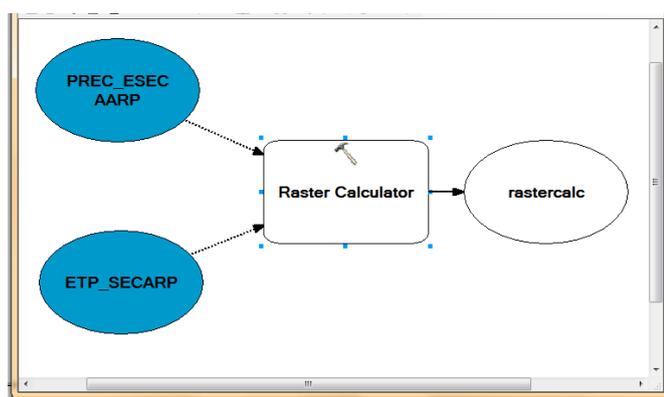


Figura 3.3 Herramienta de programación gráfica Model Builder
Elaboración: La autora

Además se realizó una unión entre los polígonos de humedad de las épocas seca, lluviosa y anual, y el polígono de texturas del suelo dentro del área de estudio, con el fin de determinar el déficit o superávit de agua.

3.2.7 Modelación Hidráulica

La Modelación Hidráulica se realizó utilizando el software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System), el mismo que fue diseñado por el cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EEUU y constituye una aplicación gratuita para modelar canales, ríos y drenajes artificiales. En la presente investigación se modeló desde el punto de vista hidráulico tres tramos, dos correspondientes a la secciones sin revestimiento y uno a la sección revestida de hormigón como se aprecia en la Figura 3.4.

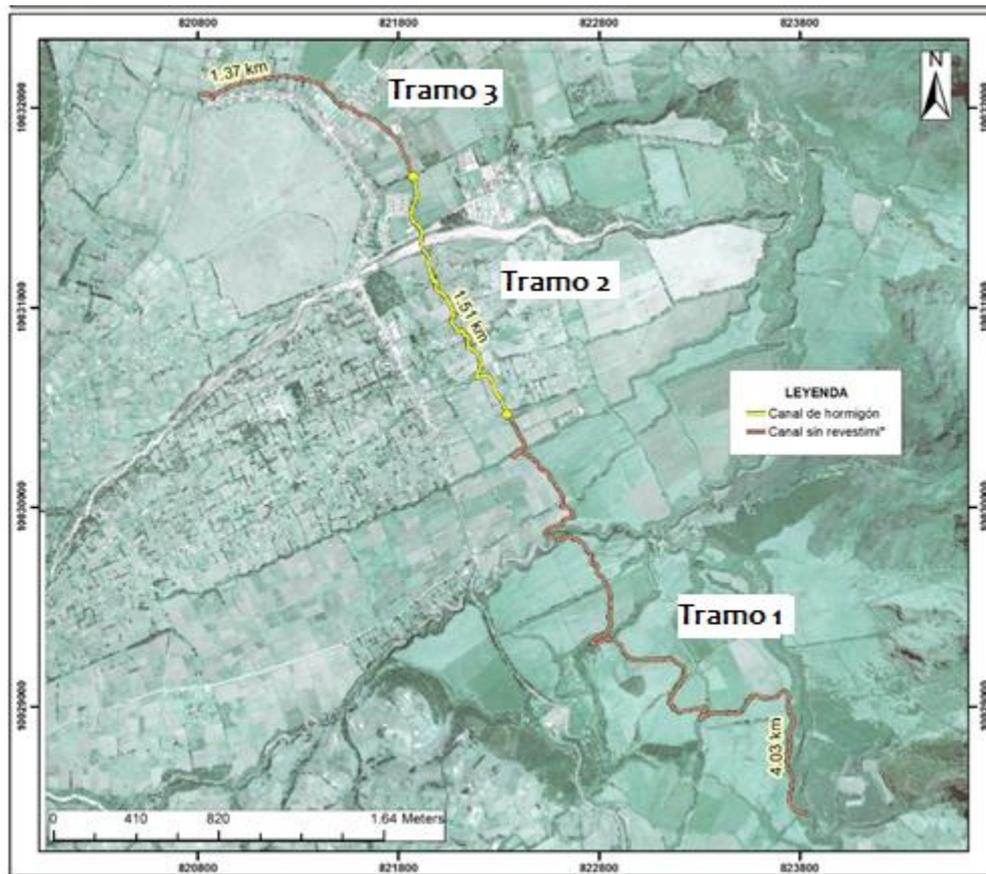


Figura 3.4 Tramos de la acequia Rosas Pamba
Elaboración: La autora

Para el diseño de los tramos correspondientes al canal de hormigón y sin revestimiento se realizó el siguiente procedimiento:

- **Datos geométricos:**

Se ingresó los datos de geometría del canal tomados en la salida de campo. Debido a que el canal de hormigón tiene las mismas medidas en todo el tramo se ingresó los mismos datos para las secciones aguas abajo y aguas arriba considerando también la distancia entre las secciones y el desnivel. Para el tramo 1 sin revestimiento se ingresó los datos geométricos de 5 secciones en las que se realizó la medición de caudales. Además se determinó el coeficiente de rugosidad o de Manning, correspondiente a 0.014 para canales de hormigón, mientras que para las secciones con fondo de cantos rodados y lados limpios es de 0.030 y para aquellas

con hierbas y algunas malezas de 0.025. Ingresados los tres tramos se interpoló los datos para obtener cada 200 metros nuevas secciones.

- **Datos de caudales y condiciones de contorno:**

Se consideró simular las condiciones de caudales (flujo permanente) por valores de 18 l/s, 50 l/s, 100 l/s y 125 l/s. Este proceso se realizó con el fin de saber el nivel de la lámina de agua y el caudal en cada tramo del canal sin revestimiento y de hormigón, así como determinar el volumen de aporte del río Tahuando apropiado para conseguir el caudal concesionado por SENAGUA para el área de riego en la Esperanza, el cual es de 28,6 l/s.

- **Ejecución y observación de resultados del modelo**

Se analizó las secciones transversales, perfil longitudinal, curva de gastos y las tablas de resultados por sección y por tramo. Para el cálculo de la velocidad y del caudal en las secciones aguas debajo de cada tramo se utilizó la ecuación de Manning para canales que se expresa como:

$$V = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

$$Q = A * V$$

En donde:

V= Velocidad

R= Radio hidráulico

S= Pendiente

n= Coeficiente de rugosidad

A= Área mojada

Q= Caudal

- **Comparación de caudales medidos y simulados**

Con el fin de comparar las variables de caudales medidos y simulados y validar el modelo hidráulico, se utilizó el coeficiente de correlación lineal de Pearson (1989) (r), el mismo que se interpreta según la siguiente determinación:

- Correlación negativa perfecta = -1
- Correlación negativa fuerte= -1 a -0.49
- Correlación negativa moderada= -0.50
- Correlación negativa débil= -0.49 a -0.1
- Ninguna correlación= 0
- Correlación positiva débil= 0.1 a 0.49
- Correlación positiva moderada= 0.50
- Correlación positiva fuerte= 0.51 a 0.99
- Correlación positiva perfecta= 1

3.2.10 Socialización del modelo cartográfico-hidrológico.

La metodología utilizada para la socialización del proyecto constó de dos fases: la difusión del evento y el taller realizado con los actores clave.

- **Difusión del evento**

La difusión se realizó mediante papelotes que fueron expuestos en los lugares en los que existe más afluencia de personas como son las Iglesias y Plazas de la parroquia La Esperanza como se observa en la Fotografía 3.3, además se entregó invitaciones personales a los actores principales involucrados en el proyecto como son los miembros de la Junta de Aguas, beneficiarios de la acequia, propietarios de la Florícola Fiesta Flowers y Hacienda La Magdalena, representantes del GAD Ibarra, técnicos de SENAGUA, Director y Asesores de tesis; en el Anexo 2 Ficha 5 se encuentra el acta de recepción con las firmas de las personas invitadas.



Fotografía 3.3 Difusión del evento
Fuente: La autora

- **Exposición del proyecto**

El taller se desarrolló mediante método participativo con preguntas y respuestas después de la presentación en la que se utilizó gráficos y fotografías de los resultados obtenidos (Fotografía 3.4). Se realizó una mesa de trabajo con los participantes en donde se acogió sugerencias y comentarios.



Fotografía 3.4 Exposición de los resultados del proyecto
Fuente: La autora

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se redactaron en base a los objetivos propuestos en la investigación, analizando en base a la literatura citada y discutiendo con otras investigaciones y resultados en campo, con el fin de validar los modelos hidrológicos.

4.1 Delimitación y localización del área de estudio

El área de influencia de la acequia Rosas Pamba políticamente se encuentra en la provincia de Imbabura, cantón Ibarra, parroquias La Esperanza y Angochagua, comunidad Rumipamba (Anexo 1, Mapa 1). El trazado de la acequia tiene una longitud de 6,9 km, y altitudinalmente se encuentra en el rango de 2580 a 2640 msnm (Anexo 1, Mapa 2). Las coordenadas UTM de los puntos extremos se muestran en el Cuadro 4.8, con sus respectiva altitud.

Cuadro 4.8 Coordenadas de los puntos extremos de la acequia Rosas Pamba, Datum WGS84, Zona 17 Sur

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud
1.Bocatoma de la acequia Rosas Pamba en el río Tahuando.	823811	10028509	2640 msnm
2.Final del trazado del canal en el área de riego (Parroquia la Esperanza).	821381	10032918	2580 msnm

Fuente: Mapa base de la acequia Rosas Pamba, 2014

El área de influencia de la acequia Rosas Pamba obtenida mediante delimitación con un buffer de 500 metros a cada lado del eje, dio como resultado una superficie de 651.61 hectáreas, éste criterio de delimitación se realizó en base al área en que se utiliza el agua de la acequia para las distintas actividades productivas.

4.2 Caracterización biofísica del área de influencia de la acequia Rosas Pamba

La caracterización biofísica comprende los componentes: Abiótico, Biótico y Socioeconómico. Las fichas de campo se encuentran en el Anexo 2, Ficha 1.

- **Tipos de Suelo**

Los órdenes de suelos según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y el Servicios de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS) encontrados en el área de estudio son: Mollisoles e Inceptisoles, además de roca y suelos superficiales (Anexo 1, Mapa 3). En el Cuadro 4.9 se muestra cada orden con sus respectivos sub-órdenes y área de cada tipo de suelo.

Cuadro 4.9 Tipos de suelos

Orden	Suborden	Area (Ha)	Porcentaje
Mollisol	Ustolls	50.36	7.73 %
Mollisol	Udolls	205.25	31.50 %
Inceptisol	Andepts	254.05	38.99 %
No aplica, roca	No aplica, roca	38.39	5.89 %
No aplica, suelos superficiales	No aplica, suelos superficiales	103.48	15.88 %
TOTAL		651.54	100%

Fuente: Mapa de Suelos, (MAGAP, 2003)

Orden Mollisoles: Son suelos que tienen un horizonte superficial de color oscuro y con un contenido de materia orgánica relativamente alto. Según el Mapa de suelos, el suborden Ustolls se encuentra en la parte alta y baja de la acequia ocupando un área de 50.36 has correspondientes al 7.73% del área total. Por su parte el suborden Udolls ocupan la parte alta de la acequia a partir del km 4 en absisado desde el área de riego

en La Esperanza; ocupa una superficie de 205.25 has que corresponden al 31.5 % de la superficie total del área de estudio.

Orden Inceptisol, Suborden Andepts: Son suelos de ambientes semihúmedos a húmedos, que generalmente presentan grados moderados de desarrollo del suelo, además son pobres en materia orgánica. Este tipo de suelo ocupa 254.05 has en la parte media y baja de la acequia, correspondiente al 38.99 % del área de influencia.

Roca: Los afloramientos de roca se presentan en la parte media de la acequia, en la comunidad de Rumipamba cerca a la quebrada Seca. Ocupa un área de 38.39 has que representa el 5.89 % del total del área de estudio. Las rocas son de tipo volcánico intrusivas y extrusivas.

Suelos Superficiales: Son suelos con una profundidad inferior a 30 cm, ocupan tanto la parte alta, media y baja del trazado de la acequia con una superficie de 103.48 has correspondientes al 15.88 % del área total.

- **Geología Regional**

En cuanto a las formaciones geológicas presentes en el área de estudio se identificó en base al Mapa Geológico depósitos coluviales, aluviales, Volcánicos del Imbabura, Volcánicos del Angochagua, duripán (cangahua) y terrazas indiferenciadas (Anexo 1, Mapa 4); como se muestra en el Cuadro 4.10.

Cuadro 4.10 Formaciones Geológicas.

Geología	Simbología	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Depósito aluvial	Da	61.26	9.40
Depósito coluvial	Dc	105.09	16.13
Volcánicos del Angochagua	PlAn	2.57	0.39
Volcánicos del Imbabura	Plm	284.42	43.65
Duripan (Cangahua)	Qc	176.13	27.03

Terraza Indiferenciada	Ti	9.86	1.51
TOTAL		651.54	100%

Fuente: Mapa Geológico, (MAGAP, 2003)

Depósitos aluvial, coluvial y terrazas indiferenciadas: Estos depósitos se encuentran ubicados en la orilla izquierda del río Tahuando, sector Hacienda Rosas y La Magdalena, además se observa conos de deyección que se encuentran en las zonas bajas del Volcán Imbabura (Manrique y Rosero, 2011). Los depósitos aluviales, coluviales y terrazas indiferenciadas están ubicados en la parte alta, al Este de la acequia dentro de la Hacienda La Magdalena en la parroquia Angochagua. Los depósitos aluviales cubren un área de 61.26 has que corresponden al 9.40 % del área de influencia; los depósitos coluviales tienen una superficie de 105.09 has que representa el 16.13 % y las terrazas indiferenciadas (Fotografía 4.5) con 9.86 has representan el 1.51 %.



Fotografía 4.5 Terraza Indiferenciada

Fuente: La autora, 2014

Volcánicos del Angochagua: Los afloramientos de lavas, areniscas, brechas volcánicas producto de las erupciones Pliocénicas del Angochagua se observan en la parte Sur-Este del área de estudio; representan el 0.39% de la superficie total que corresponde a 2.57 has.

Volcánicos del Imbabura: Los Volcánicos del Imbabura tienen un espesor que sobrepasa los 700 m y están constituidos de lavas, lahares y aglomerados constituidos por fragmentos de rocas volcánicas (Manrique y Rosero, 2011). Dentro del área de

influencia de la acequia, los Volcánicos del Imbabura corresponden al 43.65% del total correspondiente a 284.42 hectáreas.

Duripan (Cangahua): Consiste en un depósito de cenizas y toba volcánica muy endurecidas; es visible en casi todo el norte de los Andes Ecuatorianos. El área que está constituida por Duripan (cangahua) es de 176.13 has que representan el 27.03% del área de influencia de la acequia Rosas Pamba.

- **Uso del Suelo y Cobertura Vegetal**

Dentro del área de influencia de la acequia Rosas Pamba, se evidencia principalmente la presencia de cultivos de ciclo corto como fréjol, maíz, pasto cultivado, cereales (trigo y cebada) y un bajo porcentaje de cultivos de papa y vegetación arbustiva. Las áreas erosionadas no ocupan una superficie significativa ya que representan un 10.85 % del área total, la misma que se encuentra en la parte baja de la acequia en la parroquia La Esperanza (Anexo 1, Mapa 5). Las áreas correspondientes a cada uso de suelo y cobertura vegetal se muestran en el Cuadro 4.11.

Cuadro 4.11 Uso de suelo y Cobertura vegetal (2014)

Uso	Simbología	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Áreas erosionadas	Ae	70.69	10.85
70 % Bosque intervenido, 30% Vegetación arbustiva	Bi/Va	1.88	0.29
70 % Cultivo de ciclo corto, 30% Cereales	Cc/Ce	4.50	0.69
70 % Cultivo de ciclo corto, 30% Pasto cultivado	Cc/Pc	79.13	12.15
70% Cereales, 30% Cultivo de maíz	Ce/C	16.37	2.51
50% Cereales, 50% Pasto cultivado	Ce-Pc	30.02	4.61
70% Cereales, 30% Alfalfa	Ce/ Af	7.86	1.21
70% Cultivos de maíz, 30% Areas en proceso de erosión.	Cm/ Ap	110.75	16.99
70% Cultivo de maíz, 30% Pasto cultivado.	Cm/ P	59.86	9.19
70% Pasto cultivado, 30% Cultivo de papa	Pc /Cp	268.85	41.26
50% Páramo, 50% Vegetación arbustiva	Pr- Va	1.62	0.25
TOTAL		651.54	100

Fuente: Mapa de uso de suelo y cobertura vegetal, (MAGAP, 2003)

- **Uso Potencial del Suelo**

Los usos o prácticas adecuadas que deben realizarse en el suelo del área de influencia de la acequia Rosas Pamba, se han determinado según la clasificación agrológica que va desde la Clase I (sin limitaciones) hasta la Clase VIII (con severas limitaciones de uso) (Anexo 1, Mapa 6). En el Cuadro 4.12, se muestran las áreas y porcentaje respectivo a cada Clase.

Cuadro 4.12 Uso Potencial del Suelo (Clases agrológicas) 2014.

Clase	Subclase	Área (Ha)	Porcentaje (%)
I	I	11.49	1.76
II	II	222.59	34.16
II	IIs	4.65	0.71
IV	IV	194.65	29.87
ROCA	ROCA	38.39	5.89
V	V	53.36	8.19
VII	VII	22.90	3.51
VIII	VIII	103.48	15.88
ROCA	ROCA	38.39	5.89
TOTAL		651.54	100

Fuente: Mapa de Uso Potencial del Suelo, (MAGAP, 2003)

Clase I: Estos suelos no presentan limitación alguna para cultivos, pastos, bosques ya que son productivos y además su riesgo de erosión por viento o agua es muy bajo. Dentro del área de influencia de la acequia, el porcentaje de los suelos de Clase I es muy bajo con solo el 1.76% ubicándose en la parte media del área de influencia en la comunidad Rumipamba.

Clase II: Los suelos pertenecientes a la Clase II presentan ligeras limitaciones como pendientes suaves, profundidad moderada, baja erosión, entre otros, por lo que necesitan prácticas de conservación como terrazas, rotación de cultivos, cultivo en fajas. Son suelos aptos para cultivos, pastos, plantas silvestres, bosques o hábitat para la fauna. Estas prácticas pueden estar distribuidas en toda el área de influencia de la acequia ocupando el 34.16% de la superficie total, correspondiente a 222.59 hectáreas.

Clase IV: Los suelos de esta clase tienen severas limitaciones como pendientes muy pronunciadas, erosión severa, baja retención de agua, que restringen la elección del tipo de cultivo; son cultivables utilizando métodos intensivos de manejo y se recomiendan cultivos con raíces superficiales o pasto. Dentro del área de influencia de la acequia estos suelos se encuentran en la parte baja en La Esperanza y en la parte alta del área de influencia en la Hacienda La Magdalena ubicada en la parroquia Angochagua. El área que ocupan es de 194.65 has que representan el 29.87 % de la superficie total.

Clase V: Está representada por suelos no cultivables con severas limitaciones de humedad, aptos para pastos. Estos suelos son planos sin problemas de erosión pero presentan riesgo de inundación o pedregosidad. En el área de influencia de la acequia se encuentran cerca al área de riego en la parroquia La Esperanza, con un área de 53.36 has que representa el 8.19 % de la superficie total.

Clase VII: Los suelos no cultivables, aptos para fines forestales, se encuentran dentro de la Clase VII; estos suelos son superficiales, muy susceptibles a la erosión, con baja retención de agua y excesiva escorrentía. Se ubican en la parte alta del área de influencia de la acequia con una superficie de 22.90 has que representa el 3.51 % de la superficie total.

Clase VIII: Esta clase está representada por suelos aptos para conservación de vida silvestre o para esparcimiento. Estos suelos se encuentran en la parte baja del área de influencia junto a la quebrada Rumipamba o quebrada Seca, en la parte media en la comunidad Rumipamba y en la parte alta en la Hacienda la Magdalena. La superficie que ocupa dentro del área de influencia es de 103.48 has que representa el 15.88 % de la superficie total.

Roca: La presencia de roca dentro del área de influencia se limita a la parte baja de la acequia en el sector de la quebrada Rumipamba o quebrada Seca. Las limitaciones son severas, siendo imposibles las prácticas agrícolas. La superficie ocupada por roca es de 38.39 has representando el 5.89 %.

- **Conflictos de uso**

Tomando en cuenta el uso actual del suelo y el uso potencial, se determinan los conflictos de uso existentes, identificándose así áreas bien utilizadas, sobreutilizadas, subutilizadas, con erosión y eriales (Anexo 1, Mapa 7). Las áreas y porcentaje correspondientes a cada conflicto de uso se muestran en el Cuadro 4.13.

Cuadro 4.13 Conflictos de uso del suelo

Conflictos	Area (Ha)	Porcentaje (%)
Bien utilizado	180.63	27.72
Sobreutilizado	59.94	9.20
Subutilizado	242.89	37.28
Erosión	69.75	10.71
Erial	38.40	5.89
TOTAL	651.54	100

Fuente: Mapa de Conflictos, (MAGAP, 2003)

Suelos bien utilizados: Estos suelo ocupan una mayor superficie en la parte baja del área de influencia en La Esperanza y en la parte media en la comunidad Rumipamba; en menor proporción se encuentran también en la parte alta. La superficie de los suelos bien utilizadas dentro del área de influencia de la acequia es de 180.63 has que representa el 27.72%

Suelos sobreutilizados: De las 651.54 has del área de influencia de la acequia Rosas Pamba, 59.94 hectáreas (9.20 %) se encuentran sobreutilizas, es decir se ha presionado a la naturaleza más allá de su capacidad, causando la degradación paulatina del suelo. Las áreas sobreutilizadas se encuentran tanto en la parte baja, media y alta del área de influencia.

Suelos subutilizados: En el 37.28% del área de influencia, es decir 242.89 has se presenta este comportamiento, en el que las actividades productivas son menos intensas en comparación con su capacidad.

Suelos erosionados: Las áreas erosionadas se encuentran en la parte baja del área de influencia en la parroquia la Esperanza ocupando 69.75 has que representan el 10.71 %.

Eriales: Estas zonas con presencia de roca y muy secas sujetas a erosión eólica debido a la vegetación de bajo desarrollo, se encuentran en la parte media del área de influencia, en la zona de la quebrada Rumipamba o quebrada Seca. Ocupan el 5.89 % correspondiente a 38.40 hectáreas.

- **Zonas de Vida según Holdridge**

Las zonas de vida presentes en el área de influencia de la acequia Rosas Pamba, son Bosque seco Montano Bajo (bsMB), Bosque seco Montano Bajo- Asociación Edáfica Húmeda (bsMB-AEH), Bosque húmedo Montano Bajo (bhMB) y Bosque Húmedo Montano Bajo – Bosque Muy Húmedo Montano (bhMB – bhmM) (Anexo 1, Mapa 8), como se muestra en el Cuadro 4.14 con sus respectivas áreas y porcentajes.

Cuadro 4.14 Zonas de Vida

Zona de vida	Símbolo	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Bosque seco Montano Bajo	bsMB	38.40	5.89
Bosque seco Montano Bajo – Asociación Edáfica Húmeda	bsMB-AEH	10.16	1.56
Bosque húmedo Montano Bajo	bhMB	596.47	91.55
Bosque Húmedo Montano Bajo – Bosque Muy Húmedo Montano	bhMB - bhmM	6.51	0.99
TOTAL		651.54	100

Fuente: Mapa de Zonas de Vida, (MAGAP, 2003)

Bosque seco Montano Bajo: Se encuentra en la parte baja del área de influencia en el sector del área de riego en la parroquia La Esperanza, con una superficie de 38.40 has, representando el 5.89 % del área total.

Bosque seco Montano Bajo – Asociación Edáfica Húmeda: AEH: Presenta una capa freática alta que proporciona humedad al suelo, mas de lo que suministra la precipitación anual (Holdridge, 1992) Se encuentra en la parte baja del área de influencia de la acequia en la parroquia La Esperanza, su área es de 10.16 has, representando el 1.56% de la superficie total.

Bosque húmedo Montano Bajo: Esta zona de vida se encuentra cubriendo casi toda el área de influencia, tanto la parte baja en la Parroquia La Esperanza, la parte media en la Comunidad Rumipamba y la parte alta en la parroquia Angochagua y Hacienda la Magdalena; ocupa el 91.55% del área total, correspondiente a 596.47 hectáreas.

Bosque Húmedo Montano Bajo – Bosque Muy Húmedo Montano: Se encuentra en el suroeste del área de influencia, con un área de 6.51 has que representa el 0.99% del área total.

- **Pendientes del terreno**

Dentro del área de estudio se ha clasificado las pendientes en 6 relieves, tal como se muestra en el Cuadro 4.15, en donde predomina el relieve plano, seguido del relieve ligeramente ondulado, ondulado y en menor proporción el relieve montañoso (Anexo 1, Mapa 9).

Cuadro 4.15 Pendientes

Relieve	Pendiente (%)	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Relieve Plano	0-5%	565.78	86.83
Relieve ligeramente ondulado	5-12%	78.96	12.12
Relieve Ondulado	12-25%	6.83	1.05
Relieve Montañoso	25-50%	0.03	0.005
TOTAL		651.6	100%

Fuente: Mapa de pendientes, 2014

Elaboración: La autora

Relieve plano: El relieve plano tiene una pendiente de 0 a 5 %, siendo el más representativo dentro del área de influencia de la acequia Rosas Pamba ya que se encuentra tanto en la parte baja, media y alta. El área que ocupa es de 567.78 has que corresponde al 86.83% del total.

Relieve ligeramente ondulado: Este tipo de relieve tiene una pendiente de 5 a 12%, el cual se observa en mayor proporción en la Parroquia Angochagua y en mínima proporción en la parroquia La Esperanza, el área que ocupa es de 78.96 has que representa el 12.12%.

Relieve ondulado: Dentro del área de estudio este relieve ocupa el 1.05% de la superficie total, tiene pendientes que van desde 12 a 25% y se encuentran distribuidas en la parte alta del área de influencia en la parroquia Angochagua, con una extensión de 6.83 hectáreas.

Relieve Montañoso: El relieve montañoso es el de menor superficie, las pendientes van desde 25 a 50%, que ocupan el 0.03% de la superficie total. Se limita a la parte alta del área de influencia, junto al río Tahuando, con una extensión de 1,136 hectáreas.

- **Hidrología**

Dentro del área de influencia de la acequia Rosas Pamba, se encuentra el río Tahuando de tipo perenne y quebradas de tipo intermitente que atraviesan a la acequia en estudio, tal como se observa en el Cuadro 4.16.

Cuadro 4.16 Ríos y quebradas dentro del área de estudio

Ríos y Quebradas	Tipo	Longitud (km)
Río Tahuando	Perenne	2.16
Quebrada la Rinconada	Intermitente	0.06
Quebrada Rumipamba	Intermitente	1.05
Quebrada Yambaburo	Intermitente	1.47
Quebrada Cruz Huaycu	Intermitente	1.48
Quebrada Punguhuaycu	Intermitente	1.16
Quebrada Oscura	Intermitente	1.11

Fuente: Mapa Hidrológico, (IGM, 2013)

El río Tahuando constituye la fuente de captación de agua para la acequia Rosas Pamba, es de tipo perenne lo que significa que su corriente de agua es permanente durante todo el año. Se encuentra en la parte sur-este del área de influencia, con una longitud de 2.16 km. Ninguna de las quebradas mencionadas aportan caudal a la acequia Rosas Pamba ya que la atraviesan sobre o debajo como el caso de la quebrada Seca y Oscura.

- **Tipos de Clima**

Según la clasificación bioclimática del MAGAP, dentro del área de estudio predominan los climas Templado-Subhúmedo y Templado-Húmedo, mientras que el clima Subtemplado muy húmedo ocupa un pequeño porcentaje dentro del área de influencia, tal como se muestra en el Cuadro 4.17.

Cuadro 4.17 Tipos de Bioclimas

Clima	Precipitación anual (mm)	Temperatura anual (°C)	Área (ha)	Porcentaje (%)
Subtemplado muy húmedo	1250-1500	11-12	0.621389	0.095
Templado-Subhúmedo	750-1000	12-14	363.743	55.83
Templado-Húmedo	1000-1500	12-13	287.18	44.07
TOTAL			651.54	100

Fuente: Mapa Climático, (MAGAP, 2003)

Templado Subhúmedo: Este tipo de clima presenta valores de precipitación entre 750 a 1000 mm anuales y un rango de temperatura entre 12 a 14 °C.

Templado húmedo: Los valores de precipitación entre 1000 a 1500 mm anuales y una temperatura anual entre 12 y 13 °C corresponden al clima Templado Húmedo.

Subtemperado muy húmedo: Los rangos de precipitación anual se encuentran entre 1250 a 1500 mm y la temperatura media anual se encuentra en el rango de 11 a 12 °C.

Los factores caracterizados por observación directa se anotaron en las fichas de caracterización biofísica disponibles en el Anexo 2, Ficha 1, los mismos que corresponden a los componentes biótico y socioeconómico que se describen a continuación:

- **Componente biótico**

Uso del suelo: El suelo es utilizado para el cultivo de pastos kikuyo y ray-grass (*Penisetum clandestinum* y *Lolium perenne*), maíz (*Zea mais*) y cultivos no tradicionales como las plantaciones florícolas (Anexo 3, Fotografías).

Cobertura vegetal: Predomina la vegetación arbustiva y árboles dispersos de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), Ciprés (*Cupressus sp*), Lechero (*Euphorbia laurifolia*), (Anexo 3, Fotografías)

Flora: Además de los árboles frutales y árboles dispersos se observan especies como: Chilca (*Baccharis latifolia*), Uña de gato (*Mimosa quitensis*), Capulí (*Prunus serotina*) en la parte baja del área de estudio; en la parte media a alta se observa especies como Cola de caballo (*Equisetum arvense*), Iso (*Dalea coerulea*), Corta picos (*Bomarea hirsuta*), Chin Chin Silvestre (*Senna multiglandulosa*) y Mora (*Rubus roseus*)

Fauna: La fauna nativa ha sido desplazada por animales domésticos, sin embargo se puede observar aves como patisechos (*Zonotrichia capensis*), palomas (*Columba livia*), colibrís (*Inca collarejo*), pájaro brujo (*Pyrocephalus rubinus*), huiracchuro (*Pheuticus chrysogaster*) y mirlo (*Turdus fuscater*) y en ocasiones se puede encontrar chucuris (*Mustela frenata*).

- **Componente socioeconómico**

Poblados: Los Poblados dentro del área de estudio son La Esperanza, Rumipamba, Angochagua.

Actividades Económicas: Predomina la agricultura con cultivos de maíz, cereales, y papa, además de la crianza de ganado lechero.

Servicios básicos: Según datos del SIISE (Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador) correspondientes al Censo de Población y Vivienda del año 2010 elaborado por el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010); en las parroquias La Esperanza y Angochagua, la mayoría de viviendas cuentan con servicio eléctrico, no así con sistema de alcantarillado y teléfono convencional.

4.3 Caracterización hídrica de la acequia Rosas Pamba

Los diagramas ombrotérmicos realizados para la determinación de las épocas seca y lluviosa, corresponden a las estaciones de Ibarra localizada a 5 km de la acequia y Olmedo ubicada a 13 km, como se presenta a continuación:

- **Estación meteorológica de Ibarra.**

Las características de la estación meteorológica Ibarra-Aeropuerto de la cual se dispone de datos en los anuarios se presentan en el Cuadro 4.18. De la estación Ibarra-INAMHI (M1240) únicamente se dispone información en el boletín del primer semestre del año 2013, y del Boletín del mes de marzo del 2014.

Cuadro 4.18 Características Estación meteorológica de Ibarra-Aeropuerto

Código	Nombre de la Estación	Tipo	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
M053	IBARRA AEROPUERTO	AR (Aeronáutica)	0 ° 20 ' 0 " N	78 ° 6 ' 0 " W	2214

Fuente: INAMHI, 2014

Los datos promedios mensuales de temperatura y precipitación durante el período 1994 a 2004 reportados por la estación de Ibarra-Aeropuerto se muestran en el Cuadro 4.19.

Cuadro 4.19 Precipitación y temperatura medias de la Estación de Ibarra

Meses	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
Enero	38.2	15.3
Febrero	56.2	15.7
Marzo	85.0	15.7
Abril	81.6	15.9
Mayo	65.3	15.9
Junio	35.7	15.5
Julio	17.3	15.5
Agosto	14.1	15.6
Septiembre	34.4	15.8
Octubre	69.3	15.6
Noviembre	72.9	15.4
Diciembre	49.2	15.4
Sumatoria	619,2	
Promedio		15.6

Fuente: INAMHI, 2014

El Diagrama Ombrotérmico construido con los datos de precipitación y temperatura correspondiente a la Estación Meteorológica de Ibarra, se presenta en la Figura 4.5

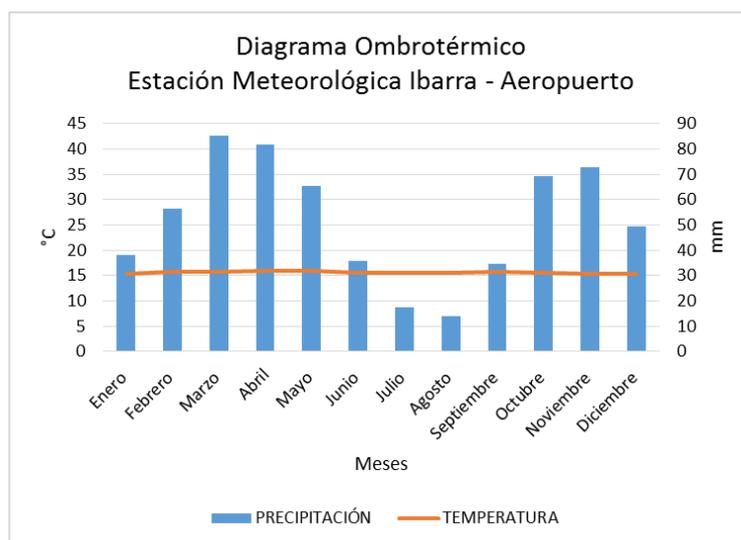


Figura 4.5 Diagrama ombrotérmico de la estación Ibarra-Aeropuerto

Fuente: INAMHI

Elaboración: La autora

De acuerdo al diagrama ombrotérmico de la Estación Meteorológica de Ibarra el clima se caracteriza por tener dos meses secos en Julio y Agosto, dos meses semihúmedos en Junio y Septiembre y ocho meses húmedos en Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Octubre, Noviembre y Diciembre.

- **Estación Meteorológica Olmedo-Pichincha**

Las características y ubicación geográfica de la estación de Olmedo se presentan en el Cuadro 4.20.

Cuadro 4.20 Características de la estación meteorológica Olmedo-Pichincha

Código	M0023
Nombre de la Estación	OLMEDO-PICHINCHA
Tipo	CO (Climatológica Ordinaria)
Latitud	0° 8' 53" N
Longitud	78° 2' 52" W
Altitud (m.s.n.m)	3280
Estado	Activa

Fuente: INAMHI, 2014

Los datos promedios mensuales de temperatura y precipitación en un periodo de 21 años desde 1990 al 2011 se presentan en el Cuadro 4.21.

Cuadro 4.21 Precipitación y temperatura medias de la Estación Olmedo-Pichincha

Meses	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
Enero	92.54	11.65
Febrero	81.73	11.67
Marzo	99.44	11.77
Abril	84.49	12.04
Mayo	72.34	12.29
Junio	46.72	11.86
Julio	26.56	11.58
Agosto	20.77	11.61
Septiembre	39.11	11.91
Octubre	106.24	12.19
Noviembre	92.71	12.07
Diciembre	89.44	12.06
	852.09	11.89

Fuente: INAMHI, 2014

El diagrama ombrotérmico construido con los datos presentados en el Cuadro 4.21, indica que existen 10 meses húmedos, los cuales son enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, mientras que julio se muestra como un mes semihúmedo y agosto como el mes seco (Figura 4.6).

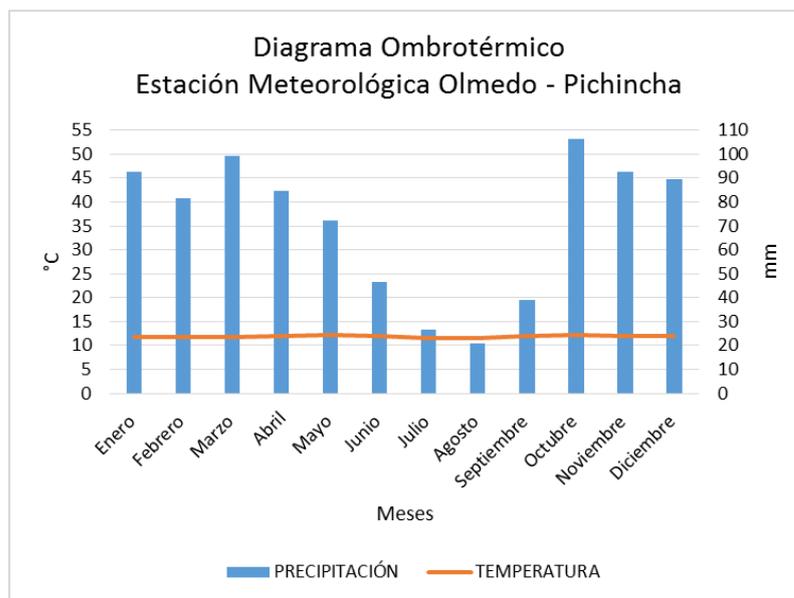


Figura 4.6 Diagrama ombrotérmico de la estación Olmedo-Pichincha

Fuente: INAMHI

Elaboración: La autora

4.3.1 Obras de ingeniería y mantenimiento

El trazado de la acequia cuenta con tres tramos, uno correspondiente al canal de hormigón y dos correspondientes al canal sin revestimiento. El canal de hormigón presenta mantenimiento en algunos sectores como en la sección que atraviesa la quebrada Seca en La Esperanza cerca al Grupo de Caballería Mecanizado N°36 Yaguachi; el mantenimiento lo realiza el señor José Antonio Simbaña. Además se cuenta con un desarenador (Fotografía 4.6) que no presenta mantenimiento, ya que se encuentra taponado con residuos y hojas secas de árboles de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y arbustos.



Fotografía 4.6 Desarenador, 2014
Fuente: La autora

La sección sin revestimiento no presenta mantenimiento continuo por lo que en algunos tramos se evidencia la presencia de hojarasca y material vegetal que influyen en la velocidad del flujo del agua, tal como se muestra en la Fotografía 4.7.



Fotografía 4.7 Vegetación acuática y herbácea en el canal sin revestimiento, 2014
Fuente: La autora

4.3.2 Caudal de agua

Los puntos determinados para la medición de caudales en las épocas seca y lluviosa se muestran en el Mapa de ubicación de sitios de aforos (Anexo 1, Mapa 12) y los datos recogidos en cada punto de medición tanto del método del flotador como del molinete electrónico se presentan en las fichas para el registro de los aforos líquidos superficiales disponibles en el Anexo 2 - Ficha 2. Los resultados obtenidos luego

de procesar los datos en el software Excel tanto para la época lluviosa como para la época seca se presentan a a continuación:

- **Punto de aforo 1**

Situado en la bocatoma de la acequia en el río Tahuando (Anexo 3, Fotografías). Los aforos realizados con molinete electrónico mostraron que para la época lluviosa se presenta un caudal de 125.07 l/s, mientras que para la época seca el caudal fue de 18.05 l/s; tal como se muestra en el Cuadro 4.22.

Cuadro 4.22 Datos hidráulicos y geométricos del punto de aforo 1

Punto	x	y	Altitud(msnm)
1	823843	10028466	2642
Datos hidráulicos y geométricos/ Época		Época lluviosa	Época seca
Caudal Medio en sección de Aforo		125.07 l/s 0.125 m ³ /s	18.05 l/s 0.018 m ³ /s
Área Mojada de la sección transversal		0.27 m ²	0.10 m ²
Velocidad media		0.46 m/s	0.17 m/s
Perímetro Mojado de la sección transversal		1.56 m	1.14 m
Espejo de agua		1.25 m	1.07 m
Tirante máximo		0.28 m	0.16 m
Profundidad Hidráulica		0.22 m	0.10 m
Radio Hidráulico		0.17 m	0.09 m
Número de Froude		0.32	0.18
Régimen de Flujo		Régimen Subcrítico	Régimen Subcrítico

Elaboración: La autora

La sección mojada en este punto correspondiente a la época lluviosa es de 0.27 m² la cual disminuye en la época seca a 0.10 m², tal como se muestra en la Figura 4.7.

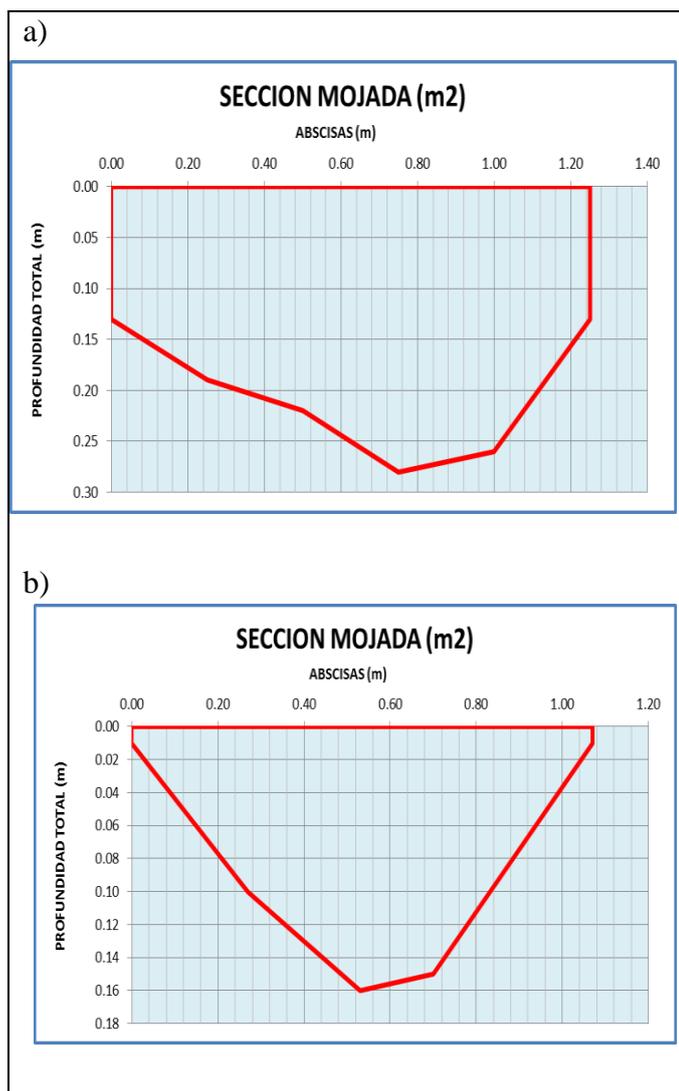


Figura 4.7 Área mojada transversal punto 1, a) Época lluviosa;
b) Época seca
Elaboración: La autora

- **Punto de aforo 2**

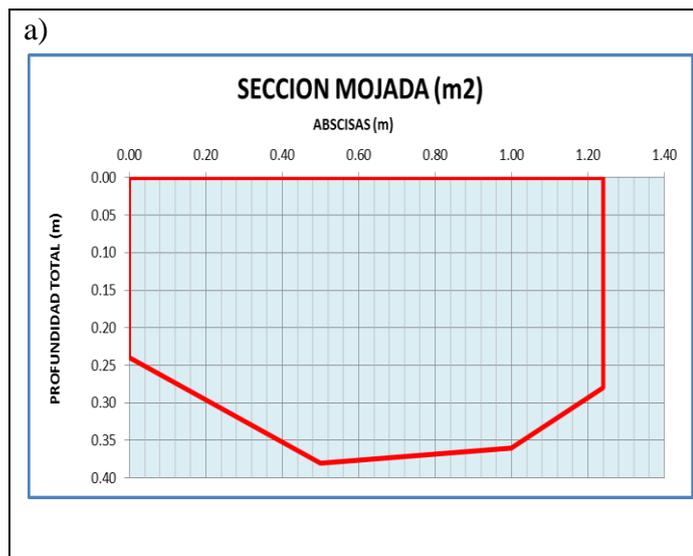
Situado antes del desvío natural del drenaje principal (Anexo 3, Fotografías). En este punto se registró un caudal de 118.21 l/s en la época lluviosa y 17.09 l/s en la época seca; los resultados del procesamiento de los datos obtenidos en el aforo con molinete electrónico se presenta en el Cuadro 4.23.

Cuadro 4.23 Datos hidráulicos y geométricos del punto de aforo dos

Punto	x	y	Altitud (msnm)
2	823753	10029052	2636
Datos hidráulicos y geométricos/ Época		Época lluviosa	Época seca
Caudal Medio en sección de Aforo		118.21 l/s 0.118 m ³ /s	17.09 l/s 0.017 m ³ /s
Área Mojada de la sección transversal		0.42 m ²	0.24 m ²
Velocidad media		0.28 m/s	0.07 m/s
Perímetro Mojado de la sección transversal		1.79 m	1.57 m
Espejo de agua		1.24 m	1.24 m
Tirante máximo		0.38 m	0.24 m
Profundidad Hidráulica		0.34 m	0.19 m
Radio Hidráulico		0.23 m	0.15 m
Número de Froude		0.16	0.05
Régimen de Flujo		Régimen Subcrítico	Régimen Subcrítico

Elaboración: La autora

La sección mojada en este punto correspondiente a la época lluviosa es de 0.42 m² mientras que para la época seca existe una disminución a 0.24 m² tal como se presenta en la Figura 4.8.



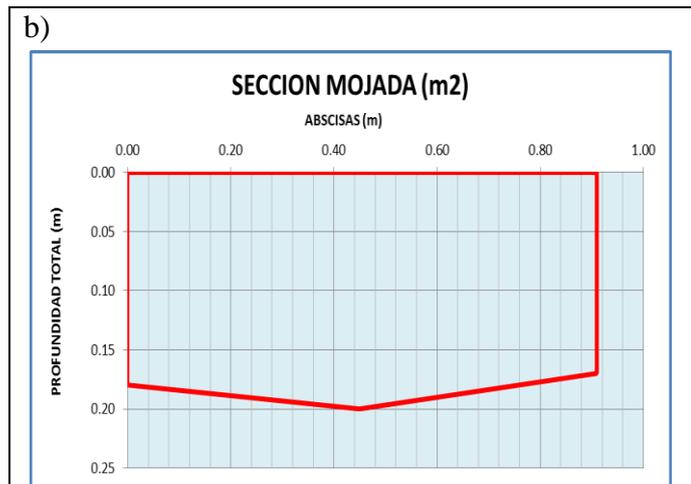


Figura 4.8 Área mojada transversal punto 2, a) Época lluviosa; b) Época seca
Elaboración: La autora

- **Punto de aforo 3**

Ubicado después de un desvío natural del drenaje principal, cuyas aguas vuelven al río Tahuando (Anexo 3, Fotografías), esta medición se realizó con el fin de conocer la cantidad de agua perdida a partir del punto de aforo dos. En este punto se registró un caudal de 53.57 l/s en la época lluviosa y 17.09 l/s en la época seca. El caudal que se pierde en el desvío natural es de 64.64 l/s siendo una cantidad importante que se desperdicia en la época lluviosa; mientras que para la época seca el desvío de agua se encontró tapado registrando el mismo caudal para el punto 2 y 3. Los resultados de la medición realizada con molinete electrónico se presenta en el Cuadro 4.24.

Cuadro 4.24 Datos hidráulicos y geométricos del punto de aforo tres

Punto	x	y	Altitud(msnm)
3	823753	10029052	2636
Datos hidráulicos y geométricos/ Época		Época lluviosa	Época seca
Caudal Medio en sección de Aforo		53.57 l/s 0.053 m ³ /s	17.09 l/s 0.017 m ³ /s
Área Mojada de la sección transversal		0.36 m ²	0.24 m ²
Velocidad media		0.15 m/s	0.07 m/s
Perímetro Mojado de la sección transversal		1.61 m	1.57 m

Espejo de agua	1.05 m	1.24 m
Tirante máximo	0.38 m	0.24 m
Profundidad Hidráulica	0.34 m	0.19 m
Radio Hidráulico	0.22 m	0.15 m
Número de Froude	0.08	0.05
Régimen de Flujo	Régimen Subcrítico	Régimen Subcrítico

Elaboración: La autora

La sección mojada en este punto correspondiente a la época lluviosa es de 0.36 m² como se aprecia en la Figura 4.9.

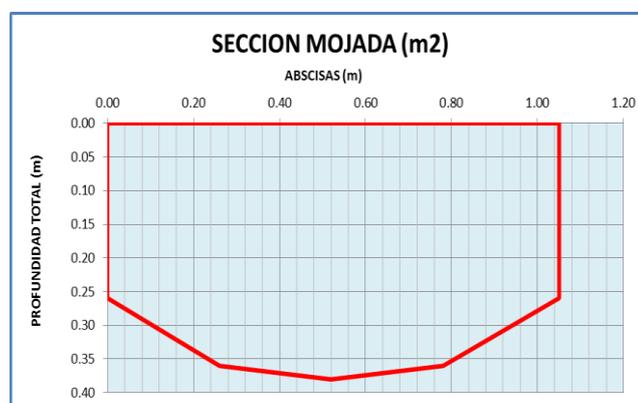


Figura 4.9 Área mojada transversal punto 3

Elaboración: La autora

- **Punto de aforo 4**

Éste punto corresponde a un desvío artificial de la acequia dentro de la Hacienda La Magdalena. El cauce es de textura limo-arenoso y las riveras están cubiertas por pasto cultivado (Anexo 3, Fotografías). El procesamiento de los datos obtenidos por el método del flotador indican que para la época lluviosa se registra un caudal de 8.89 l/s y para la época seca un caudal de 1.57 l/s, es decir restando estos valores de los calculados para el punto 3, se tiene un caudal de 44.68 l/s y 15.52 l/s para el canal principal en las épocas lluviosa y seca respectivamente, tal como se muestra en el Cuadro 4.25.

Cuadro 4.25 Resultados del aforo en el punto cuatro

Punto	x	y	Altitud (msnm)
4	823723	10029082	2641
Parámetro/ Época		Época lluviosa	Época seca
Área mojada		0.02 m ²	0.01 m ²
Tiempo promedio		3.11 s	3.95 s
Distancia		2 m	1 m
Velocidad promedio		0.64 m/s	0.25 m/s
Velocidad ajustada		0.41 m/s	0.16 m/s
Caudal promedio del desvío artificial		0.0088 m ³ /s 8.89 l/s	0.0015 m ³ /s 1.57 l/s
Caudal del drenaje principal		44.68 l/s	15.52 l/s

Elaboración: La autora

El área mojada del canal calculada en la época lluviosa es de 0.02 m² mientras que para la época lluviosa es de 0.01 m² como se muestra en la Figura 4.9.

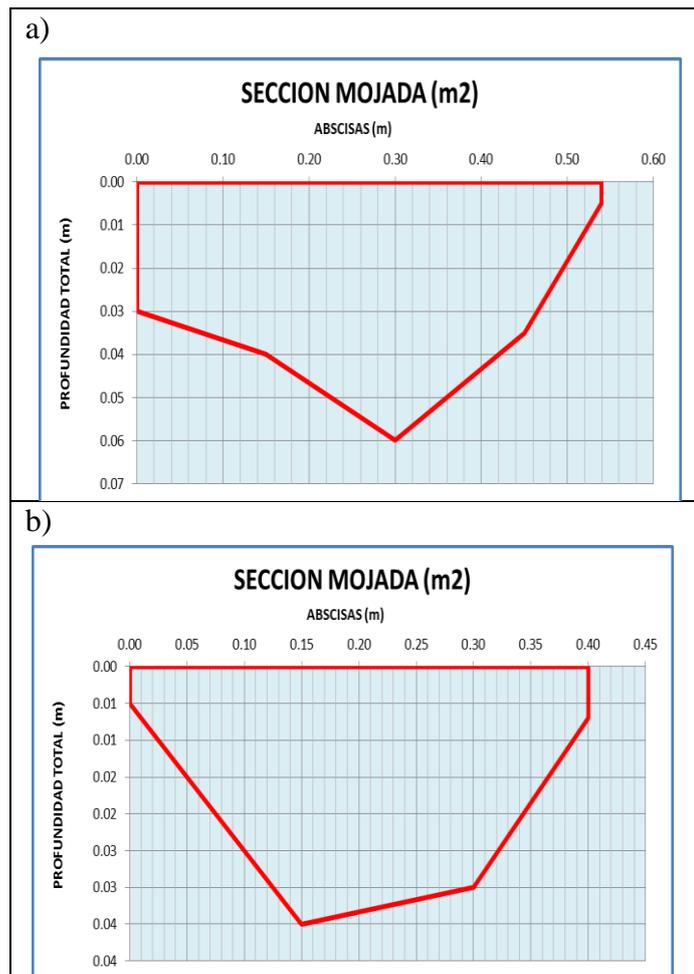


Figura 4.10 Área mojada transversal punto 4, a) Época lluviosa; b) Época seca

Elaboración: La autora

- **Punto de aforo 5**

Este punto se sitúa junto al camino que conduce a la Hacienda La Magdalena. Se observó la presencia de vegetación herbácea y acuática en las orillas del cauce sin revestimiento (Anexo 3, Fotografías). En la época lluviosa fue posible la medición con el molinete electrónico, no así en la época seca que se realizó el aforo con el método del flotador debido a la presencia de abundantes macrophytas en el canal. Los resultados obtenidos luego de procesar los datos recogidos en la época lluviosa se presentan en el Cuadro 4.26 en el cual se muestra un caudal de 39.06 l/s.

Cuadro 4.26 Datos hidráulicos y geométricos del punto de aforo 5 en la época lluviosa

Punto	x	y	Altitud (msnm)
5	823167	10029084	2634
Datos hidráulicos y geométricos/ Época			Época lluviosa
Caudal Medio en sección de Aforo			39.06 l/s
Área Mojada de la sección transversal			0.23 m ²
Velocidad media			0.17 m/s
Perímetro Mojado de la sección transversal			1.43 m
Espejo de agua			1.20 m
Tirante máximo			0.39 m
Profundidad Hidráulica			0.20 m
Radio Hidráulico			0.16 m
Número de Froude			0.12
Régimen de Flujo			Régimen Subcrítico

Elaboración: La autora

En el Cuadro 4.27 se presentan los resultados del aforo correspondiente a éste punto durante la época seca, en donde se registró un caudal de 14.48 l/s.

Cuadro 4.27 Resultados del aforo en el punto 5 - época seca

Parámetro/ Época	Época seca
Área mojada	0.13 m ²
Tiempo promedio	5.568 s
Distancia	1 m
Velocidad promedio	0.179 m/s
Velocidad ajustada	0.11 m/s
Caudal promedio	0.014 m ³ /s 14.48 l/s

Elaboración: La autora

El área mojada de la sección transversal calculada para la época lluviosa es de 0.23 m², la cual disminuye en la época seca a 0.13 m², tal como se muestra en la Figura 4.11.

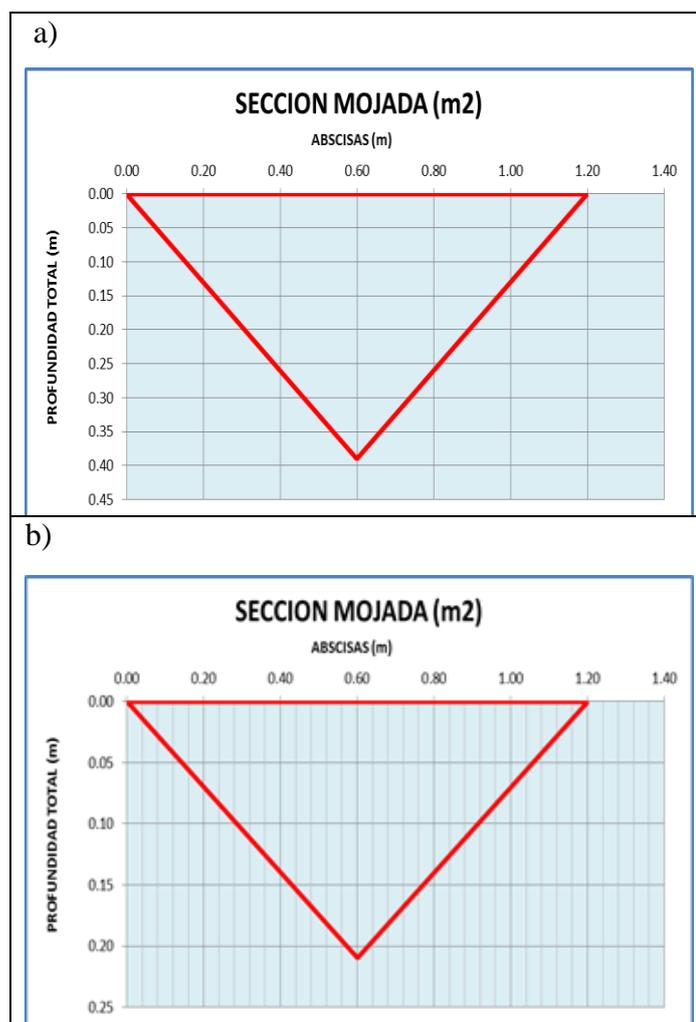


Figura 4.11 Área mojada transversal punto 5, a) Época lluviosa; b) Época seca

Elaboración: La autora

- **Punto de aforo 6**

Ubicado a 500 m desde la Florícola Fiesta Flowers, presenta un cauce sin revestimiento conformado por arenas, limos y abundantes raíces de macrophytas, por lo que no fue posible la medición del caudal con el molinete electrónico. (Anexo 3, Fotografías). El caudal registrado en la época lluviosa es de 11.34 l/s, mientras que para la época seca no se presentó flujo de agua en la acequia; los resultados se muestran en el Cuadro 4.28.

Cuadro 4.28 Resultados del aforo en el punto 6

Punto	x	y	Altitud
6	822614	10030041	2622
Parámetro/ Época		Época lluviosa	
Área mojada		0.11 m ²	
Tiempo promedio		10.36 s	
Distancia		1.7 m	
Velocidad promedio		0.164 m/s	
Velocidad ajustada		0.106 m/s	
Caudal promedio		0.011 m ³ /s 11.34 l/s	

Elaboración: La autora

El área mojada calculada en la época lluviosa es de 0.11 m² tal como se muestra en la Figura 4.12.

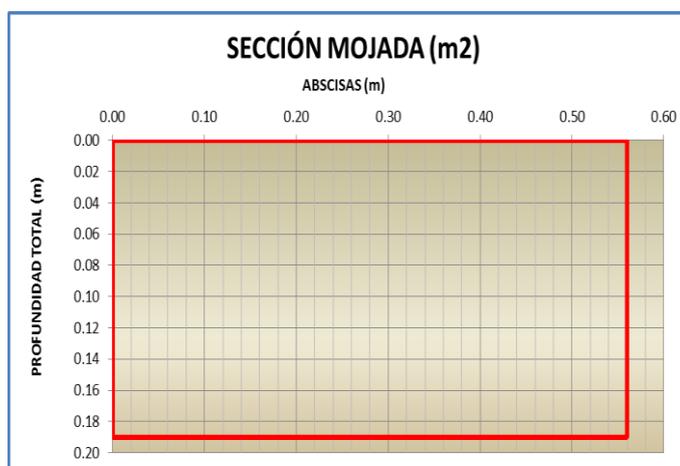


Figura 4.12 Área mojada transversal del punto 6 en la época lluviosa

Elaboración: La autora

- **Punto de aforo 7**

Ubicado en el desvío de agua para la Florícola Fiesta Flowers en la comunidad Rumipamba (Anexo 3, Fotografías). El cauce es de tierra y presenta grava de distinta granulometría, además las orillas de la acequia están cubiertas por vegetación arbustiva y herbácea. El caudal registrado por el método del flotador es de 5.74 l/s para la época lluviosa mientras que en la época seca no se observó flujo de agua en el canal (Cuadro 4.29), lo que provoca problemas en las actividades de riego en la Florícola Fiesta Flowers.

Cuadro 4.29 Resultados del aforo en el Punto siete

Punto	x	y	Altitud
7	822337	10030469	2621
Parámetro/ Época		Época lluviosa	
Área mojada		0.20 m ²	
Tiempo promedio		13.19 s	
Distancia		0.6 m	
Velocidad promedio		0.045 m/s	
Velocidad ajustada		0.029 m/s	
Caudal promedio		0.00574 m ³ /s	
		5.74 l/s	

Elaboración: La autora

El área mojada calculada en este punto durante la época lluviosa es de 0.20 m² tal como se muestra en la Figura 4.13.

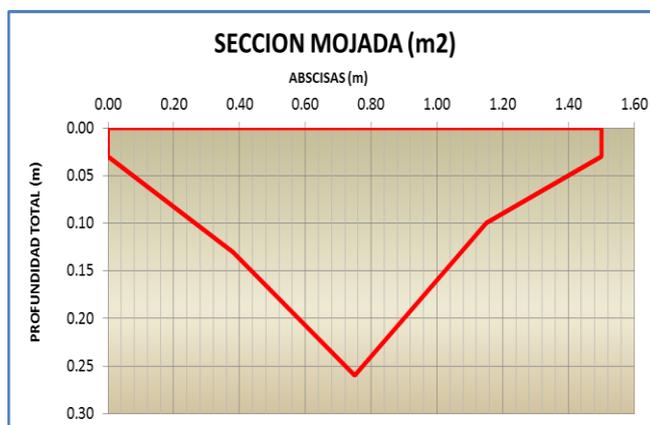


Figura 4.13 Sección mojada del punto de aforo 7

Elaboración: La autora

- **Punto de aforo 8**

Situado en la Comunidad Rumipamba medio en donde la velocidad de flujo del agua es cero en la época lluviosa; se encontró la presencia de macrophytas en la superficie del agua lo que indica el alto grado de materia orgánica. En la época seca el canal se encuentra totalmente sin agua (Anexo 3, Fotografías).

- **Punto de aforo 9**

Ubicado al final del trazado de la acequia en donde se registró una velocidad de flujo de agua igual a cero en las épocas lluviosa y seca. Se observó también puntos de descarga de aguas residuales en la sección final de la acequia cerca al área de riego en la Esperanza. (Anexo 3, Fotografías).

En el Cuadro 4.30 se muestra la diferencia de caudales en el trazado de la acequia para cada punto de muestreo tanto para la época lluviosa como para la época seca.

Cuadro 4.30 Diferencia de caudales en las épocas lluviosa y seca.

Aforo/época	Época lluviosa Caudal (l/s)	Época seca Caudal (l/s)
1	125.07	18.05
2	118.21	17.09
3	53.57	17.09
4	44.68	15.52
5	39.06	14.48
6	11.34	0
7	5.74	0
8	0	0
9	0	0

Elaboración: La autora

4.3.3 Pérdidas por infiltración

Los puntos en donde se realizó las pruebas de infiltración se pueden visualizar en el Mapa de Texturas (Anexo 1, Mapa 13). Los datos recogidos en las pruebas de campo se presentan en la Hoja de Datos, Velocidad de Infiltración (Anexo 2, Ficha 3). Los resultados obtenidos en cada punto de muestreo se presentan a continuación:

- **Textura gruesa**

La prueba de infiltración se realizó en un suelo agrícola correspondiente al orden Mollisol, ubicado en la zona urbana de la Esperanza (Anexo 3, Fotografías); el tiempo asignado para el experimento fue de 40 minutos, en donde se obtuvo el dato estimado de los milímetros infiltrados por hora en las épocas lluviosa y seca, tal como se muestra en el Cuadro 4.31.

Cuadro 4.31 Resultados prueba de infiltración – textura gruesa

Tiempo acumulado (min)	Época lluviosa		Época seca	
	Velocidad de infiltración (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/hora)	Velocidad de infiltración (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/hora)
0	-	-	-	-
1	40	2400	80	4800
2	35	2100	65	3900
3	22	1320	58	3480
4	21	1260	45	2700
5	17	1020	39	2340
6	15	900	33	1980
7	15	900	29	1740
8	11	660	25	1500
9	11	660	25	1500
10	10	600	24	1440
15	12.4	744	22	1320
25	7.9	474	14.2	852
40	7.2	444	12	780

Elaboración: La autora

La velocidad de infiltración obtenida para la textura gruesa en el tiempo de prueba es de 444 mm/h en época lluviosa y 780 mm/h en época seca, sin embargo ésta velocidad no corresponde a la infiltración básica o estabilizada; Cadena (2012) señala que la velocidad de infiltración estabilizada para ésta textura es de 12 a 18 mm/h. La Figura 4.14 muestra la curva de infiltración de forma exponencial tanto para la época seca como para la época lluviosa, la misma que es inversamente proporcional al tiempo, es decir la infiltración disminuye conforme aumenta el tiempo de prueba debido a la saturación del agua en el suelo.

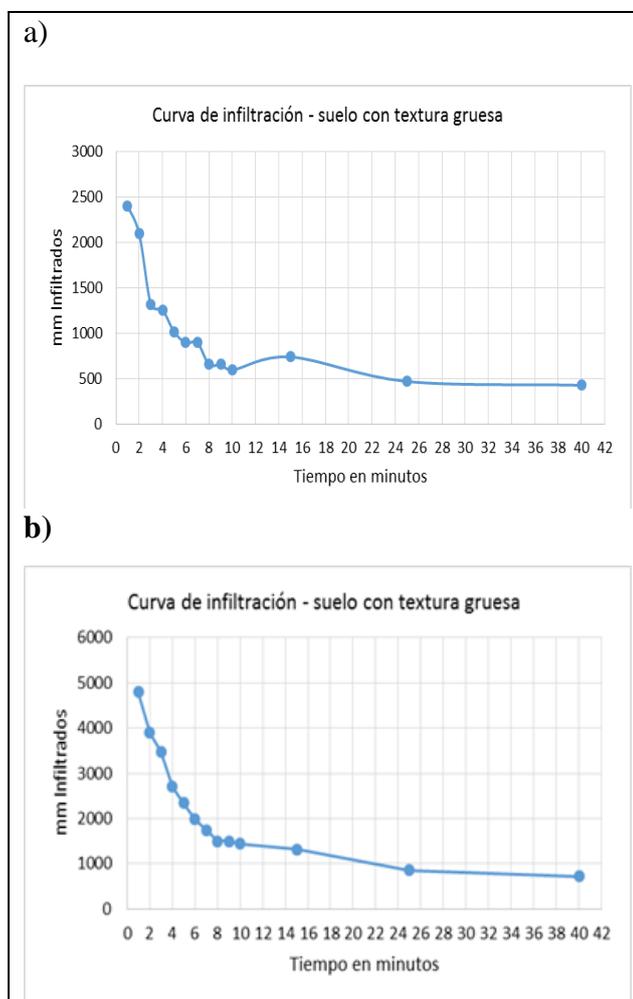


Figura 4.14 Curva de infiltración - suelo con textura gruesa, a) Época lluviosa, b) Época seca

Elaboración: La autora

- **Textura medianamente gruesa**

La prueba se realizó en el Barrio San Pedro ubicado en la parroquia La Esperanza en un suelo perteneciente al orden Inceptisol (Anexo 3, Fotografías). Los resultados obtenidos en las épocas seca y lluviosa se presentan en el Cuadro 4.32.

Cuadro 4.32 Resultados prueba de infiltración – textura medianamente gruesa

Tiempo acumulado (min)	Época lluviosa		Época seca	
	Velocidad de infiltración (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/hora)	Velocidad de infiltración (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/hora)
0	-	-	-	-
1	15	900	32	1920
2	15	900	30	1800
3	13	780	28	1680
4	15	900	26	1560
5	12	720	22	1320
6	10	600	20	1200
10	10	600	19	1140
11	14	600	19	1140
15	10	660	15	900
20	9.8	588	15	900
30	7.5	450	14	840
40	7.4	432	13	720

Elaboración: La autora

Según Cadena (2012) la velocidad de infiltración estabilizada para esta textura es de 8 a 14 mm/h; mientras que en la prueba en campo realizada se obtuvo 432 mm/h en época lluviosa y 720 mm/h en época seca en el tiempo de prueba asignado, el cual no corresponde a la infiltración básica. La Figura 4.14 presenta la curva de infiltración para el suelo con textura medianamente gruesa para las épocas seca y lluviosa, en la cual se observa que en los primeros minutos existe una infiltración rápida que disminuye con el pasar del tiempo de prueba.

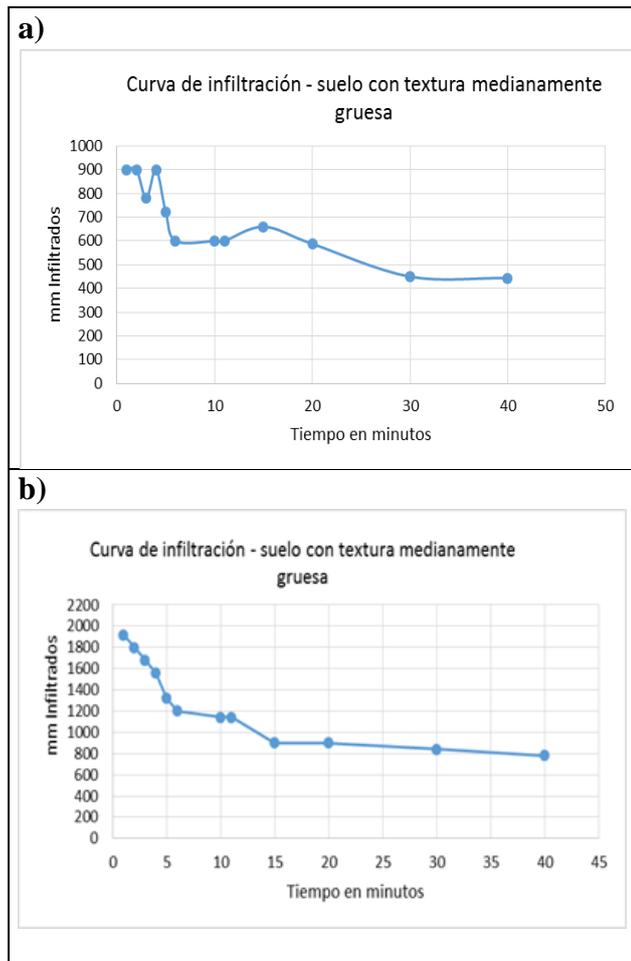


Figura 4.15 Curva de infiltración - suelo con textura medianamente gruesa, a) Época lluviosa, b) Época seca
Elaboración: La autora

- **Sin suelo (Arena)**

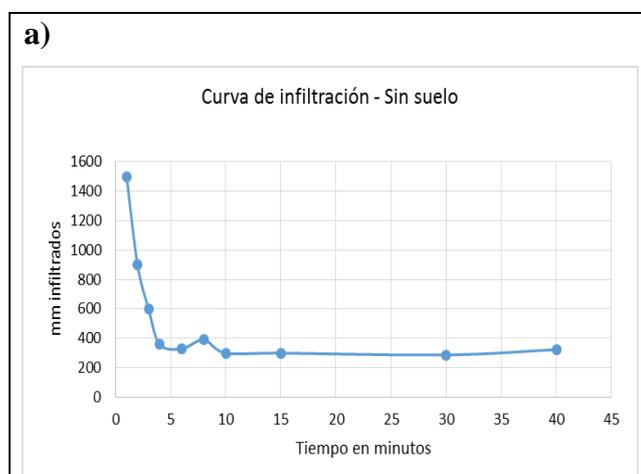
El ensayo se realizó junto a la quebrada Seca, en un sitio con rocas en procesos de meteorización compuesto por arenas de diferente granulometría con contenidos altos de humedad en la época lluviosa (Anexo 3, Fotografías). Los resultados de las pruebas de campo se presentan en el Cuadro 4.33.

Cuadro 4.33 Resultados prueba de infiltración – sin suelo

Tiempo acumulado (min)	Época lluviosa		Época seca	
	Velocidad de infiltración (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/hora)	Velocidad de infiltración (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/hora)
0	-	-	-	-
1	25	1500	75	4500
2	15	900	46	2760
3	10	600	37	2220
4	6	360	24	1440
6	5.5	330	16	960
8	6.5	390	15	900
10	5	300	14	840
15	5	300	14	840
30	4.8	288	13.4	804
40	5.4	324	13	790

Elaboración: La autora

Según la prueba realizada en campo se observa menor infiltración en el suelo con textura arenosa que en los suelos con textura gruesa y moderadamente gruesa en la época lluviosa, esto se debe al alto contenido de humedad en el suelo arenoso el día de la prueba, mientras que en la época seca la infiltración fue de 790 mm/h; ésta velocidad no corresponde a la infiltración estabilizada la cual se obtiene con un tiempo de prueba mucho mayor, así Cadena (2012) señala como velocidad de infiltración básica de 30 a >30 mm/h. La curva de infiltración que se presenta en la Figura 4.16 muestra que existe una relación entre los milímetros infiltrados y el tiempo de forma exponencial.



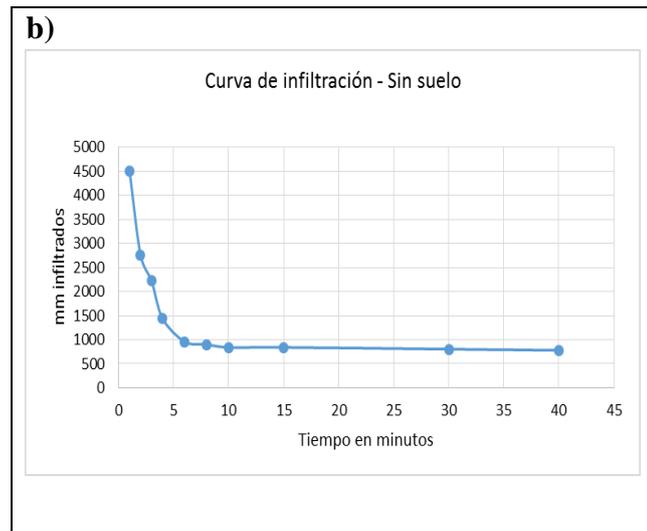


Figura 4.16 Curva de infiltración - suelo con textura arenosa, a) Época lluviosa, b) Época seca
Elaboración: La autora

- **Textura media**

El ensayo se realizó en Angochagua, en un suelo perteneciente al orden Mollisol, el cual presentó un grado moderado de compactación debido al pisoteo de los animales vacunos y caballares y las prácticas de arado, además se observó una humedad del suelo muy alta en la época lluviosa. En el Cuadro 4.34 se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de infiltración.

Cuadro 4.34 Resultados prueba de infiltración – textura media

Tiempo acumulado (min)	Época lluviosa		Época seca	
	Velocidad de infiltración (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/hora)	Velocidad de infiltración (mm/min)	Velocidad de infiltración (mm/hora)
0	-	-	-	-
1	2	120	30	1800
2	2	120	28	1680
5	0.33	20	20	1200
10	0.33	20	15	900
20	0.1	6	13	780
30	0.1	6	12	720
40	0.1	6	10	600

Elaboración: La autora

La prueba realizada en época lluviosa dio como resultado una infiltración de 6 mm/h que si corresponde a la infiltración estabilizada cuando ya el suelo ésta saturado; así Cadena (2012) indica que la velocidad de infiltración básica para esta textura es de 6 a 10 mm/h. En la época seca el resultado fue de 600 mm/h en el tiempo asignado para la prueba. En la Figura 4.16 se observa la curva de infiltración obtenida en la prueba realizada en época lluviosa, en donde se observa una infiltración muy lenta en los primeros minutos, llegando a una estabilización a partir del minuto 20 de la prueba, esto se atribuye al alto grado de humedad del suelo y al pisoteo del ganado.

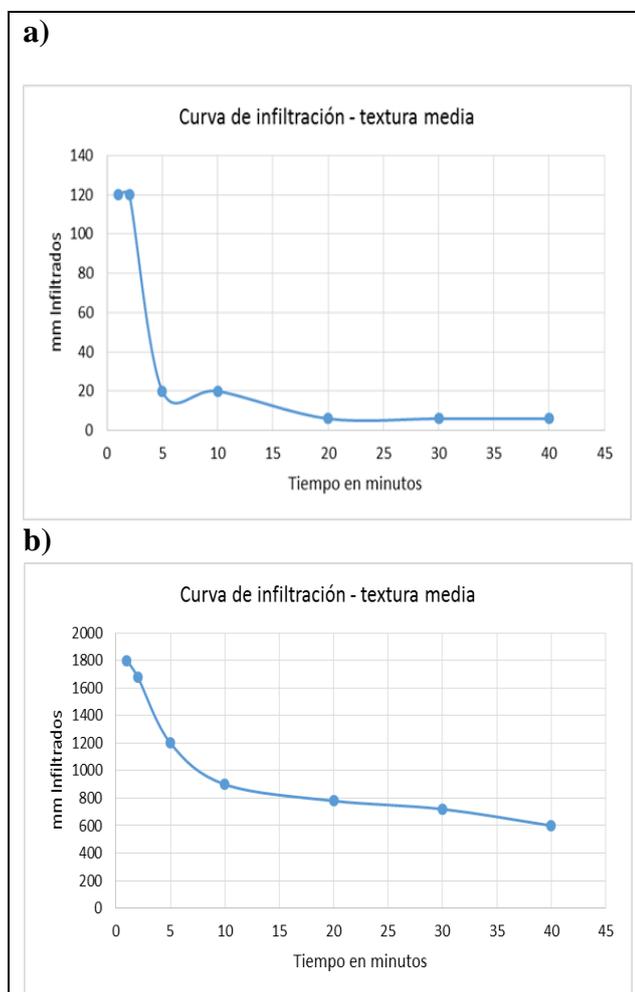


Figura 4.17 Curva de infiltración - suelo con textura media
Elaboración: La autora

Es importante considerar que la velocidad de infiltración depende de la velocidad de aporte, es decir mientras más rápida, menor infiltración en el suelo. Además

cuando la velocidad de aporte sea mayor a la capacidad de infiltración del suelo, es ahí cuando se conoce la velocidad de infiltración real (Ruiz, Venialgo, Gutierrez, Ingaramo & Briend, 2009). Además las condiciones del suelo y agua al momento de realizar la prueba de infiltración como la textura, la salinidad del suelo, el laboreo del terreno, la temperatura del agua, influyen en la velocidad de infiltración (Alvarez, Sastre, Gutierrez, Carral, 2010) como lo demostrado en las pruebas de campo. N., G. (2006) también considera la pendiente y la vegetación como factores importantes, así mientras menor sea la pendiente del terreno y exista mayor cobertura vegetal, mayor será la infiltración en el suelo; en el campo se observó pendientes planas pero no así la cobertura vegetal densa, ya que predominan los pastos y cultivos.

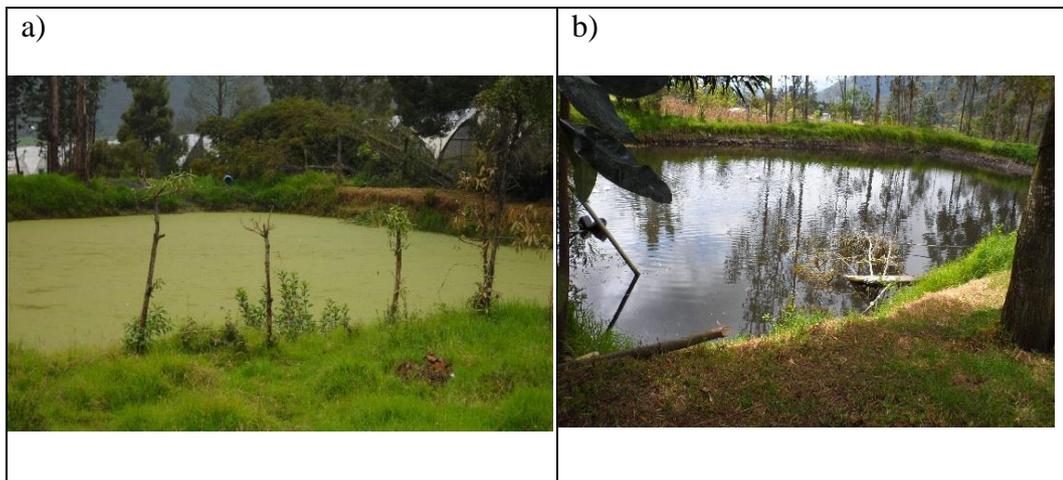
4.4 Uso y distribución del recurso hídrico en el área de influencia de la acequia Rosas Pamba

A lo largo del trazado de la acequia Rosas Pamba se realiza un aprovechamiento económico de sus aguas, es decir en actividades productivas que requieren inversión. Las personas y empresas que se benefician de la acequia realizan un uso consuntivo de las aguas, es decir no están obligados a restituir las después de su utilización. Los usos y aprovechamientos consuntivos incluyen las actividades agrícolas y agropecuarias dentro del área de estudio. Desde la parte alta del canal existen desvíos de agua para las actividades agropecuarias en las Haciendas Rosas y La Magdalena; éstas actividades incluyen principalmente el riego del pasto cultivado y abrevaderos para el ganado vacuno y caballar (Fotografía 4.8).



Fotografía 4.8 Ganado caballar en la Hacienda Rosas
Fuente: La autora

La Florícola Fiesta Flowers ubicada en la comunidad Rumipamba utiliza las aguas de la acequia para las actividades de floricultura; para esto poseen un reservorio que se llena constantemente con el agua del canal el cual es utilizado para el riego de los cultivos. Sin embargo en la época seca se observó una disminución marcada del nivel de agua en dicho reservorio ocasionando pérdidas económicas debido a la falta de agua para el desarrollo de las flores (Fotografía 4.9).



Fotografía 4.9 Reservorio de agua en la Florícola Fiesta Flowers, a) Época lluviosa, b) Época seca
Fuente: La autora

Desde la parte media del canal se pueden observar desvíos de agua para el riego de cultivos de papa y maíz principalmente, sin embargo en la época lluviosa algunos

de estos desvíos se encuentran cerrados ya que no es muy necesaria el agua para el riego debido a la lluvia. En la época seca el agua de la acequia es indispensable para el riego por lo que es importante realizar un mantenimiento continuo del canal para permitir que el agua fluya sin ningún inconveniente, sin embargo los problemas de distribución no permiten que se cumpla de la mejor manera este proceso. En La Esperanza el escaso caudal de agua que llega en ocasiones, es utilizada para el riego de los cultivos que se encuentran en los lotes descritos en el Anexo 2 - Ficha 4 y la ubicación geo-referenciada de los mismos se puede ver en el Anexo 1 Mapa 14.

4.5 Balance hídrico anual y mensual del suelo en función de la precipitación y evapotranspiración

Para la estimación de las variables que intervienen en el ciclo hidrológico, se pueden utilizar métodos estadísticos y numéricos, sin embargo los modelos realizados corresponden al Balance Hídrico Climático el cual ha sido utilizado en otras investigaciones; así Santillán, Dávila, Sánchez & Díaz (2013), utilizaron éste método directo en el estudio de la Cuenca del Río Czones (México), debido a que se basa en variables climatológicas para su estimación, tal como se realiza en la presente investigación. Los parámetros considerados en el análisis del balance hídrico son la precipitación, temperatura, y evapotranspiración anual y mensual.

4.5.1 Precipitación

De acuerdo con los datos de las estaciones meteorológicas y pluviométricas cercanas, se estima que para el área de estudio la precipitación media anual varía entre 624.1 mm (Estación Ibarra), hasta los 1464.7 mm (Estación Zuleta); en el Cuadro 4.35 ,se presentan las precipitaciones promedio mensuales a lo largo de todo el año para cada estación.

Cuadro 4.35 Precipitación media mensual por Estación Meteorológica (mm)

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Ibarra-Aeropuerto	35.6	50.4	79.2	90.1	82.5	33.7	17.8	14.5	41	64.6	63.2	51.5	624.1
Topo-Imbabura	77.8	99.9	135	122	106	22.8	14.7	13.4	43.4	102	101	79.7	919.5
Zuleta	97.5	141.8	184	197	153	55.9	47.5	33	59.1	147	183	163	1464.7
Olmedo-Pichincha	88.2	78.9	102	99.5	71.7	40.4	28.8	23.4	35.2	86.8	82.8	81	818.8

Fuente: INAMHI

Elaboración: La autora

En la Figura 4.18, se presentan las precipitaciones promedio mensuales a modo comparativo de las estaciones meteorológicas consideradas para el estudio. Las estaciones de Ibarra y Zuleta registran mayores precipitaciones en el mes de abril, mientras que las estaciones Topo-Imbabura y Olmedo presentan mayor precipitación en el mes de marzo. El mes de agosto presenta menos precipitaciones en todas las estaciones meteorológicas analizadas.

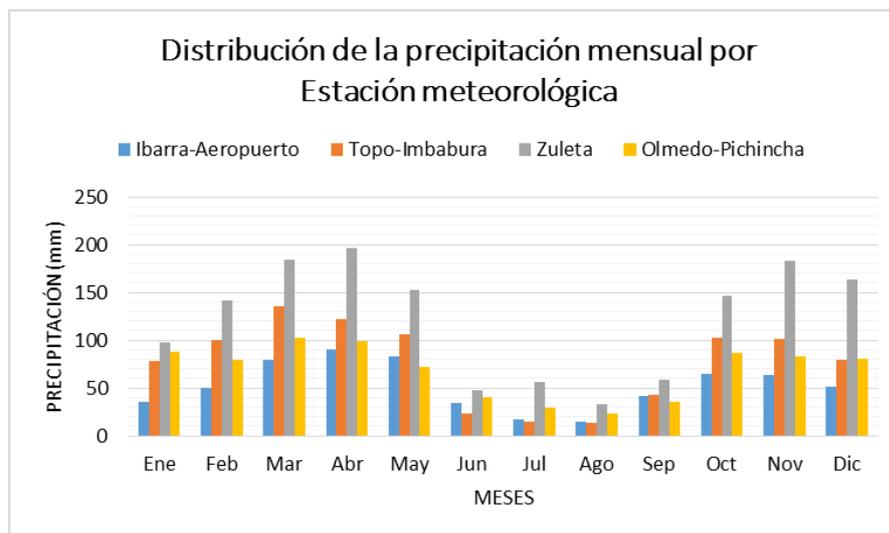


Figura 4.18 Precipitación mensual por Estación Meteorológica

Fuente: INAMHI, 2011

Elaboración: La autora

Para la época lluviosa dentro del área de estudio se encontró valores de precipitación mensuales agrupados en 7 rangos que van desde 120 mm en la parte más baja del área hasta 190 mm en la parte más alta (Anexo 1, Mapa 15), tal como se muestra en la Figura 4.19.

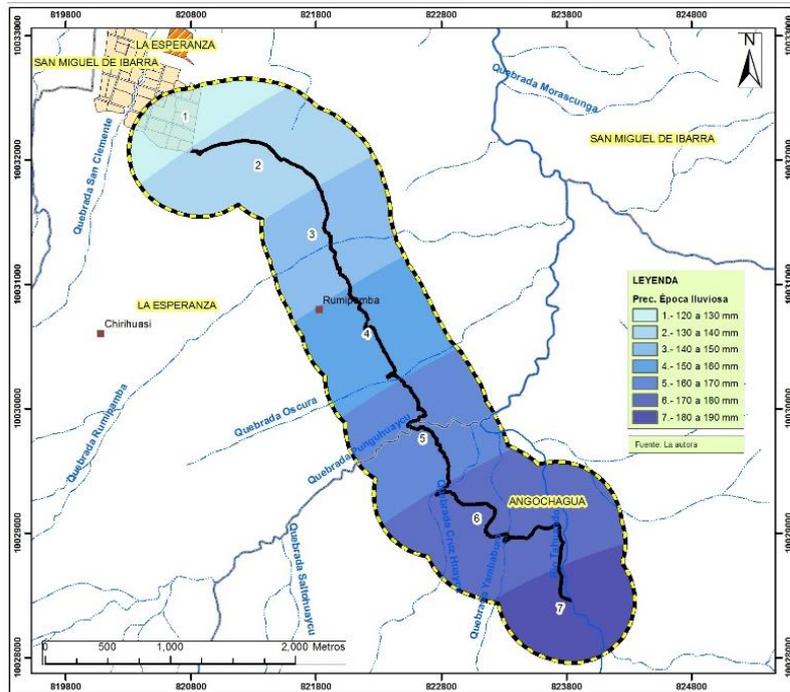


Figura 4.19 Precipitación época lluviosa
Fuente: Mapa de precipitación época lluviosa, 2014

Para la época seca los valores de precipitación mensual están en el rango de 10 mm hasta mayores a 30 mm, los cuales están agrupados en 3 rangos (Anexo 1, Mapa 16). En la Figura 4.20 se puede observar la predominancia del rango de 20 a 30 mm de precipitación para ésta época.

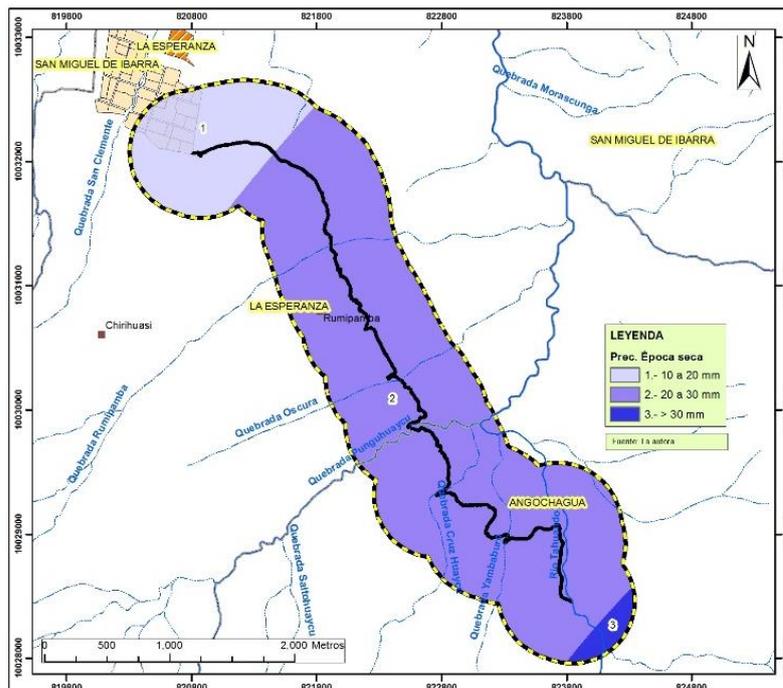


Figura 4.20 Precipitación época seca
Fuente: Mapa de precipitación época seca, 2014

En la Figura 4.21 se muestra la precipitación media anual dentro del área de estudio, la cual presenta valores que van desde 800 mm en la parte baja hasta 1400 mm en la parte más alta los mismos que se encuentran agrupados en 6 rangos (Anexo 1, Mapa 17).

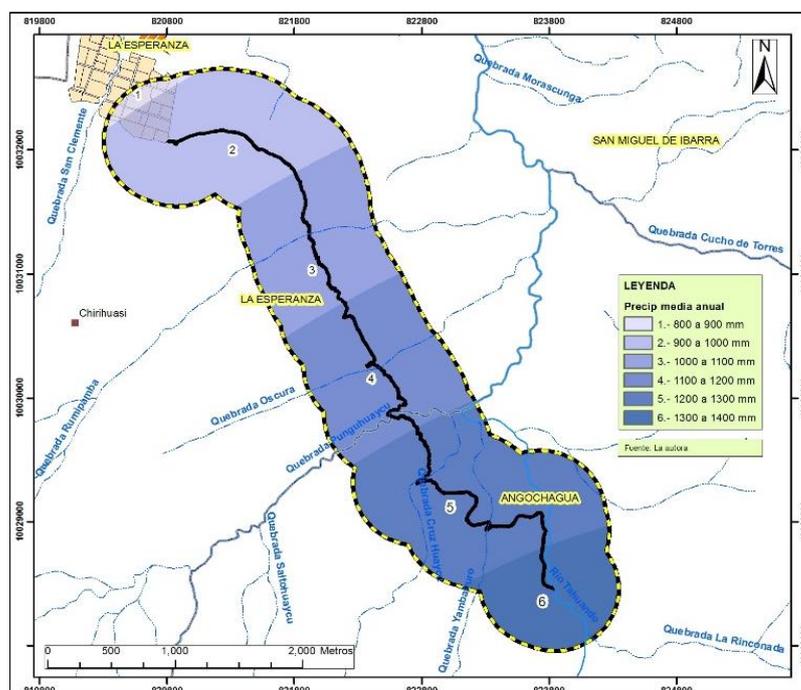


Figura 4.21 Precipitación media anual

Fuente: Mapa de precipitación media anual, 2014

4.5.2 Temperatura media anual

La temperatura media anual obtenida para cada estación meteorológica se presenta en el Cuadro 4.36, en donde se observa que la estación de Ibarra registra una mayor temperatura anual mientras que la estación de Olmedo presenta el valor más bajo de temperatura anual.

Cuadro 4.36 Temperatura media anual

Estación meteorológica	Altitud (msnm)	Temperatura media anual (°C)
Ibarra – Aeropuerto	2214	15.69
Hacienda Topo	2950	11.98
Zuleta	2875	12.36
Olmedo - Pichincha	3280	10.31

Fuente: INAMHI, 2014

El modelo de temperatura media anual se presenta en la Figura 4.22, el cual muestra un rango de 13 a 15°C para el área de estudio (Anexo 1, Mapa 18).

mm en la parte más alta, hasta 870 mm en la parte mas baja (Anexo 1, Mapa 19), tal como se muestra en la Figura 4.23.

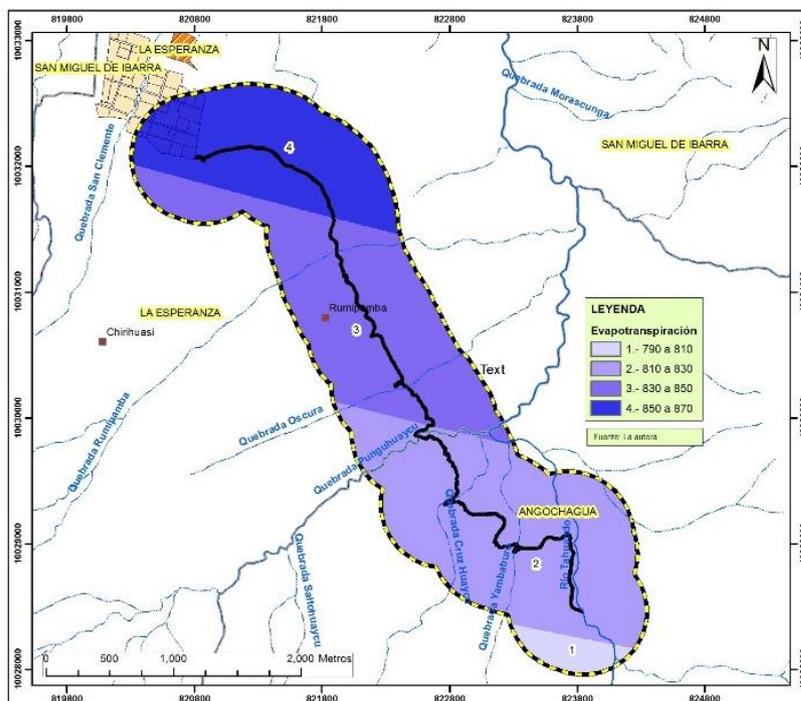


Figura 4.23 Evapotranspiración media anual según Holdridge
Fuente: Mapa de evapotranspiración media anual, 2014

4.5.4 Evapotranspiración mensual según la metodología de Thornthwaite

La evapotranspiración mensual se calculó utilizando la metodología de Thornthwaite debido a la disponibilidad de datos de temperatura y precipitación (Santillán, Dávila, Sánchez & Díaz, 2013). Diversos autores consideran la metodología de Thornthwaite como la más apropiada debido a que no se necesitan datos como la radiación solar, la velocidad del viento y presión de vapor que la mayoría de veces no están disponibles en las estaciones meteorológicas, sin embargo Roser & Moreno (2012) utilizaron en su estudio el método de Penman para estimar el balance hídrico exponencial diario en donde aplicaron las variables antes mencionadas. La evapotranspiración mensual para cada estación meteorológica se presentan en el Cuadro 4.38.

Cuadro 4.38 Evapotranspiración mensual según Thornthwaite (mm)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Ibarra	56.3	54.4	61.5	62.8	65.8	62.1	63.3	63.3	61.6	60.3	56.8	56.8
Olmedo	49.6	46.1	52.7	54.2	58.2	54.8	54.2	53.9	53.0	54.5	51.7	51.7
Hacienda Topo	49.7	47.7	53.9	54.8	57.4	54.7	55.7	55.6	53.8	53.0	50.2	50.2
Zuleta	50.3	46.8	53.6	55.1	59.1	55.6	55.0	54.7	53.8	55.4	52.6	52.5

Fuente: La autora

En todas las estaciones el mes de febrero presenta menor evapotranspiración mientras que el mes de mayo es el que se presenta mayor evapotranspiración. La interpolación de datos de evapotranspiración de la época lluviosa (Anexo 1, Mapa 20) muestra que para el área de estudio el rango de valores está entre 56,18 mm en la parte más alta a 58, 02 mm en la parte más baja, como se observa en la Figura 4.24.

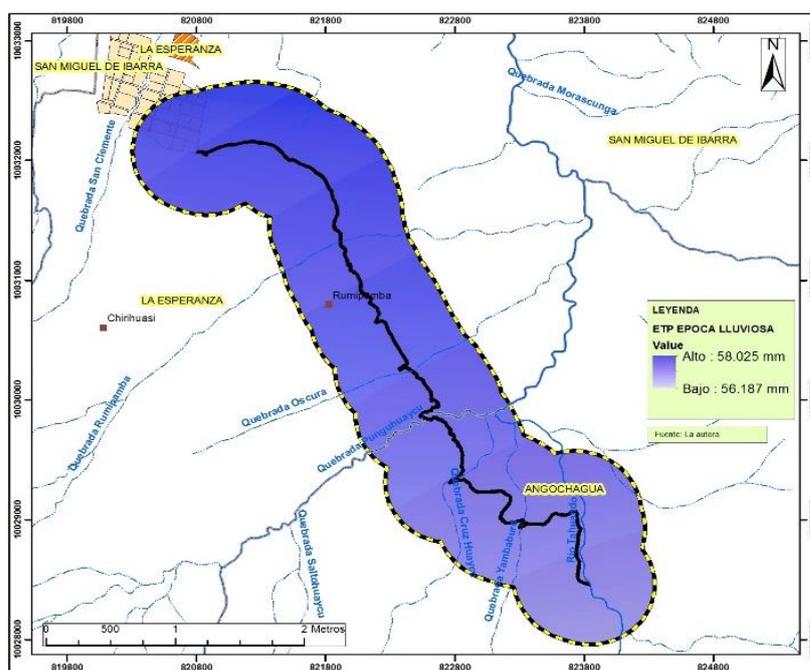


Figura 4.24 Evapotranspiración Época lluviosa

Fuente: Mapa de evapotranspiración época lluviosa, 2014

Para la época seca la evapotranspiración se encuentra en el rango de 57,52 mm en la zona más alta y 60,16 mm en la zona más baja del área de estudio (Anexo 1, Mapa 21), tal como se observa en la Figura 4.25.

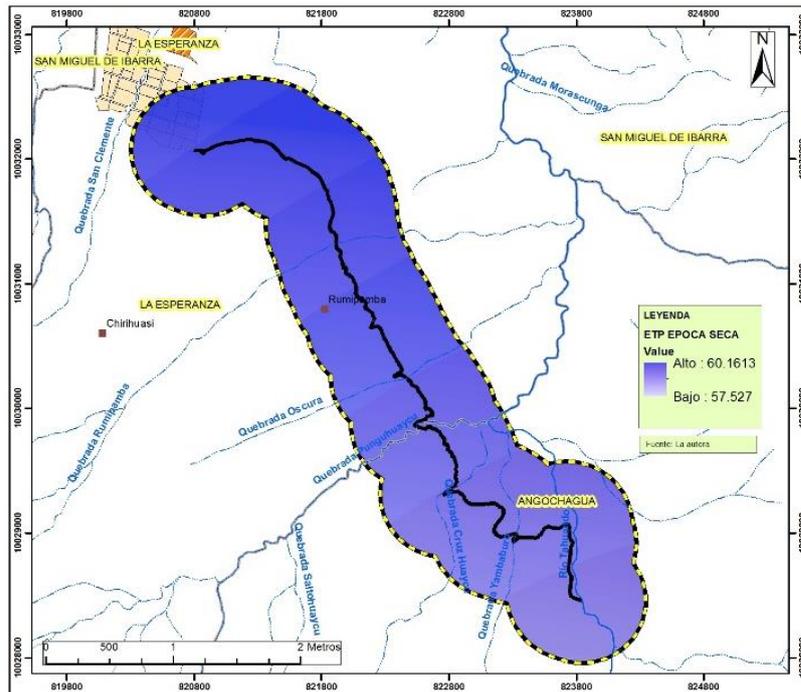


Figura 4.25 Evapotranspiración Época seca
Fuente: Mapa de evapotranspiración época lluviosa, 2014

4.6 Modelos de humedad del suelo

El resultado obtenido al generar los modelos graficados en la herramienta Model Builder mostraron el índice de humedad mensual, anual, época seca y época lluviosa. La representación gráfica del modelo de humedad anual se muestra en la Figura 4.26.

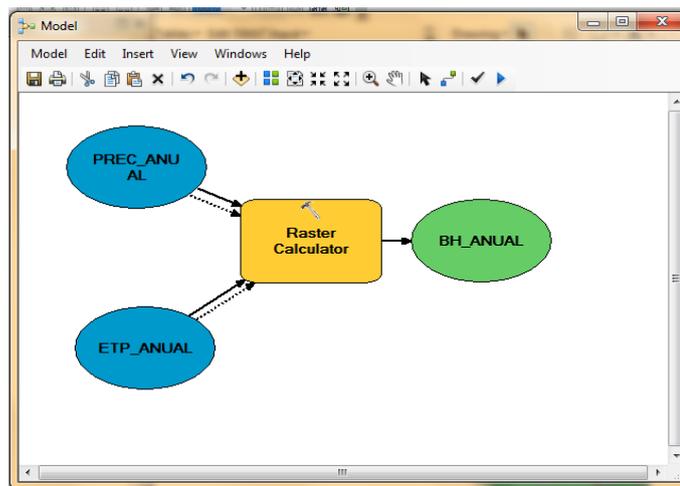


Figura 4.26 Representación gráfica del modelo de humedad anual
Elaboración: La autora

Los modelos de humedad generados para la época seca y lluviosa se muestran en la Figura 4.27.

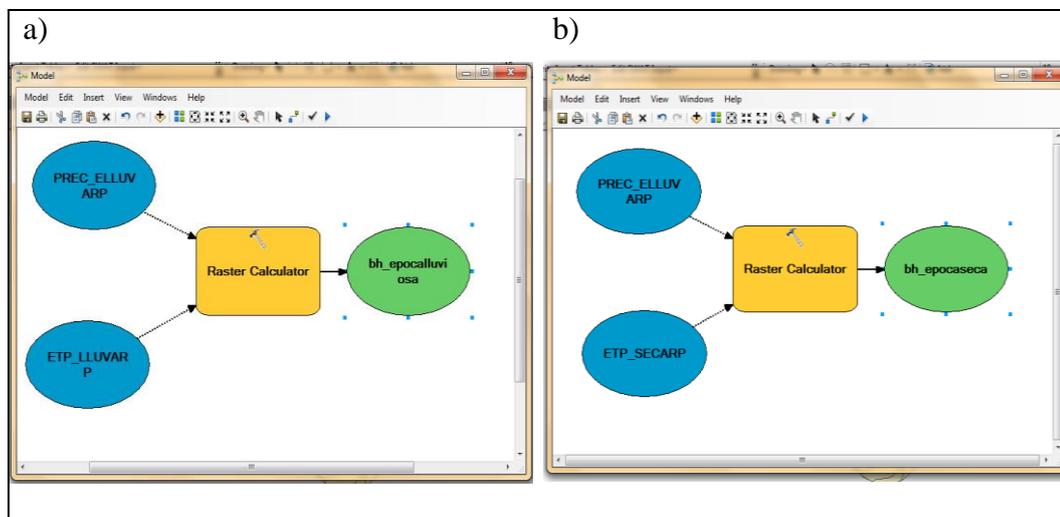


Figura 4.27 Representación gráfica de los modelos de humedad, a) Época lluviosa, b) Época seca
Elaboración: La autora

Los cálculos realizados mostraron que los meses de Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Octubre, Noviembre y Diciembre presentan valores de índice de humedad mayores a uno es decir la precipitación supera a la evapotranspiración, lo que significa que existe superávit de agua en toda el área de estudio. Los meses de julio y agosto presentan valores menores a uno que representa déficit de agua, mientras que los meses de junio y septiembre son meses semihúmedos. Ruiz *et al* (2012) señalan que los lugares en donde existe mayor precipitación se presenta un índice de humedad más alto, mientras que los lugares con menos lluvia y mayor evapotranspiración presentan valores de humedad más bajos, como se demostró en la presente investigación. Los valores de índice de humedad mensual y anual se muestran en el Cuadro 4.39.

Cuadro 4.39 Índice de humedad mensual y anual

Mes	Relación P/ETP	Humedad
Enero	1.29	Alta
Febrero	2.09	Alta
Marzo	2.50	Alta
Abril	2.65	Muy alta
Mayo	2.07	Alta
Junio	0.77	Media
Julio	0.57	Media
Agosto	0.41	Baja
Septiembre	0.92	Media
Octubre	1.99	Alta
Noviembre	2.48	Alta
Diciembre	2.14	Alta
Anual	1.35	Alta

Elaboración: La autora

Según el análisis del índice de humedad y las texturas del suelo, se determinó el balance hídrico en los rangos alto, moderado, bajo y muy bajo en las épocas seca, lluviosa y anual ,como se observa en el Cuadro 4.40.

Cuadro 4.40 Balance hídrico del suelo por época seca y época lluviosa

Época	Humedad	Textura del suelo	Balance hídrico del suelo
Lluviosa (Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Septiembre Octubre, Noviembre y Diciembre)	Alta (1.99)	Gruesa	Déficit hídrico bajo
		Moderadamente gruesa	Déficit hídrico bajo
		Media	Déficit hídrico muy bajo
Seca (Junio, Julio y Agosto)	Media a baja (0,58)	Gruesa	Déficit hídrico alto
		Moderadamente gruesa	Déficit hídrico alto
		Media	Déficit hídrico moderado
Anual	Alta (1.35)	Gruesa	Déficit hídrico bajo
		Moderadamente gruesa	Déficit hídrico bajo
		Media	Déficit hídrico muy bajo

Elaboración: La autora

En la época lluviosa (Anexo 1, Mapa 22) se evidencia un déficit hídrico muy bajo desde el km 1 hasta el km 3 empezando aguas arriba (Angochagua); en éste sector se encuentran suelos de textura media y arcillosa que presentan una infiltración baja debido al tamaño de sus partículas, tal como se demostró en las pruebas de infiltración realizadas para este tipo de suelo y en ésta época. Además se presentan cultivos de papa, pastos y maíz los cuales disponen de agua constante para su desarrollo, sin embargo debido a la textura arcillosa del suelo se puede producir un exceso de agua en el interior y superficie del mismo que afecte a las plantas (Anexo 1, Mapa 5).

A partir del km 4 hasta el fin del trazado de la acequia en La Esperanza se presenta un suelo con textura gruesa y moderadamente gruesa que permite una infiltración del agua más rápida, por lo que el déficit de agua es bajo (Figura 4.28). Los cultivos presentes en este sector corresponden a maíz y cereales principalmente, los cuales dispondrían de agua suficiente en la época lluviosa.

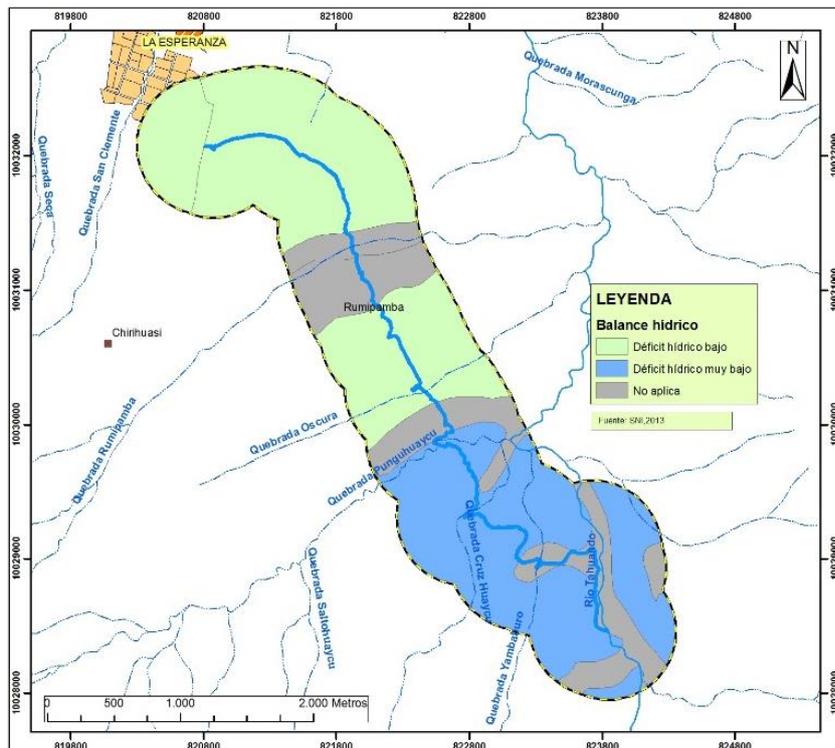


Figura 4.28 Modelo de humedad del suelo en la época lluviosa
Fuente: Mapa balance hídrico del suelo en Época lluviosa, 2014

Para la época seca (Anexo 1, Mapa 23) existe un déficit de agua alto a muy alto en la parte baja del área de estudio (La Esperanza) debido a la baja precipitación y a la textura gruesa y moderadamente gruesa que permite la infiltración muy rápida del agua en el suelo con muy poca humedad, tal como se observó en las pruebas de infiltración. En la parte alta, el suelo presenta textura media el cual retiene más agua por lo que el déficit hídrico es moderado (Figura 4.29); es así que los cultivos que mantienen las comunidades no disponen del agua necesaria en el suelo para su desarrollo durante la época seca.

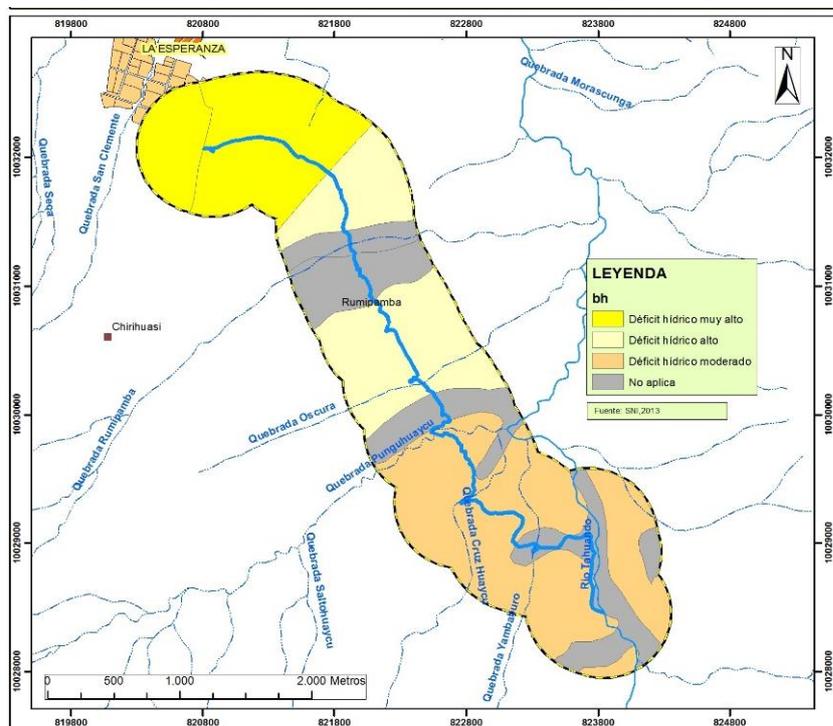


Figura 4.29 Modelo de humedad del suelo en la época seca
Fuente: Mapa balance hídrico del suelo en Época seca, 2014

El balance hídrico anual del suelo (Anexo 1, Mapa 24) muestra que existe un déficit de agua bajo para el área de estudio, ya que la precipitación anual excede a la evapotranspiración anual (Figura 4.30).

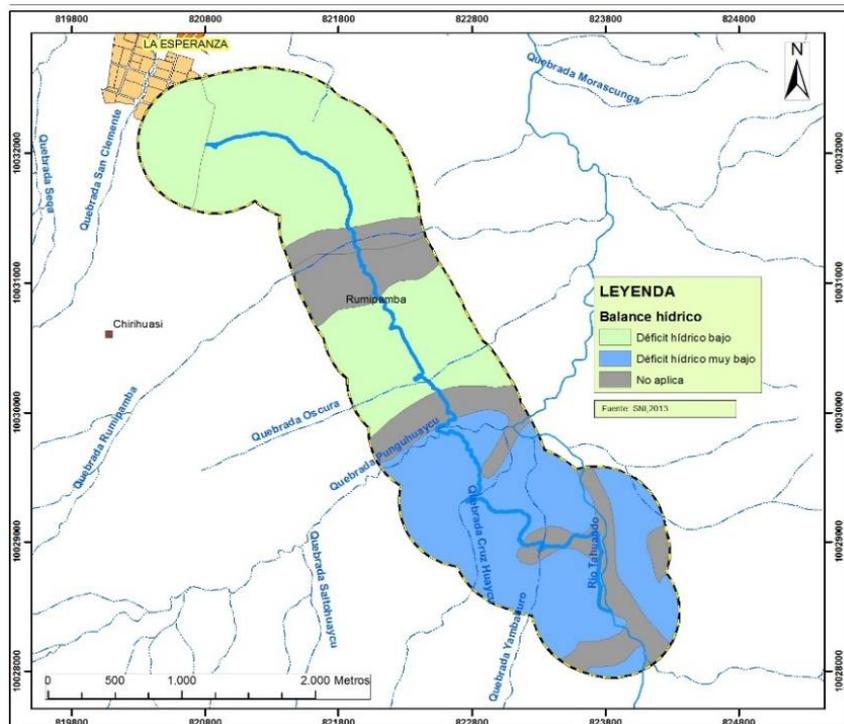


Figura 4.30 Modelo de humedad anual del suelo
Fuente: Mapa balance hídrico anual del suelo

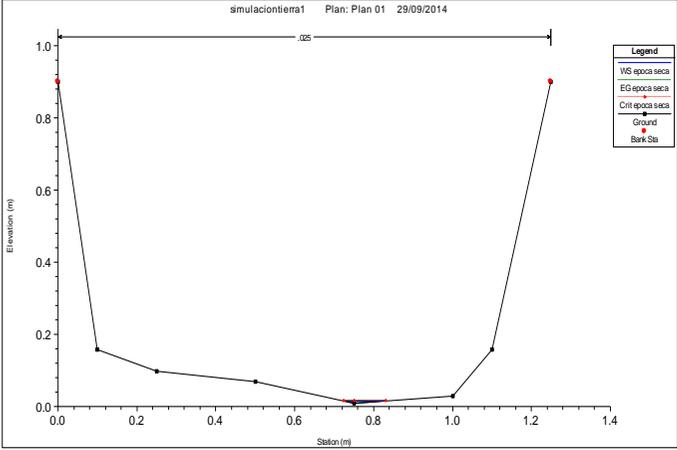
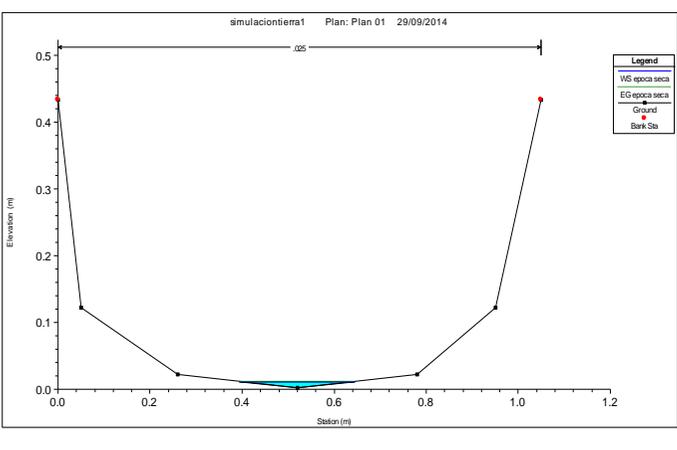
4.7 Modelación Hidráulica

La modelación hidráulica consistió en simular caudales potenciales de ingreso para los tres tramos en el trazado de la acequia Rosas Pamba. El modelo HEC RAS se ha utilizado en estudios para evaluar áreas susceptibles a la inundación en caso de cauces naturales como la investigación realizada por Ellis, Romero, Hernández, Gallo & Alanís (2012) en la cuenca del río Tuxpan en Veracruz. Para ésta investigación el modelo es aplicado a un cauce artificial en el que se evaluó el perfil de la superficie libre de agua por secciones transversales del cauce. Otros programas de modelado aplicado para redes de conducción artificiales han sido usados en las investigaciones; Solarte et al (2009) aplicaron el programa de simulación EPANETE en el análisis hidráulico que se basó en modelar y simular las redes de conducción y distribución de un acueducto subterráneo, motivo por el cual se descarta para ser usado en la presente investigación, ya que el objetivo es modelar un canal abierto.

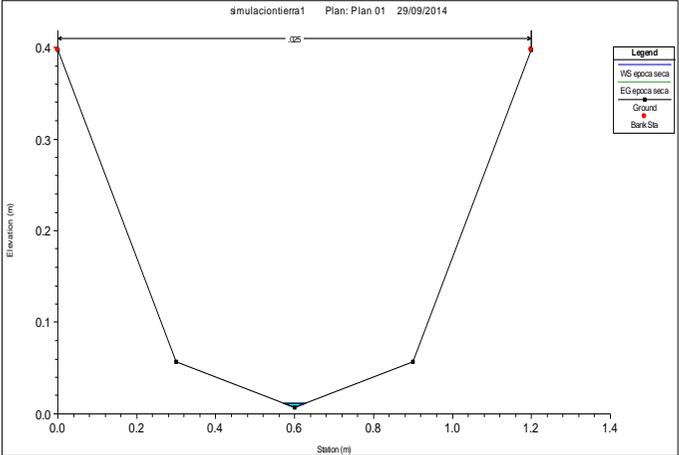
4.7.1 Datos geométricos de las secciones transversales

Los datos de entrada para el modelo hidráulico en HEC RAS corresponden a los valores geométricos de las secciones y a los datos de flujo. En el Cuadro 4.41 se presentan los datos geométricos de las coordenadas x & y para cada sección transversal de los 3 tramos de la acequia Rosas Pamba ordenados desde aguas arriba hacia aguas abajo, los mismos que ingresados en el software mostraron la gráfica para cada sección. Para el tramo 1 (canal sin revestimiento) la sección aguas arriba corresponde a la bocatoma de la acequia en el río Tahuando y la sección aguas abajo se encuentra a la altura de la Florícola Fiesta Flowers, ésta misma ubicación corresponde a la sección aguas arriba del tramo 2 (canal de hormigón) y la sección aguas abajo se encuentra en la salida del Yaguachi que para el tramo 3 (canal sin revestimiento) corresponde a la ubicación de la sección aguas arriba mientras que la sección aguas abajo está ubicada en el fin del trazado de la acequia en el área de riego La Esperanza. Las secciones transversales en los tramos sin revestimiento son muy distintas unas de otras debido a que están sometidos a cambios debido a la erosión y a los depósitos de sedimentos. Los datos geométricos del tramo de hormigón son los mismos en las secciones aguas arriba y aguas abajo, debido a que el canal mantiene su forma en todo el trazado.

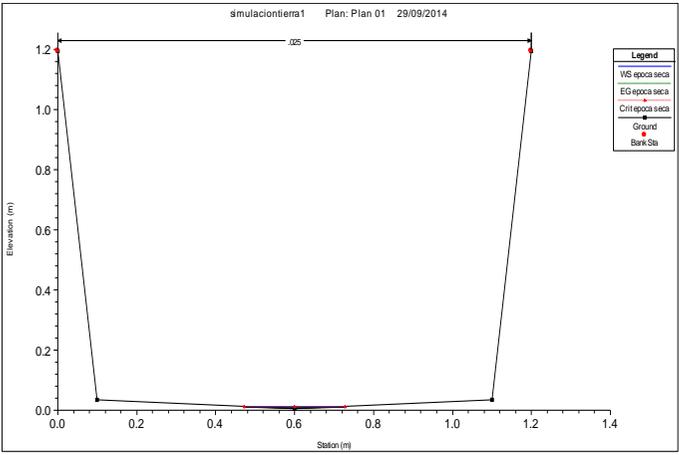
Cuadro 4.41 Datos geométricos de los tramos de la acequia Rosas Pamba

TRAMO	Sección/Coordenada	X (m)	Y (m)	Sección transversal (HEC-RAS)
1.- CANAL SIN REVESTIMIENTO (Bocatoma en el río Tahuando hasta Florícola Fiesta Flowers)	Sección 5 (aguas arriba)	0	0.90	
		0.10	0.15	
		0.25	0.09	
		0.50	0.06	
		0.75	0	
		1	0.02	
		1.10	0.15	
		1.25	0.90	
1.- CANAL SIN REVESTIMIENTO (Bocatoma en el río Tahuando hasta Florícola Fiesta Flowers)	Sección 4	0	0.43	
		0.05	0.14	
		0.50	0	
		1	0.02	
		1.10	0.10	
		1.24	0.43	

Sección 3	0	0.39
	0.30	0.05
	0.60	0
	0.90	0.05
	1.20	0.39



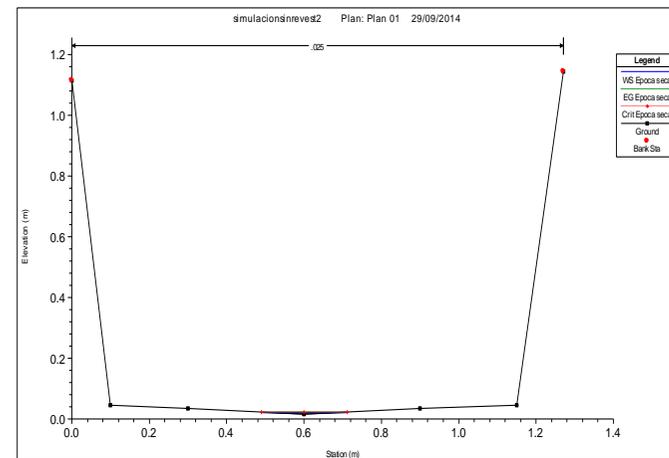
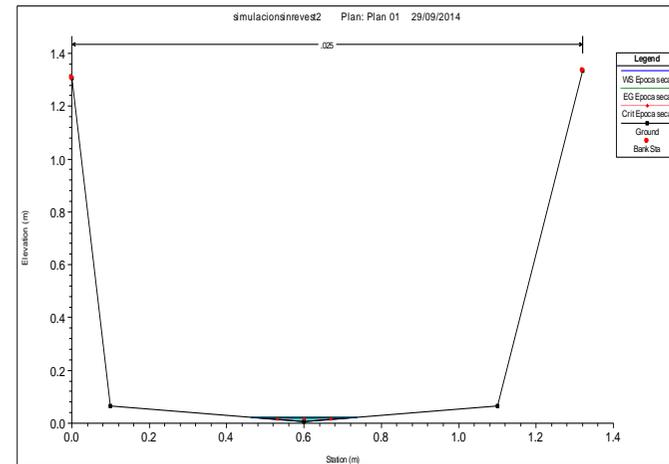
Sección 2	0	0.58
	0.10	0.06
	0.60	0.06
	1.10	0.58
	1.50	2.08

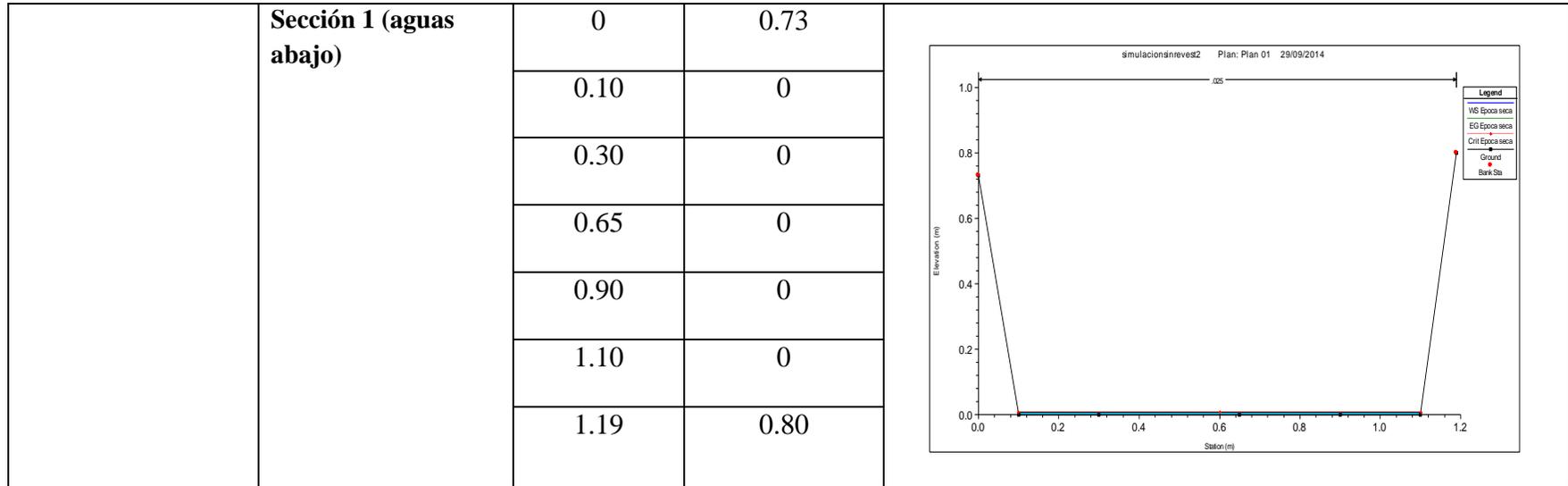


	Sección 1 (aguas abajo)	0	2.08	
		0.15	0.07	
		0.75	0	
		1.35	0.07	
		1.50	2.08	
2.- CANAL DE HORMIGÓN (Florícola Fiesta Flowers hasta Yaguachi)	Sección 2 (aguas arriba)	-0.31	0.58	
		-0.31	0.06	
		0.31	0.06	
		0.31	0.58	
	Sección 1 (aguas abajo)	-0.31	0.58	
		-0.31	0	
		0.31	0	
		0.31	0.58	

3.- CANAL SIN REVESTIMIENTO (Yaguachi hasya el área de riego en la Esperanza)

Sección 3 (aguas arriba)	0	1.30
	0.10	0.06
	0.60	0
	1.10	0.06
	1.32	1.33
	Sección 2	0
0.1		0.03
0.3		0.02
0.6		0
0.9		0.02
1.15		0.03
1.27		1.13





Elaboración: La Autora

4.7.2 Simulación con caudales potenciales de ingreso

El modelamiento hídrico ejecutado para los tres tramos del trazado de la acequia Rosas Pamba con los distintos caudales potenciales de ingreso, muestra el nivel de la lámina de agua para cada sección. Se simula un flujo en el canal, sin influencia de factores como desvíos artificiales. Para calcular el caudal en las secciones aguas abajo se utiliza la fórmula de Manning en base a los niveles de la lámina de agua.

- **Tramo 1 (Canal sin revestimiento)**

El Tramo 1 tiene una longitud de 4.03 km y presenta una pendiente de 0.005. En la Fotografía 4.10 se observa una sección transversal correspondiente a este tramo.



Fotografía 4.10 Tramo 1 (sección sin revestimiento)
Fuente: La autora

La simulación realizada con el caudal de 125 l/s de aporte del río Tahuando, muestra que en la sección aguas arriba el nivel alcanza 0.87 m, el cual baja a 0.18 m en la sección aguas abajo. El caudal calculado mediante la fórmula de Manning para la sección aguas abajo es de 93.72 l/s. En la Figura 4.31 se observa las secciones transversales aguas arriba y aguas abajo.

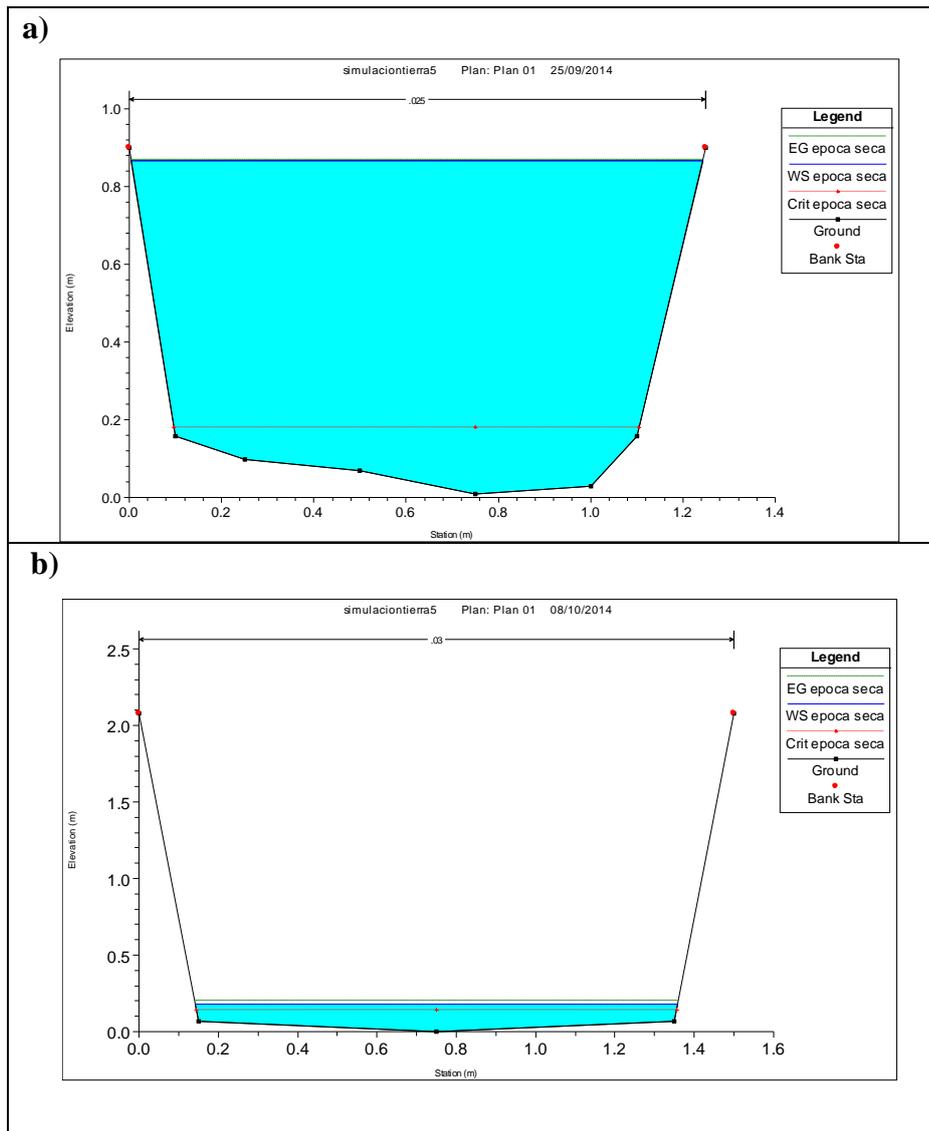


Figura 4.31 Simulación tramo 1, 125 l/s, a) Aguas arriba, b) Aguas abajo
Elaboración: La autora

En la Figura 4.32 se presenta la vista en 3d del perfil longitudinal correspondiente al tramo 1 sin revestimiento; se puede observar que en la parte alta del tramo entre las secciones 4.75 a 2.6 el nivel del agua desborda del canal ya que estas secciones no tienen la geometría necesaria para transportar el caudal simulado; de ésta forma el agua ocupa más superficie y se evapora más rápido. En el aforo realizado en campo durante la época lluviosa se obtuvo un caudal de 125.07 l/s, en donde se observó una pérdida de 64.64 l/s de agua en el punto de aforo 2 que disminuyó el caudal considerablemente para el trazado de la acequia, sin embargo aunque el

caudal haya disminuido se comprobó el desborde del agua fuera del canal principal en la sección 3 (Anexo 3, Fotografías).

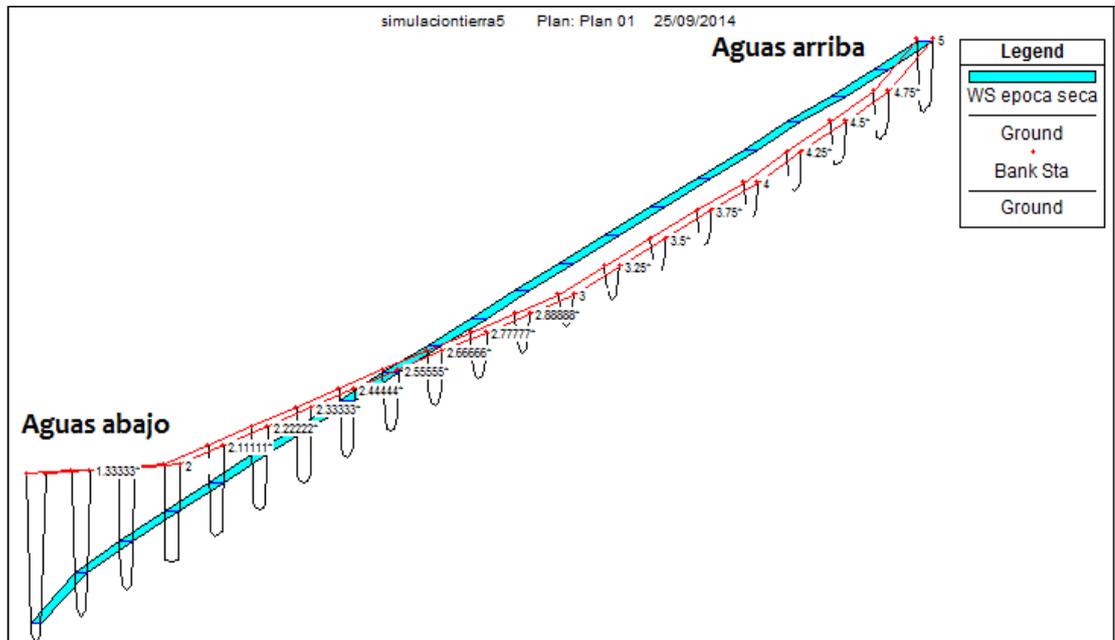
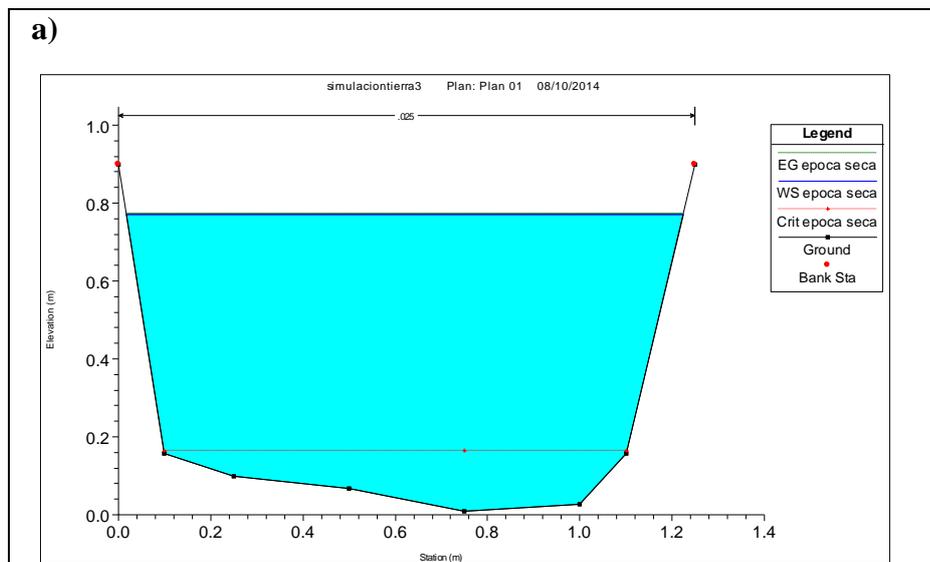


Figura 4.32 Vista del tramo 1 en 3d, Caudal 125l/s
Elaboración: La autora

La modelación obtenida con el caudal de 100 l/s, muestra un nivel de la lámina de agua de 0.77 m en la sección aguas arriba y 0.16 m en la sección aguas abajo (Figura 4.33), 2 cm menos de lo que se obtuvo con el caudal de simulación de 125 l/s. El caudal calculado para la sección aguas abajo es de 70.89 l/s.



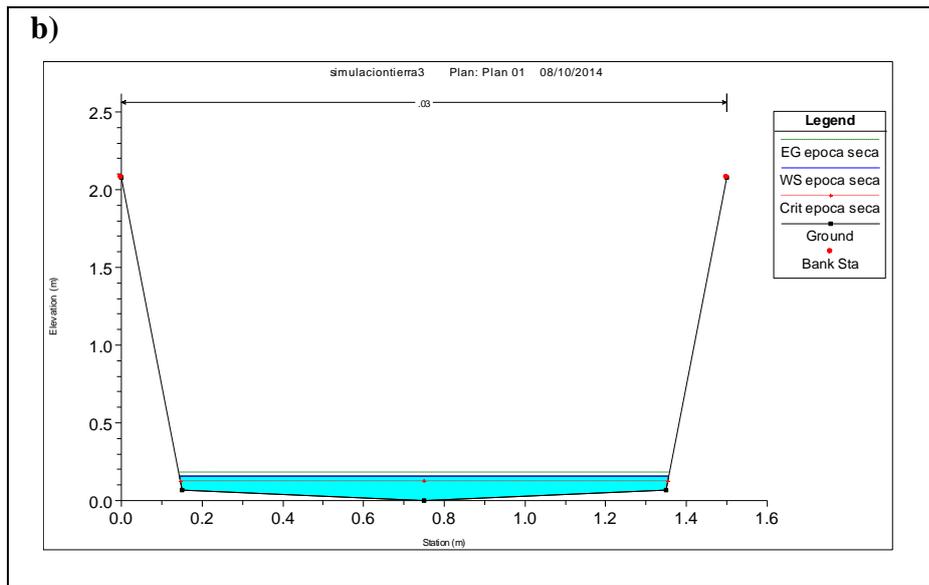


Figura 4.33 Simulación tramo 1, 100 l/s, a) Aguas arriba, b) Aguas abajo
Elaboración: La autora

La vista en 3d para este tramo simulando el caudal de 100 l/s se presenta en la Figura 4.34, en donde se observa también el desborde de agua del canal principal, provocando una mayor evaporación.

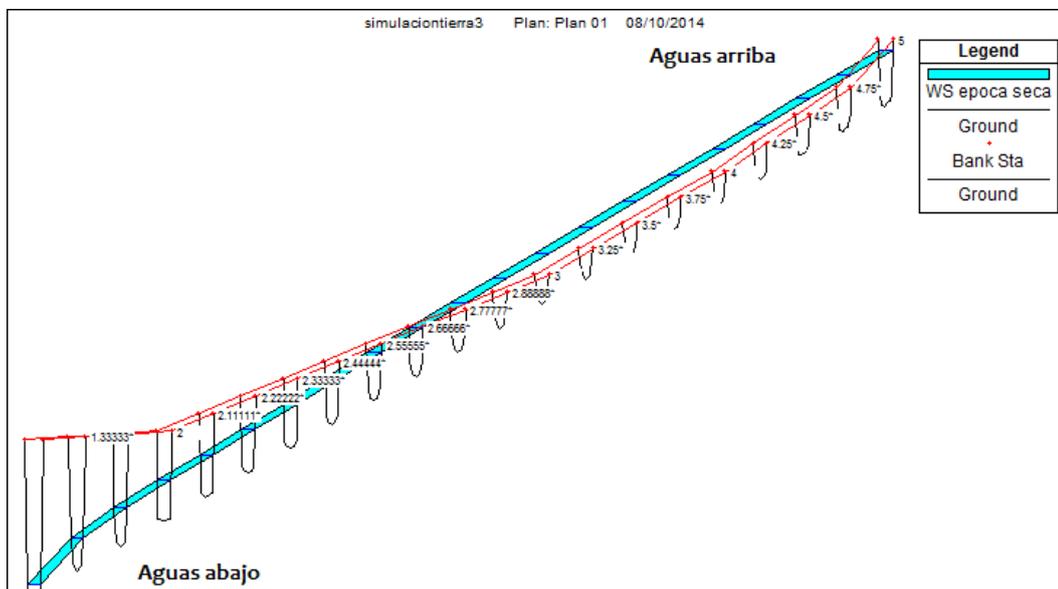


Figura 4.34 Vista del tramo 1 en 3d, Caudal 75 l/s
Elaboración: La autora

Con el caudal de 50 l/s, se obtuvo un nivel de agua de 0.56 m en la sección aguas arriba y 0.16 m en la sección aguas abajo, como se observa en la Figura 4.35

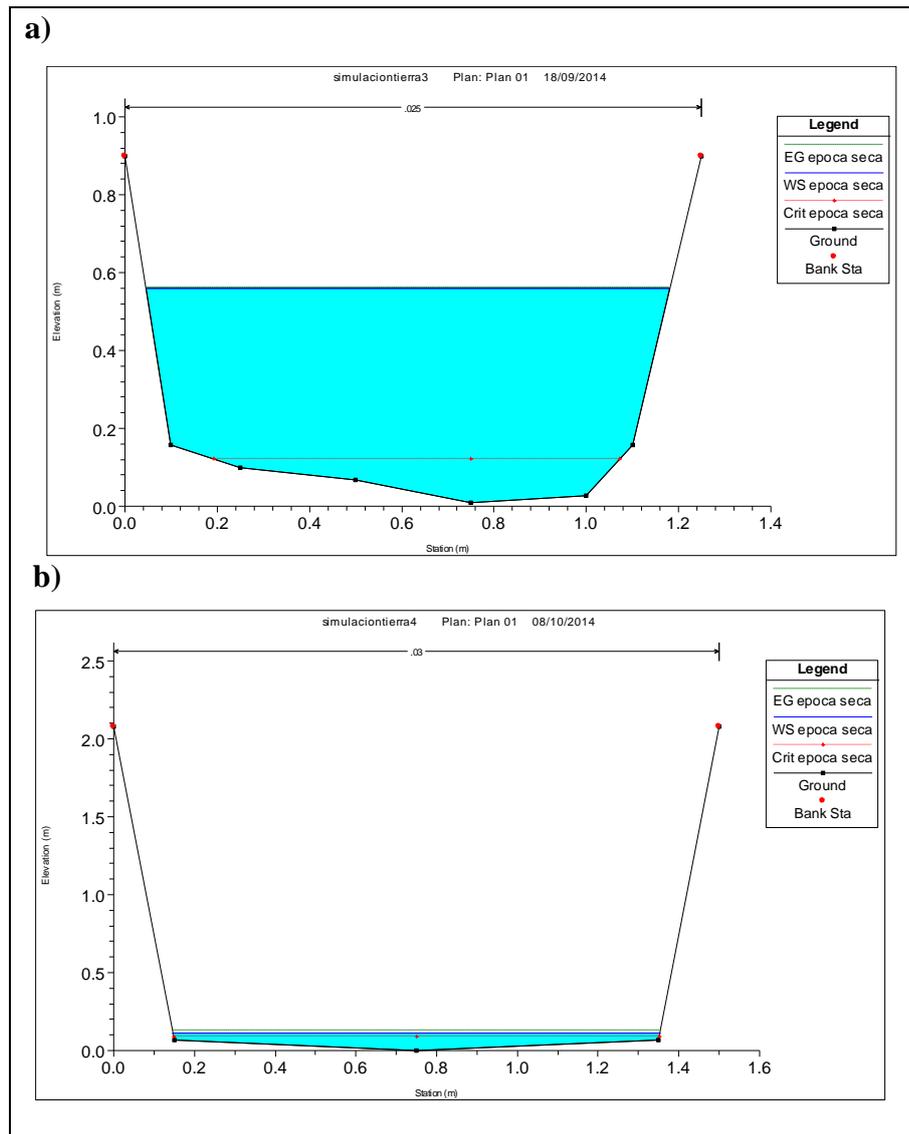


Figura 4.35 Simulación tramo 1, 50 l/s, a) Aguas arriba, b) Aguas abajo
Elaboración: La autora

La vista en 3d de éste tramo modelado con el caudal de 50 l/s aún muestra un desborde del agua (Figura 4.36), el cual es validado con el aforo en el punto de aforo 5 o sección 3 (camino hacia la Hacienda La Magdalena) en el que se obtuvo 39 l/s donde se observó el rebose del agua en el canal principal. El caudal calculado para la sección aguas abajo es de 41.69 l/s.

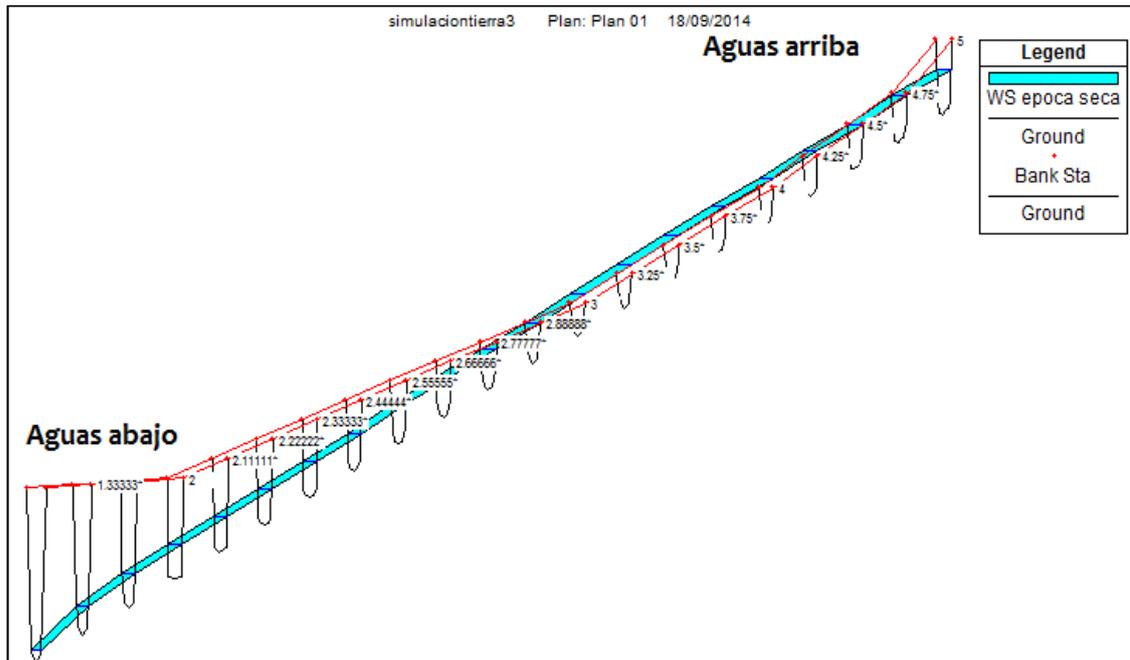
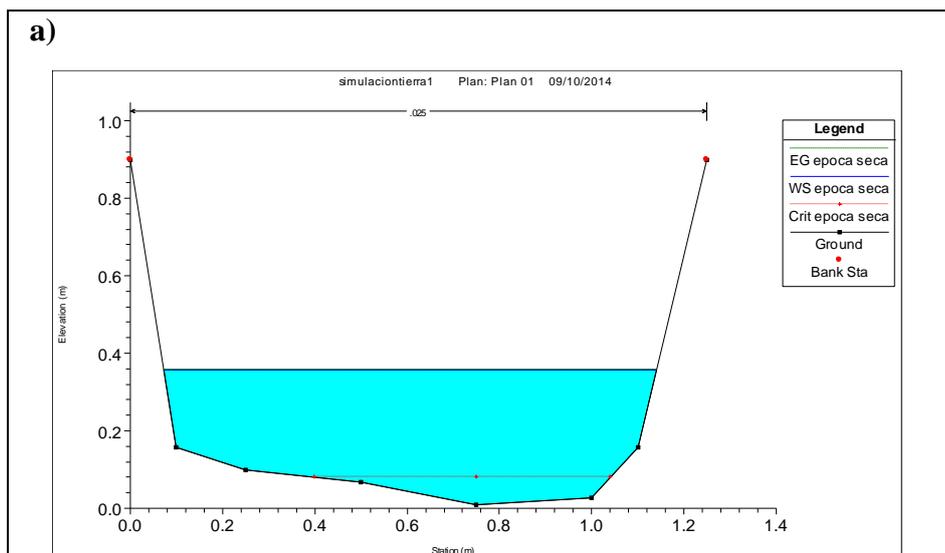


Figura 4.36 Vista del tramo 1 en 3d, Caudal 50 l/s
Elaboración: La autora

La simulación realizada con el caudal de 18 l/s, indica un nivel de agua de 0.35 m en la sección aguas arriba y 0.12 m en la sección aguas abajo que corresponde a un caudal de 12.22 l/s según la fórmula de manning; como se aprecia en la Figura 4.37.



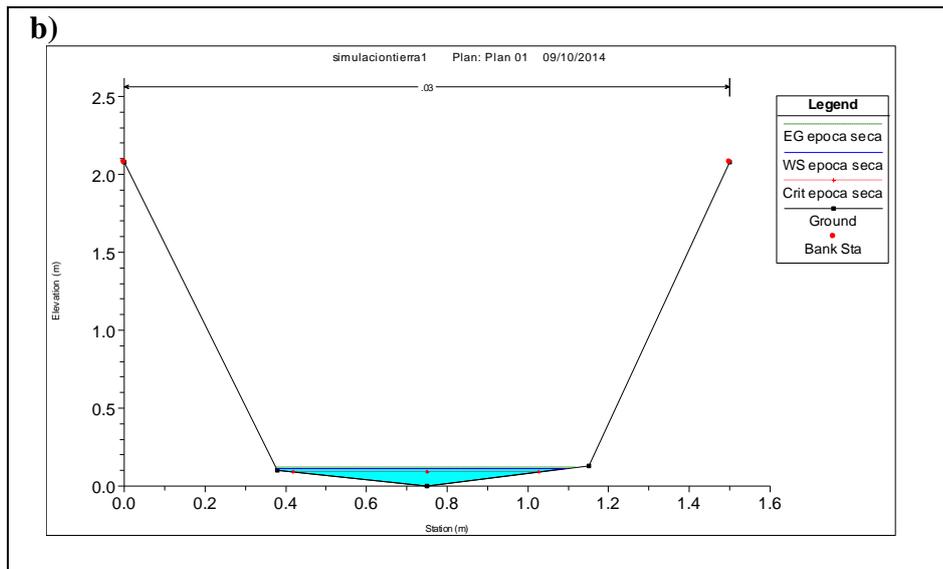


Figura 4.37 Simulación tramo 1, 18 l/s, a) Aguas arriba, b) Aguas abajo
Elaboración: La autora

El modelo en 3d simulado con el caudal de 18 l/s muestra que para éste caudal ya no existe desborde de agua del canal principal en las secciones 4 a 3 (Figura 4.38), ésta condición se observó en campo, en el que se obtuvo un caudal de 18,05 l/s de aporte del río Tahuando en la época seca en donde el nivel de agua se encontraba por debajo del límite del canal en estas secciones. Sin embargo este caudal queda descartado para la simulación en el canal de homigón ya que es más bajo del caudal concesionado por SENAGUA para el área de riego.

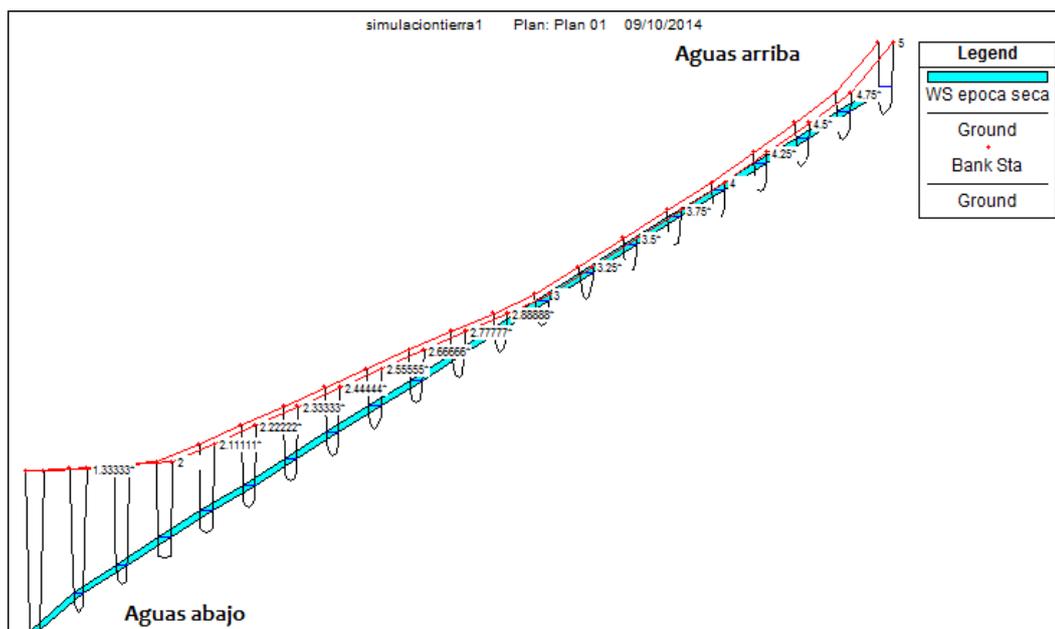


Figura 4.38 Vista 3d del tramo 1, Caudal 18 l/s
Elaboración: La autora

La Figura 4.39 muestra el perfil longitudinal del Tramo 1 para cada caudal simulado en donde se aprecia la disminución del nivel de agua desde la parte alta hasta la parte baja del canal sin revestimiento.

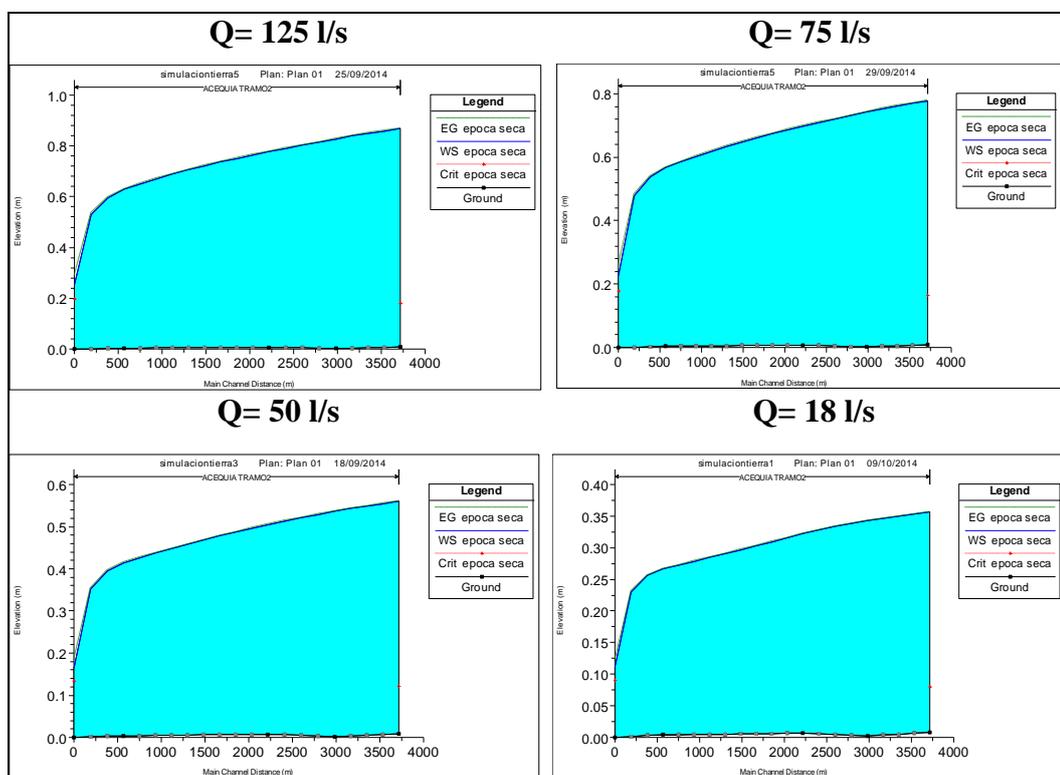


Figura 4.39 Perfil longitudinal del Tramo 1
Elaboración: La autora

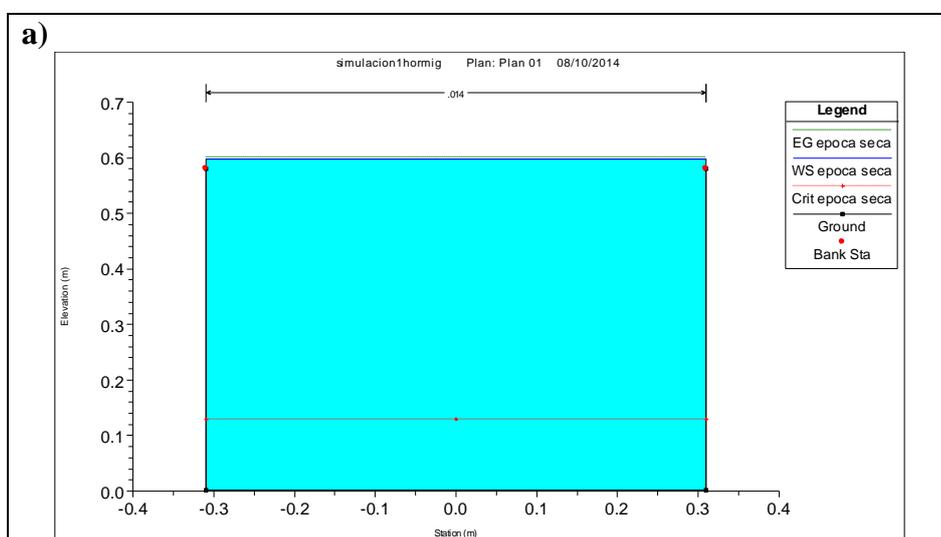
- **Tramo 2 (Canal de hormigón)**

El tramo 2 tiene una longitud de 1,58 km en un canal de hormigón y con una pendiente de 0.0006 como se muestra en la Fotografía 4.11.



Fotografía 4.11 Tramo 2 (canal de hormigón)
Fuente: La autora, 2014

La simulación realizada con el caudal de 90 l/s que continuaría desde el Tramo 1 (sin revestimiento) a la sección de hormigón, muestra que en la sección aguas arriba el nivel alcanza 0.59 m lo que significa que desborda del canal (0.58 cm), mientras que en la sección aguas abajo el nivel llega a 0.29 m que corresponde a 84.97 l/s. Las secciones transversales aguas arriba y aguas abajo se presentan en la Figura 4.40.



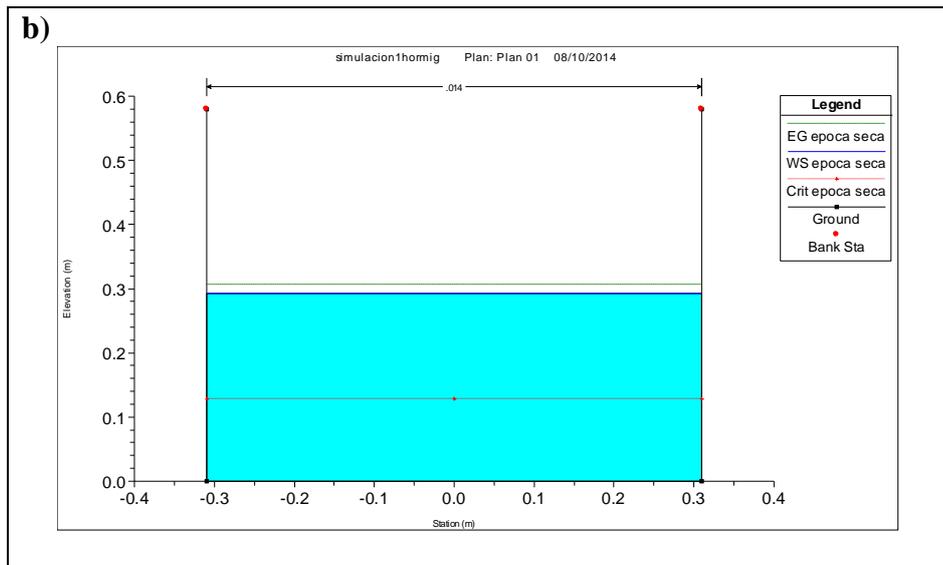


Figura 4.40 Simulación tramo 2, 90 l/s, a) Aguas arriba, b) Aguas abajo
Elaboración: La autora

El perfil longitudinal del tramo 2 simulado con el caudal de 90 l/s muestra que el nivel del agua desborda en la sección aguas arriba, lo que indica que éste caudal no es el adecuado para la geometría del canal de hormigón como se observa en la Figura 4.41 y no se considera para la simulación en el siguiente tramo del canal sin revestimiento.

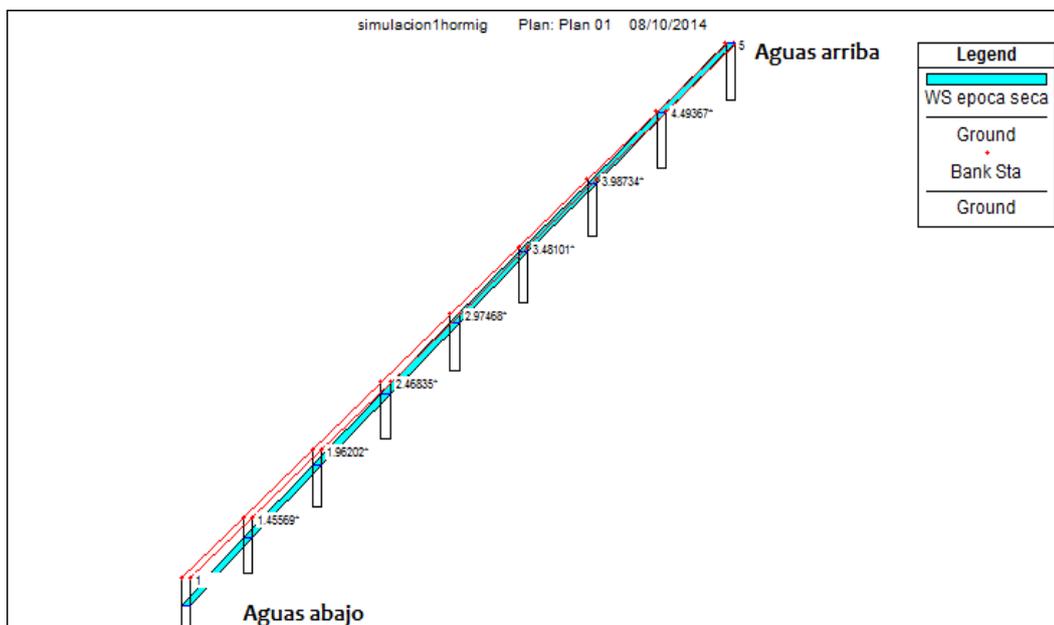


Figura 4.41 Vista 3d del tramo 2, Caudal 90 l/s
Elaboración: La autora

El modelo realizado con el caudal de 70 l/s indica un nivel de agua de 0.51 m en la sección aguas arriba y 0.24 m en la sección aguas abajo (Figura 4.42), 5 cm menos que la simulación con 90 l/s. El caudal correspondiente a la sección aguas abajo es de 65.7 l/s

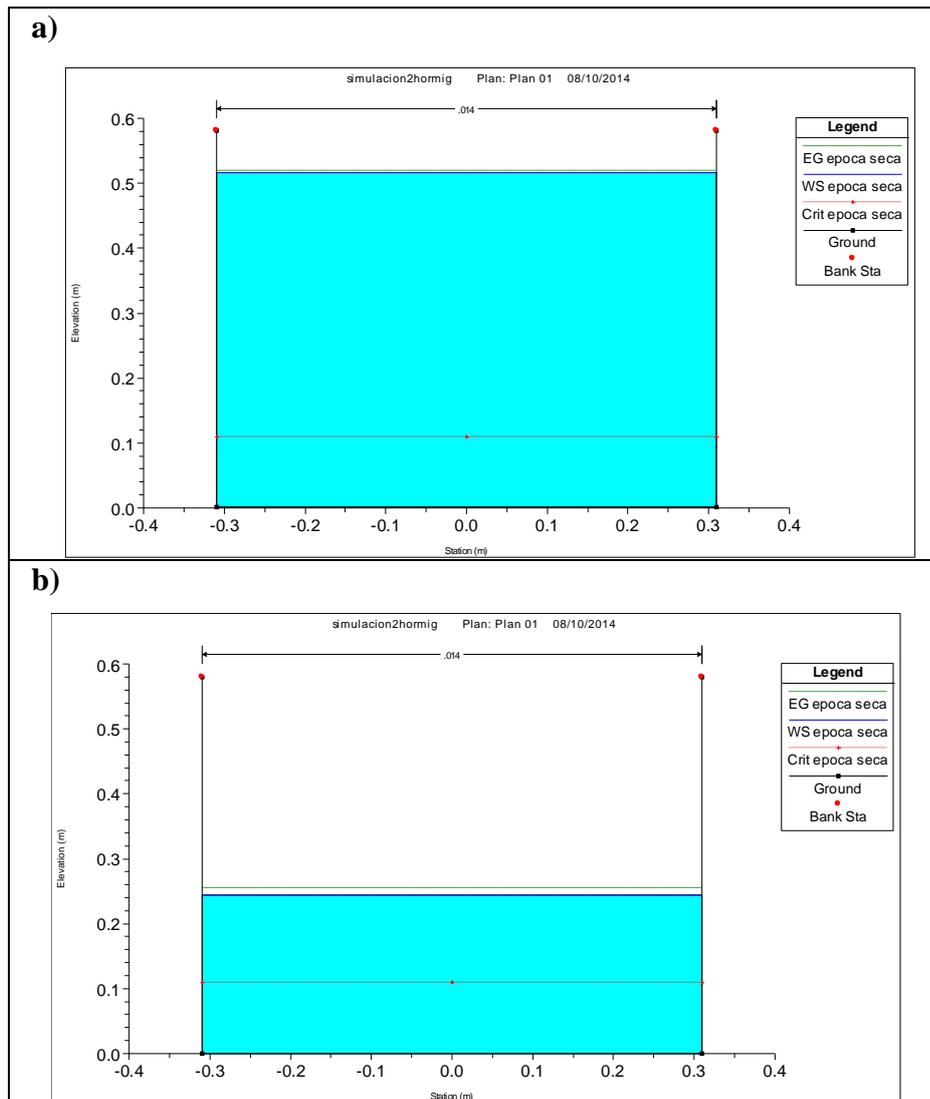


Figura 4.42 Simulación tramo 2, 70 l/s, a) Aguas arriba, b) Aguas abajo
Elaboración: La autora

La Figura 4.43 muestra el perfil longitudinal para el tramo 2 simulando un caudal de 70 l/s, se observa que el caudal simulado se encuentra por debajo del límite del canal de homigón.

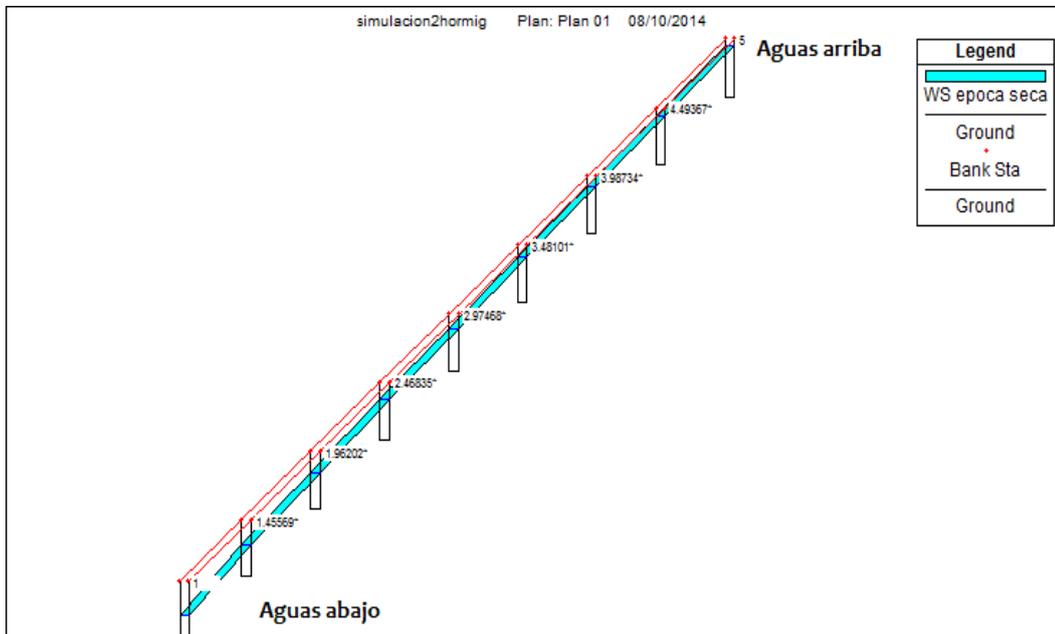
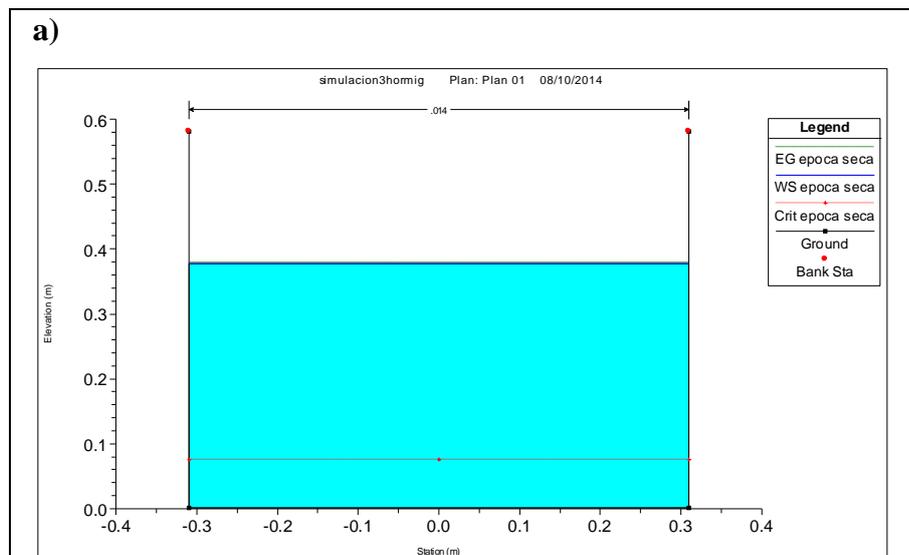


Figura 4.43 Vista 3d del tramo 2, Caudal 15 l/s
Elaboración: La autora

La simulación del tramo 2 utilizando un caudal de 40 l/s muestra un nivel de 0,38 m en la sección aguas arriba y de 0.16 m en la sección aguas abajo, correspondiente a un caudal de 37.22 l/s. La representación gráfica de las secciones se muestran en la Figura 4.44.



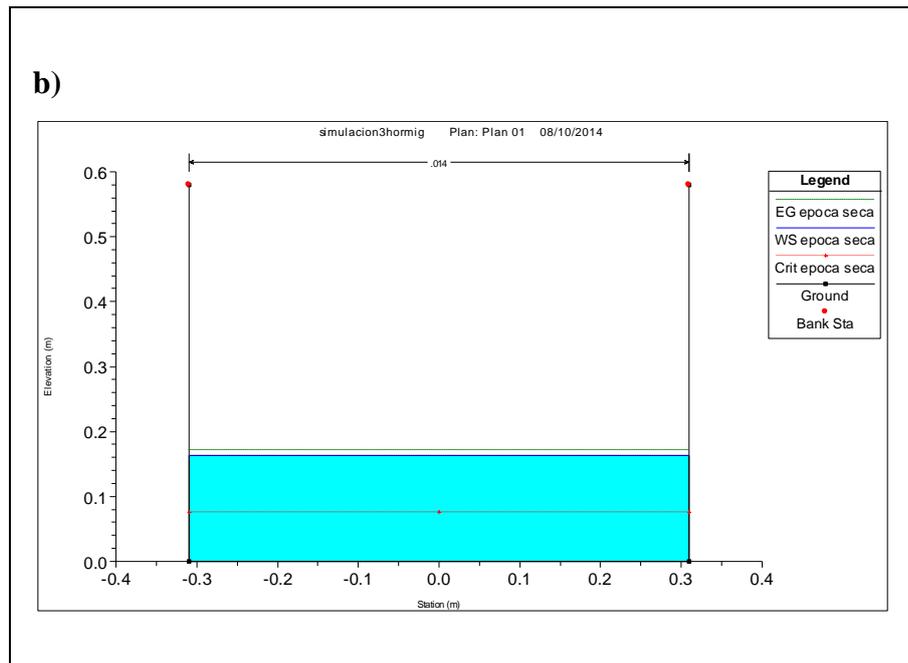


Figura 4.44 Simulación tramo 2, 40 l/s, a) Aguas arriba, b) Aguas abajo
Elaboración: La autora

La vista en 3d del tramo 2 simulando un caudal de 40 l/s (Figura 4.45), muestra que el nivel de agua en el canal casi llega a la mitad, y la disminución de agua en el tramo es muy pequeño.

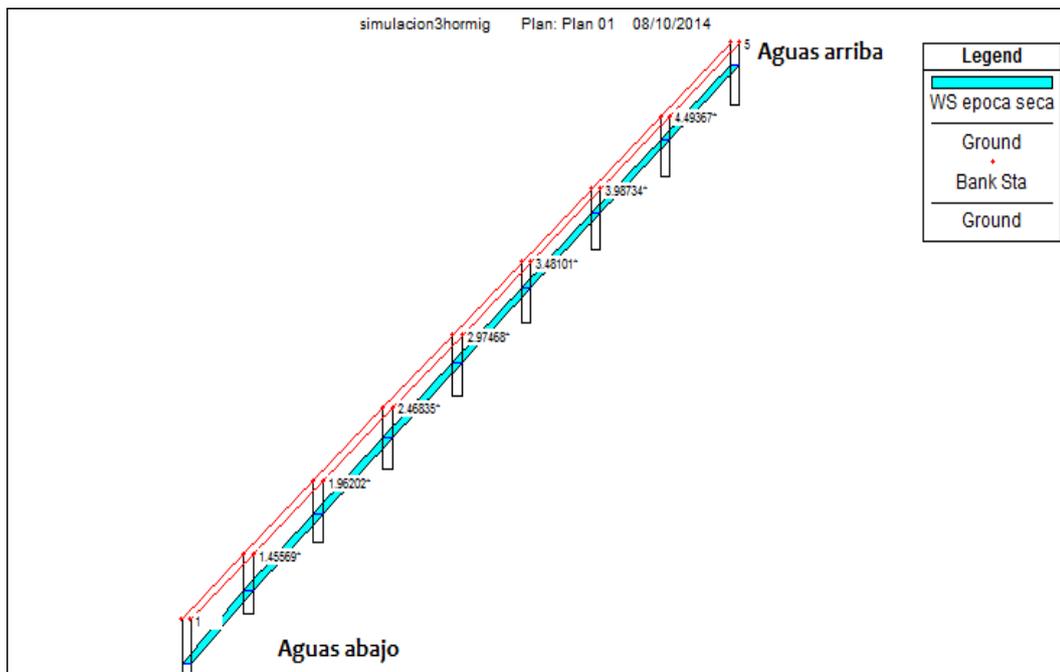


Figura 4.45 Vista 3d del tramo 2, Caudal 40 l/s
Elaboración: La autora

La Figura 4.46 muestra el perfil longitudinal del tramo 2 modelado con los caudales de 90 l/s, 70 l/s y 40 l/s, en donde se observa la disminución del caudal desde aguas arriba hacia aguas abajo.

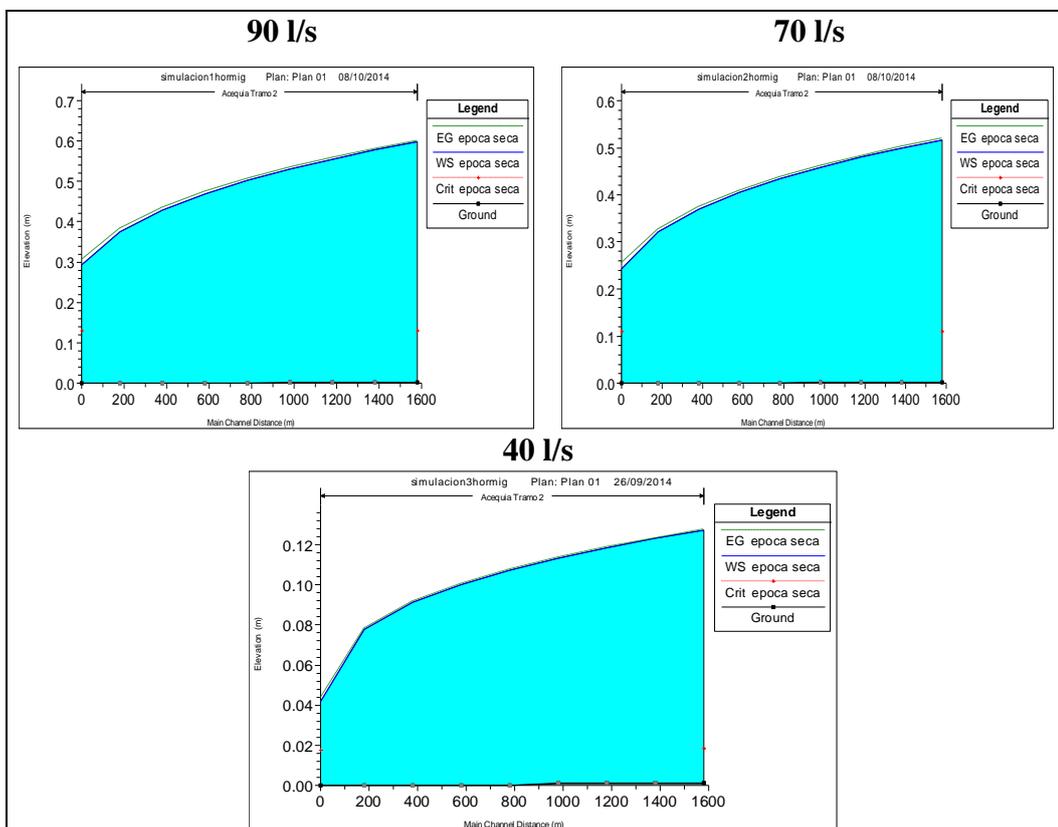


Figura 4.46 Perfil longitudinal del Tramo 2
Elaboración: La autora

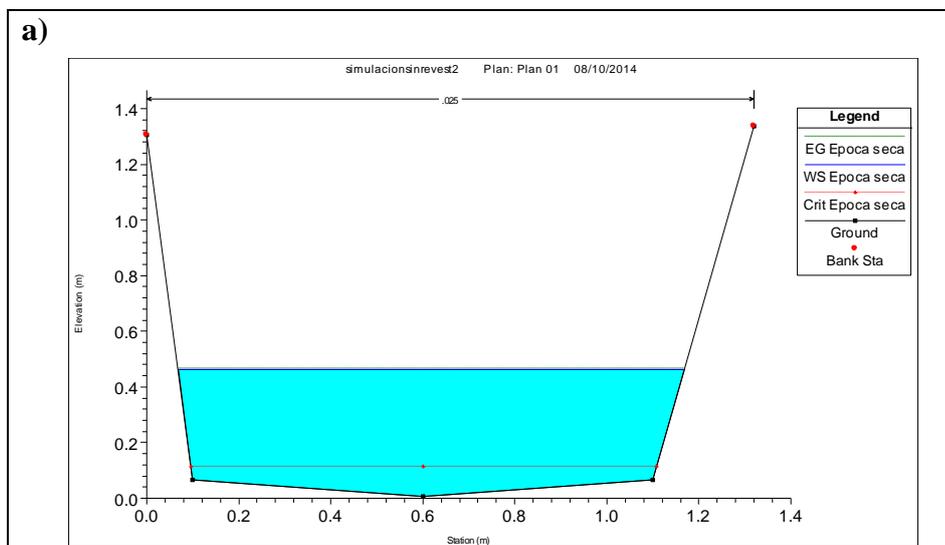
- **Tramo 3**

El tramo 3 cuenta con una longitud de 1,37 km con una pendiente de 0.006, en la Figura 4.12 se observa una sección transversal de éste tramo.



Fotografía 4.12 Tramo 3 (canal sin revestimiento)
Fuente: La autora

La modelación realizada con 65 l/s para el tramo 3 sin revestimiento, indica un nivel de agua para la sección aguas arriba de 0.46 m y para la sección aguas abajo (área de riego) de 0.10 m que corresponde a 55.22 l/s, las secciones transversales aguas arriba y aguas abajo se aprecia en la Figura 4.47.



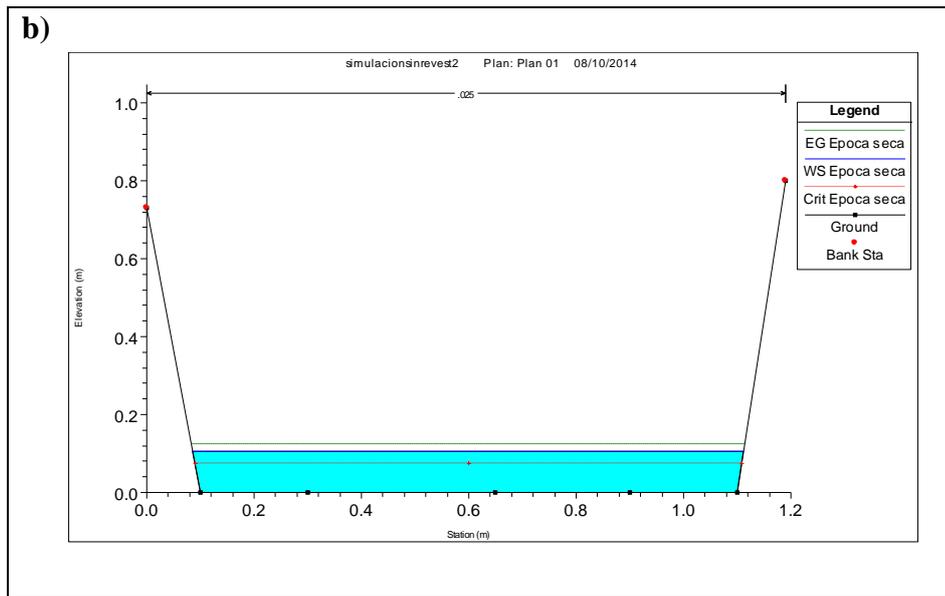


Figura 4.47 Simulación tramo 3, 65 l/s, a) Aguas arriba, b) Aguas abajo
Elaboración: La autora

La vista en 3d de éste tramo simulando un caudal de 65 l/s se muestra en la Figura 4.48, donde se observa un nivel de agua por debajo del límite del canal, sin embargo el caudal que llega al área de riego es mayor al concesionado por SENAGUA; mientras que en campo no se observó ningún flujo de agua en las épocas lluviosa y seca.

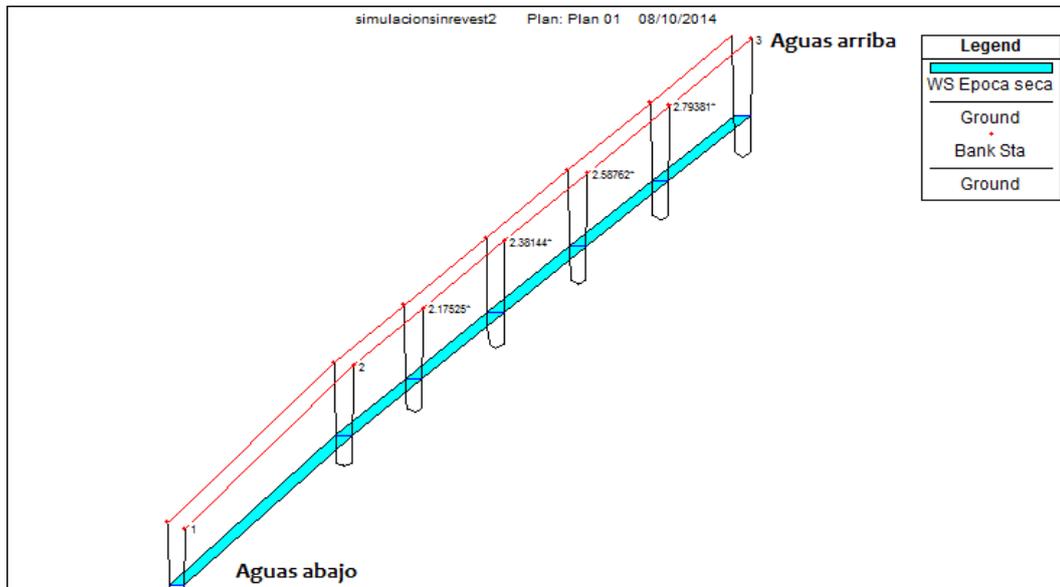


Figura 4.48 Vista 3d del tramo 2, Caudal 65 l/s
Elaboración: La autora

Finalmente, el modelo del tramo 3 realizado con el caudal de 37 l/s, mostró que para la sección aguas arriba el nivel de la lámina de agua llega a 0.36 m mientras que para la sección aguas abajo el nivel es de 0.07 m que representa un caudal de 30.46 l/s según la fórmula de manning. (Figura 4.49).

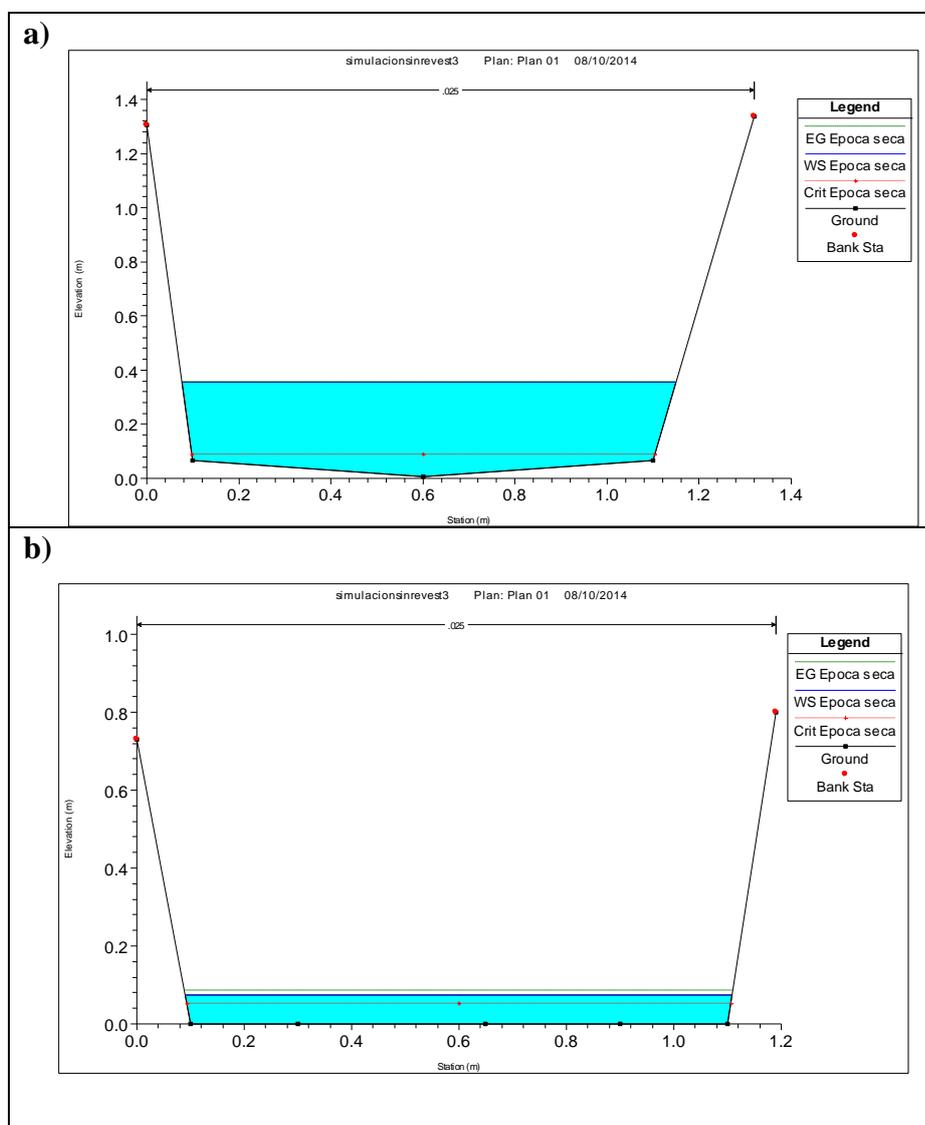


Figura 4.49 Simulación tramo 3, 37 l/s, a) Aguas arriba, b) Aguas abajo
Elaboración: La autora

La Figura 4.50 muestra la vista en 3d del canal modelado con el caudal de 37 l/s, en el cual se observa el nivel de la lámina por debajo del límite del canal. El caudal aguas abajo en el área de riego es cercano al caudal concesionado por SENAGUA.

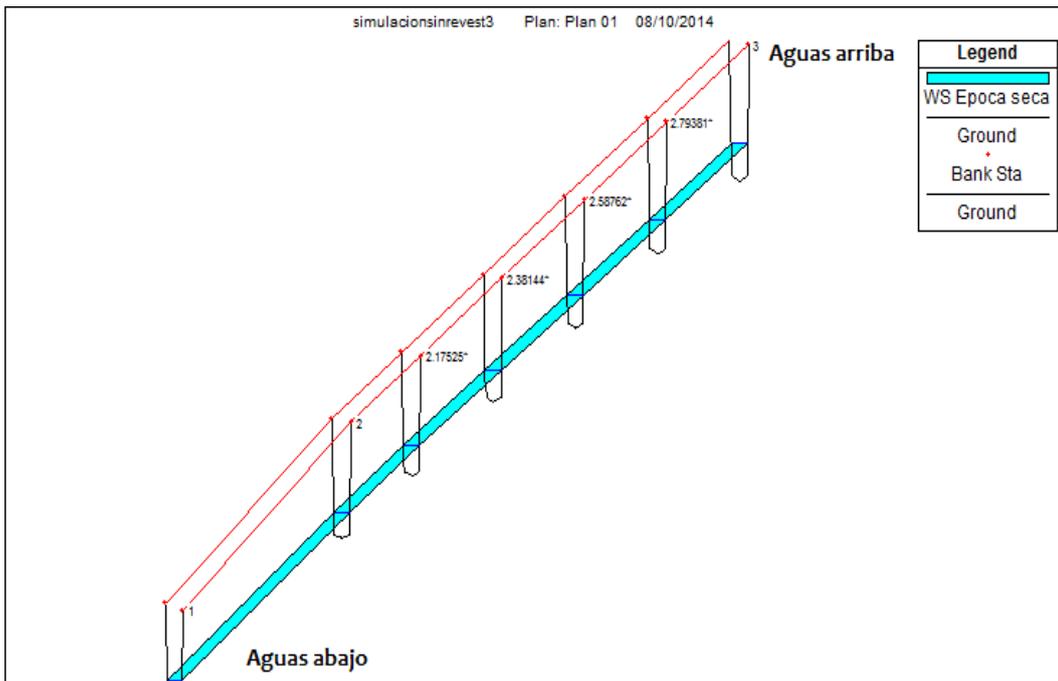


Figura 4.50 Vista 3d del tramo 3, Caudal 3 l/s
Elaboración: La autora

La Figura 4.51 muestra el perfil longitudinal del tramo 3 sin revestimiento modelado con los caudales de 65 l/s y 37 l/s, en donde se observa la disminución del caudal desde aguas arriba hacia aguas abajo.

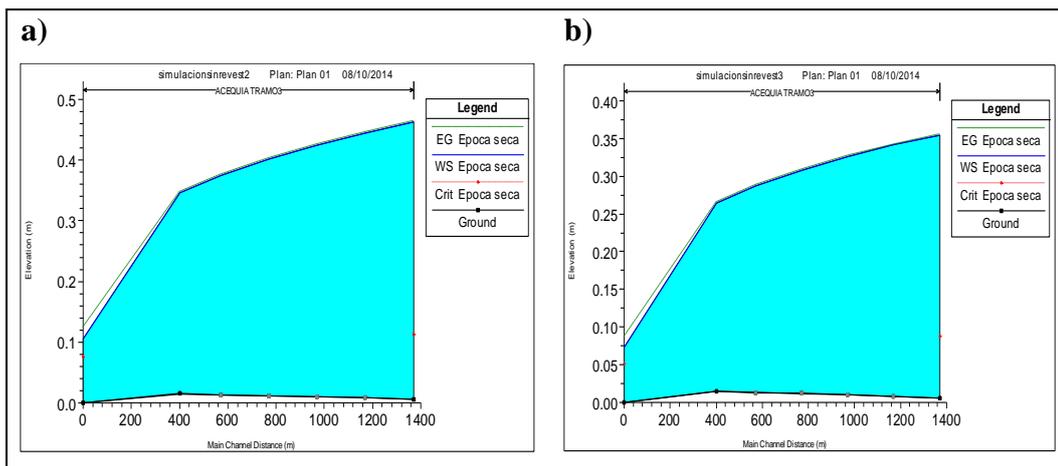


Figura 4.51 Perfil longitudinal del Tramo 2
Elaboración: La autora

4.7.3 Caudales simulados y medidos

En la modelación realizada se descartó graficar en HEC RAS los caudales de 84 l/s para la sección aguas arriba en el tramo 3 debido a que se observó el desborde de agua en la sección 2, así como el caudal de 12 l/s para la sección aguas arriba del tramo 2 ya que es más bajo del caudal concesionado por SENAGUA. Sin embargo con el fin de comparar los caudales simulados con los caudales obtenidos en campo se calculó también los caudales aguas abajo en esos tramos.

En la presente investigación se consideraron caudales de simulación ya establecidos por parte de los actores clave y tesista para relacionados con los aforos realizados en campo en las distintas secciones del canal; en otros estudios se utiliza los datos hidrometeorológicos para predecir los caudales en canales naturales y ríos, así, Bonini, Guzmán & Matamoros (2009) utilizaron el modelo matemático SWAT para la estimación de los caudales en la cuenca del río Chaguana en la provincia de El Oro, en donde compararon los caudales simulados y medidos por estación meteorológica. En el Cuadro 4.42 se muestra de forma comparativa los caudales obtenidos en las simulaciones realizadas; los casilleros de color amarillo representan los caudales calculados pero que no se graficaron en el software debido a lo anteriormente explicado

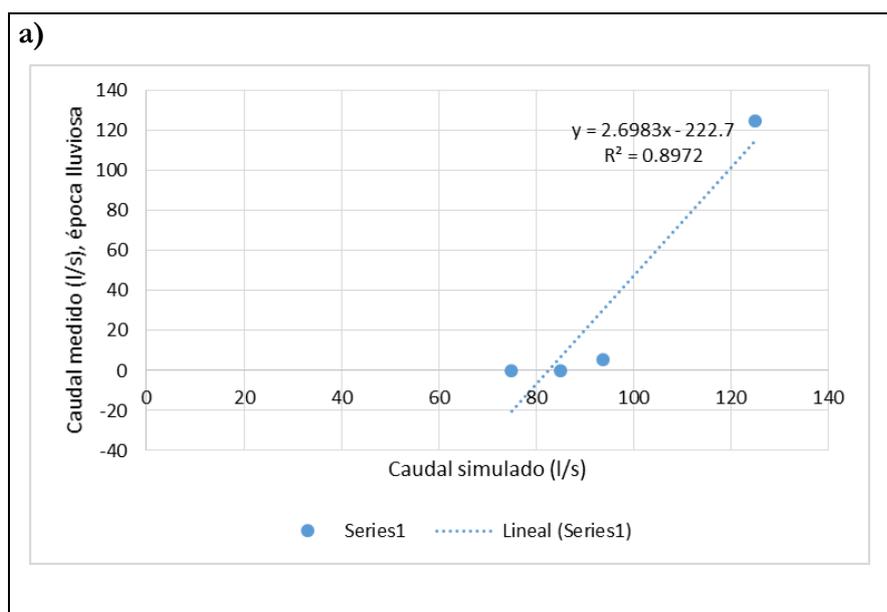
Cuadro 4.42 Caudales simulados y medidos

Caudales	Tramo 1 Canal sin revestimiento		Tramo 2 Canal de hormigón		Tramo 3 Canal sin revestimiento	
	Q (l/s) Aguas arriba	Q (l/s) Aguas abajo	Q (l/s) Aguas arriba	Q (l/s) Aguas abajo	Q (l/s) Aguas arriba	Q (l/s) Aguas abajo
Simulados	125	93.72		84.97		74.93
	100	70.89		65.7		55.22
	50	41.69		37.22		30.46
	18	12.22		10.85		7.44
Medidos	125,07 (Época seca)	5.74		0		0
	18.05 (Época lluviosa)	0		0		0

Elaboración: La autora

Tomando en cuenta el caudal de 28.6 l/s concesionado para el área de riego se observa que el caudal de aporte del río Tahuando debería fluctuar entre 100 y 50 l/s. Si bien en campo se calculó un caudal de 125 l/s en época lluviosa, no se observó el desborde de agua en la sección de hormigón debido a las pérdidas en el tramo 1.

Entre las variables de caudales simulados y medidos en las épocas lluviosa y seca existe una correlación lineal positiva fuerte de 0.89 y 0.79 respectivamente, lo que indica una buena similitud de caudales, ya que la relación entre las variables es directamente proporcional (mayores valores de x significan mayores valores de y). La Figura 4.55 indica el gráfico de dispersión en donde se muestra el coeficiente de correlación lineal de las variables caudales medidos en las épocas lluviosa y seca con los simulados para la acequia Rosas Pamba.



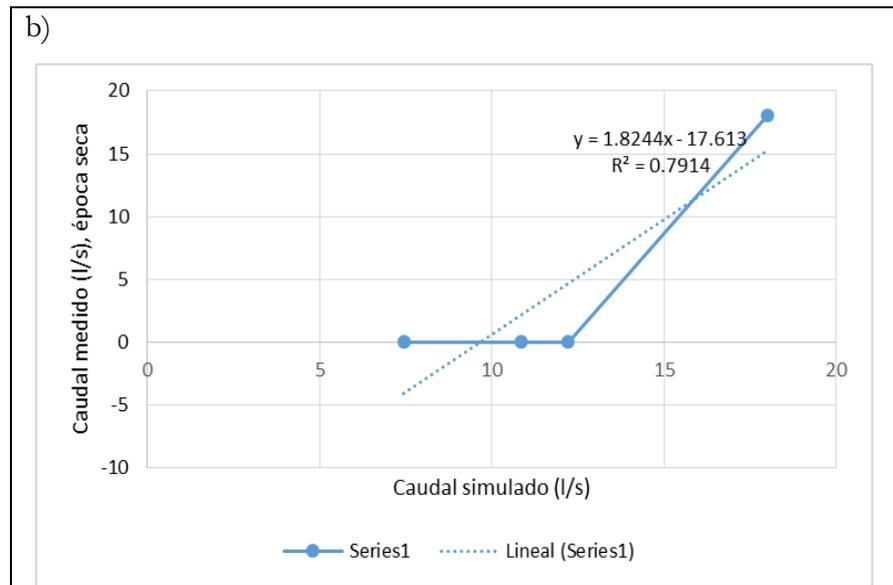


Figura 4.52 Correlación lineal, caudales medidos y simulados, a) Época lluviosa, b) Época seca
Elaboración: La autora

4.8 Socialización del proyecto

La socialización del proyecto llevada a cabo en el Salón de Desarrollo Comunitario de la parroquia La Esperanza, contó con la presencia de los actores clave como son: los miembros de la Junta de Aguas, beneficiarios de la acequia, representantes del GAD Ibarra, Director y Asesor de tesis (Fotografía 4.13) .



Fotografía 4.13 Discusión entre los actores clave
Fuente: La autora

La discusión entre los participantes, fue el punto de partida para la consolidación de acuerdos que permitan mejorar las condiciones del canal y por ende mejorar su calidad de vida. Algunos puntos examinados y acuerdos adoptados se presentan a continuación:

- Se analizó la necesidad de revestir los dos tramos de tierra presentes en el trazado de la acequia, para evitar los problemas de disminución del flujo de agua por el crecimiento de la vegetación acuática principalmente en la parte alta; mientras que en la parte baja para disminuir las pérdidas por infiltración. El compromiso para el cumplimiento de este aspecto, surgió de parte del presidente de la Junta de Aguas y representante del GAD Ibarra, quienes ofrecieron conversaciones entre los beneficiarios y representantes del GAD Provincial Imbabura y SENAGUA, con el fin de coordinar el proyecto basado en datos reales y comprobados.
- Se discutió el tema de los desvíos de agua principalmente en la parte alta de la acequia, en donde los dueños de los predios aprovechan la mayoría del agua para sus actividades productivas afectando la disponibilidad del recurso en las partes medias y baja del área de influencia. Los beneficiarios se mostraron molestos por la nueva Ley de Recursos Hídricos, ya que a su parecer ésta no permite el respeto a los días y horas asignadas a cada regante, lo que ocasiona los conflictos.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La diferencia de caudales entre las épocas lluviosa y seca es de 107,02 l/s, por consiguiente la disponibilidad del recurso agua para las actividades productivas en la época de menor disponibilidad de precipitaciones es baja; además de las pérdidas de agua debido a los desvíos artificiales y a las pérdidas por evaporación e infiltración que predominan en la parte baja del área de estudio.
- El análisis del balance hídrico muestra que la evapotranspiración se relaciona de forma directamente proporcional con la temperatura, mientras que con la precipitación la relación es inversa. Así, en la época lluviosa en donde el rango de precipitación es de 120 a 190 mm, la evapotranspiración presenta valores de 58,02 a 56,18 mm desde la parte baja a la más alta del área de estudio; mientras que en la época seca la precipitación es de 10 a 30 mm y la evapotranspiración de 60,16 a 57,52 mm en el mismo sentido.
- Los modelos de humedad, muestran que para la época lluviosa existe superávit de agua en el suelo, no así en la época seca en donde el déficit es moderado a alto. Además, el modelo de humedad anual determina que para el área de influencia de la acequia Rosas Pamba existe un déficit hídrico bajo, lo que quiere decir que con un adecuado manejo del recurso agua

durante la época seca, la agricultura y actividades ganaderas pueden tener un desarrollo normal. Además los modelos de humedad generados utilizando los SIG (Sistemas de Información Geográfica) presentan similitud con los datos tomados en campo, lo que permitió valorar el modelo cartográfico hidrológico de la acequia.

- La modelación hidráulica determina que el aporte de agua promedio desde del río Tahuando a la acequia Rosas Pamba durante la época seca debería ser de 75 l/s como mínimo, con el fin de conseguir el caudal de 28,6 l/s concesionado por SENAGUA para el área de riego en La Esperanza.
- El software de modelamiento HEC-RAS usualmente utilizado en ingeniería es de gran aplicabilidad en el estudio de un recurso natural como es el agua el mismo que tiene gran importancia ecológica y social. El modelo hidrológico de la acequia fue validado con la prueba de correlación lineal que indicó una relación positiva entre las variables de caudales simulados y medidos .
- El interés por parte de los actores clave (miembros de la Junta de Agua de La Magdalena, beneficiarios de la acequia) es evidente, el recurso hídrico es vital para el desarrollo de sus actividades productivas, por lo que los estudios hidrológicos son claves para destinar el riego según la época del año y la disponibilidad de agua.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se sugiere determinar el índice de humedad mediante el análisis del balance hidrológico para todo tipo de proyecto de riego ya que es de vital importancia conocer el tiempo del riego y la cantidad necesaria para obtener buen rendimiento en los cultivos. Además, es importante analizar métodos

sencillos para determinar la capacidad de campo y punto de marchitez del suelo que permita controlar la humedad del mismo y así evitar problemas de exceso y déficit de agua en los cultivos.

- En un proyecto hídrico además de conocer el balance hidrológico en una cuenca, es importante realizar una base de datos con información proporcionada por las Juntas de agua y los SIG, referente a la infraestructura de riego, administración y usuarios del sistema de riego, organización de regantes (mingas, reuniones) y además realizar un monitoreo constante con el fin de mejorar la gestión del recurso agua y garantizar su disponibilidad.
- Se recomienda estudiar los distintos métodos de riego y sistemas de conducción o distribución que pueden implementarse en el área de influencia de la acequia principalmente en las partes media y baja (La Esperanza) en donde la principal actividad económica es la agricultura. La elección de los métodos de riego se deberían elegir dependiendo de la cantidad de agua requerida por los cultivos, del clima y de las características físico químicas del suelo para así optimizar el recurso agua principalmente durante la época seca.
- Se sugiere realizar un análisis de la aplicabilidad del modelo cartográfico hidrológico en la normativa legal vigente principalmente en lo que se refiere a trámites de concesiones y asignaciones de agua otorgadas por parte de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), las mismas que deberían ser concedidas en base a la disponibilidad del recurso en las épocas lluviosa y seca.
- Se recomienda realizar un estudio de factibilidad en cuanto al revestimiento total de la acequia con el fin de evitar el crecimiento de vegetación herbácea acuática, que provoca la disminución de la velocidad del flujo de agua,

además de evitar las pérdidas por infiltración principalmente en la parte alta y baja de la acequia.

CAPÍTULO VI

6. BIBLIOGRAFÍA CITADA

Agnition Innovation. (2011). *Plan de Orenamiento Territorial de la parroquia Angochagua*.

Alvarez., A, Sastre., S, Gutierrez., A, Carral., P. (2010). *Tendencias observadas en el estudio de curvas de infiltración de suelos*. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid.

Almorx, J (s.f). *Métodos de estimación de las evapotranspiraciones ETP y ETr*.

Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico*. Dirección de estudios de proyectos hidráulicos multisectoriales.

Badano, N. (2010). *Modelación Integrada de Grandes Cuencas de Llanura con Énfasis en la Evaluación de Inundaciones*. Tesis de grado en Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires.

Benavides-Solorio, J. D., González-Guillén, M. J., López-Paniagua, C., & Valdez-Lazalde, J. (2008). *Oferta hídrica de la cuenca forestal Tapalpa, Jalisco, orientada hacia los servicios ambientales*. (Spanish). *Madera Y Bosques*, 14(2), 5-28

- Bonini, J., Guzmán, E., & Matamoros. (2003). *Estimacion de caudales y sedimentos en la cuenca del rio Chaguana, mediante el modelo matematico Avswat*. Tesis de grado en Ingeniería Civil. Escuela Politécnica del Ejército.
- Cadena, V. (2012). *Hablemos de riego*. Gobierno Autónomo Provincial del Carchi. Creadores Gráficos (1).
- Castro, E & Carrasco, L. (2011). *Utilización de modelos matemáticos para la formulación de una propuesta de gestión ambiental en la zona noroccidental del rio Cali*. Tesis de grado presentada como requisito para optar al título de Especialista en Gestión Ambiental Local. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Céleri, R., De Bièvre, B., Ochoa, B. (2012). *Guía Metodológica para el monitoreo hidrológico de ecosistemas andinos*. Grupo de Ciencias de la Tierra y del Ambiente, DIUC, Universidad de Cuenca (Ecuador).
- Domínguez, E., Rivera, H., Vanegas, R & Moreno, P. (2008). *Relaciones Demanda – Oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico Colombiano*. Revista Académica Colombiana de Ciencias. 32(123), p. 195 – 212
- Duque, J. (2008). *Modelación cartográfica hidrológica de la cuenca hidrográfica del río la Chimba para determinar la potencialidad del aprovechamiento del recurso agua mediante herramienta SIG en la cuenca y en el área de influencia del proyecto de riego Cayambe – Tabacundo*. Tesis de Pregrado Escuela Politécnica del Ejército.
- Ellis, E. A., Romero, J. A., Hernández, I. U., Gallo, C. A., & Alanís, J. L. (2012). *Evaluación geográfica de áreas susceptibles a inundación en la cuenca del río Tuxpan, Veracruz. (Spanish)*. Avances En Investigación Agropecuaria, 16(1), 7-28.

Espín, M. (2012). *Métodos de Investigación Participativa y tecnología SIG para el Manejo de Recursos Naturales. Caso de Estudio: Sistema de Riego Santa Fé*. Tesis de Maestría en Sistema de Información Geográfica. Universidad San Francisco de Quito.

Foro de los Recursos Hídricos, (2013). *Hacia una Ley de Aguas transformadora*.

García, M., Carvajal, Y & Jiménez, H. (2007). *La gestión integrada de los recursos hídricos como estrategia de adaptación al cambio climático*. Ingeniería y Competitividad, Volumen 9, p. 19 -29.

Grajales, M., De la Piedra, R., & López, J. (2008). *Diagnóstico biofísico y socioeconómico de la parte media y alta de la subcuenca Cohatán, Chiapas*. Revista de investigación y difusión científica agropecuaria, 12(1).

González, M. (2011). *Función de los bosques en el ciclo hidrológico*. Revista Montes. Nro (106), p. 55-56.

Hamilton, S. (2009). *Los bosques y el agua*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Jiménez Román, A., & Maderey Rascón, L. (2004). *Modificaciones del ciclo del agua en la cuenca del Río Pánuco ante el cambio climático global*. (Spanish).Revista Geográfica, (135), p. 33-61.

MAGAP, (2013). *Plan Nacional de Riego y Drenaje 2012 – 2027*. Subsecretaría de Riego y Drenaje, Quito-Ecuador.

Manrique, G & Rosero, P. (2011). *Riesgos por erosión en la provincia de Imbabura*. (Proyecto de investigación, Universidad Católica del Ecuador). Recuperado de: <http://www.puce.edu.ec/documentos/Investigacion/2011/PUCE-Investigacion-2011-GEO-Erosion-Imbabura.pdf>

- Mintegui, J. (2012). *El papel del bosque en la regulación de los ciclos del agua y de los sedimentos en cuencas de cursos torrenciales, ante la incidencia en ellas de eventos meteorológicos extraordinarios: aspectos prácticos*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Morad, M & Triviño, A., (2001). *Sistemas de Información Geográfica y Modelizaciones Hidrológicas: una aproximación a las ventajas y dificultades de su aplicación*. Boletín de la A.G.E, p. 23 – 46.
- Nanía, L & Molero, E. (2007). *Manual Básico de HEC-RAS 3.1.3 y HEC-GeoRAS 3.1.1*. Universidad de Granada. Áreas de Ingeniería Hidráulica.
- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011). *Ciclo Hidrológico*. Lima: Sociedad geográfica de Lima.
- Pozo, G & Beltrán, C. (2012). *Zonificación ecológica-económica y propuestas de gestión integral de los recursos naturales del cantón Ibarra*. Tesis de pregrado. Universidad Técnica del Norte.
- Ruiz-Álvarez, O. O., Arteaga-Ramírez, R. R., Vázquez-Peña, M. A., Capurata, R., & López-López, R. R. (2012). *Balance hídrico y clasificación climática del Estado de Tabasco, México*. (Spanish). *Universidad & Ciencia*, 28(1), 1-14
- Ruiz., F, Venialgo, C., Gutierrez., N., Ingaramo, O., & Briend., M. (2009). *Infiltración de agua en el suelo con diferentes usos en el Departamento 9 de Julio (Chaco)*. Universidad Nacional Del Nordeste.
- Sauquillo, A. (2009). *La importancia de las aguas subterráneas*. *Revista Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales (Esp)*. Vol (103), pp 97-114.

- Sanchez, Y & Amorós, M., (2012). *Gestión del agua urbana mediante Análisis Espacial en los SIG*. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Vol 33, p. 58 – 71.
- Sanchez, R & Bonilla, A. (2008). *Urbanización, Cambios Globales en el Ambiente y Desarrollo Sustentable en América Latina*. São José dos Campos, Brasil.
- Santillán Gutiérrez, E., Davila-Vazquez, G., de Anda Sánchez, J., & de Jesús Díaz Torres, J. (2013). *Estimación del balance hídrico mediante variables climáticas, en la cuenca del río Cazonas, Veracruz, México*. (Spanish). Revista Ambiente E Água, 8(3), 104-117. doi:10.4136/ambi-agua.1147
- Selles, J. (2014, 10 de febrero). ¿Cómo se distribuye en agua en nuestro planeta?. Noticias Exactas. Recuperado de: <http://noticias.exactas.uba.ar/como-se-distribuye-el-agua-en-nuestro-planeta>
- Santos, A., Cubillos, C & Vargas, A. (2008). *Modelación hidráulica de un sector de río caudaloso con derivaciones empleando HEC-RAS*. Medellín, Colombia.
- Solarte., Y, Trejos., M, Materón., H. (2009). *Caracterización del recurso hídrico de la subcuenca Aguaclara – río bolo para fines de abasto de agua*
- Tahmasbinejad, H., Feyzolahpour, M., Mumipour, M., & Zakerhoseini, F. (2012). *Rainfall-runoff Simulation and Modeling of Karun River Using HEC-RAS and HEC-HMS Models, Izeh District, Iran*. Journal Of Applied Sciences, 12(18), 1900-1908. doi:10.3923/jas.20102.1900.1908
- Tapia, G., Molina, J., Pérez, B & Torres, A. (2012). *Metodología para la medición de la velocidad de flujo en un río en el diagnóstico de la socavación en pilas de un puente, utilizando un dispositivo electrónico*. Instituto Mexicano del Transporte, p. 13.

Valero, J., Picornell, M., Tarjuelo, J. (2010). *El Riego y sus Tecnologías*. España. Europa-América en Lisboa.

Vega, E., Jara, J. (2009). *Estimación de la Evapotranspiración de referencia para dos zonas (Costa y Región Andina) del Ecuador*. Jaboticaba, 29(3), p. 390-403.

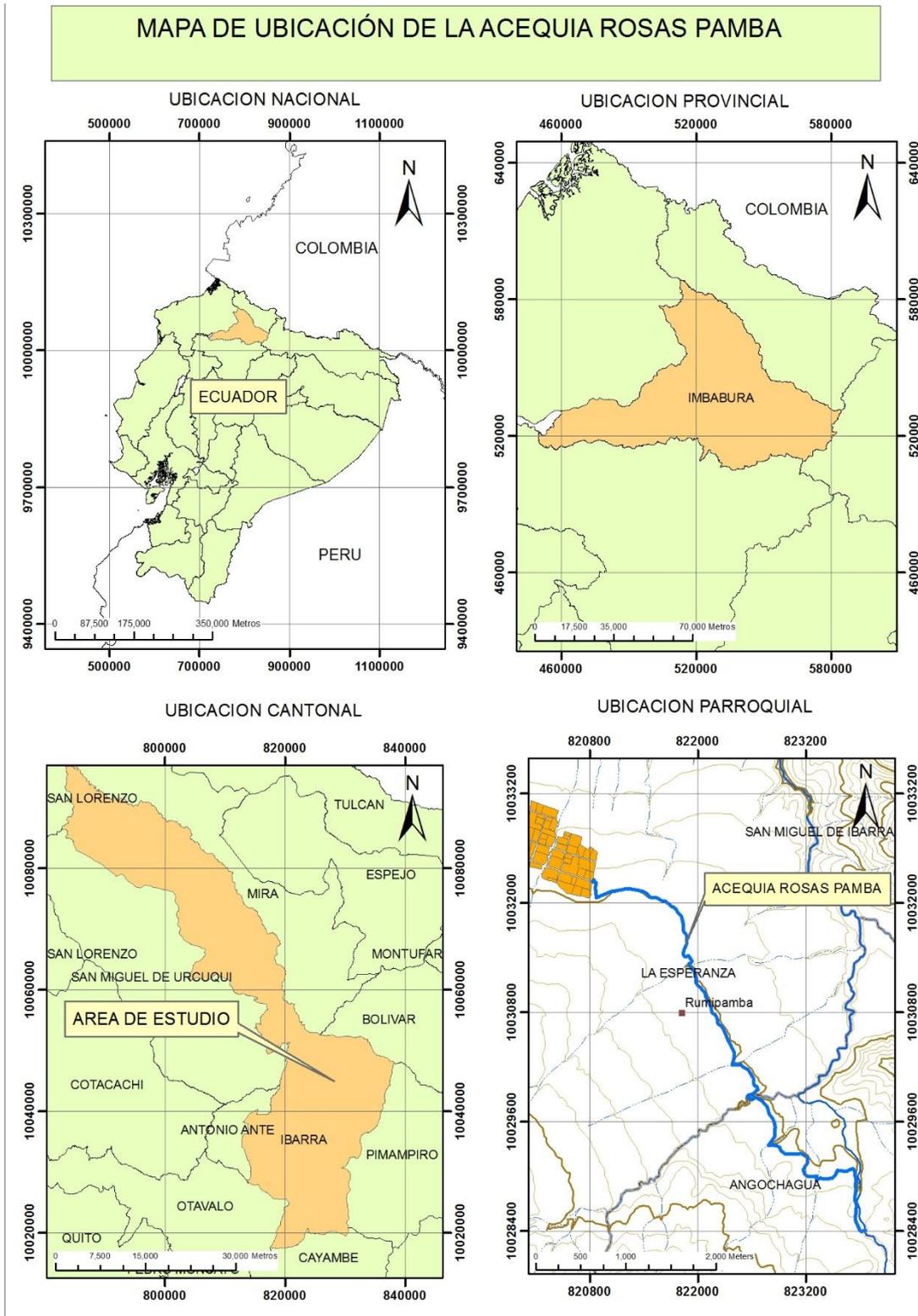
Worster, D. (2008). *Transformaciones de la Tierra*. Montevideo: Coscoroba.

Zapata, A. (2008). *Una aproximación a los conflictos por el agua en el Ecuador*. Documento preparado para el Foro de los Recursos Hídricos. Quito

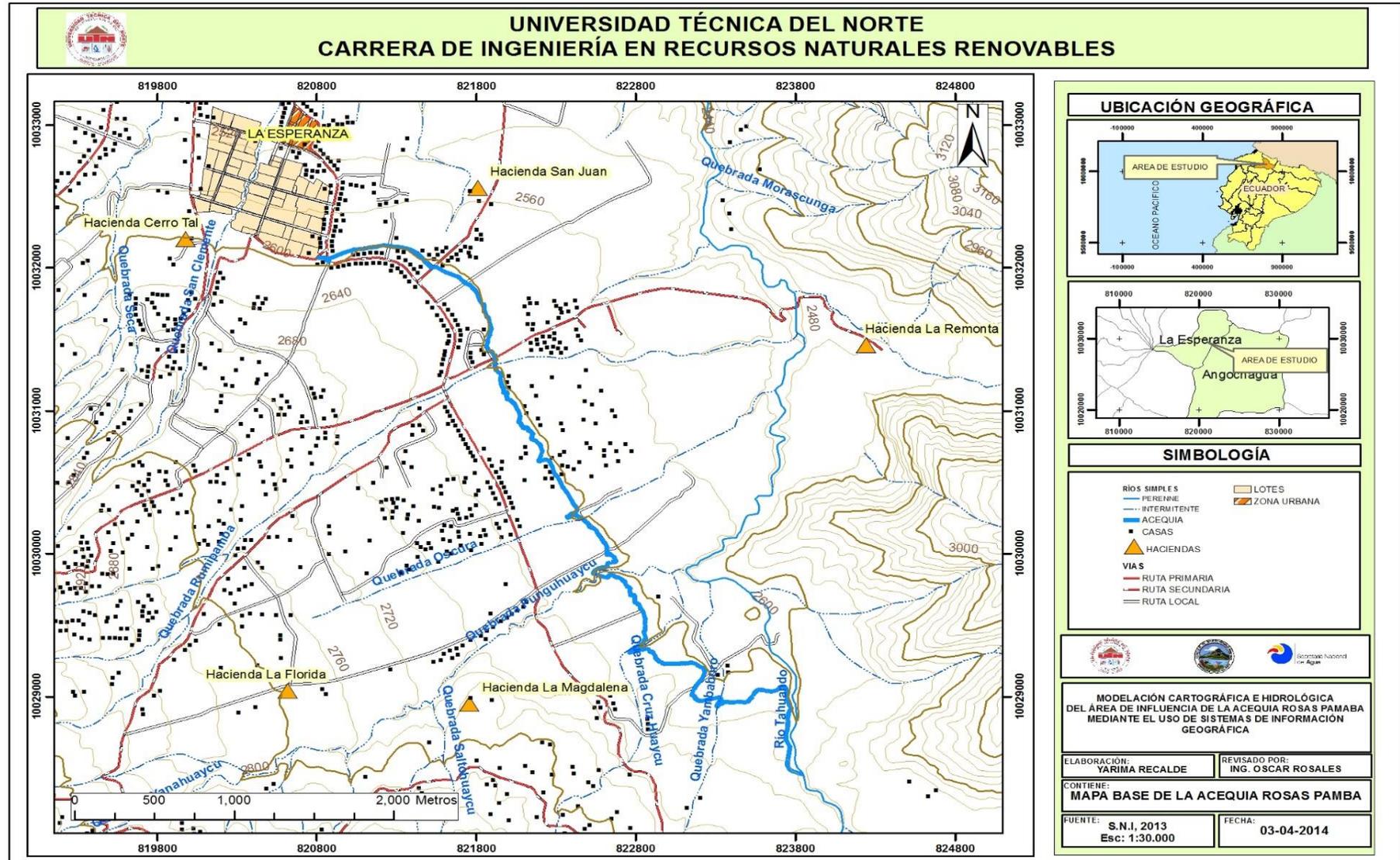
7. ANEXOS

ANEXO 1: MAPAS

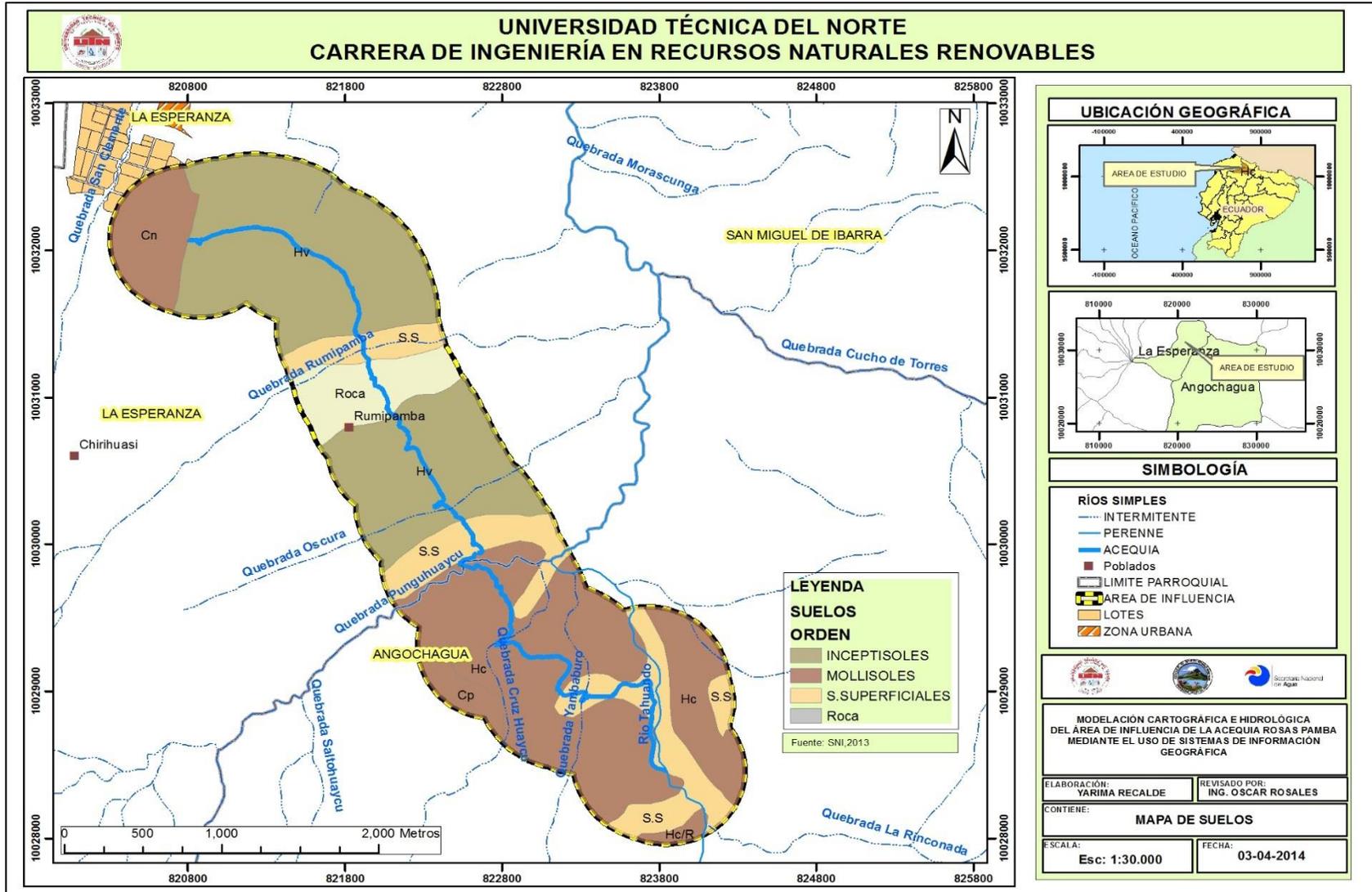
MAPA 1 Mapa de Ubicación



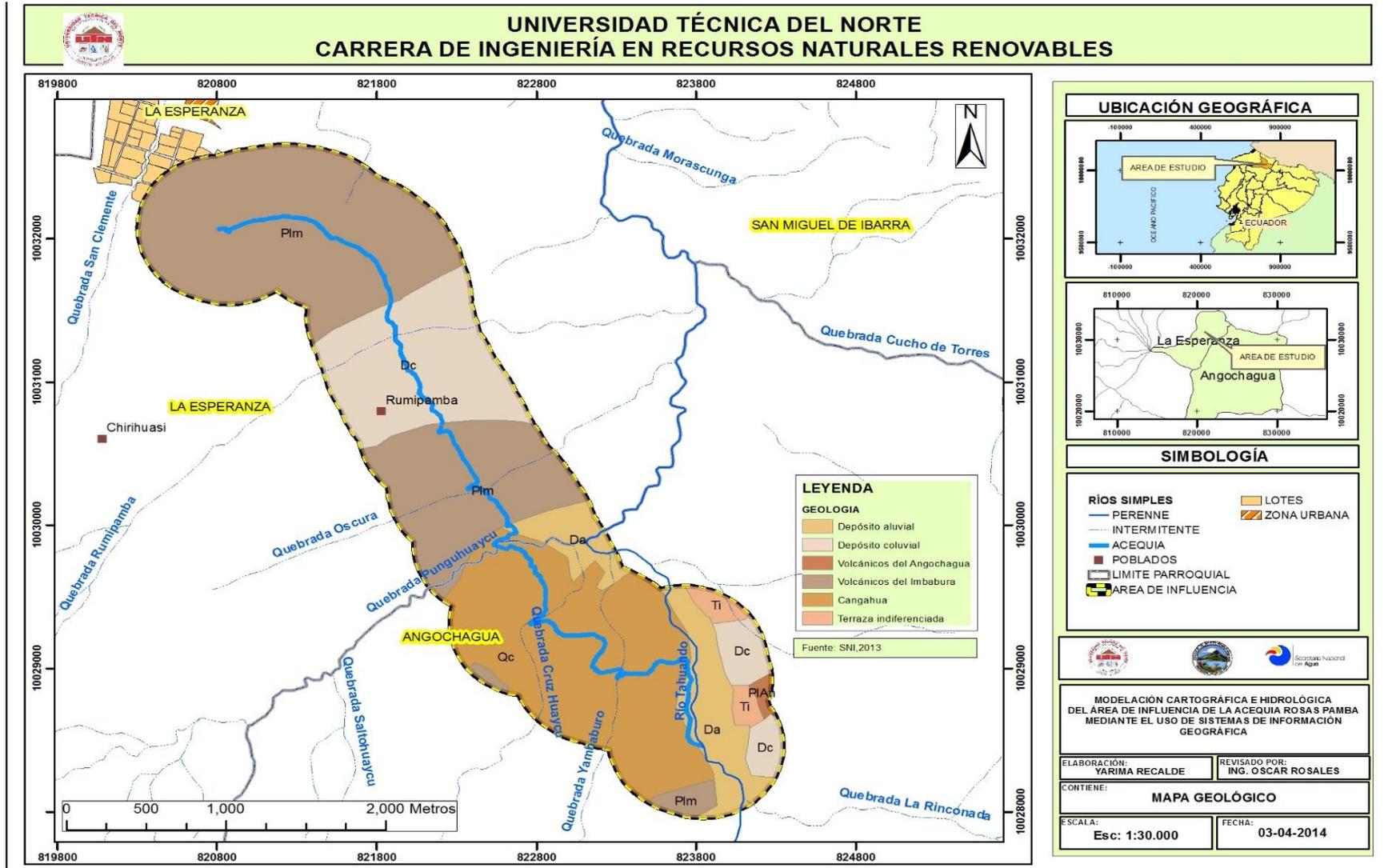
MAPA 2 Mapa Base



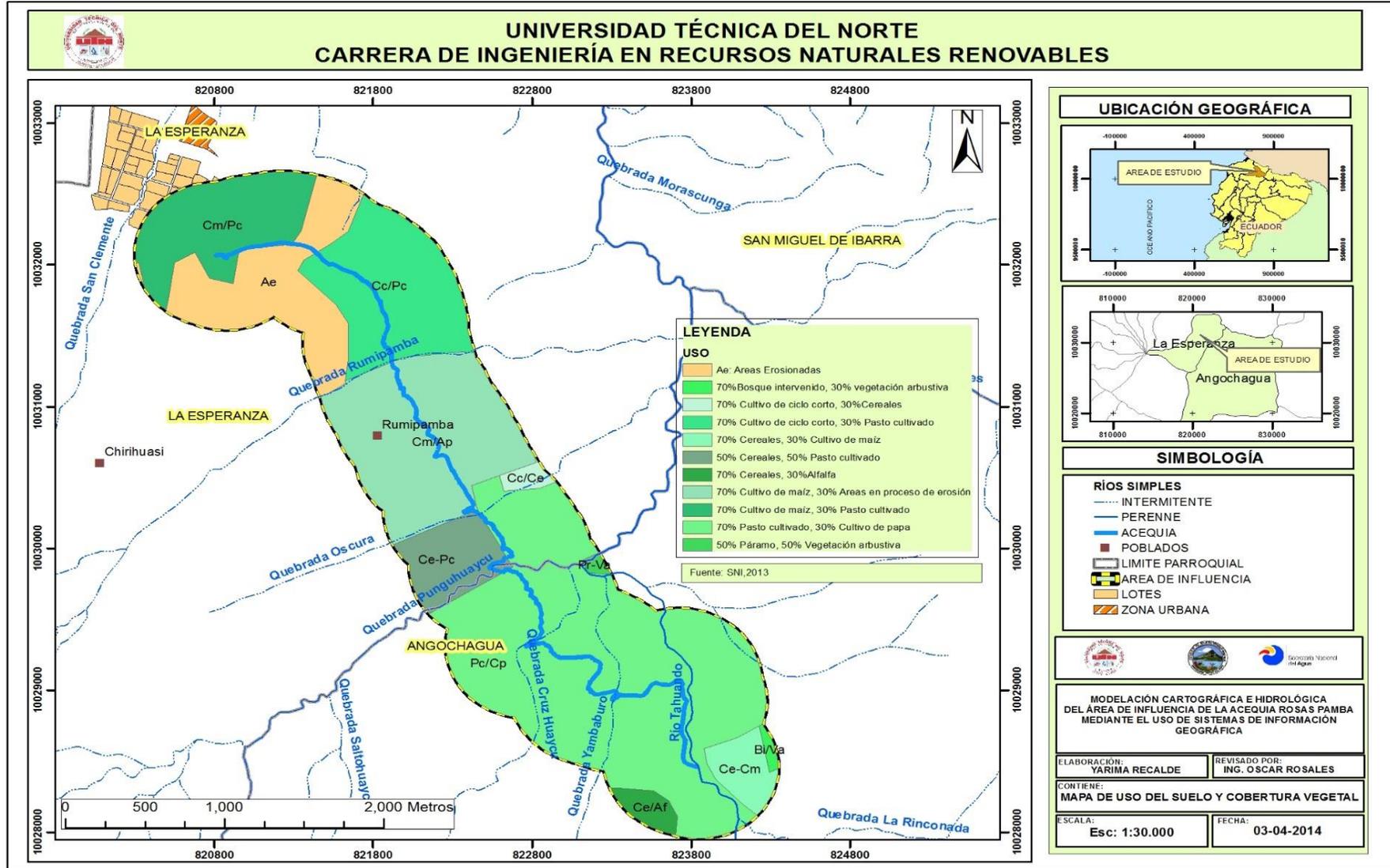
MAPA 3 Tipos de suelos



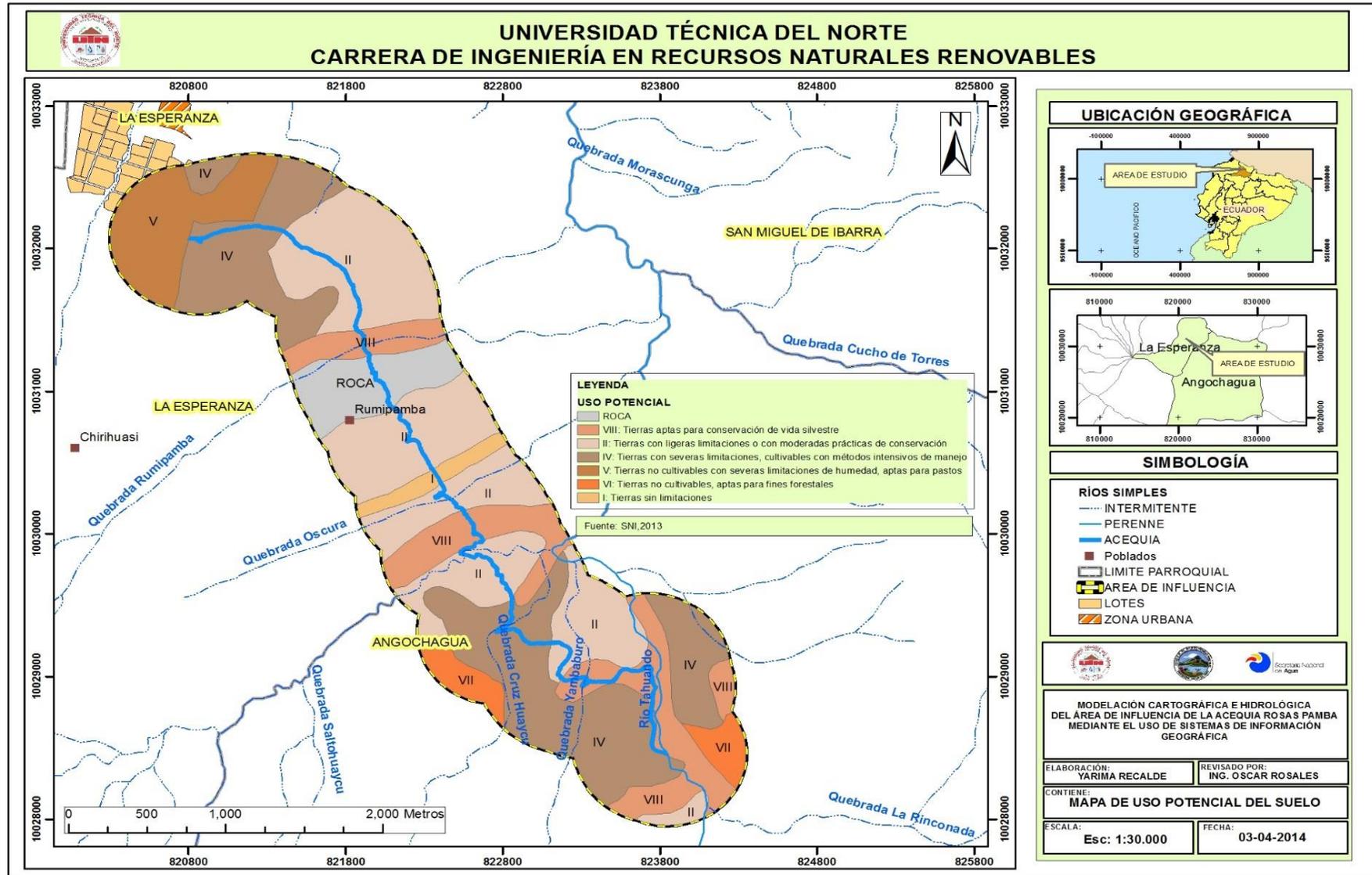
MAPA 4 Geología Regional



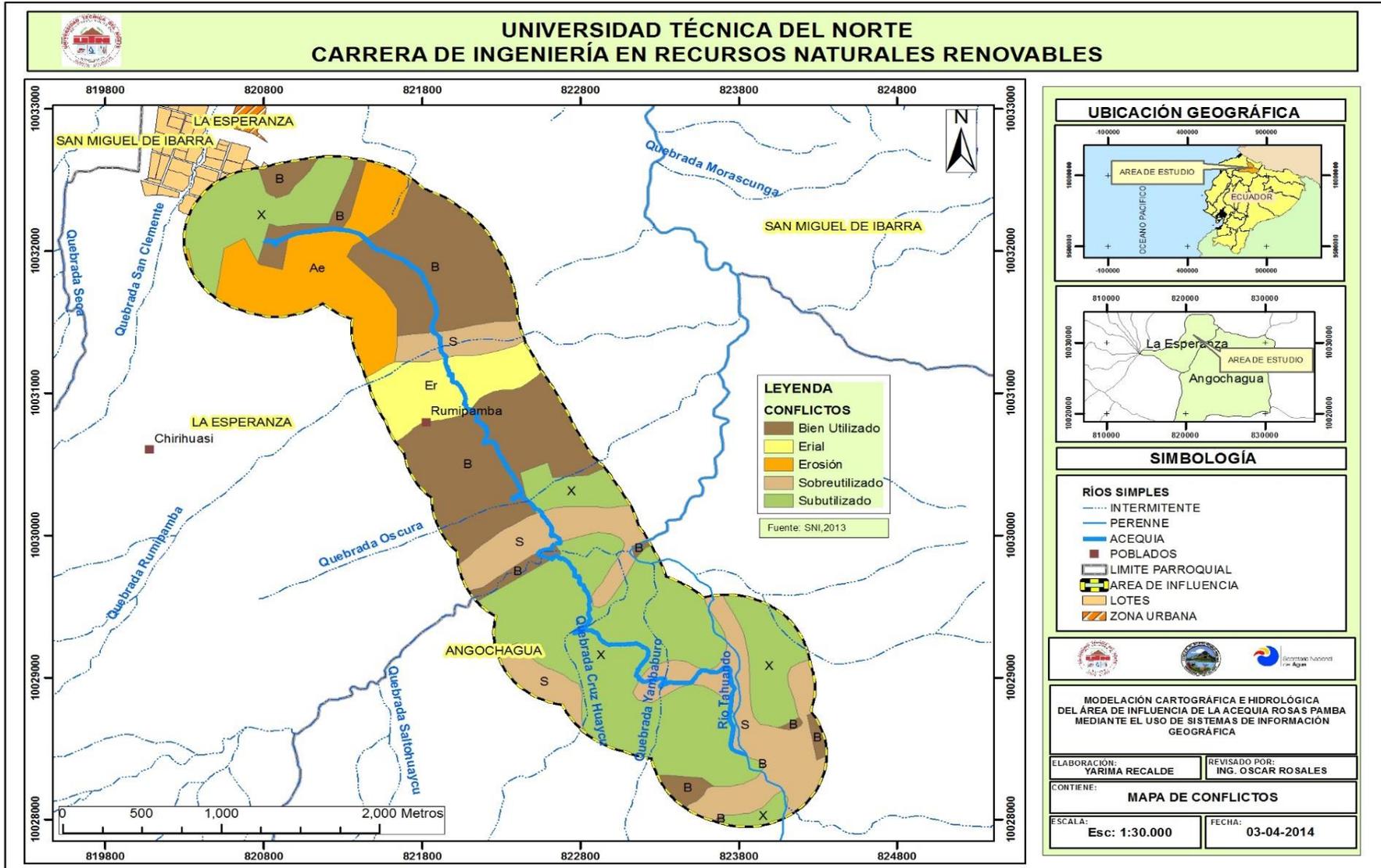
MAPA 5 Uso del suelo y cobertura vegetal



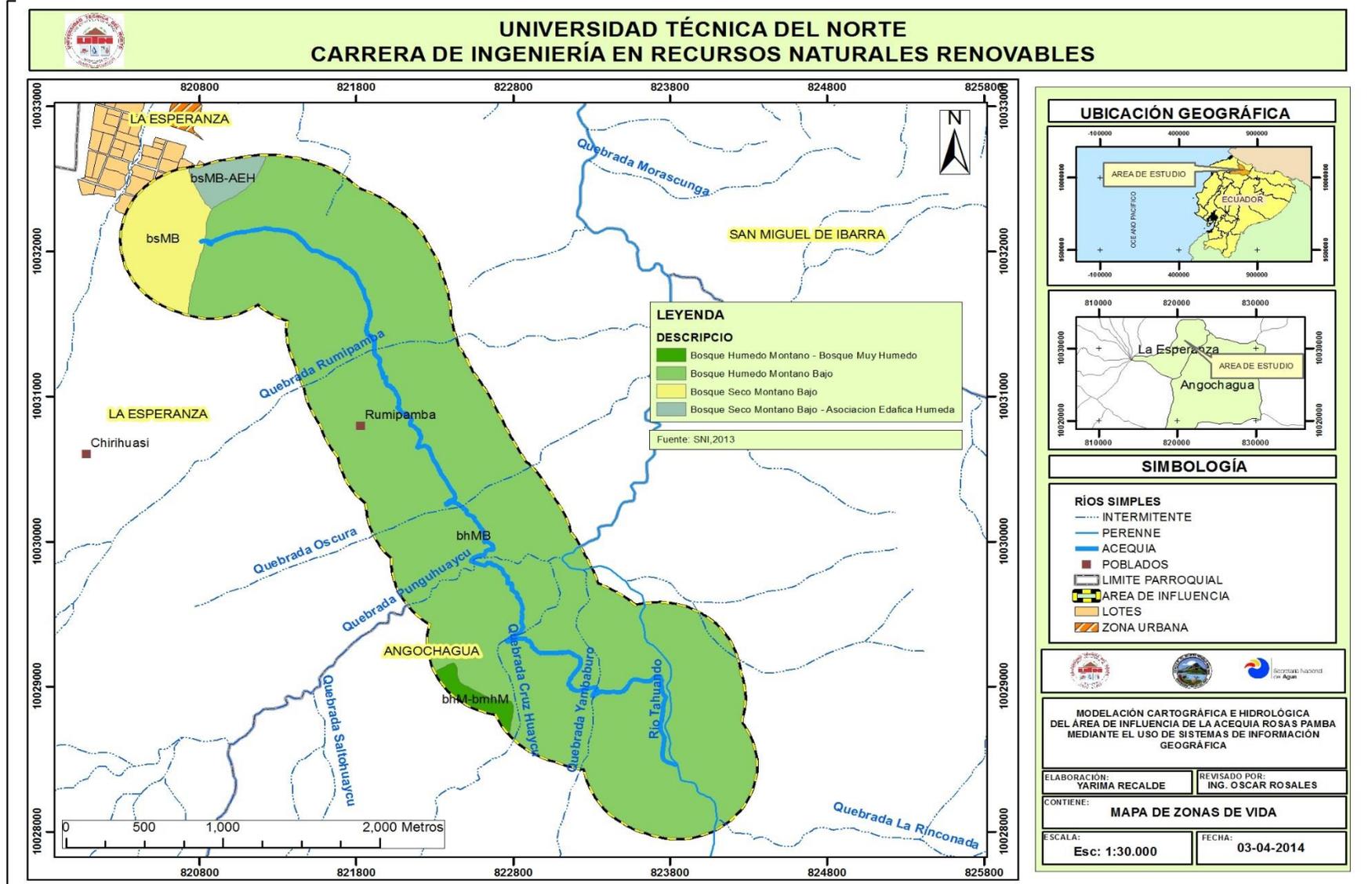
MAPA 6 Uso Potencial del Suelo



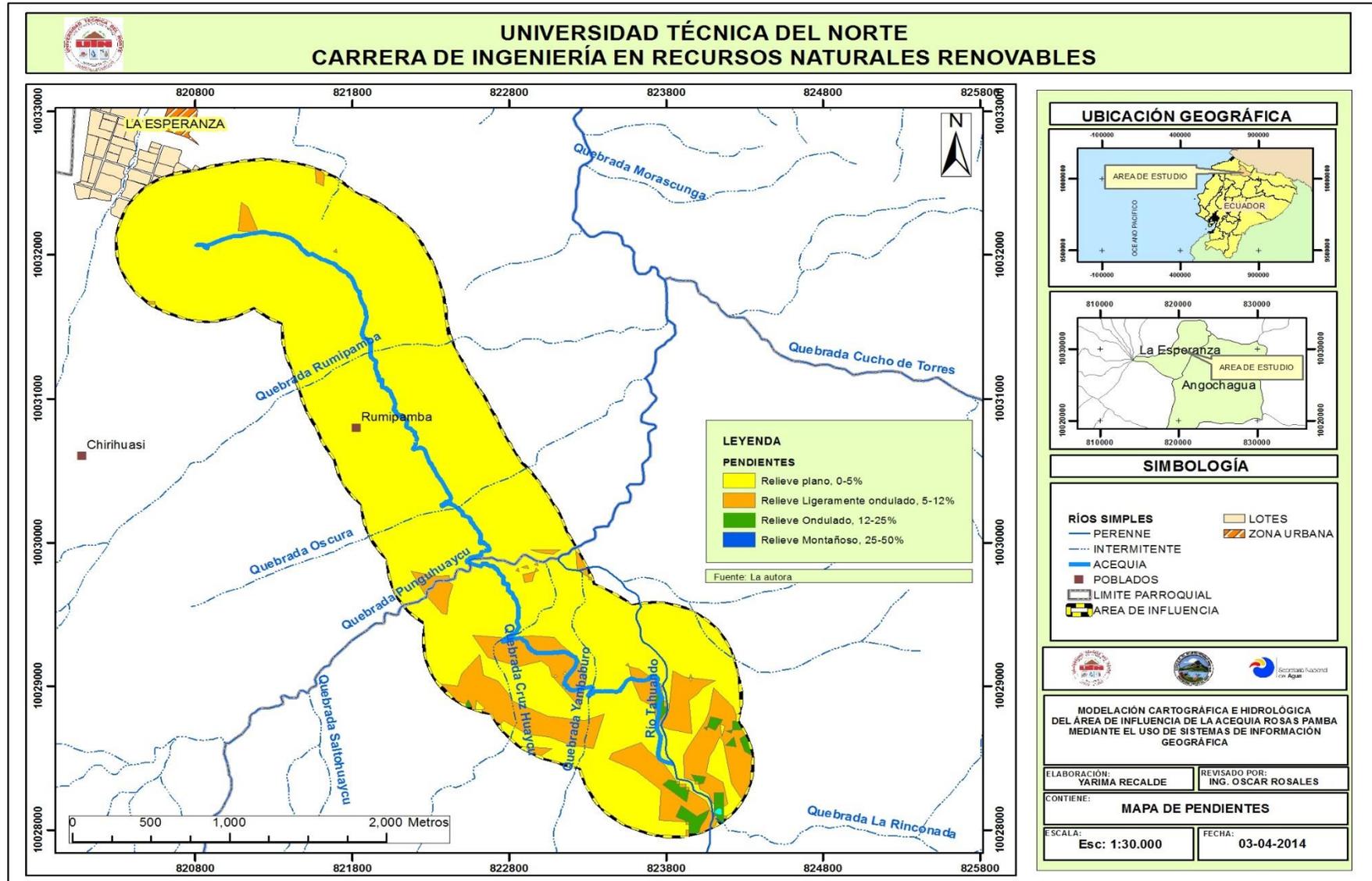
MAPA 7 Conflictos de Uso



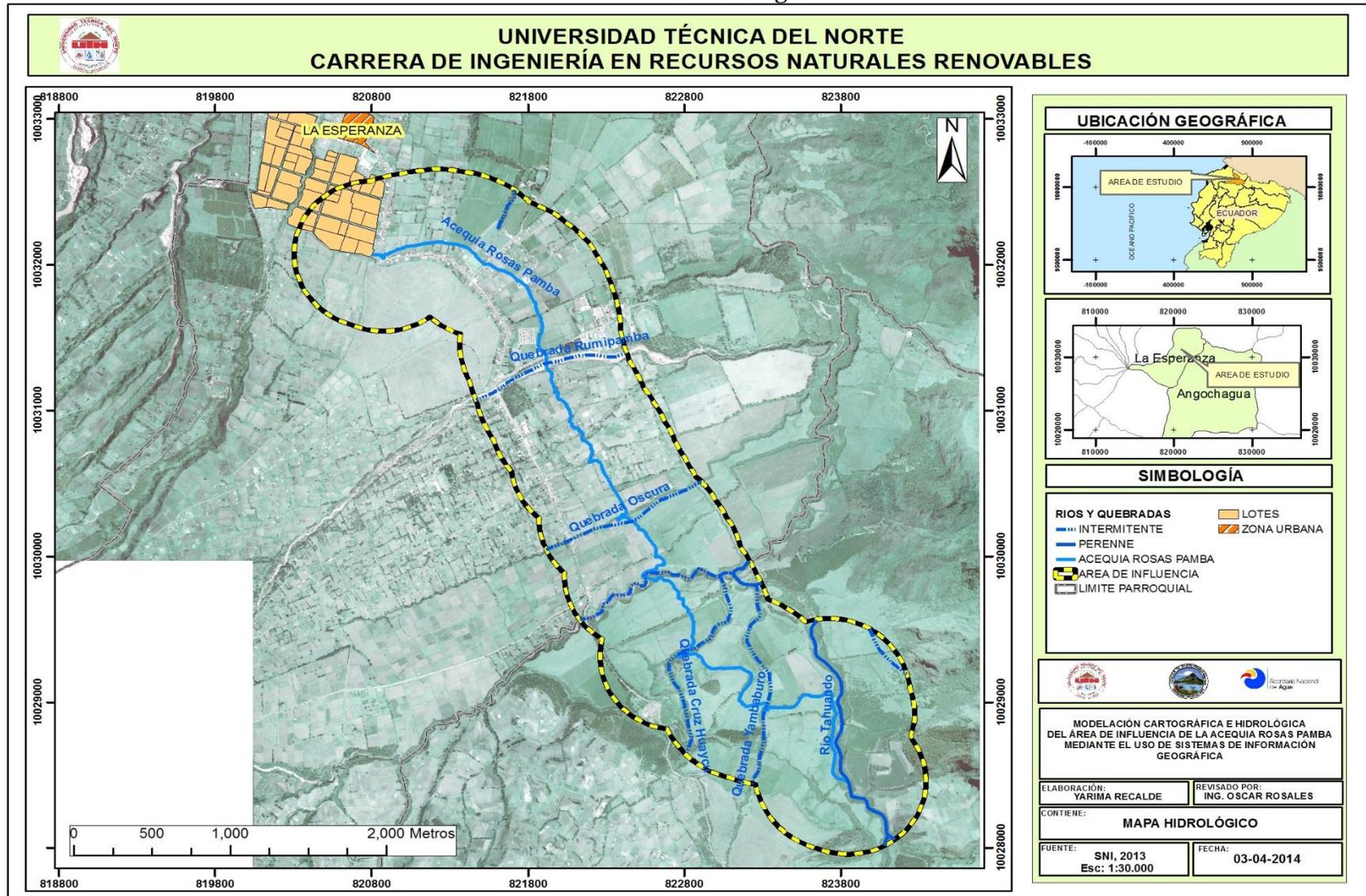
MAPA 8 Zonas de Vida



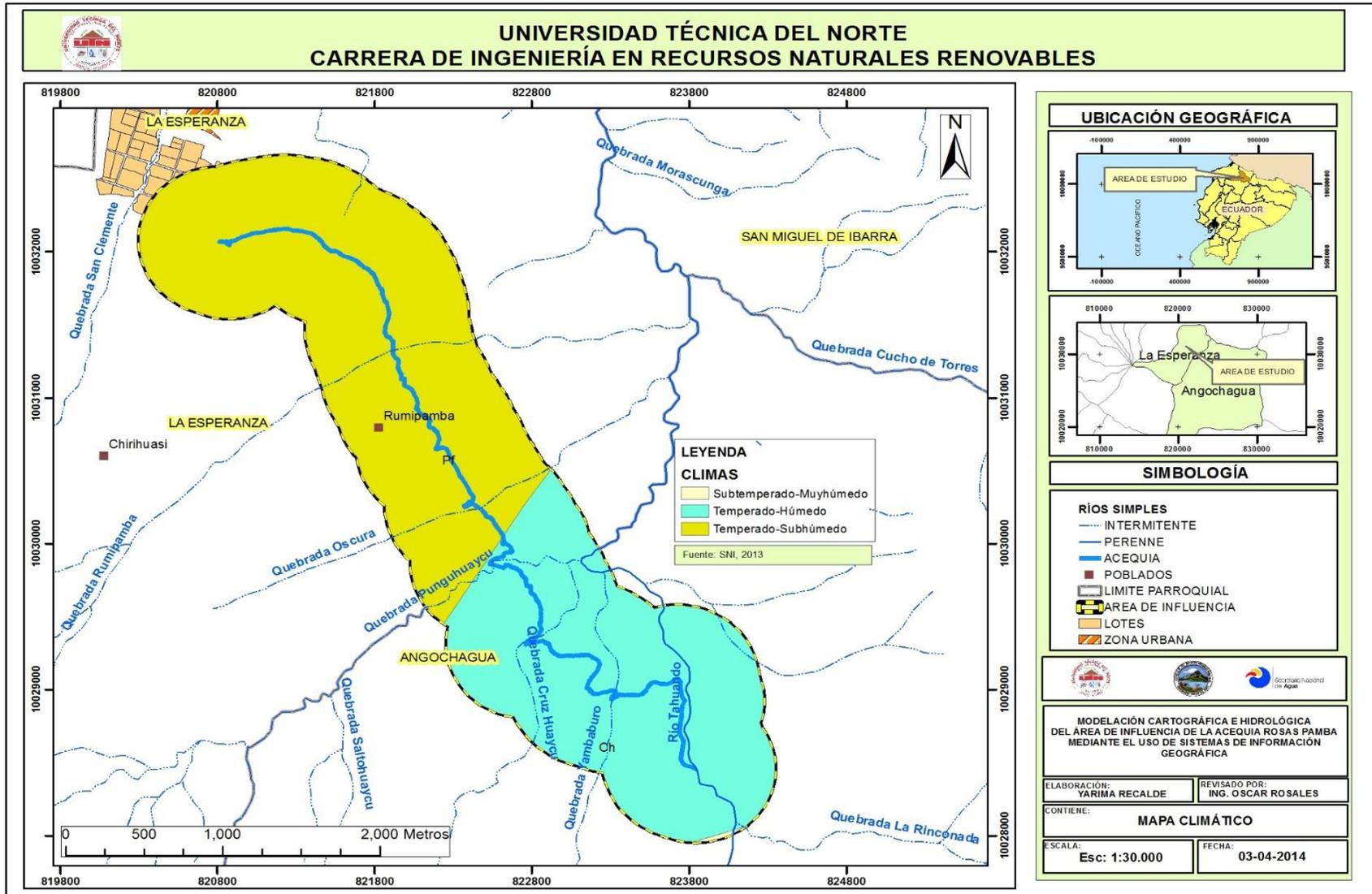
MAPA 9 Pendientes del terreno



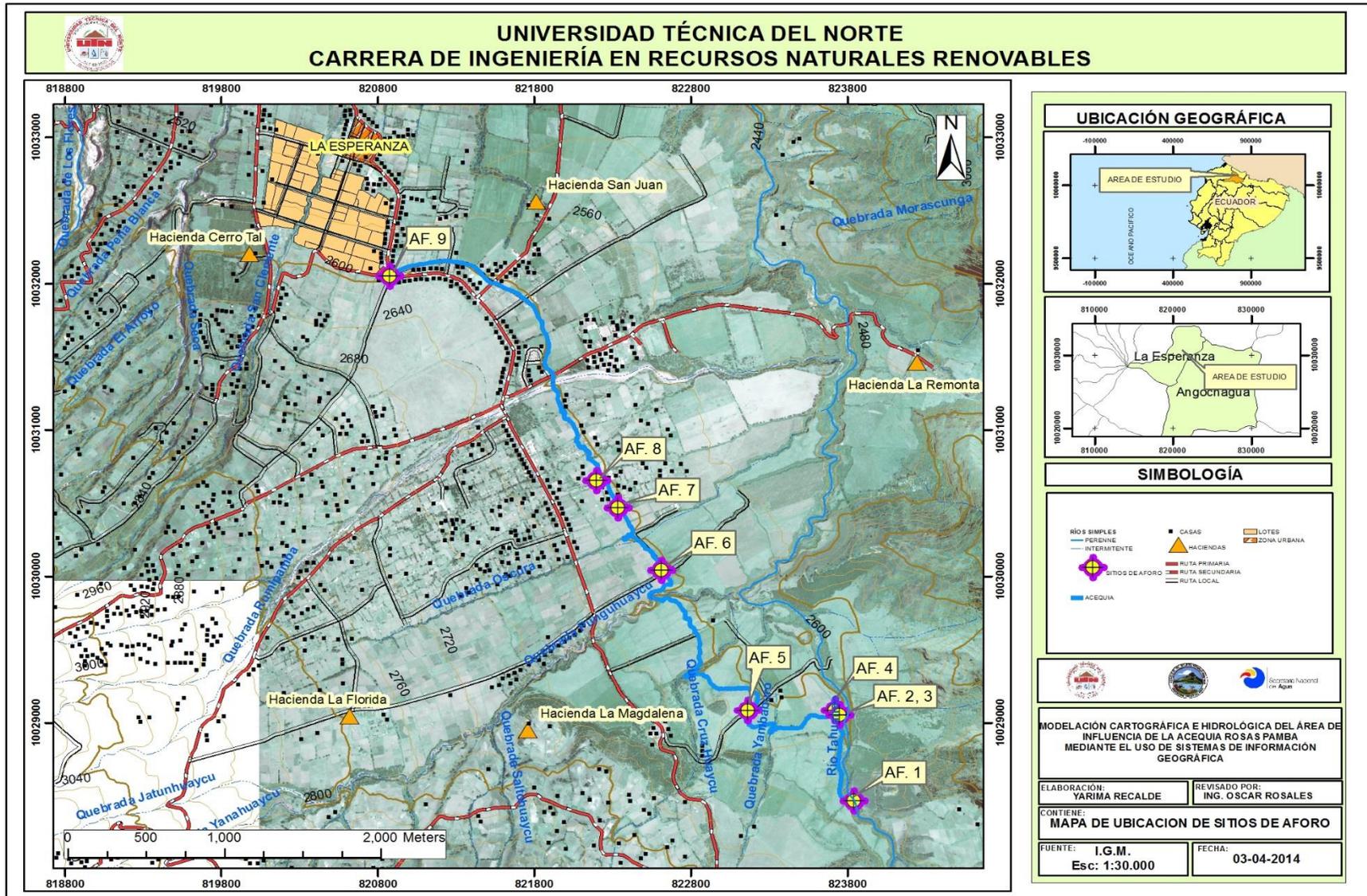
MAPA 10 Hidrología



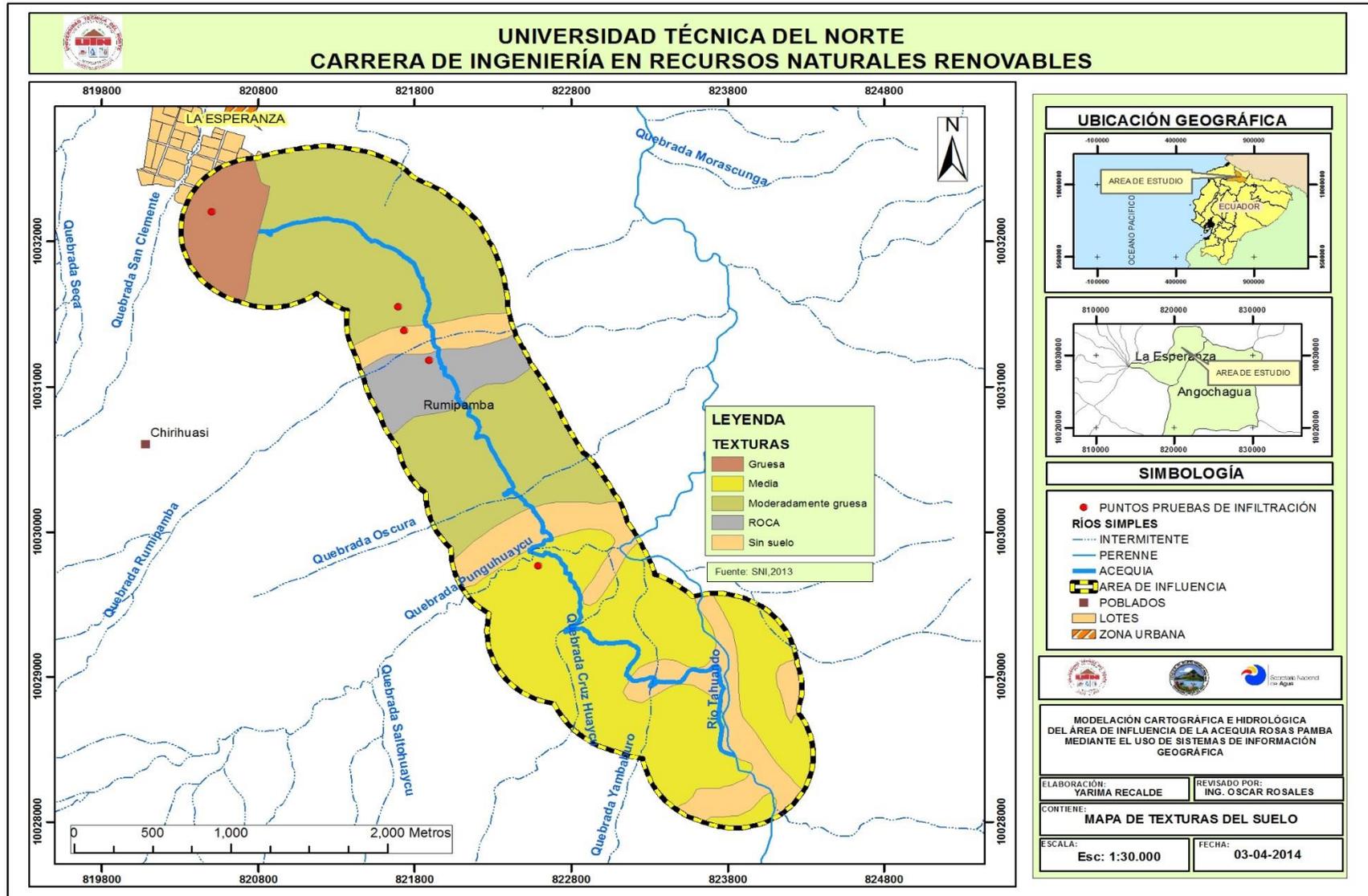
MAPA 11 Tipos de Climas



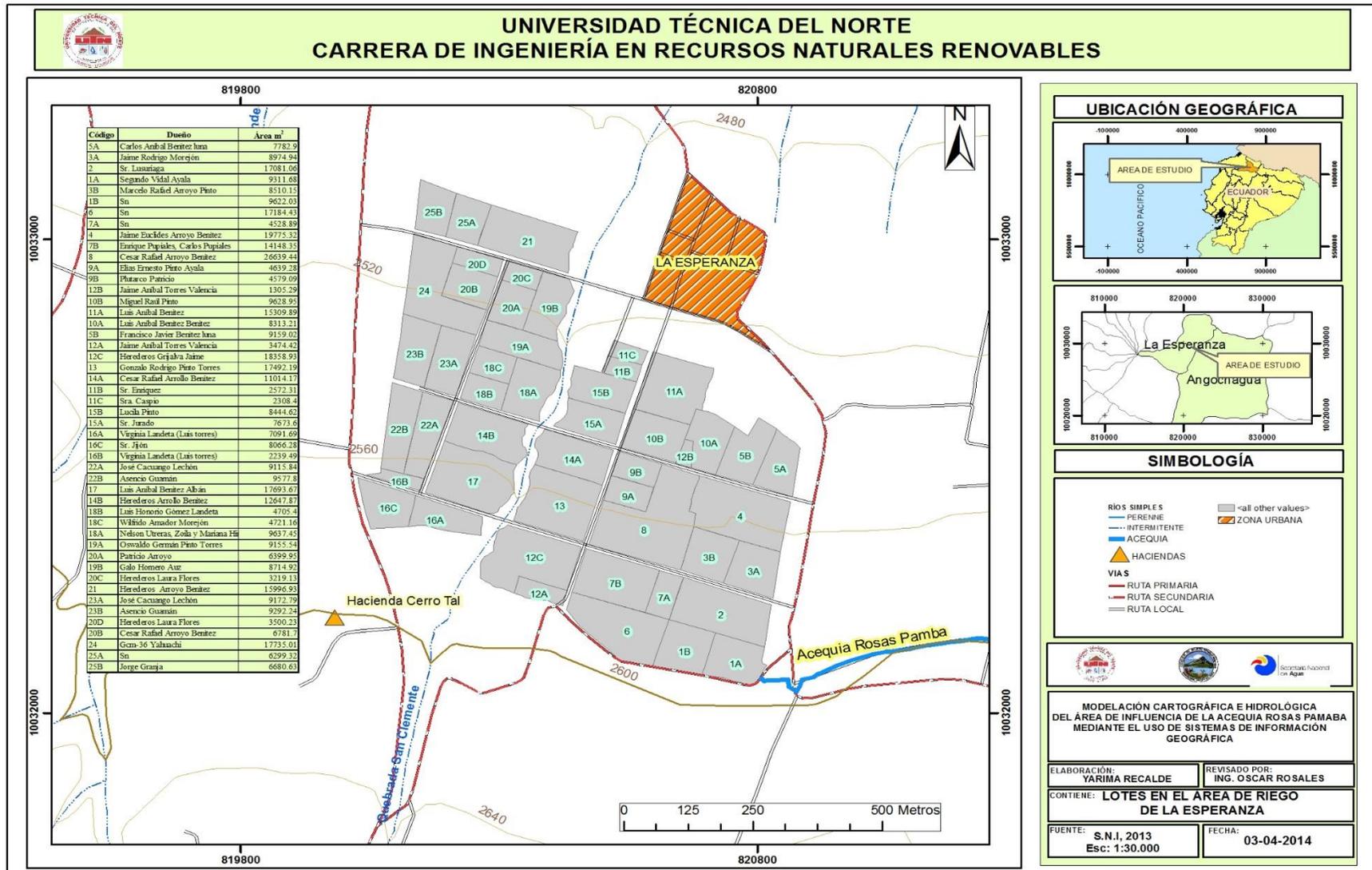
MAPA 12 Ubicación de sitios de aforo



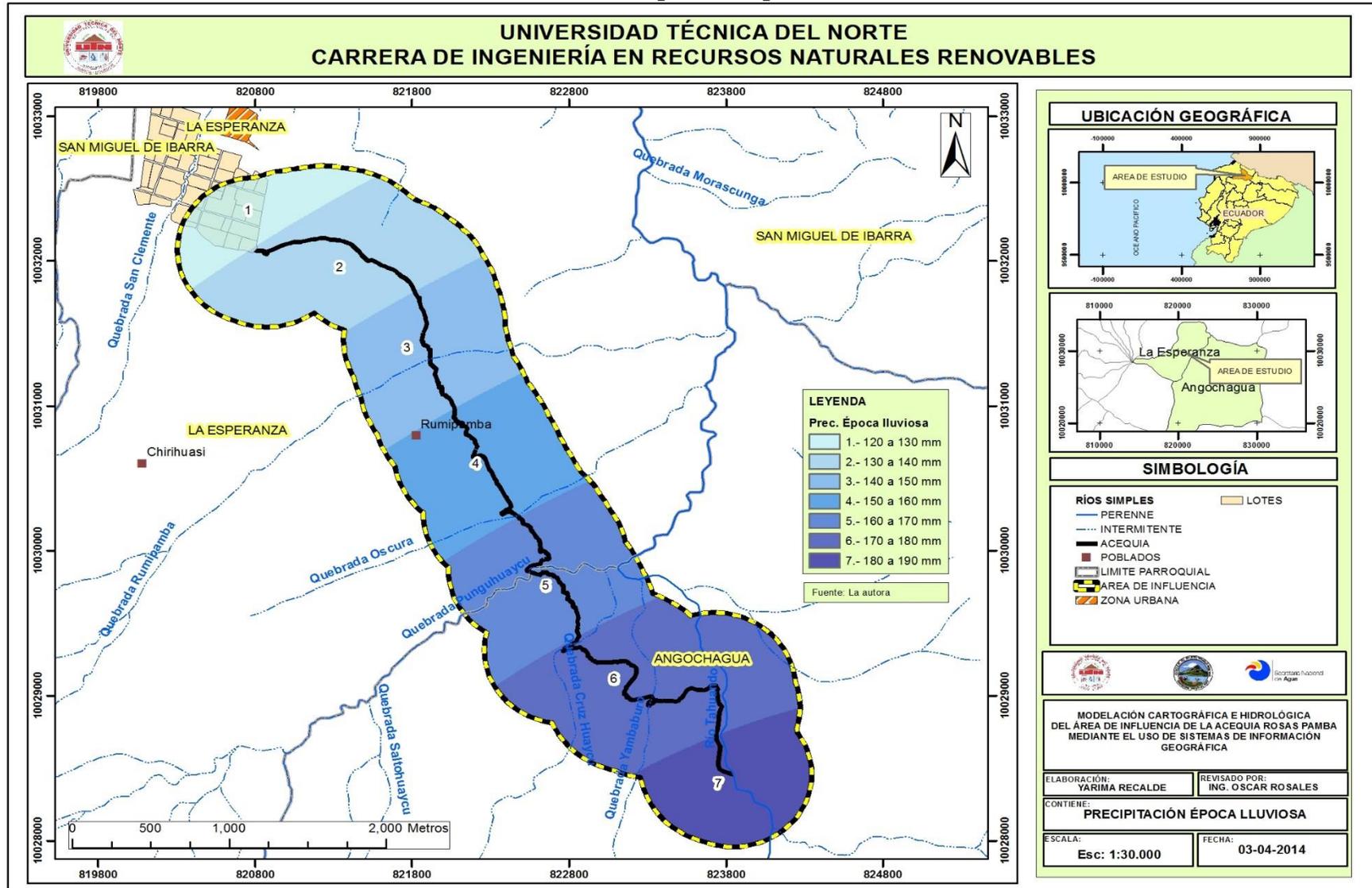
MAPA 13 Texturas del suelo



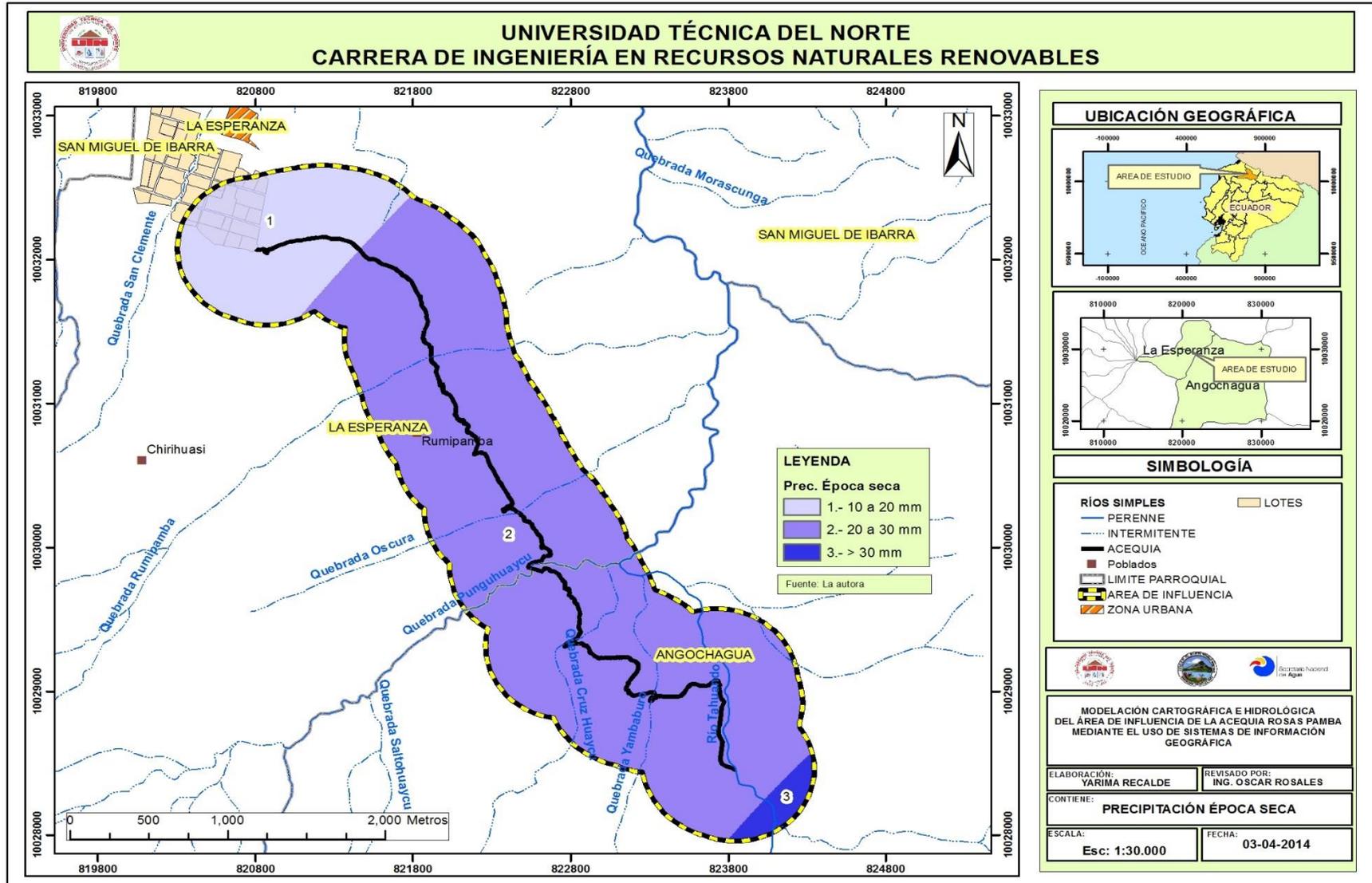
MAPA 14 Lotes en el área de riego de la Esperanza



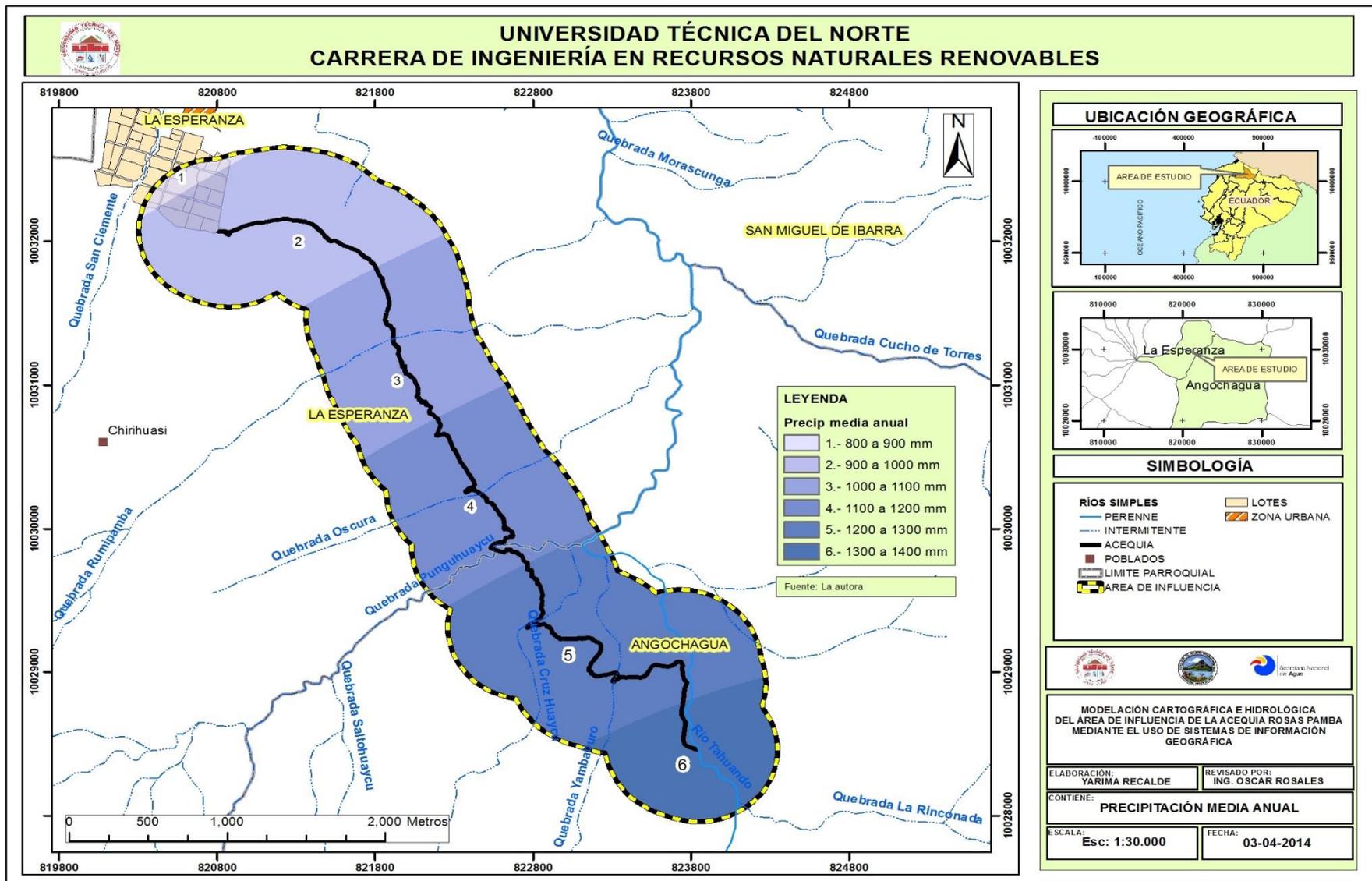
MAPA 15 Precipitación época lluviosa



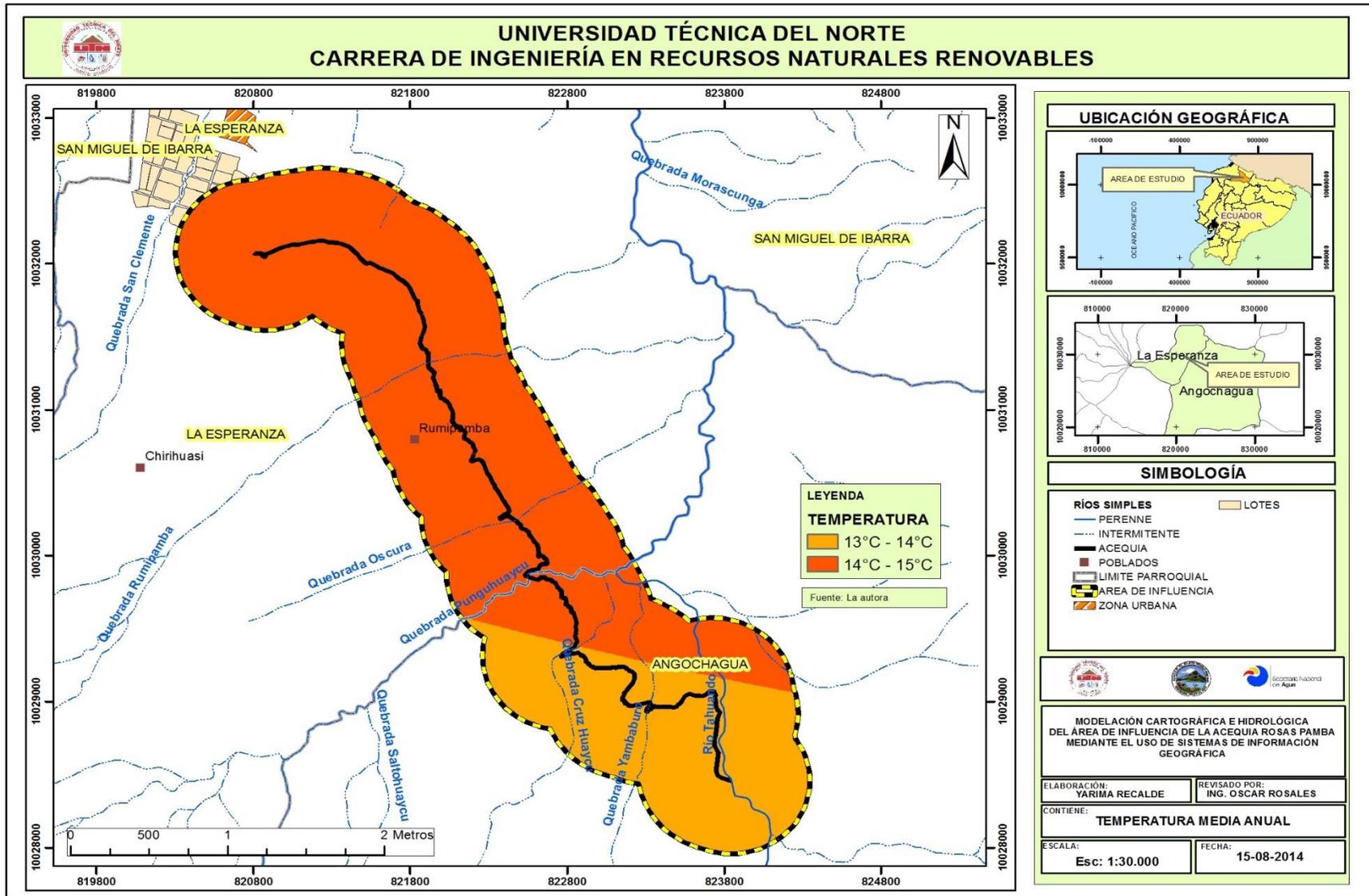
MAPA 16 Precipitación época seca



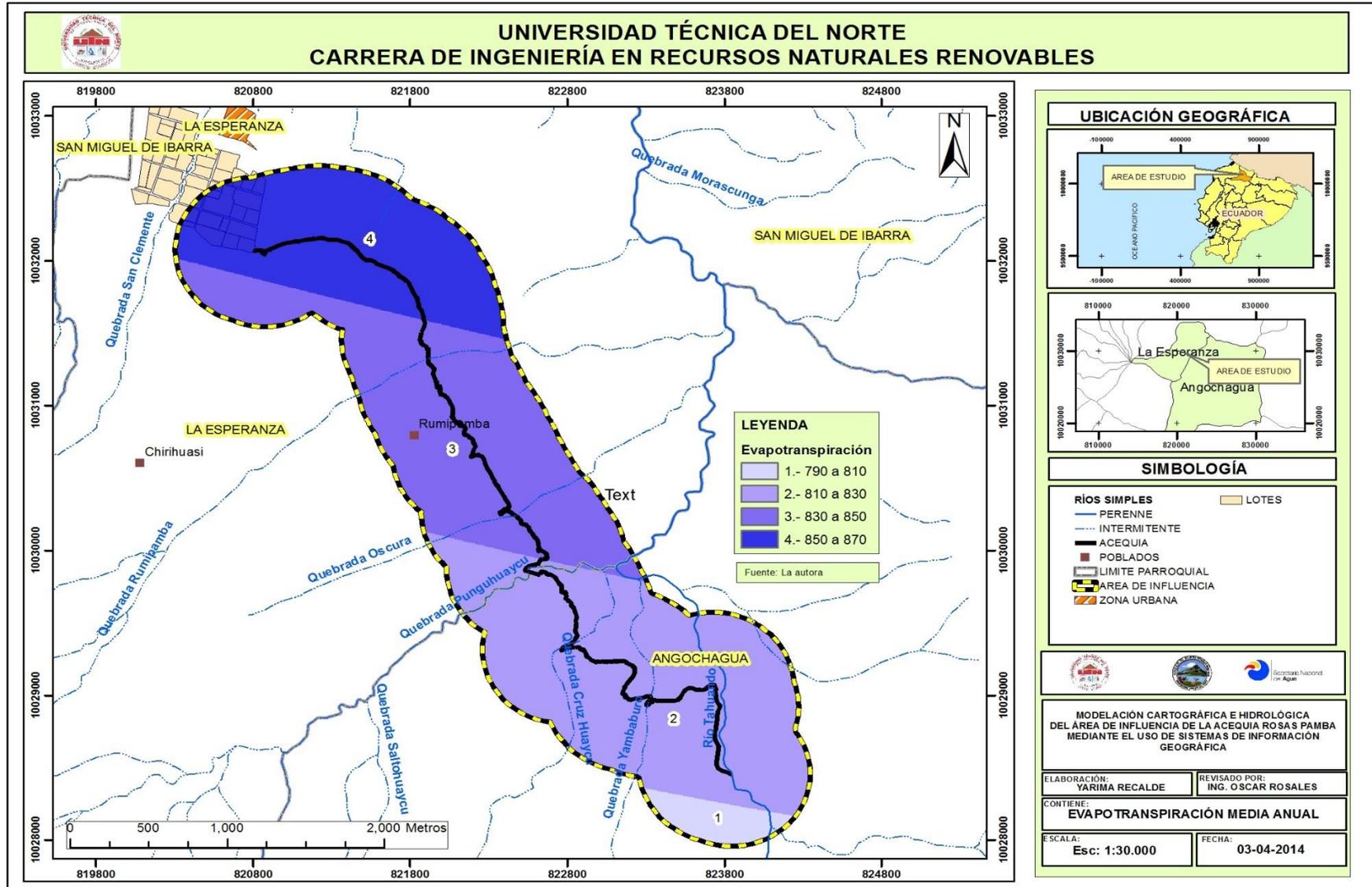
MAPA 17 Precipitación media anual



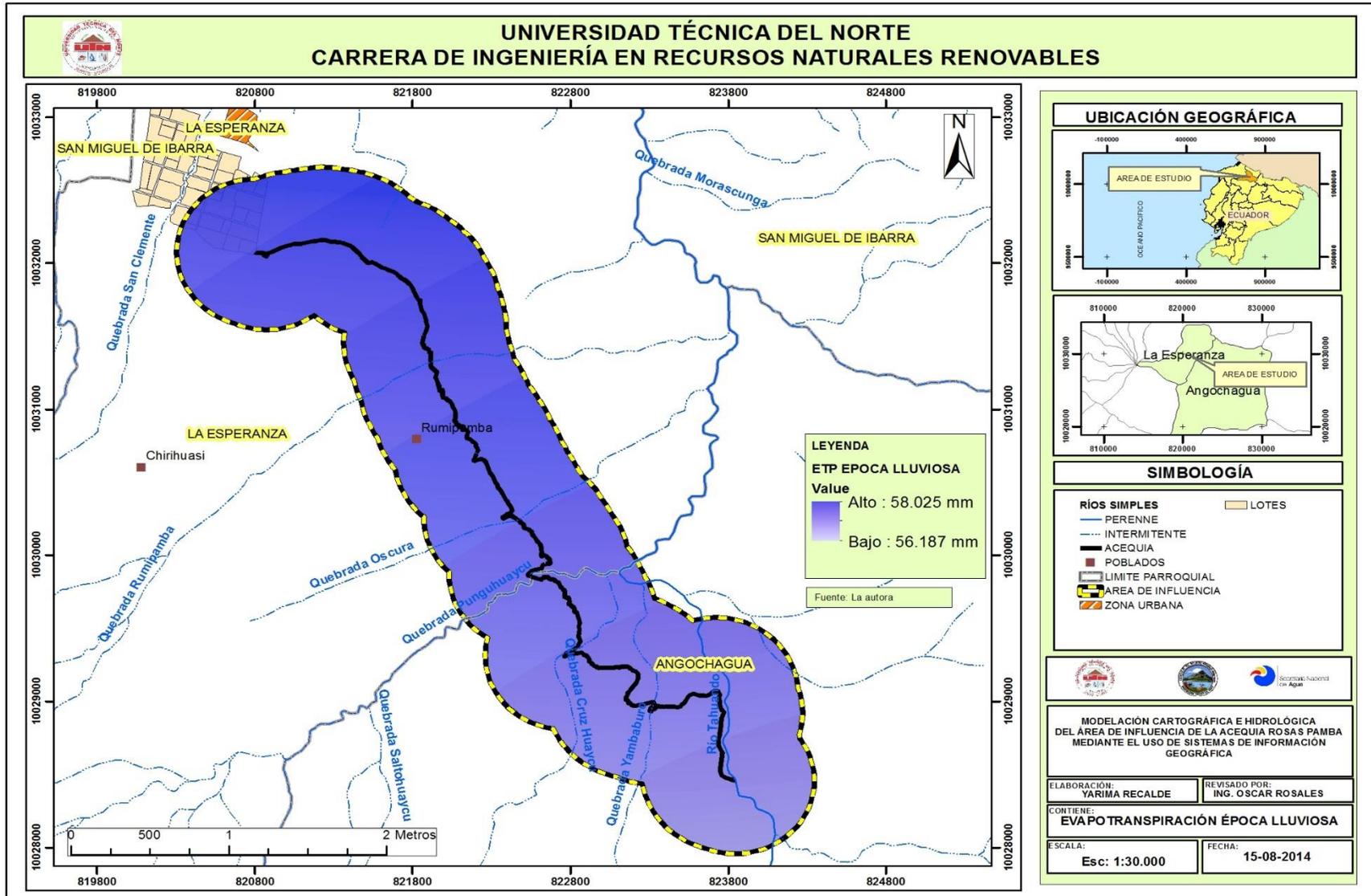
MAPA 18 Temperatura media anual



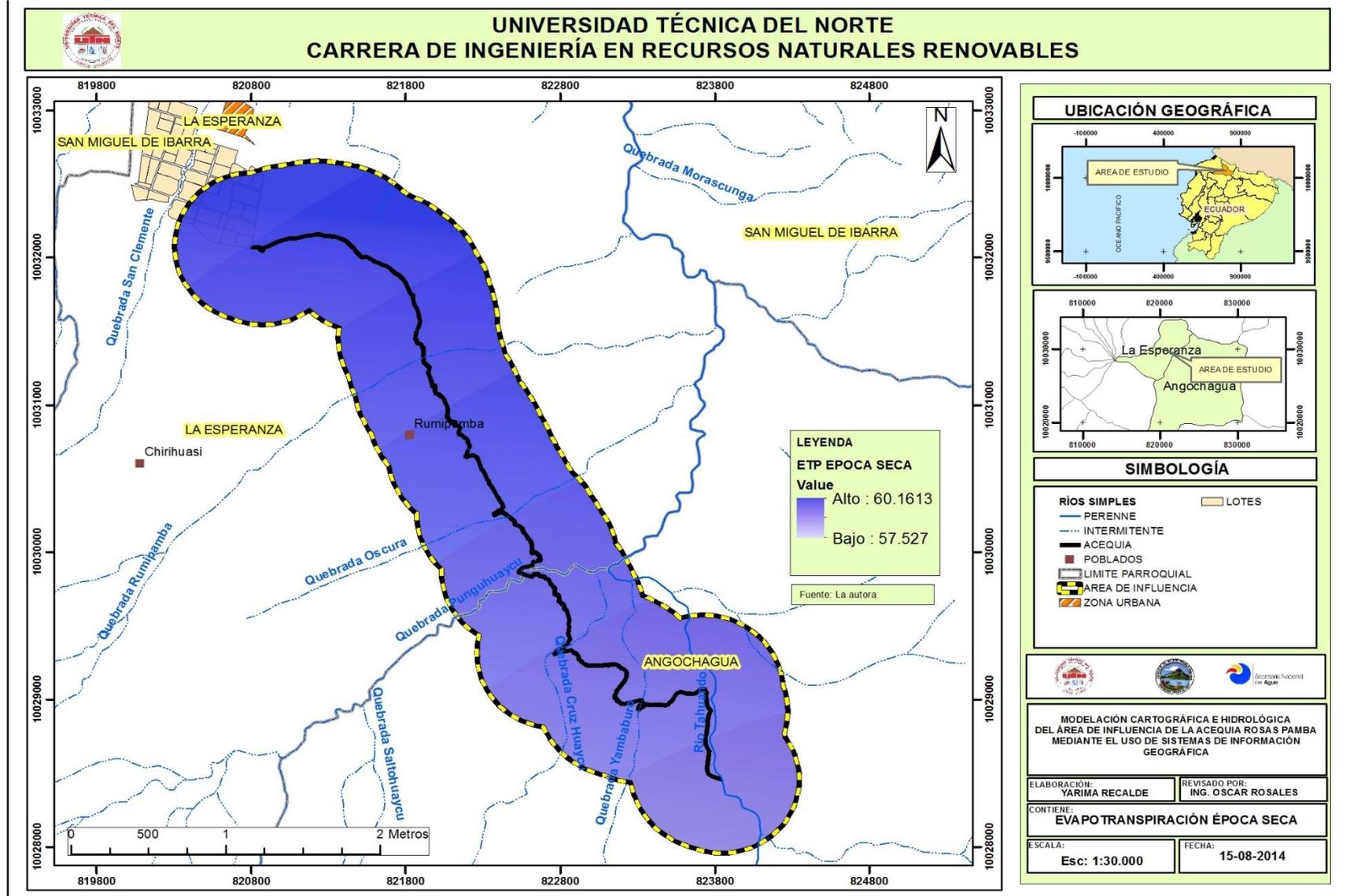
MAPA 19 Evapotranspiración media anual



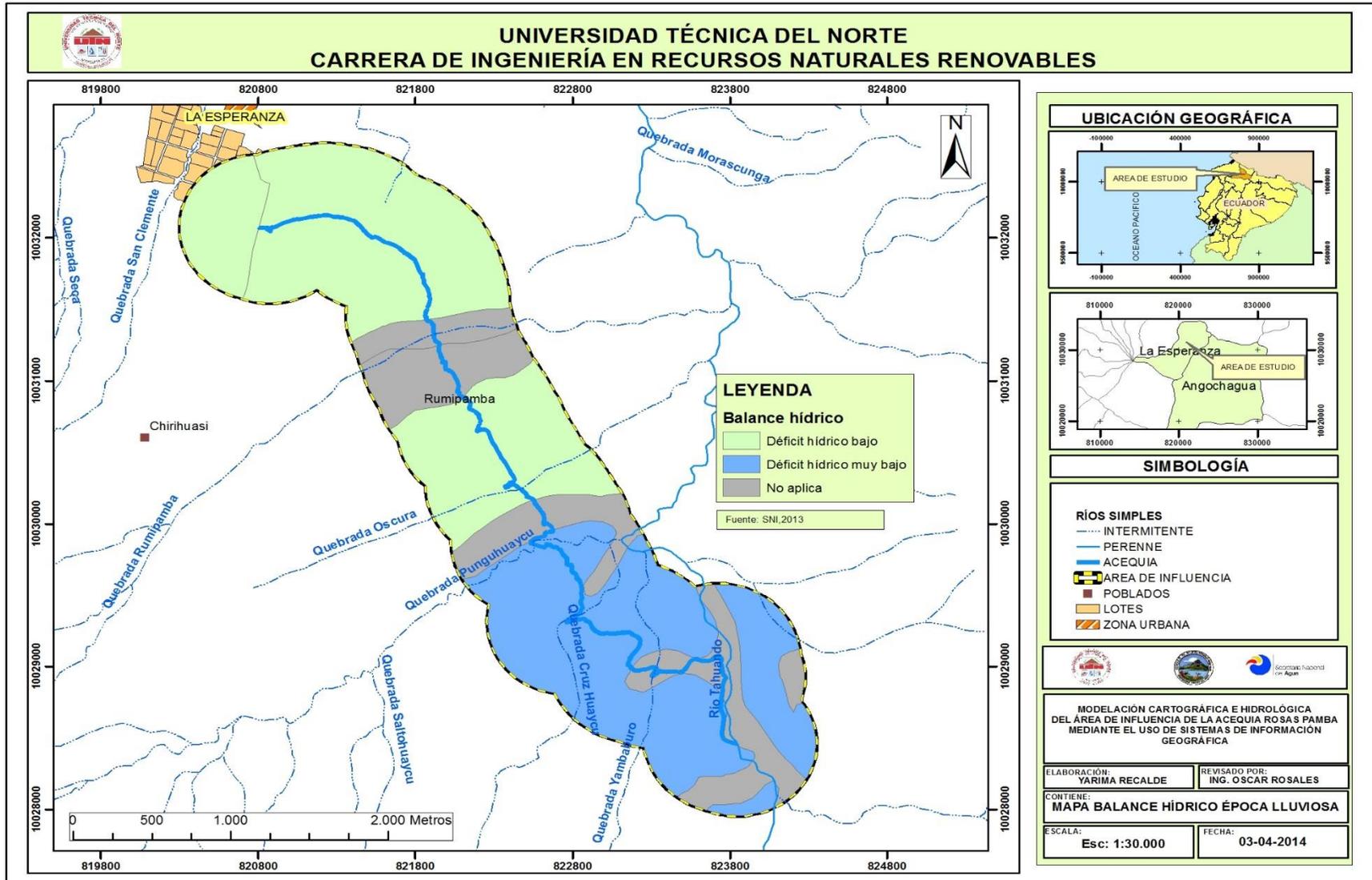
MAPA 20 Evapotranspiración época lluviosa



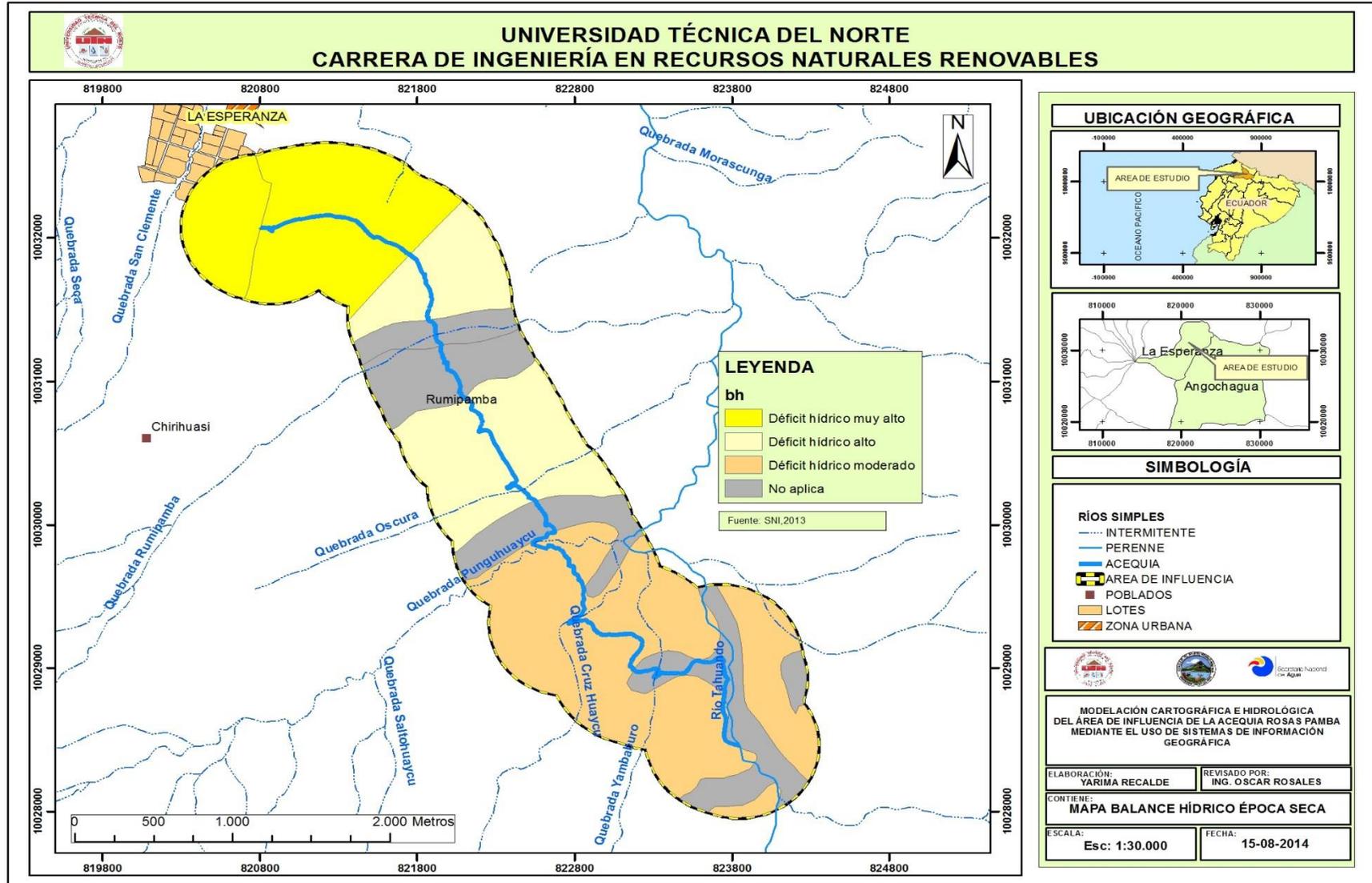
MAPA 21 Evapotranspiración época seca



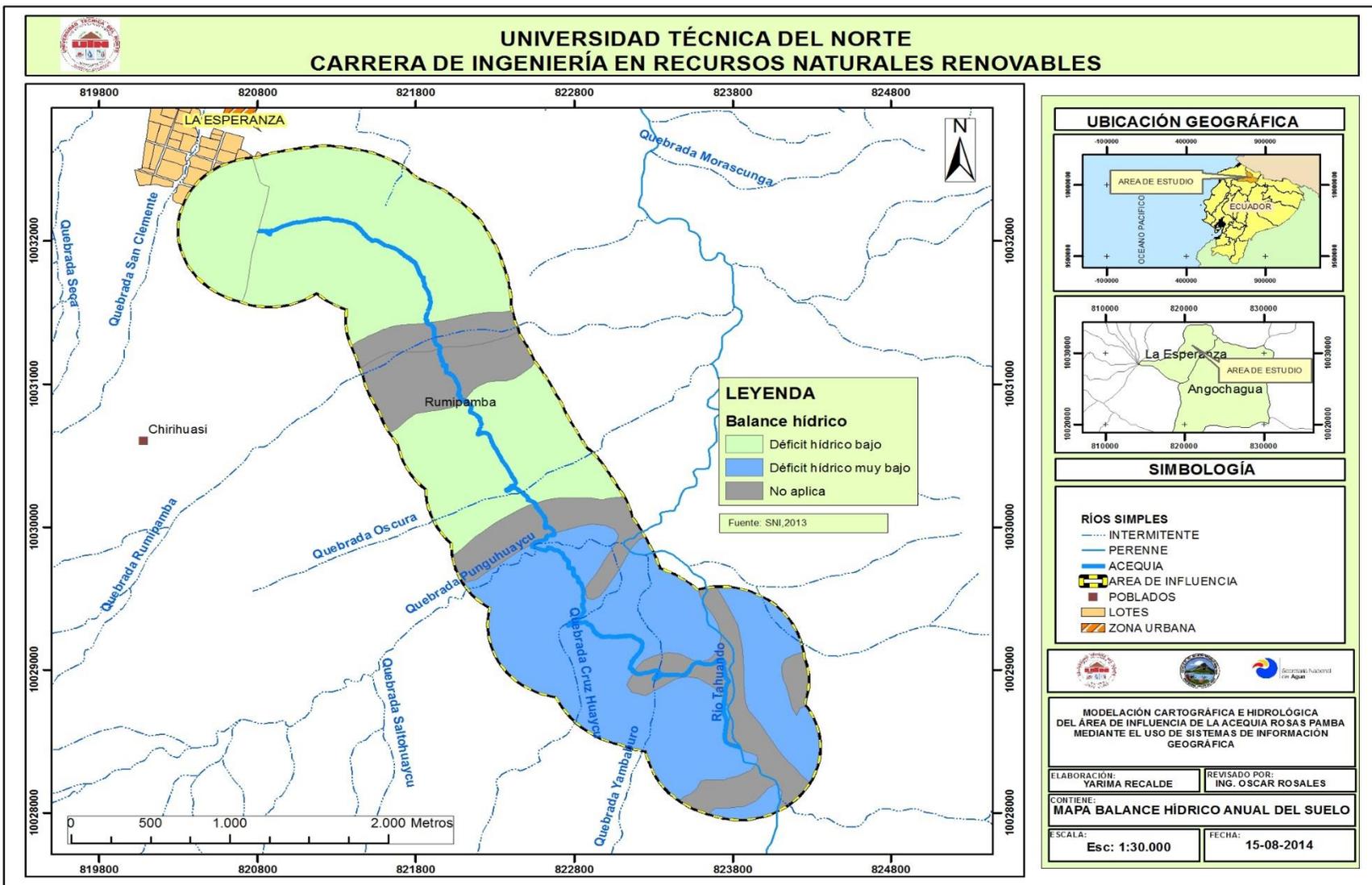
MAPA 22 Balance Hídrico del suelo Época lluviosa



MAPA 23 Balance Hídrico del suelo Época seca



MAPA 24 Balance Hídrico Anual del suelo



ANEXO 2: FICHAS
FICHA 1: CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA

FICHA 1.1 Punto visual 1

CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA

TESIS: Modelación Cartográfica e Hidrológica del Área de Influencia de la Acequia Rosas Pampa

NOMBRE: Yarina Recalde

FECHA: 09-03-14

PUNTO Robledo de la Esperanza	COORDENADA X	COORDENADA Y	ALTITUD msnm	FOTOGRAFÍA 		
	820833	10032074	2608 m			
	AZIMUT 1	AZIMUT 2	PENDIENTE %			
	46°	276°	0-5%			
COMPONENTE ABIÓTICO	GEOLOGÍA		TIPO DE SUELO	TIPO DE CLIMA	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL	TEMPERATURA MEDIA ANUAL
	Volcánicos del Imbabura		Inceptisol	Temperado Subhúmedo	750 a 1000 mm	12 a 15°C
COMPONENTE BIÓTICO	USO DEL SUELO		COBERTURA VEGETAL	FLORA	FAUNA	ZONA DE VIDA
	Cultivo de Pasto Área Suburbana Árboles frutales: Nogal, Níspero, Aguacate		Vegetación arbustiva, árboles dispersos Eucalipto, sauce, ciprés, lechero.	Chilca, Uña de Gato	Aves: Bisecos, palomas, colibrís, pájaro brío, mirlo, huirachuro.	Zona de transición entre Bosque seco Montano Bajo y Bosque húmedo Montano Bajo.
COMPONENTE SOCIOECONÓMICO	POBLADOS		ACTIVIDADES ECONÓMICAS	SERVICIOS BÁSICOS		
	Parroquia La Esperanza		Granjería y Agricultura como cultivos de maíz.	Servicio Eléctrico Alcortel (Rede Teléfono Convencional)		

OBSERVACIONES: _____

FICHA 1.2 Punto visual 2

CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA

TESIS: Modelación Cartográfica e Hidrológica del Área de Influencia de la Acequia Rosas Pampa

NOMBRE: Yarina Recalde

FECHA: 01-03-14

PUNTO Comunidad Rumipamba	COORDENADA X	COORDENADA Y	ALTITUD msnm	FOTOGRAFÍA 		
	822025	10031059	2614			
	AZIMUT 1	AZIMUT 2	PENDIENTE %			
	219°	339°	0-5%			
COMPONENTE ABIÓTICO	GEOLOGÍA		TIPO DE SUELO	TIPO DE CLIMA	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL	TEMPERATURA MEDIA ANUAL
	Volcánicos del Imbabura		Inceptisol	Temperado Subhúmedo	750 a 1100 mm	12 a 15°C
COMPONENTE BIÓTICO	USO DEL SUELO		COBERTURA VEGETAL	FLORA	FAUNA	ZONA DE VIDA
	Cultivo de maíz		Árboles dispersos de Eucalipto	Capulí, Uña de Gato, Chilca, Mora	Aves como patizacos, palomas, huirachuro	El punto caracterizado pertenece al Bosque húmedo Montano Bajo.
COMPONENTE SOCIOECONÓMICO	POBLADOS		ACTIVIDADES ECONÓMICAS	SERVICIOS BÁSICOS		
	Rumipamba		Agricultura	Servicio Eléctrico Teléfono convencional y celular		

OBSERVACIONES: La acequia no tiene flujo de agua, Canal rectangular, El material del canal es de hormigón

FICHA 1.3 Punto visual 3

CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA

TESIS: Modelación Cartográfica e Hidrológica del
Área de Influencia de la Acequia Rosas Parian
 NOMBRE: Yanna Rosalde
 FECHA: 09-03-14

PUNTO	COORDENADA X	COORDENADA Y	ALTITUD (msnm)
Comunidad Rumipamba Alto (Floricala)	822454	10030277	2630
	AZIMUT 1	AZIMUT 2	PENDIENTE %
	352°	222°	0-5%

FOTOGRAFÍA



COMPONENTE ABIÓTICO	GEOLOGÍA	TIPO DE SUELO	TIPO DE CLIMA	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL	TEMPERATURA MEDIA ANUAL
	Volcánicos del Imbabura	Inceptisol	Temperado Subhúmedo	750 a 1100 mm	12 a 15°C
COMPONENTE BIÓTICO	USO DEL SUELO	COBERTURA VEGETAL	FLORA	FAUNA	ZONA DE VIDA
	Siembra de cultivos de ciclo corto como el maíz Pastos cultivados Plantaciones floricales	Pastos cultivados floricales	Árboles dispersos: Lechero, chilca, vegetación de quebradas	Aves como patiseas y palomas	Bosque húmedo Montano Bajo
COMPONENTE SOCIOECONÓMICO	POBLADOS	ACTIVIDADES ECONÓMICAS	SERVICIOS BÁSICOS		
	Rumipamba	Agricultura y floricultura	Servicio eléctrico Agua potable	Teléfono	

OBSERVACIONES: Residuos sólidos en la quebrada oscura

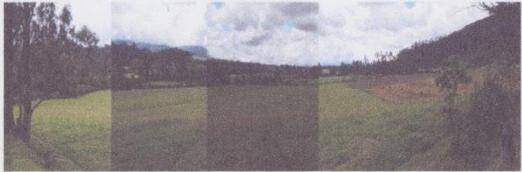
FICHA 1.4 Punto visual 4

CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA

TESIS: Modelación Cartográfica e Hidrológica del
Área de Influencia de la Acequia Rosas Parian
 NOMBRE: Yanna Rosalde
 FECHA: 09-03-14

PUNTO	COORDENADA X	COORDENADA Y	ALTITUD (msnm)
Hacienda La Magdalena	823543	10029030	2635
	AZIMUT 1	AZIMUT 2	PENDIENTE %
	244°	27°	0-5%

FOTOGRAFÍA



COMPONENTE ABIÓTICO	GEOLOGÍA	TIPO DE SUELO	TIPO DE CLIMA	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL	TEMPERATURA MEDIA ANUAL
	Volcánicos del Imbabura	Mellicsol, suborden hapludols	Temperado Húmedo	1000 a 1250 mm	12 a 14°C
COMPONENTE BIÓTICO	USO DEL SUELO	COBERTURA VEGETAL	FLORA	FAUNA	ZONA DE VIDA
	Granjería	Pastos cultivados como kikuyo y Ryegrass blanco	Lechero, colado caballo, iso, corta picos, chin chin silvestre, uña de gato, mora	Aves como nairacchuro, golondrinas y patiseas. Según encuestas en ocasiones se puede observar raposas.	Bosque húmedo Montano Bajo.
COMPONENTE SOCIOECONÓMICO	POBLADOS	ACTIVIDADES ECONÓMICAS	SERVICIOS BÁSICOS		
	Hacienda La Magdalena en la Parroquia Angachagua	Crianza de ganado lechero	Servicio eléctrico Alcantarillado	Teléfono Convencional	

OBSERVACIONES: Cultivos de papa, junto a la acequia en sentido de la pendiente por lo que hay erosión del suelo.

FICHAS 2: FICHAS DE REGISTRO DE AFOROS

FICHA 2.5 Aforo 1

Ficha para el registro de datos de los aforos líquidos superficiales

HOJA REGISTRO DE CAUDALES											
NOMBRE DEL RÍO: Acequia Rosas Pamba, Punto de captación						COORDENADA X:	COORDENADA Y:	ALTITUD msnm			
FECHA: 05/03/14, 06/07/14 Época lluviosa, Época seca						0822843	100284660	2642			
HORA: 15h40						RESPONSABLE: Yanina Recalde			AFORO No: 1		
ORILLA	DIST. MEDICIÓN (m)	PROFUN. (m)	ALT. HÉLICE (m)	REVOL. N	TIEMPO (s)	VELOCIDAD (m/s)	VEL. MED. (m/s)	PROF. MEDIA (m)	DIF. DIST. (m)	Q (m ³ /s)	Q (L/s)
	0,00	0,13	0				0,46	0,20		0,13	125,07
	0,25	0,19	0,10	33,5	40,15						
	0,50	0,22	0,11	55	40,10						
	0,75	0,28	0,14	57	40,00						
	1,00	0,26	0,13	54	40,00						
	1,25	0,13									
	0,00	0,01					0,17	0,086		0,02	18,05
	0,27	0,10	0,05	18	40,00						
	0,53	0,16	0,08	21	40,00						
			0,08	21	40,60						
	0,70	0,15	0,08	12	40,00					Q=	
			0,08	14	40,00						
	1,07	0,01									

FICHA 2.6 Aforo 2

Ficha para el registro de datos de los aforos líquidos superficiales

HOJA REGISTRO DE CAUDALES											
NOMBRE DEL RÍO: Acequia Rosas Pamba, Antes del desvío natural						COORDENADA X:	COORDENADA Y:	ALTITUD msnm			
FECHA: 03/03/14, 06/07/14 Época lluviosa, Época seca						0822753	10029052	2636			
HORA: 14h40						RESPONSABLE: Yanina Recalde			AFORO No: 2		
ORILLA	DIST. MEDICIÓN (m)	PROFUN. (m)	ALT. HÉLICE (m)	REVOL. N	TIEMPO (s)	VELOCIDAD (m/s)	VEL. MED. (m/s)	PROF. MEDIA (m)	DIF. DIST. (m)	Q (m ³ /s)	Q (L/s)
DI	0,00	0,24	0,12	8	41,40		0,28	0,315		0,12	118,21
DI	0,50	0,38	0,20	33,5	40,15						
DI	1,00	0,36	0,18	43,5	40,05						
DI	1,24	0,28	0,14	8	47,30						
	0,00	0,15					0,07	0,19		0,02	17,09
	0,40	0,17	0,09	9,0	40,00						
			0,09	8,0	40,40						
	0,70	0,24	0,13	15,60	40,00						
	1,00	0,22									
	1,24	0,17								Q=	

FICHA 2.7 Aforo 3

Ficha para el registro de datos de los aforos líquidos superficiales

HOJA REGISTRO DE CAUDALES											
NOMBRE DEL RÍO: Acequia Rosas Pamba, Después de pérdida natural de agua.						COORDENADA X:	COORDENADA Y:	ALTITUD msnm			
FECHA: 09/03/14, 06/07/14 Época lluviosa Época seca						0823753	10029052	2636			
HORA: 14h30						RESPONSABLE: Yanina Recalde			AFORO No: 3		
ORILLA	DIST. MEDICIÓN (m)	PROFUN. (m)	ALT. HÉLICE (m)	REVOL. N	TIEMPO (s)	VELOCIDAD (m/s)	VEL. MED. (m/s)	PROF. MEDIA (m)	DIF. DIST. (m)	Q (m ³ /s)	Q (L/s)
	0,00	0,26					0,15	0,324		0,05	53,57
	0,26	0,36	0,18	17	40,20						
	0,52	0,38	0,19	18	40,20						
	0,78	0,36	0,18	17	40						
	1,05	0,26									
	0,00	0,15					0,07	0,19		0,02	17,09
	0,40	0,17	0,09	9,0	40,00						
			0,09	8,0	40,40						
	0,70	0,24	0,13	15,0	40,00						
	1,00	0,22									
	1,24	0,17									
Q=											

FICHA 2.8 Aforo 4

Ficha para el registro de datos de los aforos líquidos superficiales

HOJA REGISTRO DE CAUDALES												
NOMBRE DEL RÍO: Acequia Rosas Pamba, Aforo con flotador, Desvío artificial						COORDENADA X:	COORDENADA Y:	ALTITUD msnm				
FECHA: 09/03/14, 06/07/14 Época lluviosa Época seca						0823723	10029082	2641				
HORA: 13h43						RESPONSABLE:			AFORO No: 4			
ORILLA	DIST. MEDICIÓN (m)	PROFUN. (m)	ALT. HÉLICE (m)	REVOL. N	TIEMPO (s)	VELOCIDAD (m/s)	VEL. MED. (m/s)	PROF. MEDIA (m)	DIF. DIST. (m)	Q (m ³ /s)	Q (L/s)	
0I	0,00	0,03			3,1	0,41		0,033	2	0,0088	8,89	
0I	0,15	0,04			3,08							
0I	0,30	0,06			3,14							
0I	0,54	0,005			3,13							
					3,14							
				T.promedio	3,118							
	0,00	0,01			3,91	0,16		0,021	1	0,0015	1,57	
	0,15	0,04			3,47							
	0,30	0,03			4,45							
	0,40	0,007			3,97							
Q=												
					3,85							
					T.promedio	3,85						

FICHA 2.9 Aforo 5

Ficha para el registro de datos de los aforos líquidos superficiales

HOJA REGISTRO DE CAUDALES											
NOMBRE DEL RÍO: Acequia Rosas Pamba, Molinete y Atoador, Camino hacia Hacienda Rosas						COORDENADA X:		COORDENADA Y:		ALTITUD msnm	
FECHA: 09/03/14 06/07/14 Época lluviosa Época seca						0823167		10029084		2634	
HORA: 09h15						RESPONSABLE: Yajimo Recalde				AFORO No: 5	
ORILLA	DIST. MEDICIÓN (m)	PROFUN. (m)	ALT. HÉLICE (m)	REVOL. N	TIEMPO (s)	VELOCIDAD (m/s)	VEL. MED. (m/s)	PROF. MEDIA (m)	DIF. DIST. (m)	Q (m³/s)	Q (L/s)
DD	0,00	0,00	0,00				0,17	0,20		0,04	39,06
DD	0,60	0,39	0,30	20,5	40,20						
			0,35	21,5	40,00						
DD	1,20	0,00									
	0,00	0,00			5,6		0,11	0,11	1	0,014	14,48
	0,60	0,21			5,93						
	1,20	0,00			5,13						
					5,53						
					5,65						
T.promedio 5,56										Q=	

FICHA 2.10 Aforo 6

Ficha para el registro de datos de los aforos líquidos superficiales

HOJA REGISTRO DE CAUDALES											
NOMBRE DEL RÍO: Acequia Rosas Pamba, Aforo en Atoador, Rumipamba a 100 m de la Floricela						COORDENADA X:		COORDENADA Y:		ALTITUD msnm	
FECHA: 09/03/14 06/07/14 Época lluviosa Época seca						0822614		10030041		2622	
HORA: 12h05						RESPONSABLE:				AFORO No: 6	
ORILLA	DIST. MEDICIÓN (m)	PROFUN. (m)	ALT. HÉLICE (m)	REVOL. N	TIEMPO (s)	VELOCIDAD (m/s)	VEL. MED. (m/s)	PROF. MEDIA (m)	DIF. DIST. (m)	Q (m³/s)	Q (L/s)
DD	0,00	0,19			10	0,106		0,19	1,7	0,011	11,35
DD	0,28	0,19			10,95						
DD	0,56	0,19			9,72						
					10,11						
					11,02						
					T.promedio 10,36						
DD	0,00	-				Sin flujo de agua					
DD	0,28	-									
DD	0,56	-								0	0
										Q=	

FICHA 2.1 Aforo 7

Ficha para el registro de datos de los aforos líquidos superficiales

HOJA REGISTRO DE CAUDALES											
NOMBRE DEL RÍO: <i>Acaquia Rosas Pamba ; Aforo por el método del flotador ; Florícola</i>											
FECHA:		COORDENADA X:				COORDENADA Y:			ALTITUD msnm		
<i>Época lluviosa 09/03/14</i>		<i>Época seca 06/07/14</i>				<i>0922337</i>			<i>10030469</i>		
HORA:		RESPONSABLE:				AFORO No:					
<i>10h49</i>		<i>Yarima Recalde</i>				<i>7</i>					
ORILLA	DIST. MEDICIÓN (m)	PROFUN. (m)	ALT. HÉLICE (m)	REVOL. N	TIEMPO (s)	VELOCIDAD (m/s)	VEL. MED. (m/s)	PROF. MEDIA (m)	DIF. DIST. (m)	Q (m ³ /s)	Q (L/s)
<i>DI</i>	<i>0,00</i>	<i>0,03</i>			<i>14,91</i>	<i>0,029</i>		<i>0,11</i>	<i>0,6</i>	<i>0,0057</i>	<i>5,74</i>
<i>DI</i>	<i>0,38</i>	<i>0,13</i>			<i>12,31</i>						
<i>DI</i>	<i>0,75</i>	<i>0,26</i>			<i>11,69</i>						
<i>DI</i>	<i>1,15</i>	<i>0,10</i>			<i>12,58</i>						
<i>DI</i>	<i>1,50</i>	<i>0,03</i>			<i>14,46</i>						
				<i>Tiempo promedio</i>	<i>13,19</i>						
<i>DI</i>	<i>0,00</i>	<i>—</i>			<i>—</i>	<i>Sin flujo de agua</i>					
<i>DI</i>	<i>0,38</i>	<i>—</i>			<i>—</i>						
<i>DI</i>	<i>0,75</i>	<i>—</i>			<i>—</i>						
<i>DI</i>	<i>1,15</i>	<i>—</i>			<i>—</i>					<i>0</i>	<i>0</i>
<i>DI</i>	<i>1,50</i>	<i>—</i>			<i>—</i>						
										<i>Q=</i>	

FICHAS 3 : VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN EL SUELO

FICHA 3.12 Infiltración textura gruesa

HOJA DE DATOS: VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN								
Textura: Gruesa	Coordenada x 0820505		Coordenada y 10032200		Altitud: 2590	Fecha: 18/05/14		
HORA					RESPONSABLE			
Lectura	Tiempo	Diferencia de tiempo	Tiempo acumulado	Nivel de agua (cm)	Infiltración (mm)	mm acumulados	Tasa de infiltración	
							mm/min	mm/h
1	0	0	0	29	0	0	0	0
2	1	1	1	25	40	40	40	2400
3	2	1	2	21,5	35	75	35	2100
4	3	1	3	19,3	22	97	22	1320
5	4	1	4	17,2	21	118	21	1260
6	5	1	5	15,5	17	135	17	1020
7	6	1	6	14	15	150	15	900
8	7	1	7	12,5	15	165	15	900
9	8	1	8	11,4	11	176	11	660
10	9	1	9	10,3	11	187	11	660
11	10	1	10	9,3	10	197	10	600
12	0	0	-	23,5	0	-	-	-
13	5	5	15	17,3	62	259	12,4	744
14	15	10	25	9,4	79	338	7,9	474
15	0	0	-	27	0	-	-	-
16	15	5	40	16,2	108	446	7,2	432

FICHA 3.2 Infiltración textura moderadamente gruesa

HOJA DE DATOS: VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN								
Textura: Moderadamente gruesa	Coordenada x 0821696		Coordenada y 10031500		Altitud: 2610	Fecha: 18/05/14		
HORA					RESPONSABLE			
Lectura	Tiempo	Diferencia de tiempo	Tiempo acumulado	Nivel de agua (cm)	Infiltración (mm)	mm acumulados	Tasa de infiltración	
							mm/min	mm/h
1	0	0	0	12	0	0	0	0
2	1	1	1	73,5	15	15	15	900
3	2	1	2	15	15	30	15	900
4	3	1	3	16,3	13	43	13	780
5	4	1	4	17,8	15	58	15	900
6	5	1	5	19	12	70	12	720
7	6	1	6	20	10	80	10	600
8	10	4	10	24	40	120	70	600
9	0	0	-	13	0	-	-	-
10	1	1	11	14	10	134	10	600
11	5	4	15	18,4	44	174	11	660
12	10	5	20	23,3	49	223	9,8	588
13	0	0	-	9	0	-	-	-
14	10	10	30	16,5	75	298	7,5	450
15	20	10	40	23,9	74	372	7,4	444

FICHA 3.14 Infiltración textura sin suelo

HOJA DE DATOS: VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN												
Textura:	Sin suelo		Coordenada x	0821734		Coordenada y	10031400		Altitud:	2611	Fecha:	18/05/14
HORA						RESPONSABLE						
Lectura	Tiempo	Diferencia de tiempo	Tiempo acumulado	Nivel de agua (cm)	Infiltración (mm)	mm acumulados	Tasa de infiltración					
							mm/min	mm/h				
1	0	0	0	1	0	0	0	0				
2	1	1	1	3,5	25	25	25	1500				
3	2	1	2	5	15	35	15	900				
4	3	1	3	6	10	45	10	600				
5	4	1	4	6,6	6	51	6	360				
6	6	2	6	7,7	11	62	5,5	330				
7	8	2	8	9	13	75	6,5	390				
8	10	2	10	10	10	85	5	300				
9	15	5	15	12,5	25	110	5	300				
10	30	15	30	19,7	72	182	4,8	288				
11	0	0	0	9	0	0	-	-				
12	10	10	40	14,4	54	236	5,4	324				

FICHA 3.15 Infiltración textura media

HOJA DE DATOS: VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN												
Textura:	Media		Coordenada x	0822591		Coordenada y	10029300		Altitud:	2615	Fecha:	18/05/14
HORA						RESPONSABLE						
Lectura	Tiempo	Diferencia de tiempo	Tiempo acumulado	Nivel de agua (cm)	Infiltración (mm)	mm acumulados	Tasa de infiltración					
							mm/min	mm/h				
1	0	0	0	3	0	0	0	0				
2	1	1	1	3,2	2	2	2	120				
3	2	1	2	3,1	0	2	0	0				
4	5	3	5	3,3	1	3	0,33	20				
5	10	5	10	3,1	0	3	0	0				
6	20	10	20	3,4	1	4	0,1	6				
7	30	10	30	3,4	0	4	0	0				
8	40	10	40	3,4	0	4	0	0				

FICHA 4 : PROPIETARIOS DE LOTES DE RIEGO EN LA ESPERANZA

Código	Dueño	Área m²
5A	Carlos Aníbal Benítez luna	7782.90
3A	Jaime Rodrigo Morejón	8974.94
2	Sr. Lusuriaga	17081.06
1A	Segundo Vidal Ayala	9311.68
3B	Marcelo Rafael Arroyo Pinto	8510.15
1B	Sn	9622.03
6	Sn	17184.43
7A	Sn	4528.89
4	Jaime Euclides Arroyo Benítez	19775.32
7B	Enrique Pupiales, Carlos Pupiales	14148.35
8	Cesar Rafael Arroyo Benítez	26639.44
9A	Elías Ernesto Pinto Ayala	4639.28
9B	Plutarco Patricio	4579.09
12B	Jaime Aníbal Torres Valencia	1305.29
10B	Miguel Raúl Pinto	9628.95
11A	Luis Aníbal Benítez	15309.89
10A	Luis Aníbal Benítez Benítez	8313.21
5B	Francisco Javier Benítez luna	9159.02
12A	Jaime Aníbal Torres Valencia	3474.42
12C	Herederos Grijalva Jaime	18358.93
13	Gonzalo Rodrigo Pinto Torres	17492.19
14A	Cesar Rafael Arrollo Benítez	11014.17
11B	Sr. Enríquez	2572.31
11C	Sra. Caspio	2308.40
15B	Lucila Pinto	8444.62
15A	Sr. Jurado	7673.60
16A	Virginia Landeta (Luis torres)	7091.69
16C	Sr. Jijón	8066.28
16B	Virginia Landeta (Luis torres)	2239.49
22A	José Cacuango Lechón	9115.84
22B	Asencio Guamán	9577.80
17	Luis Aníbal Benítez Albán	17693.67
14B	Herederos Arrollo Benítez	12647.87
18B	Luis Honorio Gómez Landeta	4705.40
18C	Wilfrido Amador Morejón	4721.16
18A	Nelson Utreras, Zoila y Mariana Hinojosa	9637.45
19A	Oswaldo Germán Pinto Torres	9155.54
20A	Patricio Arroyo	6399.95

19B	Galo Homero Auz	8714.92
20C	Herederos Laura Flores	3219.13
21	Herederos Arroyo Benítez	15996.93
23A	José Cacuango Lechón	9172.79
23B	Asencio Guamán	9292.24
20D	Herederos Laura Flores	3500.23
20B	Cesar Rafael Arroyo Benítez	6781.70
24	Gcm-36 Yahuachi	17735.01
25A	Sn	6299.32
25B	Jorge Granja	6680.63

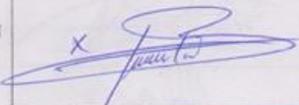
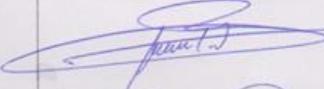
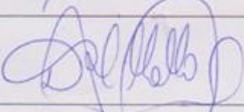
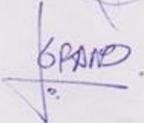
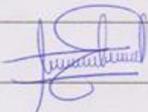
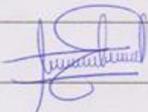
FICHA 5: ACTA RECEPCIÓN DE LAS INVITACIONES A LA SOCIALIZACIÓN





ACTA RECEPCIÓN DE LAS INVITACIONES PARA EL EVENTO DE SOCIALIZACION DE LOS PROYECTOS DE TESIS

"Modelación cartográfica e hidrológica del área de influencia de la acequia Rosas Pamba mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica" y " Plan de Manejo del recurso hídrico de la acequia Rosas Pamba, para fortalecer el plan de ordenamiento territorial de la parroquia La Esperanza, provincia de Imbabura" de las señoritas Yarima Recalde Aza y Nathaly Tixilima Alvear.

Blga. Nathaly Burbano SUB SECRETARIA DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA MIRA	
Lcda. Sandra Chamorro SOCIOLOGA DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA MIRA	
Ing. Juan Orbe TÉCNICO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA MIRA	
Ing. Diego Villalba JEFE DE LA UNIDAD DE GESTIÓN AMBIENTAL GAD-IBARRA	
Ing. Jorge Granja PRESIDENTE DE LA JUNTA DE REGANTES DE LA ACEQUIA ROSAS PAMBA.	
Sr. Rafael Arroyo BENEFICIARIO DE LA ACEQUIA ROSAS PAMBA	
Presidente del GAD Parroquial La Esperanza	
Presidente del GAD Parroquial Angochagua	
Propietario de la Florícola Fiesta Flowers	

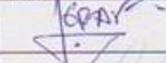
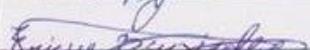
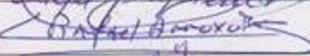
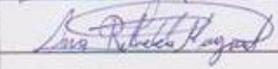
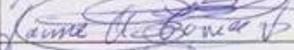
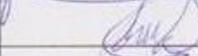


Propietario Hacienda la Magdalena	
Ing. Oscar Rosales DIRECTOR DE TESIS	
Ing. Tania Oña ASESORA	
Ing. Mónica León ASESORA	
Ing. Elizabeth Velarde ASESORA	

Ing. ...	

**FICHA 6: REGISTRO DE ASISTENCIA AL EVENTO DE
SOCIALIZACIÓN**

REGISTRO DE ASISTENTES

NOMBRE	FIRMA
Jorge Granja	
Fidel Castro	
Elza Molina	
Vidal Ayala	
Enrique Tujales	
Rafael Arroyo	
Ana Rebeca Mayoral	
Yabenerman Aug	
Jaime A Correas	
HUGO Valle	
Oscar Rosales	
Mishell Chamorro	
Yarima Recalde	
Nathalie Tixilimz Alvar	

ANEXO 3 FOTOGRAFÍAS

FASE DE CAMPO



Fotografía 1 Zona baja del área de influencia de la acequia



Fotografía 2 Quebrada Seca



Fotografía 3 Cultivos de maíz (*Zea mays*)



Fotografía 4 Canal de hormigón en Rumipamba



Fotografía 5 Pasto cultivado en la Hacienda La Magdalena



Fotografía 6 Parte alta del área de influencia



Fotografía 7 Corta picos (*Bomarea hirsuta*)



Fotografía 8 Chin Chin Silvestre (*Senna multiglandulosa*)

AFOROS ÉPOCA LLUVIOSA



Fotografía 9 Preparación de los equipos



Fotografía 10 Punto aforo 1



Fotografía 11 Punto aforo 2 y 3



Fotografía 12 Punto aforo 4



Fotografía 13 Punto aforo 5, desborde de agua.



Fotografía 14 Punto de aforo 6



Fotografía 15 Punto de aforo 7



Fotografía 16 Punto 8

AFOROS ÉPOCA SECA



Fotografía 17 Punto aforo 1



Fotografía 18 Punto aforo 2 y 3



Fotografía 19 Punto aforo 4



Fotografía 20 Punto aforo 5



Fotografía 21 Punto de aforo 6



Fotografía 22 Punto de aforo 7



Fotografía 23 Punto 8



Fotografía 24 Descarga de aguas residuales en la parte baja de la acequia durante la época seca.

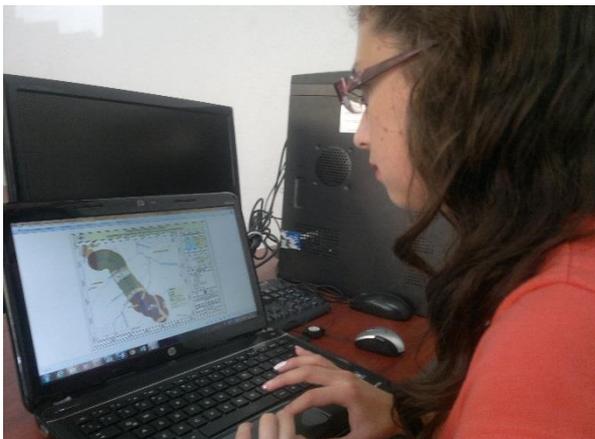


Fotografía 25 Prueba infiltración textura gruesa

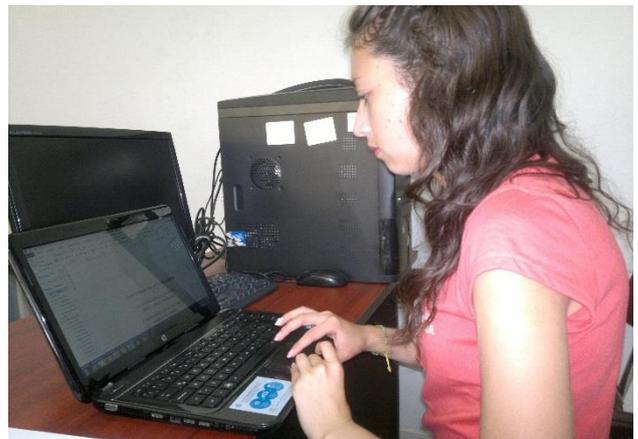


Fotografía 26 Prueba infiltración textura moderadamente gruesa

FASE DE LABORATORIO



Fotografía 27 Elaboración de cartografía



Fotografía 28 Redacción del informe final

SOCIALIZACIÓN



Fotografía 29 Exposición de los resultados del proyecto



Fotografía 30 Intervención de los beneficiarios de la acequia