



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL DE
LA MICROCUENCA DEL RÍO PISQUE Y SU INCIDENCIA EN LA
PRODUCCIÓN DE AGUA, EN LA PROVINCIA DE IMBABURA”**

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

Autora: Jennifer Natalí Salazar García

Director: Ing. Oscar Armando Rosales Enríquez

Ibarra, diciembre de 2015



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PISQUE Y SU INCIDENCIA EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA, EN LA PROVINCIA DE IMBABURA”

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

INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Ing. Oscar Rosales MSc.
DIRECTOR

.....
FIRMA

Ing. Elizabeth Velarde
ASESOR

.....
FIRMA

Ing. Xavier Zapata MSc.
ASESOR

.....
FIRMA

Phd. Germán Martín
ASESOR

.....
FIRMA



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:	100326941-0		
Apellidos y nombres:	Salazar García Jennifer Natalí		
Dirección:	Sector Hda. Chorlaví, Calle Alonso Tobar S/N, junto al Rancho San José		
E-mail:	jennifer.salgar@hotmail.com		
Teléfono fijo:	062-933-555	Teléfono Móvil:	0980206254 0996148658

DATOS DE LA OBRA	
Título	“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PISQUE Y SU INCIDENCIA EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA, EN LA PROVINCIA DE IMBABURA”
Autora	Salazar García Jennifer Natalí
Fecha	2015/diciembre/18
Programa	PREGRADO
Título por el que opta	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
Director	Ing. RNR. Oscar Rosales. MSc.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, **Jennifer Natalí Salazar García**, con cedula de identidad **100326941-0**, en calidad de autora 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 Tecnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y el uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior, Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y será en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 21 días del mes de diciembre de 2015

Aceptación

Jennifer Natalí Salazar García
AUTORA

Ing. Betty Chávez
JEFE DE BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

Yo, **JENNIFER NATALÍ SALAZAR GARCÍA**, con cédula de identidad Nro. **100326941-0**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autora de la obra o trabajo de grado denominado: **“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PISQUE Y SU INCIDENCIA EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA, EN LA PROVINCIA DE IMBABURA”**, 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 21 días del mes de diciembre del 2015

Jennifer Salazar García
C.I: 1003269410

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA – UTN

Fecha: Ibarra, a los 21 días del mes de diciembre de 2015

SALAZAR GARCÍA JENNIFER NATALI. “ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PISQUE Y SU INCIDENCIA EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA, EN LA PROVINCIA DE IMBABURA”.

Trabajo de grado. Ingeniera en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Ibarra. EC. Diciembre 2015. 103 p. 38 p Anexos.

DIRECTOR: *Rosales, Oscar.*

El análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la microcuenca del río Pisque, durante el período 1991 – 2013 determinó que el área de estudio se encuentra en buen estado de conservación y que además existió un proceso de regeneración vegetativa natural de áreas degradadas, por lo que se concluye que la cantidad de caudal en los afluentes del río Pisque, se ven influenciados por la época estacionaria del año (época seca o época lluviosa) así como también por los procesos atmosféricos desarrollados en la cordillera oriental.

Fecha: 22 de diciembre de 2015.

Ing. Oscar Rosales MSc.
DIRECTOR

Jennifer Salazar García
AUTORA

AGRADECIMIENTO

He tomado al amor como pretexto para soñar y a la imaginación para elevar mi alma hasta Dios, elementos que me hacen fuerte. El amor para entregarlo sin limitación a Dios, a mi Familia, a mis amigos y a todos los que están cerca de mí, a la imaginación para doblegar mi timidez y liberar mis pensamientos.

Quiero agradecer primeramente a Dios por iluminarme, a mis padres Hugo y Vicky por su amor y apoyo en la consecución de mis sueños, por guiarme en esto que se llama vida. A mis hermanos Junior, Cinthya y Génesis, y a mi cuñada Naty por su apoyo moral en los momentos de flaqueza.

Quiero agradecer también a los docentes de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables por su participación en mi formación académica, un agradecimiento especial a mi Director de Trabajo, Ing. Oscar Rosales, por el apoyo incondicional durante toda mi vida estudiantil y durante el desarrollo del presente trabajo, a mis tutores: Ing. Elizabeth Velarde, Ing. Juan Varela, Ing. Eduardo Gordillo, Ing. Xavier Zapata y PhD. Germán Martín, por la asesoría brindada para una mejor calidad de la obra.

Al equipo de Fiscalización de los Estudios del Proyecto Multipropósito Puruhanta – Pimampiro Yahuarcocha, por la apertura que me brindaron para participar en calidad de tesista en el proyecto.

A mis amigos y compañeros, por haber llenado a esta etapa que ha culminado, de momentos memorables llenos de confianza y complicidad, logrando que estos 5 años de carrera fueran más llevaderos y provocando que tuviera el coraje para enfrentarme a cosas, que antes me hubieran hecho bajar la cabeza.

Jennifer Salazar García

DEDICATORIA

Con todo mi cariño, mi amor y mi eterno agradecimiento dedico este trabajo a las personas que han estado constantemente apoyándome para la realización de mis sueños. A mis padres Hugo y Vicky, y a mis hermanos Junior, Cintya y Génesis, y a mi cuñada Natica.

INDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS	3
1.1.1. Objetivo general	3
1.1.2. Objetivos específicos.....	3
1.2. PREGUNTAS DIRECTRICES.....	4
CAPÍTULO II	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. MARCO LEGAL	5
2.1.1. Constitución de la República del Ecuador 2008	5
2.1.2. Ley de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua.....	6
2.1.3. Ley forestal y de conservación de áreas naturales	7
2.1.4. Plan Nacional del Buen Vivir 2013 - 2017	7
2.1.5. Plan de ordenamiento territorial del cantón Pimampiro.....	8
2.2. CUENCAS HÍDRICAS	9
2.2.1. Definición.....	9
2.2.2. Tipos de cuencas	10
2.2.3. División y partes de una cuenca hidrográfica	10
2.2.4. Características geomorfológicas.....	11
2.2.4.1. Tipos de parámetros morfológicos de la cuenca. (BURBANO, F. 2006)	12
a) Parámetros de forma.....	12
b) Parámetros de relieve	13
c) Parámetros relativos a la red hidrográfica.....	15
2.2.5. Servicios ambientales que ofrecen las microcuencas.....	17
2.2.5.1. Servicios de provisión	17
2.2.5.2. Servicios de regulación	18
2.2.5.3. Servicios culturales	18
2.2.5.4. Servicios de soporte	18
2.2.5.5. Servicios ambientales hídricos	18
2.2.6. Riegos y amenazas para las cuencas	19
2.3. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS CUANDO NO EXISTEN DATOS	20

2.3.1.	Estimación de precipitación cuando no existen estaciones pluviométricas en el área de estudio.....	20
2.3.1.1.	Método del promedio aritmético	20
2.3.1.2.	Método de las isoyetas	21
2.3.2.	Estimación de caudales cuando no existen datos	21
2.3.2.1.	Método de regionalización homogénea y trazos multidimensionales	21
2.3.2.2.	Método del caudal medio a partir de un mapa de isolíneas.....	22
2.3.2.3.	Cálculo del caudal medio utilizando la ecuación del balance hídrico simplificado	23
2.4.	COBERTURA VEGETAL ASOCIADA A LA PRODUCCIÓN DE AGUA.....	23
2.4.1.	Importancia de la cobertura vegetal	24
2.4.1.1.	Importancia de los bosques	25
2.4.1.2.	Importancia de los páramos.....	25
2.4.1.3.	Importancia de los pastizales.....	26
2.4.1.4.	Importancia de los matorrales	26
2.4.2.	Importancia de analizar la cobertura vegetal.....	26
2.5.	USO DEL SUELO Y DEFORESTACIÓN.....	26
2.6.	MODELAMIENTO HIDROLÓGICO SWAT	27
2.6.1.	Fase terrestre del ciclo hidrológico	27
2.6.2.	Fase de enrutamiento del ciclo hidrológico.....	27
2.7.	MODELAMIENTO HIDROLÓGICO CON EL SOFTWARE HEC-HMS.....	28
CAPÍTULO III.....		29
3.	METODOLOGÍA	29
3.1.	MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1.1.	Materiales y equipos.....	29
3.1.1.1.	Fase de campo	29
3.1.1.2.	Fase de laboratorio	29
3.1.2.	Métodos.....	30
3.2.	ELABORACIÓN DE LA LÍNEA BASE	31
3.2.1.	Parámetros morfométricos de la microcuenca	31
3.2.2.	Caracterización de la microcuenca.....	31
3.2.3.	Datos de precipitación.....	32
a)	Método de polígonos de Thiessen.....	32
b)	Método de las isoyetas con el método estadístico “Spline”	32
c)	Método de las isoyetas con el método estadístico “Kriging”	33

d) Método de polígonos de Thiessen modificado.....	33
3.2.4. Datos de temperatura.....	34
3.2.5. Datos de aforos.....	34
3.2.5.1. Regionalización hidrométrica por el método de los trazos multidimensionales	35
3.2.5.2. Estimación de caudales por el método de regresión lineal múltiple	36
3.3. IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE COBERTURA VEGETAL PARA LOS PERÍODOS 1991, 1999 Y 2013.....	36
3.3.1. Tratamiento de las imágenes	36
3.3.2. Obtención de índices de vegetación	36
3.3.3. Verificación y validación de las coberturas	37
3.3.4. Análisis multitemporal de la cobertura vegetal.....	37
3.4. ELABORACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO DE LA MICROCUENCA.....	38
3.4.1. Modelamiento de arrastre de sedimentos con la herramienta SWAT de ArcGIS	38
3.4.1.1. Variables de uso de suelo	38
3.4.1.2. Variables de clima.....	42
3.4.2. Modelamiento de la producción de agua de la microcuenca mediante la calculadora raster.....	46
3.4.2.1. Cálculo de la ETP por el método de Holdridge.....	47
3.4.2.2. Cálculo de la ETP por el método de Turc	48
3.4.2.3. Cálculo de la ETP por el método de Thornthwaite	48
3.4.3. Modelamiento del caudal superficial máximo aplicando el software HEC-HMS	49
CAPÍTULO IV	52
4 RESULTADOS Y DISCUSIONES	52
4.1. LINEA BASE.....	52
4.1.1. Parámetros morfométricos de la microcuenca	52
4.1.2. Caracterización Biofísica	55
4.1.2.1. Ubicación	55
4.1.2.2. Caracterización física	55
a) Climatología.....	55
• Precipitación.....	55
• Temperatura	56
b) Geomorfología	57
4.1.2.3. Caracterización biótica.....	58
a) Descripción de flora y vegetación.....	58

4.1.3.	Datos de precipitación.....	61
4.1.3.1.	Ecuaciones de correlación.....	61
4.1.3.2.	Tablas de precipitaciones	63
4.1.3.3.	Método de los polígonos de Thiessen	63
4.1.3.4.	Método de las isoyetas con “Spline”	65
4.1.3.5.	Método de las isoyetas con “Kriging”	65
4.1.3.6.	Método de los polígonos de Thiessen modificado	66
4.1.4.	Datos de Temperatura	69
4.1.5.	Datos de aforos.....	69
4.1.5.1.	Regionalización hidrométrica por el método de los trazos multidimensionales	69
4.1.5.2.	Estimación de caudales por el método de regresión lineal múltiple	73
4.2.	IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE COBERTURA VEGETAL	74
4.2.1.	Obtención de los índices de vegetación	74
4.2.2.	Verificación y validación de la cobertura vegetal	76
4.2.3.	Análisis multitemporal de la cobertura vegetal.....	78
4.3.	MODELAMIENTO HIDROLÓGICO.....	80
4.3.1.	Modelamiento hidrológico con ArcSWAT	80
4.3.2.	Modelamiento hidrológico con imágenes raster de dirección y acumulación de flujo	82
4.3.3.	Modelamiento hidrológico del caudal máximo con HEC-HMS	86
CAPÍTULO V		92
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
5.1.	CONCLUSIONES	92
5.2.	RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS		95
GLOSARIO.....		101
ANEXOS.....		105

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Identificación del tipo cuenca a través de la curva hipsométrica	14
Gráfico 2. Delimitación de la microcuenca en base al DEM con resolución de 20 m	44
Gráfico 3. Reclasificación de las capas raster	44
Gráfico 4. Unidades de respuesta hidrológica	45
Gráfico 5. Reporte de datos en la interface ArcSWAT (2002-01-01 – 2002-12-31)	45
Gráfico 6. Curva Hipsométrica de la microcuenca del río Pisque.....	54
Gráfico 7. Mapa Hidrológico de la Microcuenca del río Pisque	54
Gráfico 8. Promedio de precipitaciones mensuales desde 1963-2013	56
Gráfico 9. Precipitación media anual en la microcuenca del río Pisque	56
Gráfico 10. Temperatura media de la microcuenca del río Pisque.....	57
Gráfico 11. Pendientes de la microcuenca del río Pisque.....	58
Gráfico 12. Trazos multidimensional de la función $f(t)$	71
Gráfico 13. Cobertura vegetal año 1991	75
Gráfico 14. Cobertura vegetal año 1999	75
Gráfico 15. Cobertura vegetal año 2013	76
Gráfico 16. Cambios de la cobertura vegetal en 22 años	80
Gráfico 17. Mapa de recarga hídrica período 1991	84
Gráfico 18. Mapa de recarga hídrica período 2013	85
Gráfico 19. Resumen gráfico del modelamiento hidrológico de la cuenca del río Pisque en intervalos de tiempo de 6 horas, con datos registrados en intervalos de tiempo de 24 horas.	88
Gráfico 20. Resumen gráfico del modelamiento de la cuenca del río Pisque en intervalos de tiempo de 10 min, con datos registrados en intervalos de tiempo de 10 min.....	90

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de ponderaciones para área de la cuenca	12
Tabla 2. Tabla de ponderaciones para coeficiente de compacidad.....	13
Tabla 3 Tabla de ponderaciones para factor forma	13
Tabla 4. Tabla de ponderaciones para relieve del terreno	14
Tabla 5. Ponderaciones para el coeficiente del Fournier	15
Tabla 6. Ponderaciones para la densidad de drenaje	16
Tabla 7 Ponderaciones para el tiempo de concentración.....	17
Tabla 8 Materiales y equipos utilizados en la fase de campo.....	29
Tabla 9. Materiales, equipos y softwares utilizados en la fase de laboratorio.....	30
Tabla 10. Estaciones cercanas a la microcuenca del río Pisque	32
Tabla 11. Estaciones hidrométricas consideradas para la regionalización hidrométrica....	35
Tabla 12. Interpretación de los códigos de los parámetros del shapefile de textura del suelo.	38
Tabla 13. Descripción de los campos del SWAT para el modelamiento del suelo.....	40
Tabla 14. Descripción de los campos del SWAT para el modelamiento de climático.....	42
Tabla 15. Calificación de las capas para elaboración del mapa de recarga hídrica.....	46
Tabla 16. Identificación de la curva número de la microcuenca.	50
Tabla 17. Parámetros morfométricos de la microcuenca del río Pisque	52
Tabla 18. Ubicación de la microcuenca del río Pisque.....	55
Tabla 19. Ecuaciones de correlación. Mariano Acosta vs San Francisco de Sigsipamba. .	61
Tabla 20. Ecuaciones de Correlación. Mariano Acosta vs Olmedo-Pichincha	61
Tabla 21. Ecuaciones de Correlación. Mariano Acosta vs Pimampiro	62
Tabla 22. Ecuaciones de Correlación. Mariano Acosta vs Ibarra-Aeropuerto	62
Tabla 23. Ecuaciones de Correlación. Mariano Acosta vs Zuleta.....	63
Tabla 24. Ecuaciones de Correlación. Mariano Acosta vs La Bonita	63
Tabla 25. Precipitación actual (mm) estimada por el método polígonos de Thiessen.	64
Tabla 26. Precipitación estimada (mm) para 1999 por el método polígonos de Thiessen. 64	
Tabla 27. Precipitación estimada (mm) para 1991 por el método polígonos de Thiessen. 64	
Tabla 28. Precipitación estimada (mm)para 1991 por el método de isoyetas.	65
Tabla 29. Precipitación estimada (mm) para 1999 por el método de isoyetas.	65

Tabla 30. Precipitación estimada (mm) actual por el método de Isoyetas.	65
Tabla 31. Precipitación estimada (mm) para 1991 por el método de isoyetas.	66
Tabla 32. Precipitación estimada (mm) para 1999 por el método de isoyetas.	66
Tabla 33. Precipitación estimada (mm) actual por el método de Isoyetas.	66
Tabla 34. Precipitación actual estimada (mm) por el método polígonos de Thiessen Modificado.	66
Tabla 35. Precipitación estimada (mm) para 1999 por el método polígonos de Thiessen Modificado.	67
Tabla 36. Precipitación estimada (mm) para 2013 por el método polígonos de Thiessen Modificado.	67
Tabla 37. Resumen de los métodos empleados para obtener precipitación media (mm)...	68
Tabla 38. Valores de precipitación media	68
Tabla 39. Temperaturas medias (°C) para los períodos de estudio	69
Tabla 40. Estaciones hidrométricas consideradas para los trazos multidimensionales	70
Tabla 41. Parámetros considerados para los trazos multidimensionales de los drenajes menores de la cuenca del río Pisque	70
Tabla 42. Caudales estimados (m ³ /s) para los drenajes menores de la cuenca del río Pisque del periodo 2013	71
Tabla 43. Caudales estimados (m ³ /s) para los drenajes menores de la cuenca del río Pisque del Período 1999	72
Tabla 44. Caudales estimados (m ³ /s) para los drenajes menores de la cuenca del río Pisque del período 1991	73
Tabla 45. Estadística de la regresión del periodo 2013	73
Tabla 46. Estadística de la regresión del periodo 1999.	73
Tabla 47. Estadística de la regresión del periodo 1991	73
Tabla 48. Análisis de varianza de los periodos 1991, 1999 y 2013	74
Tabla 49. Construcción de la matriz de confusión	77
Tabla 50 Matriz de confusión para validar cobertura vegetal del periodo 1991	77
Tabla 51. Matriz de confusión para validar cobertura vegetal del periodo 2013	78
Tabla 52. Análisis multitemporal la cobertura vegetal de la cuenca del río Pisque.	79
Tabla 53. Correlación entre valores del modelamiento hidrológico para los períodos 1991 y 2013	81
Tabla 54. Resumen mensual del modelamiento hidrológico ArcSWAT	81

Tabla 55. Caudal medio, método Holdridge, período 1991	82
Tabla 56. Caudal medio, método Holdridge, período 1999	82
Tabla 57. Caudal medio, método Holdridge, período 2013	83
Tabla 58. Resumen caudal medio obtenido por el método Holdridge, Turc y Thornthwaite.	83
Tabla 59. Datos empleados para el modelamiento hidrológico HEC-HMS en la microcuenca del río Pisque	86
Tabla 60. Datos utilizados para el modelamiento en el software HEC-HMS	86
Tabla 61. Comportamiento del caudal en diez días de lluvia continua.	88
Tabla 62. Comportamiento del caudal superficial en 4,5 horas de lluvia continua.....	90

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Tabla de precipitaciones estación Ibarra – Aeropuerto.....	105
ANEXO B. Tabla de precipitaciones estación Zuleta.....	106
ANEXO C. Tabla de precipitaciones estación Olmedo-Pichincha.....	107
ANEXO D. Tabla de precipitaciones estación Mariano Acosta.....	108
ANEXO E. Tabla de precipitaciones estación Pimampiro.....	109
ANEXO F. Tabla de precipitaciones estación San Francisco de Sigüipamba.....	110
ANEXO G. Tabla de temperaturas estación Atuntaqui.....	111
ANEXO H. Tabla de temperaturas estación Salinas - Imbabura - INAMHI.....	112
ANEXO I. Tabla de temperaturas estación Otavalo.....	113
ANEXO J. Tabla de temperaturas estación Ibarra - Aeropuerto.....	114
ANEXO K. Tabla de temperaturas estación Olmedo - Pichincha.....	115
ANEXO L. Datos estación hidrológica Chota en Pte. Carretera.....	116
ANEXO M. Datos estación hidrológica Apaqui AJ Chota.....	117
ANEXO N. Datos estación hidrológica Apaqui Gruta de la Paz.....	118
ANEXO O. Datos estación hidrológica Ambi DJ Cariyacu.....	119
ANEXO P. Datos estación hidrológica Apaqui DJ Minas.....	120
ANEXO Q. Aforos del río Palaurcu.....	121
ANEXO R. Aforos río Molinillos (Época Seca).....	122
ANEXO S. Aforos río Molinillos (Época Lluviosa).....	123
ANEXO T. Resultados modelamiento con <i>Raster</i> de dirección y acumulación de flujo 1991.....	124
ANEXO U. Resultados modelamiento con <i>Raster</i> de dirección y acumulación de flujo 1999.....	125
ANEXO V. Resultados modelamiento con <i>Raster</i> de dirección y acumulación de flujo 2013.....	126
ANEXO W. Tabla de Valores para la base de datos User Soils de ArcSwat.....	127
ANEXO X. Tabla de Valores para la base de datos Water Station de ArcSwat de la estación M0023.....	128
ANEXO Y. Valores para generación climática de la estación M0053.....	129
ANEXO Z. Mapa de ubicación.....	130
ANEXO AA. Mapa base.....	131

ANEXO BB. Mapa de parámetros morfométricos	132
ANEXO CC. Mapa de Ubicación de Estaciones Meteorológicas	133
ANEXO DD. Mapa Hidrológico	134
ANEXO EE. Mapa de isoyetas e isotermas año 1991	135
ANEXO FF. Mapa de isoyetas e isotermas año 1999	136
ANEXO GG. Mapa de isoyetas e isotermas año 2013	137
ANEXO HH. Mapa de pendientes	138
ANEXO II. Mapa de cobertura vegetal año 1991	139
ANEXO JJ. Mapa de cobertura vegetal año 1999	140
ANEXO KK. Mapa de cobertura vegetal año 2013	141
ANEXO LL. Mapa de recarga hídrica de la cuenca año 1991	142
ANEXO MM. Mapa de recarga hídrica de la microcuenca 1999	143
ANEXO NN. Mapa de recarga hídrica de la microcuenca año 2013	144
ANEXO OO. Mapa de cambios en la cobertura vegetal	145
ANEXO PP. Mapa de Zonificación Ambiental.....	146

TÍTULO: “ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PISQUE Y SU INCIDENCIA EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA, EN LA PROVINCIA DE IMBABURA”

Autora: Salazar García Jennifer Natalí

Director de Tesis: Ing. RNR Oscar Rosales MSc.

Año: 2015

RESUMEN

La microcuenca del río Pisque se encuentra en las parroquias de Angochagua, Mariano Acosta y San Francisco de Sigsipamba del cantón Pimampiro, provincia de Imbabura. Cubre una superficie de 110 km² distribuidos entre los 2260 y 3920 msnm. El objetivo fue realizar el análisis multitemporal de la cobertura vegetal para conocer los cambios de uso de suelo. Para lograrlo se identificó la incidencia de la pérdida de la cubierta vegetal en los caudales de los afluentes del río Pisque.

Por falta de información hidrometeorológica del área en estudio se emplearon modelos estadísticos y matemáticos para estimar los datos históricos de precipitación, temperatura (°T), evapotranspiración y caudales, entre 1991 y 2013. Se determinó que la precipitación anual para la zona oscila entre los 900 a 1200 mm, la temperatura desciende de 16,6 °C en la parte baja de la cuenca hasta 6,6°C en la parte alta. Además se realizaron aforos en las épocas estacionales del año (seca y lluviosa) para la medición de caudales puntuales.

Para obtener los índices de vegetación y categorías de uso del suelo mediante técnicas de clasificación supervisada se procesaron imágenes satelitales LANDSAT con los softwares ERDAS y ArcGIS. Estas categorías fueron validadas con una matriz de confusión y el cálculo del índice KAPPA. Además se hizo el análisis multitemporal de la vegetación y se calculó la tasa de deforestación de la cuenca.

Los resultados de los modelamientos hidrológicos permitieron identificar la función hidrológica de la cuenca como productora de agua, y se obtuvieron caudales medios y máximos los afluentes del río Pisque. Además, se determinó que la cobertura natural (bosque y páramo) representa 9820 ha, lo que equivale al 93% de la cuenca, y la tasa de deforestación es de -0,82% ha/año. Los resultados indican que, por la intangibilidad del área de estudio, hay regeneración natural de la vegetación. Por lo tanto se concluye que la cuenca del río Pisque tiene un buen estado de conservación, pero se sugiere implementar programas de manejo integral y de conservación por parte del Gobierno Autónomo Descentralizado de Pimampiro para mantener o incrementar esta tendencia.

TITLE: “VEGETATION COVER MULTI-TEMPORAL ANALYSIS OF PISQUE WATERSHED VEGETATION COVER, AND ITS INCIDENCE IN WATER PRODUCTION, IN IMBABURA PROVINCE.”

Author: Salazar García Jennifer Natalí

Thesis Director: Env.E. Oscar Rosales MSc.

Año: 2015

ABSTRACT

The Pisque’s watershed is located in Angochagua, Mariano Acosta, and San Francisco of Sigsipamba parishes, in the Pimampiro county, province of Imbabura. It covers an area of 110 km² distributed between 2260 and 3920 mosl. The objective was to make the vegetation cover multi-temporal analysis to understand changes in land use. To achieve this, the effect of cover loss in the flow of Pisque’s tributaries was identified.

Due to the lack of hydrometeorological information of the study area, statistical and mathematical models were used to estimate the historical data of precipitation, temperature (T°), evapotranspiration, and flows between 1991 and 2013. It was determined that annual precipitation ranges from 900 to 1200 mm, T° goes down from 16.6 °C in the lowest part of the watershed to 6.6 °C in the highest part. Furthermore appraisals were conducted in seasonal times of the year (dry and rainy seasons) to measure specific flow rates.

To obtain the vegetation indexes and land use categories by supervised classification techniques, LANDSAT satellite images were processed with ArcGIS and ERDAS software. These categories were validated with a confusion matrix and the KAPPA index. The vegetation multi-temporal analysis and the watershed’s deforestation rate were also estimated.

Results of hydrological modeling allowed to identify the hydrological function of the water basin as water producer, and mean and maximum flows of Pisque’s tributaries were obtained. The natural cover (forest and wilderness) represents 9860 ha, which is equivalent to 93% of the watershed, and the deforestation rate is -0.82% ha/year. Results indicate that, due to the intangibility of the study area, there is a natural regeneration of vegetation. This study found out that Pisque’s watershed has a good condition, but it is suggested to implement integrated management and conservation programs by the Autonomous Government of Pimampiro to maintain and increase this trend.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas tienen gran importancia, ya que son el espacio geográfico donde interacciona el hombre con el ambiente. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2009) las cuencas son ecosistemas “verticales” complejos y diversos, que integran una variedad de ecotipos y nichos ecológicos, y todo lo que sucede dentro de los límites de una cuenca es relevante para los procesos hidrológicos así como también para sus usuarios; la disponibilidad, calidad y perdurabilidad de los recursos naturales depende del uso y manejo de los mismos; el agua, suelo, bosques, y demás recursos bióticos son insumos esenciales para la vida de las comunidades rurales que obtienen alimentos, bienes y servicios a partir de estos. (SEMARNAT, 2006).

Las cuencas hidrográficas captan más de los 110.000 km³ de lluvia que se precipita anualmente en todo el mundo, por su forma cóncava permite el almacenamiento de la mayor cantidad de las reservas de agua dulce renovables en el área de confluencia de la cuenca, así como también en la superficie a través de la humedad del suelo. Sin embargo, el recoger las aguas no es la única función que cumplen las cuencas, también se les atribuye a estas la regulación de los caudales de agua, evitando de esta manera las inundaciones y las sequías en las partes más cercanas a los drenajes. (FAO, 2009).

Actualmente, el hombre en su intento por mejorar sus condiciones de existencia, provoca a menudo degradaciones o trastornos irreversibles en el entorno en que vive. De acuerdo con la Enciclopedia del Conocimiento (2003) el hombre, en el transcurso de los

milenios ha modificado el ambiente físico y biológico en el que vive; la explotación de los recursos naturales se efectúa de un modo insostenible y a pasos agigantados; con la deforestación no sólo se destruyen hábitats, sino que también provoca la erosión del suelos y sus efectos: alteración en los procesos hidrológicos.

Según el Plan Estratégico y de Desarrollo de Imbabura (2012) en la provincia de Imbabura en general, el avance de la frontera agrícola está comprometiendo seriamente los pocos remanentes de bosques nativos y páramos que existen en los Andes especialmente en las partes altas de las microcuencas, deteriorando así los factores ambientales agua, suelo, vegetación, flora, y fauna. Para Foley *et al.* (2005), el cambio de uso del suelo habitualmente suele considerarse como un problema local, sin embargo, la magnitud y ocurrencia en todo el mundo lo han convertido en un problema global, a pesar de que las prácticas del uso del suelo varían en las diferentes regiones del mundo, su objetivo generalmente es el mismo: adquirir recursos naturales para satisfacer las necesidades inmediatas de la población, aunque con ello se degrade el ambiente.

Se presume que la microcuenca del río Pisque ubicada en el cantón Pimampiro, aún no ha sido fuertemente modificada por actividad antropogénica debido al difícil acceso del lugar, aunque la falta de estudios en el lugar y puntualmente la falta de información sobre cobertura vegetal asociado al régimen hídrico, es lo que motiva a realizar este tipo de estudios debido a que en la parte baja de la microcuenca en mención, se evidencia el avance de la frontera agrícola y actividades pecuarias de tipo vacuno, que está generando la pérdida de la cobertura vegetal, comprometiendo de esta manera las fuentes de agua que abastecen de este líquido vital a las comunidades aledañas.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Realizar el análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la microcuenca del río Pisque y la incidencia sobre los caudales de los afluentes del río Pisque, situada en los cantones Pimampiro e Ibarra de la provincia de Imbabura.

1.1.2. Objetivos específicos

- Elaborar la línea base sobre la situación hidrológica actual de la microcuenca del río Pisque.
- Identificar los tipos de cobertura vegetal para los años 1991, 1999 y 2013 determinando los cambios de la vegetación por intervenciones antrópicas, mediante el uso de imágenes satelitales LANDSAT y ASTER.
- Realizar el modelo hidrológico de la microcuenca del río Pisque en base a la variación multitemporal de las superficies de cobertura vegetal.

1.2. PREGUNTAS DIRECTRICES

- ¿Cuáles son los valores de precipitación, temperatura y caudales hidrológicos de la cuenca del río Pisque?
- ¿Qué cambios ha sufrido la cobertura vegetal en los períodos 1991 – 1999 – 2013?
- ¿Cuál es la tasa de deforestación de la cuenca del río Pisque?
- ¿Cómo influye en el comportamiento de los caudales superficiales, la modificación de la cobertura vegetal en la cuenca del río Pisque?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO LEGAL

El presente marco legal ha incluido las normas jurídicas que tienen relación con el Estudio, liderando la Legislación Ecuatoriana se encuentra la Constitución de la República, se ha considerado además a la Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales, al Plan Nacional del Buen Vivir, y al Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Pimampiro.

2.1.1. Constitución de la República del Ecuador 2008

El Artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el Buen Vivir, Sumak Kawsay, y declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la recuperación de espacios naturales degradados;

Dentro de los derechos de la naturaleza, la Constitución en su Artículo 71 le concede a la naturaleza o Pacha Mama, el derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Por otro lado en su Artículo 72 se le da a la naturaleza el derecho a la restauración, la misma que será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependen de los sistemas naturales afectados. Para ello en el Artículo 73 se establece que el Estado

aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales.

Por ello en el Artículo 83 de la Constitución, numeral 6, indica que son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley, Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.

Según el Artículo 411, el Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

2.1.2. Ley de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua

La presente Ley en su Artículo 1, establece que los recursos hídricos son parte del patrimonio natural de Estado y serán de su competencia exclusiva, además indica que el agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida, elemento vital de la naturaleza y fundamental para garantizar la soberanía alimentaria.

En el Artículo 12 de la misma Ley se anuncia que el Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua y del manejo de páramos. Por ello en el Artículo 13 se indica que como formas de conservación y protección de las fuentes del agua se encuentren: las servidumbres de uso público, zonas de protección hídrica y las zonas de restricción. Para la protección de las aguas que circulan por los cauces y de los ecosistemas asociados, se establece una zona de protección hídrica y cualquier aprovechamiento que se pretenda desarrollar a una distancia del cauce se definirá reglamentariamente.

También en esta Ley se otorga el derecho de la naturaleza a la conservación del agua, con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida. En la Conservación del agua la naturaleza tiene derecho a:

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

2.1.3. Ley forestal y de conservación de áreas naturales

En el Artículo 6 de la mencionada Ley, se consideran bosques y vegetación protectores aquellas formaciones vegetales, naturales o cultivadas, que cumplan con uno o más de los siguientes requisitos:

- a) Tener como función principal la conservación del suelo y la vida silvestre;
- b) Estar situados en áreas que permitan controlar fenómenos pluviales torrenciales o la preservación de cuencas hidrográficas, especialmente en las zonas de escasa precipitación pluvial;
- c) Ocupar cejas de montaña o áreas contiguas a las fuentes, corrientes o depósitos de agua;
- d) Constituir cortinas rompevientos o de protección del equilibrio del medio ambiente;
- e) Hallarse en áreas de investigación hidrológico-forestal;
- f) Estar localizados en zonas estratégicas para la defensa nacional; y,
- g) Constituir factor de defensa de los recursos naturales y de obras de infraestructura de interés público.

Por ellos es que en el Artículo 8, se establece que los bosques y vegetación protectores serán manejados, a efecto de su conservación, en los términos y con las limitaciones que establezcan los reglamentos.

2.1.4. Plan Nacional del Buen Vivir 2013 - 2017

El desarrollo de este Estudio, se enmarca en el Objetivo 7 que pretende justamente garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y

global. Y se enfoca particularmente en las dos políticas con los respectivos literales que se detallan a continuación:

- 7.3 Consolidar la gestión sostenible de los bosques, enmarcada en el modelo de gobernanza forestal.

Literal f) Fortalecer el sistema de información forestal y promover la investigación para identificar y cuantificar el patrimonio forestal como base para la toma de decisiones respecto a su conservación y manejo.

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

Literal e) Desarrollar e implementar un inventario hídrico nacional dinámico, que considere aguas superficiales y subterráneas, y su respectivo sistema de evaluación, para caracterizar y cuantificar la oferta y demanda de agua según sus usos socioeconómicos y caudales ecológicos por cuencas hidrográficas

2.1.5. Plan de ordenamiento territorial del cantón Pimampiro

El PDOT del cantón San Pedro de Pimampiro se considera como el instrumento rector del desarrollo, pues en él se establece el modelo de gestión territorial para los próximos veinte años. Entre las estrategias territoriales que plantea el cantón y en la que puede enmarcarse el presente estudio son las siguientes:

- **Conservación de patrimonio natural y declaratoria de protección de cobertura vegetal**

La declaratoria de protección de los remanentes vegetacionales de bosques y páramos en plena cordillera oriental, se implementa como herramienta para sostener la disponibilidad de agua para las actividades humanas, establecer corredores biológicos, estabilidad ecosistémica, aprovechamiento forestal no maderable, desarrollo turístico e investigación en áreas naturales.

- **Sistema regional del agua**

El cantón será parte de este sistema de gestión y administración del recurso hídrico basado en el enfoque de cuencas hidrográficas, el que permitirá la regulación de su uso, derechos, distribución y calidad. Este sistema regional, se implementará más allá de los límites jurídico administrativo del cantón, por lo tanto la articulación interinstitucional será

fundamental. El manejo de los sistemas de riego y de redes de agua potable, de una manera justa, eficiente y sostenible; la protección de las captaciones; la administración técnica; la incorporación de tecnología e informática; la potabilización con estándares internacionales; el tratamiento de aguas servidas; y la cuenca hidrográfica como escenario de planificación del agua, son algunos de los lineamientos de esta estrategia.

➤ **Reversión de la frontera agropecuaria**

Esta estrategia persigue la restitución de la cobertura vegetal originaria en una franja de transición ecológica-antrópica, entre las áreas de remanentes de bosques y páramos, y las áreas de actividad agropecuaria. En esta banda se regulará el uso del suelo para que las actividades permitidas sean de restauración y de amortiguamiento entre las actividades humanas y los procesos ecológicos.

➤ **Planificación urbana**

El control del uso y ocupación del suelo es imprescindible en el marco de la planificación urbana, sus instrumentos serán la implementación de planes reguladores en los núcleos urbanos lo que permitirá otorgar roles y especialización a cada uno de ellos; dotación íntegra de servicios básicos y sociales; regulación constructiva en las áreas urbanas; control de la expansión urbana espontánea; desarrollo de barrios; gestión ambiental; manejo de aguas residuales y desechos sólidos; e implementación de centros integrales de educación y de salud. Esta estrategia en articulación interinstitucional permitirá un suministro constante de hidrocarburos y un desarrollo del turismo de manifestaciones culturales.

2.2. CUENCAS HÍDRICAS

2.2.1. Definición

Según Faustino *et al.* (2006), una cuenca hidrográfica es el área física de drenaje natural donde todas las aguas lluvia confluyen hacia un colector común de descarga, no siempre los límites geográficos (superficiales) suelen coincidir con los límites del acuífero (subterráneos). Por otro lado, (SENA, 1996) nos indican que la delimitación de la cuenca está dada por la línea de divorcio de aguas, es decir la cota o altura máxima que divide dos cuencas contiguas. En la unidad productora de agua, la capacidad de producción hídrica depende de la interacción de múltiples factores físicos, naturales o socioeconómicos.

2.2.2. Tipos de cuencas

Existen tres tipos de cuenca según la clasificación que tipifica De la Laza, *et al.* (1999)

- **Exorreicas:** Son aquellas en las que la descarga de agua llega hasta los océanos, ya sea de manera independiente (pequeñas quebradas) o a través de un colector común (grandes ríos).
- **Endorreicas:** Son aquellas que no tienen salidas hacia los mares y terminan perdiéndose en la parte continental al desaguar en cuerpos lacustres.
- **Arreicas:** Se denominan así a aquellas cuencas en las que a pesar de existir un cauce que permite la llegada de las aguas del río hacia el mar, estas no llegan por que se filtran o evaporan en el trayecto.

2.2.3. División y partes de una cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica puede dividirse atendiendo diferentes criterios. (FAUSTINO *et al.* 2006).

- ❖ Atendiendo al grado de concentración de la red de Drenaje:
 - **Subcuenca:** es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca. Varias subcuencas pueden formar una cuenca.
 - **Microcuenca:** es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una subcuenca. Varias microcuencas forman una subcuenca.
 - **Quebradas:** es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca. Varias quebradas pueden formar una microcuenca, a veces estos cursos de agua se interceptan directamente a los grandes ríos y cuerpos de agua.
- ❖ Asociados a las pendientes del terreno
 - **Laderas:** montañas, colinas, tierras inclinadas con pendientes mayores a 20%.
 - **Valles:** Tierras planas, suaves de pendientes o ligeramente onduladas, con pendientes de 0 a 20%.
 - **Cauce:** Curso principal y secundarios, con sus márgenes de protección.

❖ Asociados a las características del relieve

- **Alta:** Ubicado en lo más elevado del relieve, que corresponde a la zona donde nace el río, el cual se desplaza por una gran pendiente, en donde la erosión de las aguas del río es vertical.
- **Media:** La parte de la cuenca en la cual hay un equilibrio entre el material sólido que llega traído por la corriente y el material que sale. Visiblemente no hay erosión, realizando trabado de transporte de sedimentos.
- **Baja:** La parte de la cuenca en la cual el material extraído de la parte alta se deposita en lo que se llama cono de deyección. Situado en las partes más bajas de la cuenca. Allí, el caudal del río pierde fuerza y los materiales sólidos que lleva se sedimentan, formando las llanuras aluviales o valles.

En algunos casos esta clasificación da origen a las denominadas cuencas de alta montaña o altiplano (subcuencas y microcuencas) o también aquellas regiones de mayor cobertura arbórea natural donde la precipitación y esorrentía mantienen un adecuado equilibrio del ciclo hidrológico. (FAUSTINO *et al.* 2006).

2.2.4. Características geomorfológicas

Para (SENA, 1996). Las características fisiográficas dan una idea de las propiedades particulares que posee la cuenca y pueden ser explicadas a partir de ciertos parámetros o constantes, que se obtienen del procesamiento de la información cartográfica y conocimientos de la topografía de la zona de estudio. La cuenca considerada como unidad dinámica natural, es un sistema hidrológico en el que se reflejan acciones bilaterales entre parámetros y variables. Por otro lado según Faustino *et al.* (2006). las variables pueden clasificarse en variables o acciones externas, conocidas como entradas y salidas al sistema, tales como: precipitación, esorrentía directa, evaporación, infiltración, transpiración; y variables de estado, tales como: contenido de humedad del suelo, salinidad, cobertura vegetal, entre otros. Los parámetros por otro lado permanecen constantes en el tiempo y permiten explicar las características fisiomorfométricas de la cuenca.

2.2.4.1. Tipos de parámetros morfológicos de la cuenca. (BURBANO, F. 2006)

a) Parámetros de forma

Área de la cuenca (A): Es la superficie de la cuenca comprendida dentro de la curva cerrada del “*divortium aquarum*” o divisoria de aguas. Dependiendo de la ubicación de la cuenca, su tamaño influye en mayor o menor grado en el aporte de escorrentía (Tabla 1).

Tabla 1. Cuadro de ponderaciones para área de la cuenca

TAMAÑO DE LA CUENCA (km ²)	DESCRIPCIÓN
< 25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia-pequeña
500 a 2500	Intermedia-grande
2500 a 5000	Grande
> 5000	Muy grande

Fuente: Pérez (1979)

Perímetro de la cuenca (P): Es la longitud de la línea *divortium aquarum*.

La forma de la cuenca influye sobre los escurrimientos y la distribución de los hidrogramas resultantes de una precipitación dada. Así en una forma alargada el agua discurre en general solo por un cauce, mientras que en una forma ovalada los escurrimientos recorren cauces secundarios hasta llegar a uno principal, por lo tanto su duración es superior. Los índices más utilizados para representar estas características son:

Índice de compacidad (IC): Relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de otra cuenca teóricamente circular de la misma superficie (Tabla 2). Expresada por la siguiente ecuación:

$$IC = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Dónde:

IC: Índice de Compacidad

P: Perímetro de la Cuenca (km)

A: Área de la cuenca (km²)

Tabla 2. Tabla de ponderaciones para coeficiente de compacidad.

CLASE DE IC	RANGO DE CLASE	FORMA DE LA CUENCA
IC 1	1.00 a 1.25	Redonda a oval redonda
IC 2	1.25 a 1.50	Oval Redonda a oval oblonga
IC 3	1.50 a 1.75	Oval oblonga a oval rectangular

Fuente: CIDIAT (1984)

Factor forma (Ff): Es la relación entre el área (A) de la cuenca y la longitud del curso principal del río. Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas. Es un parámetro adimensional (Tabla 3). Se expresa por la forma:

$$Ff = \frac{A}{L^2}$$

Dónde:

Ff: Factor Forma

A: Área de la cuenca (km²)

L: Longitud del Río Principal (km)

Tabla 3 Tabla de ponderaciones para factor forma

CLASE	RANGO	SUSCEPTIBILIDAD A CRECIDAS
Ff 1	0 – 0.25	Baja
Ff 2	0.26 – 0.50	Media
Ff 3	0.51 – 0.75	Alta
Ff 4	> 0.75	Muy Alta

Fuente: CIDIAT (1984)

b) Parámetros de relieve

La influencia del relieve sobre el hidrograma es aún más evidente. A una mayor pendiente corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal, los parámetros más utilizados son:

Pendiente Media (Sm): Determina el tiempo de concentración y su influencia en las máximas crecidas y en el potencial de degradación de la cuenca, sobre todo en terrenos desprotegidos de cobertura vegetal (Tabla 4). Se expresa como:

$$Sm = 100 \frac{\sum Li \times E}{A}$$

Dónde:

Sm: Pendiente media en %

$\sum Li$: Suma de las longitudes de las curvas de nivel (km)

E: Equidistancia entre curva de nivel (km)

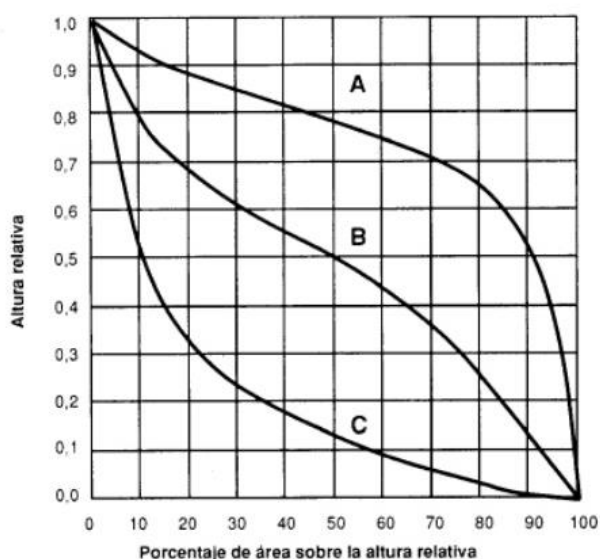
A: Superficie de la cuenca (km²)

Tabla 4. Tabla de ponderaciones para relieve del terreno

PENDIENTE MEDIA %	RELIEVE
0 – 2	Llano
2 – 5	Suave
5 – 10	Ondulado
10 – 15	Accidentado
15 – 25	Fuertemente accidentado
25 – 50	Escarpado
> 50	Muy escarpado

Fuente: Pérez (1979)

Curva hipsométrica (Ch): Es la representación gráfica del relieve de la cuenca, permite caracterizar el relieve, una pendiente fuerte en el origen hacia cotas inferiores indica llanuras o zonas planas, si la pendiente es muy fuerte hay peligro de inundaciones. Una pendiente débil en el origen revela un valle encajonado, y una pendiente fuerte hacia la parte media significa una meseta (Gráfico 1).



Curva A: refleja una cuenca con gran potencial erosivo (fase de juventud).

Curva B: es una cuenca en equilibrio (fase de madurez).

Curva C: es una cuenca sedimentaria (fase de vejez).

Gráfico 1 Identificación del tipo cuenca a través de la curva hipsométrica

Fuente: CIDIAT (1984)

c) **Parámetros relativos a la red hidrográfica**

Coefficiente de Fournier (1960): Es un coeficiente relacionado con la erosión de la cuenca. (Tabla 5). Se expresa como:

$$F = \frac{P_{max}^2}{P}$$

Dónde:

F: Coeficiente de Fournier

Pmax: Precipitación del mes de máxima pluviosidad

P: Precipitación media anual

Tabla 5. Ponderaciones para el coeficiente del Fournier

ÍNDICES ASIGNADOS A LOS VALORES MEDIOS DE DEGRADACIÓN		
CALIFICACIÓN	APORTE DE SEDIMENTOS Tm/Ha/año	SIMBOLO
Denudación o Erosión geológica normal	0 - 10	D1
Erosión Débil	10 - 100	D2
Erosión Media	100 - 200	D3
Erosión Fuerte	200 - 300	D4
Erosión Excesiva	> 300	D5

Fuente: CIDIAT (1984)

Densidad de drenaje (Dd): Sin tomar en consideración otros factores de la cuenca, cuando mayor sea la densidad de drenaje más rápida es la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, drenando el agua en menor tiempo (Tabla 6). Se expresa como:

$$Dd = \frac{\sum Lc}{A}$$

Dónde:

Dd: Densidad de Drenaje

$\sum Lc$: Sumatoria de todos los cauces (km)

A: Superficie de la cuenca (km²)

Tabla 6. Ponderaciones para la densidad de drenaje

DENSIDAD DE DRENAJE (km/km ²)	CATEGORÍA
< 1	Baja
1 a 2	Moderada
2 a 3	Alta
> 3	Muy alta

Fuente: Delgadillo y Páez (2008)

Pendiente media de un cauce (Pc): Representa la inclinación promedio de un cauce parcial o del cauce principal de la cuenca. Se expresa como:

$$Pc = \frac{H \text{ max} - H \text{ min}}{L}$$

Dónde:

Pc: Pendiente media de un cauce

H max: Cota máxima del cauce

H min: Cota mínima del cauce

L : Longitud del cauce

Tiempo de concentración (Tc): Es el tiempo que toma la partícula, hidráulicamente más lejana, en viajar hasta el punto emisor. Este parámetro tiene estrecha relación con el volumen máximo y con el tiempo de recesión de la cuenca, tiempos de concentración muy cortos tienen volúmenes máximos intensos y recesiones muy rápidas, en cambio los tiempos de concentración más largos determinan el volumen máximo más atenuado y recesiones mucho más sostenidas (Tabla 7). Se expresa como:

$$Tc = 0,3 \left(\frac{L}{(Pc)^{1/4}} \right)$$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración en horas

L: Longitud del cauce principal

Pc: Pendiente media del cauce principal de la cuenca

Tabla 7 Ponderaciones para el tiempo de concentración

TIPO DE SUPERFICIE	VALOR DE Tc
Asfalto liso y acabado	0.007
Concreto	0.012
Macadam asfáltico	0.017
Suelo limpio sin vegetación	0.046
Vegetación rastrera densa	0.060

Fuente: Delgadillo y Páez (2008)

Número de orden de la cuenca (N): Es un número que tiene estrecha relación con el número de ramificaciones de la red de drenaje. A mayor número de orden, es mayor el potencial erosivo, mayor el transporte de sedimentos y por tanto mayor también el componente de escorrentía directa que en otra cuenca de similar área.

Se determina asignando el primer orden (1) a todos los cauces que no tienen tributarios y, en general la unión de dos cauces de igual orden determinan o dan origen a otros de orden inmediatamente superior y dos de diferente orden dan origen a otro de igual orden que el de orden mayor y así sucesivamente hasta llegar al orden de la cuenca.

2.2.5. Servicios ambientales que ofrecen las microcuencas

Los beneficios que el medio ambiente brinda a través de sus componentes bióticos y abióticos a la sociedad humana son catalogados como servicios ambientales. Uno de estos servicios es el agua, cuyos beneficios son resultantes del ciclo hidrológico, los cuales tienen la función o el papel, de que algunos usos de la tierra y prácticas de conservación del suelo y aguas, desempeñan su papel en mantener la cantidad y la calidad de agua dentro de los parámetros requeridos por los usuarios de un sitio particular. (CORDERO, 2001).

De acuerdo con el Millennium Ecosystem Assessment (Watson y Zakri, 2003) los servicios ambientales han sido clasificados en cuatro categorías conforme líneas funcionales.

2.2.5.1. Servicios de provisión

Dentro de los servicios de provisión se encuentran todos aquellos productos que se obtienen del ambiente de manera directa, los cuales incluyen, entre otros: fibras, alimentos, combustibles, recursos genéticos, recursos ornamentales, compuestos activos para medicamentos, agua, etc.

2.2.5.2. Servicios de regulación

Como su nombre lo indica son aquellos beneficios que se obtienen de la regulación de los procesos ambientales. Estos pueden ser, entre otros: calidad de aire o agua, regulación del clima, control de la erosión, purificación del agua y reutilización de detritus, regulación de enfermedades humanas, control biológico, polinización, y protección contra tormentas.

2.2.5.3. Servicios culturales

Este tipo de beneficios no son materiales, los mismos que los pobladores obtienen del medio a través del desarrollo cognoscitivo, la recreación y experiencias estéticas. Éstos difieren entre individuos y comunidades, ya que puede haber patrones institucionales, sociales, económicos o políticos. Algunos de los servicios son: diversidad cultural, valor espiritual y religioso, sistema de conocimiento tradicional, valores de educación, inspiración, valores estéticos, relaciones sociales, identificación con su medio, valor de herencia cultural, recreación y turismo.

2.2.5.4. Servicios de soporte

Aquí se incluyen los beneficios más importantes y necesarios para la producción de todos los otros servicios, pero sin embargo, algunos de ellos no son considerados con la debida importancia ya que sus efectos se presentan a largo plazo. Difieren de los servicios de provisión, regulación y culturales en que su impacto puede traer consecuencias directas en corto tiempo o indirectas a largo plazo para el bienestar humano. Algunos de estos servicios son el control de la erosión, que puede ser catalogado como de soporte o regulación, dependiendo del tiempo, escala e impacto que se tenga sobre los actores de la cuenca. Del mismo modo, los cambios en estos procesos pueden afectar en la provisión de servicios de producción de alimentos.

2.2.5.5. Servicios ambientales hídricos

La regulación del caudal, la calidad del agua, el suministro hídrico y la protección del hábitat son beneficios o servicios bien reconocidos de la protección de cuencas y constituyen un importante incentivo para el establecimiento de muchos parques nacionales y bosques protectores. Costanza *et al.* (1997), define al servicio ambiental hídrico como la capacidad que los ecosistemas boscosos tienen para captar agua y mantener la oferta hídrica

a la sociedad. En las zonas húmedas la proporción de agua que se genera en las montañas puede comprender hasta un 60% del total del agua dulce disponible en la cuenca hidrográfica, mientras que en las zonas áridas y semiáridas la proporción es mucho más elevada, llegando a representar hasta un 95%. (MOUNTAIN AGENDA, 1998)

Para Willams. (2002), los bosques han funcionado como elementos muy eficientes en relación a la calidad y cantidad de agua, aunque los ecosistemas boscosos generalmente se desarrollan en climas donde la precipitación provee mayor cantidad de agua de la que la vegetación puede utilizar para el crecimiento o los suelos almacenando de acuerdo a la capacidad de infiltración. Este exceso de agua contribuye al volumen de descarga del río, el mismo que, además de la precipitación, provee agua de riego y otros usos para las diferentes necesidades humanas. Actualmente se reconoce que el hombre altera el ciclo hidrológico a escala local y global. El cambio de la cobertura y la contaminación del medio en general, tienen una profunda influencia en los procesos hidrológicos, que es necesario investigar tanto en cuencas pequeñas como a nivel regional. (MENDOZA, *et al.* 2001).

Según lo indica Porras (2003) la lista que se menciona a continuación son los servicios ambientales hídricos que proporcionan los ecosistemas boscosos:

- Regulación de flujo: Mantenimiento en temporadas secas y control de caudales en épocas lluviosas.
- Mantenimiento de la calidad hídrica, control de carga de sedimentos, control de carga de nutrientes (fósforo y nitrógeno), control de carga de sustancias químicas y salinidad.
- Control de erosión y sedimentación.
- Reducción de salinidad del suelo y regulación del nivel freático
- Mantenimiento de hábitats acuáticos.

2.2.6. Riegos y amenazas para las cuencas

Para la FAO (2007) los ecosistemas de las cuencas hidrográficas sin intervención son relativamente estables. A lo largo de la historia se conoce pocos casos de colapsos de cuencas hidrográficas a causa de las actividades humanas, pero a partir de la revolución industrial, el desarrollo insostenible de la humanidad a nivel mundial, ha puesto en riesgo la ecología de las cuencas hidrográficas. El crecimiento demográfico es muy importante en el proceso de degradación, pues para sostener una población en constante crecimiento, se han deforestado

grandes superficies boscosas de las partes altas de las cuencas hidrográficas para que estas sean destinadas a tierras para la agricultura y el pastoreo; la explotación de madera y leña también han contribuido a la pérdida de la cubierta vegetal disminuyendo considerablemente la capacidad de la cuenca hidrográfica de regular la escorrentía ocasionando la erosión río arriba y la acumulación de sedimentos río abajo.

2.3. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS CUANDO NO EXISTEN DATOS

Uno de los mayores problemas no sólo a nivel local, sino a nivel nacional, que se presentan durante el desarrollo de proyectos e investigaciones es justamente la falta de datos en las áreas a estudiarse.

2.3.1. Estimación de precipitación cuando no existen estaciones pluviométricas en el área de estudio

Es conveniente que la precipitación, sea medida con gran precisión, debido a que es la única fuente de humedad que tiene el suelo, esta cantidad media de precipitación, se obtiene de los datos pluviométricos, pluviógrafos y totalizadores, instalados en la zona de estudio que generalmente es calculada con los siguientes métodos:

2.3.1.1. Método del promedio aritmético

Este método provee una buena estimación solamente si: la red de estaciones pluviométricas se encuentra uniformemente distribuida sobre el área de estudio, la superficie de la cuenca es plana y las variaciones entre las medidas pluviométricas existentes son pequeña, así lo asegura Gabriels, *et al* (2004) y se calcula empleando la siguiente ecuación:

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

Dónde:

\bar{P} : es la precipitación media a calcularse

P_i : es la precipitación en la estación i

n : es el número total de las estaciones dentro del límite de la cuenca en estudio.

Como se observa es un promedio entre de las precipitaciones registradas en la totalidad de la estaciones de la cuenca.

2.3.1.2. Método de las isoyetas

Este método se puede aplicar cuando dentro del área de estudio no existen estaciones pluviométricas o a su vez la distribución de las estaciones existentes dentro de la cuenca no es uniforme, consiste en el trazado de isolíneas con iguales magnitudes de precipitación, las mismas que se llaman Isoyetas, estas líneas se construyen mediante la interpolación de los datos registrados por las estaciones seleccionadas para el estudio, se estima a este método como el más exacto debido a que considera la orografía de la zona. (CORDOVA .*et al.* 2006)

Un mapa de isoyetas es una herramienta básica dentro de cualquier estudio hidrológico, ya que no solamente permite cuantificar la precipitación media de un lugar, sino también que presenta de manera gráfica la distribución de las precipitaciones, posteriormente se procede con el cálculo de las subáreas formadas entre isolíneas y se aplica la ecuación propuesta por (GABRIELS, *et al.* 2004).

$$\bar{P} = \frac{\sum_{j=1}^m [(P_j + P_{j+1})/2]}{\sum_{j=1}^m A_j}$$

Dónde:

\bar{P} : es la precipitación media

P_j : es el valor de la precipitación en la isoyeta j

A_j : es el área comprendida entre dos isoyetas consecutivas (j y j+1)

m: es el número de isoyetas.

2.3.2. Estimación de caudales cuando no existen datos

A veces resulta imposible conocer el caudal medio de los drenajes de una cuenca por la falta de datos o por la falta de estaciones de aforos en la misma, lo que se convierte en uno de los problemas principales de la ingeniería hidrológica (Hall *et al.*, 1999), cuando esto sucede se puede realizar un cálculo aproximado del caudal, utilizando los siguientes métodos:

2.3.2.1. Método de regionalización homogénea y trazos multidimensionales

Se procede con la delimitación de las regiones homogéneas, que no siempre son áreas geográficamente continuas, debido a la variabilidad espacial de las características fisiográficas o hidrológicas, por lo que la condición de homogeneidad no puede garantizarse,

como lo asegura Guillen (2012). En otras palabras, puede darse el caso de que dos cuencas limiten entre sí y no exista homogeneidad entre ellas debido a que características difieran en gran medida; por otro lado puede que dos regiones pertenezcan a la misma región hidrológica a pesar de estar relativamente lejanas entre sí. (PLAZA Y ESCALANTE, 2010)

Nathan y McMahon (1990), resolvieron los problemas asociados a la selección de la adecuada técnica y definición de región homogénea, al elaborar un método de regionalización, en el que se emplea la técnica de regresión lineal múltiple para seleccionar las características fisiográficas y climatológicas más adecuadas. Las mismas que son evaluadas mediante procesos de posicionamiento como el propuesto por Andrews (1972), en el cual un punto en el espacio multidimensional se representa por una curva en dos dimensiones aplicando la siguiente función:

$$f(t) = \frac{X_1}{\sqrt{2}} + X_2 \sin(t) + X_3 \cos(t) + X_4 \sin(2t) + X_5 \cos(2t)$$

Dónde: X_1, X_2, \dots son las características fisiográficas y/o meteorológicas obtenidas del análisis de regresión donde la función se evalúa en el rango $-\pi \leq t \leq \pi$.

Esta técnica es ideal para la formación de grupos homogéneos, debido a la comparación visual con la representación gráfica de la función, las cuencas con comportamientos similares aparecen como una banda de curvas muy próximas unas de otras, pero el éxito del método depende del tipo y del ordenamiento de las variables analizadas, así X_1 representará a aquella donde el análisis de regresión resultó más significativo desde el punto de vista estadístico, X_2 a la segunda, y así sucesivamente.

Para Plaza y Escalante (2010), el análisis regional hidrológico permite inferir eventos para ciertos períodos de retorno en cuencas con escasa o nula información, a través del empleo de modelos matemáticos de probabilidad, para ello se recomienda tener al menos tres registros de datos, los que pasarán por un proceso de comprobación, para determinar la pertenencia a la misma región hidrológica; si no se logra comprobar esto, ningún procedimiento de regionalización es válido.

2.3.2.2. Método del caudal medio a partir de un mapa de isolíneas

Sokolov y Chapman (1981), afirman que los mapas de escurrimiento pueden ser utilizados para calcular el caudal medio de un río sin estaciones de aforo. Para aplicar este método se precisa tener estaciones hidrometeorológicas dentro de la cuenca, ya que la

elaboración de estos mapas de isolíneas pueden usarse para calcular la esorrentía de la cuenca, debiéndose interpolar los datos de esorrentía. Se calculan las áreas parciales de la cuenca, comprendidas entre isolíneas, y estas se multiplican por el caudal medio de cada zona; la suma de los productos así obtenidos, dividida por el área total de la cuenca es el caudal medio ponderado. Por lo tanto, el caudal medio, para una cuenca de área A, viene dado por la ecuación:

$$\bar{Q} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n A_i Q_i$$

Dónde:

\bar{Q} : es el caudal medio estimado

A_i : es una subárea de la cuenca entre dos cuencas adyacentes, con caudal medio Q_i

n: es el número de subáreas.

2.3.2.3. Cálculo del caudal medio utilizando la ecuación del balance hídrico simplificado

En regiones con pocos datos, también puede realizarse una estimación aproximada del caudal medio mediante la ecuación: $\bar{P} - \bar{E} - \bar{Q} = 0$; que es equivalente al balance hídrico de una cuenca por un largo período de tiempo, es decir la diferencia entre la precipitación y la evaporación es igual al caudal. Este método puede dar resultados incorrectos, al calcular un componente principal del ciclo hidrológico como diferencia en la ecuación del balance hídrico se acumulan errores significativos. (SOKOLOV y CHAPMAN, 1974)

2.4. COBERTURA VEGETAL ASOCIADA A LA PRODUCCIÓN DE AGUA

La cobertura vegetal comprende los líquenes, musgos, plantas, arbustos y árboles, y se los denomina como cobertura vegetal debido a que se agrupan sobre el suelo cubriendo grandes extensiones y protegiéndolos en cierto grado de los factores atmosféricos de meteorización. Entonces expresándolo en palabras más técnicas como lo indica Martínez, *et al.* (2004) la cobertura vegetal puede ser definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas

por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como son las áreas de cultivos.

2.4.1. Importancia de la cobertura vegetal

Dentro del comportamiento de los bosques, estos cumplen con la función de absorber la precipitación, reteniéndola en el suelo y distribuyéndola regularmente en los cauces de los ríos para evitar que se pierda el caudal en periodos de sequías. Según señala Flores (2010) por efecto de la pérdida de la cubierta del bosque, el agua fluye rápidamente hacia los afluentes, elevando los niveles de los ríos, especialmente en las poblaciones cercanas y campos agrícolas en producción, dejando expuestos a las inundaciones, obviamente con mayor frecuencia en la época de lluvias, mientras que en época seca, las corrientes son susceptibles a los periodos largos de sequía, perjudicando las actividades productivas que se desarrollan con la utilización del recurso hídrico.

Además los bosques, en superficies extensas, aumentan la humedad local a través de la transpiración (proceso mediante el cual las plantas liberan agua a través de las hojas), lo que contribuye con la precipitación del lugar a través del siguiente proceso: la humedad se transpira y evapora en la atmósfera, lo que da como resultado la formación de nubes de lluvia. Cuando los bosques son talados, se evapotranspira una cantidad menor de humedad en la atmósfera, lo que trae como consecuencia una menor formación de nubes de lluvia.

Las coberturas vegetales son de gran importancia para la calidad del suelo, ya que previenen la erosión por el agua y el viento, controla los niveles de agua, temperatura y aire. (ALTIERI, 1999). Por otro lado Martínez *et al.* (2004), sostienen que las coberturas vegetales son un elemento esencial en el gran sistema que llamamos Tierra, las plantas absorben y reciclan nutrientes, dióxido de carbono, nitrógeno, azufre y fósforo que están en la atmósfera, absorben agua de los suelos y transpiran parte de ellos purificando el aire, a su vez, son parte del fundamento básico de la cadena alimenticia que sustenta la vida y proveen al hombre de materiales industriales, plantas medicinales, fibras y resinas.

Las plantas cumplen un papel muy importante para el ambiente y el ser humano, esto no solo a nivel local, sino también a nivel nacional y mundial. Pero la importancia de esta se enfoca principalmente a dos aspectos; el ecológico y el económico. La vegetación actúa como una influencia estabilizadora en el efecto invernadero (Environmental protection agency, 2009). Por el contrario, el desbroce de la vegetación libera grandes cantidades de

dióxido de carbono - el principal gas invernadero. Por lo que se puede concluir que el clima puede ser influenciado por el cambio de la vegetación, tanto a nivel local y regional.

2.4.1.1. Importancia de los bosques

Según Hueck, (1978) las principales funciones que tienen los bosques son las mencionadas a continuación y es por ello a que se debe su importancia.

- Protegen el suelo contra la erosión, porque con las raíces y la cobertura evitan los deslizamientos y el arrastre de material.
- Dan cobertura y alimento a la fauna silvestre, siendo esenciales para el mantenimiento de las especies cuyo hábitat es el bosque, promoviendo la diversidad.
- Regulan el escurrimiento del agua. Evitan el escurrimiento superficial rápido de las aguas, reteniendo el agua y permitiendo la infiltración en el subsuelo.
- Mantienen la fertilidad de los suelos y la restituyen. Son grandes productores de materia orgánica y recicladores de nutrientes.
- Son fuente de una alta diversidad de productos útiles como la madera, alimentos, plantas medicinales, y productos industriales (gomas, resinas, tintes, fibras, y aceites).
- Descontaminan el aire.
- Embellecen el paisaje. Una zona con bosques y árboles tiene un aspecto totalmente distinto a una sin ellos.

2.4.1.2. Importancia de los páramos

Para Luteyn, (1992), la importancia del ecosistema de páramo radica principalmente en los tres componentes mencionados a continuación:

- Función ecológica: importante valor científico y ecológico debido a su flora endémica y su paisaje excepcional.
- Función agrícola: los páramos desempeñan también una función en la producción de alimentos.
- Función hidrológica: son fundamentales para la regulación hídrica regional y además se constituyen como el principal reservorio de agua dulce para la mayoría de la población de los Andes.

2.4.1.3. Importancia de los pastizales

Son muy importantes porque protegen los suelos de la erosión; son hábitat de especies de la fauna silvestre (vicuña, venado); y mantienen la ganadería nacional, en vista de que se abastecen de las pasturas naturales altoandinas y de la Costa. (TORRES, 2001)

2.4.1.4. Importancia de los matorrales

Protegen los suelos contra la erosión; regulan el régimen hídrico en las cuencas de los ríos; dan cobertura y alimento a la fauna silvestre; y son fuente de productos importantes como leña y plantas productoras de medicinas, tintes, entre otros. (TORRES, 2001)

2.4.2. Importancia de analizar la cobertura vegetal

La cobertura vegetal y los usos del suelo determinan el funcionamiento de los ecosistemas terrestres: afectan directamente a la biodiversidad, contribuyen a los cambios climáticos locales, regionales y globales y son las fuentes primarias de la degradación de los suelos (LAMBIN, *et al.* 2001). Este tipo de estudios en la actualidad están tomando cada vez más relevancia por el grado de integración que puede llegar a tener. Estos describen procesos de cambio de uso de suelo, los explican en cierto grado y predice cuál puede ser el futuro de estos cambios en caso de no manejar el recurso forestal. Asimismo, calculan el impacto que estos cambios han dejado en el ambiente, ofrecen alternativas de uso del suelo u otros planes de manejo o conservación. (VELÁZQUEZ, *et al.* 2002).

2.5. USO DEL SUELO Y DEFORESTACIÓN

El cambio de la cobertura vegetal y usos del suelo modifican la distribución de energía y altera el flujo de materia en el ambiente, tanto temporal como espacialmente. Estos flujos incluyen, entre otros, la radiación solar, la temperatura, la precipitación, la evapotranspiración, las superficies de escorrentía, la disponibilidad de nutrientes, entre otros. Todos estos factores son importantes por su participación en el proceso de la regulación hídrica (GWP, 2003).

Las consecuencias de la deforestación y de la degradación del suelo forestal son: la erosión y sedimentación en ríos, lagos y lagunas; la disminución en la captación de agua y recarga de acuíferos, las inundaciones, la reducción del potencial productivo por la pérdida

paulatina de fertilidad de suelos, y los impactos negativos en la biodiversidad, cuyos efectos resultantes son la pobreza y la migración de la población rural (SEMARNAT, 2006).

2.6. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO SWAT

La aplicación del modelo SWAT, es una herramienta desarrollada por el doctor Jeff Arnold, para la USDA, y que sirve para evaluar el agua y el suelo. Ésta metodología ha sido validada en diferentes países a nivel mundial y fue desarrollada para predecir el impacto de las prácticas agrícolas, producción de agua y sedimentos, mediante dos fases: terrestre y enrutamiento del ciclo hidrológico. Se basa en el balance hídrico para determinar la entrada, salida y almacenamiento de agua en la cuenca. Para la simulación la cuenca es dividida en sub-vertientes o sub-cuencas, (Uribe 2010).

El modelo SWAT requiere información específica acerca del clima, propiedades del suelo, topografía, vegetación y prácticas agrícolas que acontecen en las cuencas. Los procesos físicos asociados con el movimiento del agua, movimiento de sedimentos, crecimiento del cultivo, ciclo de nutrientes y otros procesos son modelados con datos de entrada (Richardson, Bucks y Sadler 2008).

2.6.1. Fase terrestre del ciclo hidrológico

SWAT provee dos métodos para poder estimar la escorrentía superficial: el procedimiento de distribución del número de curva SCS (SCS, 1972) que es una función de la permeabilidad del suelo y uso de la tierra. El otro método es el de infiltración que es una ecuación desarrollada por Green y Ampt (1911) para predecir la infiltración asumiendo agua de exceso en la superficie a todo tiempo, la ecuación asume que el perfil del suelo es homogéneo y la humedad antecedente es distribuida uniformemente en el perfil. (Neitsch *et al*, 2005).

2.6.2. Fase de enrutamiento del ciclo hidrológico

Una vez que SWAT determina las cargas de agua, sedimento, nutrientes y pesticidas hacia el canal principal, las cargas son dirigidas por la red de corriente de la cuenca usando una estructura de orden semejante al HYMO (William y Hann, 1972). Adicionalmente al seguimiento del flujo masivo en el río, SWAT modela la transformación de sustancias químicas en la corriente y cauce.

2.7. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO CON EL SOFTWARE HEC-HMS

El software HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) es un programa desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU. Fue diseñado para modelar procesos de lluvia-escurrimiento y la respuesta hidrológica de una cuenca. (HEC, 2000)

Los componentes que emplea el HMS, según Bastidas (2005), son:

- **Modelos de la cuenca:** en el que el usuario informa al programa de las distintas subcuencas, sus características, el método empleado para la obtención del hidrograma, número curva y el tiempo de retraso, es decir, en este componente se representa a la cuenca física.
- **Modelos meteorológicos:** calcula la entrada de precipitación requerida por los elementos de la subcuenca. El software utiliza datos puntuales o en malla y puede modelar lluvia congelada o líquida así como también la evapotranspiración.
- **Especificaciones de control:** en el módulo se establece el lapso de tiempo para la simulación, además se especifica la fecha y hora de inicio de la lluvia, así como también el término de la misma, permitiendo el intervalo de tiempo asignado por el usuario.
- **Datos de entrada:** en esta opción se indica la información necesaria para el modelamiento, en base al método de cálculo con el que se desarrollará el modelo. Existen cinco grupos de información (precipitación histórica o de diseño, características del suelo, información morfométrica de las subcuencas, datos hidrológicos del proceso de transformación de lluvia en escorrentía y las características hidráulicas de los tramos de canal y de la capacidad de los embalses.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.1. Materiales y equipos

La investigación se realizó en dos fases, la fase de campo donde se recolectó la información, in situ, necesaria para el desarrollo del estudio, y la fase de laboratorio donde se realizó el procesamiento de la información y la sistematización de la misma.

3.1.1.1. Fase de campo

Durante la fase de campo para la recolección de datos y reconocimiento del área de estudio se utilizaron los materiales y equipos que se anexan en la tabla 8.

Tabla 8 Materiales y equipos utilizados en la fase de campo.

MATERIALES	EQUIPOS
<ul style="list-style-type: none">➤ Libretas de campo➤ Cuerda de nylon de 15 m➤ Cinta métrica de 30 m➤ Poncho de aguas➤ Botas de caucho	<ul style="list-style-type: none">➤ Navegador GPS➤ Molinete Electrónico➤ Cámara Fotográfica➤ Vehículo 4x4

Elaboración: La Autora

3.1.1.2. Fase de laboratorio

Durante la fase de laboratorio para procesar la información recolectada se utilizaron los materiales, equipos y softwares que se anexan en la tabla 9.

Tabla 9. Materiales, equipos y softwares utilizados en la fase de laboratorio.

MATERIALES	EQUIPOS	SOFTWARES
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Material de oficina ➤ Registros meteorológicos del INAMHI ➤ Registros hidrológicos del INAMHI ➤ Cartas topográficas del IGM a escala 1:50.000 ➤ Bibliografía citada ➤ Imágenes satelitales Landsat (1991, 1999 y 2013) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Computador ➤ Navegador GPS 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ ERDAS 9.1 ➤ ArcGIS 10.2 ➤ Office 2015 ➤ ArcSWAT ➤ HEC-HMS ➤ Soil Water Characteristics ➤ pcpSTAT ➤ SPSS Statistics 17.0

Elaboración: La Autora

3.1.2. Métodos

Para el presente estudio se utilizaron imágenes satelitales del satélite Landsat disponibles en los Geoportales de la NASA y el USGS. Debido a que el área de estudio tiene influencia de la cordillera oriental, en la mayoría de las imágenes existía presencia excesiva de nubes, lo que representó dificultad para el análisis multitemporal de la cobertura vegetal porque modificaría los resultados a obtenerse, por lo que se descartaron aquellas imágenes que presentaban mucha nubosidad.

Para la selección de los períodos a ser evaluados en el presente estudio, se revisó primeramente la disponibilidad de las imágenes satelitales, luego de las imágenes preseleccionadas se eligieron los siguientes años:

- **1991:** según la base de datos de la NOAA (Administración Nacional de la Atmósfera y el Océano de los Estados Unidos), en este año se registró el fenómeno de “La Niña”, un evento ENOS (El Niño Oscilación del Sur) que se presenta al tener anomalías frías en el Océano.
- **1999:** según la base de datos de la NOAA, en este año se registró el fenómeno de “El Niño”, otro evento ENOS pero que se presenta al tener anomalías cálidas en el Océano.
- **2013:** como periodo de referencia actual. Durante este año, según la base de datos de la NOAA no se registraron eventos ENOS.

3.2. ELABORACIÓN DE LA LÍNEA BASE

3.2.1. Parámetros morfométricos de la microcuenca

Se calcularon los parámetros morfométricos de la microcuenca del río Pisque, para ello se utilizó el software ArcGIS y se aplicó las fórmulas expuestas en la revisión de la literatura del presente documento. Además se creó una tabla de atributos en el archivo *shapefile*, la misma que almacenó los siguientes campos de información: área de la microcuenca expresado en km², perímetro de la cuenca expresado en km, longitud axial expresado en km, ancho promedio en km lineales, factor forma que es un parámetro adimensional, coeficiente de compacidad, longitud del drenaje principal expresado en km, longitud de todos los ríos expresado en km y densidad de drenajes en km/km².

3.2.2. Caracterización de la microcuenca

Se realizó la caracterización (física y biótica) de la microcuenca del río Pisque en las salidas de campo, posteriormente en la fase de laboratorio con la información disponible en el Geoportal del Instituto Geográfico Militar (IGM), se realizó la ubicación del área de estudio con los datos georeferenciados capturados con navegador GPS, y se procedió a realizar la caracterización física del sector en los componentes climatología y geomorfología.

Para la caracterización biótica (Flora) se analizaron las Formaciones Vegetales presentes en el área de estudio de acuerdo a la clasificación de Sierra, (1999). Se realizó una descripción y listado taxonómico de las especies vegetales registradas en campo y se determinó la situación actual de la formación y cobertura vegetal. Para el caso de los sitios de formaciones vegetales naturales con vegetación nativa remanente, se aplicó un análisis biótico basado en la información de las formaciones vegetales y ecosistemas, a fin de determinar la situación actual de las zonas ecológicas.

Las estaciones que se utilizaron para caracterizar el clima fueron las que por su cercanía tienen influencia dentro del área de estudio y se anexan en la Tabla 10. Para estimar la temperatura se utilizaron las estaciones del INAMHI: M0021, M0085 y M0105, las estaciones M0310, M0315, M0316 y M0324 fueron utilizadas para estimar precipitación mediante interpolación de las mismas y las estaciones M023 y M053 son las que se utilizaron para estimar tanto precipitación como temperatura en la cuenca del río Pisque.

Tabla 10. Estaciones cercanas a la microcuenca del río Pisque

CODIGO	NOMBRE	TIPO	ALTITUD Msnm	LONGITUD				LATITUD			
				°	'	''		°	'	''	
M021	ATUNTAQUI	PV	2200	78	12	2	W	0	3	36	S
M085	SALINAS – IMBABURA	CP	1730	78	8	56	W	0	27	47	N
M105	OTAVALO	CP	2550	78	15	0	W	0	14	36	N
M023	OLMEDO – PICHINCHA	CO	3120	78	2	52	W	0	8	53	N
M053	IBARRA – AEROPUERTO	AR	2214	78	6	0	W	0	20	0	N
M310	MARIANO ACOSTA	PV	2980	77	58	54	W	0	18	6	N
M315	PIMAMPIRO	PV	2090	78	56	28	W	0	23	23	N
M316	ZULETA	PV	2910	78	5	0	W	0	12	19	N
M324	SN. FCO. SIGSIPAMBA	PV	2230	77	54	42	W	0	17	53	N

Nota: PV: Pluviométrica, CP: Climatológica principal, CO: Climatológica ordinaria y AR: Aeronáutica

Elaboración: La Autora

Fuente: INAMHI

3.2.3. Datos de precipitación

Se determinaron las estaciones meteorológicas que tienen influencia en la microcuenca del río Pisque, y se recopiló los datos disponibles en los anuarios meteorológicos y en la base nacional solicitada al INAMHI (2014) para las estaciones meteorológicas y pluviométricas de: San Francisco de Sigüipamba, Mariano Acosta, Pichincha-Olmado, Ibarra-Aeropuerto, Zuleta y Pimampiro. Se encontró en algunos casos que las estaciones no contaban con los datos completos de precipitación, por lo que estos espacios fueron reemplazados con datos obtenidos a partir de la correlación entre la estación con los datos más completos y la estación en la que no se registraron datos. Se consideró como eje “X” a la estación con los datos más completos, mientras que el eje “Y” correspondía a la estación con los datos faltantes.

Para estimar la precipitación media de cada uno de los períodos de referencia se utilizaron cuatro métodos:

a) Método de polígonos de Thiessen

Con la aplicación del método “Thiessen Polygon” se utilizaron las estaciones con datos de precipitaciones mensuales, posteriormente se generó un archivo resultante de la interpolación de los puntos (estaciones), el mismo que fue extraído con el límite de la microcuenca, se calcularon las áreas de los polígonos y se obtuvo la precipitación media.

b) Método de las isoyetas con el método estadístico “Spline”

Los datos de precipitación fueron integrados en una archivo shapefile, se interpoló en el software ArcGIS mediante el método “spline”, después se generaron isolíneas con la opción “contour” considerando el criterio de 25 mm para los datos mensuales y 100 mm para

los datos anuales, estas fueron extraídas con la microcuenca con el comando “clip” y finalmente estos archivos fueron integrados en polígonos utilizando el comando “feature to polygon”, y se calculó el área de cada uno de los polígonos aplicando la siguiente fórmula para determinar la precipitación media. (ESRI, 2014)

$$PM = (\text{precipitación} \times \text{área parcial}) \div \text{área total de la cuenca}$$

c) Método de las isoyetas con el método estadístico “Kriging”

Los datos de precipitación fueron integrados en un archivo *shapefile*, estos se interpolaron en el software ArcGIS con el comando “kriging”, después se generaron isolíneas con el comando “contour” considerando el criterio de 2 mm para los datos mensuales y 10 mm para los datos anuales, estas fueron extraídas con el límite de la microcuenca mediante la opción “clip” y finalmente estos archivos fueron integrados en polígonos utilizando la opción “feature to polygon”, y se calculó el área de cada uno de los polígonos aplicando la siguiente fórmula para determinar la precipitación media. (ESRI, 2014)

$$PM = (\text{precipitación} \times \text{área parcial}) \div \text{área total de la cuenca}$$

d) Método de polígonos de Thiessen modificado

Para este método se empleó la capa vectorial de los polígonos de Thiessen de la cuenca y la capa *raster* de las isoyetas, por motivos de precisión se emplearon las capas raster de isoyetas obtenidas con el método estadístico “kriging”. Posteriormente se ejecutó la herramienta “zonal statistics as table”, que realiza análisis estadísticos superponiendo capas. Del análisis se obtuvo una tabla con varios datos entre ellos “mean” que es la precipitación media según las isoyetas de cada polígono. Luego se utilizó la siguiente ecuación para determinar la precipitación media:

$$Pm = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Pm_{ai}}{Pm_{ei}} \right) * P_{eai} * \left(\frac{Si}{St} \right)$$

Dónde:

Pm es la precipitación media del área de estudio

n: es el número de estaciones

Pm_{ai} : es la precipitación media del área de influencia i , según Thiessen, obtenida por isoyetas (mm)

Pm_{ei} : es la precipitación media de la estación i (promedio aritmético) (mm)

P_{eai} : es la precipitación de la estación del área de influencia i (mm)

S_i : es la superficie de influencia de la estación i (km²)

S_t : es la superficie Total (km²)

3.2.4. Datos de temperatura

Se seleccionaron las estaciones climatológicas más cercanas al área de influencia de la microcuenca del río Pisque que fueron: Atuntaqui, Salinas-Imbabura-INAMHI, Otavalo, Ibarra-Aeropuerto y Olmedo-Pichincha. Los datos de temperatura que no constaban en los registros del INAMHI, fueron reemplazados por datos obtenidos mediante correlación. Como la temperatura está estrechamente relacionada con la altitud, se generó una ecuación del gradiente adiabático húmedo adaptado para el área de estudio y a cada uno de los períodos de análisis, la misma que se obtuvo al correlacionar todos los datos registrados para cada periodo de análisis, con la altitud a la que se ubican las estaciones seleccionadas. Las ecuaciones que se generaron en este cálculo estadístico fueron las siguientes:

$$T_{1991} \text{ } ^\circ\text{C} = 29.549 - 0,0059 (H)$$

$$T_{1999} \text{ } ^\circ\text{C} = 33.951 - 0,0071 (H)$$

$$T_{2015} \text{ } ^\circ\text{C} = 27.098 - 0,0049 (H)$$

Dónde:

T: es la Temperatura en °C

H: es la altitud expresada en msnm

Empleando las ecuaciones anteriores, se generaron capas *raster* de temperaturas mediante la herramienta “*raster calculator*” de ArcGIS 10.2; adicionalmente se generó superficies *raster* con temperaturas medias mensuales, con resolución espacial de 20 m para una escala de trabajo 1:50.000.

3.2.5. Datos de aforos

Esta información se obtuvo del informe presentado por la Consultora ESPOL-TECH que realizó los Estudios de Prefactibilidad del Proyecto Multipropósito Puruhanta -

Pimampiro – Yahuarcocha en el año 2012, los mismos que fueron complementados con datos obtenidos durante las salidas de campo.

Además de la medición de datos en campo, y considerando que es un Análisis Multitemporal, se realizó la estimación de caudales en los drenajes menores. La cuenca del río Pisque no cuenta con estaciones hidrométricas, sin embargo existen estaciones hidrométricas, como las que se indican en la tabla 11, con cuencas de aportaciones cercanas al área de estudio, que podría asumirse que el escurrimiento en esas cuencas, tiene relación con el escurrimiento en la cuenca de Estudio, lo que se verificó mediante una técnica de regionalización.

Tabla 11. Estaciones hidrométricas consideradas para la regionalización hidrométrica

Código	Nombre	Caudal Medio (m³/seg)
H011	Mira DJ Lita	153,83
H012	Lita AJ Mira	31,27
H013	Blanco AJ Mira	16,23
H014	Mira en Carchi	62,44
H015	Chota en Pte. Carretera	36,28
H016	Apaqui AJ Chota	13,43
H017	Apaqui Gruta de la Paz	9,92
H023	Ambi DJ Cariyacu	11,54
H045	Apaqui DJ Minas	5,60

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1984-2010)

3.2.5.1. Regionalización hidrométrica por el método de los trazos multidimensionales

Para la delimitación de la región homogénea de la cuenca de estudio, se utilizó el método de los trazos multidimensionales. Las Características fisiográficas y meteorológicas consideradas para la regionalización fueron las siguientes: área, perímetro, longitud del cauce, pendiente media y precipitación media. Se relacionó cada una de las características fisiográficas y meteorológicas de las cuencas de aportación de las estaciones hidrométricas del INAMHI con las cuencas de aportación de los ríos: Tornillos, Molinillos, Palaurcu y Pisque, y también de las quebradas: Olimbas, Curiquingue, Guamaná y Shanshipamba.

Por medio de un análisis de regresión se estimó el orden de importancia de las características fisiográficas y meteorológicas de las cuencas, para ello se relacionó el caudal medio anual con cada característica y la que tuvo mayor coeficiente de correlación fue la más importante, y así sucesivamente. Los caudales medios anuales de las estaciones hidrométricas fueron obtenidos de la Base de Datos del INAMHI (2014).

3.2.5.2. Estimación de caudales por el método de regresión lineal múltiple

Por medio de una regresión lineal simple de áreas *vs* caudales medios se obtuvo una ecuación para calcular los caudales medios mensuales de los drenajes menores de la microcuenca del río Pisque (Tornillos, Molinillos, Palaurcu y Pisque, Olimbas, Curiquingue, Guamaná y Shanshipamba). Con los caudales estimados se estableció una regresión múltiple que relacionó los caudales de las estaciones H015, H016 y H017 del INAMHI con los estimados para los drenajes menores de la cuenca del río Pisque. Se empleó la información contenida en los anuarios hidrológicos del INAMHI durante el período 1990 – 2013. Se asumió que la relación se mantiene para el caso de caudales medios diarios y con la ecuación de regresión se estimaron los caudales medios diarios de períodos de referencia. ($Q_{PISQUE} = Coef. interceptión + Coef. variable_{H015} + Coef. variable_{H016} + Coef. variable_{H017}$)

3.3. IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE COBERTURA VEGETAL PARA LOS PERÍODOS 1991, 1999 Y 2013

Para la identificación de la cobertura vegetal de la zona de estudio se utilizaron dos Softwares, ArcGIS para la generación de Mapas y ERDAS para el tratamiento de las imágenes satelitales Landsat.

3.3.1. Tratamiento de las imágenes

Las imágenes seleccionadas fueron procesadas en el Software ERDAS, en el que se aplicó un realce radiométrico para eliminar interferencias de la atmósfera como: vapor de agua y partículas en general, un realce geométrico para modificar en ubicación de coordenadas el tamaño de pixel de la imagen, un realce multiespectral para separar y combinar las bandas de la imagen para discriminar los objetos interpretados, y una corrección topográfica para eliminar sombras en las montañas altas. Los archivos de salida fueron la extensión *.img, con proyección UTM, DATUM WGS84, Hemisferio Sur y Elipsoide WGS84.

3.3.2. Obtención de índices de vegetación

Para la obtención de los Índices de Vegetación, se empleó el software ERDAS, debido a que se tiene conocimiento del área de estudio, se tomaron puntos GPS para georeferenciar las coberturas vegetales, y en la fase de laboratorio se empleó la clasificación

supervisada aplicando la metodología LANDCOVER CORINE (IGAC, 2014), para obtener índices de vegetación (NDVI) multitemporales, empleando las bandas 1, 2, 3 y 4 que corresponden al espectro visible e infrarrojo respectivamente.

3.3.3. Verificación y validación de las coberturas

Se realizó la verificación de las coberturas vegetales obtenidas en el Software ERDAS de los períodos 1991 y 2013, mediante la aplicación de 50 puntos de control al azar generados con la herramienta “*create random points*” en el software ArcGIS, y a los puntos generados se les estableció un “buffer” de 100 m y se contabilizó los pixeles de cada una de las coberturas que presentó el punto; posteriormente fueron comparados con la imagen aerofotogramétrica de la cuenca; para la validación de la cobertura se realizó la matriz de confusión en Excel, la misma que compara información de coberturas vegetales interpretadas en la imagen y reconocidas en el campo, y finalmente se calculó el índice KAPA (COHEN, 1960), mediante la siguiente ecuación:

$$K = \frac{N \sum_{i=1,n} X_i - \sum_{i=i,n} X_i X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=i,n} X_i X_{+1}}$$

El coeficiente K tuvo que ser mayor a 0,7 para aceptar la cobertura obtenida en la fotointerpretación.

3.3.4. Análisis multitemporal de la cobertura vegetal

Para determinar los cambios de las coberturas con el paso del tiempo, se aplicó la siguiente ecuación para conocer la tasa de deforestación actual.

$$r = 1 - \left(1 - \frac{a_1 - a_2}{a_1}\right)^{1/t}$$

Donde:

r: Tasa de Deforestación (DIRZO & GARCÍA, 1992)

a₁: Área de Bosque anterior (km²)

a₂: Área de Bosque actual (km²)

t: Cantidad de años transcurridos

3.4. ELABORACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO DE LA MICROCUENCA

Para la elaboración del modelo hidrológico se utilizaron tres metodologías, una fue la ejecución de la herramienta ArcSWAT de ArcGIS para el modelamiento del caudales mensuales y anuales, y el arrastre de sedimentos, la otra técnica fue con la utilización de superficies *raster* de precipitación y evapotranspiración ejecutando la herramienta calculadora de raster para modelar la capa raster de escurrimiento, es decir, la producción de agua de la cuenca, y finalmente se utilizó el software HEC-HMS para el modelamiento del caudal superficial máximo; a continuación se detallan cada una de las metodologías mencionadas.

3.4.1. Modelamiento de arrastre de sedimentos con la herramienta SWAT de ArcGIS

Para el desarrollo del modelamiento con la herramienta ArcSWAT, se creó un nuevo proyecto y se ejecutó la herramienta “*Automatic Watershed Delineator*”, para la delimitación automática se empleó el *raster* corregido del modelo digital de elevación y los ríos. Luego se colocó el punto en la salida de la microcuenca (punto más bajo) y automáticamente la herramienta delimitó la microcuenca para determinar los parámetros morfométricos, además se obtuvo la división en sub-cuencas o sub-drenajes.

3.4.1.1. Variables de uso de suelo

En edición de la base de datos de ArcSWAT, se usó la capa de taxonomía del suelo, para determinar las HRU (unidades de respuesta hidrológica) contenidas en la microcuenca en estudio. Una vez que se obtuvo la capa “*shapefile*” de la taxonomía del suelo, se procedió a interpretar los datos de la HRU, considerando los criterios que aplica el Sistema Nacional de Información (SNI, 2013) para la generación de información georeferenciada para el desarrollo sustentable del sector agropecuario, los mismos que se indican en la tabla 12.

Tabla 12. Interpretación de los códigos de los parámetros del shapefile de textura del suelo.

PARÁMETRO	CÓDIGO	RANGO	DESCRIPCIÓN
PENDIENTE (%)	1	0 – 5	Llano
	2	5 – 12	Ondulado
	3	12 – 25	Fuertemente Ondulado
	4	12 – 25 (microrelieve)	Ligeramente montañoso
	5	25 – 50	Moderadamente montañoso
	6	50 – 70	Montañoso
	7	> 70	Escarpado

TEXTURA	1	Arenoso	Gruesa
	2	Franco arenoso, franco limoso	Moderadamente gruesa
	3	Franco, limoso, f. arcilloso arenoso, f. arcillo	Media
	4	f. arcilloso, arcillo arenoso, arcillo limoso	Fina
	5	Arcilloso	Muy fina
PROFUNDIDAD (cm)	1	0 – 20	Superficial
	2	20 – 50	Poco profunda
	3	50 – 100	Moderadamente profunda
	4	> 100	Profunda
PEDREGOSIDAD (%)	1	<10	Sin
	2	10 – 25	Pocas
	3	25 – 50	Frecuentes
	4	50 – 75	Abundantes
	5	> 75	Pedregoso o rocoso
DRENAJE	1	A	Excesivo
	2	B	Bueno
	3	C	Moderado
	4	D	Mal drenado (imperfecto)
pH	1	< 4,5	Muy ácido
	2	4,5 – 5,5	Ácido
	3	5,6 – 6,5	Ligeramente ácido
	4	6,6 – 7,4	Neutro
	5	7,5 – 8,5	Moderadamente alcalino
	6	> 8,5	Alcalino
MATERIA ORGANICA (%)	1	< 1	Muy bajo
	2	1 – 2	Bajo
	3	2 – 4	Medio
	4	4 – 10	Alto
	5	> 10	Muy alto
SALINIDAD (mmhos/cm)	1	0 – 2	Sin
	2	2 – 4	Ligera
	3	4 – 8	Media
	4	8 – 16	Alta
	5	> 16	Muy alta
NIVEL DE FERTILIDAD (mediante: pH, MO, SB, CIC, BI)	1	Mb	Muy baja
	2	B	Baja
	3	M	Mediana
	4	A	Alta

Fuente: SNI, 2013

Con las consideraciones expuestas en la tabla 12, se ejecutó la herramienta “*Edit SWAT Input*” y se seleccionó la opción “*Database*”, en la nueva ventana se seleccionó “*User Soil*” y se procedió a editar la base de datos del suelo. Se añadieron los campos de entrada de los suelos con las variables que se detallan en la tabla 13.

Tabla 13. Descripción de los campos del SWAT para el modelamiento del suelo.

CODIGO SWAT	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
SNAM	Corresponde al nombre del suelo.	Para este campo se utiliza el nombre de la clasificación taxonómica del suelo por “Gran Grupo”
HYDGRP	El Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés) clasifica a los suelos dentro de cuatro grupos hidrológicos (A, B, C, D) basados en las características de infiltración de los suelos.	A Los suelos tienen una elevada tasa de infiltración B Los suelos tienen una moderada tasa de infiltración C Los suelos tienen una lenta tasa de infiltración D Los suelos tienen una muy lenta tasa de infiltración
SOL_ZMX	Es la profundidad máxima de enraizamiento en el perfil de suelo (mm).	Si no se especifica la profundidad, el modelo asume que las raíces pueden desarrollarse completamente a lo largo de toda la profundidad del perfil de suelo.
ANION_EXCL	Es una fracción de la porosidad (espacio vacío) donde los aniones son excluidos.	Si no se ingresa un valor para ANION_EXCL, el modelo puede asumir un valor de 0,50.
SOL_CRK	El volumen potencial o volumen máximo de ruptura del perfil del suelo se expresa como una fracción del volumen total de suelo.	Es un dato opcional que puede o no ser ingresado a las características del suelo.
TEXTURE	La textura de la capa de suelo es un dato que no procesa el modelo.	Es un dato opcional que puede o no ser ingresado a las características del suelo.
SOL_Z	Es la profundidad desde la superficie del suelo hasta la parte inferior de cada capa (mm).	
SOL_BD	La densidad aparente del suelo (Mg/m ³ o g/cm ³), expresa la relación de la masa de partículas sólidas respecto al volumen total de suelo, $\rho_b = M_s/V_t$.	Los valores de la densidad aparente deben oscilar entre 1,1 y 1,9 Mg/m ³ . Debido a la inexistencia de los datos de densidad aparente se procede a calcularlos utilizando el triángulo textural y la herramienta “Soil Characteristics Tool versión 6.02.70” (Saxton y Rauls 2009).
SOL_AWC	El agua disponible por las plantas, también llamada capacidad de agua disponible AWC	Se calcula al sustraer la fracción de agua presente a punto de marchitez permanente (WP) de la capacidad de campo presente (FC) $AWC = FC - WP$. Los datos de FC y WP se obtuvieron con la herramienta “Soil Characteristics Tool versión 6.02.70” (Saxton y Rauls 2009).
SOL_K	La conductividad hidráulica saturada (mm/hr), relaciona la densidad del fluido y el gradiente hidráulico. Es una medida de la facilidad del movimiento de agua a través del suelo.	Los valores de la conductividad hidráulica saturada para cada una de las capas presentes en la microcuenca, se procedió a calcularlos utilizando el triángulo textural y la herramienta “Soil Characteristics Tool versión 6.02.70” (Saxton y Rauls 2009).

SOL_CBN	Es el contenido de carbono orgánico (% del peso del suelo) en el suelo.	En este caso como no se dispone de datos de Carbono orgánico, se procedió a despejar la ecuación para obtener C.org quedando de la siguiente manera. $C.org = \frac{\text{Materia orgánica \%}}{1,724}$
CLAY	Es el porcentaje de partículas de suelo de diámetro equivalente menor a 0,002 mm.	Es el contenido de arcilla (% del peso del suelo).
SILT	Es el porcentaje de partículas de suelo que tienen un diámetro equivalente entre 0,05 y 0,002 mm.	Es el contenido de limo (% del peso del suelo).
SAND	Es el porcentaje de partículas de suelo que tienen un diámetro entre 2,0 y 0,05 mm.	Es el contenido de arena (% del peso del suelo).
ROCK	El porcentaje de la muestra que no pasa a través del tamiz de 2 mm.	Es el contenido de fragmento de roca (% del peso total).
SOL_ALB	El albedo del suelo es la relación de la cantidad de radiación solar reflejada por un cuerpo por la cantidad incidente sobre éste.	Baumer (1990), propone estimar el albedo en la superficie del suelo en función de la materia orgánica mediante la siguiente ecuación: $A = \frac{0,6}{\exp(0,4 \cdot OM)}$ Donde: A es el albedo del suelo OM es la materia orgánica del suelo (%).
USLE_K	Es el factor K de erodabilidad del suelo de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo.	Wischmeier et al. (1971) desarrollaron una ecuación general para calcular el factor de erodabilidad del suelo cuando el contenido de limo y arena muy fina llegan a ser menores que el 70 % de la distribución del tamaño de la partícula del suelo. La ecuación es: $K_{USLE} = \frac{0,00021 \cdot M^{1,14} \cdot (12 - OM) + 3,25 \cdot (c_{soilstr} - 2) + 2,5 \cdot (c_{perm} - 3)}{100}$ Donde: KUSLE: es el factor de erodabilidad del suelo. M: es el parámetro del tamaño de las partículas. OM: es el porcentaje de materia orgánica. Csoilstr: es el código de la estructura del suelo en la clasificación del suelo. Cperm: es el perfil de las clases de permeabilidad
SOL_EC	La conductividad eléctrica (ds/m) no se encuentra actualmente activa.	

Elaboración: La Autora
Fuente: USDA, 2005

3.4.1.2. Variables de clima

El modelo ArcSWAT requirió datos diarios de precipitación, temperatura del aire máxima y mínima, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa, los valores de todos estos parámetros, fueron introducidos en la base de datos del software con datos observados o generados por el modelo (Arnold J. *et al.*, 2010).

Para el desarrollo del presente trabajo se consideraron 7 estaciones climáticas de influencia, pero para el modelamiento únicamente se consideraron a las estaciones meteorológicas M023 y M053 debido a que dichas estaciones contienen datos diarios de precipitación y temperatura. A continuación se describe brevemente las variables de entrada para el generador del clima del SWAT, (Arnold J. *et al.*, 2010):

En las ejecuciones de “*Edit SWAT Input*” y “*Database*”, se utilizó la opción “*User Weather Stations*” y se editó la base de datos del clima. Los parámetros de entrada para el generador del clima contienen datos estadísticos necesarios para generar datos climáticos diarios representativos para la microcuenca. Se completó los campos de entrada del clima con las variables que se detallan a continuación en la tabla 14.

Tabla 14. Descripción de los campos del SWAT para el modelamiento de climático.

CÓDIGO SWAT	DESCRIPCIONES	OBSERVACIONES
WLATITUDE	La latitud de la estación a emplear en grados.	Requerida.
W LONGITUD	La longitud de la estación en grados.	Opcional.
WELEV	La elevación de la estación climática en (m).	Requerida.
RAIN_YRS	El número de años máximo para la media hora de lluvia mensual usada para definir los valores de: RAIN_HHMX(1) - RAIN_HHMX(12).	Requerida.
TMPMX (mon)	Promedio mensual de la temperatura máxima diaria (°C).	Requerida. Para calcular los valores referidos a la temperatura TMPMX (mon), se los realizo mediante una hoja de cálculo de Excel.
TMPMN (mon)	Promedio mensual de la temperatura mínima diaria (°C).	Requerida. Para calcular los valores referidos a la temperatura TMPMN (mon), se los realizo mediante una hoja de cálculo de Excel.
TMPSTDMX (mon)	Desviación estándar mensual de la temperatura máxima diaria (°C)	Requerida. Para calcular los valores referidos a la temperatura TMPSTDMX, se los realizo mediante una hoja de cálculo de Excel.
TMPSTDMN (mon)	Desviación estándar mensual de la temperatura mínima diaria (°C)	Requerida. Para calcular los valores referidos a la temperatura TMPSTDMN, se los realizo mediante una hoja de cálculo de Excel.

PCPMM (mon)	Promedio mensual de la precipitación diaria (mm H ₂ O).	Los valores de PCPMM (mon), fueron calculados mediante el programa pcstat.exe de SWAT (Liersch 2003).
PCPSTD (mon)	Desviación estándar mensual de la precipitación diaria (mm H ₂ O/día).	Los valores de PCPSTD (mon), fueron calculados mediante el programa pcstat.exe de SWAT (Liersch 2003).
PCPSKW(mon)	Coefficiente de asimetría mensual de la precipitación diaria.	Los valores de PCPSKW(mon), fueron calculados mediante el programa pcstat.exe de SWAT (Liersch 2003).
PR_W(1.mon)	Probabilidad mensual de ocurrencia de un día húmedo luego de un día seco (días).	Los valores de PR_W(1.mon), fueron calculados mediante el programa pcstat.exe de SWAT (Liersch 2003).
PR_W(2.mon)	Probabilidad mensual de ocurrencia de un día húmedo luego de un día húmedo (días).	Los valores de PR_W(2.mon), fueron calculados mediante el programa pcstat.exe de SWAT (Liersch 2003).
PCPD (mon)	Promedio mensual del número de días de lluvia.	Los valores de PCPD (mon) fueron calculados mediante el programa pcstat.exe de SWAT (Liersch 2003).
RAINHHMX (mon)	Máxima lluvia de media hora por mes (mmH ₂ O).	Para este parámetro se tomó en cuenta los valores históricos de lluvia máxima para 24 horas.
SOLARAV (mon)	Promedio mensual de la radiación solar diaria (MJ/m ² /día).	<p>Los valores del promedio de radiación solar diaria fueron calculados mediante la fórmula de Angstrom que relaciona la radiación solar con la radiación extraterrestre y la duración relativa de la insolación (Allen, et al 2006).</p> $R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a$ <p>Donde: Rs: radiación solar o de onda corta [MJ m⁻² día⁻¹], n: duración real de la insolación [horas], N: duración máxima posible de la insolación [horas], n/N: duración relativa de la insolación[-], Ra: radiación extraterrestre [MJ m⁻² día⁻¹], as: constante de regresión, que expresa la fracción radiación extraterrestre que llega a la tierra en días muy nublados (n = 0), as + bs fracción de la radiación extraterrestre que llega a la tierra en días despejados (n = N).</p> <p>En casos en que no disponga de datos reales de radiación solar y cuando no se han realizado calibraciones previas a la ecuación mencionada, se recomienda usar valores de as = 0,25 y de bs = 0,50.</p>
DEWPT (mon)	Promedio mensual de la temperatura del punto de rocío (°C), o la humedad relativa en fracción.	Estos valores fueron tomados del registro histórico para cada estación.
WNDVAV(mon)	Promedio mensual de la velocidad de viento diaria (m/s).	

Elaboración: La Autora
Fuente: USDA, 2005

Para la aplicación de la Herramienta para la Evaluación de Suelos y Agua (SWAT), los datos utilizados para el modelamiento se encuentran en el Anexos T para el generador del suelo, y en los anexos U y V para el generador climático.

Se procedió a utilizar el modelo digital del terreno con resolución de 20 m, para delimitar la microcuenca y drenajes menores, como se muestra en el gráfico 2.

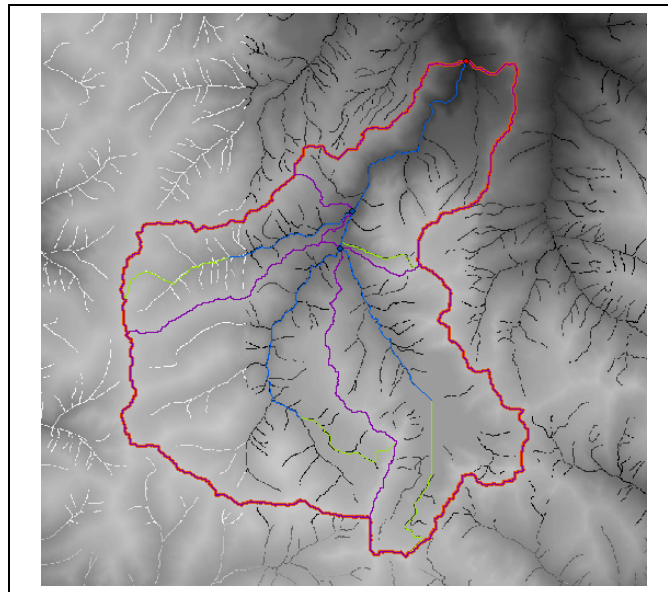


Gráfico 2. Delimitación de la microcuenca en base al DEM con resolución de 20 m

Después de delimitar la microcuenca con la herramienta ArcSWAT, se procedió con la reclasificación de las capas de cobertura vegetal, uso de suelo y pendientes del terreno, utilizando la base de datos de la herramienta, tal como se indica en los gráficos 3.

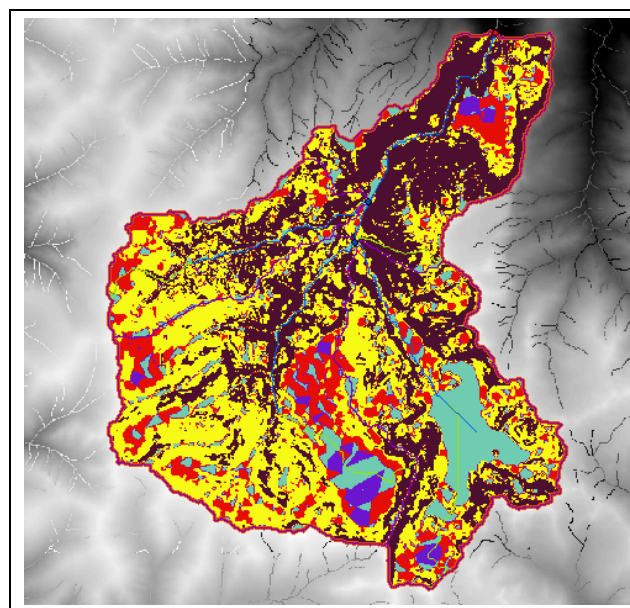


Gráfico 3. Reclasificación de las capas raster

Con las reclasificaciones de uso de suelo, cobertura vegetal y pendientes del terreno, el software generó las unidades de respuesta hidrológicas, como se indica indican en el gráfico 4.

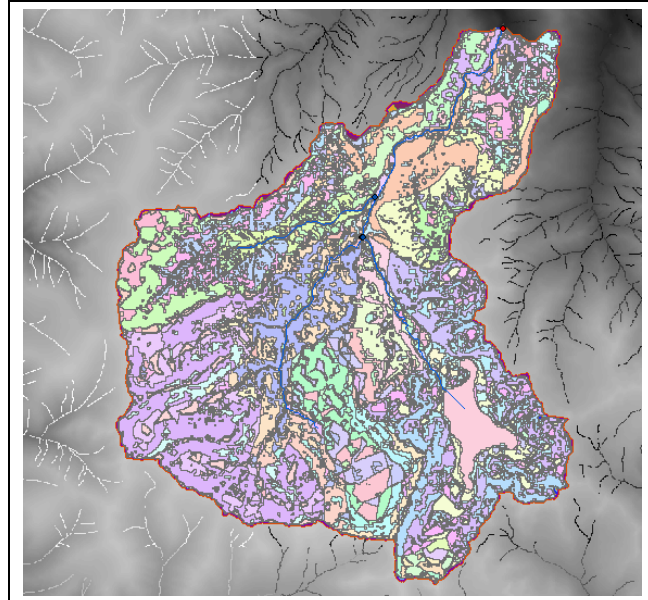


Gráfico 4. Unidades de respuesta hidrológica

Después de determinar las unidades de respuesta hidrológica, se modeló el clima; para ello se utilizaron las estaciones climáticas de influencia en la microcuenca, que se encuentran almacenadas en la base de datos del usuario. Finalmente se ejecutó el modelo para el período 1991 y 2013, es decir desde el 01/01/1991 hasta el 31/12/1991 y 01/01/2013 hasta el 31/12/2013 respectivamente, tal como se indica en el gráfico 5.

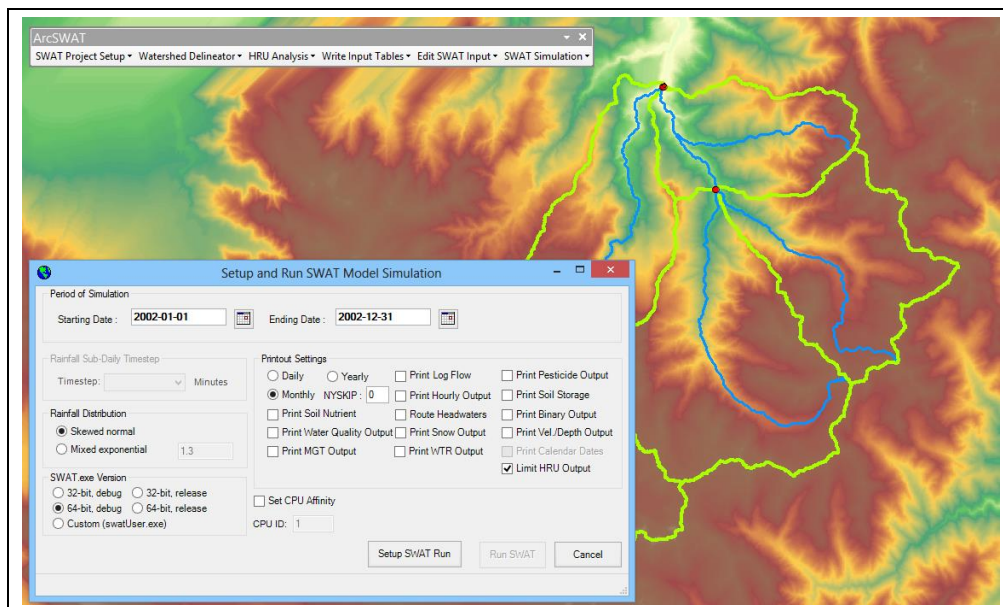


Gráfico 5. Reporte de datos en la interface ArcSWAT 2002-01-01 – 2002-12-31

3.4.2. Modelamiento de la producción de agua de la microcuenca mediante la calculadora raster

Se utilizaron las capas *raster* de precipitación generadas con la herramienta “*kriging*” para el modelamiento de la producción de agua, con dichas capas se obtuvieron los datos de precipitación del área de estudio, esos datos determinaron la cantidad de agua que genera la microcuenca; para el modelamiento de la producción de agua se empleó la ecuación simplificada del balance hídrico que se indica a continuación:

$$Q = P - ETP$$

Dónde:

Q: es el caudal en mm

P: es la precipitación expresada en mm

ETP: es la evapotranspiración potencial en mm

Para determinar la ETP se emplearon métodos descritos anteriormente. Finalmente se realizó la sobreposición de las capas: geología, tipo de suelo, bioclimas, cobertura vegetal y pendientes del terreno, para generar la capa de recarga hídrica de cada uno de los períodos se ponderaron las capas shapefile como se indica en la tabla 15.

Tabla 15. Calificación de las capas para elaboración del mapa de recarga hídrica

CAPA	CLASIFICACIÓN	CAPACIDAD DE RECARGA	CALIFICACIÓN
TEXTURA DEL SUELO	Cuerpos de agua	No aplica	0
	Suelo arenoso	Baja	1
	Suelo franco	Media	2
	Suelo limo arenoso	Media	2
	Suelo limoso	Alta	3
PROFUNDIDAD DEL SUELO	Cuerpos de agua	No aplica	0
	Suelo muy profundo	Baja	1
	Suelo profundo	Media	2
	Suelo poco profundo	Alta	3
	Suelo superficial	Alta	3
GEOLOGÍA	Rocas suaves	Baja	1
	Rocas semiduras	Media	2
	Rocas duras	Alta	4
COBERTURA VEGETAL	Cuerpos de agua	No aplica	0
	Tierras agropecuarias	Baja	1
	Pastizales y vegetación arbustiva	Media	2
	Bosque y Páramo	Alta	3

BIOCLIMAS	Seco	Baja	1
	Seco a semihúmedo	Media	2
	Húmedo	Alta	3
PRECIPITACIÓN	Menor de 1000 mm	Baja	1
	De 1000 mm a 1250 mm	Media	2
	De 1250 mm a 1500	Alta	3
PENDIENTES	Plana y ligeramente ondulado	Baja	1
	Ondulado y Montañoso	Medio	2
	Muy montañoso y escarpado	Alta	3

Elaboración: La Autora

3.4.2.1. Cálculo de la ETP por el método de Holdridge

Para generar la Evapotranspiración potencia (ETP) mensual, se utilizaron las capas *raster* mensuales de temperatura, y ejecutando la herramienta “*raster calculator*” se aplicó la siguiente ecuación para determinar la ETP:

$$ETP = 58,93 \cdot T^{bio}$$

Dónde:

ETP: Evapotranspiración Potencial

T^{bio} : Temperatura efectiva en el crecimiento de la plantas, valores comprendidos entre 0 y 30 °C. En la zona tropical es igual a la temperatura media

La constante 58,93, determinada por Holdridge (1982) para climas y suelos zonales, se utiliza para los 365 días del año, para calcular los valores de las constantes mensuales se determinó en función del número de días del mes.

$$\text{Meses con 31 días: } ETP = 5 \cdot T^{bio}$$

$$\text{Meses con 30 días: } ETP = 4,84 \cdot T^{bio}$$

$$\text{Mes con 28 días: } ETP = 4,52 \cdot T^{bio}$$

Una vez que se generaron las capas *rasters* mensuales de ETP, se utilizó nuevamente la herramienta “*raster calculator*”, en la que se aplicó la fórmula del equilibrio hídrico que se expresa mediante la ecuación propuesta por Sokolov y Chapman (1974)

$$P - ETP - E = 0$$

Dónde:

P: Precipitación Total

ETP: Evapotranspiración Potencial

E: Esgurrimiento

Con los archivos generados se trazaron isolíneas para representar valores de producción de agua, posteriormente el archivo *raster* fue transformado a archivo vectorial *shapefile*, para construir polígonos con subáreas, las mismas que se utilizaron para calcular la cantidad de agua que se escurre en la microcuenca mediante la siguiente ecuación:

$$E = (\text{escurrimiento} \times \text{área parcial}) \div \text{área total de la cuenca}$$

3.4.2.2. Cálculo de la ETP por el método de Turc

Para emplear el método de Turc (1961) fue necesario disponer de los datos de precipitación anual y temperatura media anual, y se procedió a aplicar la siguiente ecuación que ha sido probada mundialmente en varias cuencas:

$$ETP = \frac{P}{\sqrt{0.90 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración potencial anual en mm/año

P: Precipitación en mm/año

T: temperatura media anual en °C

L: se obtiene de la ecuación:

$$L = 300 + 25T + 0.05 T^3$$

3.4.2.3. Cálculo de la ETP por el método de Thornthwaite

Las ecuaciones para calcular la ETP según Thornthwaite (1948), se determinaron en función de la temperatura media, con una corrección en función de la duración astronómica del día y el número de días que tiene el mes. Thornthwaite comprobó que la temperatura

media era proporcional a la temperatura media afectada por un coeficiente exponencial a y estableció la siguiente ecuación:

$$e = 16 \left[10 \left(\frac{tm}{I} \right) \right]^a$$

Donde:

e : Evapotranspiración mensual sin ajustar en mm/mes

tm : Temperatura media mensual en °C

I : Índice de calor anual (sumatoria del índice de calor mensual)

a : Parámetro que se calcula en función de I , según la expresión

$$a = 0,000000675 \cdot I^3 - 0,0000771 \cdot I^2 + 0,01792 \cdot I + 0,49239$$

Para encontrar el valor de ETP de un mes determinado fue necesario corregir la ETP sin ajustar el valor de e , a través de un coeficiente que considere el número de días que tiene el mes y la cantidad de horas luz del área de estudio. Para ello se empleó la siguiente ecuación:

$$ETP_{THO} = e \cdot L$$

Dónde:

L : es el factor de corrección del número de días del mes (Nd_i) y las horas de sol (N_i).

$$L_i = \frac{Nd_i}{30} \cdot \frac{N_i}{12}$$

3.4.3. Modelamiento del caudal superficial máximo aplicando el software HEC-HMS

Para la ejecución del modelamiento en el software HEC-HMS se requirieron datos de la Curva Número, para ello en el software ArcGIS se realizó una intersección de las capas de la taxonomía y uso de suelo, y se procedió a realizar la clasificación de cada una de las unidades resultantes en base al criterio proporcionado por (Ibañez, *et al.* 2011) que se encuentra en la tabla 16.

Tabla 16. Identificación de la curva número de la microcuenca.

CUBIERTA DEL SUELO			NUMERO DE CURVA GRUPOS HIDROLÓGICOS			
Clases	Laboreo	Infiltración	A	B	C	D
Barbecho	-	-	77	86	91	94
Cultivos alineados	R	Pobres	72	81	88	91
	R	Buenas	67	78	85	89
	C	Pobres	70	79	84	88
	C	Buenas	65	75	82	86
	C – T	Pobres	66	74	80	82
	C – T	Buenas	62	71	78	81
Cultivos no alineados con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobres	65	76	84	88
	R	Buenas	63	75	83	87
	C	Pobres	63	74	82	85
	C	Buenas	61	73	81	84
	C – T	Pobres	61	72	79	82
	C – T	Buenas	59	70	78	81
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternativa	R	Pobres	66	77	84	88
	R	Buenas	58	72	81	85
	C	Pobre	64	75	83	85
	C	Buenas	55	69	78	83
	C – T	Pobres	63	73	80	83
	C – T	Buenas	51	67	76	80
	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80
	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenas	6	35	70	79
Prados permanentes Montes con pastos (ganadero-forestal)	-	-	30	58	71	78
	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenas	25	55	70	77
Bosques (forestales)	-	Muy pobres	56	75	86	91
	-	Pobres	46	68	78	84
	-	Regulares	36	60	70	76
	-	Buenas	26	52	63	69
	-	Muy buenas	15	44	54	61
Caseríos	-	-	59	74	82	86
Caminos de tierra	-	-	72	82	87	89
Caminos de tierra firme	-	-	74	84	90	92

Nota: El campo laboreo representa a obras de conservación del suelo que se hayan realizado, por lo que en esta columna de la tabla 7 se encuentran las posibles medidas agronómicas destinadas a la corrección de la erosión hídrica: inexistencia (R), Curvas de nivel (C) y Aterrazamientos (C – T).

Además para realizar los cálculos el programa requirió el *lag time* que es el tiempo que transcurre desde el centro de gravedad de la precipitación neta hasta la punta del hidrograma unitario, este valor es aproximadamente el 60% del tiempo de concentración y también se necesitó el valor de la abstracción inicial (P_0) que se calcula mediante la ecuación:

$$P_0 = 0,2 \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254$$

Dónde:

P₀: Abstracción inicial

CN: Curva Número

En el software HEC-HMS se generó un nuevo proyecto, luego se añadieron los componentes del modelo con la opción “*Components*”, con esta herramienta se agregó el modelo, y en el editor de componentes se registró el área de la microcuenca, la curva número, la abstracción inicial y el lag time. Posteriormente se añadió el campo para registrar los datos meteorológicos, con la herramienta “*Time-series Data Manager*”, se generó el modelo meteorológico con la herramienta “*Meteorologic Model Manager*” y para finalizar con los componentes del modelo se determinaron las especificaciones de control con la herramienta “*Control Specifications Manager*”. Con todos los datos registrados se ejecutó el ícono “*Run*” y se generaron las tablas de registro del modelo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. LINEA BASE

4.1.1. Parámetros morfométricos de la microcuenca

La transformación de la precipitación en escorrentía ya sea superficial o subterránea y el comportamiento de las mismas en una cuenca, está influenciado directamente por la geología, morfología del terreno, tipo del suelo y por la cobertura vegetal. Por lo anterior expuesto, fue necesario identificar los valores de los parámetros morfométricos de la microcuenca objeto del estudio y se obtuvieron los valores que se adjuntan en la Tabla 17.

Tabla 17. Parámetros morfométricos de la microcuenca del río Pisque

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS	SIMBOLOGÍA	UNIDAD	VALORES	
FORMA	Área	A	km ²	109,17
	Perímetro	P	km	55,76
	Longitud Axial	La	km	15,38
	Ancho Promedio	Ap	km	7,10
	Factor Forma	Ff	-	0,46
	Índice de Compacidad	IC	-	1,51
RELIEVE	Altitud Mínima	H min	msnm	2260
	Altitud Máxima	H max	msnm	3920
	Desnivel Altitudinal	ΔH	msnm	1660
	Altitud Media	Hm	msnm	3498,08
	Pendiente Media	Sm	%	43,20
	Pendiente Media del Cauce	Ir	%	8,789

RED HÍDRICA	Longitud de los Ríos	Lc	km	157,29
	Longitud del Río Principal	L	km	18,89
	Densidad de Drenaje	Dd	km/km ²	1,44
	Densidad de Corrientes	Dc	-	1,39
	Orden de la Cuenca	N	-	4
	Coefficiente de Fournier	F	-	1,66
	Tiempo de Concentración	Tc	H	1,85

Elaboración: La Autora

Fuente: Hidrología Básica y Aplicada (2007)

Analizando los parámetros de forma obtenidos para la microcuenca del río Pisque, se establece lo siguiente:

- ✓ De acuerdo al área se deduce que se trata de una cuenca pequeña
- ✓ Por el valor calculado del índice de compacidad (IC), que está comprendido entre 1,50 y 1,75, se trata de una cuenca de tipo Oval Oblonga a Rectangular Oblonga,
- ✓ Según el valor del factor forma (Ff), se concluye que la susceptibilidad a crecidas es moderada.
- ✓ El orden (N) de la microcuenca del río Pisque es 4, que corresponde a un drenaje moderado.
- ✓ Se obtuvo un valor de densidad de drenaje de 1,44 km/km², considerando que alrededor de 0,5 km/km² se refiere a cuencas mal drenadas y alrededor de 3,5 km/km² a cuencas con buen drenaje, se deduce que el valor relativamente bajo obtenido indica que se trata de una cuenca de alta montaña, es decir con poca estructuración en la red fluvial, con una condición media de drenaje.
- ✓ Según el valor de la pendiente media del cauce se concluye que corresponde a una microcuenca con un relieve accidentado medio, al tener un relieve poco acentuado y un coeficiente de Fournier (1960) de 1,66, se tiene que la erosión potencial que pueden producir las precipitaciones registradas para la zona se encuentra dada por un valor de aporte de sedimentos de 5,19 Tm/km²/año, es decir, no sería de mayor relevancia y se trataría de una denudación o erosión geológica normal, además este parámetro indica que la microcuenca no se encuentra degradada; lo que se puede corroborar con la el gráfico 6 que representa la curva hipsométrica, que indica que es una cuenca en equilibrio.

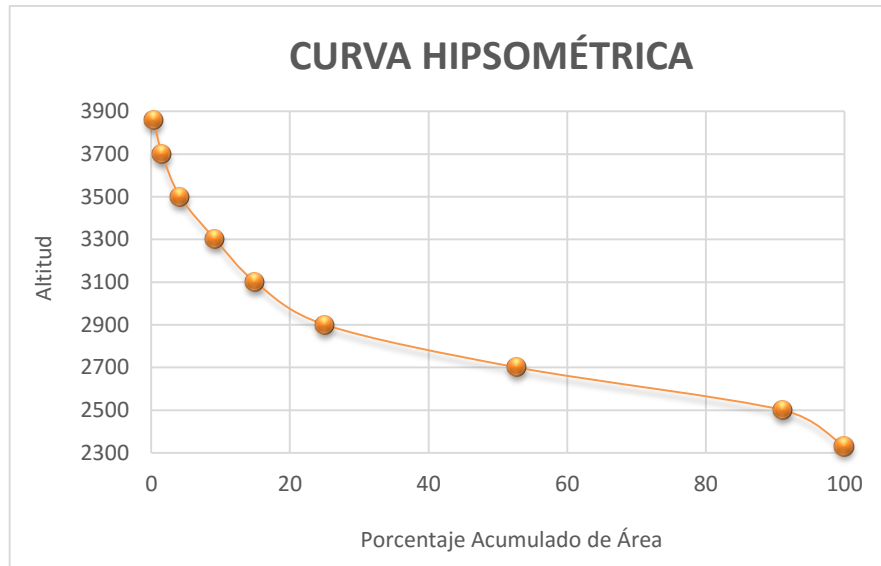


Gráfico 6. Curva Hipsométrica de la microcuenca del río Pisque

Elaboración: La Autora

Fuente: Hidrología Básica y Aplicada (2007)

Se dividió a la microcuenca del río Pisque en los drenajes menores y se determinó que se compone de 7, como se indica en el gráfico 7, además se procedió a dividir la microcuenca según la altitud; el desnivel que existe entre la parte más baja y la parte más alta es de 1660 msnm, por lo que las cotas de división fueron las de 2800 y 3360 msnm y se obtuvo que una superficie de 84,51 km² pertenecen a la cuenca alta, 18,77 km² pertenecen a la cuenca media y 5,88 km² pertenecen a la cuenca baja, es decir 77,42%, 17,20% y 5,39% respectivamente.

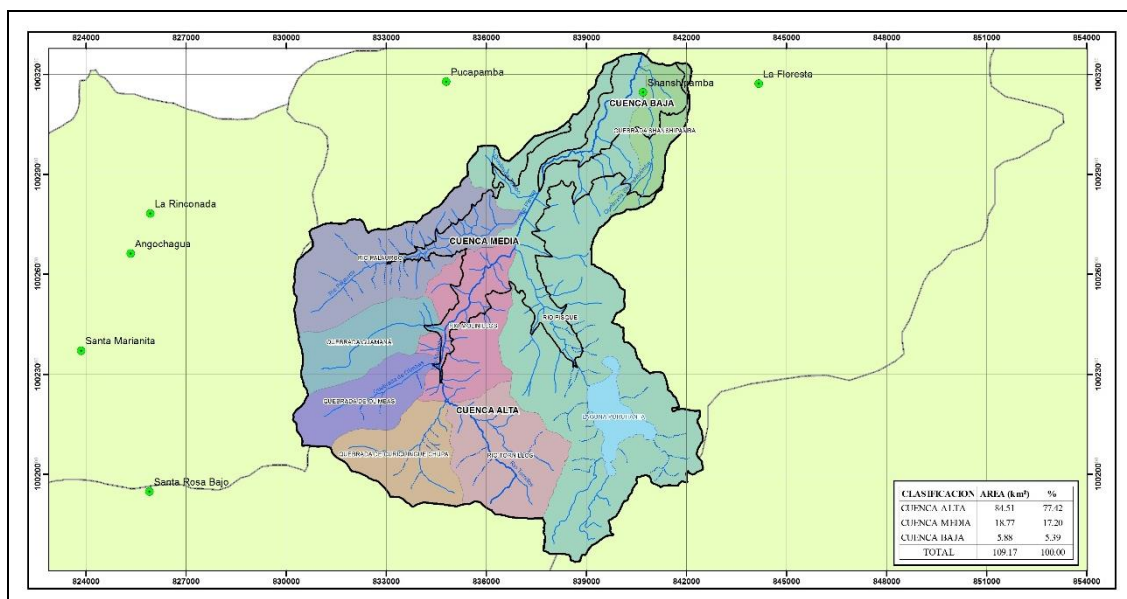


Gráfico 7. Mapa Hidrológico de la Microcuenca del río Pisque

Elaboración: La Autora

Fuente: Cartografía escala 1:50.000, IGM

4.1.2. Caracterización Biofísica

4.1.2.1. Ubicación

La microcuenca del río Pisque se encuentra situada entre las parroquias de Angochagua, Mariano Acosta y San Francisco de Sigsipamba, de los cantones Pimampiro e Ibarra, pertenecientes a la provincia de Imbabura, entre los 2260 a los 3920 msnm, la superficie es de 10.916,77 ha con un perímetro de 55,75 km. Las coordenadas de ubicación en proyección UTM, Datum WGS84 y Zona 17 Sur se observan en la Tabla 18.

Tabla 18. Ubicación de la microcuenca del río Pisque

ORIENTACIÓN	COORDENADA X	COORDENADA Y	ALTITUD Msnm
NORTE	836745	10032672	2320
SUR	837367	10016992	3920
ESTE	843023	10025955	3040
OESTE	829298	10024367	3760

Elaboración: La Autora

Fuente: IGM (2013)

4.1.2.2. Caracterización física

a) Climatología

Por la ubicación geográfica el área de estudio se encuentra representada por los climas Ecuatorial Mesotérmico Semi-húmedo el mismo que tiene dos estaciones lluviosas entre febrero-mayo y octubre-noviembre, con temperaturas anuales que oscilan entre 12 y 20 °C. Mientras que la parte alta de la microcuenca con altitudes superior a los 3600 msnm, cuenta con un clima Ecuatorial Frío de Alta Montaña, con temperaturas inferiores a 8 °C (POURRUT *et. al.*, 1995).

- **Precipitación**

La distribución de precipitaciones está marcada por una época húmeda con abundantes lluvias durante los primeros meses del año, seguida por una época seca que empieza a partir del sexto mes. En el gráfico 8, se presenta la precipitación mensual promedio de las estaciones en mención, para la zona de Puruhanta se registra en el mes de abril el mayor índice de precipitación anual (160 mm de lluvia).

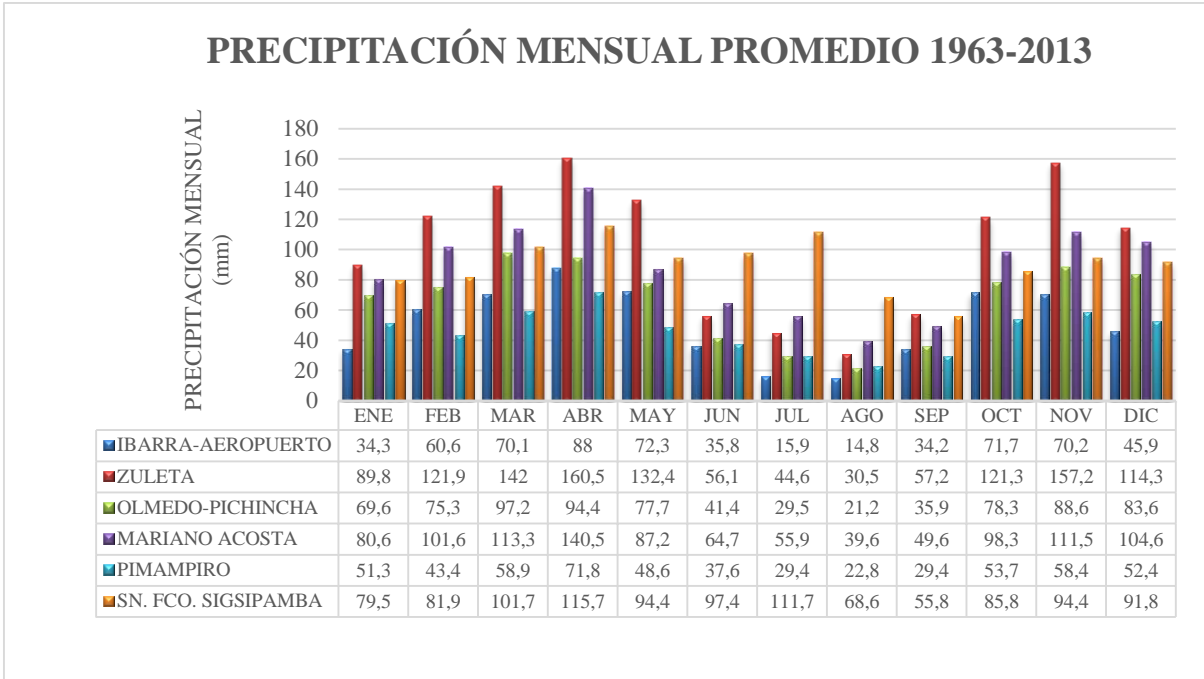


Gráfico 8. Promedio de precipitaciones mensuales desde 1963-2013

Elaboración: La Autora

Fuente: INAMHI

El promedio acumulado de precipitación en la zona de Puruhanta se encuentra entre 935 y 1.180 mm al año como se indica en el gráfico 9.

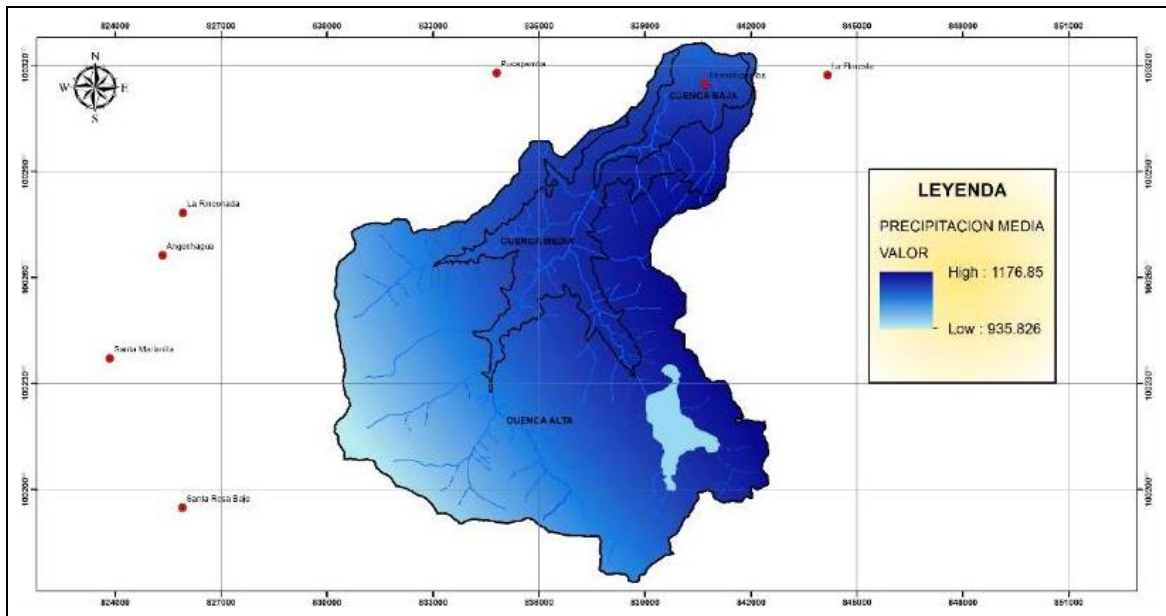


Gráfico 9. Precipitación media anual en la microcuenca del río Pisque

Elaboración: La Autora

Fuente: Anuarios Meteorológicos INAMHI (1965 – 2013)

- **Temperatura**

De acuerdo a los mapas de isotermas mensuales, en general en toda la microcuenca colectora no se registran diferencias relativamente representativas de temperatura entre la

época lluviosa y la época seca, en gran parte este patrón se debe a que la microcuenca no ha sido mayormente intervenida, es decir la cobertura vegetal en buen estado de conservación permite mantener estable la temperatura. En la parte más baja se registran temperaturas que oscilan entre 16,1 y 16,8 °C, mientras que en la parte alta (superior a los 3600 msnm) se registran temperaturas que oscilan entre 6,4 y 6,9 °C. En el gráfico 10 se indica la temperatura media de la microcuenca del río Pisque.

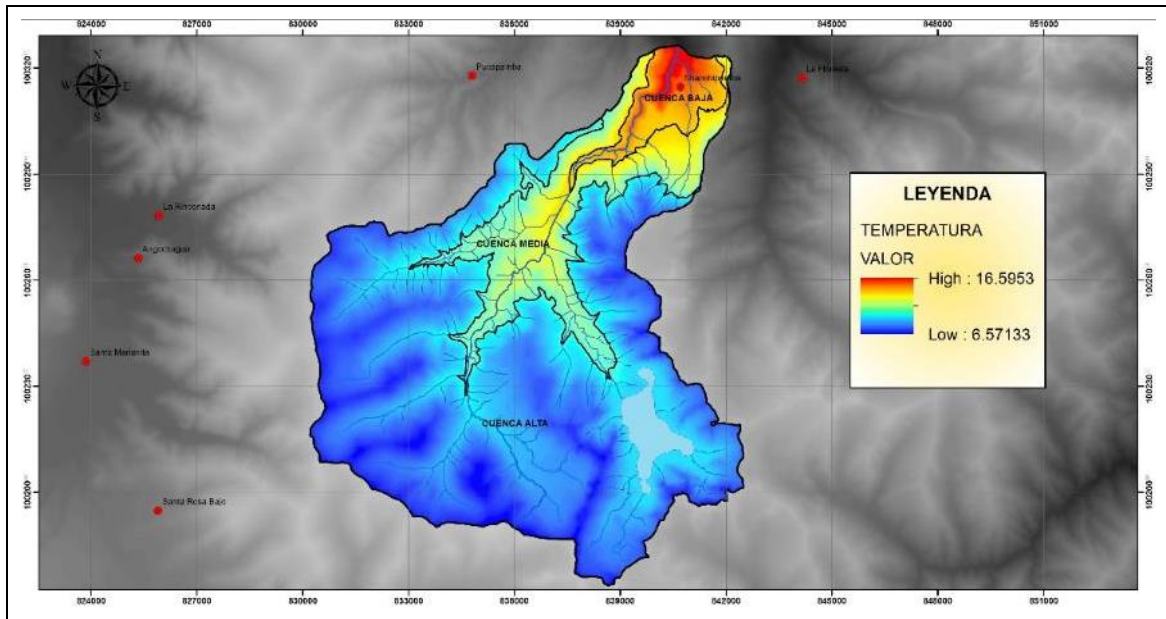


Gráfico 10. Temperatura media de la microcuenca del río Pisque.

Elaboración: La Autora

Fuente: Anuarios Meteorológicos INAMHI (1965 – 2013)

b) Geomorfología

Las altitudes oscilan entre 2.260 y 3.920 msnm, en la parte del sector suroriental se encuentra ubicada la laguna de Puruhanta. Las pendientes mayores de estas zonas se encuentran en los interfluvios escarpados de los ríos que fluyen en sentido S-N, como se indica en el gráfico 11, con pendientes que llegan hasta el 80%.

Altitudinalmente el páramo herbáceo se ubica entre 3.400 y 4.000 msnm; en esta formación predominan las especies de la familia Poaceae. El ecosistema de páramo domina en lo que se conoce como la ceja de montaña. Por las condiciones naturales de inaccesibilidad y clima, no ha sido muy intervenido por actividades antropogénicas.

Entre las especies sobresalientes de esta formación están: *Calamagrostis efusa*, *Festuca spp*, *Hypochaeris spp*, *Baccharis spp*, *Oritrophium peruvianum*, *Gentiana sedifolia*, *Gentianella sericeum*, *Lupinus smithianus*, y *Gentianella ecuadorensis*. Las especies menos abundantes en el área son: *Halenia spp.*, *Geranium sericeum*, *Geranium ecuadorensis*, *Huperzia talpiphina*, *Lupinus smithianus*, *Lupinus spp.*, *Ranunculus guzmanii*, *Ranunculus spp.*, *Castilleja spp.*, *Valeriana rigida* y *Valeriana spp.*

➤ **Páramo arbustivo y de almohadillas**

La forma de vida de plantas en almohadilla es una característica notable de este tipo de vegetación. Las plantas en almohadilla tienen hojas muy pequeñas y están ramificadas densamente con entre nudos muy cortos de manera que se forma un montículo en forma de almohada. Esta forma de vida es una adaptación a las heladas nocturnas. Varios géneros forman plantas en almohadillas, entre los más comunes están: *Azorella*, *Plantago*, *Draba* y *Distichia*. Los arbustos pequeños de varios géneros se encuentran esparcidos en este tipo de vegetación y asociados a las almohadillas, entre ellos se tiene: *Chuquiragua*, *Baccharis*, *Gynoxys*, *Lupinus*, entre otros. Los pequeños árboles de los géneros *Polylepis* (*P. pauta* y *P. incana*) y *Escallonia* pueden encontrarse dentro de esta formación vegetal.

➤ **Herbazal lacustre montano alto**

Corresponde a la vegetación registrada en los bordes de las lagunas altoandinas como la laguna de Puruhanta ubicada a 3.460 msnm. Actualmente se puede registrar porciones significativas de este tipo de vegetación, en los alrededores de la laguna. Esta formación se caracteriza por la presencia de especies como: *Isolepis inundata* (Cyperaceae), *Callitriche deflexa* (Calitrichaceae), *Elatine ecuadoriensis* (Elatinaceae), *Juncus stipulatus*, *J. articus* (Juncaceae), *Potamogeton filiformis* (Potamogetonaceae). Esta vegetación se mezcla con la vegetación dominante del páramo circundante, vegetación herbácea y de almohadillas; donde se aprecia la presencia de varias especies de las familias Poaceae, Apiaceae, Geraniaceae y Plantaginaceae, entre otras.

➤ **Bosque de neblina montano alto**

Esta formación vegetal se extiende desde 3.000 hasta 3.400 msnm e incluye vegetación de transición entre el bosque montano alto y el páramo. Esta formación se caracteriza por la presencia de gran cantidad de musgos y plantas epífitas. Otra característica es que los árboles y arbustos tienden a crecer irregularmente, con troncos ramificados desde la base y en algunos casos inclinados, hecho que se debe a la incidencia de la baja luminosidad y a la neblina puesto que el área está bajo la influencia del llamado fenómeno Foehn. (GARCÍA DE PEDRAZA, 1973).

Entre las especies representativas de estas zonas están *Bomarea sp.*, *Anthurium mindensen*, *Ceroxylon ventricosum*, *Prestoea acuminata*, *Alnus acuminata*, *Brunellia tomentosa*, *Cecropia maxima*, *Passiflora mixta*, *Passiflora alnifolia* y *Passiflora coactilis*.

➤ **Bosque siempreverde montano alto**

En esta formación se encuentran los bosques ubicados entre 3.000 y 3.400 msnm; es una comunidad vegetal cuyos árboles están cargados de abundantes musgos y cuya altura del dosel está alrededor de los 15 m; en esta franja los helechos, orquídeas, y bromelias son numerosos en especies e individuos.

Corresponde a una zona de fuerte pendiente, ubicada particularmente al interior de las quebradas y hondonadas cubiertas por vegetación nativa arbórea y arbustiva, que de acuerdo con la altitud van cambiando, hecho que está en función de las formaciones ecológicas imperantes en la zonas remanentes de vegetación de la zona de estudio.

En las zonas de mayor pendiente que se localizan en las quebradas, se presenta un bosque relativamente bien conservado dominado por especies nativas, todas en proceso de regeneración.

Entre las especies registradas más sobresalientes están: *Oreopanax ecuadorensis*, *Gynoxys halli*, *Brachyotum ledifolium*, *Coraria ruscifolia*, *Phenax hirtus*, *Miconia postulata*, *Solanum oblongifolium*, *Hypericum laricifolium*, *Vallea stipularis*, *Tournefortia fuliginosa*, *Syphocampylus giganteus*, *Piper barbatum*.

4.1.3. Datos de precipitación

4.1.3.1. Ecuaciones de correlación

De las 7 estaciones meteorológicas que se consideraron con influencia dentro de la microcuenca, la estación Mariano Acosta es la que mayor cantidad de datos registrados tiene, por lo que fue la base para generar los histogramas de correlación y a partir de la ecuación de la recta generar los datos para completar las tablas de precipitación de todas las estaciones. A continuación se muestran las tablas con las fórmulas que se emplearon.

➤ Mariano Acosta vs San Francisco de Sigsipamba

No se empleó correlación para el mes de diciembre, ya que la estación San Francisco de Sigsipamba contó con datos completos para el mes en mención.

Tabla 19. Ecuaciones de correlación. Mariano Acosta vs San Francisco de Sigsipamba.

MESES	ECUACIÓN
Enero	$y = 0,5525x + 34,963$
Febrero	$y = 0,3827x + 44,053$
Marzo	$y = 0,3702x + 60,817$
Abril	$y = 0,4866x + 42,352$
Mayo	$y = 0,9605x + 6,1404$
Junio	$y = 1,0395x + 32,118$
Julio	$y = 0,679x + 74,827$
Agosto	$y = 0,897x + 33,418$
Septiembre	$y = 0,4991x + 31,471$
Octubre	$y = 0,5961x + 26,259$
Noviembre	$y = 0,855x + 1,1766$

Elaboración: La Autora

➤ Mariano Acosta vs Olmedo-Pichincha

Para el caso de la Estación Olmedo-Pichincha, fue necesaria emplear la correlación de datos para todos los meses del año.

Tabla 20. Ecuaciones de Correlación. Mariano Acosta vs Olmedo-Pichincha

MESES	ECUACIÓN
Enero	$y = 0,0961x + 61,604$
Febrero	$y = 0,6163x + 11,919$
Marzo	$y = 0,2883x + 63,859$
Abril	$y = 0,4541x + 32,905$
Mayo	$y = 0,8394x + 1,4858$
Junio	$y = 0,4424x + 13,456$
Julio	$y = 0,5606x - 0,3682$
Agosto	$y = 0,2403x + 12,424$
Septiembre	$y = 0,3753x + 17,124$

Octubre	$y = 0,6495x + 17,355$
Noviembre	$y = 0,5527x + 31,163$
Diciembre	$y = 0,3613x + 43,281$

Elaboración: La Autor

➤ Mariano Acosta vs Pimampiro

En lo que respecta a la estación Pimampiro, se excluyó de la correlación de datos a los meses se enero, febrero, abril, julio, agosto y noviembre por que estos meses si contaban con datos registrados.

Tabla 21. Ecuaciones de Correlación. Mariano Acosta vs Pimampiro

MESES	ECUACIÓN
Marzo	$y = 0,4657x + 6,0933$
Mayo	$y = 0,5664x + 0,7572$
Junio	$y = 0,5091x + 5,2314$
Septiembre	$y = 0,5073x + 4,1262$
Octubre	$y = 0,3674x + 17,366$
Diciembre	$y = 0,3351x + 17,946$

Elaboración: La Autora

➤ Mariano Acosta vs Ibarra-Aeropuerto

En el caso de la Estación Ibarra-Aeropuerto, fue necesaria emplear la correlación de datos para todos los meses del año.

Tabla 22. Ecuaciones de Correlación. Mariano Acosta vs Ibarra-Aeropuerto

MESES	ECUACIÓN
Enero	$y = 0,3664x + 5,5692$
Febrero	$y = 0,3657x + 24,31$
Marzo	$y = 0,3839x + 26,163$
Abril	$y = 0,1261x + 70,863$
Mayo	$y = 0,4153x + 37,088$
Junio	$y = 0,3866x + 10,987$
Julio	$y = 0,24x + 1,4842$
Agosto	$y = 0,1683x + 7,9681$
Septiembre	$y = 0,3675x + 15,396$
Octubre	$y = 0,2601x + 46,53$
Noviembre	$y = 0,3848x + 26,771$
Diciembre	$y = 0,2086x + 26,276$

Elaboración: La Autora

➤ Mariano Acosta vs Zuleta

En lo que respecta a la estación Zuleta, sólo fue preciso emplear correlación para los datos de Diciembre que eran los que estaban incompletos.

Tabla 23. Ecuaciones de Correlación. Mariano Acosta vs Zuleta

MESES	ECUACIÓN
Diciembre	$y = 0,6061x + 56,915$

Elaboración: La Autora

➤ **Mariano Acosta vs La Bonita**

Para el caso de la estación La Bonita, fue necesario emplear el método de correlación para estimar los valores de precipitación de todos los meses, es una de las estaciones más incompleta en lo que a registros se refiere.

Tabla 24. Ecuaciones de Correlación. Mariano Acosta vs La Bonita

MESES	ECUACIÓN
Enero	$y = 0,6401x + 110,79$
Febrero	$y = 0,7137x + 88,821$
Marzo	$y = -1,0132x + 323,31$
Abril	$y = -0,2347x + 271,78$
Mayo	$y = -0,0395x + 303,32$
Junio	$y = 1,2679x + 236,18$
Julio	$y = -0,2585x + 375,59$
Agosto	$y = 1,2573x + 225,74$
Septiembre	$y = 0,4456x + 177,24$
Octubre	$y = 0,255x + 167,43$
Noviembre	$y = 0,0968x + 127,23$
Diciembre	$y = 0,212x + 122,23$

Elaboración: La Autora

4.1.3.2. Tablas de precipitaciones

Las tablas con los datos de precipitación de las 7 estaciones que por la cercanía con la microcuenca del río Pisque, fueron consideradas como estaciones de influencia, se pueden encontrar en los anexos (A – F). Es importante indicar que los datos que se encuentran en color rojo y con letra cursiva son datos obtenidos por correlación, con las ecuaciones presentadas en las tablas del numeral 4.1.3.1., mientras que los datos de color verde son obtenidos por promedio aritmético.

4.1.3.3. Método de los polígonos de Thiessen

Mediante la interpolación de los datos registrados para el período 2013, con las estaciones de influencia, se determinó que las precipitaciones estimadas son las que se anexan en la tabla 25.

Tabla 25. Precipitación actual (mm) estimada por el método polígonos de Thiessen.

ESTACIÓN	AREA	%	PRECIPITACIÓN MEDIA											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Sn. Fco. Sigsipamba	17,32	15,87	11,35	11,74	15,03	19,8	16,65	16,5	15,66	9,997	8,172	14,93	14,38	17,8
Olmedo Pichincha	45,09	41,30	31,06	35,72	37,29	35,64	28,87	19,66	9,664	7,021	15,28	36,34	37,38	41,55
Mariano Acosta	46,76	42,83	33,92	44,16	44,89	63,48	39,71	28,14	20,17	16,11	17,65	45,02	44,33	54,48
TOTAL	109,17	100	76,33	91,63	97,21	118,9	85,22	64,30	45,50	33,12	41,1	96,29	96,08	113,8

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (2000 – 2013)

Como se observa en la tabla 25, se tiene que la estación San Francisco de Sigsipamba tiene una influencia en la microcuenca del 15,87%, en un mayor porcentaje de influencia las estaciones Olmedo Pichincha y Mariano Acosta con un 41,30% y un 42,83% respectivamente. En la parte derecha de la tabla se puede observar las precipitaciones medias mensuales estimadas, que da como resultado para el periodo de análisis actual una precipitación anual estimada de 959,54 mm.

Posteriormente, se estimaron las precipitaciones para el segundo período de análisis del año 1999, y se obtuvieron como resultado los datos registrados en la tabla 26, que da como resultado una precipitación anual estimada de 933, 86 mm.

Tabla 26. Precipitación estimada (mm) para 1999 por el método polígonos de Thiessen.

ESTACIÓN	AREA	%	PRECIPITACIÓN MEDIA											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Sn. Fco. Sigsipamba	17,32	15,87	12,03	13,65	13,76	17,72	13,87	12,47	19,39	12,44	7,33	9,65	12,61	11,27
Olmedo Pichincha	45,09	41,30	35,31	28,13	42,08	47,04	37,95	18,50	10,24	11,73	16,60	25,07	40,80	36,01
Mariano Acosta	46,76	42,83	37,39	44,25	51,27	55,55	40,86	22,87	19,96	20,65	26,51	27,97	44,33	36,58
TOTAL	109,17	100	84,73	86,02	107,11	120,32	92,69	53,85	49,59	44,81	50,45	62,69	97,75	83,86

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1992 – 1999)

Finalmente con los procesos antes mencionados, se estimó la precipitación para el año de análisis de 1991, los mismos que se anexan en la tabla 27, y da como resultado una precipitación anual estimada para la microcuenca del río Pisque de 938,60 mm.

Tabla 27. Precipitación estimada (mm) para 1991 por el método polígonos de Thiessen.

ESTACIÓN	AREA	%	PRECIPITACIÓN MEDIA											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mariano Acosta	46,76	42,83	34,01	43,00	49,39	59,92	35,34	28,83	26,68	16,36	21,37	44,72	50,24	42,70
Sn. Fco. Sigsipamba	17,32	15,87	13,44	13,42	17,42	17,82	14,50	15,85	18,25	10,85	9,66	14,17	16,01	13,96
Olmedo Pichincha	45,09	41,30	23,87	28,95	41,38	37,75	31,84	14,45	14,99	8,71	13,63	32,67	33,99	28,41
TOTAL	109,17	100	71,32	85,38	108,19	115,49	81,68	59,13	59,92	35,93	44,67	91,56	100,24	85,08

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1965 – 1991)

4.1.3.4. Método de las isoyetas con “Spline”

Al igual que para el método anterior, se realizaron tablas con los datos de precipitación estimados para cada uno de los períodos de referencia del estudio, para dicho método se consideraron 5 estaciones, ya que al momento de la interpolación el software únicamente permitió la aportación de las siguientes estaciones: Mariano Acosta, Pimampiro, San Francisco de Sigsipamba, Olmedo-Pichincha y La Bonita.

Como se puede observar en la tabla 28, se encuentran detalladas mes por mes las precipitaciones estimadas (P), se obtuvo una precipitación media anual de 1096,8 mm para el periodo de análisis 1991.

Tabla 28. Precipitación estimada (mm) para 1991 por el método de isoyetas.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P	86,6	89,2	112,5	124,6	94,6	83,2	93,8	55,2	57,1	96,9	108,9	94,2	1096,8

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1968 – 1991)

Siguiendo el procedimiento anterior para el período de referencia de 1999 se obtuvo una precipitación anual media estimada de 1041,1 mm, en la tabla 29 se observan los datos estimados para cada mes.

Tabla 29. Precipitación estimada (mm) para 1999 por el método de isoyetas.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P	87,5	90,0	104,5	129,5	102,4	71,6	91,5	65,3	52,5	62,5	96,3	87,5	1041,1

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1992 – 1999)

En la tabla 30, se encuentran las precipitaciones mensuales estimadas. Como resultado estimado de precipitación media anual para el 2013 se obtuvo 1117,2 mm.

Tabla 30. Precipitación estimada (mm) actual por el método de Isoyetas.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P	85,7	96,6	87,8	127,9	103,4	91,3	77,4	51,7	51,7	112,1	107,9	123,7	1117,2

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (2000 – 2013)

4.1.3.5. Método de las isoyetas con “Kriging”

Como se observa en la tabla 31, se encuentra las precipitaciones mensuales estimadas (P). Siguiendo esta metodología se obtuvo una precipitación media anual de 863,2 mm para el periodo de intervención 1991.

Tabla 31. Precipitación estimada (mm) para 1991 por el método de isoyetas.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P	64,0	75,3	95,9	103,0	73,8	60,5	62,9	37,6	44,1	83,4	89,7	75,6	863,2

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1968 – 1991)

Para el periodo de referencia de 1999 se obtiene como resultado una precipitación anual media estimada de 852,4 mm, en la tabla 32 se observan los datos estimados mensuales.

Tabla 32. Precipitación estimada (mm) para 1999 por el método de isoyetas.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P	73,4	79,4	95,8	107,3	81,8	53,5	55,2	45,1	46,1	57,2	87,0	80,6	852,4

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1992 – 1999)

En la tabla 33, se encuentran las precipitaciones mensuales estimadas que como resultado se obtuvo una precipitación media anual para el 2013 de 875,0 mm.

Tabla 33. Precipitación estimada (mm) actual por el método de Isoyetas.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P	71,7	75,3	85,5	112,1	81,0	63,0	48,1	34,5	38,6	83,5	85,2	103,3	875,0

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (2000 – 2013)

4.1.3.6. Método de los polígonos de Thiessen modificado

Aplicando la fórmula propuesta en el literal d) del numeral 3.2.3, se determinó que la precipitación media del lugar, durante el período 1991 es de 947,1 mm, las precipitaciones mensuales se detallan en la tabla 34.

Tabla 34. Precipitación actual estimada (mm) por el método polígonos de Thiessen Modificado.

ESTACIÓN	AREA	%	PRECIPITACIÓN MEDIA											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Sn. Fco. Sigsipamba	17,32	15,87	11,1	13,1	17,0	17,9	12,8	10,5	12,4	6,5	8,3	14,6	15,8	13,4
Olmedo Pichincha	45,09	41,30	28,8	33,5	43,1	46,6	33,3	27,3	27,2	17,0	18,9	37,7	40,5	34,1
Mariano Acosta	46,76	42,83	29,9	35,0	45,2	48,3	34,5	28,3	29,3	17,6	20,9	39,3	42,3	35,7
TOTAL	109,17	100	69,8	81,5	105,3	112,7	80,6	66,0	68,8	41,1	48,1	91,5	98,6	83,1

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (2000 – 2013)

Como se observa en la tabla 35, para las precipitaciones mensuales estimadas por el método de los polígonos de Thiessen modificado, se obtuvo una precipitación media anual de 941,3 mm

Tabla 35. Precipitación estimada (mm) para 1999 por el método polígonos de Thiessen Modificado.

ESTACIÓN	AREA	%	PRECIPITACIÓN MEDIA											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Sn. Fco. Sigsipamba	17,32	15,87	12,8	13,8	16,6	18,6	14,4	9,6	9,6	7,9	8,0	9,9	15,1	13,4
Olmedo Pichincha	45,09	41,30	32,7	35,8	43,2	48,2	37,0	23,7	24,9	20,6	20,8	25,6	39,2	36,9
Mariano Acosta	46,76	42,83	34,3	37,1	44,8	50,2	38,6	24,7	25,8	21,3	21,6	26,7	40,7	37,6
TOTAL	109,17	100	79,8	86,7	104,6	117,0	89,9	58,0	60,1	49,8	50,3	62,3	95,0	87,9

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1992 – 1999)

Finalmente se estimó la precipitación para el período 2013, la misma que se detalla en la tabla 36 y que dio como resultado una precipitación anual media estimada de 883,3 mm.

Tabla 36. Precipitación estimada (mm) para 2013 por el método polígonos de Thiessen Modificado.

ESTACIÓN	AREA	%	PRECIPITACIÓN MEDIA											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mariano Acosta	46,76	42,83	30,5	32,4	36,9	50,3	34,6	27,1	22,9	14,8	16,4	35,9	36,3	44,1
Sn. Fco. Sigsipamba	17,32	15,87	11,3	12,0	13,8	18,7	12,8	10,1	8,5	5,5	6,1	13,4	13,5	16,4
Olmedo Pichincha	45,09	41,30	29,3	31,0	35,4	43,1	33,3	26,1	19,8	14,2	15,9	34,3	34,8	42,3
TOTAL	109,17	100	71,0	75,3	86,0	112,1	80,7	63,3	51,2	34,5	38,4	83,6	84,6	102,7

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (2000 – 2013)

Se realizó la estimación de la precipitación media por los cuatro métodos antes mencionados para visualizar la diferencia que existe entre ellos, y los beneficios y limitaciones de cada uno de los métodos. Así por ejemplo, polígonos de Thiessen es de los métodos más utilizados para la obtención de precipitaciones, es más exacto que el método del promedio aritmético pero es importante recalcar que este método no considera la influencia del relieve en la precipitación.

En los métodos de interpolación para la obtención de isoyetas, la diferencia fue el método estadístico empleado; el método de la interpolación de la curva mínima o Spline, propone reducir al mínimo la curvatura de la superficie total, con este método en meses de época seca, como en este caso junio, julio y agosto, en las capas raster generadas existieron superficies en la cuenca con valores negativos de precipitación, esto debido a que la diferencia entre un rango de precipitación y otro era considerablemente grande, sin embargo al obtener la precipitación media de la cuenca en general el valor resultó positivo. Por otra parte, el método Kriging utiliza en la interpolación las características de variabilidad y correlación espacial de la precipitación, en este método no se obtuvieron superficies con

valores negativos en la microcuenca, sin embargo la distribución de la lluvia fue casi uniforme en toda el área, la diferencia entre un rango y otro fue muy reducida.

El método de polígonos de Thiessen modificado se basa en los dos métodos descritos anteriormente, conjetura que existe una relación entre las variaciones dentro del área correspondiente a cada polígono de las isoyetas y las variaciones obtenidas en cada estación de estudio. Este método implementa en el análisis la influencia de la orografía.

Tabla 37. Resumen de los métodos empleados para obtener precipitación media (mm)

MES	PRECIPITACIÓN MEDIA											
	Polígonos de Thiessen			Isoyetas con spline			Isoyetas con kriging			Polígonos de Thiessen Modificado		
	1991	1999	2013	1991	1999	2013	1991	1999	2013	1991	1999	2013
ENE	71,3	84,7	76,3	86,6	87,5	85,7	64,0	73,4	71,7	69,8	79,8	71,0
FEB	85,4	86,0	91,6	89,2	90,0	96,6	75,3	79,4	75,3	81,5	86,7	75,3
MAR	108,3	107,1	97,2	112,5	104,5	87,8	95,9	95,8	85,5	105,3	104,6	86,0
ABR	115,5	120,3	118,9	124,6	129,5	127,9	103,0	107,3	112,1	112,7	117,0	112,1
MAY	81,7	92,7	85,2	94,6	102,4	103,4	73,8	81,8	81,0	80,6	89,9	80,7
JUN	59,1	53,9	64,3	83,2	71,6	91,3	60,5	53,5	63,0	66,0	58,0	63,3
JUL	59,9	49,6	45,5	93,8	91,5	77,4	62,9	55,2	48,1	68,8	60,1	51,2
AGO	35,9	44,8	33,1	55,2	65,3	51,7	37,6	45,1	34,5	41,1	49,8	34,5
SEP	44,7	50,5	41,1	57,1	52,5	51,7	44,1	46,1	38,6	48,1	50,3	38,4
OCT	91,6	62,7	96,3	96,9	62,5	112,1	83,4	57,2	83,5	91,5	62,3	83,6
NOV	100,2	97,8	96,1	108,9	96,3	107,9	89,7	87,0	85,2	98,6	95,0	84,6
DIC	85,1	83,9	113,8	94,2	87,5	123,7	75,6	80,6	103,3	83,1	87,9	102,7
ANUAL	938,6	933,9	959,5	1096,8	1041,1	1117,2	863,2	852,4	875,0	947,1	941,3	883,3

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1968 – 2013)

En la tabla 37 se resumen las precipitaciones estimadas para cada período y se utilizó los promedios aritmético de los métodos para la precipitación, como se indica en la tabla 38.

Tabla 38. Valores de precipitación media

MES	PRECIPITACION MEDIA		
	1991	1999	2013
ENE	72,9	81,4	76,2
FEB	82,9	85,5	84,7
MAR	105,5	103,0	89,1
ABR	114,0	118,5	117,8
MAY	82,7	91,7	87,6
JUN	67,2	59,3	70,5
JUL	71,4	64,1	55,6
AGO	42,5	51,3	38,5
SEP	48,5	49,9	42,5
OCT	90,9	61,2	93,9
NOV	99,4	94,0	93,5
DIC	84,5	85,0	110,9
ANUAL	961,4	942,2	958,8

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1968 – 2013)

4.1.4. Datos de Temperatura

Después de haber utilizado las ecuaciones que se proponen en el numeral 3.2.4, se obtuvieron las temperaturas medias mensuales que se indican en la tabla 39. Las tablas con las temperaturas registradas en las estaciones del INAMHI se encuentran en los anexos (G – K)

Tabla 39. Temperaturas medias (°C) para los períodos de estudio

MES	TEMPERATURA MEDIA		
	1991	1999	2013
ENE	8,8	9,2	9,8
FEB	9,1	9,0	9,7
MAR	8,9	8,9	9,8
ABR	8,9	9,1	10,1
MAY	9,3	9,6	10,6
JUN	8,8	9,5	10,1
JUL	8,3	8,5	10,1
AGO	8,5	8,3	9,6
SEP	8,5	9,2	9,9
OCT	9,1	9,6	10,6
NOV	9,1	9,5	10,5
DIC	9,3	9,6	10,3
ANUAL	8,9	9,2	10,1

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1965 – 2013)

4.1.5. Datos de aforos

Para la estimación de los caudales medios mensuales de cada uno de los drenajes menores de la microcuenca, se utilizó la metodología descrita en el numeral 3.1.5.2; las tablas con los aforos registrados por el INAMHI se encuentran en los anexos (L – P) y las tablas de aforos de caudales medidos se encuentran en el anexo Q, R y S.

4.1.5.1. Regionalización hidrométrica por el método de los trazos multidimensionales

Se consideraron para este estudio un total de 9 cuencas hidrográficas dotadas de una estación hidrométrica y que constan en la base de datos del INAMHI, las mismas que se anexan en la tabla 40.

Tabla 40. Estaciones hidrométricas consideradas para los trazos multidimensionales

CODIGO	ESTACIÓN	Q medio mensual (m³/s)
H011	Mira DJ Lita	153,83
H012	Lita AJ Mira	31,27
H013	Blanco AJ Mira	16,23
H014	Mira en Carchi	62,44
H015	Chota en Pte. Carretera	36,28
H016	Apaqui AJ Chota	13,43
H017	Apaqui Gruta de la Paz	9,92
H023	Ambi DJ Cariyacu	11,54
H045	Apaqui DJ Minas	5,60

Elaboración: La Autora

Fuente: INAMHI (1984 – 2013)

De acuerdo al análisis de regresión, las características para el análisis multidimensional, en orden de importancia son: área (X1), perímetro (X2), longitud del cauce principal (X3), pendiente media de la cuenca (X4) y precipitación media anual (X5), estos datos de las 9 cuencas mencionadas anteriormente y de los 8 drenajes menores de la microcuenca del río Pisque, en la tabla 41 se muestran los datos de los drenajes menores con los parámetros evaluados.

Tabla 41. Parámetros considerados para los trazos multidimensionales de los drenajes menores de la cuenca del río Pisque

MICROCUENCA	AREA km²	PERÍMETRO km	LONG. CAUCE km	PEND. MEDIA %	PREC. MEDIA mm
M. Río Tornillos	10,3285	13,6141	4,57974	27,0166	1076,07
M. Quebrada Curiquingue	7,61804	12,3561	3,91882	34,03626	996,29
M. Quebrada Olimbas	6,56965	11,8294	4,013798	38,70383	992,75
M. Quebrada Guamaná	6,88487	12,264	4,466911	34,30791	1024,61
M. Río Molinillos	41,33463	26,6296	10,567271	35,40721	1040,37
M. Río Palaurcu	14,704	20,4682	7,834866	40,99655	1070,04
M. Quebrada Shanshipamba	109,1672	55,7547	18,8875	43,20413	1117,19
M. Río Pisque	5,46348	13,3317	5,244403	49,16822	1176,21

Elaboración: La Autora

Fuente: IGM, INAMHI (1982 – 2013)

De acuerdo a la función $f(t)$ descrita en el numeral 2.3.1., se graficó dicha función para cada cuenca, evaluada de π a $-\pi$, y pertenecen a una misma región hidrológica, aquellas cuencas cuyas gráficas estén muy próximas entre sí. A continuación en el Grafico 8 se encuentra la gráfica de cada una de la función $f(t)$.

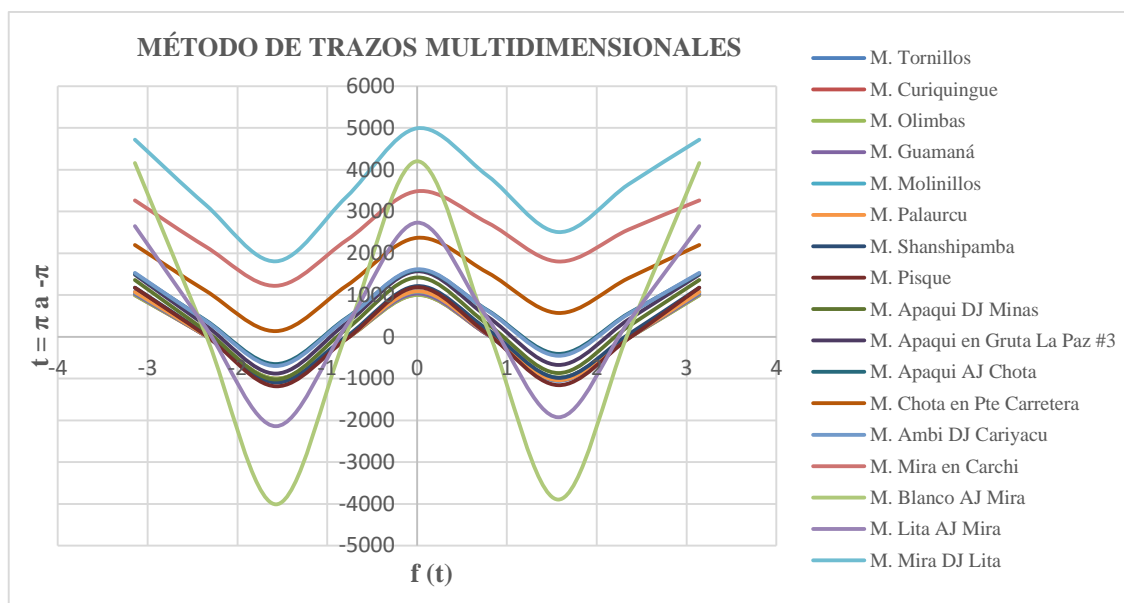


Gráfico 12. Trazos multidimensional de la función $f(t)$

Elaboración: La Autora

Fuente: IGM, INAMHI (1982 – 2013)

Como se observa en la gráfico 12, la microcuenca del río Pisque y todos sus drenajes menores se encuentran dentro de la misma región hidrológica que las siguientes estaciones: H015, H016, H017, H023 y H045; es decir que únicamente se puede transferir información hidrométrica a los drenajes menores en estudio de las cinco estaciones citadas. Las otras cuencas quedan descartadas por cuanto pertenecen a otra región hidrológica.

➤ **Estimación del caudal de los drenajes menores de la microcuenca del río Pisque para el período actual**

En la regresión lineal de áreas vs caudales registrados en las estaciones hidrométricas que pertenecen a la misma región hidrológica que la microcuenca del río Pisque, se obtuvo una ecuación por cada mes, reemplazando el valor de “X” en la misma, se obtuvieron los siguientes caudales, anexados en la Tabla 42, para el periodo actual.

Tabla 42. Caudales estimados (m^3/s) para los drenajes menores de la cuenca del río Pisque del periodo 2013

NOMBRE	AREA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
H015	1864,4	25,195	22,710	33,939	42,809	46,574	26,045	29,903	23,949	17,041	16,973	19,068	18,901	26,926
H016	723,7	7,075	6,885	7,902	8,719	10,649	10,924	16,330	9,985	7,807	8,081	7,508	7,299	9,097
H017	529,9	7,404	8,066	7,657	9,831	11,349	14,747	13,818	11,939	8,783	5,935	7,068	8,752	9,612
H023	704,4	8,295	9,097	9,508	9,808	16,750	4,121	3,393	2,899	2,947	3,632	5,826	4,745	6,752
H045	314,3	2,937	2,138	1,878	2,677	4,962	5,826	6,309	4,524	2,434	1,364	2,501	2,360	3,326
Tornillos	10,33	0,061	0,043	0,011	0,019	0,079	0,427	0,352	0,233	0,099	0,022	0,075	0,078	0,125
Curiquingue	7,62	0,043	0,029	0,007	0,012	0,054	0,340	0,274	0,180	0,074	0,014	0,054	0,057	0,095
Olimbas	6,57	0,036	0,024	0,005	0,010	0,045	0,304	0,243	0,159	0,064	0,012	0,046	0,048	0,083
Guamaná	6,88	0,038	0,026	0,006	0,010	0,048	0,315	0,253	0,166	0,067	0,013	0,048	0,051	0,087

Molinillos	41,33	0,305	0,236	0,094	0,146	0,430	1,210	1,086	0,755	0,387	0,133	0,332	0,340	0,454
Palaurcu	14,70	0,092	0,066	0,019	0,032	0,121	0,557	0,469	0,315	0,141	0,034	0,109	0,114	0,172
Pisque	109,17	0,939	0,780	0,418	0,614	1,414	2,507	2,394	1,719	1,001	0,478	0,942	0,950	1,180
Shanshipamba	5,46	0,029	0,019	0,004	0,007	0,036	0,265	0,209	0,136	0,053	0,009	0,038	0,040	0,071

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (2000 - 2013)

➤ **Estimación del caudal de los drenajes menores de la microcuenca del río Pisque para el período de 1999**

En la regresión lineal de áreas vs caudales registrados en las estaciones hidrométricas que pertenecen a la misma región hidrológica que la microcuenca del río Pisque, se obtuvo una ecuación por cada mes, reemplazando el valor de “X” en la misma, se obtuvieron los siguientes caudales, que se adjuntan en la tabla 43, para el periodo de 1999.

Tabla 43. Caudales estimados (m³/s) para los drenajes menores de la cuenca del río Pisque del Período 1999

NOMBRE	AREA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
H015	1864,40	23,567	28,371	38,419	37,409	47,844	44,980	51,773	32,347	28,277	27,929	24,965	27,240	34,427
H016	723,70	5,471	5,379	6,020	7,617	7,937	8,871	11,130	7,099	5,931	5,092	7,062	6,830	7,037
H017	529,90	6,380	7,562	8,510	10,367	11,951	13,994	15,795	12,822	8,137	5,668	7,123	7,956	9,689
H023	704,40	4,682	5,054	6,575	6,656	6,368	4,772	3,281	2,779	3,320	3,846	4,538	4,403	4,690
H045	314,30	4,089	1,934	2,163	2,320	3,634	4,101	5,086	4,353	1,740	0,852	2,047	1,711	2,836
Tornillos	10,33	0,115	0,016	0,014	0,021	0,034	0,055	0,069	0,111	0,015	0,002	0,024	0,014	0,041
Curiquingue	7,62	0,086	0,010	0,009	0,013	0,022	0,037	0,048	0,081	0,009	0,001	0,016	0,009	0,029
Olimbas	6,57	0,074	0,008	0,007	0,011	0,018	0,031	0,040	0,070	0,008	0,001	0,013	0,007	0,024
Guamaná	6,88	0,078	0,009	0,008	0,011	0,019	0,033	0,042	0,073	0,008	0,001	0,014	0,008	0,025
Molinillos	41,33	0,445	0,113	0,115	0,153	0,222	0,306	0,366	0,457	0,107	0,027	0,150	0,106	0,214
Palaurcu	14,70	0,163	0,026	0,024	0,034	0,054	0,085	0,105	0,159	0,024	0,004	0,038	0,024	0,062
Pisque	109,17	1,146	0,445	0,505	0,626	0,831	1,022	1,183	1,232	0,435	0,157	0,543	0,427	0,713
Shanshipamba	5,46	0,062	0,007	0,005	0,008	0,014	0,025	0,032	0,058	0,006	0,001	0,010	0,006	0,019

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1992 – 1999)

➤ **Estimación del caudal de los drenajes menores de la microcuenca del río Pisque para el período de 1991**

En la regresión lineal de áreas vs caudales registrados en las estaciones hidrométricas que pertenecen a la misma región hidrológica que la microcuenca del río Pisque, se obtuvo una ecuación por cada mes, reemplazando el valor de “X” en la misma, se obtuvieron los siguientes caudales, anexados en la tabla 44 para el periodo de 1991.

Tabla 44. Caudales estimados (m³/s) para los drenajes menores de la cuenca del río Pisque del período 1991

NOMBRE	AREA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
H015	1864,40	19,818	20,236	26,484	34,483	36,313	44,330	60,367	41,027	25,577	19,415	21,023	18,790	30,655
H016	723,70	7,075	6,885	7,902	8,719	10,649	10,924	16,330	9,985	7,807	8,081	7,508	7,299	9,097
H017	529,90	6,490	6,769	8,041	9,000	11,100	12,571	15,044	11,548	8,240	6,542	7,326	7,446	9,177
H023	704,40	3,963	4,783	5,595	5,885	5,989	3,982	3,066	2,697	2,652	3,774	4,872	4,535	4,316
H045	314,30	11,266	8,856	4,092	4,801	4,723	5,920	7,584	5,860	4,333	4,026	6,762	9,828	6,504
Tornillos	10,33	1,572	0,946	0,115	0,100	0,104	0,114	0,111	0,115	0,128	0,178	0,521	1,522	0,461
Curiquingue	7,62	1,393	0,808	0,084	0,072	0,075	0,082	0,079	0,084	0,096	0,136	0,427	1,343	0,390
Olimbas	6,57	1,314	0,748	0,073	0,061	0,063	0,070	0,067	0,072	0,083	0,120	0,387	1,264	0,360
Guamaná	6,88	1,338	0,767	0,076	0,065	0,067	0,073	0,070	0,076	0,087	0,125	0,400	1,288	0,369
Molinillos	41,33	2,727	1,938	0,471	0,451	0,475	0,510	0,531	0,494	0,483	0,594	1,296	2,688	1,055
Palaurcu	14,70	1,809	1,135	0,165	0,147	0,153	0,167	0,166	0,167	0,180	0,242	0,658	1,759	0,562
Pisque	109,17	4,011	3,202	1,265	1,290	1,373	1,459	1,588	1,366	1,223	1,384	2,452	4,005	2,052
Shanshipamba	5,46	1,221	0,680	0,060	0,050	0,052	0,057	0,054	0,059	0,070	0,102	0,343	1,172	0,327

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1982 – 1991)

4.1.5.2. Estimación de caudales por el método de regresión lineal múltiple

En las tablas 45, 46 y 47 se resume la estadística de regresión de los 3 períodos en estudio, por otra parte en la tabla 48 se encuentran los resultados de la regresión con la que se construyó la ecuación para estimar caudales diarios.

Tabla 45. Estadística de la regresión del periodo 2013

ESTADÍSTICA DE LA REGRESIÓN PERIODO ACTUAL	
Coefficiente de correlación R	0,96
Coefficiente de determinación R²	0,93
Observaciones	12

Elaboración: La Autora

Tabla 46. Estadística de la regresión del periodo 1999.

ESTADÍSTICA DE LA REGRESIÓN PERIODO 1999	
Coefficiente de correlación R	0,91
Coefficiente de determinación R²	0,82
Observaciones	12

Elaboración: La Autora

Tabla 47. Estadística de la regresión del periodo 1991

ESTADÍSTICA DE LA REGRESIÓN PERIODO 1991	
Coefficiente de correlación R	0,87
Coefficiente de determinación R²	0,76
Observaciones	12

Elaboración: La Autora

Tabla 48. Análisis de varianza de los periodos 1991, 1999 y 2013

	COEFICIENTES ACTUAL	COEFICIENTES 1999	COEFICIENTES 1991
Intercepción	- 1,000	0.045	2.360
Variable X₁	- 0,030	- 0.028	- 0.132
Variable X₂	0,063	0.008	0.247
Variable X₃	0,232	0.150	0.185
Variable X₄	0,024	0.025	- 0.051

Elaboración: La Autora

De acuerdo al análisis de regresión múltiple, los caudales del río Pisque fueron estimados mediante las siguientes ecuaciones:

$$Q_{PISQUE\ 1991} = 2,360 - 0,132 Q_{H15} + 0,247 Q_{H16} + 0,185 Q_{H17} - 0,051 Q_{H45}$$

$$Q_{PISQUE\ 1999} = 0,045 - 0,028 Q_{H15} + 0,008 Q_{H16} + 0,150 Q_{H17} - 0,025 Q_{H45}$$

$$Q_{PISQUE\ 2013} = -1,000 - 0,030 Q_{H15} + 0,063 Q_{H16} + 0,232 Q_{H17} + 0,024 Q_{H45}$$

En los anexos se encuentran las tablas con los datos diarios de caudales de las estaciones hidrológicas H015, H016 y H017, así como también se anexan los caudales diarios estimados para la cuenca del río Pisque con la ecuación de regresión múltiple.

4.2. IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE COBERTURA VEGETAL

En las coberturas vegetales identificadas mediante el tratamiento de las imágenes satelitales en el software ERDAS y ArcGIS se determinaron las siguientes categorías: bosque natural, vegetación arbustiva, páramo herbáceo, páramo arbustivo, pastizales, cultivos, cuerpos de agua, pantano y suelo sin vegetación.

4.2.1. Obtención de los índices de vegetación

Después de convertir las coberturas obtenidas del formato *raster* al formato *shapefile*, se calcularon las superficies que ocuparon cada una de las categorías de coberturas para el periodo de referencia 1991; como se observa en el gráfico 13 las coberturas vegetales con mayor extensión en el área de estudio fueron: páramo herbáceo con una superficie de 52,11 km² y bosque natural con una superficie de 40,96 km² es decir un porcentaje de 47,74 % y 37,52 % respectivamente; el 14,74 % de la superficie de la cuenca restante se distribuye en las otras 7 categorías de la forma que se indican en la mencionada tabla.

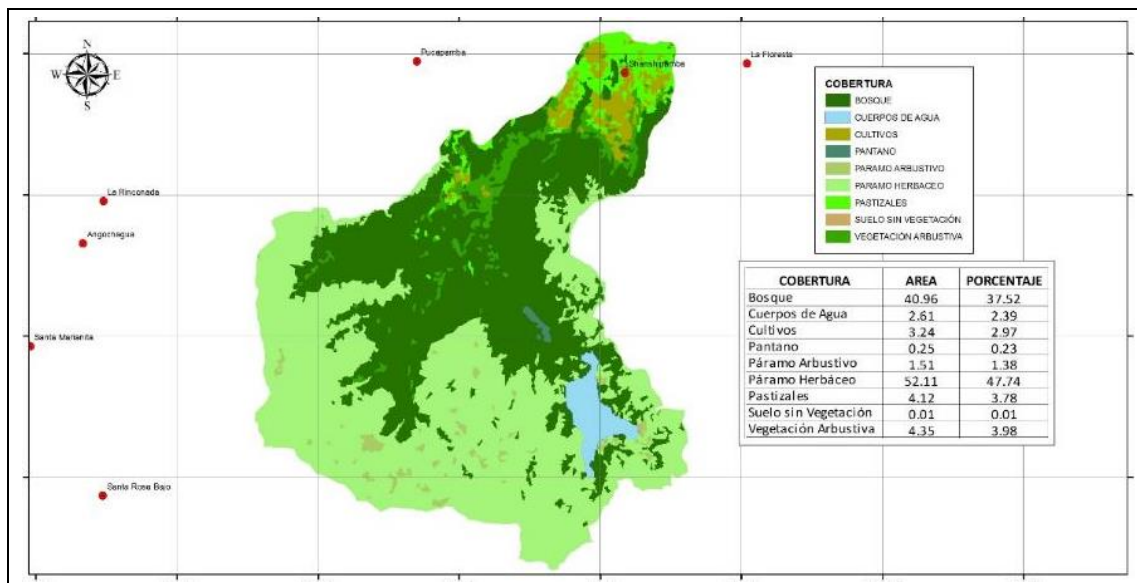


Gráfico 13. Cobertura vegetal año 1991

Elaboración: La Autora

Fuente: NASA y USGS (1991)

Siguiendo el mismo procedimiento para determinar la superficie que ocupa cada una de las categorías de cobertura vegetal para la capa *shapefile* del período 1991, indicado en el párrafo anterior, se obtuvo que el software ERDAS en el período 1999 interpretó una categoría más que era la de nubes. Como se observa en el gráfico 14 las coberturas que ocupan mayor superficie son bosque natural con 39,88 km² y páramo herbáceo con 29,47 km², es decir un 36,55 % y 27 % respectivamente. La categoría de nubes ocupa una superficie de 7,98 km² motivo por el cual se redujo considerablemente las superficies de las categorías bosque, páramo herbáceo y cuerpos de agua principalmente.

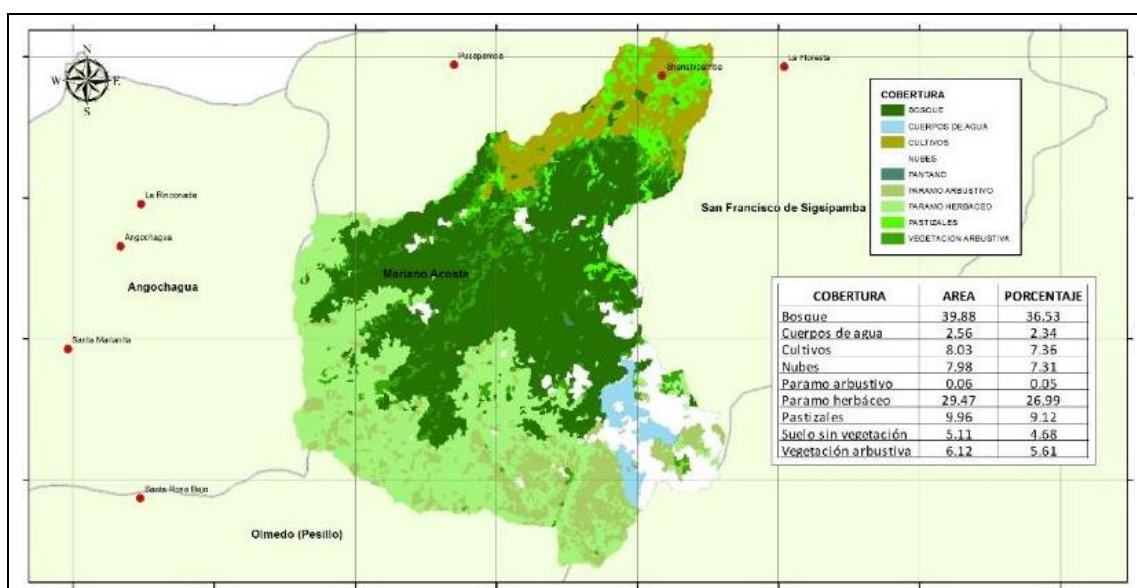


Gráfico 14. Cobertura vegetal año 1999

Elaboración: La Autora

Fuente: NASA y USGS (1999)

Finalmente se fotointerpretó la imagen Landsat del año 2013, pero esta presentaba errores, debido a fallos en el sensor del satélite que fueron corregidos mediante el procedimiento “*focal analysis*”, pero es importante indicar que esta corrección influyó ligeramente en la variación de resultados. Con la imagen corregida se realizaron los mismos pasos aplicados para los periodos 1991 y 2013. La capa shapefile de uso de suelo dio como resultado que las categorías con mayor superficie son páramo herbáceo con 46,13 km² y bosque con 44,31 km² y se obtuvo como resultado un porcentaje de 42,26 % y 40,59 %. El 17,15 % restante de la superficie de la cuenca se distribuye en las siguientes 6 categorías de la manera que se indica en el gráfico 15.

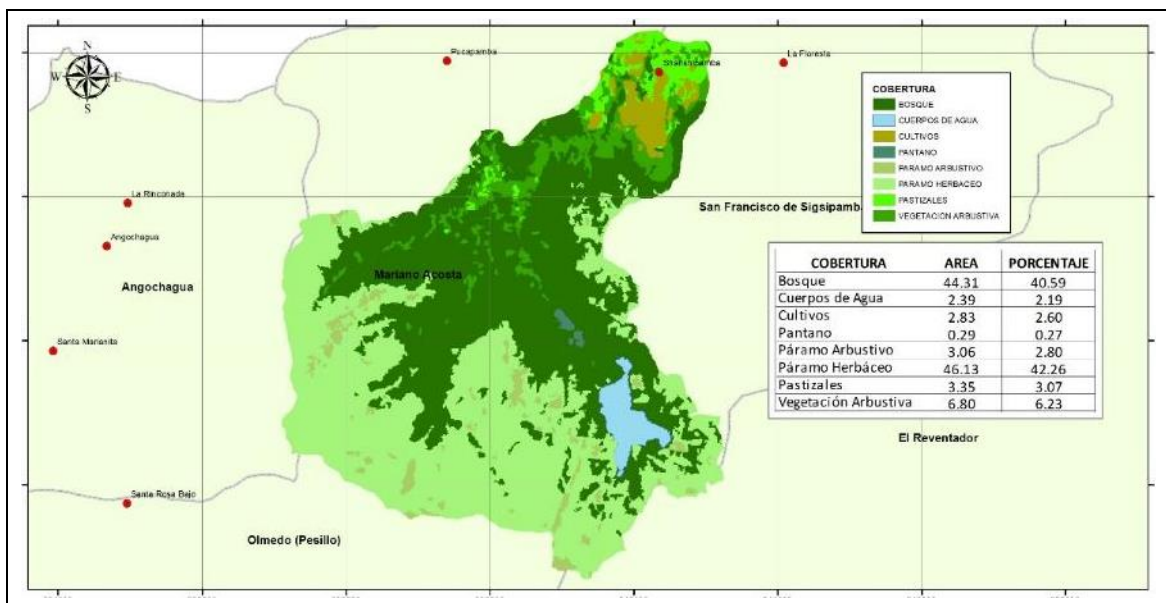


Gráfico 15. Cobertura vegetal año 2013

Elaboración: La Autora

Fuente: NASA y USGS (2013)

4.2.2. Verificación y validación de la cobertura vegetal

Para la verificación y validación de la cobertura vegetal obtenida se contabilizaron los píxeles de cada una de las coberturas y se realizó la matriz de confusión con los siguientes criterios:

- TP = Píxeles que pertenecen a la clase y que el clasificador los definió en esa clase.
- FN = Píxeles que pertenecen a la clase y que el clasificador no los definió en esa clase.
- FP = Píxeles que no pertenecen a la clase pero el clasificador los definió en esa clase.
- TN = Píxeles que no pertenecen a la clase y que el clasificador no los definió en esa clase.

La construcción de la matriz de confusión se la realiza de la forma que se indica en la tabla 49, y siguiendo ese procedimiento en la tabla 50 se encuentra la matriz de confusión para la validación de la cobertura del periodo 1991.

Tabla 49. Construcción de la matriz de confusión

		PREDICCIÓN	
		X ₁	X ₂
REAL	X ₁	TP	FN
	X ₂	FP	TN

Fuente: Kohavi and Provost (1998)

Tabla 50 Matriz de confusión para validar cobertura vegetal del periodo 1991

	B		VA		PH		PA		Pt		CA		C		Pn		SV	
	%	Px	%	Px	%	Px	%	Px	%	Px	%	Px	%	Px	%	Px	%	Px
B	80.00	28	11.43	4	0.00	0	5.71	2	0.00	0	0.00	0	2.86	1	0.00	0	0.00	0
VA	2.86	1	77.14	27	8.57	3	2.86	1	0.00	0	0.00	0	8.57	3	0.00	0	0.00	0
PH	0.00	0	8.57	3	65.71	23	8.57	3	14.29	5	0.00	0	2.86	1	0.00	0	0.00	0
PA	0.00	0	5.71	2	0.00	0	68.57	24	5.71	2	8.57	3	5.71	2	0.00	0	5.71	2
Pt	0.00	0	2.86	1	2.86	1	5.71	2	62.86	22	0.00	0	11.43	4	0.00	0	14.29	5
CA	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	97.14	34	0.00	0	5.71	2	2.86	1
C	0.00	0	2.86	1	0.00	0	5.71	2	11.43	4	0.00	0	71.43	25	0.00	0	8.57	3
Pn	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	88.57	31	11.43	4
SV	0.00	0	20.00	7	0.00	0	8.57	3	2.86	1	0.00	0	0.00	0	14.29	5	57.14	20

Nota: la interpretación de las siglas empleadas en la tabla 40 se la realiza considerando: Px = Número de Pixeles, B= Bosque, VA = Vegetación Arbustiva, PH = Páramo Herbáceo, PA = Páramo Arbustivo, Pt = Pastizales, CA = Cuerpos de Agua, C = Cultivos, Pn = Pantano y SV = Sin Vegetación.

Cálculo del índice Kappa

- Número de pixeles en el punto de muestreo = 35
- Número de Categorías = 9
- Sumatoria de la Diagonal (TP) = 234
- Número de Muestras (# de pixeles x # de categorías) = 315
- Producto Filas x Columnas = 11270

$$K = \frac{(315 \cdot 234) - 11270}{315^2 - 11270} = 0,71$$

Como el resultado obtenido del cálculo del índice Kappa es 0,71 se acepta la cobertura para el periodo 1991.

No se realizó la validación de la cobertura del periodo 1999, debido a que por la presencia de nubosidades no se pudieron interpretar bien las coberturas y era evidente que

el índice Kappa nos daría un resultado menor a 0,7. Para validar la cobertura vegetal obtenida para el periodo 2013, se siguió el mismo proceso que se desarrolló para el periodo 1991, y en la tabla 51 se puede encontrar la matriz de confusión para el periodo en mención.

Tabla 51. Matriz de confusión para validar cobertura vegetal del periodo 2013

	B		VA		PH		PA		Pt		CA		C		Pn	
	%	Px	%	Px	%	Px	%	Px	%	Px	%	Px	%	Px	%	Px
B	88.57	31	5.71	2	0.00	0	2.86	1	0.00	0	0.00	0	2.86	1	0.00	0
VA	2.86	1	82.86	29	2.86	1	2.86	1	0.00	0	0.00	0	8.57	3	0.00	0
PH	0.00	0	2.86	1	77.14	27	8.57	3	8.57	3	0.00	0	2.86	1	0.00	0
PA	0.00	0	5.71	2	0.00	0	80.00	28	5.71	2	0.00	0	8.57	3	0.00	0
Pt	0.00	0	2.86	1	2.86	1	5.71	2	80.00	28	0.00	0	5.71	2	2.86	1
CA	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	2.86	1	91.43	32	0.00	0	5.71	2
C	0.00	0	2.86	1	2.86	1	5.71	2	11.43	4	0.00	0	77.14	27	0.00	0
Pn	0.00	0	2.86	1	0.00	0	2.86	1	0.00	0	0.00	0	0.00	0	94.29	33

Nota: la interpretación de las siglas empleadas en la tabla 40 se la realiza considerando: Px = Número de Pixeles, B= Bosque, VA = Vegetación Arbustiva, PH = Páramo Herbáceo, PA = Páramo Arbustivo, Pt = Pastizales, CA = Cuerpos de Agua, C = Cultivos y Pn = Pantano.

Cálculo del índice Kappa

- Número de pixeles en el punto de muestreo = 35
- Número de Categorías = 8
- Sumatoria de la Diagonal (TP) = 235
- Número de Muestras (# de pixeles x # de categorías) = 280
- Producto Filas x Columnas = 9800

$$K = \frac{(280*235)-9800}{280^2-9800} = 0,82$$

Como el resultado obtenido del cálculo del índice Kappa es 0,82 se acepta la cobertura para el periodo 2013.

4.2.3. Análisis multitemporal de la cobertura vegetal

Con lo expuesto en el numeral 4.2.1., se descartó la posibilidad de realizar un análisis multitemporal con la cobertura vegetal del periodo 1999 debido a la gran cantidad de nubosidad que presentaba la imagen, a pesar de haber sido corregida con el modulo “noise” de ERDAS que se utiliza para eliminar los efectos atmosféricos en las imágenes.

Del análisis de las coberturas vegetales en el período 1991 y 2013, en la capa de cobertura de uso de suelo del periodo 2013 se tienen 8 categorías porque no existe la

categoría de “suelo sin vegetación”, para la categoría “bosque” se unió la superficie de bosque y vegetación arbustiva, evidenciando un aumento en la categoría bosque de 5,8 km².

En la tabla 52 se observa que el espejo de agua de la laguna de Puruhanta tiene una disminución de 0,22 km², por otra parte la categoría pantano incrementó la superficie en 0.04 km², esto se debe a la fecha de captura de las imágenes, en el Ecuador existen dos épocas estacionarias bien marcadas, es decir, la época seca y la época lluviosa, el aumento de la superficie de la categoría cuerpos de agua se debe a este fenómeno, la imagen satelital Landsat utilizada para el período actual fue tomada en el mes de abril (época lluviosa), mientras que la imagen satelital landsat utilizada para el período 1991 fue capturada el mes de agosto (época seca).

Se fusionó en una sola categoría denominada “uso antrópico” a las categorías cultivos, pastizales y suelo sin vegetación, ya que los aumentos y decrecimientos en estas categorías, si se analizan separadamente, se debe al cambio de uso de suelo de las mismas; en esta categoría de uso antrópico se registró una disminución de 1,22 km² y con ello se elimina la idea de que existe en la zona de estudio un avance en la frontera agrícola, y más bien se podría decir que por la inaccesibilidad de la zona, existió una regeneración vegetativa de ciertas áreas intervenidas. En la tabla 52 se encuentra una tabla resumen.

Tabla 52. Análisis multitemporal la cobertura vegetal de la cuenca del río Pisque.

COBERTURA	1991 km ²	2013 km ²	DIFERENCIA km ²	OBSERVACIONES
Bosque	45,31	51,11	- 5,8	Los valores negativos en los valores del campo “diferencia” significan aumentos de la superficie de la categoría, desde 1991 al 2013, mientras que los valores positivos significan disminución de la superficie en la categoría de un periodo a otro.
Cuerpos de Agua	2,61	2,39	0,22	
Pantano	0,25	0,29	- 0,04	
Páramo	53,62	49,19	4,43	
Uso Antrópico	7,37	6,15	1,22	

Elaboración: La Autora

Aplicando la ecuación propuesta por (DIRZO & GARCÍA, 1992), expuesta en el literal 3.3.4., considerando como “área de bosque” a la sumatoria de la categoría Bosque con la categoría Páramo se obtuvo una tasa de deforestación en la cuenca del río Pisque de -0,8444 %, el signo negativo significa ausencia de pérdidas de la cubierta vegetal. Con lo expuesto se tiene que el “área de bosque anterior a₁” (1991) fue de 98,93 km², mientras que el “área de bosque actual b₁” (2013) fue de 100,30 km² y el tiempo transcurrido “t” fue de 22 años, es decir que no existió un avance de la frontera agrícola, más bien se evidenció una modificación del uso de suelo y una regeneración vegetativa natural de 0,03 km² por año.

En el gráfico 16 se observa al lado izquierdo la cobertura vegetal de la imagen en el año de 1991; mientras que en el lado derecho se observa la cobertura vegetal actual de la cuenca del río Pisque.

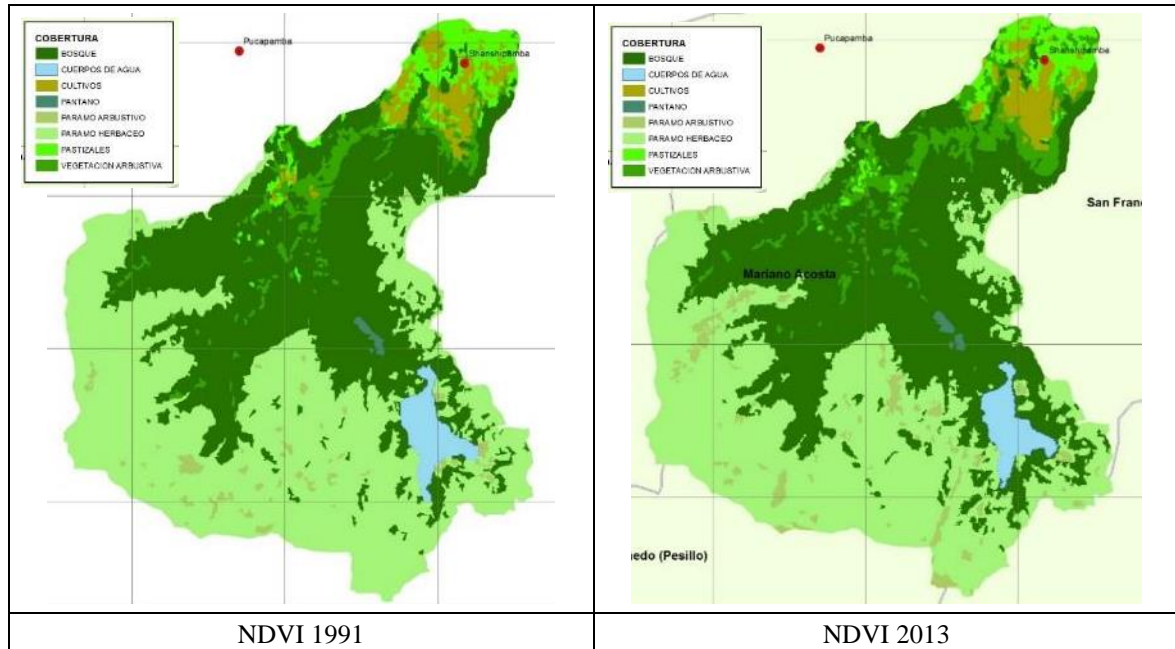


Gráfico 16. Cambios de la cobertura vegetal en 22 años

Elaboración: La Autora

Fuente: USGS (1991 y 2013)

4.3. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO

A continuación se muestran los resultados obtenidos por los métodos utilizados para el modelamiento hidrológico de la microcuenca.

4.3.1. Modelamiento hidrológico con ArcSWAT

Los resultados obtenidos en la modelación hidrológica de los períodos de análisis se encuentran en la tabla 53; en la relación “caudal/precipitación”, para el año 1991, el software reportó que el 15% de la precipitación se transformó en escorrentía, este comportamiento se repitió en el año 2013, esto se debe principalmente a que la precipitación y la cobertura vegetal no variaron significativamente en los períodos 1991 y 2013.

En la relación “percolación/precipitación”, para el período 1991 el porcentaje de precipitación que se infiltró hacia las capas subterráneas fue del 1%, mientras que para el período 2013 aumentó al 2%; como se ha indicado anteriormente, se evidenció un aumento en la superficie de la categoría bosque, por lo que es probable que este aumento se deba a

que el bosque natural interceptó mayor cantidad de precipitación que en el año 1991, evitando así la formación inmediata de escorrentía.

La producción máxima de sedimentos para el período 1991 fue de 7,47 (Tm/ha), mientras que para el período 2013 fue de 5,2 (Tm/ha), como se observa existió una disminución del 30,39%, debido a los factores de precipitación y cobertura vegetal que se indicó anteriormente. Los datos de producción de sedimentos indican que la cuenca se encuentra en buen estado de conservación, ya que según la tabla 5, citada en el literal c) del numeral 2.2.4.1, una cuenca con una producción de sedimentos de 0 a 10 (Tm/ha/año) es una cuenca que se califica con denudación o erosión geológica normal.

Tabla 53. Correlación entre valores del modelamiento hidrológico para los períodos 1991 y 2013

RELACIONES	MODELAMIENTO PERIODO 1991	MODELAMIENTO PERIODO 2013
Unidades de Respuesta Hidrológica (HRUs)	268	257
Tiempo de análisis	Mensualmente	Mensualmente
Caudal/Precipitación	0.15	0.15
Percolación/Precipitación	0.01	0.02
Promedio de la producción de sedimentos en tierras altas	7,47 (Tm/ha)	5,2 (Tm/ha)
Escorrentía superficial	2,45 (mm/año)	2,17 (mm/año)

Elaboración: La Autora

En la tabla 54, se encuentran los resultados mensuales del modelamiento hidrológico de los períodos 1991 y 2013.

Tabla 54. Resumen mensual del modelamiento hidrológico ArcSWAT

MES	PERÍODO 1991		PERÍODO 2013	
	WATER YIELD (mm)	SEDIMENTOS (Tm/ha)	WATER YIELD (mm)	SEDIMENTOS (Tm/ha)
1	7,13	0,00	7,14	0,00
2	17,69	4,76	17,66	3,63
3	13,54	1,31	13,67	0,96
4	12,81	0,87	12,94	0,62
5	5,95	4,94	6,08	0,00
6	5,19	0,00	5,28	0,00
7	0,69	0,00	0,72	0,00
8	5,45	0,00	5,49	0,00
9	3,97	0,00	4,04	0,00
10	1,04	0,00	1,07	0,00
11	17,46	0,41	17,49	0,30
12	16,61	0,12	16,73	0,08
T	107,54	7,47	108,30	5,60

Elaboración: La Autora

4.3.2. Modelamiento hidrológico con imágenes raster de dirección y acumulación de flujo

Aplicando los procedimientos descritos en el numeral 3.4.2, por el método de Holdridge se obtuvo para el período 1991, los resultados que se muestran en la tabla 56.

Tabla 55. Caudal medio, método Holdridge, período 1991

MES	P MEDIA (mm)	T MEDIA (°C)	ETP MEDIA (mm)	ETR MEDIA (mm)	ESCORRENTÍA MEDIA (mm)	Q MED (m³/s)
ENE	72,9	8,8	44,1	44,1	28,8	1,18
FEB	82,9	9,1	41,3	41,3	41,6	1,88
MAR	105,5	8,9	44,3	44,3	61,2	2,49
ABR	114,0	8,9	43,0	43,0	71	2,99
MAY	82,7	9,3	46,7	46,7	36	1,47
JUN	67,2	8,8	42,5	42,5	24,7	1,04
JUL	71,4	8,3	46,7	46,7	24,7	1,01
AGO	42,5	8,5	42,4	42,4	0,1	0,004
SEP	48,5	8,5	44,8	44,8	3,7	2,04
OCT	90,9	9,1	45,5	45,5	45,4	1,85
NOV	99,4	9,1	44,2	44,2	55,2	2,33
DIC	84,5	9,3	46,7	46,7	37,8	1,54
ANUAL	961,4	8,9	532,2	532,2	429,2	1,49

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1965 – 1991)

En la tabla 57, se indican los valores estimados de caudal medio en el modelamiento por el método Holdridge, para el período 1999.

Tabla 56. Caudal medio, método Holdridge, período 1999

MES	P MEDIA (mm)	T MEDIA (°C)	ETP MEDIA (mm)	ETR MEDIA (mm)	ESCORRENTÍA MEDIA (mm)	Q MED (m³/s)
ENE	81,4	9,2	45,98	45,98	35,42	1,44
FEB	85,5	9,0	40,69	40,69	44,81	1,89
MAR	103,0	8,9	44,31	44,31	58,69	2,39
ABR	118,5	9,1	44,72	44,72	73,78	3,11
MAY	91,7	9,6	47,89	47,89	43,81	1,79
JUN	59,3	9,5	45,88	45,88	12,42	0,52
JUL	64,1	8,5	42,29	42,29	21,81	0,89
AGO	51,3	8,3	41,69	41,69	9,61	0,39
SEP	49,9	9,2	44,33	44,33	5,57	0,24
OCT	61,2	9,6	47,80	47,80	13,4	0,55
NOV	94,0	9,5	46,17	46,17	47,83	2,02
DIC	85,0	9,6	48,02	48,02	36,98	1,51
ANUAL	942,2	9,2	539,77	539,77	402,43	1,39

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1992 – 1999)

Finalmente, en la tabla 58, se indican los valores estimados de caudal medio en el modelamiento por el método Holdridge, para el período 2013

Tabla 57. Caudal medio, método Holdridge, período 2013

MES	P MEDIA (mm)	T MEDIA (°C)	ETP MEDIA (mm)	ETR MEDIA (mm)	ESCORRENTÍA MEDIA (mm)	Q MED (m ³ /s)
ENE	76,2	9,8	48,86	48,86	27,34	1,11
FEB	84,7	9,7	43,84	43,84	40,86	1,84
MAR	89,1	9,8	48,81	48,81	40,29	1,64
ABR	117,8	10,1	48,87	48,87	68,93	2,90
MAY	87,6	10,6	53,18	53,18	34,42	1,40
JUN	70,5	10,1	48,72	48,72	21,78	0,92
JUL	55,6	10,1	50,23	50,23	5,37	0,22
AGO	38,5	9,6	47,92	38,5	0	Caudal de estiaje
SEP	42,5	9,9	47,91	42,5	0	Caudal de estiaje
OCT	93,9	10,6	53,17	53,17	40,73	1,66
NOV	93,5	10,5	50,98	50,98	42,52	1,79
DIC	110,9	10,3	51,26	51,26	59,64	2,43
ANUAL	958,8	10,1	593,78	578,92	379,88	1,32

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1999 – 2013)

Además de la obtención de la precipitación media por el método Holdridge, se emplearon las fórmulas para la obtención de la evapotranspiración real por el método de Turc, y de Thornthwaite, pero estas fórmulas son empleadas para el cálculo de la evapotranspiración anual. En la tabla 59 se muestran los valores estimados por cada uno de los métodos, y se determinó como caudal base, al promedio aritmético de los tres métodos, obteniéndose así, un caudal de 1,45 m³/s para el período 1991, 1,40 m³/s para el período 1999 y 1,40 m³/s para el período 2013.

Tabla 58. Resumen caudal medio obtenido por el método Holdridge, Turc y Thornthwaite.

AÑO	HOLDRIDGE				TURC				THORNTHWAITE			
	P	ETR	E	Q (m ³ /s)	P	ETR	E	Q (m ³ /s)	P	ETR	E	Q (m ³ /s)
1991	961,4	532,2	429,2	1,49	961,4	518,5	442,9	1,53	961,4	576,5	384,9	1,33
1999	942,2	539,8	402,4	1,39	942,2	493,7	448,5	1,55	942,2	580,7	361,5	1,25
2013	958,8	578,9	379,9	1,32	958,8	488,6	470,2	1,63	958,8	596,9	361,9	1,25

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1999 – 2013)

Para determinar tendencias de cambio en los ciclos hidrológicos, es imprescindible contar con un registro histórico de al menos 25 años como mínimo, sin embargo, en el

presente estudio se realizó el análisis basándose en tres períodos, aunque eso limite la obtención de conclusiones sólidas. Como se puede evidenciar, comparación el año 1991 con el año 1999, existió una disminución en el escurrimiento anual de 14,87 mm, lo que representó la disminución en el caudal anual de 51,48 l/s. Por otro lado se comparó la producción de agua de la cuenca en el periodo 2013 con el periodo 1999, y se obtuvo que el escurrimiento anual del periodo actual tuvo un incremento del escurrimiento de 0,13 mm, lo que representa un caudal anual de 0,17 l/s. que son valores no muy representativos para los dos casos, y esto se debe a que la modificación del uso de suelo no ha sido considerable, y a pesar de haber existido mayor precipitación en el periodo actual que en el período 1999, también existió un aumento en la temperatura media de sin embargo existió un aumento en la temperatura media de 0,9 °C, lo que provocó un incremento en la evapotranspiración.

Los valores en 0 de escurrimiento representan los meses en que no ha habido producción de agua pero esto no quiere decir que no haya existido caudal en el río, sino que indica que en esos meses, debido a la falta de lluvias, el caudal del río se debe a las aguas subterráneas, es decir sólo el caudal base.

La superposición de las capas shapefile de cobertura vegetal, tipo de suelos, geología, pendientes y bioclimas, y se elaboró el mapa de recarga hídrica para los períodos 1991 (gráfico 17) y 2013 (gráfico 18), no se consideró el período 1999, debido a que la capa shapefile de cobertura de uso de suelo presenta nubes.

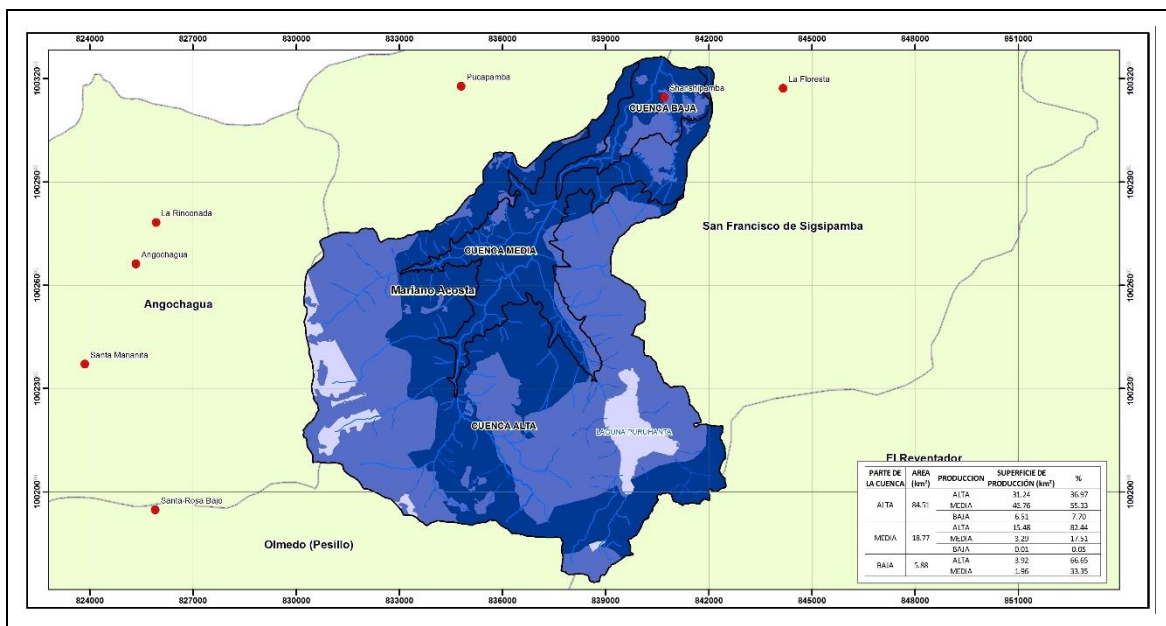


Gráfico 17. Mapa de recarga hídrica período 1991

Elaboración: La Autora

Fuente: NASA y USGS (1991 y 2013), SNI (2013), INAMHI (1965 – 2013)

Como se muestra en el gráfico 17, en la parte alta de la cuenca que compromete 84,51 km² de la superficie total de la cuenca del río pisque, se obtuvo que un 55,33% de la superficie pertenece a una zona de recarga hídrica Media, seguida de un 36,97% de la superficie que pertenece a una zona de recarga hídrica alta y apenas el 7,70% restante de la superficie pertenece a una zona de recarga hídrica baja. Continuando con el análisis de la parte media de la cuenca, que compromete a una superficie de 18,77 km², se obtuvo que un 82,44% de la superficie pertenece a una zona de recarga hídrica alta, seguido de un 17,51% de la superficie que pertenece a una zona de recarga hídrica media y apenas un 0,05% de la superficie pertenece a una zona de recarga hídrica baja. Finalmente analizando la parte baja de la cuenca que compromete a 5,88 km² de la superficie total de la cuenca, se obtuvo que el 66,65% de la superficie pertenece a una zona de recarga hídrica alta, mientras que el 33,35% restante pertenece a una zona de recarga hídrica media.

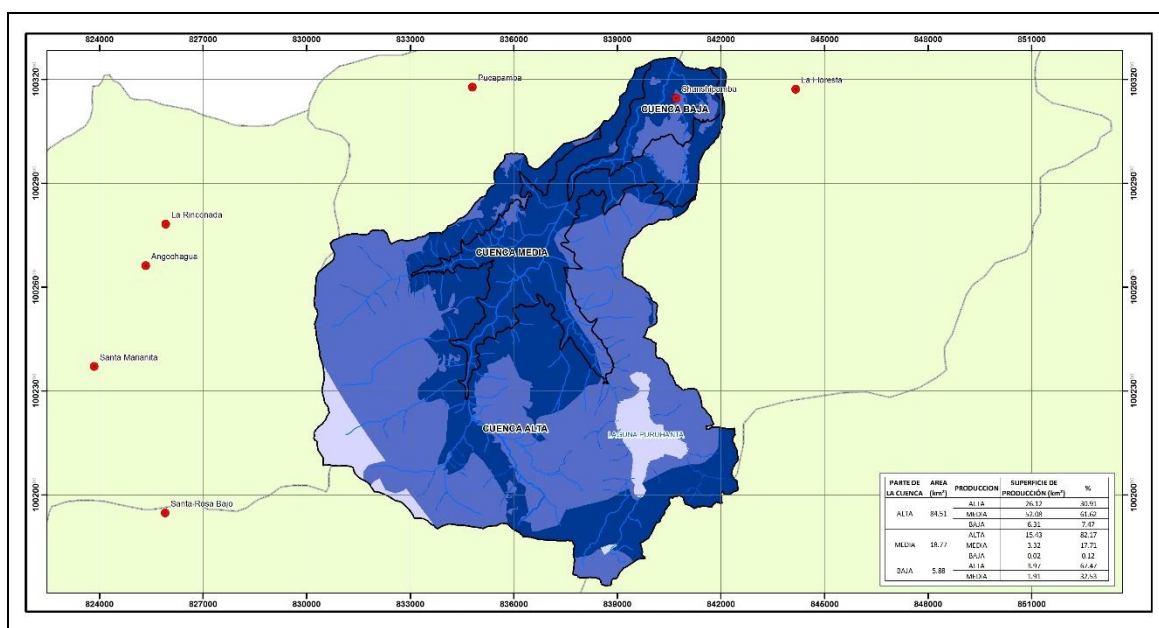


Gráfico 18. Mapa de recarga hídrica período 2013

Elaboración: La Autora

Fuente: NASA y USGS (1991 y 2013), SNI (2013), INAMHI (1965 – 2013)

Como se puede ver en el gráfico 18, en la parte alta de la cuenca que compromete a 84,51 km² de la superficie total de la cuenca, se obtuvo que un 61,62% de la superficie pertenece a una zona de recarga hídrica media, un 30,91% de la zona pertenece a una zona de recarga hídrica alta y el 7,47% de la superficie restante pertenece a una zona de recarga hídrica baja. Analizando la parte media de la cuenca, conformada por 18,77 km² de la superficie total de la cuenca, se obtuvo que el 82,17% de la superficie pertenece a una zona de recarga hídrica alta, el 17,71% pertenece a una zona de recarga hídrica media y apenas el

0,12% de la superficie pertenece a una zona de recarga hídrica baja. Finalmente en el análisis de la parte baja de la cuenca que implican 5,88 km² de la superficie total de la cuenca, se obtuvo que el 67,47% del área pertenece a una zona de recarga hídrica alta, mientras que el 32,53% del área restante pertenece a una zona de recarga hídrica media.

4.3.3. Modelamiento hidrológico del caudal máximo con HEC-HMS

Para el modelamiento hidrológico con HEC-HMS se emplearon los datos citados en la tabla 59. Además de los datos mencionados, se utilizaron dos métodos, el primer método consistió en utilizar los datos de la estación Ibarra ubicada en la Universidad Técnica del Norte, los datos se registraron en intervalos de tiempo de 10 min, se identificó la tormenta más larga y el tiempo de duración de la lluvia. El segundo método consistió en utilizar datos de la estación Olmedo-Pichincha (M023) que también tienen influencia en la microcuenca del río Pisque, los datos de la estación fueron registrados en intervalos de 24 horas.

Tabla 59. Datos empleados para el modelamiento hidrológico HEC-HMS en la microcuenca del río Pisque

DATO	SIMBOLOGÍA	VALOR
Curva Número	CN	64,31056
Tiempo de Concentración	Tc	1,8506 h / 111,036 min
Tiempo transcurrido desde el centro de gravedad (60% del Tc)	Lag Time	66,6216
Abstracción inicial	P ₀	28,19169

Elaboración: La Autora

Los datos de precipitación utilizados para representar la tormenta máxima de las estaciones Ibarra UTN y Olmedo-Pichincha, fueron los que se anexan en la tabla 60.

Tabla 60. Datos utilizados para el modelamiento en el software HEC-HMS

ESTACIÓN IBARRA UTN INTERVALO DE TIEMPO 10 MIN		ESTACIÓN OLMEDO – PICHINCHA INTERVALO DE TIEMPO 24 HORAS	
27/02/2012 20:10	0,0	31/01/2011 00:00	0,0
27/02/2012 20:20	0,8	01/02/2011 00:00	2,8
27/02/2012 20:30	0,4	02/02/2011 00:00	33,0
27/02/2012 20:40	5,2	03/02/2011 00:00	66,8
27/02/2012 20:50	2,0	04/02/2011 00:00	9,4
27/02/2012 21:00	3,8	05/02/2011 00:00	10,7
27/02/2012 21:10	5,2	06/02/2011 00:00	16,2
27/02/2012 21:20	0,6	07/02/2011 00:00	6,8
27/02/2012 21:30	0,2	08/02/2011 00:00	2,2
27/02/2012 21:40	0,6	09/02/2011 00:00	0,0
27/02/2012 21:50	0,6	-	-

27/02/2012 22:00	0,6	-	-
27/02/2012 22:10	0,6	-	-
27/02/2012 22:20	0,4	-	-
27/02/2012 22:30	0,4	-	-
27/02/2012 22:40	0,6	-	-
27/02/2012 22:50	0,6	-	-
27/02/2012 23:00	0,4	-	-
27/02/2012 23:10	0,2	-	-
27/02/2012 23:20	0,2	-	-
27/02/2012 23:30	0,2	-	-
27/02/2012 23:40	0,2	-	-
27/02/2012 23:50	0,4	-	-
28/02/2012 0:00	0,4	-	-
28/02/2012 0:10	0,2	-	-
28/02/2012 0:20	0,2	-	-
28/02/2012 0:30	0,2	-	-
28/02/2012 0:40	0,0	-	-

Elaboración: La Autora

Al ejecutar el modelamiento hidrológico con los datos de la estación Olmedo-Pichincha se obtuvo que el pico más alto de la crecida fue de 6,3 m³/s en 10 días de lluvia (31/01/2011 – 09/02/2011), el mismo que se registró el 3 de febrero de 2011. En el gráfico 19 en el diagrama de color rojo se indica la cantidad de precipitación que colecta la cuenca, el color azul indica la cantidad de precipitación efectiva; en la parte inferior del gráfico, la línea de color azul corresponde al hidrograma de comportamiento que tuvo el caudal y el pico más alto; la línea de color rojo en la base del eje X indica el caudal base considerado para el modelamiento hidrológico, en este caso con un valor de “0”.

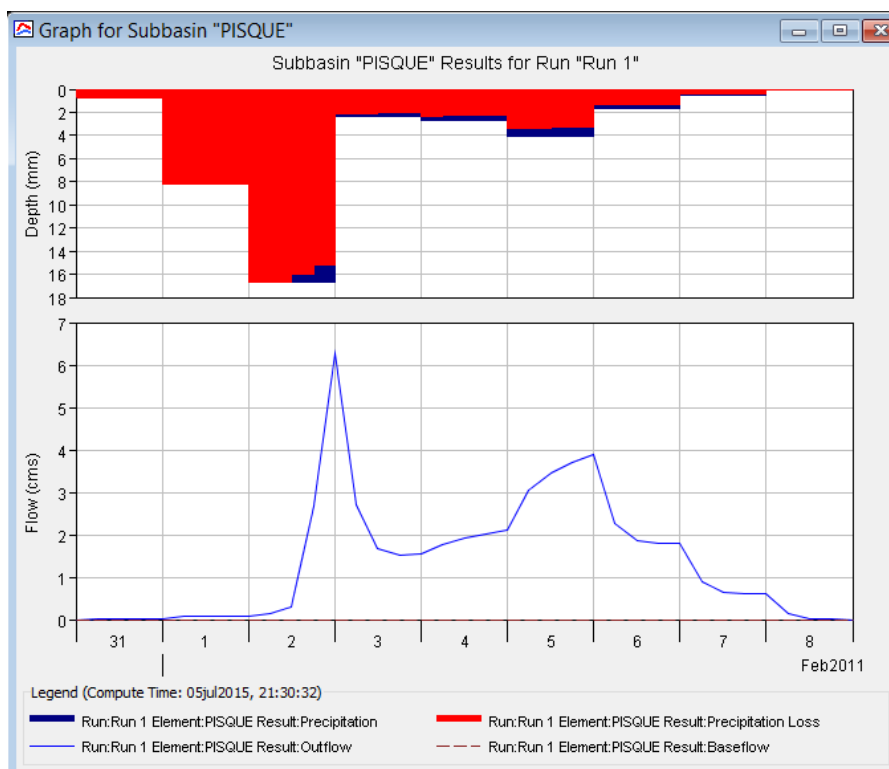


Gráfico 19. Resumen gráfico del modelamiento hidrológico de la cuenca del río Pisque en intervalos de tiempo de 6 horas, con datos registrados en intervalos de tiempo de 24 horas.

En la tabla 61 se registran los datos del modelamiento hidrológico del comportamiento del caudal en intervalos de tiempo de 6 horas, para 10 días de duración de lluvia continua (31/01/2011 – 09/02/2011).

Tabla 61. Comportamiento del caudal en diez días de lluvia continua.

FECHA	HORA	P (mm)	LOSS (mm)	EXCESO (mm)	CAUDAL DIRECTO m ³ /s	CAUDAL BASE m ³ /s	CAUDAL TOTAL m ³ /s
31-ene-11	0:00				0	0	0
31-ene-11	6:00	0.7	0.7	0	0	0	0
31-ene-11	12:00	0.7	0.7	0	0	0	0
31-ene-11	18:00	0.7	0.7	0	0	0	0
01-feb-11	0:00	0.7	0.7	0	0	0	0
01-feb-11	6:00	8.25	8.23	0.02	0.1	0	0.1
01-feb-11	12:00	8.25	8.23	0.02	0.1	0	0.1
01-feb-11	18:00	8.25	8.23	0.02	0.1	0	0.1
02-feb-11	0:00	8.25	8.23	0.02	0.1	0	0.1
02-feb-11	6:00	16.7	16.67	0.03	0.1	0	0.1
02-feb-11	12:00	16.7	16.63	0.07	0.3	0	0.3
02-feb-11	18:00	16.7	16.01	0.69	2.7	0	2.7
03-feb-11	0:00	16.7	15.23	1.47	6.3	0	6.3
03-feb-11	6:00	2.35	2.08	0.27	2.7	0	2.7

03-feb-11	12:00	2.35	2.07	0.28	1.7	0	1.7
03-feb-11	18:00	2.35	2.06	0.29	1.5	0	1.5
04-feb-11	0:00	2.35	2.04	0.31	1.5	0	1.5
04-feb-11	6:00	2.68	2.31	0.37	1.8	0	1.8
04-feb-11	12:00	2.68	2.29	0.39	1.9	0	1.9
04-feb-11	18:00	2.67	2.27	0.4	2	0	2
05-feb-11	0:00	2.68	2.25	0.42	2.1	0	2.1
05-feb-11	6:00	4.05	3.38	0.67	3	0	3
05-feb-11	12:00	4.05	3.34	0.71	3.5	0	3.5
05-feb-11	18:00	4.05	3.3	0.75	3.7	0	3.7
06-feb-11	0:00	4.05	3.27	0.78	3.9	0	3.9
06-feb-11	6:00	1.7	1.36	0.34	2.3	0	2.3
06-feb-11	12:00	1.7	1.35	0.35	1.8	0	1.8
06-feb-11	18:00	1.7	1.35	0.35	1.8	0	1.8
07-feb-11	0:00	1.7	1.34	0.36	1.8	0	1.8
07-feb-11	6:00	0.55	0.43	0.12	0.9	0	0.9
07-feb-11	12:00	0.55	0.43	0.12	0.7	0	0.7
07-feb-11	18:00	0.55	0.43	0.12	0.6	0	0.6
08-feb-11	0:00	0.55	0.43	0.12	0.6	0	0.6
08-feb-11	6:00	0	0	0	0.2	0	0.2
08-feb-11	12:00	0	0	0	0	0	0
08-feb-11	18:00	0	0	0	0	0	0
09-feb-11	0:00	0	0	0	0	0	0

Elaboración: La Autora

Fuente: INAMHI, Estación Olmedo – Pichincha (1982 – 2013)

Por otra parte, con los datos de la estación Ibarra – UTN el pico más alto de la crecida fue de 0,7 m³/s y se registró el 27 de febrero de 2012 a las 22h00. En la parte superior del gráfico 20, se registra con color rojo la cantidad agua que colecta la microcuenca, mientras que el color azul indica la cantidad de precipitación efectiva. En la parte inferior del gráfico la línea de color azul corresponde al hidrograma de comportamiento que tiene el caudal en donde se visualiza también el pico más alto de la crecida; la línea de color rojo en la base del eje X, indica el caudal base considerado para el modelamiento hidrológico, que en este caso tuvo un valor de “0”. Es importante mencionar que el caudal modelado en los dos casos corresponde a caudal superficial, es decir que debe ser sumado al caudal base para determinar el volumen exacto del caudal máximo en un día de tormenta.

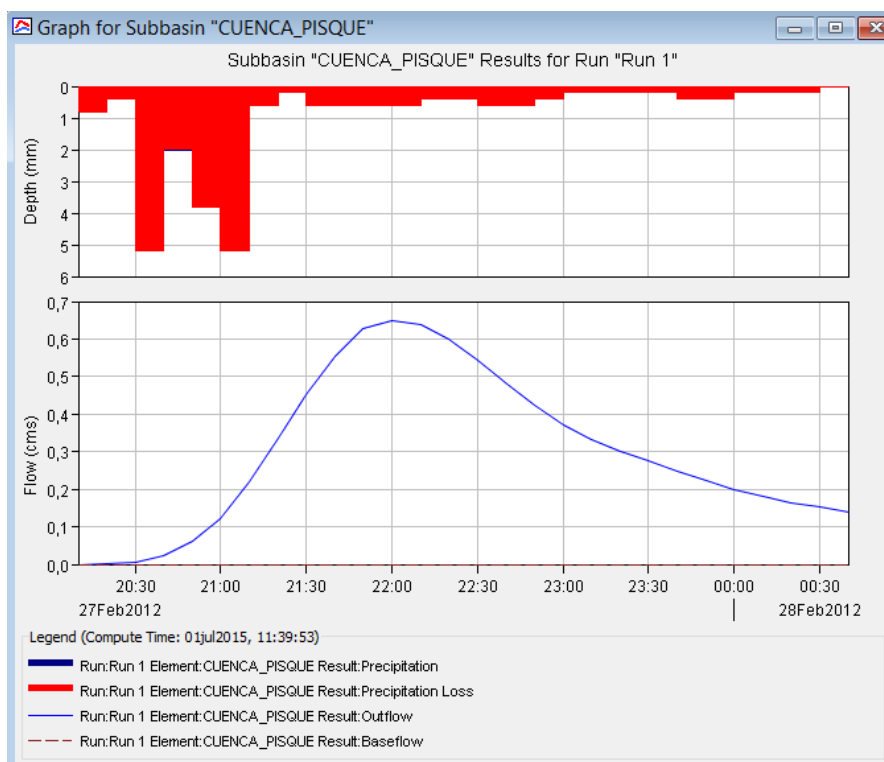


Gráfico 20. Resumen gráfico del modelamiento de la cuenca del río Pisque en intervalos de tiempo de 10 min, con datos registrados en intervalos de tiempo de 10 min.

En la tabla 62 se registran los datos del modelamiento hidrológico del comportamiento del caudal en intervalos de tiempo de 10 minutos, para una tormenta de 4,5 horas de duración.

Tabla 62. Comportamiento del caudal superficial en 4,5 horas de lluvia continua.

FECHA	HORA	P (mm)	LOSS (mm)	EXCESO (mm)	CAUDAL DIRECTO m ³ /s	CAUDAL BASE m ³ /s	CAUDAL TOTAL m ³ /s
27-feb-12	20:10				0	0	0
27-feb-12	20:20	0.8	0.8	0	0	0	0
27-feb-12	20:30	0.4	0.4	0	0	0	0
27-feb-12	20:40	5.2	5.19	0.01	0	0	0
27-feb-12	20:50	2	2	0	0.1	0	0.1
27-feb-12	21:00	3.8	3.79	0.01	0.1	0	0.1
27-feb-12	21:10	5.2	5.19	0.01	0.2	0	0.2
27-feb-12	21:20	0.6	0.6	0	0.3	0	0.3
27-feb-12	21:30	0.2	0.2	0	0.5	0	0.5
27-feb-12	21:40	0.6	0.6	0	0.6	0	0.6
27-feb-12	21:50	0.6	0.6	0	0.6	0	0.6
27-feb-12	22:00	0.6	0.6	0	0.7	0	0.7
27-feb-12	22:10	0.6	0.6	0	0.6	0	0.6
27-feb-12	22:20	0.4	0.4	0	0.6	0	0.6
27-feb-12	22:30	0.4	0.4	0	0.5	0	0.5
27-feb-12	22:40	0.6	0.6	0	0.5	0	0.5

27-feb-12	22:50	0.6	0.6	0	0.4	0	0.4
27-feb-12	23:00	0.4	0.4	0	0.4	0	0.4
27-feb-12	23:10	0.2	0.2	0	0.3	0	0.3
27-feb-12	23:20	0.2	0.2	0	0.3	0	0.3
27-feb-12	23:30	0.2	0.2	0	0.3	0	0.3
27-feb-12	23:40	0.2	0.2	0	0.2	0	0.2
27-feb-12	23:50	0.4	0.4	0	0.2	0	0.2
28-feb-12	0:00	0.4	0.4	0	0.2	0	0.2
28-feb-12	0:10	0.2	0.2	0	0.2	0	0.2
28-feb-12	0:20	0.2	0.2	0	0.2	0	0.2
28-feb-12	0:30	0.2	0.2	0	0.2	0	0.2
28-feb-12	0:40	0	0	0	0.1	0	0.1

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI, Estación Ibarra UTN (2011 – 2014)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La cuenca del río Pisque posee procesos erosivos geológicos normales que son típicos de cuencas de alta montaña. A pesar de las actividades antropogénicas que se desarrollan en la cuenca, posee una gran extensión de bosque primario y los páramos se encuentran poco intervenidos debido al difícil acceso; además mantiene las características climáticas y biogeográficas de formaciones naturales propias de los andes del norte por lo que se puede concluir es una cuenca que se encuentra en buen estado de conservación.
- Según los estudios climatológicos realizados en los tres períodos de estudio, se concluye que debido a la diferencia no significativa en los valores de precipitación media estimados para cada uno de los años en estudio, el área de la cuenca no es afectada mayormente por eventos ENOS, más bien es una cuenca que está influenciada por los procesos atmosféricos desarrollados en la cordillera oriental, que es la que influye en las precipitaciones incrementando o disminuyendo los caudales de los afluentes del río Pisque.
- La cobertura vegetal de la microcuenca del río Pisque está estructurada mayormente por bosque, vegetación arbustiva, páramo herbáceo, páramo arbustivo y cuerpos de agua, y escasas extensiones de pastizales y cultivos. Actualmente la microcuenca está cubierta en un 91,87 % por formaciones vegetales naturales, un 5,63 % por formaciones vegetales de tipo antropogénico y un 2,50 % por cuerpos de agua.

- En el análisis multitemporal se detectó un valor negativo de deforestación de 0,8234 %, en un intervalo de tiempo de 22 años, es decir que no existieron pérdidas de la vegetación natural por actividades antrópicas.
- Debido al problema mundial del calentamiento global, en los 22 años ha existido un desplazamiento de los pisos térmicos, y esto ha generado un incremento de la superficie del bosque en la parte alta de la microcuenca y causando a su vez una disminución en la superficie de páramo. Se estimó que la temperatura media del aire en 1991 fue de 8.9 °C, mientras que para el año 2013 la temperatura media del aire fue 10.0, tomando como referencia los dos períodos, en 22 años existió un incremento en la temperatura media del aire de 1.1 °C.
- Los modelamientos hidrológicos realizados en el presente trabajo es la mejor predicción para los procesos hidrológicos y atmosféricos ocurridos en la cuenca; sin embargo debido a la falta de datos de la zona, los datos estimados deben ser validados con datos reales de al menos 30 años de registros.
- Después de realizar el modelamiento hidrológico de la microcuenca del río Pisque, se determinó que es una cuenca productora de agua, por lo que se concluye que se deben implementar políticas de gestión, manejo y protección de las fuentes de agua. A pesar de no tener pérdidas en las superficies de vegetación natural, el Gobierno Autónomo Descentralizado de Pimampiro debería implementar un programa para el manejo integral de la cuenca.
- En la microcuenca del río Pisque no existieron cambios significativos en la cobertura vegetal en 22 años, y los resultados se reflejan en los caudales estimados de escorrentía que tampoco presentaron cambios relevantes, en 1991 se obtuvo un caudal medio de 1.45m³/s mientras que para el período actual el caudal medio estimado fue de 1,40 m³/s.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda complementar los resultados del presente trabajo con el monitoreo de los caudales de la microcuenca debido a la falta de estaciones hidrométricas y pluviométricas.
- Se recomienda realizar estudios similares en cuencas aledañas, para determinar tempranamente el impacto que generan las actividades antropogénicas en estas

unidades hidrográficas e implementar programas de conservación y manejo de las mismas.

- Se recomienda a al Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Pimampiro incluir los resultados del presente trabajo en el fortalecimiento del Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón.
- Los modelamientos hidrológicos mediante los softwares ArcSWAT y HEC-HMS deben ser aplicados a las cuencas y microcuencas pluviales, cuya potencialidad es la producción de agua debido a la existencia de bosques naturales y páramos.

REFERENCIAS

- ACOSTA, M. 1984. Los Páramos Andinos del Ecuador. Publicaciones científicas MAS. Quito, Ecuador.
- ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. Ambient air monitoring at Letterkenny, Co.Donegal. Air Quality Monitoring. 16th May 2008 – 14th July 2009. Letterkenny, Irlanda.
- ALBUJA, L. 1980. Estudio preliminar de los vertebrados ecuatorianos. Escuela Politécnica Nacional. Quito.
- ALTIERI, M. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment. 74p.
- AMRITKAR, K. 2009. Natural Resources, Forests - Envis. USA [Disponible en: [http://envis.maharashtra.gov.in/envis_data/files/Forests_.pdf]. Consulta: [12-01-2013].
- ANDREWS, D. 1972. Plots of High Dimensional Data. Biometrics.
- ARNOLD, J., ALLEN, P., VOLK, M., WILLAMS, J., y BOSCH, D. 2010. Assessment of different representations of spatial variability on SWAT model performance. ASABE.
- BASTIDAS, C. 2005. Manual para el uso del modelo hidrológico HEC-HMS. Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica. Universidad Central de Venezuela. Venezuela.
- CAÑADAS, L. 1983. El Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador. MAG - PRONAREG. Quito.
- CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO INTEGRAL DE AGUAS Y TIERRAS (CIDIAT). 1984. Diagnóstico Físico Conservacionista en Cuencas Hidrográficas. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Mérida, Venezuela.
- COHEN, J. (1960). "A coefficient of agreement for nominal scales". Educational and Psychological Measurement.
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBERK, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R., PARUELO, J., RASKIN, R., SUTTONKK, P. y VAN DEN BELT, (1997). The value of the world's ecosystem service and natural capital. USA. Nature.

- CORDERO, D. y CASTRO, E. 2001. Pago por servicio ambiental hídrico. Revista Forestal Centroamericana.
- CÓRDOBA, S., ZEA, J. y MURILLO, W. 2006. Estimación de la precipitación media, evaluación de la red pluviométrica y cuantificación del balance hídrico en la cuenca del río Quito en el departamento del Chocó, Colombia. Bogotá, D. C. - Colombia.
- DE LA LAZA, G., MARTINEZ, C., MARTÍNEZ, S. y HERNÁNDEZ, S. 1999. Diccionario de Hidrología y Ciencias Afines. (pp. 93). México.
- DE MOYA, N. 1992. El agua en el manejo de cuencas. Colegio Verde de Villa de Leyva. Bogotá, Colombia.
- DELGADILLO, A. y PÁEZ, G. 2008. Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenario de riesgos por crecida. Mérida, Venezuela.
- DIRZO, R. y GARCIA, M. 1992. Rates of deforestation in Los Tuxlas, a neotropical area in southeast México. Conservation Biology
- ESCALANTE, C. y PLAZA, F. 2010. Eficiencia de las técnicas regionales hidrológicas en función del tamaño de muestra disponible. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Disponible en <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/821>.
- ESPOL-TECH (2012). Estudios de Prefactibilidad del Proyecto Multipropósito Puruhanta, Pimampiro, Yahuarcocha. (Manuscrito no publicado). Imbabura, Ecuador.
- ESRI. 2014. ArcGIS Help Library. Disponible en: <http://resources.arcgis.com/en/help/>
- FAUSTINO, J., JIMÉNEZ, J., VELÁSQUEZ, S., ALPÍZAR, F. y PRINS, C. 2006. Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Documento del Curso realizado en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.
- FELDMAN, A. 2000. "Hydrologic Modelling System HEC-HMS, Technical reference manual". U. S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. USA.
- FLORES, I. 2010. La deforestación y su influencia en los caudales. Santa Cruz, Bolivia. Escuela Militar de Ingeniería (EMI).

- FOLEY, J., DE FRIES, R., ASNER, G., BARFORD, C., BONAN, G., CARPENTER, S., CHAPIN, S., COE, M. DAILY, G., GIBBS, H., HELKOWSKI, J., HOLLOWAY, T., HOWARD, E., KUCHARIK, C., CMONFREDA, C., PATZ, J., PRENTICE, C., RAMANKUTTY, N., SNYDER, P. 2007. Global consequences of land use. Vol 301. USA. Cambridge University Press
- FOURNIER, F. 1960. Climat et Erosion. PUF, Paris.
- GABRIELS, D., OVALLES, F., SANTIBÁÑEZ, F., MOYANO, M. AGUILERA, R., PIZARRO, R., SANGUESA, C. y URRÁ, N. 2004. Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. Cazalac Org., pp. 1-59.
- GARCÍA DE PEDRAZA, L. 1973. Fenómeno de estancamiento y foëhn. Calendario Meteoro Fenológico, 174-183.
- GEÓLOGOS DEL MUNDO. 2010. Serie educativa para acciones comunitarias en agua y saneamiento ambiental: Protección de microcuencas. Cartilla N° 5. El Salvador.
- GREEN, W.H y AMPT, G.A. 1911. Studies on soil physics, 1. The flow of air and wáter through soils. Journal of Agricultural Sciences 4.
- GREENING AUSTRALIA VICTORIA. 2009. Module 1: The importance of Vegetation. USA.
- GUILLÉN, A. 2012 Estimación regional de gastos máximos de la cuenca del río Papaloapán. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/5278/1/TESIS.pdf>
- GWP. 2003. Water management and ecosystems. Estocolmo.
- HALL, M. y MINNS, A. 1999. The Classification of Hydrologically Homogeneous Regions. Hydrological Sciences Journal (pp. 693–704.)
- HOLDRIDGE, L. R. 1982. Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.
- HUECK, K. 1978. Los bosques de Sudamérica: ecología, composición e importancia económica. Sociedad Alemania de Cooperación Técnica. Alemania

- IBAÑEZ, S., MORENO, H. y GISBERT, J. 2011. Valores del N° de curva (cálculo de la escorrentía). Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT. 2007. Atlas de páramos de Colombia. Bogotá, D. C., Colombia.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZI (IGAC). 2014. Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia, escala 1:100.000. Colombia
- KOHAVI, R. y PROVOST, F. 1998. Wrappers for features subset selection. *Artificial Intelligence* 97: 273-324.
- LAMBIN, E. 1997. Modelling and Monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*.
- LUTEYN, J. 1992. Paramos: Why study them?. Academic Press. London
- MARTINEZ, R., MONTOYA, A., CALDERÓN, M. y CAMACHO, N. 2004. La Cobertura Vegetal en la Cuenca del Canal de Panamá. Disponible en: [http://www.geoinstitutos.com/art_03.asp]. Consulta: [10-01-2013]
- MENDOZA, M., BOCCO, G., LÓPEZ, E. y BRAVO, M. Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo. México. UNAM.
- NATHAN, R. y MCMAHON, T. 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analysis. *Water Resources Research*. Vol 26, No. 7, (pp 1465-1473).
- NEITSCH, S., ARNOLD, J., KINIRY, J., WILLIAMS, J., KING, K. 2005. Soil and water assessment tool. Theoretical documentation. Version 2000, Blackland Research Center and Grassland Soil and Water Research Laboratory, Temple, Texas, USA.
- ONU. 2003. Agua para todos, agua para la vida: informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. Francia.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 2007. ¿Por qué invertir en la ordenación de cuencas hidrográficas?. Roma, Italia.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 2009. Estudio y Planificación de Cuencas

- Hidrográficas. En: Manual de Campo para la Ordenación de Cuencas Hidrográficas. Guía FAO Conservación 13/6. Roma, Italia.
- PLAZA, F. y ESCALANTE, C. 2010. Eficiencia de las técnicas regionales hidrológicas en función del tamaño de muestra disponible. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
 - PÉREZ, J. 1979. Fundamentos del Ciclo Hidrológico. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Departamento de Meteorología e Hidrología. Caracas, Venezuela.
 - PORRAS, I. 2003. Valorando los Servicios Ambientales de protección de cuencas: consideraciones metodológicas. International Institute for Environment and Development (IIDE).
 - POURRUT, P. 1995. El agua en el Ecuador: Clima, precipitaciones y escorrentía, en Estudios de Geografía, vol. VII, Quito.
 - RICHARDSON, C.W., BUCKS, D. A., y SADLER, E.J. 2008. The conservation effects assessment Project benchmark watershed: Synthesis of preliminary findings. J. Soil Water Conserv.
 - SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE (SENA). 1996. Manual técnico para el manejo integral de cuencas hidrográficas. Santa Fe de Bogotá, D.C, Colombia: Autor.
 - SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN. 2013. Estándares de información geográfica. Tomo I. Quito, Ecuador.
 - SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS). 1972. Section 4: Hydrology in National Engineering Handbook. USA.
 - SEMARNAT. 2006. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. México.
 - SIERRA, R. (Ed). 1999. Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental. Proyecto INEFAN/GEF/BIRD y EcoCiencia, Quito, Ecuador.
 - SKOLOV, A y CHAPMAN, T. 1974. Studies and reports in hydrology, 17. Methods for water balance computations. An international quide for research and practice. Paris.
 - TAPIA, M (Ed). 1997. Manejo integral de Microcuencas. Cajamarca.

- TORRES, D. 2001. Importancia y ambiente de los bosques y árboles urbanos. Universidad Autónoma Chapingo. México
- THORNTHWAITE, C. 1948. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, Vol. 38, No. 1., (pp. 55-94.)
- TURC, L. 1961. Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: A simple climatic formula evolved up to date. French.
- URBINA, C. 1974. Manejo de Cuencas Hidrográficas. CIAF, Bogotá, Colombia.
- URIBE, N. 2010. Conceptos básicos y guía rápida para el usuario Versión SWAT 2005. Colombia.
- USDA Soil Conservation Service. 2005. National Engineering Handbook. Section 4. Hydrology.
- VALENCIA, et al. 1999. Las Formaciones Naturales de la Sierra del Ecuador en SIERRA, R. (Ed.). 1999. Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y Eco Ciencia. Quito, Ecuador
- VELÁZQUEZ, A. y FERNÁNDEZ, T. 2002. Análisis de cambio de uso de suelo. Informe Técnico). Convenio INE-Instituto de geografía. México. UNAM
- WATSON, R y ZAKRI, A. 2003. Ecosystems and human well-being. Millennium Ecosystem Assessment. Washington DC.
- WILLAMS, J.R y HANN R.W. 1972. HYMO, a problem-oriented computer language for building hydrologic models. *Water Resour.*
- WILLAMS, G., MANSON R. & ISUNZA, E. 2002. La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo. México.

GLOSARIO

AFLUENTES: Arroyo o río secundario que lleva sus aguas a otro principal.

ALBEDO: Porcentaje reflejado de la radiación luminosa incidente. El albedo depende, primordialmente, de la naturaleza de la superficie receptora, ángulo de incidencia de los rayos solares y longitud de onda de éstos.

ARCHIVO RASTER: Se define como archivo de tipo imagen que almacena datos de píxeles

ARCHIVO SHAPEFILE: Archivo de gráficos que contiene un vector de imagen escalable.

BALANCE HÍDRICO: Equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y salen del mismo.

BIOMASAS: Cantidad total de materia viva presente en una comunidad o ecosistema.

CAUDAL: Cantidad de fluido que circula a través de una sección del río.

CLIMA: Estadística climatológica de los eventos atmosféricos que caracteriza a una región.

CORRELACIÓN: Correspondencia o relación recíproca entre dos o más acciones o fenómenos.

CURVA NÚMERO: Función de permeabilidad del suelo y el uso de la tierra.

DATUM GEODÉSICO: Es una referencia de las medidas tomadas. En geodesia un datum es un conjunto de puntos de referencia en la superficie terrestre con los cuales las medidas de la posición son tomadas y un modelo asociado de la forma de la tierra (elipsoide de referencia) para definir el sistema de coordenadas geográfico.

DATUM WGS84: es un sistema de coordenadas geográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra (sin necesitar otro de referencia) por medio de tres unidades dadas. WGS84 son las siglas en inglés de World Geodetic System 84 (que significa Sistema Geodésico Mundial 1984).

DEM: Modelo Digital del Terreno, por sus siglas en inglés.

DESBROCE: Eliminación de la cobertura vegetal.

DIAGRAMA OMBROTÉRMICO: Diagrama que permite identificar el período seco en el cual la precipitación es inferior a dos veces la temperatura media

DIVORTIUM AQUARUM: En una cuenca hidrográfica es la divisoria de aguas, es decir la línea que une los puntos más altos de una cuenca.

EFEECTO FOEHN: Se llama así al fenómeno que provoca aumento de temperatura y disminución de la humedad relativa en el viento que atraviesa accidentes montañosos de entidad. Este proceso causa acusadas disimetrías pluviométricas entre las laderas de barlovento y sotavento.

ELIPSOIDE DE REFERENCIA: Es un elipsoide que se utiliza como un marco de referencia en cálculos geodésicos. Se trata de una forma de la Tierra, con la que es más fácil trabajar que con el geoide.

ESCORRENTÍA: En hidrología hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida

EVAPOTRANSPIRACIÓN: Cantidad de agua del suelo que vuelve a la atmósfera como consecuencia de la evaporación y de la transpiración de las plantas.

ETP: Evapotranspiración Potencial, es la máxima evapotranspiración posible cuando el suelo está abundantemente provisto de agua (colmada su capacidad de campo) y cubierto con una cobertura vegetal completa.

ETR: Evapotranspiración Real, es la evapotranspiración que ocurre en condiciones reales, considerando que no siempre la cobertura vegetal es completa ni el suelo se encuentra en estado de saturación.

ENOS: El Niño Oscilación Sur.

FORMACIONES VEGETALES: En botánica o en biogeografía una formación vegetal designa una clasificación de especies vegetales caracterizada por una determinada fisonomía que, a su vez, determina un paisaje característico.

GEORREFERENCIACIÓN: es un neologismo que refiere al posicionamiento con el que se define la localización de un objeto espacial en un sistema de coordenadas y datum determinado.

GPS: Es el sistema de posicionamiento global que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto.

HIDROGRAMA UNITARIO: método utilizado en hidrología, para la determinación del caudal producido por una precipitación en una determinada cuenca hidrográfica.

HYMO: Modelamiento Hidrológico, por sus siglas en inglés.

IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazi.

IGM: Instituto Geográfico Militar.

IMAGEN ASTER: Imagen captada por el satélite Terra, está compuesta por 14 bandas, son ideales para la generación del modelo digital del terreno y para estudios hidrológicos.

IMAGEN LANDSAT: Imagen capturada por un satélite Landsat, está compuesta por 7 u 8 bandas espectrales, que al combinarse producen una gama de imágenes de color.

INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

INFILTRACIÓN: Proceso en el que el agua penetra en el suelo, a través de la superficie de la tierra y queda retenida o alcanza un nivel acuífero, incrementando el volumen anteriormente acumulado.

INTERPOLACIÓN: obtención de nuevos puntos partiendo del conocimiento de un conjunto discreto de puntos.

ISOTERMAS: es la curva que une los vértices con igual valor de temperatura, en un plano cartográfico.

ISOYETAS: es la curva que une los vértices en un plano cartográfico que presentan igual valor de precipitación, en la unidad de tiempo considerada.

LISTADO TAXONÓMICO: Listado de clasificación de las especies.

MATRIZ DE CONFUSIÓN: En el campo de la inteligencia artificial una matriz de confusión es una herramienta que permite la visualización del desempeño de un algoritmo que se emplea en aprendizaje supervisado. Cada columna de la matriz representa el número de predicciones de cada clase, mientras que cada fila representa a las instancias en la clase real. Facilita ver si el sistema está confundiendo dos clases.

METEORIZACIÓN: Se llama meteorización a la descomposición de minerales y rocas que ocurre sobre o cerca de la superficie terrestre cuando estos materiales entran en contacto con la atmósfera, hidrósfera y la biósfera.

MODELAMIENTO: Es desarrollar una descripción lo suficientemente buena de un sistema y de las actividades llevadas a cabo en él.

MOLINETE: es un instrumento usado para medir la velocidad del agua en un canal abierto.

NASA: La Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (por sus siglas en inglés: National Aeronautics and Space Administration), es la agencia del gobierno estadounidense responsable del programa espacial civil, así como también de la investigación aeronáutica y aeroespacial.

NOAA: Administración Nacional de la Atmósfera y Océanos de los Estados Unidos, es la agencia federal de los Estados Unidos que se enfoca en el estado de los océanos y la atmósfera.

PROYECCIÓN UTM: Es el sistema de coordenadas universal transversal de Mercator (en inglés Universal Transverse Mercator), basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator, que se construye como la proyección de Mercator normal, pero en vez de hacerla tangente al Ecuador, se la hace secante a un meridiano. A diferencia de las coordenadas

geográficas que se miden en latitud y longitud, este sistema expresa las coordenadas en metros.

REGRESIÓN LINEAL: En estadística la regresión lineal o ajuste lineal es un método matemático que modela la relación entre una variable dependiente Y, las variables independientes Xi y un término aleatorio.

SENA: Servicio Nacional de Aprendizaje de Colombia

SERVICIO WMS: Es el servicio Web Map Service (WMS), definido por el OGC (Open Geospatial Consortium), produce mapas de datos referenciados espacialmente, de forma dinámica a partir de información geográfica.

SISTEMA DE COORDENADAS: Es un sistema que utiliza uno o más números (coordenadas) para determinar unívocamente la posición de un punto o de otro objeto geométrico.

SNI: Sistema Nacional de Información

SOFTWARE ARCGIS: es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG. Producido y comercializado por ESRI.

SOFTWARE ERDAS: es una aplicación de la teledetección con capacidades de edición de gráficos de trama. Diseñados por ERDAS para aplicaciones geoespaciales.

SWAT: Herramienta para la Evaluación de Suelos y Agua, por sus siglas en inglés.

TELEDETECCIÓN: Detección a distancia de informaciones que se producen en la superficie de la Tierra y sobre otros astros solares y que se realiza mediante satélites y sondas artificiales.

TIEMPO ATMOSFÉRICO: Estado momentáneo de la atmósfera (weather) en un lugar determinado.

USDA: Es el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (en inglés, United States Department of Agriculture, USDA) es una unidad ejecutiva del Gobierno Federal de EE. UU. Su propósito es desarrollar y ejecutar políticas de ganadería, agricultura y alimentación.

USGS: Es el Servicio Geológico de los Estados Unidos por sus siglas en inglés (United States Geological Survey), es una agencia científica del gobierno federal de los Estados Unidos. Los científicos de la USGS estudian el terreno, los recursos naturales, y los peligros naturales que los amenazan. La agencia se divide en 4 disciplinas científicas mayores: biología, geografía, geología e hidrología.

VEGETACIÓN REMANENTE: se denomina vegetación remanente al residuo o reserva de las formaciones vegetales que caracterizan a un lugar.

ANEXOS

ANEXO A. Tabla de precipitaciones estación Ibarra – Aeropuerto

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1963	74,5	177,1	77	104,4	20,6	41,5	0,5	0	0,7	61,1	92,5	50,8	671,3
1964	2,3	18,2	2,5	94,1	58,9	116,4	13,3	31,6	12	38,1	64,7	48,2	500,3
1965	21	11,5	13,1	84,7	46,5	7,6	2,3	5,3	13,7	90,7	149,3	42,3	488
1966	3,9	19,8	80,3	82,9	47,4	24,2	18,1	37	25,3	74,9	64,1	53,4	531,3
1967	22,9	60,8	40,8	86,7	43,3	35,5	16,7	5,1	19,4	115,1	39,4	40,1	525,8
1968	42,9	76,1	135,3	125,6	30,3	46	8,1	7,8	73,5	93,4	126,6	11,6	777,2
1959	50	64	41,5	144,2	59,9	80,6	2	4,8	53,3	102,1	72,2	37,5	712,1
1970	39,7	100	25	51,1	97,6	6,8	11,1	12,1	10,7	77,2	121,8	52,8	605,9
1971	79,8	73,2	116,5	68,1	86,4	33,2	20	10	44,5	89,7	65	40,5	726,9
1972	84,3	119	114,7	83,5	54,1	55,4	13,4	27,9	4,2	74,9	93,3	45,4	770,1
1973	14	38,3	22,1	142,3	41,7	41,8	43,4	14,6	70,5	91,3	32,8	61,9	614,7
1974	54,5	75,5	88	67,1	53,1	30,2	17,5	4,1	62,7	102,5	78,4	70,9	704,5
1975	24,4	146,7	120,3	45,1	84,3	75,1	90	20,6	18,2	84,9	96,4	65,1	871,1
1976	30	22,7	49,1	107,6	95,1	15,5	5,2	1,2	16,7	55,7	70,2	54,4	523,4
1977	6,2	23,6	80,7	30,2	36	55,7	6,4	21,7	41,8	82,6	25	83	492,9
1978	13,1	20,4	54,5	79,9	83	23,2	6,6	1,6	40,1	7,4	10,7	62,8	403,3
1979	14,2	30,2	93	70,2	130,2	34,4	18,2	67,4	26,8	37,9	45,2	28,3	596
1980	23	82,9	29	71,2	16,7	29,4	0,5	8,6	33,9	97,6	75,6	20,4	488,8
1981	20,7	21	81,6	113,3	46,1	6,8	26,1	21	19,4	37,6	85,2	46,1	524,9
1982	53,1	42,5	53,2	110,8	150,5	1,3	27,3	18,1	16	79,1	58,8	121,5	732,2
1983	37,2	40,8	142	61,5	110,6	11,8	1,4	10,5	15,1	88,2	85,7	84,8	689,6
1984	38,1	90,2	33,9	134	72,8	26,9	5,3	8,8	123,8	64,2	78,5	5	681,5
1985	66,9	55,1	67,4	84,8	95,9	23,2	16,3	18,4	39,5	64,7	50,4	47,2	629,8
1986	40,5	80,5	98,7	84,1	106,5	24,5	9,6	8	34,3	77,7	57,1	33,7	655,2
1987	14,8	55,2	52,7	91,6	75,9	17,1	10,3	10,5	23,5	97,1	73,5	40,2	562,4
1988	37,1	52,8	106,7	106,2	61,1	46,2	18,1	15,5	40	76,6	104,6	52,6	717,5
1989	19,2	62,5	66,9	81,7	84	72,1	11,8	11	38,8	75,3	37,2	30,2	590,7
1990	21,1	68,2	39,5	76,9	71,9	36,8	23,3	13,8	25,8	80,6	34,3	37,5	529,7
1991	34,9	43,2	64,1	80	66,7	29,9	14,9	16,2	19,8	64,2	68,2	37,7	539,8
1992	14,8	50,4	53,2	82,3	69,6	14,9	15,1	10,5	65	48,4	52,7	33	509,9
1993	19,6	102,8	98,9	83,7	96,7	31,6	10,9	9,3	48,4	62,3	65,1	32,2	661,5
1994	54,1	51	67	94,2	67,1	27,8	14,6	27,8	31,5	71	68	48	622,1
1995	11,3	41,4	51,2	83,7	73,7	37,4	15,2	14,8	21,4	62,9	73	40	526
1996	71,8	76,8	88	82,7	122,6	91,3	2,5	29,1	17,8	52,2	12,6	32,5	679,9
1997	62,4	41,1	113,8	124,2	68,9	19,4	29,7	0,1	74,4	34,4	96,5	34	698,9
1998	16,7	44,6	61,5	51,7	75,9	15,5	24,9	7	9,9	65,8	104,1	25,2	502,8

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1963 – 1998)

ANEXO B. Tabla de precipitaciones estación Zuleta

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1963	127,3	308,9	119,3	204,3	64,4	54,1	9,2	0,8	7,3	71,6	143,1	71,3	1181,6
1964	4,8	35,7	13,4	146,2	27,4	139,8	9,0	42,6	34,6	73,4	154,7	157,5	839,1
1965	63,2	29,7	11,5	166,4	74,0	27,8	19,7	11,4	38,4	148,2	296,3	63,7	950,3
1966	19,3	57,8	146,4	62,4	53,4	51,7	19,2	27,1	73,1	83,1	190,7	197,9	962,1
1967	90,5	97,0	104,9	88,4	110,5	60,0	56,0	19,9	29,2	145,9	67,8	55,4	925,5
1968	108,5	122,1	138,3	127,5	27,8	150,3	35,0	19,6	100,0	138,8	191,4	63,5	1222,8
1969	66,1	60,4	75,1	194,6	50,6	90,2	4,8	10,7	95,2	224,4	143,7	98,8	1114,6
1970	68,9	171,1	68,6	96,1	147,9	61,7	20,5	19,9	26,4	69,6	220,3	50,6	1021,6
1971	124,6	140,7	157,0	84,1	147,6	26,0	41,8	10,2	44,5	121,3	138,5	96,4	1132,7
1972	160,5	154,6	208,3	184,1	85,7	78,8	69,2	72,0	16,9	107,0	167,9	74,5	1379,5
1973	26,9	77,1	100,4	201,0	93,9	23,7	68,9	35,3	106,6	104,1	66,3	141,4	1045,6
1974	110,8	233,8	280,9	161,8	84,5	48,7	77,1	22,8	104,3	162,9	238,1	289,5	1815,2
1975	95,7	252,4	101,2	148,1	353,7	134,8	197,5	24,2	27,3	217,2	288,5	249,0	2089,6
1976	50,5	84,6	103,4	233,2	210,7	82,9	107,4	46,5	64,7	177,9	234,7	206,3	1602,8
1977	23,6	117,6	139,4	96,5	54,5	45,3	49,7	56,0	109,6	136,9	124,7		1091,7
1978	48	64,5	75,7	167,6	67,8	53,8	28,3	8,4	26,0	29,1	28,6	151,6	749,4
1979	12	62,9	284,5	177,9	124,2	63,4	16,8	110,3	40,6	76,2	94,2	46,6	1109,6
1980	172,9	276,5	114,2	121,9	17,3	32,5	21,8	17,6	53,2	157,5	138,4	91,4	1215,2
1981	93	72,6	163,5	172,1	87,6	32,5	49,0	40,7	20,7	98,1	235,1	168,0	1232,9
1982	195	83,9	145,9	190,1	163,9	0,0	58,8	26,1	28,7	133,2	197,5	267,7	1480,8
1983	139,9	234,4	296,9	169,4	151,6	0,4	6,0	1,1	38,5	114,1	175,9	167,1	1495,3
1984	143,7	159,6	126,9	241,5	208,0	38,6	23,3	30,5	221,5	221,6	219,2	15,0	1649,4
1985	157,2	50,2	63,4	163,5	329,3	41,7	44,6	39,4	118,0	75,3	112,6	101,8	1297,0
1986	140,9	169,9	221,6	43,7	112,0	25,5	0,0	15,9	83,8	139,4	157,5	35,8	1146,0
1987	49,6	87,1	254,9	258,1	268,2	8,2	43,6	7,9	78,4	145,0	41,4	120,3	1362,7
1988	127,9	56,6	45,8	230,5	61,3	48,8	49,7	43,9	38,1	257,6	317,8	90,0	1368,0
1989	108,8	78,9	212,2	156,8	291,1	97,7	43,9	7,9	23,2	120,3	16,2	13,4	1170,4
1990	14,9	250,6	117,1	182,2	77,9	38,9	79,0	0,0	14,3	192,4	52,5	42,6	1062,4
1991	62,6	88,4	212,8	104,4	158,8	85,4	56,9	18,6	54,4	1,7	97,9	100,9	1042,8
1992	21,9	82,6	44,9	256,9	138,2	94,7	31,8	73,4	31,3	0,0	93,0	125,7	994,4
1993	53,7	136,5	234,0	139,4	228,3	3,0	38,4	17,1	77,7	75,4	167,6	115,5	1286,6
1994	270	74,8	273,6	216,4	182,1	44,3	22,9	71,1	39,4	49,2	156,6	124,9	1525,9
1995	9,7	49,2	30,7	110,8	114,0	65,2	72,6	57,8	21,9	136,0	218,6	77,9	964,4

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1963 – 1995)

ANEXO C. Tabla de precipitaciones estación Olmedo-Pichincha

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1975	76,1	146,4	109,0	116,2	202,3	74,0	129,0	20,0	21,8	126,0	167,3	144,4	1332,5
1976	24,8	124,3	123,5	136,8	110,2	110,0	94,2	45,0	35,3	102,6	128,2	94,5	1129,4
1977	7,6	69,9	96,3	50,5	23,6	53,3	23,5	37,8	74,1	55,4	47,2	57,4	596,6
1978	32,4	48,0	69,7	108,4	29,3	56,7	15,1	17,9	15,1	16,0	32,2	103,5	544,3
1979	46,1	21,9	129,3	97,2	77,1	42,6	17,0	52,6	11,1	45,3	54,6	27,0	621,8
1980	88,9	137,6	56,5	78,4	22,3	43,8	10,4	26,5	30,9	94,5	43,8	46,4	680,0
1981	31,4	40,8	114,6	127,5	60,3	10,3	43,3	17,2	28,6	79,8	136,4	97,4	787,6
1982	104,5	48,7	105,7	82,5	78,4	1,9	48,6	43,8	10,6	91,7	93,4	163,3	873,1
1983	52,0	121,7	143,4	100,5	51,7	8,7	18,6	3,5	39,3	116,3	62,3	80,0	798,0
1984	142,7	57,2	54,4	110,8	52,8	39,9	25,9	9,1	89,2	98,4	110,9	11,4	802,7
1985	79,3	25,7	55,0	94,8	191,0	24,2	25,9	22,9	68,4	33,5	42,2	59,0	721,9
1986	26,0	103,3	155,4	25,3	70,8	4,6	7,9	8,6	5,6	67,4	91,4	20,8	587,1
1987	28,8	50,5	147,8	149,7	155,6	4,8	25,3	4,6	45,5	84,1	24,0	69,8	790,5
1988	74,2	32,8	26,6	133,7	35,6	28,3	28,8	25,5	22,1	149,4	184,3	52,2	793,5
1989	63,1	45,8	123,1	40,7	75,7	67,7	21,2	13,1	36,0	65,9	94,2	52,1	698,6
1990	25,4	88,7	87,2	39,0	29,6	0,0	49,2	0,0	6,4	111,6	30,5	65,3	532,9
1991	79,8	28,8	105,1	62,1	43,7	24,1	33,6	10,8	20,5	6,8	56,8	24,9	497,0
1992	12,7	47,9	26,0	149,0	80,2	54,9	18,4	42,6	18,2	0,0	53,9	72,9	576,7
1993	31,1	79,2	135,7	80,9	132,4	1,7	22,3	9,9	45,1	43,7	97,2	67,0	746,2
1994	156,6	43,4	158,7	125,5	105,6	25,7	13,3	41,6	22,9	96,0	156,5	126,8	1072,6
1995	5,6	37,9	69,4	73,2	66,1	37,8	42,1	33,5	12,7	78,9	126,8	45,2	629,2
1996	151,7	103,7	135,6	133,3	113,4	55,8	31,4	48,7	38,7	48,3	26,4	54,4	941,4
1997	159,0	28,9	113,5	89,4	47,3	68,5	7,3	1,6	70,3	38,4	161,9	32,4	818,5
1998	25,8	58,1	94,4	72,2	104,2	35,3	31,8	4,7	13,0	112,5	62,6	73,6	688,2
1999	141,1	145,6	82,1	187,3	85,7	78,7	31,5	44,5	100,5	68,0	105,4	225,3	1295,7
2000	161,6	160,3	113,0	103,2	169,5	86,2	20,8	13,8	56,3	18,1	18,8	83,2	1719,2
2001	60,7	25,8	18,1	53,0	22,3	36,2	34,1	3,1	25,9	23,7	78,5	77,8	459,2
2002	63,3	55,0	82,1	92,8	32,3	53,2	7,6	22,4	34,5	109,0	69,5	97,1	718,8
2003	18,4	39,3	116,7	62,8	56,0	32,2	43,5	12,4	39,8	132,6	101,2	78,4	733,3
2004	63,5	30,7	83,6	82,7	60,9	31,8	23,4	11,3	31,2	82,4	94,9	95,5	691,9
2005	49,3	88,8	65,4	135,0	60,9	32,2	16,2	9,1	39,7	67,8	82,9	134,5	781,8
2006	70,2	36,0	123,7	98,9	57,4	40,2	11,6	21,8	31,9	100,7	118,8	130,2	841,4
2007	66,4	96,5	75,3	121,3	62,2	71,4	12,3	27,4	11,3	160,4	99,9	136,8	941,2
2008	103,9	152,9	138,1	69,6	150,8	50,0	17,7	31,8	59,0	173,7	128,1	93,0	1168,6
2009	82,6	93,7	102,3	33,6	30,7	38,8	18,6	18,0	20,7	119,7	71,9	67,5	698,1
2010	63,5	50,2	76,8	127,7	74,9	55,1	53,6	21,0	48,7	95,8	146,2	93,5	907,0

Elaboración: La Autora

Fuente: INAMHI (1975 – 2010)

ANEXO D. Tabla de precipitaciones estación Mariano Acosta

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1963	81,2	51,3	31,5	91,7	48,5	78,8	22,4	12,8	20,3	58,0	170,9	118,8	786,2
1964	15,6	34,0	12,0	177,1	32,5	145,8	41,0	16,6	141,3	52,5	38,7	139,5	846,6
1965	29,6	6,8	18,1	126,8	105,0	56,6	45,7	48,9	11,5	191,5	227,2	95,1	962,8
1966	30,0	37,7	169,3	99,3	0,0	85,8	8,5	20,2	53,9	83,4	156,3	235,5	979,9
1967	62,4	169,6	87,7	59,1	45,2	94,1	69,0	43,9	22,3	100,0	120,0	65,0	938,3
1968	102,0	118,0	192,0	178,1	23,6	95,3	58,0	44,4	62,7	131,0	113,1	39,1	1157,3
1969	112,4	77,6	103,3	246,9	103,6	59,8	57,5	62,9	53,3	171,2	65,3	63,6	1177,4
1970	100,4	201,6	107,0	60,8	148,5	46,5	66,1	54,4	33,1	63,0	153,4	65,5	1100,3
1971	143,8	128,4	113,7	136,1	57,5	54,9	74,9	30,3	73,3	110,3	165,4	45,0	1133,6
1972	160,0	154,5	138,2	179,1	43,3	51,2	103,5	45,9	19,0	79,9	186,2	109,2	1370,0
1973	14,4	65,4	53,7	87,8	51,7	59,3	75,1	36,4	67,1	55,7	74,7	72,5	713,8
1974	186,0	177,9	249,8	128,9	112,7	21,2	122,3	10,8	60,7	111,2	159,9	219,6	1561,0
1975	97,1	244,7	60,3	160,5	128,9	194,4	132,0	90,6	58,8	94,1	129,1	137,8	1528,3
1976	44,7	108,1	139,0	224,9	134,2	118,2	119,0	58,5	91,1	190,3	130,6	120,8	1479,4
1977	23,2	133,5	103,3	157,4	33,2	47,8	40,0	71,9	66,3	55,7	90,1	68,3	890,7
1978	34,1	54,1	43,0	185,0	49,4	80,5	43,4	26,9	33,8	20,8	22,2	90,9	684,1
1979	87,0	42,3	174,0	122,3	73,0	54,9	28,3	78,3	31,6	91,0	78,0	60,1	920,8
1980	86,5	186,6	78,2	185,7	63,6	48,4	9,4	34,5	30,3	127,1	149,1	41,9	1041,3
1981	55,7	38,6	165,3	109,6	70,0	18,4	92,4	42,8	27,6	61,6	242,0	69,1	993,1
1982	180,4	63,3	148,2	110,7	112,6	6,6	162,2	28,2	21,6	74,6	119,6	458,0	1486,0
1983	32,3	89,7	225,1	160,5	101,9	33,8	15,4	11,2	61,1	132,9	76,5	119,8	1060,2
1984	90,1	51,8	117,4	203,6	126,4	52,1	30,6	13,3	88,8	163,3	114,7	0,0	1052,1
1985	167,3	84,1	107,0	110,2	141,5	31,6	61,9	61,8	65,6	69,9	61,4	100,2	1062,5
1986	95,4	153,6	188,9	105,1	167,2	35,0	33,8	0,0	51,4	119,7	78,7	35,8	1064,6
1987	25,2	84,5	69,2	164,7	93,4	15,7	36,6	15,2	22,0	194,3	121,4	66,6	908,8
1988	86,0	78,0	209,9	280,5	57,9	91,1	69,2	44,5	75,2	115,4	202,3	126,4	1436,4
1989	37,3	104,4	106,2	86,1	113,0	158,0	42,9	17,8	63,6	110,5	27,1	18,8	885,7
1990	42,3	120,0	34,8	47,7	83,7	66,8	91,0	34,7	28,3	130,8	19,5	54,0	753,6
1991	79,9	51,6	98,8	72,1	71,2	48,9	55,7	49,0	12,0	68,0	107,6	54,7	769,5
1992	25,1	71,2	70,5	90,8	78,3	10,1	56,8	15,3	135,0	7,1	67,5	32,1	659,8
1993	38,2	214,6	189,4	101,9	143,6	53,4	39,4	7,8	89,8	60,7	99,7	28,2	1066,7
1994	132,5	73,1	106,4	185,1	72,3	43,6	54,6	117,8	43,8	94,1	107,0	104,0	1134,3
1995	15,7	46,7	65,2	101,5	88,1	68,3	57,2	40,8	16,3	62,9	120,2	65,7	748,6
1996	116,5	133,9	97,0	177,0	72,4	65,0	45,0	56,4	40,3	64,1	47,4	105,5	1020,5
1997	156,5	45,8	135,1	92,1	72,0	75,7	46,6	13,9	54,5	17,3	96,6	96,3	902,4
1998	36,6	71,0	112,0	71,8	129,2	38,3	47,2	96,5	26,0	141,9	127,4	55,8	953,7
1999	177,3	169,8	182,2	218,7	107,3	72,7	26,2	37,2	89,5	74,0	161,9	195,3	1512,1
2000	191,7	165,7	170,5	154,1	195,7	84,7	33,6	40,8	82,5	33,1	12,7	111,3	2155,3
2001	85,6	67,2	22,8	91,2	31,8	64,3	72,1	16,2	14,8	11,1	69,3	76,8	623,2
2002	78,7	40,2	59,3	129,1	43,5	66,5	24,6	21,7	25,4	134,7	95,0	114,8	833,5
2003	12,7	66,2	117,6	87,0	66,1	35,8	78,2	0,0	60,4	177,5	126,7	85,5	913,7
2004	19,2	30,5	68,3	109,7	71,5	41,5	42,4	4,3	15,2	59,6	80,6	43,9	586,7
2005	21,8	127,1	100,0	142,0	53,1	42,7	24,1	59,0	37,9	77,7	93,6	187,0	966,0
2006	89,4	39,0	207,6	145,4	66,6	60,4	21,4	39,2	39,4	128,3	158,5	179,2	1174,4
2007	50,2	67,2	112,0	158,6	74,6	95,9	38,6	79,0	26,8	161,3	118,0	158,8	1141,0
2008	105,1	176,2	186,3	177,8	184,6	89,8	32,3	47,9	43,9	155,6	144,3	129,1	1472,9
2009	84,0	110,8	95,9	50,2	39,8	46,6	40,9	41,1	15,5	123,6	57,5	94,7	800,6
2010	19,5	62,1	44,7	208,7	87,4	94,1	96,2	35,6	84,0	120,7	208,1	112,8	1173,9

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1963 – 2010)

ANEXO E. Tabla de precipitaciones estación Pimampiro

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1963	34,8	24,1	13,5	13,7	44,3	45,0	16,5	1,7	12,4	37,5	69,0	41,7	354,2
1964	13,0	22,7	2,2	94,9	29,1	117,8	15,4	38,7	47,6	19,0	32,9	86,5	519,8
1965	24,9	0,0	8,5	106,6	36,8	16,4	6,6	29,3	32,3	82,4	180,5	33,2	557,5
1966	15,1	20,0	83,0	30,5	20,3	55,0	26,6	25,8	31,3	43,4	106,3	83,9	541,2
1967	34,9	29,6	94,5	64,0	18,1	45,8	41,3	17,8	18,1	93,9	55,6	46,5	560,1
1968	21,8	43,5	90,4	69,8	0,7	35,1	48,3	36,6	72,5	76,1	64,2	34,2	593,2
1969	36,3	60,1	51,5	144,1	38,5	49,7	13,7	24,9	51,8	107,9	64,7	38,4	684,2
1970	33,9	89,5	43,1	45,0	95,9	61,1	38,6	29,4	29,7	67,5	100,0	21,4	655,1
1971	81,9	69,4	75,0	49,0	30,6	47,8	72,7	21,9	35,8	65,7	60,8	49,5	660,1
1972	84,0	60,4	65,8	90,5	18,2	34,4	37,0	59,3	2,6	40,8	106,2	51,8	651,0
1973	37,9	64,7	10,0	53,2	35,8	26,5	36,2	21,9	38,9	60,6	33,1	45,4	464,2
1974	54,6	47,8	117,3	56,3	56,7	28,4	83,6	14,6	48,7	106,1	97,6	83,0	804,7
1975	6,9	91,5	34,5	26,6	44,2	91,2	85,6	5,4	8,5	63,7	30,6	35,8	524,5
1976	33,7	24,5	119,3	70,5	69,0	46,5	28,3	16,2	20,0	89,2	68,9	27,9	614,0
1977	3,7	65,7	22,3	54,0	16,9	11,5	6,5	35,4	43,7	24,0	29,1	41,1	353,9
1978	2,5	15,7	24,2	56,1	24,8	21,9	3,1	0,0	9,5	8,7	12,0	43,2	221,7
1979	48,9	27,0	85,5	96,5	35,9	13,0	21,4	50,6	13,2	31,9	38,9	10,8	473,6
1980	15,9	60,0	56,9	113,6	0,4	22,8	0,2	29,1	0,0	83,2	36,9	20,7	439,7
1981	14,0	2,2	69,9	88,4	51,4	13,9	36,8	26,0	17,0	23,4	78,4	44,2	465,6
1982	62,8	32,7	36,7	59,7	76,1	5,5	52,4	36,6	21,0	83,0	24,1	160,4	651,0
1983	8,2	53,0	142,8	105,4	72,0	17,8	12,0	10,1	20,8	77,4	59,9	90,7	760,1
1984	62,7	63,8	42,1	91,7	66,8	45,4	38,6	3,8	87,9	66,0	49,7	15,4	633,9
1985	41,6	43,9	58,0	64,1	68,2	23,4	54,2	40,9	69,2	21,6	23,2	58,1	566,4
1986	20,0	37,3	107,9	73,8	65,3	37,8	21,2	3,3	25,1	91,0	66,2	20,5	569,4
1987	35,0	22,9	5,0	68,2	55,4	4,0	16,2	2,0	27,7	72,8	51,5	26,1	486,8
1988	50,7	40,4	37,2	96,2	67,0	52,5	69,2	27,3	41,3	63,7	112,0	64,0	721,5
1989	52,9	27,2	78,1	54,8	42,0	115,5	5,2	7,0	27,4	64,8	7,4	6,0	488,3
1990	21,4	45,0	21,5	22,8	55,9	33,6	44,3	11,5	13,0	71,4	0,0	29,0	369,4
1991	32,1	28,6	66,9	51,2	49,0	28,2	30,2	33,4	5,4	39,7	49,2	25,6	439,5
1992	12,5	36,9	34,4	45,9	44,5	25,2	29,3	14,1	73,5	18,5	56,5	49,4	440,7
1993	16,0	25,0	125,3	62,7	70,9	15,0	10,4	3,0	44,7	62,3	89,3	43,0	567,6
1994	76,1	37,0	98,8	123,8	49,2	20,6	38,3	65,5	12,7	66,1	76,2	17,1	681,4
1995	0,0	44,5	10,4	40,4	16,8	52,1	27,0	13,3	9,5	23,3	65,2	39,0	341,5
1996	97,2	98,3	85,1	81,8	71,3	59,9	33,1	40,2	37,9	31,7	44,3	42,2	723,0
1997	58,9	39,2	53,6	73,3	48,5	46,3	26,2	11,4	52,4	40,4	65,8	57,1	573,1
1998	7,5	24,3	84,4	41,7	64,6	16,1	24,0	35,9	8,9	47,6	60,8	38,1	453,9
1999	61,6	175,6	106,2	106,4	58,2	34,1	27,5	31,6	49,5	34,1	71,0	100,0	855,8
2000	68,7	99,5	85,5	81,0	172,9	45,4	19,0	21,2	44,9	23,3	9,0	56,8	1193,1
2001	34,8	8,0	21,2	38,1	34,9	50,1	12,8	16,1	7,8	0,0	39,0	36,9	299,7
2002	43,4	9,3	27,0	71,0	15,6	55,4	9,3	13,0	20,0	44,6	94,2	47,1	449,9
2003	4,2	19,2	10,4	36,0	30,9	18,3	31,6	0,0	31,3	48,0	64,7	18,3	312,9
2004	5,2	24,8	31,7	55,1	42,9	41,5	26,6	0,0	11,8	35,6	58,4	81,0	414,6
2005	22,5	21,0	76,5	80,4	31,3	23,0	5,3	2,0	7,5	42,4	14,2	80,6	406,7
2006	37,6	34,8	97,2	99,6	34,4	30,3	21,2	18,8	13,9	24,0	75,2	153,2	640,2
2007	26,3	14,4	60,6	73,6	22,0	34,5	15,2	72,9	15,7	97,1	48,4	71,2	551,9
2008	48,4	42,1	77,6	86,7	125,5	51,0	6,4	9,8	23,1	74,5	44,1	56,8	646,0
2009	314,8	49,7	60,5	42,4	23,3	34,0	18,8	14,7	0,0	33,1	10,6	87,1	689,0
2010	17,2	41,7	38,2	131,9	99,2	29,4	48,0	31,8	72,2	49,5	116,4	82,9	758,4

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1963 – 2010)

ANEXO F. Tabla de precipitaciones estación San Francisco de Sigsipamba

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1966	79,8	63,7	72,5	87,0	52,7	114,0	90,0	44,9	41,6	60,8	142,5	265,9	1030,1
1967	151,0	73,3	115,8	59,2	29,8	140,4	153,2	66,6	50,5	106,7	98,1	40,5	1085,1
1968	120,9	64,8	151,4	165,2	21,6	115,2	138,7	51,3	113,5	97,9	76,5	41,4	1158,4
1969	83,1	45,2	113,6	129,4	82,3	159,6	91,8	143,4	46,9	173,2	67,6	56,8	1192,9
1970	91,0	181,1	117,9	78,7	154,9	123,5	90,0	105,2	73,7	110,7	211,4	40,5	1378,6
1971	150,1	100,0	96,0	82,6	45,6	97,0	162,0	60,4	58,1	85,9	150,1	56,3	1144,1
1972	165,7	83,0	90,5	145,2	47,2	65,6	144,1	48,6	59,4	83,9	181,0	63,5	1177,7
1973	69,1	81,9	69,8	130,7	67,5	74,7	125,5	85,4	74,0	49,7	80,0	99,7	1008,0
1974	84,6	141,7	139,9	114,6	95,2	85,6	229,1	62,8	87,6	92,5	146,9	220,3	1319,9
1975	70,5	130,5	44,9	65,7	163,7	224,3	169,7	99,7	43,7	120,6	51,5	77,1	1261,9
1976	94,1	83,1	91,3	190,9	90,0	217,2	155,6	126,7	48,1	91,7	125,8	75,1	1279,2
1977	29,8	128,5	130,9	167,8	52,1	93,8	64,9	86,0	65,5	49,3	37,1	48,4	954,1
1978	29,6	65,9	91,4	132,4	59,8	147,5	83,6	50,6	62,9	42,2	28,3	149,6	882,5
1979	68,2	13,8	134,3	129,7	47,6	76,3	50,1	71,9	39,8	56,0	66,2	45,2	799,1
1980	79,2	67,9	83,2	165,6	47,8	73,9	56,8	52,1	53,3	102,1	90,5	60,8	933,2
1981	83,8	35,8	72,3	56,7	64,2	27,4	111,9	29,6	30,6	47,6	235,9	46,1	841,9
1982	151,6	71,3	179,4	106,1	109,5	24,9	136,3	82,8	16,1	85,0	124,1	187,7	1274,8
1983	31,2	128,1	126,9	157,9	125,0	40,0	58,7	35,5	78,9	90,6	45,6	118,1	1036,5
1984	147,2	97,6	105,2	179,9	160,2	99,0	89,7	28,6	125,0	107,5	128,8	28,9	1297,6
1985	54,9	73,3	120,9	96,7	135,2	35,8	77,6	110,0	101,7	61,1	46,9	122,6	1036,7
1986	67,6	77,3	233,1	83,7	166,7	77,4	132,5	33,4	53,4	46,1	108,3	73,1	1072,3
1987	59,6	93,2	47,7	111,6	108,4	35,0	109,3	49,1	43,7	174,4	71,7	59,3	963,0
1988	79,5	60,8	95,4	107,2	61,8	100,8	123,6	55,1	77,6	105,3	152,2	122,5	1257,7
1989	69,3	85,8	140,9	60,6	183,8	183,4	141,3	61,1	55,9	120,6	43,0	40,0	1185,7
1990	12,2	86,9	93,2	37,6	128,6	81,4	90,5	59,7	44,2	94,6	20,2	91,8	840,9
1991	79,1	63,8	97,4	77,4	74,5	83,0	112,6	77,4	37,5	66,8	93,2	57,6	925,2
1992	17,2	99,4	93,0	89,3	62,8	51,9	183,4	72,5	75,2	9,3	66,2	25,1	845,3
1993	36,7	100,9	108,9	81,1	139,3	99,3	97,8	37,0	52,7	64,8	148,1	57,7	1024,3
1994	154,0	36,1	76,4	121,3	75,4	73,8	100,4	156,2	26,2	42,1	88,0	77,0	1026,9
1995	23,1	61,9	53,0	96,5	58,8	75,5	73,1	53,8	35,3	63,8	57,7	37,5	914,7
1996	103,1	152,3	89,9	134,2	94,9	89,8	142,4	65,5	47,0	64,2	44,9	64,0	1092,2
1997	99,6	65,8	73,3	63,6	110,7	59,0	147,8	48,4	30,8	50,3	61,1	71,8	882,2
1998	35,6	74,6	108,3	69,1	81,6	111,3	133,6	120,0	10,0	125,9	60,9	55,5	1017,0
1999	137,1	97,3	91,0	238,2	75,7	68,2	98,8	74,1	92,1	65,7	108,7	179,1	1326,0
2000	127,7	104,4	122,1	115,5	256,0	83,9	56,6	71,0	72,7	57,4	29,1	89,8	2095,3
2001	80,0	50,4	13,5	107,7	40,6	172,3	132,0	69,2	34,0	32,4	59,2	76,2	867,5
2002	78,4	56,1	75,7	108,6	51,7	71,6	55,9	24,7	46,7	74,0	104,2	90,0	837,6
2003	32,7	51,6	95,2	42,9	113,7	129,3	132,8	3,0	56,7	103,1	110,5	85,3	956,8
2004	11,5	35,7	109,6	106,1	73,4	89,4	97,3	59,8	17,2	43,5	40,6	60,7	744,8
2005	30,8	77,6	82,3	186,9	59,8	74,1	41,2	28,5	39,6	108,1	54,8	231,7	1015,4
2006	102,8	44,9	180,1	124,7	79,2	80,6	96,7	38,5	30,0	124,1	89,7	160,0	1151,3
2007	37,0	50,4	97,3	112,5	78,5	167,4	39,8	120,7	56,6	168,6	64,3	122,7	1115,8
2008	89,7	113,5	123,7	113,7	173,8	94,4	78,0	46,5	51,4	157,7	115,6	76,3	1234,3
2009	69,6	126,5	57,4	88,5	48,2	120,2	95,2	70,1	15,3	134,2	41,4	70,2	936,8
2010	27,2	65,0	51,2	151,3	116,3	84,4	97,8	69,5	126,3	80,8	146,2	109,4	1125,4

Elaboración: La Autora

Fuente: INAMHI (1966 – 2010)

ANEXO G. Tabla de temperaturas estación Atuntaqui

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1965	15,1	15,5	15,6	15,2	15,7	16	16	16	16,4	15,9	15,2	15,6	15,7
1966	16,1	16	15,6	15,8	16,3	15,3	15,4	16,2	15,8	15,6	15,2	15	15,7
1967	15,3	15	15,5	15,7	16	15,1	15,7	16,2	16,2	15,7	15,6	15,8	15,7
1968	15,1	15	14,7	15,2	15,4	15	15,2	16	15,9	15,7	15,2	15,3	15,3
1969	15,5	15,8	16,1	16	15,9	15,7	15,6	15,4	16,3	15,3	15,5	15,2	15,7
1970	15,3	15,2	15,3	15,7	15,1	15,3	15,3	15,5	14,9	15,5	14,5	15	15,2
1971	14,5	14	14,6	14,9	14,8	15,2	15,2	14,5	14,6	14,9	14,5	14,6	14,7
1972	14,9	14,9	15,1	14,9	14,9	15	15,4	15,2	15,8	15,2	15,6	15,6	15,2
1973	15,7	15,9	16,5	15,8	15,7	15,5	15,1	15,1	14,9	14,8	15,6	14,8	15,5
1974	14,7	14,7	14,8	15,3	14,9	15	15,3	15,2	15	14,9	14,7	14,1	14,9
1975	14,9	14,7	14,9	15,4	15,1	15,3	13,9	14,8	15	14,8	14,1	14,2	14,8
1976	14,3	14,1	15,1	15,3	15,2	15,5	15,8	15,4	16,1	15,3	15,2	15,2	15,2
1977	15,7	15,5	16,7	15,9	15,7	15,3	16,2	15,8	15,5	16	15,9	16,3	15,9
1978	15,5	16,4	15,8	15,9	16,1	15,8	16,5	16	16,4	15,9	16,6	15,7	16,1
1979	15,1	15,6	15,8	16,1	16	16,2	15,8	15,7	15,7	16	15,8	15,6	15,8
1980	15,9	15,6	15,7	16,2	16,5	16,3	16,2	15,9	16,3	15,8	15,8	15,7	16,0
1981	15,2	15,7	15,8	16,1	15,9	15,6	15,4	16	15,9	15,8	15,8	16	15,8
1982	15,2	15,7	16,1	15,6	15,5	15,7	15,6	16,2	16	15,6	16,1	15,9	15,8
1983	16,8	16,4	16,4	16,1	16,3	16,1	15,7	16	15,7	15,7	16,3	14,9	16,0
1984	14,5	14,5	15,1	14,8	15	15	14,7	15,5	14,9	15,2	14,6	15,5	14,9
1985	14,5	14,7	15,5	15,1	15,2	15,8	14,8	15	15,6	15,7	15,2	15,1	15,2
1986	15,2	14,6	14,7	15,6	15,5	15,7	15,8	15,8	16,1	15,4	15,5	15,7	15,5
1987	16,1	16,9	16,3	16,1	16,1	16,7	16,3	16,3	16,2	16,1	16,3	16,5	16,3
1988	16	16	15,9	15,7	15,8	15,3	14,9	15,1	15,4	15,3	15,4	14,7	15,5
1989	15,0	14,8	15	15,3	15,6	15,2	14,8	15,4	15,4	15,5	16,4	15,5	15,3
1990	15,6	15,7	16	16	15,9	16,1	15,2	15,7	16,1	15,9	16,4	15,7	15,9
1991	16,2	15,8	16,2	15,6	15,8	15,8	15,6	15,1	16,1	15,3	15,5	15,9	15,7
1992	15,6	15,7	16,1	18,0	15,5	15,9	15,2	15,4	15,7	15,5	15,9	15,7	15,9
1993	15,2	15,3	14,9	15,7	15,8	15,9	15,5	15,6	15,7	15,9	16,3	15,7	15,6
1994	15,2	15,3	15,3	15,7	15,7	15,5	15,4	15,2	15,9	15,9	15,5	15,7	15,5
1995	15,6	15,4	15,9	16,1	15,7	15,9	15,6	15,8	15,9	15,8	15,7	15,9	15,8
1996	15,0	14,8	15,6	15,7	15,8	15,6	15,3	15,6	16,2	15,6	15,7	15,6	15,5
1997	15,3	15,6	16,3	15,8	15,9	15,6	15,7	16,2	16	16,3	15,9	16	15,9
1998	16,4	16,9	16,8	16,6	16,1	15,6	15,3	15,7	15,8	15,9	16,2	15,6	16,1
1999	15,4	15,1	15,2	15,3	15	15,2	15,4	14,9	15,3	15,2	15,4	14,9	15,2
2000	14,7	14,7	15	15,4	15,2	15,5	15,3	15,4	15,2	15,6	15,3	15,5	15,2
2001	14,6	15,4	15,2	15,6	15,7	15,6	15,9	15,7	15,7	16,3	16,0	16	15,6
2002	15,8	15,8	15,8	15,7	16	15,5	16,0	16	16	15,7	15,5	15,7	15,8
2003	15,8	16,2	15,7	15,9	16	15,6	15,7	16,1	15,9	16,1	16,3	15,6	15,9
2004	15,7	15,2	16,3	16,1	16	15,9	15,7	15,9	15,8	16,1	16,7	16	16,0
2005	15,9	16,1	15,9	16,4	16	15,9	15,9	16	16,1	15,9	16	15,6	16,0
2006	15,6	16,2	16	16	16,2	15,5	15,4	15,7	15,5	16	15,8	15,8	15,8
2007	15,6	15,1	15,6	15,6	15,7	15,3	15,4	15,1	15,2	15,5	15,3	14,8	15,4
2008	15,0	14,8	14,8	15	15,4	15,5	14,9	15,2	15,6	15,3	15,4	15,4	15,2
2009	15,2	15,2	15,7	15,6	15,6	15,6	15,9	16,2	15,9	15,9	16,7	16	15,8
2010	15,7	16,4	16,3	16,7	16,3	15,8	15,4	15	15,4	15,5	15	14,9	15,7
2011	15,0	15,3	15,1	15,3	15,9	15,5	15,3	15,4	15,4	15,1	15,4	15,1	15,3

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1965 – 1987)

ANEXO H. Tabla de temperaturas estación Salinas - Imbabura - INAMHI

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1971	18,7	18,1	18,9	19,1	19,1	19,4	19,7	19	19,1	19,4	18,7	19	19,0
1972	18,7	18,8	19	19,5	20,4	20,2	21,1	20,1	21,1	20,1	19,7	20,2	19,9
1973	19,9	19,9	20,1	19,9	20	19,8	19,8	18,5	19,6	19,2	18,8	18,1	19,5
1974	18,1	18,2	18,5	19,7	19,5	19,1	19,9	21,1	19,4	19	18,9	18,7	19,2
1975	18,5	18,5	19,6	19,5	18,9	19,1	18,2	18,9	19	18,9	18,6	17,9	18,8
1976	18,4	17,8	18,9	19,2	19,7	19,6	20,1	20,2	20,5	19,4	19,3	19,4	19,4
1977	19,6	19,1	20,6	19,6	19,8	19,8	20,4	19,8	20,4	20	19,4	20,1	19,9
1978	19,5	20,1	19,4	19,4	19,7	19,4	19,5	20,1	19,7	20,1	19,9	19,3	19,7
1979	19,2	19,2	19,4	20,3	20,2	20,6	20,2	20,5	20	20,2	19,9	20,1	20,0
1980	20	19	20,2	20,2	20,4	20,8	20,5	20,8	20,5	19,7	19,6	19,5	20,1
1981	18,1	19,6	19,7	20,1	20,3	20	20,2	20,3	20,8	20,4	19,4	19,5	19,9
1982	18,9	19,3	19,6	20	19,9	20,7	20,2	21	20,7	20,4	20,7	20,1	20,1
1983	21,2	20,9	21	20,6	21	20,8	20,3	19,9	20,4	20	20,4	20,4	20,6
1984	19,5	19,4	20,2	20,1	20,2	20,4	20,2	20,4	18,9	19	18,7	19,4	19,7
1985	18,9	18,8	19,6	19,7	19,9	20,5	19,4	19,5	19,9	19,8	19,4	19,8	19,6
1986	19,1	19,3	19,1	20	19,9	20,5	20,5	20,3	20,1	19,6	19,2	19,3	19,7
1987	19,3	20,1	20	19,9	20	20,7	20,5	20,6	20,2	20,4	20,2	20,8	20,2
1988	19,8	20	19,9	19,9	20,1	20,5	19,5	19,3	19,4	19,4	19,4	18,7	19,7
1989	18,8	18,5	19	19,5	19,8	20,2	19,4	19,7	19,5	19,7	20,3	19,7	19,5
1990	19,4	19,6	20	20,1	20,2	20,6	19,8	20,2	20,7	19,7	20,3	19,9	20,0
1991	20,3	19,8	20,2	19,7	20,1	20,4	20,2	19,3	20,6	19,4	19,5	20,2	20,0
1992	19,5	19,6	20,1	21,9	19,7	20,7	19,8	19,7	19,9	19,7	19,9	20	20,0
1993	19	19,1	18,9	19,9	20,1	20,7	20,1	20	20	20,3	20,2	20	19,9
1994	19,4	19,1	19,3	19,8	19,9	19,9	20,1	19,5	20,4	20,4	19,5	20	19,8
1995	19,4	19,3	19,9	20,2	20	20,7	20,2	20,3	20,2	20,2	19,6	20,2	20,0
1996	18,6	18,6	19,6	19,9	20,1	20,1	19,8	20	20,8	19,8	19,6	19,8	19,7
1997	19,1	19,5	20,3	19,9	20,2	20,2	20,3	20,9	20,5	20,9	19,9	20,3	20,2
1998	20,5	21,1	20,8	20,7	20,5	20,2	19,8	20,2	20	20,6	20,5	19,9	20,4
1999	19,2	18,9	19,2	19,5	19,1	19,4	20	19,5	19,3	19,2	19,4	19	19,3
2000	18,4	18,9	19	19,6	19,3	19,9	19,8	18,8	18,5	19,8	19,3	19,7	19,3
2001	18,2	19,3	19,2	19,8	19,9	20,1	20,5	20,2	19,9	20,7	20,0	20,3	19,8
2002	19,7	19,7	19,8	19,9	20,3	20	20,6	20,6	20,5	20	19,5	20	20,1
2003	19,7	20,2	19,7	20	20,3	20,1	20,3	20,7	20,4	20,6	20,2	19,8	20,2
2004	19,6	19	20,3	20,1	20,3	20,6	20,3	20,5	20,1	20,6	20,5	20,3	20,2
2005	19,8	20,1	19,9	20,3	20,4	20,7	20,4	20,6	20,7	20,4	20	19,8	20,3
2006	19,5	20,2	20	20,1	20,6	20	20	20,2	19,7	20,5	19,7	20,1	20,1
2007	19,5	18,9	19,6	19,8	20	19,6	19,9	19,3	19,1	19,7	19,3	18,8	19,5
2008	18,6	18,5	18,9	19,4	19,6	19,9	19,5	19,5	19,8	19,4	19,4	16,6	19,1
2009	19	19	19,7	19,8	19,8	20,1	20,4	20,9	20,4	20,4	20,5	20,3	20,0
2010	19,6	20,5	20,3	20,5	20,8	20,4	19,9	19,2	19,5	19,7	19,1	18,9	19,9
2011	18,7	19,1	19,1	19,6	20,2	20	19,8	18,3	19,4	19,1	19,4	19,2	19,3

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1971 – 2000)

ANEXO I. Tabla de temperaturas estación Otavalo

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1965	13,9	13,8	14	14,4	14,3	14	14,2	14,3	14,8	14,5	14,7	14,8	14,3
1966	14,6	14,7	14,3	14,2	14,9	14,4	14,6	14,8	15,1	14,5	14,6	14,4	14,6
1967	14,4	14,4	14,5	14,6	14,5	14,6	14,5	14,4	14	14,1	14,3	14,7	14,4
1968	14	14	14,3	13,9	13,8	14,3	14,1	14,8	14,8	14,5	14,6	14,6	14,3
1969	14,3	15	14,8	14,5	14,4	14,7	14,6	14,4	14,3	14,7	14,5	14,5	14,6
1970	14,5	14,6	14,6	14,5	14,5	14,7	14,7	14,8	14,6	14,9	14,7	15	14,7
1971	14,8	14,6	14,6	13,7	14,7	14	14,2	13,6	14,1	14,3	14,1	14	14,2
1972	14	14	14,3	14,5	14,8	14,6	14,5	14,3	15	15,2	14,7	14,9	14,6
1973	15,2	14,9	15	14,8	14,8	14,7	14,3	14	14	14,4	14,4	13,7	14,5
1974	13,7	13,4	13,9	14,7	14,1	13,7	13,5	14,5	13,4	13,9	14,3	13,9	13,9
1975	13,8	13,8	13,9	14,4	14	13,8	12,9	13,7	14	14	14,1	13,4	13,8
1976	13,5	13,4	14,3	14,5	14,2	13,7	14,4	13,9	15,1	14,5	14,6	14,3	14,2
1977	14,7	14,2	15,2	14,8	14,8	14	14,9	14,5	15	15,2	15,3	15,5	14,8
1978	14,7	15,4	14,9	15,1	15	14,5	14,3	14,2	14,7	15	15,6	14,7	14,8
1979	14,7	14,2	14,6	14,8	14,8	14,7	14,5	14,6	15	14,8	15,2	15,4	14,8
1980	15,1	14,7	15,1	15,1	15,1	15,2	15	15	15,1	14,9	14,9	15,1	15,0
1981	14,8	14,8	15,2	14,9	14,9	14,5	13,7	14,5	14,9	15,2	14,9	14,9	14,8
1982	14,5	14,8	15,2	15	14,9	15	14,4	15	14,9	14,7	15,1	15,2	14,9
1983	15,7	15,2	15,7	15,4	15,4	15,1	14,5	14,7	14,6	15	15,2	14,5	15,1
1984	14,3	14,1	14,4	14,3	14,5	14,3	13,9	14,7	14	14,5	14,1	14,6	14,3
1985	14,3	14,1	14,7	14,5	14,7	14,9	13,5	14	14,5	14,8	14,7	14,9	14,5
1986	14,6	14,5	14,2	15	14,7	14,9	14,8	14,6	14,7	14,6	14,5	14,5	14,6
1987	14,7	15,3	15,1	14,9	14,8	15,1	14,8	14,8	14,8	15,3	15,4	15,9	15,1
1988	15,2	15,2	15	14,8	14,9	14	13,6	13,9	14,1	14,4	14,7	13,9	14,5
1989	14,2	13,8	14,1	14,2	14,6	13,9	13,5	14,2	14,2	14,7	15,5	14,8	14,3
1990	14,8	14,8	15,1	15,2	15	15,4	13,9	14,5	15,2	15,2	15,5	15	15,0
1991	15,6	15	15,3	14,6	14,9	14,8	14,4	13,9	15,1	14,4	14,8	15,3	14,8
1992	14,9	14,8	15,2	17,8	14,5	15,1	13,9	14,2	14,5	14,7	15,1	15,1	15,0
1993	14,4	14,4	14	14,8	14,9	15,1	14,3	14,4	14,6	15,2	15,4	15,1	14,7
1994	14,4	14,4	14,4	14,7	14,7	14,3	14,3	14	14,9	15,3	14,8	15,1	14,6
1995	14,8	14,5	15	15,3	14,8	15,1	14,4	14,6	14,8	15,1	14,9	15,3	14,9
1996	14,1	13,9	14,7	14,8	14,9	14,5	14	14,4	15,3	14,8	14,9	14,9	14,6
1997	14,5	14,7	15,4	14,9	15	14,6	14,5	15	15	15,8	15,1	15,4	15,0
1998	15,8	16,2	15,9	16	15,3	14,6	14	14,5	14,7	15,3	15,3	14,9	15,2
1999	14,6	14,2	14,3	14,3	13,9	13,8	14,2	13,7	14	14,2	14,7	14,2	14,2
2000	13,8	13,7	14,1	14,4	14,1	14,3	14	14,2	13,9	14,8	14,6	14,8	14,2
2001	13,7	14,5	14,3	14,7	14,7	14,5	14,8	14,5	14,5	15,8	15,2	15,4	14,7
2002	15,1	14,9	14,9	14,8	15,1	14,4	14,9	14,8	15	14,9	14,8	15,1	14,9
2003	15,1	15,4	14,8	15	15,1	14,5	14,5	14,9	14,9	15,5	15,4	14,9	15,0
2004	15	14,3	15,4	15,2	15,1	15	14,5	14,7	14,7	15,5	15,7	15,4	15,0
2005	15,2	15,3	15	15,5	15,2	15,1	14,7	14,8	15,2	15,3	15,2	14,9	15,1
2006	14,9	15,4	15,1	15,1	15,4	14,4	14,2	14,5	14,3	15,4	15	15,2	14,9
2007	14,9	14,2	14,7	14,7	14,8	14	14,1	13,9	13,8	14,7	14,6	14	14,4
2008	14,1	13,8	13,9	14,1	14,4	14,3	13,6	14	14,4	14,4	14,7	14,7	14,2
2009	14,4	14,3	14,8	14,7	14,6	14,5	14,7	15	14,9	15,3	15,7	15,4	14,9
2010	15	15,6	15,4	15,8	15,6	14,8	14,1	13,8	14,2	14,7	14,4	14,1	14,8
2011	14,2	14,4	14,2	14,4	15	14,4	14	14,2	14,1	14,1	14,7	14,4	14,3

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1965 – 2011)

ANEXO J. Tabla de temperaturas estación Ibarra - Aeropuerto

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1975	15,6	15,4	16	16,8	16,8	16,3	16,4	17,2	16,3	16,1	16,4	16	16,3
1976	16,3	15,7	16,6	17,2	16,7	16,7	15,7	16,6	16,6	16,4	15,9	15,7	16,3
1977	16,1	15,6	16,6	16,6	17,2	16,6	16	17,1	17,7	17,2	16,7	16,6	16,7
1978	17,1	17,1	17,8	17,1	16,4	16,5	17,4	17,3	16,9	16,6	16,8	16,9	17,0
1979	16,8	16,7	16	17	17,4	17,6	17,4	18	17,9	17,8	15,6	17,2	17,1
1980	17,3	17,6	17,5	17,8	17,7	18	18,3	15,5	15,5	15,2	18,1	15,8	17,0
1981	16	15,6	16,5	16,4	16,4	16	15,5	15,3	15,6	17,5	17,3	17,2	16,3
1982	15,3	15,7	15,8	15,7	15,6	15,4	15,2	15,4	15,5	15,5	15,8	15,5	15,5
1983	15,1	14,8	15,1	15,4	15,9	17,6	15,3	15,6	17,4	15,6	15,3	15,7	15,7
1984	14,8	14	16,5	16,6	16,2	16,1	15,3	15,8	15,5	15,7	14,8	15,8	15,6
1985	16,1	17	17,8	17,8	17,9	18,8	17,6	17,8	18,2	18	17,2	17	17,6
1986	17,4	16,6	17,2	17,9	18,1	18,2	18,9	18,7	18,8	18,2	17,5	18,2	18,0
1987	18,4	19,2	18,7	18,8	18,6	19,7	18,9	19,3	19,2	18,4	18,7	19,3	18,9
1988	18,3	18,3	18,4	17,7	18,4	17,8	17,8	18,2	18,2	17,7	17,1	16,5	17,9
1989	17	16,9	17,2	18,1	18,2	17,8	17,9	18,5	18,4	17,9	18,7	17,5	17,8
1990	18,1	17,4	18,7	18,5	18,7	19,5	18,5	19,2	19,3	17,7	18,8	18,1	18,5
1991	18,1	18,7	18,2	18,4	18,6	19,1	18,8	17,9	18,9	18,6	18	18,2	18,5
1992	19	18,4	19,3	19,2	18,5	19,3	18,4	19	18,4	18,6	18,1	17,7	18,7
1993	17,7	17,4	17,6	18,2	18,2	19,6	18,9	19,3	18,6	18,9	17,7	18	18,3
1994	17,4	17,5	17,5	17,9	18,3	18,7	19	18,6	19,6	18,4	17,9	18,1	18,2
1995	18,8	18,4	18,4	18,8	18,7	19	18,6	18,9	19,2	18,6	17,7	17,7	18,6
1996	16,8	17,2	17,8	18	18	18,2	18,5	18,7	19,4	18,1	18,3	18,1	18,1
1997	16,8	18,3	18,5	18,4	19	18,5	19,3	19,9	19,6	19,2	18,2	19,1	18,7
1998	20,2	20,2	19,8	19,4	19,1	19,1	18,8	19,1	19,2	18,7	17,9	18	19,1
1999	17	16,6	17,1	17,3	17,3	16,8	17,6	18,2	17,3	16,6	16,9	16,5	17,1
2000	16,2	15,9	17	17,3	17,4	17,5	17,5	17,9	17,2	17,4	16,8	17,1	17,1
2001	16,1	17	17,1	17,5	17,6	17,7	17,9	17,7	17,7	18,7	17,5	17,8	17,5
2002	17,6	17,5	17,5	17,6	17,8	17,6	17,9	17,6	18,2	18,5	17,0	17,5	17,7
2003	17,6	18,1	17,4	17,7	17,8	17,7	17,7	17,5	18,1	19,3	17,7	17,2	17,8
2004	17,5	16,7	17,9	17,8	17,8	18,4	17,7	17,6	17,9	19,3	18,1	17,8	17,9
2005	17,7	18	17,6	17,9	17,9	18,6	17,8	17,6	18,3	19,0	17,5	17,2	17,9
2006	17,4	18,1	17,7	17,7	18	17,6	17,6	17,7	17,5	19,2	17,3	17,6	17,8
2007	17,4	16,6	17,4	17,5	17,7	17,1	17,6	18,1	17,1	18,3	16,8	16,3	17,3
2008	16,5	16	16,8	17,2	17,5	17,5	17,3	18	17,6	17,9	16,9	17,0	17,2
2009	16,8	16,7	17,4	17,5	17,6	17,7	17,8	17,5	18,1	19,0	18,1	17,8	17,7
2010	17,5	18,4	17,9	18,1	18,1	18,2	17,6	18,1	17,4	18,3	16,6	16,4	17,7
2011	16,6	16,8	17	17,3	17,8	17,6	17,5	17,9	17,4	17,5	16,9	16,7	17,3

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1975 – 1998)

ANEXO K. Tabla de temperaturas estación Olmedo - Pichincha

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1975	11,1	11,2	11,7	11,9	11,4	10,9	11,4	11,5	11,9	11,8	11,0	10,2	11,3
1976	10,9	10,9	11,7	11,9	11,6	10,7	12,9	11,5	11,6	12,0	11,6	11,3	11,5
1977	11,7	11,5	11,6	11,9	12,4	11,1	13,3	11,7	11,6	12,3	12,3	12,7	12,0
1978	11,7	12,4	11,7	11,9	12,7	11,8	12,8	11,6	11,7	12,2	12,6	11,7	12,1
1979	11,7	11,5	11,7	11,9	12,4	12,1	13,0	11,8	11,6	12,1	12,2	12,6	12,0
1980	11,9	11,9	11,6	11,9	12,8	12,8	13,4	11,9	11,6	12,2	11,9	12,2	12,2
1981	11,7	12,0	11,6	11,9	12,5	11,8	12,2	11,7	11,7	12,3	11,9	12,0	11,9
1982	8,5	12,0	8,9	9,4	12,5	12,5	10,7	10,9	11,7	10,5	10,1	12,3	10,8
1983	12,3	12,3	11,3	11,4	13,2	11,7	11,6	11,8	11,8	10,7	11	10,5	11,6
1984	11,4	10,7	10,8	10,6	10,7	11,6	10,6	10,9	10,5	10,2	10,4	10,5	10,7
1985	11,4	11,4	11,7	11,9	12,3	10,7	10,5	10,6	10,3	12,1	11,7	12,0	11,4
1986	11,6	11,7	11,7	11,9	12,3	12,4	13,2	11,8	10	12,1	11,4	11,5	11,8
1987	11,7	12,3	11,6	11,9	12,4	12,7	13,2	11,8	11,7	12,4	12,4	13,2	12,3
1988	12,0	12,3	11,6	11,9	12,5	11,1	12,1	11,5	11,8	12,0	11,7	10,8	11,8
1989	11,4	11,2	11,7	11,9	12,1	10,7	11,4	11,6	11,3	12,1	12,1	11,7	11,6
1990	11,7	11,9	12,2	12,4	13,2	13	12,5	12,7	13,4	12,5	12,5	12,4	12,5
1991	11,9	12,5	12,3	12,2	12,8	12,1	12,3	12,3	12,5	12,7	12,8	13,1	12,5
1992	11,8	12,0	11,6	11,8	12,0	12,7	12,4	11,6	11,7	12,1	12,1	12,2	12,0
1993	14,4	14,1	13,9	14,7	14,6	16	15,1	15,5	14,8	15,3	14,3	14,7	14,8
1994	11,3	11,5	11	11,7	12,2	11,4	10,9	10,6	11,7	11,9	11,6	12	11,5
1995	11,7	11,4	11,9	12,1	12	12,2	11,5	11,7	11,8	12,2	11,8	11,4	11,8
1996	10,9	10,9	11,4	11,6	11,9	11,6	10,9	11,1	11,6	11,8	11,6	11,8	11,4
1997	11,2	11,3	12	11,9	12,2	11,6	11,5	11,6	12	12,5	11,9	12,4	11,8
1998	12,8	13	12,4	11,9	12,8	12,1	11,2	11,6	12,1	11,9	12,2	11,6	12,1
1999	11,4	10,8	11,1	11,3	11,1	11,1	11,2	11,2	11	11,2	11,3	11,1	11,1
2000	10,6	10,8	11	11,6	11,3	11,5	10,9	11,1	11,2	11,9	12,1	11,6	11,3
2001	11,1	11,3	11,5	11,8	12,2	11,2	13,2	11,6	11,2	12,6	12,2	12,2	11,8
2002	11,9	11,9	11,8	12,1	12,2	11,5	12,1	12	12,2	12	11,9	12,1	12
2003	12	12,1	11,8	11,9	12,3	11,6	13,0	11,9	11,7	12,5	12,4	12,0	12,1
2004	11,9	11,6	11,6	11,9	12,8	12,5	13,0	11,8	11,7	12,5	12,7	12,6	12,2
2005	12,0	12,3	11,6	11,9	12,9	12,7	13,1	11,8	11,6	12,4	12,2	12,0	12,2
2006	11,8	12,4	11,6	11,9	13,2	11,7	12,7	11,7	11,8	12,4	12,0	12,3	12,1
2007	11,8	11,9	11,8	12,1	12,8	11,4	11,5	11,5	11,6	12,4	12,1	11,7	11,9
2008	12,2	11,6	11,8	12,6	12,7	12,5	12,1	11,4	12,4	12,3	12,6	12,4	12,2
2009	12,2	12,2	12,6	12,6	12,5	12,6	12,1	12,1	12,2	12,8	12,9	12,8	12,5
2010	11,9	12,6	11,6	11,9	13,4	12,3	12,6	11,5	11,8	12,1	11,3	11,0	12,0
2011	11,4	11,7	11,7	11,9	12,7	11,7	12,5	11,6	11,8	11,8	11,7	11,4	11,8

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1982 – 2009)

ANEXO L. Datos estación hidrológica Chota en Pte. Carretera

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1976	50,852	38,938	38,119	51,775	63,395	75,721	98,543	73,138	46,538	33,052	49,675	50,288
1977	27,885	46,899	50,183	44,166	34,778	47,172	43,856	42,630	47,102	22,369	10,913	13,675
1978	20,556	30,522	31,650	57,714	37,164	57,357	52,363	49,241	20,646	17,783	6,394	13,899
1979	3,441	0,536	14,370	41,652	9,931	25,089	26,625	32,646	17,857	16,819	11,986	19,924
1980	19,425	20,719	44,624	56,862	55,151	57,493	49,580	23,234	20,170	21,616	20,479	11,106
1981	9,881	15,672	24,960	23,445	20,645	28,092	48,677	17,862	20,391	8,492	27,529	21,368
1982	29,794	18,988	19,236	26,121	25,893	27,276	94,681	124,983	57,333	35,701	19,770	32,912
1983	23,798	20,397	43,620	41,676	44,379	30,729	41,587	45,557	40,505	33,263	18,634	18,423
1984	14,839	17,829	30,773	41,270	19,798	22,487	56,579	26,309	5,670	7,130	9,683	4,249
1985	1,956	3,787	8,724	2,011	41,715	20,642	83,571	34,713	5,082	8,941	4,250	0,335
1986	0,243	0,254	26,259	47,047	27,043	49,631	61,132	23,708	26,374	19,313	32,357	23,816
1987	20,031	26,332	1,049	15,501	40,839	32,292	34,126	31,163	18,301	12,366	19,797	18,170
1988	21,232	15,777	15,719	33,630	28,385	38,851	66,213	26,201	24,850	21,715	48,967	37,411
1989	41,441	32,681	24,291	21,579	71,838	101,172	75,721	36,448	20,495	19,667	19,774	4,507
1990	14,329	14,477	40,543	25,842	34,376	68,773	66,655	21,189	17,703	15,870	11,251	16,835
1991	17,391	19,968	9,625	21,434	25,675	26,498	65,967	47,415	20,220	16,539	24,908	13,715
1992	12,591	17,079	27,036	30,392	22,938	43,688	58,588	51,538	22,303	43,930	35,834	9,480
1993	14,323	17,038	33,879	28,312	33,581	52,776	44,687	31,093	26,441	20,403	22,587	23,927
1994	29,386	29,376	23,445	42,584	41,158	28,100	52,730	50,875	44,664	36,376	30,623	61,503
1995	12,872	9,054	19,495	17,092	21,539	35,407	32,569	16,074	16,482	20,399	21,416	16,123
1996	26,560	52,520	67,683	67,630	69,348	35,157	35,349	26,905	38,341	38,352	25,042	26,257
1997	42,121	38,818	49,815	54,765	76,318	71,084	85,137	25,568	25,855	21,094	17,740	21,958
1998	11,878	22,114	23,162	33,750	53,253	50,620	67,750	29,405	24,655	21,132	21,941	19,191
1999	38,802	40,969	62,836	24,745	64,618	43,012	37,373	27,318	27,477	21,748	24,539	39,481
2000	61,899	41,905	101,502	73,638	130,906	39,183	53,684	40,227	31,843	19,873	19,941	29,991
2001	42,169	38,337	50,569	73,602	110,741	42,115	22,955	29,805	17,658	20,100	18,969	18,965
2002	15,122	18,884	26,140	25,228	10,233	11,369	22,335	15,552	6,975	5,901	16,842	6,999
2003	17,452	20,374	24,559	23,369	16,089	23,339	30,836	21,909	13,578	19,526	26,863	26,964
2004	19,326	12,374	12,873	30,839	10,947	14,167	20,717	29,246	19,278	26,320	40,466	23,909
2005	1,373	0,792	2,085	3,080	2,085	4,281	0,902	0,542	0,960	0,640	1,352	1,499
2006	25,431	20,910	35,433	67,102	83,604	47,933	58,886	35,067	29,120	23,885	12,744	26,351
2007	25,730	21,504	32,302	16,001	12,746	30,239	19,038	19,684	14,975	15,326	15,533	19,904
2008	18,257	29,310	19,990	72,421	41,814	21,779	39,771	23,507	18,985	21,189	18,903	15,525

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1976 – 2008)

ANEXO M. Datos estación hidrológica Apaqui AJ Chota

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1980	5,555	6,491	8,698	10,825	10,280	13,470	13,489	6,994	7,222	8,618	6,144	4,768
1981	4,240	3,258	4,757	7,002	7,420	7,709	11,472	5,594	6,087	3,374	7,808	6,765
1982	8,300	5,578	6,816	10,034	11,361	9,119	15,796	13,664	9,094	7,638	7,114	11,101
1983	8,365	10,217	7,874	9,838	11,903	7,449	10,418	9,737	6,513	7,246	5,174	7,869
1984	9,243	7,021	5,990	11,435	11,441	9,649	12,001	9,095	9,141	11,034	10,831	8,273
1985	7,597	8,737	8,663	8,471	11,057	10,386	22,624	11,026	7,746	5,660	5,053	3,954
1986	4,385	5,569	15,662	8,702	9,865	16,377	21,440	9,442	7,033	8,579	8,020	6,237
1987	4,584	8,199	6,563	8,136	9,523	12,965	13,240	10,000	5,741	8,218	4,468	5,182
1988	4,922	5,784	5,488	10,059	11,387	16,765	23,250	7,537	7,600	8,422	15,781	16,199
1989	21,849	12,125	16,388	8,616	17,402	8,355	33,163	22,075	17,709	18,059	12,797	8,533
1990	3,542	3,554	5,346	5,686	10,950	7,838	7,507	5,556	3,004	2,915	2,440	3,929
1991	2,321	6,085	2,575	5,826	5,197	11,011	11,562	9,099	6,789	7,206	4,471	4,773
1992	3,797	2,820	3,761	4,254	4,062	7,537	13,722	3,012	6,747	4,611	5,756	5,179
1993	4,398	2,723	4,174	6,087	5,493	10,771	7,831	3,899	3,715	6,716	7,902	6,586
1994	5,237	5,302	4,570	9,977	6,665	7,717	7,566	10,713	7,073	4,066	10,565	7,023
1995	4,577	3,282	4,189	5,127	7,311	7,797	6,779	4,218	4,471	1,863	7,472	4,978
1996	7,292	8,687	9,585	7,541	10,078	10,085	13,032	7,868	4,973	4,130	5,218	4,308
1997	6,429	6,444	7,181	7,388	11,305	7,792	19,199	7,327	5,449	5,697	6,617	5,343
1998	4,188	3,916	3,860	4,771	8,509	10,892	11,517	8,879	7,653	7,915	6,655	4,637
1999	7,847	9,855	10,838	15,789	10,071	8,378	9,398	10,875	7,366	5,738	6,309	16,583
2000	12,873	13,575	13,221	13,616	8,290	10,683	14,355	11,019	9,234	7,056	9,042	6,171
2001	6,413	6,732	5,661	7,494	6,018	11,611	7,989	9,041	4,541	2,651	2,889	3,984
2002	3,664	3,291	2,964	4,192	5,904	5,929	14,373	8,653	4,389	4,164	6,469	5,284
2003	3,262	4,293	4,990	4,544	8,743	4,666	11,683	7,704	5,865	5,990	4,262	5,314
2004	4,175	2,903	5,423	5,459	6,955	12,421	9,052	9,361	7,026	5,093	6,151	6,065
2005	4,856	7,218	6,830	13,256	10,251	10,190	8,455	7,530	7,138	4,478	6,107	8,277
2006	8,317	8,475	9,060	10,476	10,462	11,833	14,147	11,169	9,058	7,324	9,657	11,620
2007	7,725	6,532	8,927	12,706	11,162	19,106	10,125	14,359	11,868	10,956	12,023	13,704
2008	11,768	14,720	13,806	13,583	14,253	15,236	15,280	9,689	10,081	12,624	12,061	12,989
2009	13,242	13,927	9,170	11,336	8,186	12,504	12,788	9,979	6,507	5,804	4,525	6,096
2010	4,239	5,137	5,215	7,703	9,274	9,726	9,239	8,155	5,759	5,691	11,858	14,128
2011	9,250	9,594	11,502	13,285	19,497	20,280	25,301	15,222	15,109	13,245	12,948	20,479

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1980 – 2011)

ANEXO N. Datos estación hidrológica Apaqui Gruta de la Paz

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	4,810	3,510	4,390	5,220	7,990	14,030	6,930	8,300	8,930	4,880	5,900	5,140
1965	5,350	3,330	3,830	5,100	11,790	16,480	18,240	14,630	7,470	5,150	9,050	7,850
1966	5,380	3,950	7,690	7,480	5,220	5,340	12,240	11,730	5,960	3,260	5,690	14,210
1967	7,988	6,421	8,606	8,999	11,321	13,000	15,210	11,871	8,403	6,305	6,513	6,016
1968	5,714	6,800	8,108	8,756	12,669	12,870	15,220	11,895	8,270	6,333	8,271	6,816
1969	6,253	6,656	8,370	10,394	12,184	13,138	15,212	11,872	8,095	6,333	7,616	8,305
1970	6,673	6,207	8,996	8,511	12,656	12,911	15,211	11,909	8,417	6,309	7,176	7,171
1971	7,057	6,233	10,435	10,749	13,502	13,029	15,212	11,878	11,477	6,360	8,360	8,752
1972	7,527	5,253	10,273	11,849	14,065	13,309	22,323	10,440	10,881	7,584	10,911	8,260
1973	8,804	8,452	6,579	6,588	9,055	8,565	11,626	12,787	8,552	6,325	6,655	6,149
1974	0,527	15,263	15,102	10,248	14,890	22,592	27,079	15,680	12,736	13,840	17,888	18,171
1975	17,409	16,665	15,389	10,016	12,291	19,153	19,883	15,326	8,953	10,427	10,998	12,610
1976	10,385	10,252	10,289	12,466	15,413	15,821	25,316	16,635	10,777	7,884	11,617	11,491
1977	5,759	8,180	9,587	11,837	11,663	12,078	12,632	12,483	11,143	7,392	5,198	4,360
1978	6,724	8,957	5,983	12,893	9,037	12,487	10,299	13,692	5,841	4,590	3,471	5,359
1979	2,719	0,884	5,525	13,475	9,234	12,338	12,392	8,612	5,500	4,385	3,294	4,649
1980	4,791	6,332	9,530	12,620	12,644	14,539	14,795	6,870	7,229	8,078	5,411	3,374
1981	2,888	2,968	5,572	5,578	6,936	7,849	12,948	5,692	5,653	2,707	8,626	6,087
1982	7,583	4,904	6,350	10,795	12,970	12,054	17,143	14,648	9,371	5,571	5,760	8,591
1983	8,053	9,736	9,295	10,500	11,073	8,413	9,926	11,449	8,630	9,425	6,777	7,758
1984	10,562	8,584	7,373	12,997	13,064	12,856	15,968	9,216	11,731	10,231	10,599	8,596
1985	7,717	8,109	6,603	5,576	11,054	17,391	18,465	11,011	7,390	4,951	4,273	4,637
1986	4,006	3,285	14,292	9,018	6,073	9,901	13,055	7,187	7,408	6,882	4,053	4,587
1987	4,262	8,634	6,267	8,057	10,821	6,912	7,255	6,263	5,777	5,744	4,815	4,808
1988	5,900	3,376	2,371	5,195	5,279	10,019	14,621	7,298	8,572	6,703	11,658	15,519
1989	9,453	8,079	9,137	7,360	17,446	16,768	15,828	19,440	5,600	5,668	4,789	2,007
1990	3,192	2,850	5,493	3,902	13,263	10,736	12,137	9,983	5,048	3,471	3,419	3,832
1991	4,245	5,671	3,726	5,827	7,206	7,410	14,062	14,539	6,908	6,381	6,347	3,380
1992	2,263	0,688	3,376	6,352	5,117	9,559	14,359	13,986	6,822	3,262	3,655	3,912
1993	3,126	5,225	8,056	9,408	10,441	12,974	15,071	10,591	6,954	5,792	7,441	7,309
1994	4,333	6,876	6,346	11,181	10,906	14,671	14,994	16,876	9,651	3,371	7,327	6,325
1995	4,333	1,113	2,640	2,953	5,490	9,617	7,041	3,846	4,972	3,905	6,682	3,267
1996	8,039	11,206	12,969	10,022	12,158	13,946	14,074	10,413	7,480	3,888	2,705	4,919
1997	11,240	12,930	11,826	11,755	20,243	13,180	23,456	14,689	9,629	6,866	11,602	10,391
1998	4,753	6,533	4,844	8,039	14,118	22,133	18,897	16,301	8,681	7,585	7,287	5,704
1999	12,954	15,925	18,026	23,223	17,136	15,874	18,472	15,873	10,910	10,678	10,283	21,822
2000	17,463	18,509	16,330	16,359	22,178	12,724	15,209	12,593	8,713	6,045	10,368	3,467
2001	2,668	4,963	2,411	4,887	5,681	14,062	8,076	15,989	3,152	2,400	3,860	5,524
2002	3,505	2,473	2,024	5,166	8,161	11,276	15,233	15,580	11,698	3,384	6,013	7,627
2003	2,130	4,132	5,729	3,886	11,348	7,249	15,972	8,400	6,455	5,678	2,796	4,557
2004	3,122	2,530	5,234	4,844	7,349	15,833	9,614	10,172	7,349	3,547	4,373	4,197
2005	2,779	6,383	4,664	11,470	8,429	9,611	7,433	5,983	5,030	1,777	3,401	5,069
2006	5,880	5,423	5,654	6,527	8,701	19,923	16,573	11,982	9,854	6,950	9,496	11,392
2007	7,706	6,229	7,881	13,250	11,253	21,732	11,139	18,554	13,619	10,253	12,402	14,004
2008	12,903	16,281	14,892	14,893	14,575	16,590	17,355	10,539	13,321	11,969	11,813	13,681
2009	15,441	14,422	10,173	13,963	10,049	16,549	16,719	12,160	7,017	5,170	3,420	4,426
2010	4,502	5,105	4,011	8,918	10,769	11,693	11,852	8,836	7,117	5,804	9,285	15,010
2011	10,754	10,341	12,886	13,803	17,692	19,724	20,640	12,482	12,074	8,240	7,589	16,069

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1964 – 2011)

ANEXO O. Datos estación hidrológica Ambi DJ Cariyacu

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	2,472	1,153	1,198	3,731	3,740	5,130	3,223	3,105	3,176	3,569	4,695	3,716
1965	3,241	2,961	6,016	8,827	10,196	1,697	2,476	2,480	2,510	3,890	8,011	4,328
1966	4,009	4,131	5,686	5,153	4,533	4,167	3,205	2,897	2,265	3,611	5,386	6,061
1967	3,943	6,119	6,272	5,114	4,867	4,545	3,228	2,156	1,611	2,274	2,041	1,851
1968	2,396	3,225	5,522	4,602	7,477	2,669	1,804	1,444	2,221	4,352	4,180	3,273
1969	3,415	4,327	5,916	8,053	6,537	6,540	2,950	2,116	3,021	4,394	6,175	5,922
1970	4,208	7,758	6,859	4,087	7,452	3,271	3,141	1,036	1,543	2,532	4,528	3,905
1971	4,934	7,554	9,024	8,800	9,090	4,974	2,920	1,956	2,433	6,423	8,964	6,717
1972	4,492	9,721	8,331	3,821	4,600	3,658	1,498	0,986	0,818	1,664	5,750	4,147
1973	2,488	3,120	0,838	4,418	3,059	1,435	1,229	1,006	2,545	3,785	2,573	2,539
1974	2,501	8,296	11,194	7,744	7,215	5,081	3,560	3,066	1,946	3,524	3,849	3,695
1975	2,917	7,120	8,010	8,539	10,936	9,117	9,975	5,590	5,637	7,151	9,365	10,249
1976	8,882	9,760	8,722	9,648	7,351	0,799	3,162	3,370	3,702	4,493	6,639	6,422
1977	4,551	3,598	4,000	4,810	5,241	4,694	3,204	2,121	1,730	3,733	4,080	3,795
1978	4,163	3,000	1,715	5,304	5,693	2,077	1,641	0,809	3,472	3,592	3,672	4,945
1979	4,001	2,981	6,304	6,837	7,519	6,387	3,299	3,042	3,535	2,245	1,388	0,737
1980	1,155	4,691	4,849	6,700	6,631	3,545	2,584	2,419	2,497	3,611	4,523	3,569
1981	3,691	4,240	6,060	5,484	8,126	6,403	5,486	3,778	3,507	4,549	8,800	4,193
1982	10,985	7,895	7,831	9,514	10,109	8,772	6,922	6,838	2,821	3,578	10,462	10,549
1983	10,218	8,176	9,117	8,096	6,222	3,905	1,994	2,012	1,751	3,628	1,391	2,959
1984	3,199	3,801	7,729	6,755	4,781	3,482	2,080	1,295	2,205	3,945	4,157	4,522
1985	3,445	3,282	1,997	2,813	3,188	3,578	0,704	2,895	1,580	0,170	0,464	3,059
1986	0,739	2,749	3,179	2,900	2,870	2,143	0,358	2,884	3,183	6,181	4,306	1,760
1987	1,264	1,699	2,752	3,131	3,899	1,304	3,222	2,882	3,484	1,703	0,299	3,898
1988	4,118	3,996	4,080	5,418	3,626	2,864	1,865	2,885	0,835	1,635	4,931	6,267
1989	5,676	4,088	5,580	4,470	4,417	3,660	2,523	2,155	3,517	3,894	2,309	1,230
1990	1,822	2,781	3,233	2,965	3,677	1,596	1,659	2,892	1,104	3,555	1,614	1,520
1991	2,038	1,706	4,633	7,055	4,635	3,996	5,927	5,399	5,593	7,998	11,856	11,166
1992	8,741	9,706	9,324	12,965	12,050	11,760	10,688	10,611	11,165	11,360	11,360	10,717
1993	3,480	4,430	9,212	7,006	2,382	4,127	3,196	2,894	3,267	0,433	1,348	1,516
1994	3,291	2,381	4,897	5,021	5,454	2,790	0,824	0,687	0,613	1,816	2,945	3,466
1995	2,286	1,572	1,279	3,664	3,415	3,845	4,428	4,492	3,511	6,897	4,860	2,378
1996	4,268	7,558	10,187	8,228	10,524	4,150	2,187	0,530	0,296	0,979	1,025	1,569
1997	7,743	5,638	5,261	3,537	4,072	2,824	0,539	0,339	2,774	3,489	7,234	6,414
1998	3,971	4,735	6,238	5,758	4,251	2,934	0,528	0,233	0,334	1,017	3,345	1,289
1999	3,678	4,409	6,203	7,066	8,797	5,744	3,860	2,450	4,602	4,778	4,187	7,871
2000	8,295	9,097	9,508	9,808	16,750	4,121	3,393	2,899	2,947	3,632	5,826	4,745

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1964 – 2000)

ANEXO P. Datos estación hidrológica Apaqui DJ Minas

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	2,628	2,116	2,389	3,048	3,831	10,009	6,976	3,454	6,447	1,890	3,641	4,090
1965	3,340	2,593	2,575	3,654	6,023	6,799	9,151	6,459	4,053	4,357	7,269	6,726
1966	4,159	3,795	3,141	4,282	2,945	3,749	6,023	5,808	3,776	3,111	5,248	10,354
1967	7,212	5,746	4,788	4,476	3,816	9,591	9,507	8,524	4,523	2,827	5,081	4,430
1968	4,211	3,498	5,135	5,186	5,808	6,276	11,311	5,478	5,374	5,873	5,424	4,170
1969	4,696	4,327	3,531	6,813	4,721	6,357	10,500	7,507	4,896	6,386	5,517	5,590
1970	5,503	7,515	7,770	4,026	5,781	5,436	7,632	9,523	6,692	4,631	10,669	5,329
1971	6,468	5,804	5,040	9,517	8,482	8,769	15,309	8,402	9,193	8,009	2,974	7,703
1972	10,760	9,929	8,197	9,416	5,457	6,089	12,769	5,762	5,833	4,423	6,375	4,997
1973	4,207	4,482	2,671	3,814	4,648	4,133	5,581	6,096	4,271	3,281	2,629	7,413
1974	3,532	9,630	9,114	6,215	5,731	11,274	11,544	14,322	11,748	10,036	12,322	11,775
1975	12,629	10,422	10,076	7,383	8,764	13,389	13,328	8,425	3,936	7,660	5,272	10,687
1976	8,134	6,869	3,459	4,830	5,905	6,119	10,784	9,131	6,008	4,988	6,386	6,441
1977	9,142	6,640	3,943	4,188	4,660	5,032	5,316	5,384	6,611	4,255	5,246	7,445
1978	3,677	2,380	2,419	5,449	3,317	5,196	4,271	7,709	2,337	1,790	1,526	2,423
1979	1,744	0,583	3,216	8,786	4,650	5,740	4,724	3,875	1,887	2,040	1,818	7,440
1980	1,741	3,377	5,029	7,205	4,986	6,784	7,724	2,759	3,315	4,439	2,309	1,670
1981	1,931	1,383	2,485	3,101	3,890	3,235	4,866	2,224	2,204	0,673	3,369	2,221
1982	3,371	1,998	2,811	4,099	4,312	3,846	7,261	6,536	4,184	2,277	5,249	7,369
1983	8,592	6,302	3,820	3,941	4,465	3,561	4,150	4,983	3,745	4,436	5,253	7,384
1984	7,990	6,552	3,007	4,402	5,125	5,344	6,754	3,898	5,585	2,257	0,891	7,369
1985	8,672	6,655	2,681	3,030	4,458	7,165	7,831	4,770	3,009	1,930	60,429	74,813
1986	95,807	113,447	5,934	3,667	2,806	2,831	5,499	4,492	3,019	14,193	5,241	39,403
1987	81,100	9,092	2,568	3,931	3,763	2,958	2,998	2,464	2,051	2,374	9,034	7,437
1988	9,108	7,683	0,890	2,960	1,789	3,670	3,941	1,753	1,513	0,821	2,513	4,508
1989	3,103	2,697	3,195	2,752	5,948	3,693	8,449	3,495	1,685	1,969	5,244	7,487
1990	1,089	1,801	2,875	1,183	4,474	5,567	4,062	5,531	1,008	1,084	0,977	7,454
1991	0,909	0,664	1,825	3,076	1,678	3,158	4,096	5,310	2,429	0,720	1,435	1,063
1992	0,367	0,273	0,595	1,041	1,135	3,172	5,060	6,215	2,034	0,392	5,239	0,390
1993	9,773	0,823	1,878	2,175	3,546	3,020	3,417	3,389	1,174	1,406	1,319	1,619
1994	9,483	1,680	2,036	4,798	4,004	5,773	4,624	7,168	1,841	1,051	2,463	1,917
1995	0,818	0,148	0,137	2,545	2,294	3,441	2,299	1,054	1,498	0,263	1,737	1,110
1996	6,101	4,443	5,281	3,612	4,825	5,608	5,745	4,063	2,873	0,703	0,522	1,190
1997	3,001	3,543	2,096	3,063	4,932	2,534	8,738	3,535	1,280	0,216	1,278	1,682
1998	0,138	0,375	0,361	0,670	3,056	5,677	5,782	3,451	1,100	2,141	2,843	0,769
1999	3,029	4,184	4,919	0,659	5,280	3,585	5,021	5,946	2,120	0,644	0,972	5,009
2000	4,865	5,218	4,089	3,637	11,025	7,191	13,238	5,538	2,549	1,342	5,292	0,715
2001	0,605	1,590	0,559	1,958	2,676	5,828	3,543	5,139	1,347	0,501	0,712	1,702
2002	9,682	0,975	0,684	1,733	3,131	6,620	6,437	6,484	1,653	1,683	2,133	1,501
2003	0,680	1,017	1,466	1,054	4,923	2,109	7,117	2,545	2,266	1,015	1,188	1,387
2004	0,809	0,455	1,177	1,572	2,035	6,498	3,457	4,318	2,137	1,198	1,680	1,577
2005	1,245	3,361	2,449	5,822	5,640	4,354	3,353	2,401	2,614	0,761	1,234	2,320
2006	2,674	2,348	2,724	2,965	5,301	8,181	7,015	5,242	4,471	3,050	5,265	7,320

Elaboración: La Autora
Fuente: INAMHI (1964 – 2006)

ANEXO Q. Aforos del río Palaurcu

EPOCA SECA					
SECCIÓN	VELOCIDAD MEDIA DEL CAUDAL (m/s)	PROFUNDIDAD (m)	ANCHO (m)	AREA (m²)	CAUDAL (m³/s)
1	0.189	0.18	0.5	0.09	0.017
2	0.335	0.28	0.5	0.14	0.047
3	0.694	0.26	0.5	0.13	0.090
4	0.87	0.3	0.5	0.15	0.131
5	0.746	0.2	0.5	0.1	0.075
6	0.532	0.12	0.5	0.06	0.032
7	0	0	0.2	0	0

TOTAL CAUDAL: 0.391 m³/s

ÉPOCA LLUVIOSA					
SECCIÓN	VELOCIDAD MEDIA DEL CAUDAL (m/s)	PROFUNDIDAD (m)	ANCHO (m)	AREA (m²)	CAUDAL (m³/s)
1	0.489	0.18	0.5	0.09	0.044
2	0.635	0.32	0.5	0.16	0.102
3	0.894	0.3	0.5	0.15	0.134
4	1.114	0.54	0.5	0.27	0.301
5	1.194	0.43	0.5	0.215	0.257
6	0.932	0.32	0.5	0.16	0.149
7	0.717	0.38	0.5	0.19	0.136
8	0.414	0.31	0.5	0.155	0.064
9	0	0.14	0.45	0.063	0

TOTAL CAUDAL: 1.187 m³/s

ANEXO R. Aforos río Molinillos (Época Seca)

SECCION	VELOCIDAD MEDIA DEL CAUDAL (m/s)	PROFUNDIDAD (m)	ANCHO (m)	AREA (m²)	CAUDAL (m³/s)
1	0.211	0.18	0.5	0.09	0.019
2	0.242	0.2	0.5	0.1	0.024
3	0.325	0.2	0.5	0.1	0.033
4	0.374	0.3	0.5	0.15	0.056
5	0.393	0.34	0.5	0.17	0.067
6	0.478	0.44	0.5	0.22	0.105
7	0.552	0.48	0.5	0.24	0.133
8	0.667	0.68	0.5	0.34	0.227
9	0.795	0.58	0.5	0.29	0.231
10	0.623	0.56	0.5	0.28	0.174
11	0.577	0.36	0.5	0.18	0.104
12	0.537	0.26	0.5	0.13	0.070
13	0.501	0.14	0.5	0.07	0.035
14	0.484	0.2	0.5	0.1	0.048
15	0.458	0.18	0.5	0.09	0.041
16	0.227	0.14	0.5	0.07	0.016
17	0.092	0.12	0.5	0.06	0.006
18	0	0.04	0.7	0.028	0

TOTAL CAUDAL: 1.388 m³/s

ANEXO S. Aforos río Molinillos (Época Lluviosa)

SECCION	VELOCIDAD MEDIA DEL CAUDAL (m/s)	PROFUNDIDAD (m)	ANCHO (m)	AREA (m²)	CAUDAL (m³/s)
1	0.411	0.46	0.5	0.23	0.095
2	0.442	0.46	0.5	0.23	0.102
3	0.425	0.48	0.5	0.24	0.102
4	0.401	0.52	0.5	0.26	0.104
5	0.613	0.62	0.5	0.31	0.190
6	1.378	0.72	0.5	0.36	0.496
7	1.002	0.8	0.5	0.4	0.401
8	0.997	0.7	0.5	0.35	0.349
9	0.913	0.74	0.5	0.37	0.338
10	0.873	0.74	0.5	0.37	0.323
11	0.827	0.62	0.5	0.31	0.256
12	0.837	0.57	0.5	0.285	0.239
13	0.781	0.49	0.5	0.245	0.191
14	0.758	0.44	0.5	0.22	0.167
15	0.737	0.34	0.5	0.17	0.125
16	0.696	0.3	0.5	0.15	0.104
17	0.678	0.28	0.5	0.14	0.095
18	0.559	0.27	0.5	0.135	0.075
19	0.526	0.3	0.5	0.15	0.079
20	0.492	0.3	0.5	0.15	0.074
21	0.478	0.27	0.5	0.135	0.065
22	0.312	0.2	0.5	0.1	0.031
23	0.284	0.17	0.5	0.085	0.024
24	0.145	0.13	0.5	0.065	0.009
25	0	0.1	0.3	0.03	0.000

CAUDAL TOTAL: 4.034 m³/s

ANEXO T. Resultados modelamiento con Raster de dirección y acumulación de flujo 1991

MICROCUCENCA	U	MES											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
RIO PISQUE	E	35,620	48,280	71,161	73,031	42,346	33,738	40,910	5,242	6,189	44,564	62,645	42,809
	Q (l/s)	13,299	19,957	26,568	28,175	15,810	13,016	15,274	1,957	2,388	16,638	24,169	15,983
	Q (m³/s)	0,013	0,020	0,027	0,028	0,016	0,013	0,015	0,002	0,002	0,017	0,024	0,016
QUEBRADA CURIQUINGUE	E	27,481	40,534	65,796	62,272	37,832	18,887	23,974	-4,830	-0,317	39,248	52,862	34,556
	Q (l/s)	10,260	16,755	24,565	24,025	14,125	7,287	8,951	-1,803	-0,122	14,654	20,394	12,902
	Q (m³/s)	0,010	0,017	0,025	0,024	0,014	0,007	0,009	-0,002	0,000	0,015	0,020	0,013
QUEBRADA OLIMBAS	E	21,340	40,821	61,232	65,978	29,618	6,457	6,024	-17,681	-7,998	38,286	55,169	33,330
	Q (l/s)	7,967	16,874	22,861	25,454	11,058	2,491	2,249	-6,601	-3,086	14,294	21,284	12,444
	Q (m³/s)	0,008	0,017	0,023	0,025	0,011	0,002	0,002	-0,007	-0,003	0,014	0,021	0,012
QUEBRADA GUAMANÁ	E	44,014	44,014	61,647	72,061	27,548	4,979	2,284	-20,759	-9,299	40,456	60,214	36,098
	Q (l/s)	16,433	18,194	23,016	27,801	10,285	1,921	0,853	-7,750	-3,587	15,104	23,231	13,477
	Q (m³/s)	0,016	0,018	0,023	0,028	0,010	0,002	0,001	-0,008	-0,004	0,015	0,023	0,013
QUEBRADA SHANSHIPAMBA	E	36,842	46,928	66,666	73,267	39,962	45,577	55,368	12,749	8,650	42,631	60,421	42,603
	Q (l/s)	13,755	19,398	24,890	28,267	14,920	17,584	20,672	4,760	3,337	15,917	23,311	15,906
	Q (m³/s)	0,014	0,019	0,025	0,028	0,015	0,018	0,021	0,005	0,003	0,016	0,023	0,016
RIO MOLINILLOS	E	30,477	45,017	68,242	69,054	38,700	22,791	27,431	-3,103	1,244	42,435	59,111	38,893
	Q (l/s)	11,379	18,608	25,479	26,641	14,449	8,793	10,241	-1,158	0,480	15,843	22,805	14,521
	Q (m³/s)	0,011	0,019	0,025	0,027	0,014	0,009	0,010	-0,001	0,000	0,016	0,023	0,015
RIO PALAUÇO	E	22,777	48,195	62,428	78,927	26,551	6,671	2,518	-21,280	-9,012	43,627	65,937	39,517
	Q (l/s)	8,504	19,922	23,308	30,450	9,913	2,574	0,940	-7,945	-3,477	16,288	25,439	14,754
	Q (m³/s)	0,009	0,020	0,023	0,030	0,010	0,003	0,001	-0,008	-0,003	0,016	0,025	0,015
RIO TORNILLOS	E	40,855	46,525	76,213	66,768	51,214	42,637	55,130	16,456	13,108	44,889	59,496	42,702
	Q (l/s)	15,254	19,232	28,455	25,759	19,121	16,449	20,583	6,144	5,057	16,760	22,954	15,943
	Q (m³/s)	0,015	0,019	0,028	0,026	0,019	0,016	0,021	0,006	0,005	0,017	0,023	0,016

Elaboración: La Autora
Fuente: Elaboración Propia

ANEXO U. Resultados modelamiento con *Raster* de dirección y acumulación de flujo 1999

MICROCUENCA	U	MES											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
RIO PISQUE	E	36,974	42,237	55,480	75,368	45,246	18,319	40,228	12,121	-2,123	11,898	44,819	31,670
	Q (l/s)	13,804	17,459	20,714	29,077	16,893	7,068	15,020	4,525	-0,819	4,442	17,291	11,824
	Q (m³/s)	0,014	0,017	0,021	0,029	0,017	0,007	0,015	0,005	-0,001	0,004	0,017	0,012
QUEBRADA CURIQUINGUE	E	36,810	34,450	55,089	71,818	44,001	11,426	21,346	1,857	-5,195	10,920	47,459	33,077
	Q (l/s)	13,743	14,240	20,568	27,708	16,428	4,408	7,970	0,693	-2,004	4,077	18,310	12,349
	Q (m³/s)	0,014	0,014	0,021	0,028	0,016	0,004	0,008	0,001	-0,002	0,004	0,018	0,012
QUEBRADA OLIMBAS	E	33,895	35,733	58,031	70,828	39,649	-0,717	-3,460	-11,204	-5,820	5,847	47,211	30,829
	Q (l/s)	12,655	14,771	21,666	27,326	14,803	-0,277	-1,292	-4,183	-2,245	2,183	18,214	11,510
	Q (m³/s)	0,013	0,015	0,022	0,027	0,015	0,000	-0,001	-0,004	-0,002	0,002	0,018	0,012
QUEBRADA GUAMANÁ	E	32,835	39,337	62,499	72,165	38,734	-4,257	-10,318	-14,314	-4,668	4,909	47,500	29,967
	Q (l/s)	12,259	16,260	23,335	27,841	14,462	-1,642	-3,852	-5,344	-1,801	1,833	18,326	11,188
	Q (m³/s)	0,012	0,016	0,023	0,028	0,014	-0,002	-0,004	-0,005	-0,002	0,002	0,018	0,011
QUEBRADA SHANSHIPAMBA	E	28,071	43,411	47,395	68,466	38,287	21,991	59,231	19,913	-4,178	7,376	34,515	22,082
	Q (l/s)	10,480	17,944	17,695	26,414	14,295	8,484	22,114	7,435	-1,612	2,754	13,316	8,244
	Q (m³/s)	0,010	0,018	0,018	0,026	0,014	0,008	0,022	0,007	-0,002	0,003	0,013	0,008
RIO MOLINILLOS	E	37,285	38,976	57,140	74,455	44,452	12,012	23,741	3,594	-3,862	10,931	47,445	33,080
	Q (l/s)	13,921	16,111	21,334	28,725	16,597	4,634	8,864	1,342	-1,490	4,081	18,304	12,350
	Q (m³/s)	0,014	0,016	0,021	0,029	0,017	0,005	0,009	0,001	-0,001	0,004	0,018	0,012
RIO PALAUCO	E	31,281	43,675	64,219	74,040	37,837	-5,955	-12,086	-14,884	-3,397	3,904	47,262	27,847
	Q (l/s)	11,679	18,053	23,977	28,565	14,127	-2,297	-4,512	-5,557	-1,311	1,458	18,234	10,397
	Q (m³/s)	0,012	0,018	0,024	0,029	0,014	-0,002	-0,005	-0,006	-0,001	0,001	0,018	0,010
RIO TORNILLOS	E	42,444	39,202	52,589	77,364	51,037	29,955	60,809	23,272	-2,408	18,000	47,500	37,134
	Q (l/s)	15,847	16,204	19,635	29,847	19,055	11,557	22,704	8,689	-0,929	6,720	18,326	13,864
	Q (m³/s)	0,016	0,016	0,020	0,030	0,019	0,012	0,023	0,009	-0,001	0,007	0,018	0,014

Elaboración: La Autora
Fuente: Elaboración Propia

ANEXO V. Resultados modelamiento con Raster de dirección y acumulación de flujo 2013

MICROCUCENCA	U	MES											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
RIO PISQUE	E	26,130	48,627	54,661	78,739	45,383	43,577	23,443	-0,487	0,961	52,985	51,334	68,637
	Q (l/s)	9,756	20,100	20,408	30,378	16,944	16,812	8,753	-0,182	0,371	19,782	19,805	25,626
	Q (m³/s)	0,010	0,020	0,020	0,030	0,017	0,017	0,009	0,000	0,000	0,020	0,020	0,026
QUEBRADA CURIQUINGUE	E	25,983	46,490	50,569	63,973	36,339	30,652	7,585	-10,391	-2,171	48,183	48,248	62,124
	Q (l/s)	9,701	19,217	18,880	24,681	13,567	11,825	2,832	-3,880	-0,838	17,990	18,614	23,194
	Q (m³/s)	0,010	0,019	0,019	0,025	0,014	0,012	0,003	-0,004	-0,001	0,018	0,019	0,023
QUEBRADA OLIMBAS	E	22,086	48,714	47,646	67,715	28,557	15,228	-10,241	-21,674	-10,730	44,857	46,096	61,801
	Q (l/s)	8,246	20,136	17,789	26,124	10,662	5,875	-3,824	-8,092	-4,139	16,748	17,784	23,074
	Q (m³/s)	0,008	0,020	0,018	0,026	0,011	0,006	-0,004	-0,008	-0,004	0,017	0,018	0,023
QUEBRADA GUAMANÁ	E	21,355	51,727	48,205	74,914	28,087	11,808	-14,269	-23,979	-13,359	45,915	47,007	64,166
	Q (l/s)	7,973	21,382	17,998	28,902	10,487	4,556	-5,328	-8,953	-5,154	17,143	18,135	23,957
	Q (m³/s)	0,008	0,021	0,018	0,029	0,010	0,005	-0,005	-0,009	-0,005	0,017	0,018	0,024
QUEBRADA SHANSHIPAMBA	E	20,515	39,655	49,580	84,387	49,117	53,147	37,482	6,916	-0,280	48,166	45,655	66,325
	Q (l/s)	7,659	16,392	18,511	32,557	18,338	20,504	13,994	2,582	-0,108	17,983	17,614	24,763
	Q (m³/s)	0,008	0,016	0,019	0,033	0,018	0,021	0,014	0,003	0,000	0,018	0,018	0,025
RIO MOLINILLOS	E	25,812	49,396	52,849	72,403	39,217	33,115	10,541	-8,401	-2,224	50,593	50,193	66,139
	Q (l/s)	9,637	20,418	19,731	27,933	14,642	12,776	3,935	-3,137	-0,858	18,889	19,365	24,693
	Q (m³/s)	0,010	0,020	0,020	0,028	0,015	0,013	0,004	-0,003	-0,001	0,019	0,019	0,025
RIO PALAUCO	E	20,631	52,905	49,047	83,380	29,396	11,500	-14,479	-23,936	-14,975	47,263	48,269	67,429
	Q (l/s)	7,703	21,869	18,312	32,168	10,975	4,437	-5,406	-8,937	-5,777	17,646	18,622	25,175
	Q (m³/s)	0,008	0,022	0,018	0,032	0,011	0,004	-0,005	-0,009	-0,006	0,018	0,019	0,025
RIO TORNILLOS	E	30,849	47,549	58,548	70,693	51,757	56,631	37,812	8,813	10,236	56,263	54,144	68,815
	Q (l/s)	11,518	19,655	21,859	27,273	19,324	21,848	14,117	3,290	3,949	21,006	20,889	25,693
	Q (m³/s)	0,012	0,020	0,022	0,027	0,019	0,022	0,014	0,003	0,004	0,021	0,021	0,026

Elaboración: La Autora
Fuente: Elaboración Propia

ANEXO W. Tabla de Valores para la base de datos User Soils de ArcSwat

VARIABLES	TIPO DE SUELO								
SNAM	Argiudoll	Argiustoll	Duriudoll	Durustoll	Dystrandept	Hapludoll	Hydrandept	Troporthent	Ustorthent
HYDGRP	C	C	C	C	B	B	B	A	D
SOL_ZMX	1000	1000	500	500	1000 / 500 / 200	1000	1000	200	200
ANION_EXCL	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SOL_CRK	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TEXTURE	Cl	Cl	Cl	L	Cl, SaL, L	SaL	SaL	Sa	Cl
SOL_Z	750	750	350	350	1000 / 750 / 350 / 100	1000	1000	100	100
SOL_BD	1.38	1.38	1.38	1.40	1.38 / 1.40 / 1.42	1.42	1.42	1.32	1.38
SOL_AWC	0.137	0.137	0.137	0.141	0.098 / 0.137 / 0.141	0.098	0.098	0.251	0.137
SOL_K	4.99	4.99	4.99	19.95	4.44 / 4.99 / 19.95 / 51.19	51.19	51.19	20.87	4.99
SOL_CBN	1.740	1.740	1.740	1.740	1.740	4.060	1.740	1.740	0.209
CLAY	34	34	34	18	10 / 18 / 34	10	10	3	34
SILT	33	33	33	40	25 / 33 / 40	25	25	3	33
SAND	33	33	33	42	33 / 42 / 65	65	65	94	33
ROCK	5	5	5	5	5 / 17.5	5	5	37.5	5
SOL_ALB	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
USLE_K	0.291	0.291	0.291	0.461	0.291 / 0.306 / 0.476 / 0.580	0.520	0.580	0.558	0.465
SOL_EC	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: Los valores “-“, son campos que no son requeridos por el programa por lo que se ha mantenido la configuración por defecto de la herramienta. Para la columna del gran tipo de suelo “Dystrandept”, en algunas celdas existen más de un dato, esto se debe a los diferentes horizontes registrados para ese tipo de suelo, del archivo shapefile obtenido del Sistema Nacional de Información.

ANEXO X. Tabla de Valores para la base de datos Water Station de ArcSwat de la estación M0023

VARIABLE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TMPMX (°C)	19.9	19.8	20.0	19.6	19.8	19.4	19.5	19.4	20.3	20.5	20.0	20.3
TMPMN (°C)	2.2	2.7	2.4	3.0	2.5	2.2	1.8	1.3	2.5	2.6	2.5	3.4
TMPSTDMX (°C)	1.51	1.33	1.68	1.99	1.67	2.01	2.08	1.69	2.19	1.65	1.37	1.49
TMPSTDMN (°C)	1.71	2.56	3.01	2.78	2.19	3.74	2.84	3.46	2.65	2.49	3.76	1.89
PCPMM (mm)	59.9	85.9	59.9	78.4	55.9	36.9	61.9	33.8	37.1	16.0	78.1	72.7
PCPSTD (día)	4.68	6.39	4.66	7.81	4.66	4.23	4.02	1.73	3.51	5.30	5.70	6.18
PCPSKW (mm)	2.77	2.23	2.93	8.37	3.46	5.80	13.13	4.91	3.90	2.92	2.79	2.65
PR_W1 (día)	0.13	0.15	0.13	0.21	0.17	0.17	0.10	0.13	0.14	0.17	0.14	0.17
PR_W2 (día)	0.27	0.37	0.30	0.34	0.30	0.21	0.13	0.10	0.14	0.27	0.34	0.37
PCPD (día)	12	13	13	15	13	10	6	7	8	12	14	15
RAINHHMX (mm)	63	43.4	32.2	89.5	40.8	48.4	26.6	32.1	38.5	131.9	45.4	78
SOLARAV (MJ m ⁻²)	104.35	87.41	72.02	73.24	94.13	111.57	118.63	125.21	105.52	91.02	89.50	91.76
DEWPT (°C)	8.4	8.3	8.7	8.8	8.6	7.9	7.1	6.6	7.1	8.2	8.5	8.5
WNDNAV (ms ⁻¹)	4.7	5.5	5.3	5.1	5.4	6.5	7.3	8.2	6.9	5.7	5.0	4.9

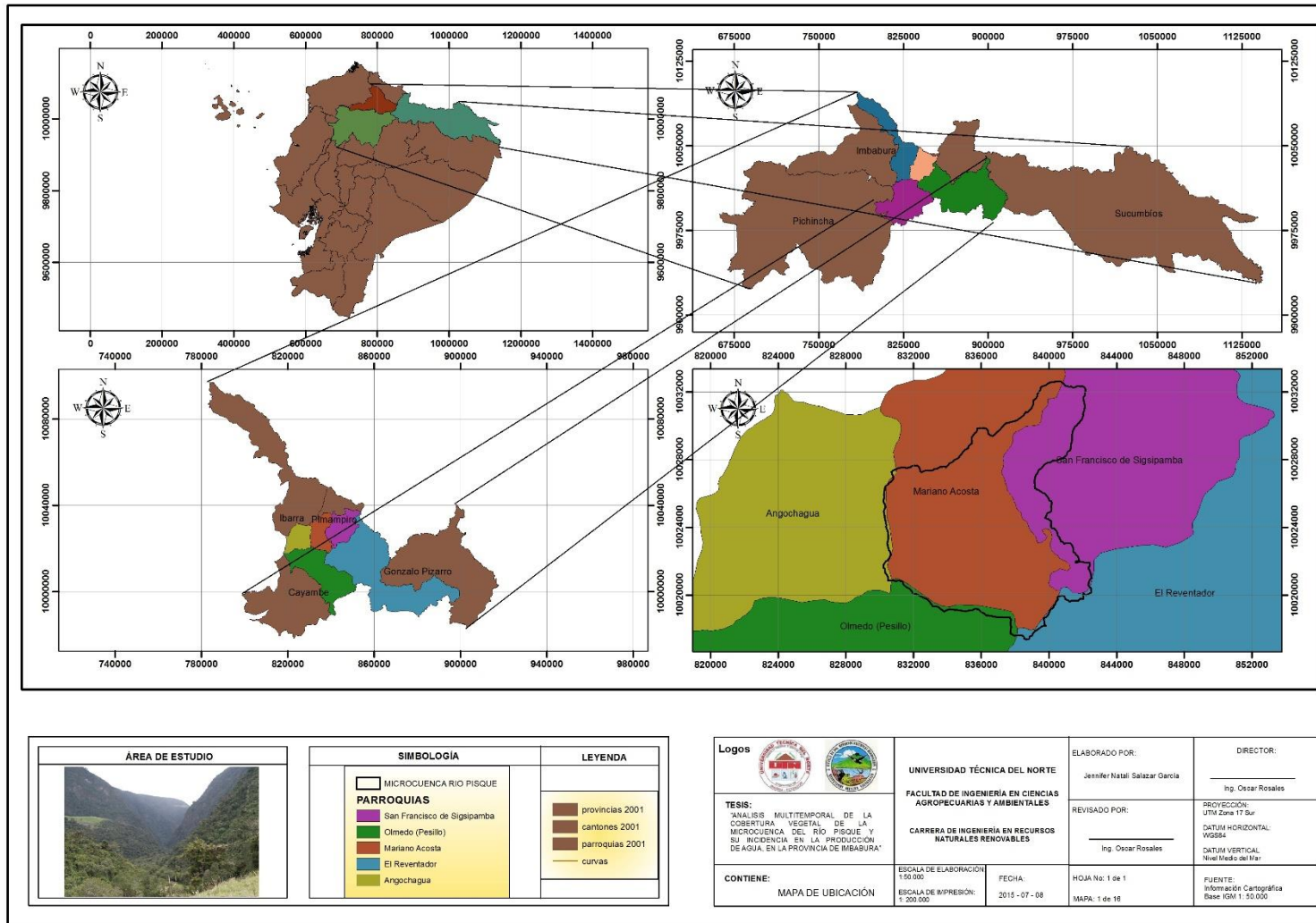
Nota: La Estación M0023 llamada Olmedo-Pichincha, se encuentra ubicada en la latitud 0,148056 ° al norte; la longitud 78,047778° al oeste y una altitud de 3120 msnm, el periodo considerado para la evaluación estadística de la tabla 41 es desde 1976-2013, que corresponde un total de 36 años.

ANEXO Y. Valores para generación climática de la estación M0053

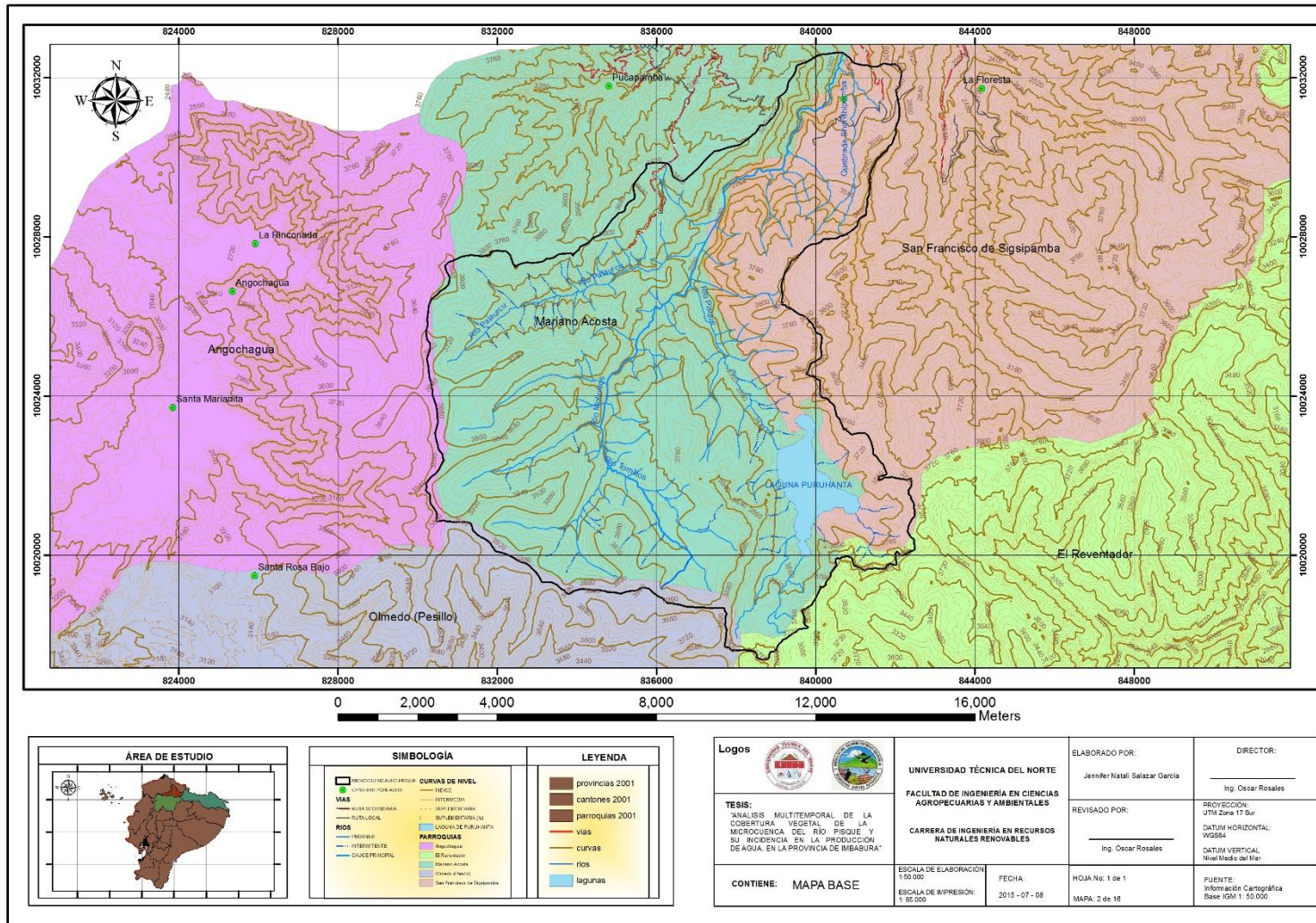
VARIABLE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TMPMX (°C)	25.0	24.8	25.1	25.1	25.3	25.1	25.1	25.6	26.1	25.5	24.8	25.0
TMPMN (°C)	4.7	5.5	6.3	6.9	6.4	5.0	3.8	3.1	3.8	5.3	5.7	5.3
TMPSTDMX (°C)	1.49	1.21	1.47	0.91	0.97	1.19	0.94	1.03	1.11	0.81	1.37	1.12
TMPSTDMN (°C)	1.42	1.85	2.12	1.41	1.48	1.72	1.14	1.32	1.55	1.31	1.29	1.47
PCPMM (mm)	25.4	52.5	64.7	79.0	56.9	32.4	19.2	16.5	35.8	77.9	71.9	45.5
PCPSTD (día)	2.18	4.18	5.28	5.41	4.39	2.88	2.53	2.27	3.76	5.47	4.64	5.40
PCPSKW (mm)	3.81	3.40	3.76	3.01	4.03	5.02	5.59	7.21	4.88	3.32	2.93	8.84
PR_W1 (día)	0.13	0.15	0.17	0.17	0.20	0.17	0.13	0.10	0.14	0.17	0.17	0.13
PR_W2 (día)	0.17	0.26	0.27	0.38	0.23	0.17	0.10	0.07	0.14	0.30	0.31	0.20
PCPD (día)	9	11	13	15	13	10	7	5	8	13	13	10
RAINHHMX (mm)	21.5	37.6	46.4	31.6	40.2	34.2	13.5	24.8	38.3	44.6	29.3	27.2
SOLARAV (MJ m ⁻²)	86.07	69.45	68.55	64.24	79.50	77.17	96.84	98.39	80.24	82.72	83.00	83.92
DEWPT (°C)	12	12.1	12.4	12.7	12.5	11.9	10.9	10.6	11.1	11.8	11.9	12.2
WNDVAV (ms ⁻¹)	1.3	1.3	2.5	1.9	3.2	3.3	4.0	4.4	3.9	3.5	4.3	4.5

Nota: La Estación M0053 llamada Ibarra-Aeropuerto, se encuentra ubicada en la latitud 0,3° al norte; la longitud 78,1° al oeste y a una altitud de 2214 msnm, el periodo considerado para la evaluación estadística de la tabla 42 es desde 1960-1984, dándonos un total de 24 años.

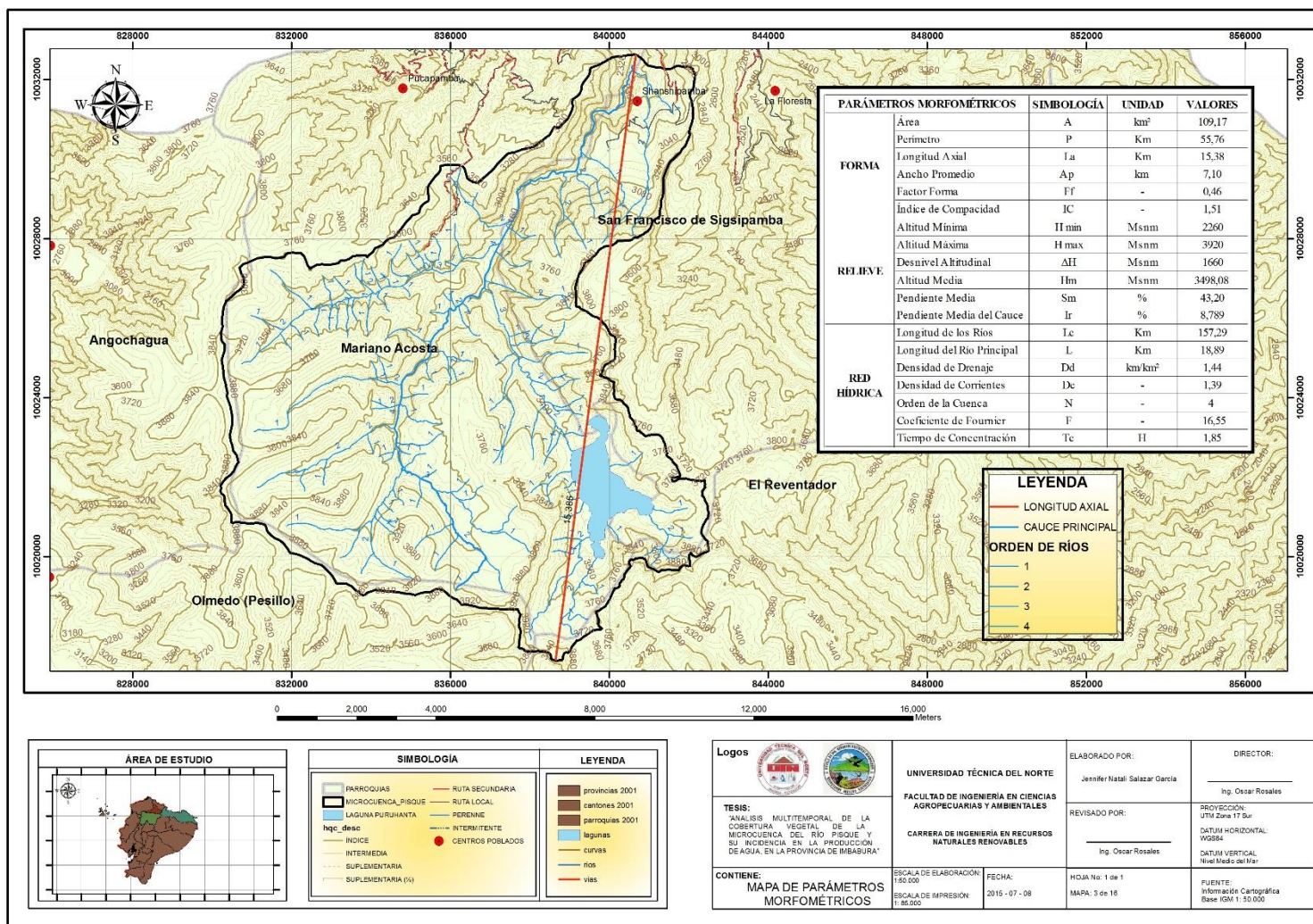
ANEXO Z. Mapa de ubicación



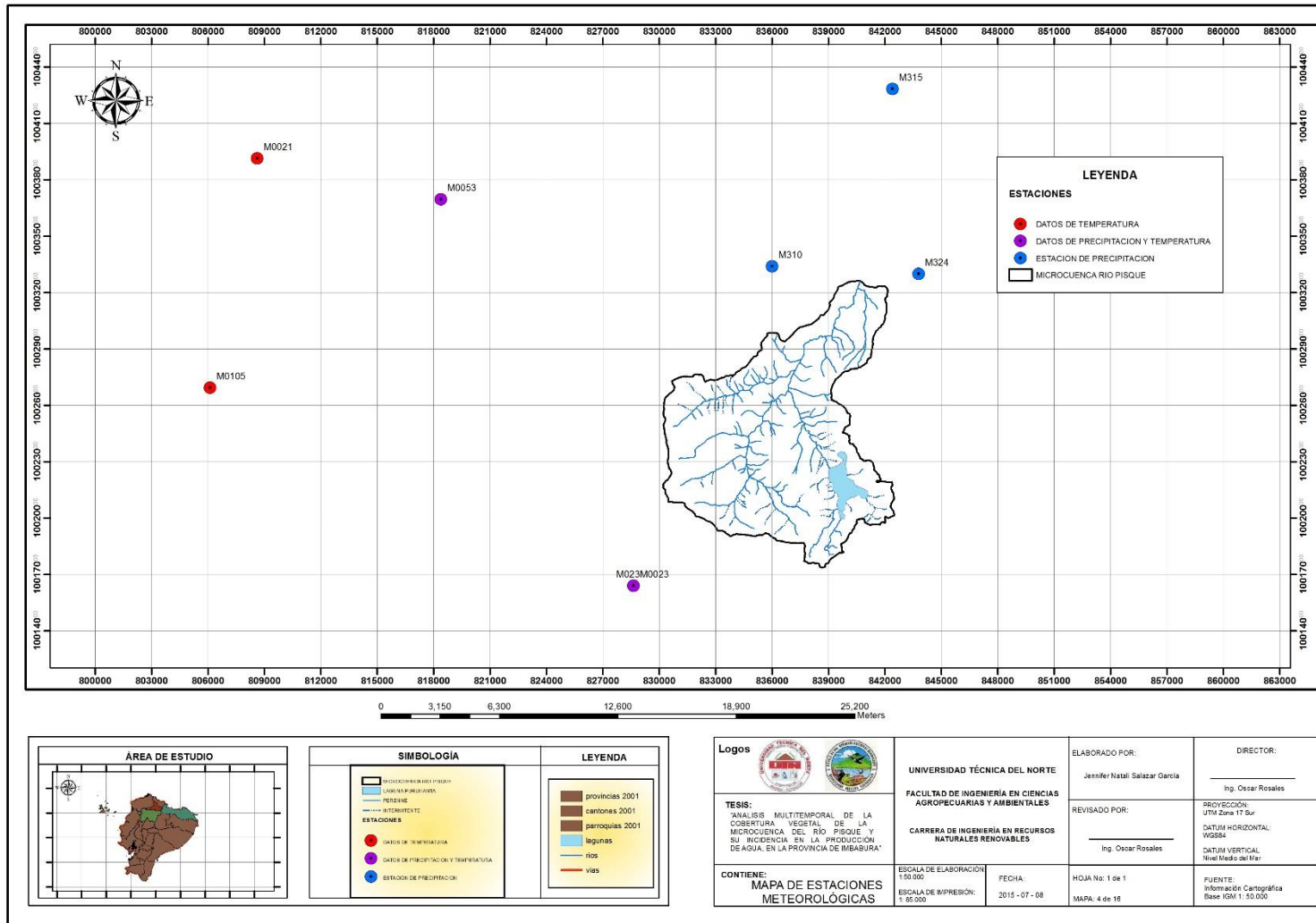
ANEXO AA. Mapa base



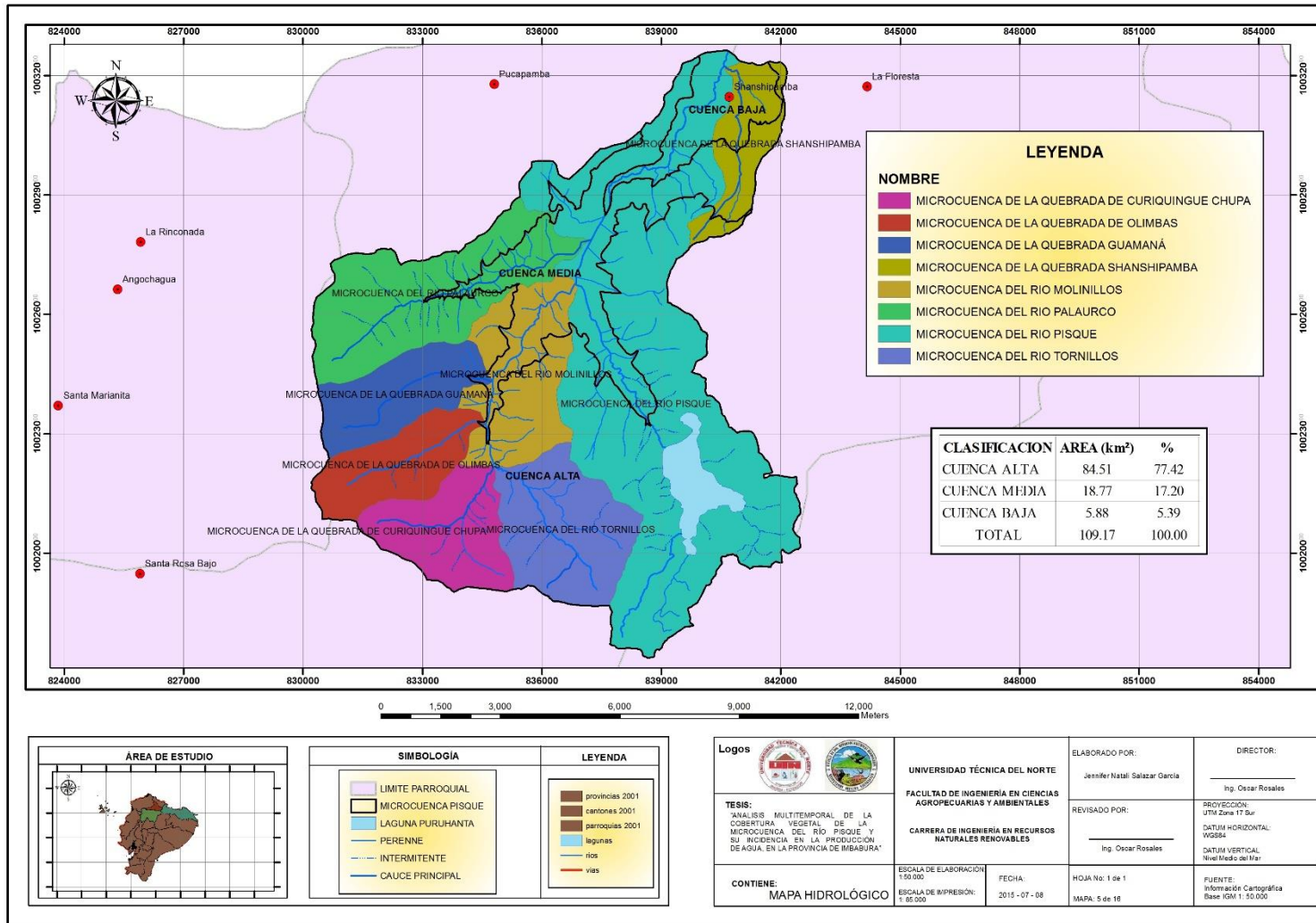
ANEXO BB. Mapa de parámetros morfométricos



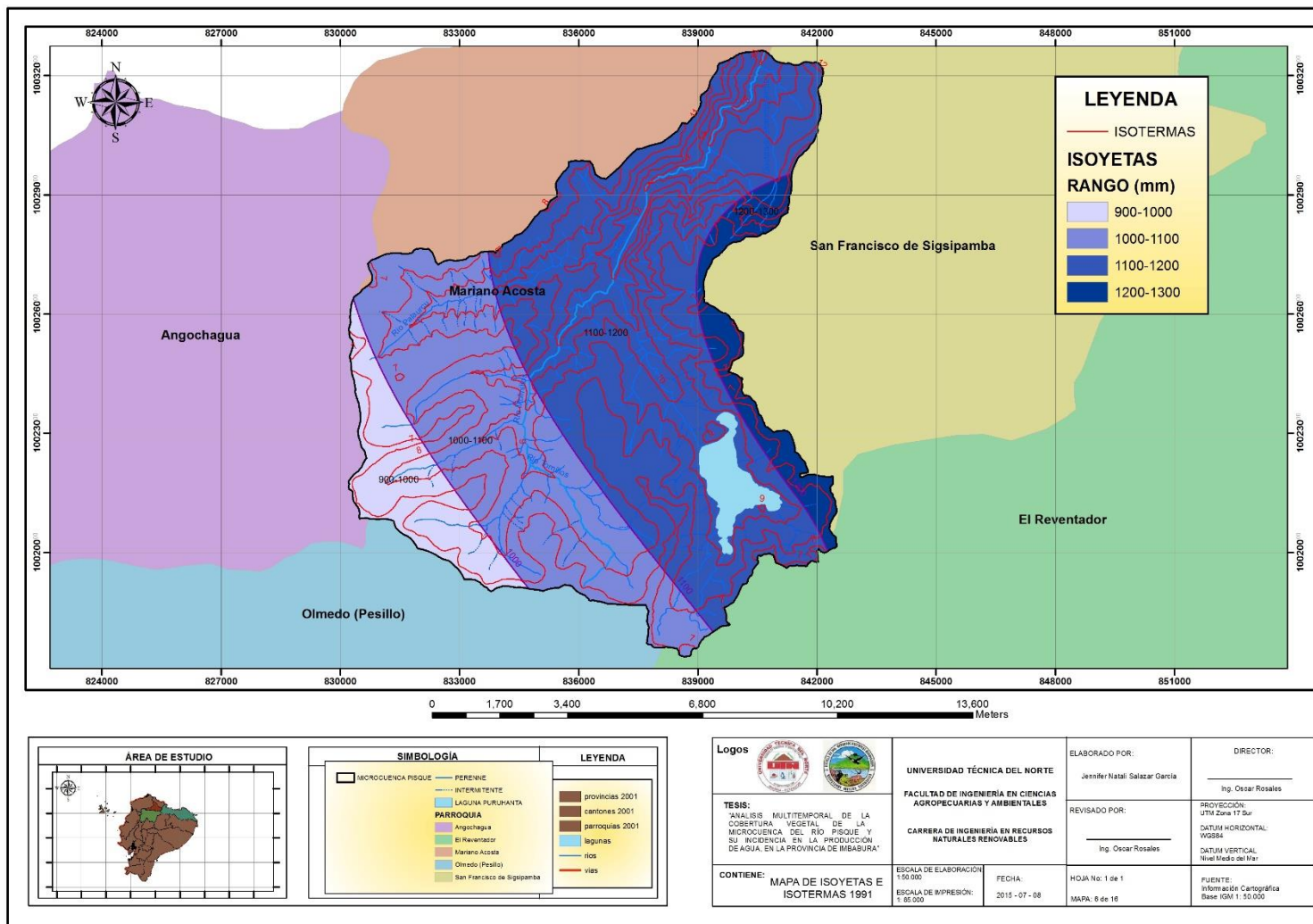
ANEXO CC. Mapa de Ubicación de Estaciones Meteorológicas



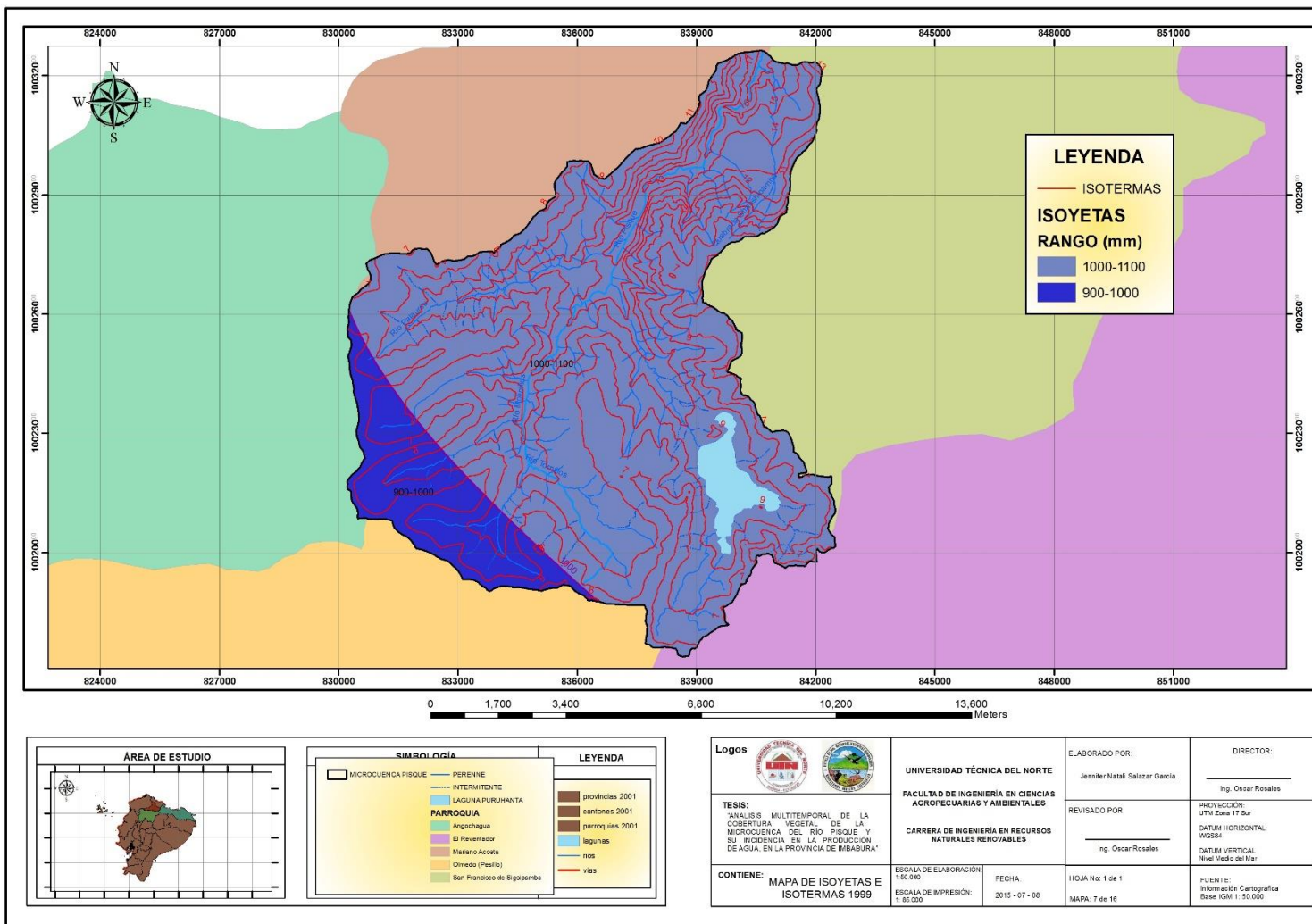
ANEXO DD. Mapa Hidrológico



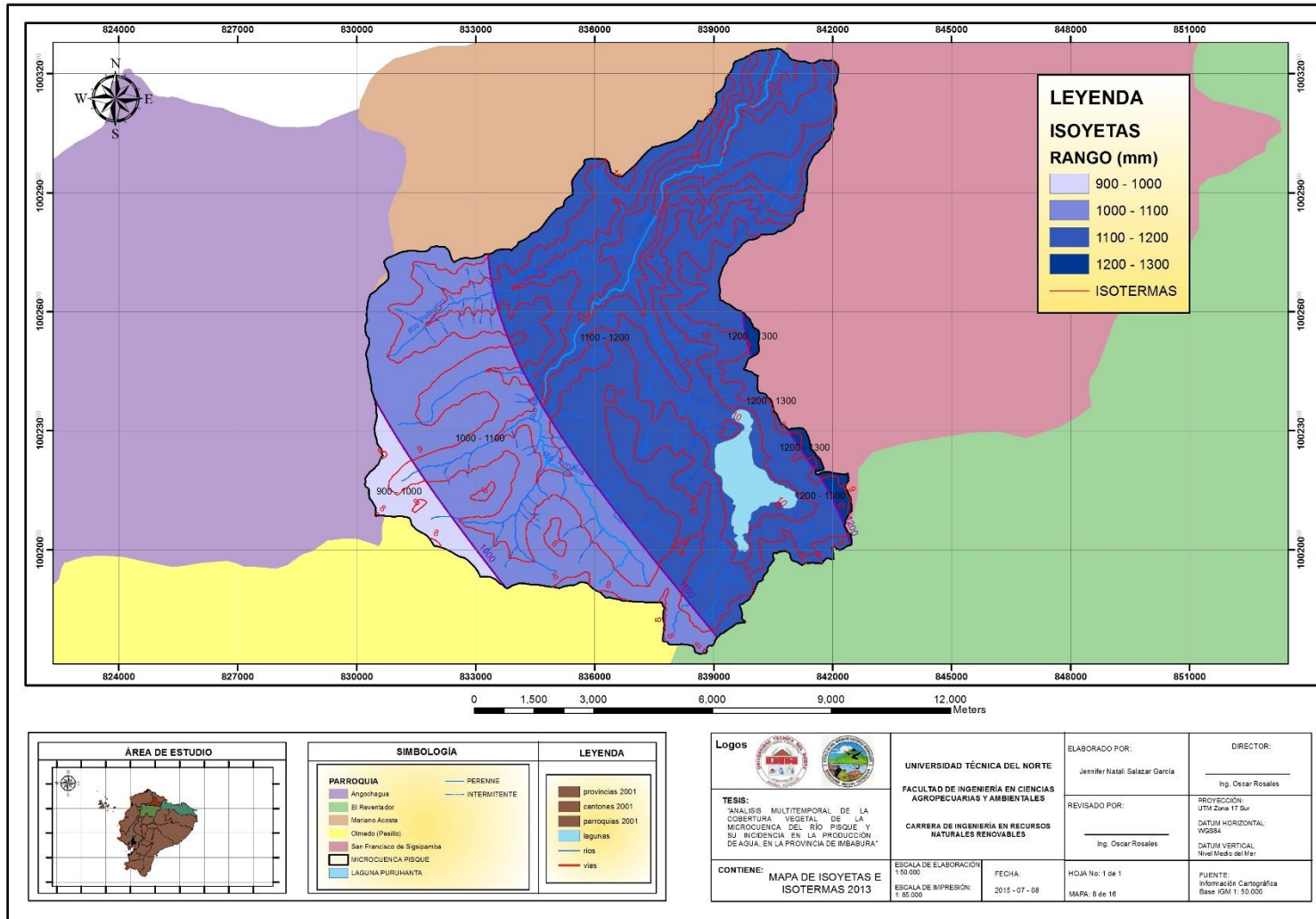
ANEXO EE Mapa de isoyetas e isotermas año 1991



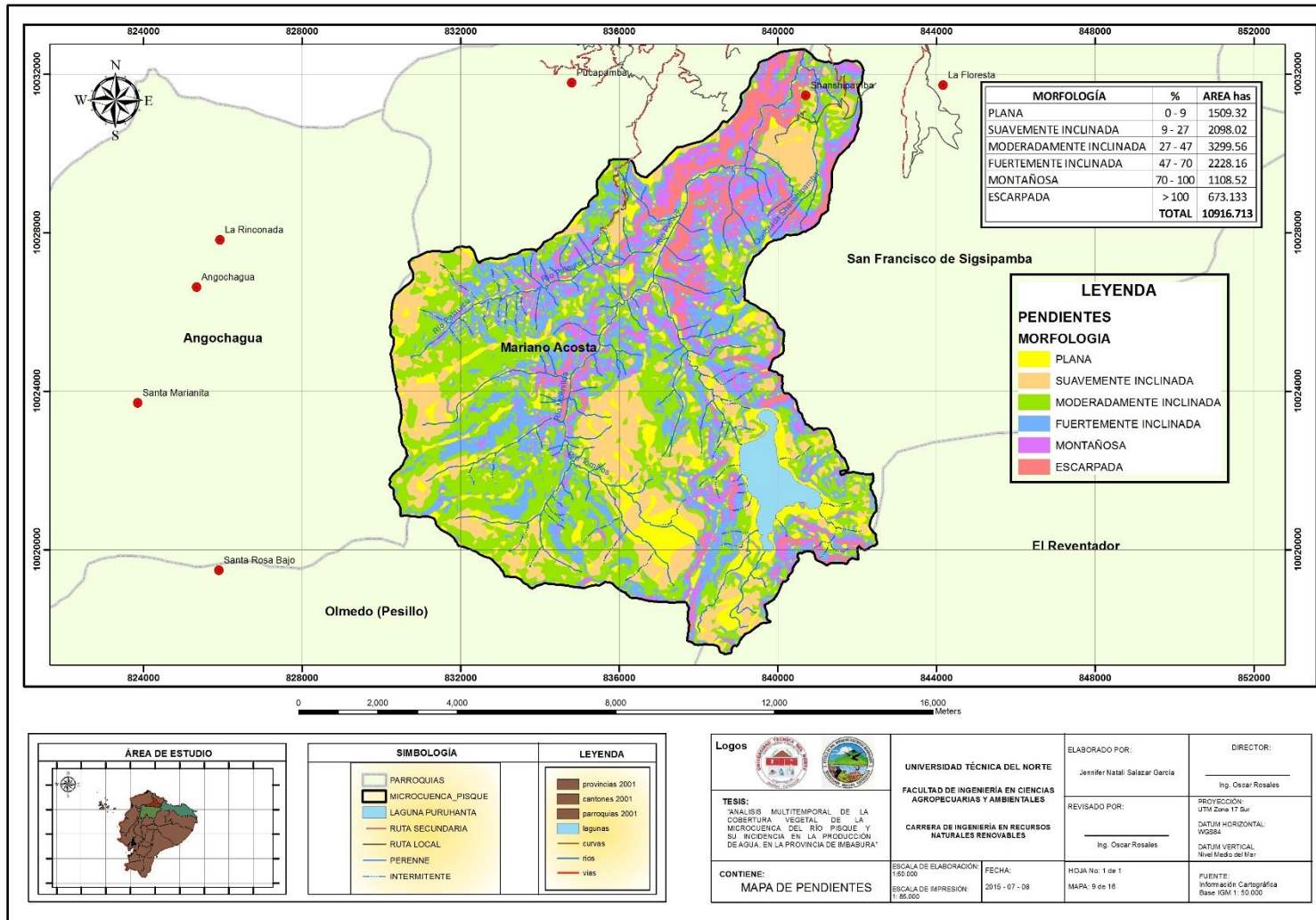
ANEXO FF. Mapa de isoyetas e isotermas año 1999



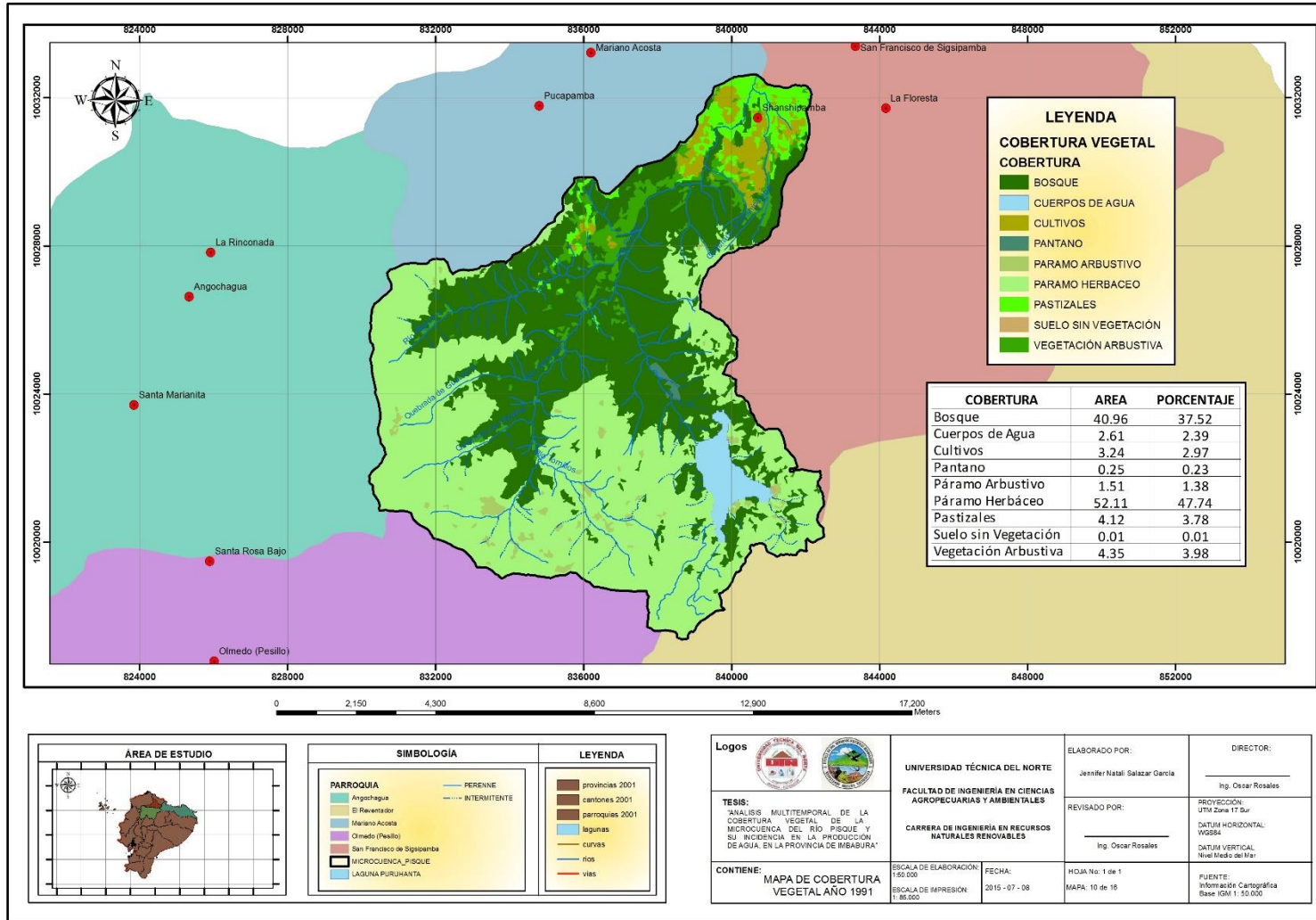
ANEXO GG. Mapa de isoyetas e isotermas año 2013



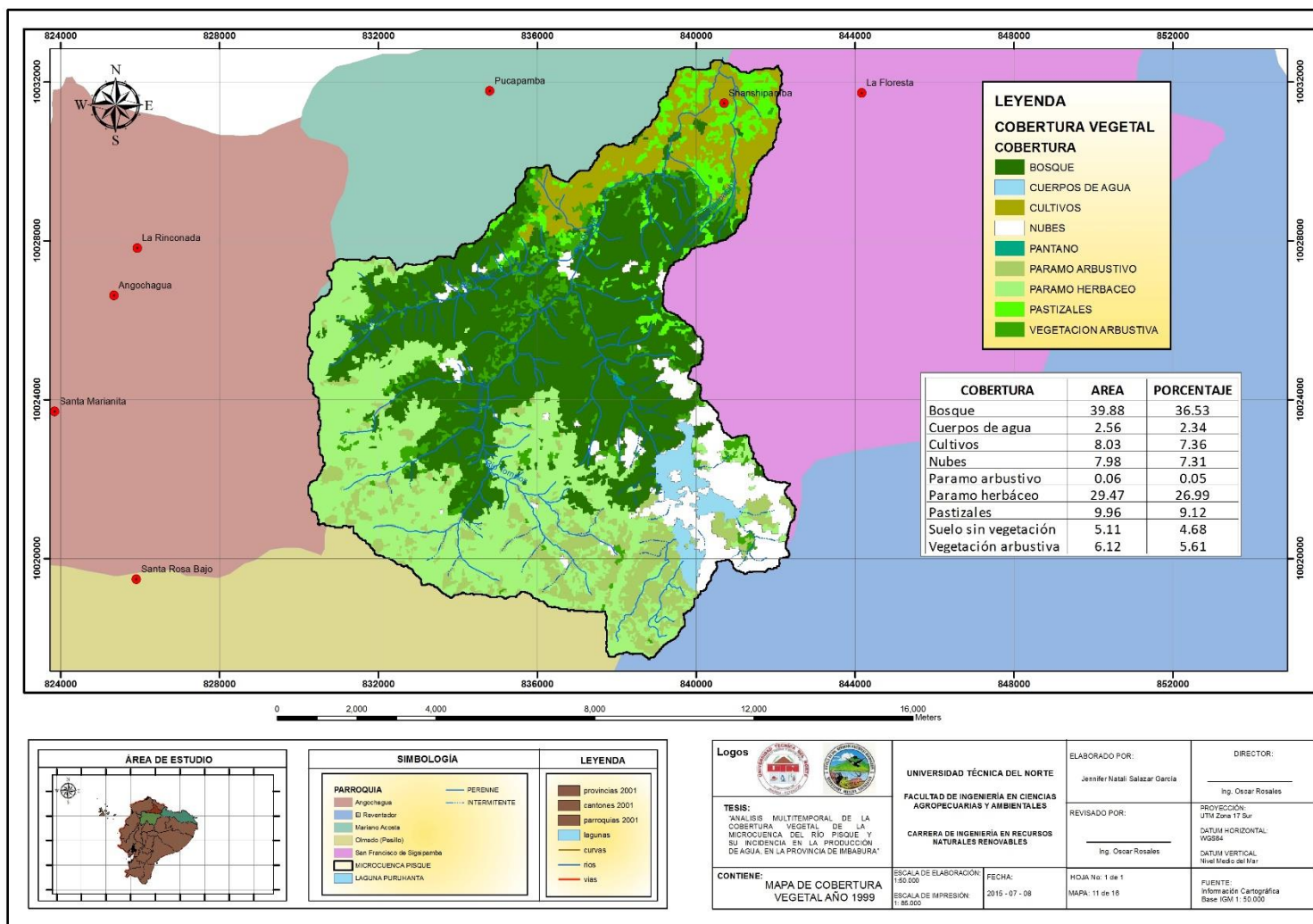
ANEXO HH. Mapa de pendientes



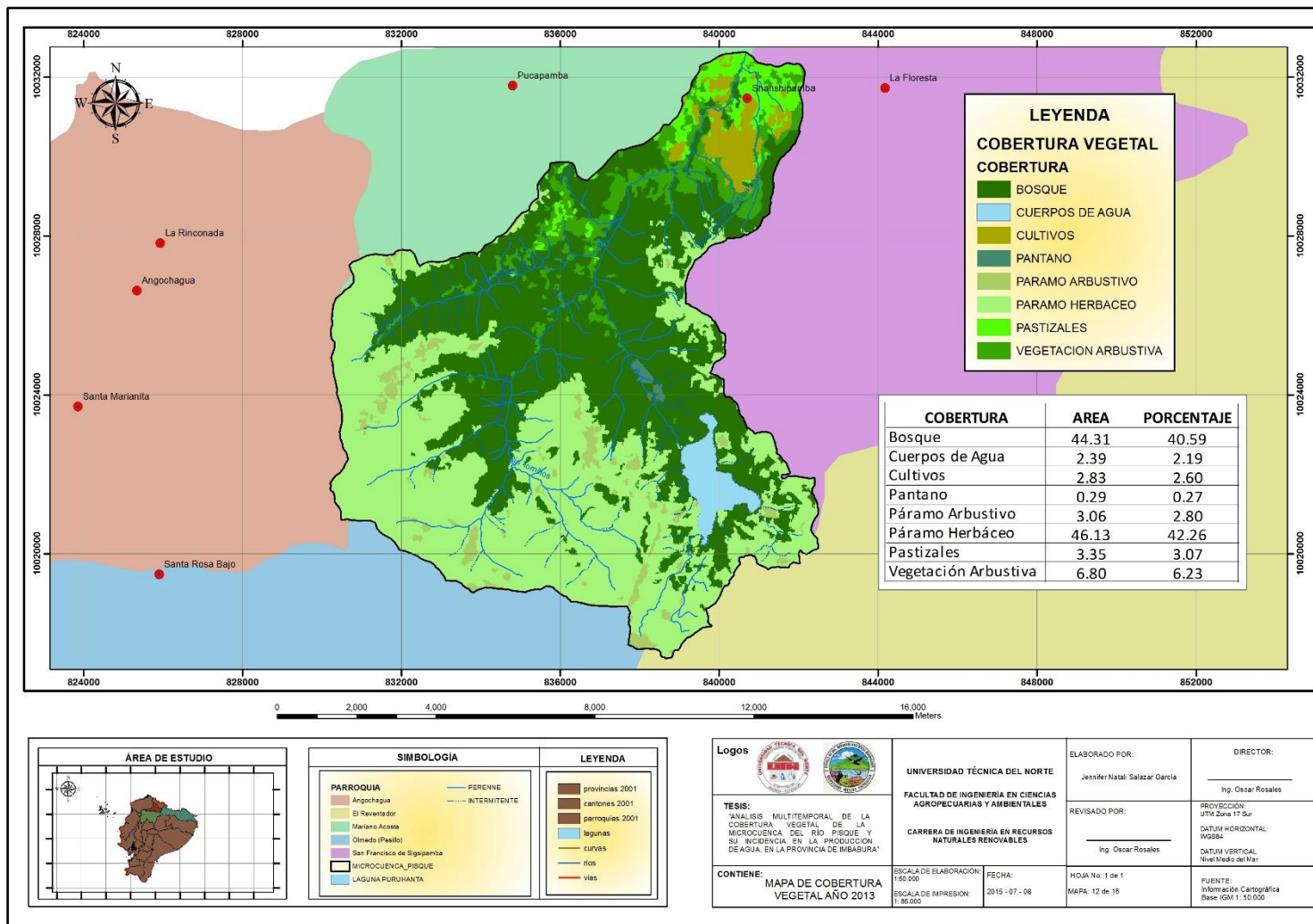
ANEXO II. Mapa de cobertura vegetal año 1991



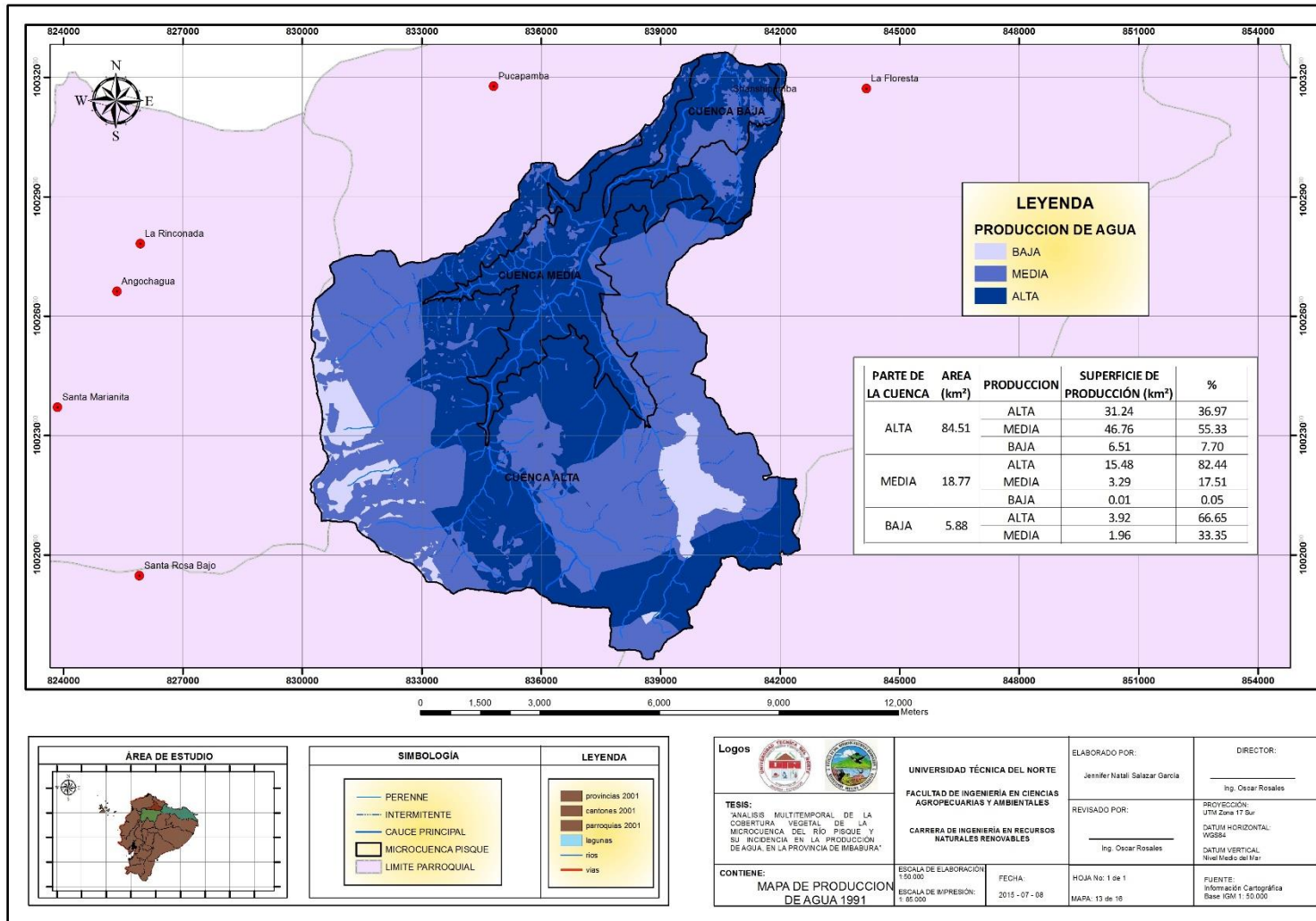
ANEXO JJ. Mapa de cobertura vegetal año 1999



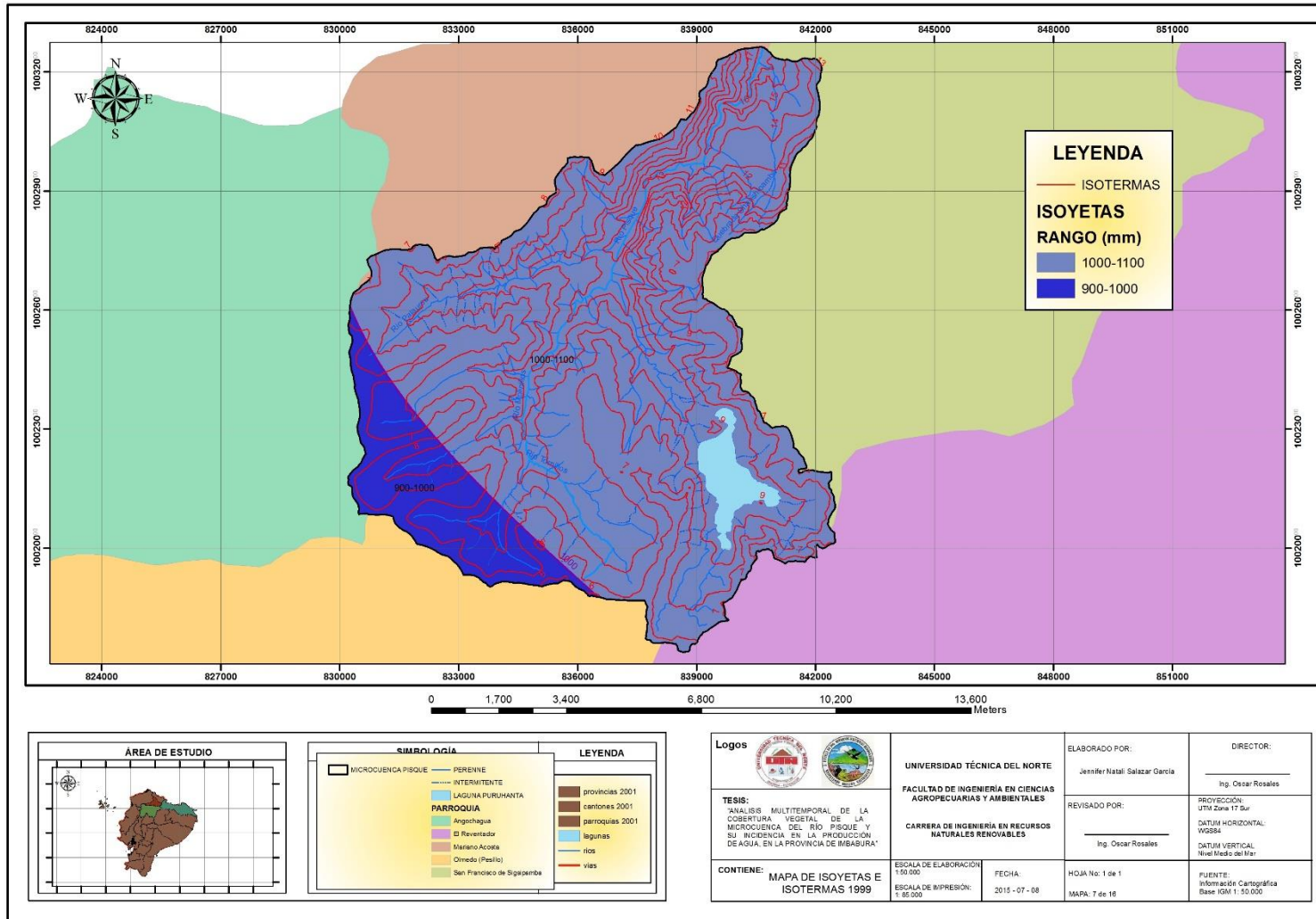
ANEXO KK. Mapa de cobertura vegetal año 2013



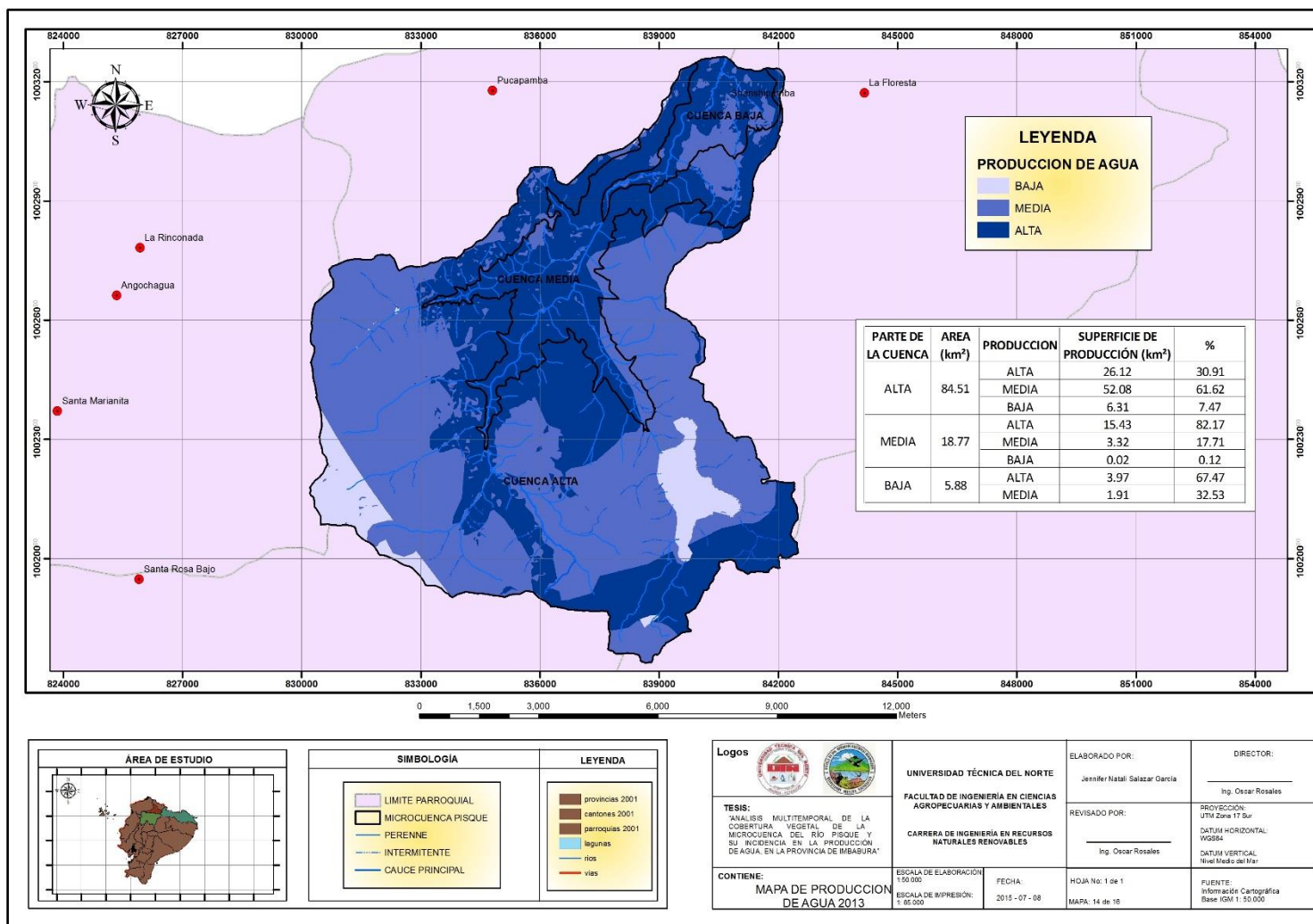
ANEXO LL. Mapa de recarga hídrica de la cuenca año 1991



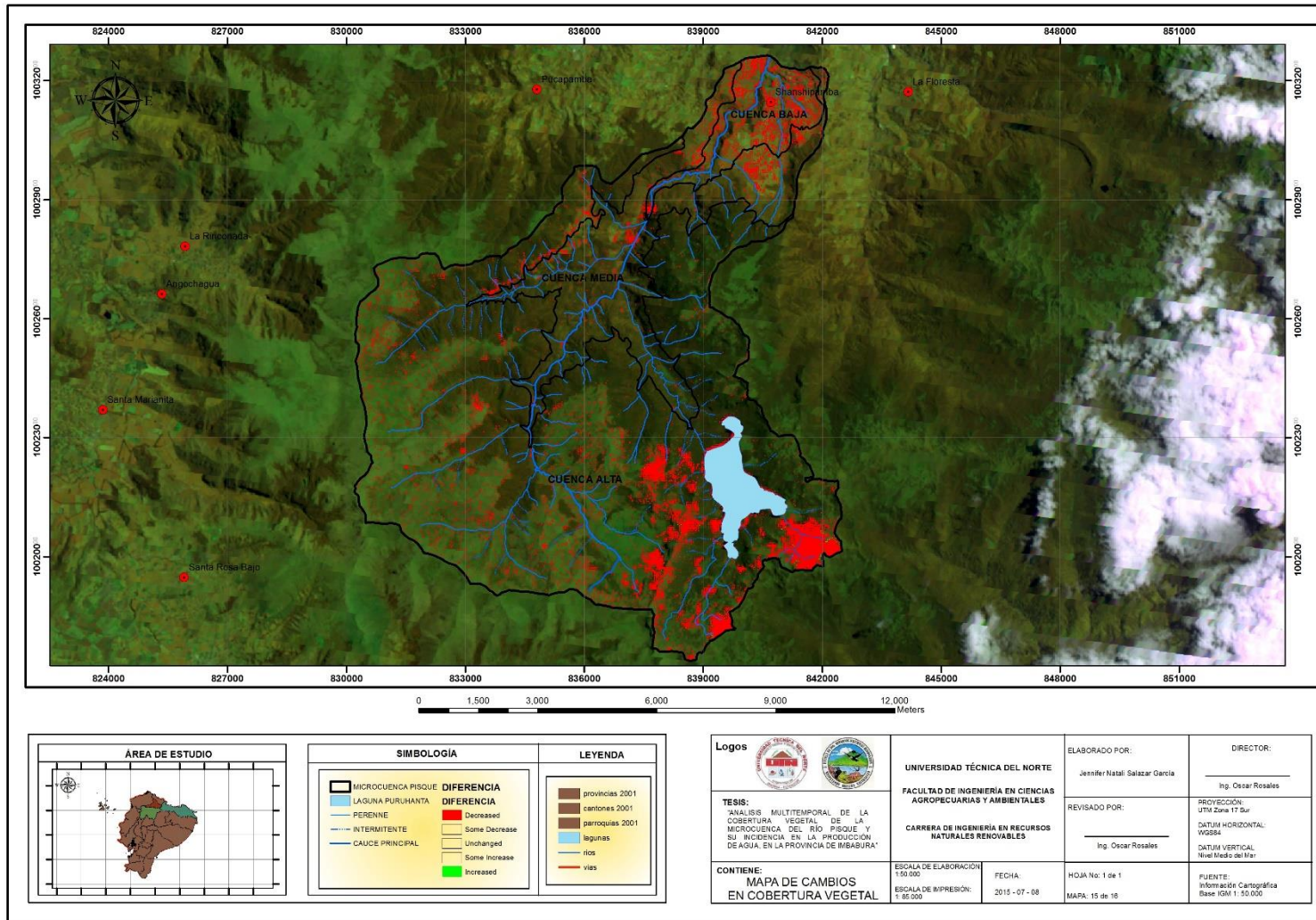
ANEXO MM. Mapa de recarga hídrica de la microcuenca 1999



ANEXO NN. Mapa de recarga hídrica de la microcuenca año 2013



ANEXO OO. Mapa de cambios en la cobertura vegetal



ANEXO PP. Mapa de Zonificación Ambiental

