

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**CARACTERIZACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA Y
ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DEL
RÍO CHAMBO**

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

Ana Gabriela Quishpe Quishpe
any24.epn@gmail.com

Director: Carlos Sebastián Páez Bimos
carlos.paezb@epn.edu.ec

Co-Directora: Carla Paola Manciatì Jaramillo
carla.manciatì@epn.edu.ec

Quito, Febrero 2017

DECLARACIÓN

Yo Ana Gabriela Quishpe Quishpe, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Ana Gabriela Quishpe Quishpe

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Ana Gabriela Quishpe Quishpe, bajo nuestra supervisión.

Carlos Sebastián Páez Bimos
Director del Proyecto

Carla Paola Manciatì Jaramillo
Co-Directora del Proyecto

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por todas sus bendiciones y por ser mi guía en el transcurso de mi vida.

A mis padres, por todo su apoyo y comprensión, por inculcar en mi los valores que que día con día me ayudan a crecer como persona, como madre y como profesional y sobre todo por ser el mejor ejemplo de lucha, perseverancia, responsabilidad y honestidad.

A mi hermano, por todos los momentos compartidos y porque me ha enseñado que todo en la vida es posible.

A mi amado hijo Raulito, por el amor y por todas las sonrisas que me regala, gracias a ello me recuerda que es mi mayor tesoro y mi inspiración para dar cada día un paso más en la vida.

Por la paciencia, dedicación y apoyo, agradezco a la Dra. Carla Manciatì, directora del proyecto PIMI-15-02 y codirectora del presente proyecto de titulación.

Al Ing. Sebastián Páez, quien con su experiencia me ha brindado su valiosa ayuda y ha sido un excelente guía en el desarrollo de este proyecto.

A mis queridos amigos y amigas, por los ánimos que me han dado durante todo este proceso y sobre todo por su valiosa amistad.

Finalmente, a la Escuela Politécnica Nacional, que se convirtió en mi segundo hogar y me abrió sus puertas para encontrar mi verdadera vocación.

DEDICATORIA

A mi ángel, mi querido padre porque sé que desde el cielo está dándome su bendición y acompañándome de la mano en cada paso que doy en mi vida.

A mi madre, mi gran tesoro y el pilar de fundamental de mi familia; gracias a su apoyo cumplir con esta gran meta se ha hecho realidad.

A mi hermano, porque siempre me ha brindado su apoyo y comprensión; y por estar incondicionalmente a mi lado en todo momento.

A mi hijo, mi gran amor; porque desde el primer momento que le tuve en mis brazos conocí al verdadero amor de mi vida.

A toda mi familia en especial a mi abuelito y tías, ya que siempre han estado pendientes y aconsejándome para que siempre me esfuerce por conseguir todo lo que me proponga.

Anita

CONTENIDO

DECLARACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS	xv
LISTA DE ABREVIATURAS	xvii
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
PRESENTACIÓN	xxi
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 OBJETIVOS	1
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	1
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1
1.3 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	2
1.3.1 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA BASE Y TEMÁTICA	2
1.3.2 ESTUDIOS PREVIOS	2
2 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DE ESTUDIO	4
2.1 CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA CUENCA	4
2.1.1 ÁREA DE ESTUDIO	4
2.1.2 POLÍTICO ADMINISTRATIVO	5
2.1.3 ÁREAS PROTEGIDAS	7
2.1.3.1 Áreas naturales protegidas	7
2.1.3.2 Bosques y vegetación protectores	7

2.1.4	TEXTURA DEL SUELO	9
2.1.5	TAXONOMÍA	12
2.1.6	COBERTURA VEGETAL	13
2.1.7	USO DEL SUELO	15
2.1.8	GEOLOGÍA	16
2.1.9	HIDROELÉCTRICAS	19
2.2	CARACTERIZACIÓN FÍSICO- GEOGRÁFICA	20
2.2.1	DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS	20
2.2.1.1	Área de drenaje	20
2.2.1.2	Perímetro	21
2.2.1.3	Forma de la cuenca	21
2.2.1.4	Sistema de drenaje	21
2.2.2	Características del relieve	22
2.2.3	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS SUBCUENCAS	27
2.2.4	ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS	29
3	RECOPIACIÓN, RELLENO Y VALIDACIÓN DE DATOS	34
3.1	PREPARACIÓN DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS	34
3.1.1	RECOPIACIÓN DE DATOS	34
3.1.1.1	Estaciones Meteorológicas	34
3.1.1.2	Estaciones Hidrológicas	35
3.1.2	AGRUPACIÓN DE ESTACIONES	38
3.1.2.1	Grupos	40
3.1.3	CLASIFICACIÓN DE ESTACIONES	41
3.1.4	ANÁLISIS DE SERIES TEMPORALES	43
3.1.4.1	Precipitación	43
3.1.4.2	Caudales líquidos	44
3.2	ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE INFORMACIÓN	46
3.3	RELLENO DE INFORMACIÓN	48
3.3.1	RESULTADOS	50
4	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA E HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DE ESTUDIO	52
4.1	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	52
4.1.1	PRECIPITACIÓN	52
4.1.1.1	Distribución temporal de precipitación	52
4.1.1.2	Variación altitudinal de la precipitación	57
4.1.1.3	Distribución espacial de la precipitación media anual	58
4.1.2	TEMPERATURA	61

4.1.2.1	Distribución temporal de la temperatura	62
4.1.2.2	Variación altitudinal de la temperatura	63
4.1.2.3	Distribución espacial de la temperatura media anual . . .	64
4.1.3	HUMEDAD RELATIVA	66
4.2	CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA	67
4.2.1	DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES LÍQUIDOS	67
5	ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO	72
5.1	GENERALIDADES	72
5.1.1	DEFINICIÓN	72
5.1.2	PRINCIPALES PARÁMETROS CLIMÁTICOS	72
5.1.2.1	Precipitación	72
5.1.2.2	Infiltración	73
5.1.2.3	Escorrentía	73
5.1.2.4	Evapotranspiración	73
5.2	MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL EN LA CUENCA	74
5.2.1	MÉTODO DE THORNTHWAITE	74
5.2.2	MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH (FAO)	76
5.2.3	EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL DE SATÉLITE (MODIS16A)	79
5.3	MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL EN LA CUENCA	80
5.3.1	ECUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO	80
5.3.2	MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH (FAO)	82
5.3.3	EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL POR SATÉLITE (MODIS16A) . .	84
5.3.4	CURVA DE BUDYKO	86
5.3.4.1	Resultados	86
5.4	ANÁLISIS DE APORTE SUBTERRÁNEO	87
5.4.1	ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE DURACIÓN GENERAL (CDG) .	87
5.4.2	ESTIMACIÓN DEL FLUJO ADICIONAL DE AGUA PARA EQUILI- BRAR EL BALANCE HÍDRICO	90
6	LOCALIZACIÓN DE SITIOS ADECUADOS PARA LA IMPLANTACIÓN DE UNA ESTACIÓN HIDROLÓGICA Y PLUVIÓMETROS	93
6.1	ESTACIÓN HIDROLÓGICA	93
6.1.1	DEFINICIÓN	93
6.1.2	TIPOS	93
6.1.3	SELECCIÓN DE LA SECCIÓN DE AFORO	95
6.1.4	PROPUESTA DEL SITIO DE INSTALACIÓN	95

6.2	PLUVIÓMETROS	98
6.2.1	DEFINICIÓN	98
6.2.2	SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO	99
6.2.3	REQUISITOS DEL EQUIPO	101
6.2.4	METODOLOGÍA PARA UBICACIÓN DE PLUVIÓMETROS	102
6.2.4.1	Relación entre el coeficiente de correlación y la distancia entre estaciones	102
6.2.4.2	Evaluación Multicriterio	104
6.2.5	PROPUESTA DE UBICACIÓN DE PLUVIÓMETROS	106
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
7.1	CONCLUSIONES	108
7.2	RECOMENDACIONES	109
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
	ANEXOS	116
1	Mapas de la cuenca	116
2	Precipitación media diaria	147
3	Caudal líquido medio diario	164
4	Curvas doble masa	170
5	Balance Hídrico	182

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Mapa general de la cuenca del río Chambo	5
2.2	Distribución cantonal de la cuenca del río Chambo	6
2.3	Distribución de áreas protegidas y bosques protectores en la cuenca del río Chambo	8
2.4	Textura del suelo en la cuenca del río Chambo	10
2.5	Perfiles del suelo correspondientes a textura fina	10
2.6	Perfiles del suelo correspondientes a textura media	11
2.7	Perfiles del suelo correspondientes a textura moderadamente gruesa	11
2.8	Perfiles del suelo correspondientes a textura gruesa	11
2.9	Taxonomía del suelo en la cuenca del río Chambo	13
2.10	Cobertura vegetal en la cuenca del río Chambo	15
2.11	Uso del suelo en la cuenca del río Chambo	16
2.12	Fallas geológicas en la cuenca del río Chambo	17
2.13	Formaciones geológicas en la cuenca del río Chambo	19
2.14	Hidroeléctricas existentes y en proceso de inventario dentro de la cuenca del río Chambo	20
2.15	Ejemplo teórico de curva hipsométrica (tabla 2.10)	24
2.16	Cambio de forma de la curva hipsométrica con la edad del río	24
2.17	Cuenca con valles extensos y cumbres escarpadas	25
2.18	Cuenca con valles profundos y sabanas planas	25
2.19	Pendientes S1 y S2 de la corriente principal	27
2.20	Pendiente S3 de la corriente principal	27
2.21	Subcuencas dentro de la cuenca del río Chambo	29
2.22	Curvas hipsométricas correspondientes a las subcuencas de estudio	30
2.23	Perfiles longitudinales de los cauces principales de las subcuencas de estudio	31
2.24	Pendientes de la cuenca de estudio	32
3.1	Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Chambo	35
3.2	Estaciones hidrológicas dentro de la cuenca del río Chambo	38
3.3	Ejemplo de regímenes de precipitación unimodal y bimodal	39
3.4	Valores medios diarios de precipitación de la estación M0258	43
3.5	Valores medios diarios de caudal líquido de la estación H0790	45
3.6	Curva doble masa M0393	47
3.7	Curva doble masa H0787	48

3.8	Disponibilidad de datos hidrometeorológicos mensuales	51
4.1	Distribución temporal de precipitación dentro de la cuenca del río Chambo para el grupo 1	53
4.2	Distribución temporal de precipitación dentro de la cuenca del río Chambo para el grupo 2	53
4.3	Distribución temporal de precipitación dentro de la cuenca del río Chambo para el grupo 3	54
4.4	Distribución temporal de precipitación dentro de la cuenca del río Chambo para el grupo 4	54
4.5	Distribución temporal de precipitación dentro de la cuenca del río Chambo para el grupo 5	55
4.6	Distribución temporal de precipitación dentro de la cuenca del río Chambo para el grupo 6	56
4.7	Caracterización de la precipitación en la cuenca del río Chambo- Precipitaciones medias mensuales	57
4.8	Variación altitudinal de la precipitación media en la cuenca del río Chambo	58
4.9	Distribución de la precipitación media interanual en la cuenca del río Chambo-IDW (Isoyetas)	59
4.10	Distribución de la precipitación media interanual en la cuenca del río Chambo del producto TMPA-3B43V7	60
4.11	Distribución de la precipitación media interanual en la cuenca del río Chambo del producto IMERG	61
4.12	Distribución temporal de la temperatura dentro de la cuenca del río Chambo	62
4.13	Caracterización de la temperatura en la cuenca del río Chambo - Temperatura media mensual	63
4.14	Variación altitudinal de la temperatura media en la cuenca del río Chambo	64
4.15	Distribución de la temperatura media anual en la cuenca del río Chambo (Isotermas)	65
4.16	Distribución temporal de humedad relativa dentro de la cuenca del río Chambo	66
4.17	Caracterización de la humedad relativa media mensual y anual en la cuenca del río Chambo	67
4.18	Distribución temporal caudales líquidos dentro de la cuenca del río Chambo	68
4.19	Caracterización de los caudales líquidos medios mensuales en la cuenca del río Chambo	70
4.20	Módulos específicos anuales del Ecuador	71
4.21	Caracterización de los caudales específicos en la cuenca del río Chambo . .	71
5.1	Entradas y salidas de agua en una cuenca hidrográfica	72

5.2	Datos de clima a ingresar en CROPWAT	77
5.3	Datos de clima ingresados para la estación M0057 en programa CROPWAT	78
5.4	Evapotranspiración potencial de referencia en la cuenca del río Chambo - Penman-Monteith	79
5.5	Evapotranspiración potencial en la cuenca del río Chambo - MODIS	80
5.6	Interfaz del programa CROPWAT con sus respectivos componentes	82
5.7	Evapotranspiración real en la cuenca del río Chambo - Penman-Monteith	84
5.8	Evapotranspiración real en la cuenca del río Chambo - MODIS16A	85
5.9	Curvas de duración general de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del río Chambo	88
5.10	Cuenca y subcuencas con sus respectivos valores de Q90/Q50	89
5.11	Cuenca y subcuencas con sus respectivos valores de la pendiente en el tercio medio	90
6.1	Limnógrafo de flotador	93
6.2	Limnógrafo de sensores de presión	94
6.3	Limnógrafo de sensores neumáticos o de burbuja	94
6.4	Limnógrafo de radar	95
6.5	Sitio propuesto para la instalación de la estación hidrológica	96
6.6	Aguas arriba del sitio propuesto	97
6.7	Puente en el sitio propuesto	97
6.8	Aguas abajo del sitio propuesto	98
6.9	Tipos de pluviómetros estándar	99
6.10	Localización de obstáculos para pendiente menor a 19° sin causar incertidumbre	100
6.11	Localización de obstáculos para pendiente menor a 19° con incertidumbre de hasta 5 %	100
6.12	Localización de obstáculos para pendiente menor a 30° con incertidumbre de hasta 15 %	100
6.13	Localización de obstáculos para pendiente pronunciada mayor a 30° con incertidumbre de hasta 25 %	101
6.14	Localización de obstáculos junto al aparato con incertidumbre de hasta 100 %	101
6.15	Matriz de correlación gráfica	103
6.16	Radio de influencia de las estaciones meteorológicas existentes	104
6.17	Mapa de cartografía base utilizado para la selección de zonas posibles para la instalación de pluviómetros	105
6.18	Mapa de cobertura vegetal utilizado para la selección de zonas posibles para la instalación de pluviómetros	106
6.19	Posibles sitios para la instalación de pluviómetros	107

ÍNDICE DE TABLAS

1.1	Información cartográfica utilizada para el proyecto	2
1.2	Estudios previos dentro de la cuenca	3
2.1	Área de la cuenca correspondiente a cada provincia	5
2.2	Área de la cuenca correspondiente a cada cantón	6
2.3	Área de la cuenca correspondiente a áreas naturales protegidas	7
2.4	Área de la cuenca correspondiente a bosques protectores	8
2.5	Área de la cuenca correspondiente a textura del suelo	9
2.6	Área de la cuenca correspondiente a taxonomía del suelo	12
2.7	Área de la cuenca correspondiente a cobertura vegetal	14
2.8	Área de la cuenca correspondiente a uso del suelo	15
2.9	Área de la cuenca correspondiente a geología de la zona	18
2.10	Ejemplo teórico de cálculo para la curva hipsométrica	23
2.11	Estaciones de cierre de las subcuencas de estudio	28
2.12	Principales características físico-morfológicas de la cuenca principal y sub- cuencas de estudio	33
3.1	Codificación de las estaciones meteorológicas del país	34
3.2	Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Chambo	36
3.3	Codificación de las estaciones hidrológicas del país	37
3.4	Estaciones hidrológicas dentro de la cuenca de estudio	37
3.5	Agrupación de estaciones según régimen de precipitación	40
3.6	Criterio de clasificación de estaciones según datos	41
3.7	Clasificación según calidad de información diaria de precipitación	42
3.8	Clasificación según calidad de información diaria de caudales líquidos	42
3.9	Estadística de información de precipitación media diaria	44
3.10	Estadística de información de caudales líquidos medios diarios	45
3.11	Estaciones hidrológicas para análisis de doble masa	47
3.12	Pares de estaciones meteorológicas con su coeficiente de correlación R	49
3.13	Pares de estaciones hidrológicas con su coeficiente de correlación R	49
3.14	Coeficiente de correlación corregido para precipitación	50
3.15	Coeficiente de correlación corregido para caudales líquidos	50
4.1	Valores de precipitación media anual interpolada por subcuenca	60
4.2	Valores de temperatura media anual interpolada por subcuenca	65

4.3	Caudal líquido específico	69
5.1	Factores de corrección de E_j obtenida por el método de Thornthwaite para la zona ecuatorial	74
5.2	Aplicación del método de Thornthwaite en las subcuencas	75
5.3	Estaciones meteorológicas para cálculo de ET_o mediante programa CROPWAT	77
5.4	Resumen de valores de ET_o anual para las estaciones meteorológicas indicadas - CROPWAT	78
5.5	Aplicación de la ecuación del balance hídrico para la serie completa de datos anuales existentes	81
5.6	Aplicación de la ecuación del balance hídrico para el periodo de datos continuo	82
5.7	Datos de K_c , tipo de suelo y cultivo para cada estación (CROPWAT) . . .	83
5.8	Evapotranspiración real por el método Penman-Monteith FAO en las estaciones meteorológicas	83
5.9	Evapotranspiración real anual con el método Penman-Monteith FAO por subcuenca	84
5.10	Evapotranspiración real anual con valores de MODIS por subcuenca	85
5.11	Evapotranspiración real anual con el método de Thornthwaite-Budyko por subcuenca	86
5.12	Evapotranspiración real anual con el método de Penman-Monteith - Budyko por subcuenca	87
5.13	Evapotranspiración real anual con el método de MODIS PET -Budyko por subcuenca	87
5.14	Caudales e índices representativos por subcuenca	88
5.15	Flujo de entrada adicional calculado para el método Thornthwaite-Budyko	91
5.16	Flujo de entrada adicional calculado para el método MODIS	91
5.17	Flujo de entrada adicional calculado para el método Penman-Monteith FAO	91
5.18	Flujo de entrada adicional calculado para el método Penman-Monteith con Budyko	92
5.19	Flujo de entrada adicional calculado para el método MODIS con Budyko .	92
6.1	Matriz de correlación-distancia de las estaciones internas de la cuenca . . .	102
6.2	Información cartográfica utilizada en la evaluación multicriterio	105
6.3	Coordenadas de los pluviómetros propuestos	107

LISTA DE SÍMBOLOS

A Área de la cuenca

Q_{33} Caudal que circula el 33 % del tiempo

Q_{50} Caudal que circula el 50 % del tiempo

Q_{66} Caudal que circula el 66 % del tiempo

Q_{90} Caudal que circula el 90 % del tiempo

R Coeficiente de correlación

Dd Densidad de drenaje

SD Desviación estándar

h_i Distancia vertical de un tramo

l_i Distancia inclinada entre cotas de un tramo

E Elevación media

S_t Estacionaria

S_t Estacionaria

ET_o Evapotranspiración de referencia por Penman-Monteith

E_p Evapotranspiración potencial

E_j Evapotranspiración potencial mensual no ajustada por método de Thornthwaite

E_o Evapotranspiración potencial mensual corregida por método de Thornthwaite

l Extensión media de la escorrentía superficial

I Índice de calor

kc Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad

k Factor de corrección para Thornthwaite

kf Factor de forma

L Longitud del cauce principal

L_a Longitud del valle del río principal

L_t Longitud total de las corrientes de agua

S_i Pendiente de un tramo

S_1 Pendiente media

S_2 Pendiente media ponderada

S_3 Pendiente equivalente constante

P Perímetro de la cuenca

P_{est} Presión estática

P_{atm} Presión atmosférica

L_0 Proyección en el plano horizontal del punto correspondiente a h_0

L_1 Proyección en el plano horizontal del punto correspondiente a h_1

h_0 Punto más bajo del perfil del río

h_1 Punto más alto del perfil del río

h_2 Punto para obtener un triángulo cuya área sea la misma que el área bajo el perfil del río

P Perímetro de la cuenca

S Sinuosidad de las corrientes de agua

t_j Temperatura media mensual del mes j ($^{\circ}\text{C}$) para método de Thorthwaite

LISTA DE ABREVIATURAS

CDG Curvas de Duración General

CONADE Consejo Nacional del Desarrollo

CONELEC Consejo Nacional de Electricidad

EMAPAR Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba

EPN Escuela Politécnica Nacional

FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations

GPCC Global Precipitation Climatology Centre

GPM Global Precipitation Measurement

IDW Inverse Distance Weighted

IEE Instituto Espacial Ecuatoriano

IGEPN Instituto Geofísico- EPN

IGM Instituto Geográfico Militar

IMERG Integrated Multisatellite Retrievals for GPM

INAMHI Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

INEC Instituto Nacional de Estadística y Censos

INECEL Instituto Ecuatoriano de Electrificación

INERHI Instituto Ecuatoriano de Recursos Hídricos

JAXA Japan Aerospace Exploration Agency

MAE Ministerio del Ambiente

MAG Ministerio de Agricultura y Ganadería

MAGAP Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca

MTOP Ministerio de Transporte y Obras Públicas

NASA National Aeronautics and Space Administration

PANE Patrimonio de Áreas Naturales del Estado

PIMI Proyecto Inter y Multidisciplinario de Investigación

PRONAREG Dirección de Regionalización Agraria

SIG Sistema de Información Geográfica

SIGAGRO Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria

SNI Sistema Nacional de Información

SRTM Shuttle Radar Topography Mission

TMPA TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis

TRMM Tropical Rainfall Measuring Mission

RESUMEN

El principal objetivo de este proyecto de titulación es caracterizar hidrometeorológicamente la cuenca del río Chambo y posteriormente realizar una estimación del balance hídrico de la misma. A fin de llevar a cabo esta investigación se han interpretado diferentes factores tales como: climático, geológico, hidrológico, vegetal y antrópico con el propósito de determinar la variación en el espacio de los elementos característicos del ciclo hidrológico y dar una descripción de la cuenca.

En el proyecto de investigación inter y multidisciplinario de la Escuela Politécnica Nacional (PIMI-15-02) titulado “CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA ACUÍFERO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO CHAMBO UTILIZANDO UN ENFOQUE HIDRODINÁMICO Y GEOQUÍMICO: PROCESOS DE RECARGA Y GESTIÓN SOSTENIBLE DEL RECURSO”, se pretende caracterizar hidrodinámica e hidrogeoquímicamente al acuífero, evaluar las posibles interacciones entre el agua superficial y subterránea en la zona, y como aporte a dicho proyecto se ha recopilado, rellenado y validado los datos de precipitación y caudales líquidos a nivel mensual, mismos que sirvieron de insumo para la estimación del balance hídrico.

Luego de analizar los resultados obtenidos del relleno y validación de datos de precipitación y caudal, se procedió con el análisis de las distintas variables meteorológicas y la caracterización hidrometeorológica de la zona de estudio. De este análisis se ha determinado que en la zona existe gran variabilidad del clima debido a la influencia de la región Amazónica y de la topografía. La precipitación media de la cuenca es de 780 mm/año y tiene un comportamiento bimodal (picos máximos en los meses Febrero-Abril y Octubre-Diciembre) mientras que los caudales tienen un comportamiento unimodal (pico en Junio), siendo el caudal líquido medio anual de $57.27 \text{ m}^3/\text{s}$ en el punto de cierre de la cuenca de estudio.

Esta información sirvió de insumo para poder estimar el balance hídrico superficial en la cuenca de estudio, aplicando diferentes métodos para obtener la evapotranspiración potencial como Thornthwaite, Penman-Monteith y MODIS ETP. Dichos resultados se combinaron con la ecuación de Budyko para posteriormente obtener la evapotranspiración real, utilizando métodos como: la ecuación del balance hídrico, Penman-Monteith (FAO) y los datos de satélite (MODIS ET). Una vez determinada la evapotranspiración real y encontrando un desbalance en la cuenca, se procedió al análisis de las curvas de duración general de caudales donde se aprecia una tendencia lineal desde Q30 al Q95 aproximadamente, siendo éste un indicativo de aporte de agua subterránea.

Finalmente se presenta una propuesta de instalación de una estación hidrológica y pluviómetros para los cuales se ha tomado en cuenta aspectos como: cercanía a vías y centros urbanos, no incidencia de cobertura vegetal, zonas de inundación y las estaciones existentes; siempre considerando los parámetros recomendados por la Organización Meteorológica Mundial.

ABSTRACT

The main objective of this dissertation is to characterize the Chambo river basin hydro-meteorologically and later to perform a water balance estimation. In order to carry out this research, different factors have been interpreted such as: climate, geology, hydrology, vegetation and anthropic influence with the purpose of determining the variation in space of the hydrological cycle elements.

In the inter and multidisciplinary research project of the National Polytechnic School (PIMI-15-02) entitled "CHARACTERIZATION OF THE AQUIFER SYSTEM OF THE UPPER CHAMBO RIVER BASIN USING A HYDRODYNAMIC AND GEOCHEMICAL APPROACH: PROCESSES OF RECHARGE AND SUSTAINABLE MANAGEMENT OF RESOURCES". It aims to understand the aquifer's hydrodynamic and hydrogeochemical behavior, to evaluate the possible interactions between surface and groundwater in the area. This study contributes to this project by the compilation, analysis and validation of rainfall and discharge data at monthly level, which served as input for the water balance estimation.

After analyzing the results obtained from the filling and validation of rainfall and discharge data, we proceeded with the analysis of the different meteorological variables and the hydro-meteorological characterization of the study area. From this analysis it has been determined that in the zone there is great variability of the climatic variables due to the influence of the Amazon region and the topography. The average precipitation of the basin is 780 mm/year and has a bimodal behavior (maximum values in the months February-April and October-December) while the stream flows have a unimodal behavior (maximum value in June), with the average annual discharge of $57.27 \text{ m}^3/\text{s}$.

This information served as input to estimate the surface water balance in the study basin, applying different methods to obtain potential evapotranspiration such as Thornthwaite, Penman-Monteith and MODIS PET. These results were combined with Budyko equation to obtain the real evapotranspiration; additionally, we used methods such as water balance equation, Penman-Monteith (FAO) and MODIS ET in order to estimate real evapotranspiration. After determining the real evapotranspiration and finding an imbalance in the basin, we proceeded to the analysis of the flow duration curves where a linear trend can be seen from Q30 to Q95 approximately, this being an indicative of groundwater contribution.

Finally, a proposal is presented for the installation of a stream flow gauge as well as rain gauges, therefore which aspects such as: proximity to roads and urban centers, no incidence of vegetation cover, flood zones and existing gauges; always considering the parameters recommended by the World Meteorological Organization.

PRESENTACIÓN

En este proyecto de titulación se desea caracterizar hidrometeorológicamente la cuenca del río Chambo y estimar su balance hídrico, mismo que contribuirá con el uso y manejo de los recursos hídricos. La estimación del balance hídrico será un aporte muy importante para conocer la realidad hídrica de la zona.

En el **capítulo 1** se presenta la introducción, y objetivos del proyecto de titulación que forma parte del proyecto de investigación inter y multidisciplinario de la Escuela Politécnica Nacional (PIMI-15-02) titulado “CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA ACUÍFERO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO CHAMBO UTILIZANDO UN ENFOQUE HIDRODINÁMICO Y GEOQUÍMICO: PROCESOS DE RECARGA Y GESTIÓN SOSTENIBLE DEL RECURSO”.

En el **capítulo 2** se realiza la caracterización general y físico-geográfica de la cuenca.

En el **capítulo 3** se procede a la recopilación, procesamiento, relleno y validación de datos de precipitación, temperatura y caudales líquidos a nivel mensual. Con estos datos se procederá con la caracterización climática e hidrológica, mismos que servirán de insumo para la estimación del balance hídrico superficial en la cuenca de estudio.

En el **capítulo 4** se realiza la caracterización climática e hidrológica de la cuenca utilizando los datos generados en el capítulo 3.

En el **capítulo 5** se estima el balance hídrico de la cuenca mediante diferentes métodos de evapotranspiración aplicando la ecuación del balance hidrológico considerando parámetros como precipitación, evapotranspiración y escorrentía.

En el **capítulo 6** se propone los sitios más adecuados para la implementación de una estación hidrológica y pluviómetros de acuerdo a las normas y parámetros indicados en el manual desarrollado por la Organización Meteorológica Mundial.

Por último, en el **capítulo 7** se presentan las conclusiones y recomendaciones producto de esta investigación.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La zona de estudio se encuentra ubicada en la provincia de Chimborazo y es considerada hídricamente valiosa debido a la presencia de agua subterránea. Dicho aporte es la principal fuente de abastecimiento de agua potable y riego de las ciudades de Riobamba y Guano a través de 30 pozos perforados por la EMAPAR y el Gobierno Descentralizado de la provincia. Por tal motivo, es necesario realizar un estudio que permita conocer la realidad hidrometeorológica e hídrica del lugar y la disponibilidad de agua superficial en la cuenca de estudio.

El agua se considera un recurso fundamental para los ecosistemas naturales, la vida humana y su acceso considerado un derecho humano universal [Economic and Social Council, 2002]. Por lo tanto, el escaso conocimiento del suministro total que puede dotar el agua subterránea continuará limitando una gestión efectiva de estos sistemas, hasta que un esfuerzo significativo sea hecho para mejorar la estimación de la capacidad de almacenaje de los sistemas de agua potable [Richey et al., 2015]. Es por esta razón, que se debe sumar esfuerzos para completar la información necesaria y existente a nivel global.

El presente proyecto de titulación forma parte del proyecto de investigación inter y multidisciplinario de la Escuela Politécnica Nacional (PIMI-15-02) titulado “CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA ACUÍFERO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO CHAMBO UTILIZANDO UN ENFOQUE HIDRODINÁMICO Y GEOQUÍMICO: PROCESOS DE RECARGA Y GESTIÓN SOSTENIBLE DEL RECURSO”. Dicho proyecto de investigación pretende caracterizar hidrodinámica e hidrogeoquímicamente al acuífero, evaluar las posibles interacciones entre el agua superficial y subterránea y las interacciones existentes con los volcanes próximos a la zona de estudio. También se espera determinar la calidad del agua que actualmente están captando las poblaciones a través de los pozos y vertientes con la finalidad de garantizar que el agua que consumen esté en óptimas condiciones y que cumpla con las normas existentes en el ámbito de consumo humano.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir con el uso y manejo de los recursos hídricos mediante la caracterización hidrometeorológica y cálculo del balance hídrico de la cuenca del río Chambo.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Preparar una base de datos con información hidrometeorológica histórica para la cuenca del río Chambo.
- Caracterizar climática e hidrológicamente la cuenca.

- Estimar el balance hídrico en la zona de estudio.
- Desarrollar una propuesta para la implementación de pluviómetros y una estación hidrológica.

1.3 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

A fin de llevar a cabo este estudio se ha recopilado toda la información necesaria disponible de tipo: cartográfica, hidrometeorológica, suelos (uso, textura, taxonomía), cobertura vegetal y geología.

1.3.1 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA BASE Y TEMÁTICA

La cartografía utilizada se obtuvo de diferentes instituciones nacionales e internacionales, la mayoría de la información está disponible en el Sistema Nacional de Información (SNI). Las características se recopilan en la tabla 1.1:

TABLA 1.1: Información cartográfica utilizada para el proyecto

Información cartográfica	Formato	Año	Escala	Descripción	Institución responsable
SRTM	Raster	2000	1:5000	Modelo digital de elevación (Resolución 90m)	SRTM
División política del Ecuador	Vector	2012	1:50000	División del Ecuador por provincias	INEC
Ríos	Vector	2012	1:250000	Capas de información geográfica base	IGM
Red vial estatal	Vector	2015	1:250000	Estado actual de la red vial estatal	MTOP
Red estaciones meteorológicas	Vector	2014	1:50000	Ubicación de las estaciones meteorológicas del Ecuador	INAMHI
Red de estaciones hidrológicas	Vector	2014	1:50000	Ubicación de las estaciones hidrológicas del Ecuador	INAMHI
Cobertura y uso de la tierra	Vector	2002	1:250000	Caracterización del uso del suelo	MAGAP
Mosaico por la cobertura	Vector	2009-2015	1:25000	Cobertura vegetal de las zonas internevidas por el IEE	IEE
Mosaico por el uso	Vector	2009-2015	1:25000	Uso del suelo de las zonas internevidas por el IEE	IEE
Áreas protegidas	Vector	2015	1:250000	Áreas protegidas del país	MAE
Bosques protectores	Vector	2015	1:50000	Áreas pertenecientes al Sistema Nacional de bosques y vegetación protectora	MAE
Textura	Vector	2002	1:250000	Descripción de texturas del suelo	MAGAP-PRONAREG
Taxonomía	Vector	2002	1:250000	Clasificación de suelos y descripción del material	MAGAP-PRONAREG
Geología	Vector	2005	1:100000	Cartas geológicas del Ecuador	MAGAP-SIGAGRO
Hidrogeológico	Vector	2005	1:100000	Formaciones, litología	MAGAP-SIGAGRO
Mosaico Geopedológico	Vector	2009-2015	1:25000	Taxonomía del suelo en las zonas internevidas por el IEE	IEE
Proyecto Generación	Vector	2014	1:50000	Ubicación de proyectos de generación eléctrica	CONELEC
Área de Inundación	Vector	2002	1:1000000	Áreas inundación permanente	INAMHI-MAGAP

ELABORADO POR: Ana Quishpe

1.3.2 ESTUDIOS PREVIOS

Los estudios previos desarrollados en la temática del presente proyecto de titulación en la cuenca son los que se detallan en la tabla 1.2:

TABLA 1.2: Estudios previos dentro de la cuenca

Fecha	Institución	Título
1985-1987	MAG, INECEL, INERHI, DIGEMA Y CONADE	Proyecto de manejo y conservación de la Cuenca alta del río Pastaza
2007	CONSEJO NACIONAL DE RECURSOS HIDRICOS	Estudio hidrológico de la subcuenca del río Chambo e implementación de un modelo hidrológico
2015	AGUA CHAMBO - COMITÉ DE GESTIÓN	Aportes a la planificación para la gestión integral de los recursos hídricos

ELABORADO POR: Ana Quishpe

CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DE ESTUDIO

2.1 CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA CUENCA

Existen factores que no deben ser despreciados durante un estudio hidrológico sobre todo ciertas características importantes de la cuenca, como: precipitación, cobertura vegetal, taxonomía, textura y uso del suelo. Otro factor importante es la influencia geológica especialmente las características litológicas; debido a que pueden ser consideradas como reponsables directas del trazado y de la densidad de la red hidrográfica, así como de las variaciones y de la diversidad de los regímenes hidrológicos [Pourrut et al., 1995].

2.1.1 ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Chambo, que a su vez forma parte de la cuenca alta del río Pastaza, está situada en el centro del Ecuador en la vertiente Atlántica de la cordillera de los Andes; ocupando aproximadamente un 54 % de la superficie de la provincia de Chimborazo y un 0,1 % de la provincia de Tungurahua.

El área de la cuenca abarca 3524.73 km^2 . El punto más alto es el volcán Chimborazo con una altitud de 6268 m.s.n.m, y a una altitud de 2295 m.s.n.m se localiza el punto más bajo, que es la estación hidrológica del INAMHI Chambo en Hda.Cahuaji (H0826), dicha estación es además el punto de cierre de la cuenca pero actualmente su estado de funcionamiento es inactivo. Dentro de la cuenca se localizan también los volcanes Iguálata (4430 m.s.n.m), Tungurahua (5023 m.s.n.m), El Altar (5319 m.s.n.m) y otras elevaciones menores.

El río principal de la cuenca es el río Chambo, mismo que se forma de la unión del río Cebadas y el río Guamote, a partir de su confluencia el río Chambo sigue su curso hacia el norte pasando por Cotaló donde finalmente se une con el río Patate para formar el río Pastaza.

En la figura 2.1 se presenta la ubicación del área de estudio, los ríos, las cabeceras cantonales y la vía principal. El mapa general de la cuenca se encuentra en el Anexo 1 MAPA01.

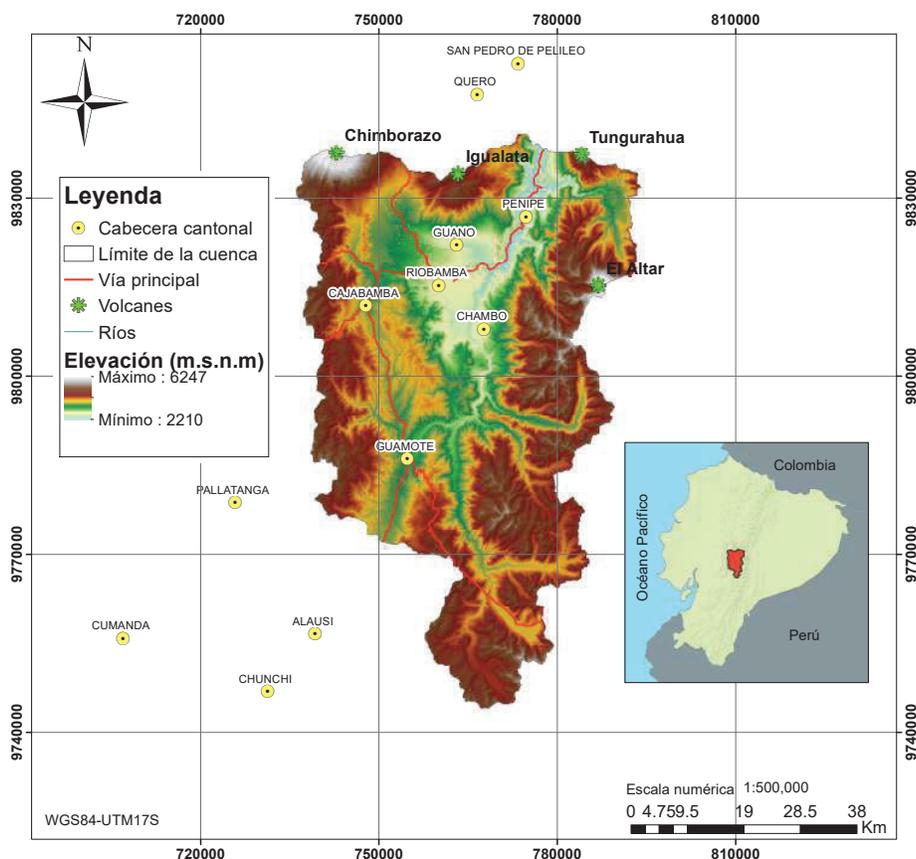


FIGURA 2.1: Mapa general de la cuenca del río Chambo

FUENTE: SRTM, MTOP, IGM

ELABORADO POR: Ana Quishpe

2.1.2 POLÍTICO ADMINISTRATIVO

El mayor porcentaje de la cuenca está dentro de la provincia de Chimborazo, ocupando 7 de los 10 cantones pertenecientes a la misma (Guano, Penipe, Riobamba, Chambo, Guamote, Colta y Alausí). El menor porcentaje está en la provincia de Tungurahua en los cantones San Pedro de Pelileo y Quero.

TABLA 2.1: Área de la cuenca correspondiente a cada provincia

Cantón	Provincia	Área que ocupa (km ²)	% cantón	% provincia
Guamote	CHIMBORAZO	967.75	79.58	54
Riobamba	CHIMBORAZO	934.79	95.42	
Colta	CHIMBORAZO	458.41	55.30	
Guano	CHIMBORAZO	425.42	92.40	
Penipe	CHIMBORAZO	370.23	100	
Alausí	CHIMBORAZO	173.71	10.57	
Chambo	CHIMBORAZO	164.37	100	
San Pedro de Pelileo	TUNGURAHUA	53.87	26.74	0.1
Quero	TUNGURAHUA	20.66	11.92	

FUENTE: INEC, 2012

2.1.3 ÁREAS PROTEGIDAS

2.1.3.1 Áreas naturales protegidas

Son espacios geográficos definidos con claridad, reconocidos y gestionados, mediante las leyes u otros tipos de medios eficaces buscando conseguir la conservación a largo plazo de la naturaleza y de sus servicios ecosistémicos y sus valores culturales asociados[Dudley, 2008]. Considerando esta definición podemos mencionar el Art.66 "El patrimonio de Áreas Naturales se halla constituido por el conjunto de áreas silvestres que destacan por su valor protector, científico, escénico, educacional, turístico y recreacional, por su flora y fauna o porque constituyen ecosistemas que contribuyen a mantener el equilibrio del medio ambiente" y el Art. 67 "Las áreas naturales para efecto de su administración se clasifican en: parque nacional, reserva ecológica, refugio de vida silvestre, reserva biológica, áreas nacionales de recreación, reserva de producción de fauna y área de caza y pesca"; mismos que se encuentran en la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre en su título II capítulo I.

Según esta clasificación, en la tabla 2.3 se presenta las Áreas naturales protegidas con su área y porcentaje de ocupación dentro de la cuenca.

TABLA 2.3: Área de la cuenca correspondiente a áreas naturales protegidas

Área natural protegida	Área	
	(<i>km</i> ²)	(%)
Reserva de Producción Faunística Chimborazo	84.53	2.40
Parque Nacional Sangay	185.64	5.27

FUENTE: MAE, 2015

2.1.3.2 Bosques y vegetación protectores

En la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre, en su título I capítulo III respecto a los recursos forestales, se menciona el artículo 6. "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 un factor de defensa de los recursos naturales y de obras de infraestructura de interés público."

En la tabla 2.4 se presenta los bosques protectores con sus respectivas áreas y el porcentaje que ocupan dentro de la cuenca.

TABLA 2.4: Área de la cuenca correspondiente a bosques protectores

Bosque protector	Área	
	(km ²)	(%)
El Cercado	0.52	0.01
Subcuenca alta del Río Blanco	48.85	1.39

FUENTE: MAE, 2015

Como se puede apreciar en la figura 2.3, aproximadamente un 9% de la cuenca forma parte de las áreas asignadas a la protección y conservación.

El mapa de áreas protegidas y bosques protectores se encuentra en el Anexo 1 MAPA03.

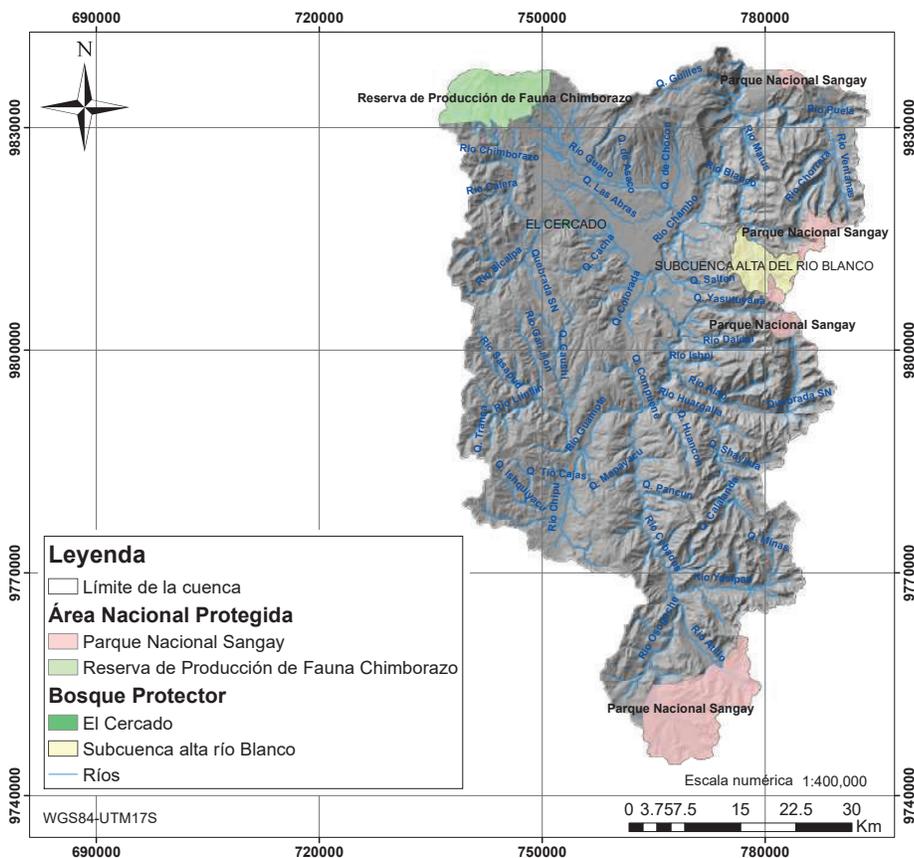


FIGURA 2.3: Distribución de áreas protegidas y bosques protectores en la cuenca del río Chambo

FUENTE: MAE, 2015

ELABORADO POR: Ana Quishpe

Se observa en la figura la particularidad que el Parque Nacional Sangay está dividido a lo largo de la cuenca de Sur a Norte, esto se debe a que se encuentra distribuido en las provincias de Cañar, Chimborazo, Morona Santiago y Tungurahua y se extiende a lo largo de la cordillera Oriental protegiendo páramos, bosques altoandinos y subtropicales, según la información obtenida del sistema nacional de áreas protegidas del Ecuador.

2.1.4 TEXTURA DEL SUELO

La fase sólida de un suelo contiene cantidades variables de partículas minerales y orgánicas, siendo las primeras las que prevalecen, mismas que se pueden clasificar como: grava (gruesa, media, fina), arena, limo y arcilla de acuerdo a su diámetro. Dicha clasificación se la puede determinar en laboratorio realizando una clasificación granulométrica de sus materiales sólidos. La textura del suelo corresponde a la distribución relativa de las fracciones de arena, limo y arcilla y está relacionada específicamente con la composición mineral, el área superficial específica y la porosidad.

El estudio de esta condición del suelo es necesaria ya que permitiría entender el comportamiento del suelo debido a su influencia en: el movimiento, la disponibilidad de agua, aireación, disponibilidad de nutrientes, resistencia a la penetración por las raíces y en las propiedades físicas relacionadas con la susceptibilidad del suelo a la degradación como por ejemplo la agregación [FAO, 2000].

Por otra parte, la textura influirá en la escorrentía e infiltración, por ejemplo: en suelos de textura media o moderadamente gruesa un alto porcentaje de lluvia se infiltra y muy poco se escurre y en suelos de textura fina se presenta menor infiltración y mayor escorrentía, ya que depende del diámetro de la partícula [FAO, 2000].

TABLA 2.5: Área de la cuenca correspondiente a textura del suelo

Textura	Área	
	(<i>km</i> ²)	(%)
Fina	269.94	7.66
Gruesa	685.55	19.45
Media	1903.62	54.01
Moderadamente gruesa	429.46	12.18
No aplicable	236.17	6.70

FUENTE: MAGAP-PRONAREG, 2002

De la tabla 2.5 se tiene que la mayor parte del suelo de la cuenca tiene textura media (54.01 %), lo que indica que la mayor parte de la precipitación se podría infiltrar. Las diferentes texturas se encuentran distribuidas alrededor de toda la cuenca: gruesa (19.45 %), moderadamente gruesa (12.18 %), fina (7.66 %) y zonas donde no existe información con un (6.70 %), como se observa en la figura 2.4. Además se presenta la ubicación de ciertos perfiles representativos de cada tipo de textura. El mapa de textura del suelo se encuentra en el Anexo 1 MAPA04.

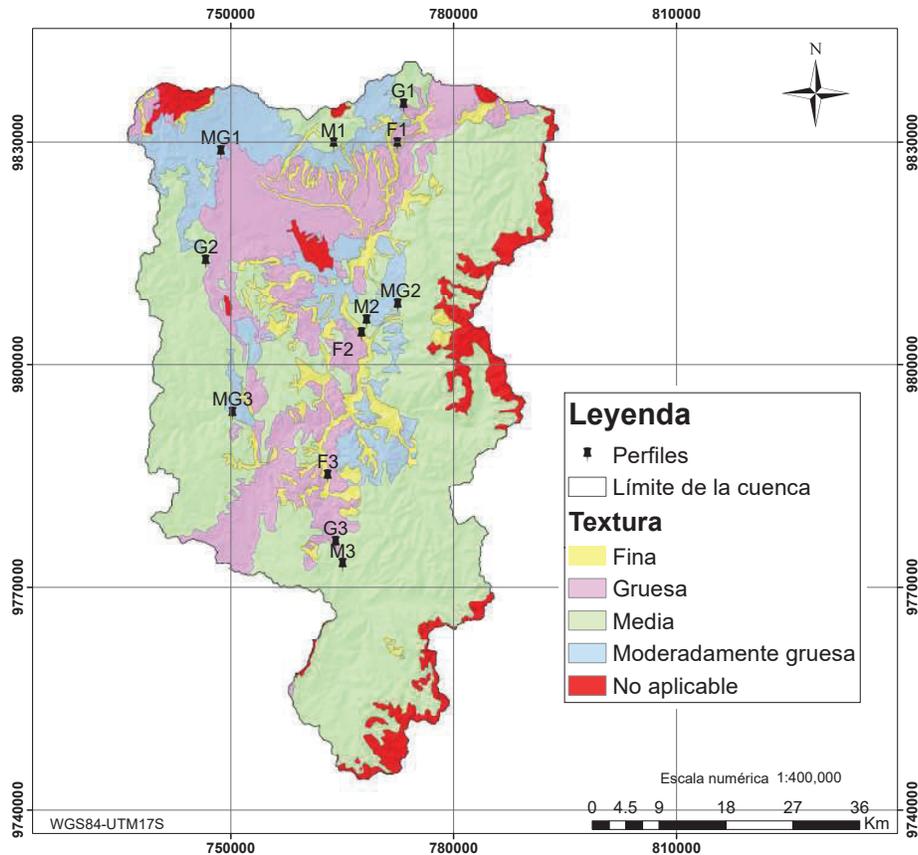


FIGURA 2.4: Textura del suelo en la cuenca del río Chambo
 FUENTE: MAGAP-PRONAREG, 2002; IEE, 2013
 ELABORADO POR: Ana Quishpe

Para un mejor entendimiento de las texturas representativas de la zona se presentan a continuación los perfiles indicados en la figura anterior, mismos que fueron obtenidos en el proyecto: Generación de información para la gestión del territorio a nivel nacional a escala 1:25000.



FIGURA 2.5: Perfiles del suelo correspondientes a textura fina
 FUENTE: IEE, 2013
 ELABORADO POR: Ana Quishpe



FIGURA 2.6: Perfiles del suelo correspondientes a textura media
 FUENTE: IEE, 2013
 ELABORADO POR: Ana Quishpe



FIGURA 2.7: Perfiles del suelo correspondientes a textura moderadamente gruesa
 FUENTE: IEE, 2013
 ELABORADO POR: Ana Quishpe



FIGURA 2.8: Perfiles del suelo correspondientes a textura gruesa
 FUENTE: IEE, 2013
 ELABORADO POR: Ana Quishpe

En las figuras 2.5, 2.6, 2.7 y 2.8 se presentan los perfiles más representativos correspondientes a las texturas antes mencionadas; forman parte de un total de 228 puntos existentes en la zona. La profundidad máxima de suelo es de 130cm. En las figuras es posible apreciar que en la textura fina la cantidad de material granular es menor comparado con la textura gruesa.

2.1.5 TAXONOMÍA

La taxonomía también conocida como proceso de clasificación se la realiza en función de las distintas propiedades de los suelos, ayudando a la diferenciación entre suelos minerales y orgánicos; siempre y cuando se hayan definido las condiciones mínimas necesarias para clasificarlos dentro de su respectivo grupo. Dentro de la taxonomía existen 6 categorías: orden, suborden, gran grupo, subgrupo, familia y serie [Staff, 1999].

Para efecto de una clasificación general, es decir, considerando las propiedades principales se han establecido 12 órdenes: Alfisol, Andisol, Aridisol, Entisol, Gelisol, Histosol, Inceptisol, Mollisol, Oxisol, Spodosol, Ultisol y Vertisol [Staff, 1999].

TABLA 2.6: Área de la cuenca correspondiente a taxonomía del suelo

Taxonomía	Área	
	(<i>km</i> ²)	(%)
Alfisol	1.694	0.05
Andisol	1364.559	38.71
Cuerpo de agua natural	14.251	0.40
Entisol	536.615	15.22
Histosol	61.028	1.73
Inceptisol	563.696	15.99
Inceptisol+Entisol	104.408	2.95
Molisol	764.807	21.70
Nieve	34.354	0.97
No aplicable	25.403	0.72
Tierra Miscelánea	54.284	1.54

FUENTE: MAGAP-PRONAREG,IEE

Alrededor de toda la cuenca se distribuyen varios tipos de suelos: en su mayoría Andisol (38.71%), mismos que se caracterizan por la presencia de ceniza volcánica y poseen un buen drenaje natural, en su mayoría tienen texturas franco y franco arcillosas [Staff, 1999], en menor cantidad: Entisol (15.22%), Inceptisol (15.99%) y Molisol (21.70%) (figura2.9). El mapa de taxonomía del suelo se encuentra en el Anexo 1 MAPA05.

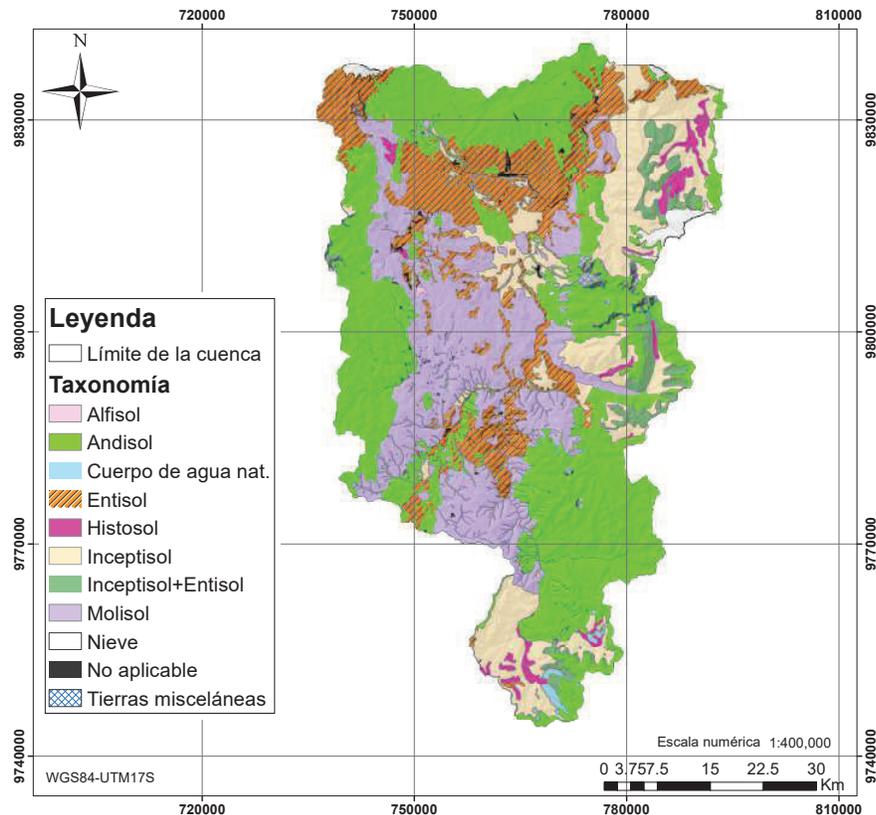


FIGURA 2.9: Taxonomía del suelo en la cuenca del río Chambo
 FUENTE: MAGAP-PRONAREG, 2002; IEE, 2013
 ELABORADO POR: Ana Quishpe

2.1.6 COBERTURA VEGETAL

La vegetación cumple un papel muy importante en la protección de las pendientes y el establecimiento de los términos del balance hídrico, principalmente en la evapotranspiración y el escurrimiento superficial. Adicionalmente, es considerada un factor regulador en los procesos hidrológicos porque actúa como barrera capaz de detener las precipitaciones variando su flujo y distribución. [Pourrut et al., 1995, Ramos et al., 2011]

Según la tabla 2.7, el mayor porcentaje de la cuenca lo ocupa el Páramo (37.41 %), le sigue los cultivos anuales entre los que tenemos: acelga, ajo, alcachofa, arveja, brócoli, cebada, cebolla blanca y colorada, centeno, chocho, cilantro, col, coliflor, haba, lechuga, maíz, papa, etc con el 14.29 % y en tercer lugar el pastizal con el 12.40 %. Los demás tipos de cobertura vegetal ocupan alrededor del 35 % del área total de la cuenca [MAGAP,2002].

TABLA 2.7: Área de la cuenca correspondiente a cobertura vegetal

Cobertura vegetal	Área	
	(<i>km</i> ²)	(%)
Área poblada	36.495	1.04
Área sin cobertura	62.76	1.78
Bosque natural	83.85	2.38
Cuerpo de agua natural	18.07	0.51
Cultivo anual	503.79	14.29
Cultivo permanente	53.78	1.53
Cultivo semi-permanente	0.35	0.01
Glaciar	123.29	3.50
Infraestructura	2.90	0.08
Mosaico agropecuario	375.82	10.66
Otras tierras agrícolas	4.22	0.12
Páramo	1318.77	37.41
Pastizal	437.18	12.40
Plantación forestal	115.29	3.27
Vegetación arbustiva	79.65	2.26
Vegetación arbustiva y herbácea	96.43	2.74
Vegetación herbácea	212.11	6.02

FUENTE: MAGAP, 2002; IEE, 2013

La existencia de vegetación disminuye la escorrentía y fomenta la infiltración. De la figura 2.10 se observa que el páramo se encuentra rodeando la cuenca; y por lo tanto es una zona de almacenamiento y regulación del flujo de agua. La presencia de un 10.66% de mosaico agropecuario (pasto, vegetación, cultivos, entre otros) no permite inferir la capacidad de infiltración en esa zona debido a la variedad de cobertura.

El mapa de cobertura vegetal se encuentra en el Anexo 1 MAPA06.

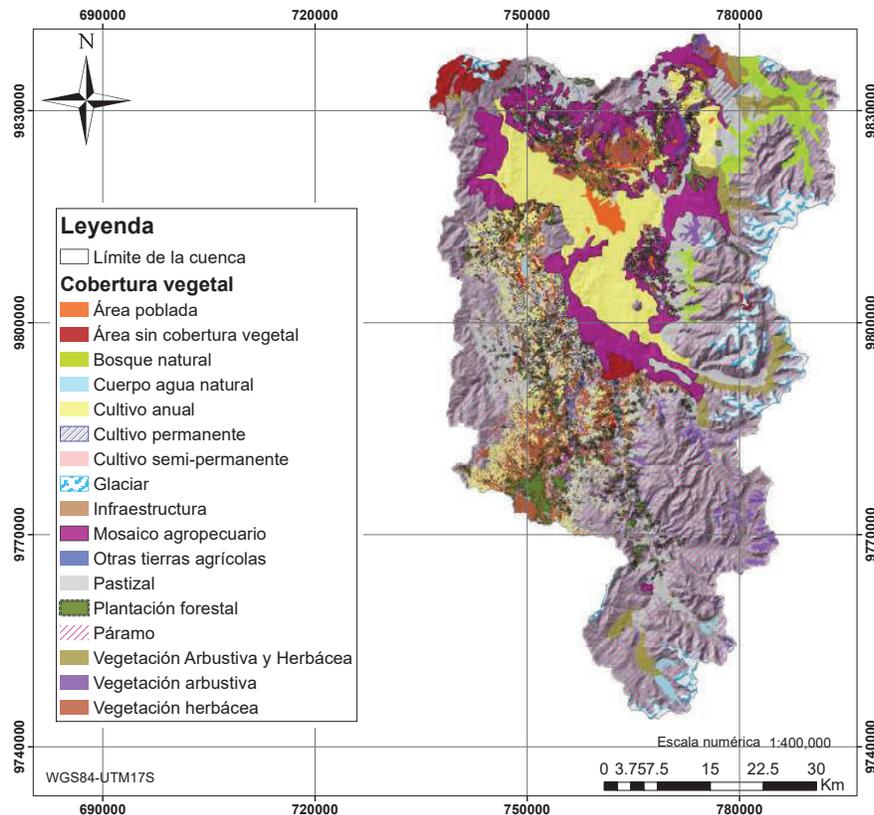


FIGURA 2.10: Cobertura vegetal en la cuenca del río Chambo
 FUENTE: MAGAP, 2002
 ELABORADO POR: Ana Quishpe

2.1.7 USO DEL SUELO

Tener definidos los distintos usos que se da al suelo es de suma importancia para poder interpretar cómo actúa la cuenca ante la presencia de la precipitación, por ejemplo, en la zona urbana se generan tasas de escorrentía más altas que en las zonas cultivadas, debido a que las zonas urbanas son más impermeables [Bedient et al., 2008].

TABLA 2.8: Área de la cuenca correspondiente a uso del suelo

Uso del suelo	Área	
	(km^2)	(%)
Agrícola	524.986	14.89
Agropecuario Mixto	375.815	10.66
Antrópico	38.672	1.10
Avícola	0.052	0.001
Conservación y Producción	199.309	5.65
Conservación y Protección	1580.176	44.83
Cuerpo de agua	18.075	0.51
Forestal	5.937	0.17
Pecuario	486.662	13.81
Protección o Producción	109.352	3.10
Tierras improductivas	186.047	5.28

FUENTE: MAGAP, 2002; IEE, 2013

En la tabla 2.8 se presentan las áreas y porcentajes del uso del suelo dentro de la cuenca, y en la figura 2.11 se muestra a detalle clasificados con su respectivo color. El mapa de uso del suelo en la cuenca se encuentra en el Anexo 1 MAPA07.

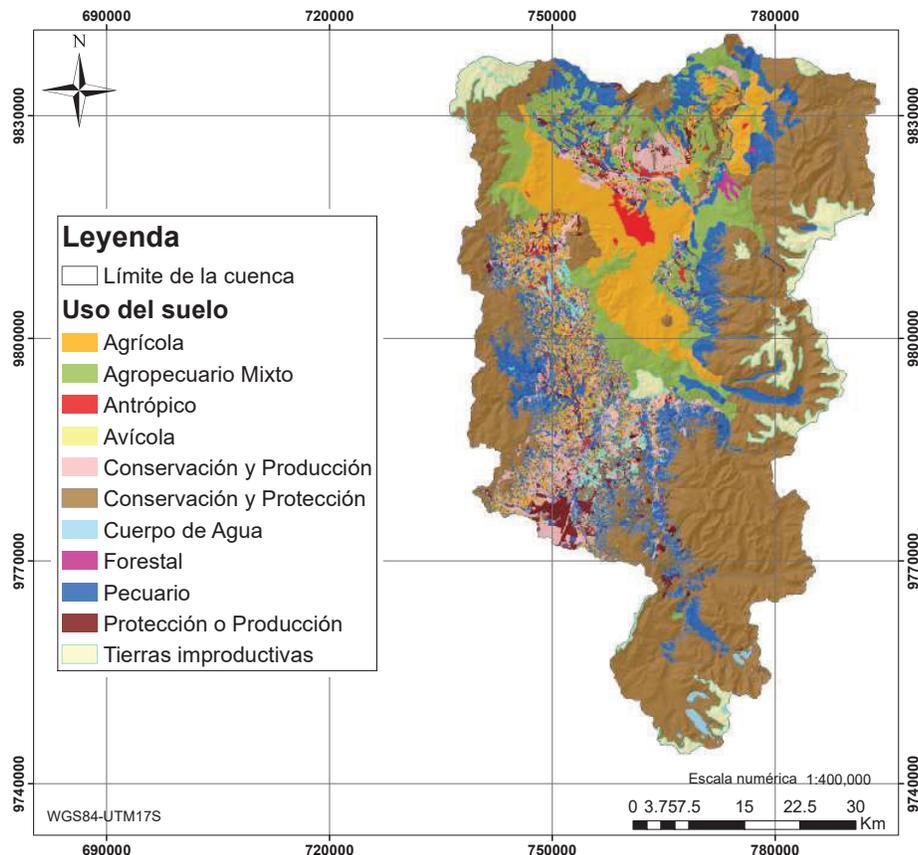


FIGURA 2.11: Uso del suelo en la cuenca del río Chambo
 FUENTE: MAGAP, 2002, IEE, 2013
 ELABORADO POR: Ana Quishpe

El principal uso de la cuenca corresponde a Conservación y Protección(44.83 %), zona que se encuentra cubierta en su mayoría de Páramo como se indicó en la sección de Cobertura Vegetal, se considera como zona de conservación y protección debido a los aportes que realiza el Comité de la Subcuenca del río Chambo para su conservación. El área restante corresponde a usos: Agrícola, Agropecuario, Pecuario, entre otras [MAGAP,2002].

2.1.8 GEOLOGÍA

La cuenca del río Chambo está ubicada en la parte norte de los Andes, en el estrecho callejón interandino, limitada al E y W por las fallas Peltetec y estribaciones montañosas respectivamente. Esta zona está formada por la cordillera Real y Occidental, cuyos basamentos son rocas metamórficas y depósitos alóctonos provenientes del Chimborazo [Litherland et al., 1994].

Dentro de la zona de estudio existen fallas regionales: la falla Peltetec ubicada al Este, que separa las rocas oceánicas de las continentales pertenecientes a la división Guamote

[Coltorti and Ollier, 1999]; dicha falla está relacionada con la zona de cizallamiento visualizada en la vía Pungalá-Alao (ubicada al Sur), esta estructura actuaría como límite tectónico al norte entre la unidad Guamote y Peltetec, y al sur limita a la unidad Chiguinda-Tres lagunas y Guamote. En la figura 2.12 se presenta la ubicación de las fallas dentro de la cuenca.

El mapa de fallas se encuentra en el Anexo 1 MAPA08.

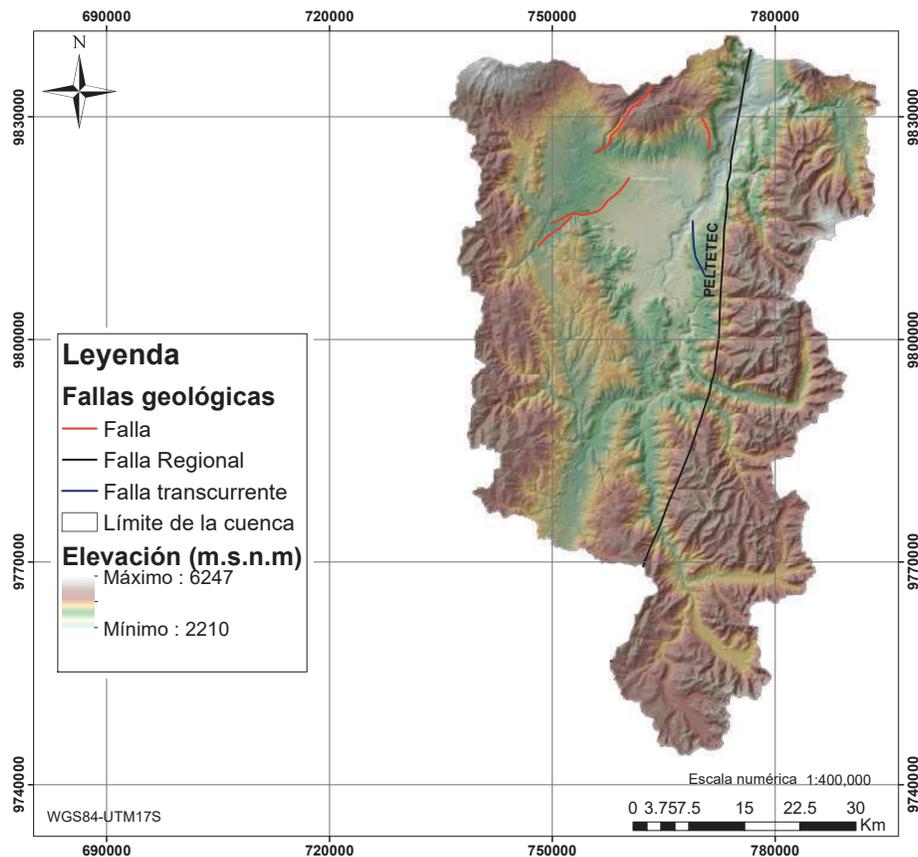


FIGURA 2.12: Fallas geológicas en la cuenca del río Chambo

FUENTE: IGEPN, 2011

ELABORADO POR: Ana Quishpe

En la cuenca del río Chambo se encuentran los volcanes: Chimborazo, Carihuairazo, Igualata, Tungurahua y El Altar. El Tungurahua se encuentra en actividad iniciando su periodo eruptivo en 1999 hasta el presente. El Chimborazo es considerado potencialmente activo siendo su última actividad en el siglo V-VII. El Carihuairazo, Igualata y El Altar están dentro del grupo de volcanes extintos o dormidos sin existir registro de sus erupciones al ser poco estudiados [Bernard and Andrade, 2011].

TABLA 2.9: Área de la cuenca correspondiente a geología de la zona

Geología	Área	
	(<i>km</i> ²)	(%)
Depósito lagunar	10.17	0.29
Depósito aluvial	74.46	2.11
Depósito coluvial	35.04	0.99
Depósito coluvio-aluvial	102.73	2.91
Depósito fluvio-lacustre	3.51	0.10
Depósito glaciar	149.41	4.24
Depósito lahárico	13.86	0.39
Depósito volcánico Sangay	0.34	0.01
Derrumbe	6.19	0.18
Fm. Alausí	83.87	2.38
Fm. Cangahua	298.93	8.48
Fm. Macuchi	1.45	0.04
Fm. Palmira	25.61	0.73
Fm. Pisayambo	29.06	0.82
Fm. Riobamba	130.94	3.71
Fm. Tarqui	378.47	10.74
Fm. Yaruquíes	4.41	0.13
Fm. Yungilla	69.92	1.98
Lavas Tungurahua	67.96	1.93
Lavas Carihuairazo	2.89	0.08
Lavas jóvenes Chimborazo	4.08	0.12
Lavas y tobas El Altar	27.09	0.77
No aplicable	22.60	0.64
PANE	64.17	1.82
Piroclastos Chimborazo	21.65	0.61
Rocas basálticas	1.60	0.05
Rocas ígneas	8.18	0.23
Rocas metamórficas	4.28	0.12
S. Llanganates	56.43	1.60
S. Metaturbiditas	0.21	0.01
S. volcánica	5.03	0.14
Sed. río Chambo	6.90	0.20
Terrazas	45.93	1.30
U. Alao-Paute	523.12	14.84
Volc. Chimborazo	122.14	3.47
Volc. El Altar	496.25	14.08
Volc. Igualata	187.15	5.31
Volc. Pisayambo	5.52	0.16
Volc. Sicalpa	433.18	12.29

FUENTE: MAGAP-SIGAGRO, 2005; IEE, 2013

A continuación se muestra un mapa con las formaciones geológicas dentro de la zona de estudio.

El mapa de la geología se encuentra en el Anexo 1 MAPA09.

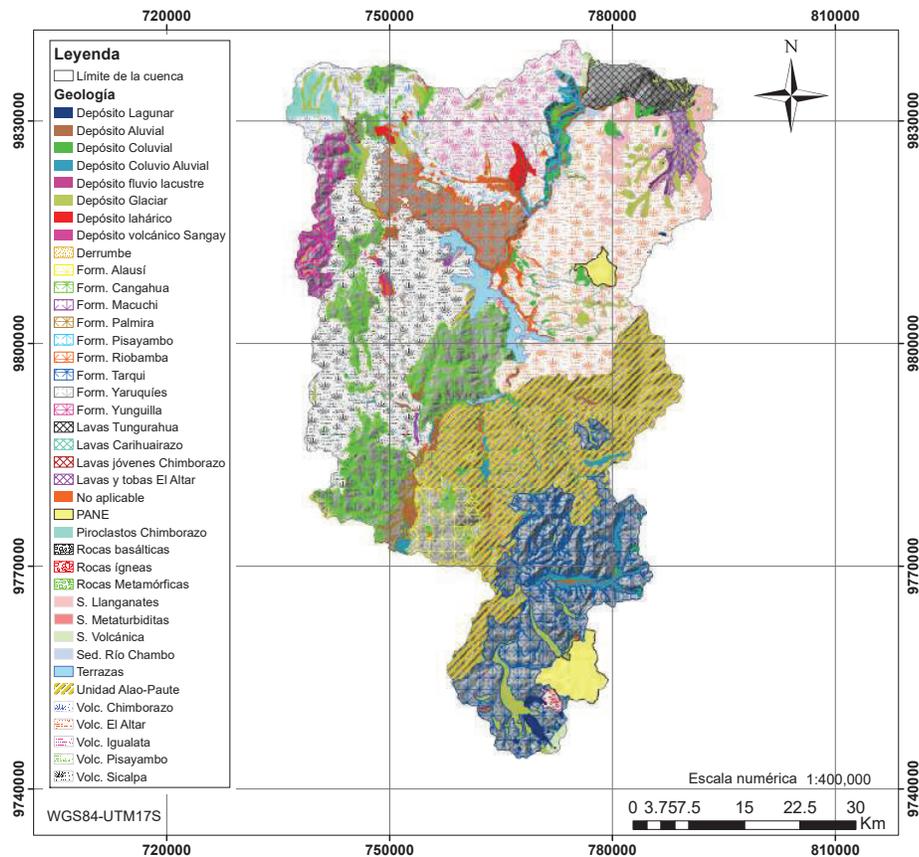


FIGURA 2.13: Formaciones geológicas en la cuenca del río Chambo
 FUENTE: MAGAP, 2005; IEE, 2013
 ELABORADO POR: Ana Quishpe

2.1.9 HIDROELÉCTRICAS

Los proyectos hidroeléctricos comprenden presas, reservorios, canales; estos alteran la hidrología y limnología de los ríos, por este motivo es necesario conocer la existencia de los mismos en la zona.

Existen 3 hidroeléctricas en la cuenca del río Chambo: río Blanco, Alao y Chimborazo. Las dos primeras son administradas por la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. y la ubicada en el río Chimborazo pertenece a la empresa Cemento Chimborazo. La más grande genera 10.3 MW y es la ubicada en el río Alao.

A continuación se muestra un mapa con la ubicación de las hidroeléctricas existentes y las que están en proceso de inventario dentro de la zona de estudio. El mapa de las hidroeléctricas se encuentra en el Anexo 1 MAPA10.

2.2.1.2 Perímetro

Es la longitud del límite exterior de la cuenca y se lo mide siguiendo el contorno de su divisoria de aguas. Se mide en *km*.

2.2.1.3 Forma de la cuenca

Es una característica importante ya que relaciona el tiempo que toma el agua en llegar desde los límites extremos hasta la salida. Los índices más empleados son:

- Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (K_c): relaciona el perímetro con la longitud de una circunferencia de igual área que de la cuenca.

$$K_c = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2.1)$$

donde:

P : perímetro de la cuenca (*km*)

A : área de drenaje de la cuenca (km^2)

Para una cuenca circular el coeficiente mínimo es 1 y mientras el valor obtenido sea próximo a la unidad la tendencia a las crecientes es mayor. Este coeficiente varía dependiendo de la irregularidad de la cuenca [Monsalve, 1995].

- Factor de forma (K_f): relaciona el ancho medio (se obtiene el área para la longitud axial de la cuenca) y la longitud axial (se mide siguiendo el curso de agua más largo desde la desembocadura hasta la cabecera) de la cuenca. Resumiendo, será la relación entre el área y el cuadrado de la longitud.

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (2.2)$$

donde:

L : longitud del cauce principal (*km*)

A : área de drenaje de la cuenca (km^2)

Valores bajos indica que la cuenca está menos sujeta a crecientes [Monsalve, 1995].

2.2.1.4 Sistema de drenaje

Está formado por el río principal y sus afluentes, también se la conoce como red hidrográfica y es analizada mediante los siguientes parámetros:

- Orden de las corrientes de agua: indica el grado de ramificación o bifurcación dentro de la cuenca. Los pequeños canales sin tributario son de primer orden, al unirse dos corrientes de primer orden aparecen las corrientes de segundo orden, las de tercer orden aparecerán cuando dos de segundo orden se junten, y así sucesivamente [Monsalve, 1995].

- Densidad de drenaje: se define como la longitud de corrientes (suma de todas las corrientes de agua dentro de la cuenca) por unidad de área total.

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (2.3)$$

donde:

Lt : longitud total de las corrientes de agua (km)

A : área de drenaje de la cuenca (km^2)

Cuencas con drenaje pobre presentan valores de $0.5 km/km^2$ y hasta $3.5 km/km^2$ para cuencas bien drenadas. Los valores altos indican que la cuenca responde rápidamente ante una tormenta y el suelo se erosiona con facilidad o es relativamente impermeable, mientras que los valores pequeños se observan en cuencas con suelos resistentes a la erosión o muy permeables [Monsalve, 1995, Aparicio Mijares, 1989].

- Extensión media de la escorrentía superficial: se define como la distancia media que la lluvia tendría que escurrir sobre los terrenos de una cuenca en caso que la escorrentía se produzca en línea recta donde la lluvia cayó hasta el punto más cercano al lecho de una corriente cualquiera de la cuenca [Monsalve, 1995].

$$l = \frac{A}{4Lt} \quad (2.4)$$

donde:

Lt : longitud total de las corrientes de agua (km)

A : área de drenaje de la cuenca (km^2)

- Sinuosidad de las corrientes de agua: es la relación entre la longitud del cauce principal L (el cauce único de mayor longitud desde su nacimiento hasta el cierre de la cuenca) y la longitud del valle del río principal medida en línea curva o recta La . Este valor indica una medida de velocidad de escorrentía del agua a lo largo de la corriente.

$$S = \frac{L}{La} \quad (2.5)$$

Valores menores a 1.25 indican baja sinuosidad, es decir, río con alineamiento recto [Monsalve, 1995].

2.2.2 Características del relieve

Los parámetros más utilizados son:

- Pendiente de la cuenca: esta característica es capaz de controlar en gran medida, la velocidad con que se produce la escorrentía superficial y afecta el tiempo que tarda el agua de la lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red

de drenaje. Es el promedio de las pendientes que se encuentran en el interior de los límites de la cuenca [Monsalve, 1995].

- Curva hipsométrica: corresponde a la representación gráfica del relieve de la cuenca (variación de la elevación del terreno de la cuenca con referencia la nivel medio del mar). Sirve para definir las características fisiográficas de la cuenca hidrográfica.
 - Las cuencas con ríos jóvenes presentan un gran potencial erosivo.
 - las cuencas con ríos maduros se encuentran en estado de equilibrio.
 - Las cuencas con ríos viejos son sedimentarias.

Para su obtención se relaciona el valor de la cota, en las ordenadas, con el porcentaje del área definida entre las curvas de nivel cuyas cotas se han definido en las ordenadas; dicho valor acumulado corresponderá al eje las abscisas. En la tabla 2.10 se observa un ejemplo teórico de curva hipsométrica con su respectivo gráfico en la figura 2.15.

TABLA 2.10: Ejemplo teórico de cálculo para la curva hipsométrica

Cota		Área	Área	Área acumulada
mínima	máxima	(km^2)	(%)	(%)
940	920	1.92	1.08	1.08
920	900	2.90	1.64	2.72
900	880	3.68	2.08	4.80
880	860	4.07	2.30	7.09
860	840	4.60	2.60	9.69
840	820	2.92	1.65	11.33
820	800	19.85	11.20	22.53
800	780	23.75	13.40	35.93
780	760	30.27	17.08	53.01
760	740	32.09	18.10	71.11
740	720	27.86	15.72	86.83
720	700	15.45	8.72	95.55
700	680	7.89	4.45	100

ELABORADO POR: Ana Quishpe

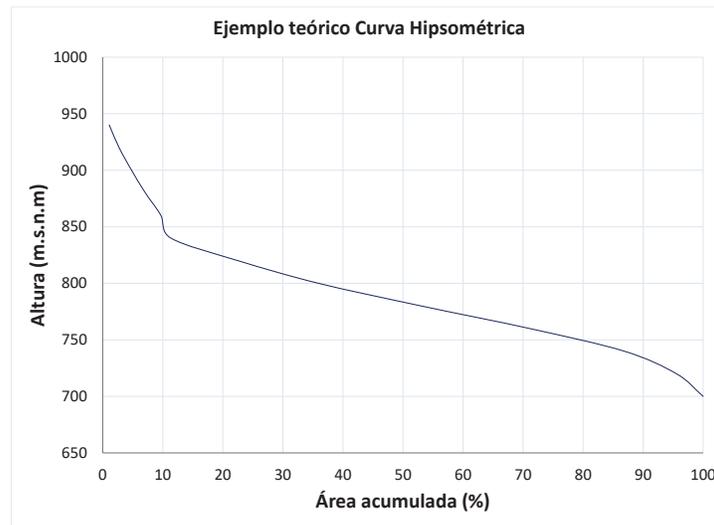


FIGURA 2.15: Ejemplo teórico de curva hipsométrica (tabla 2.10)
ELABORADO POR: Ana Quishpe

En la figura 2.16 se presentan ejemplos generales de curvas hipsométricas según la edad del río. Para efecto de comparación entre varias cuencas, se usan valores relativos en los ejes (%).

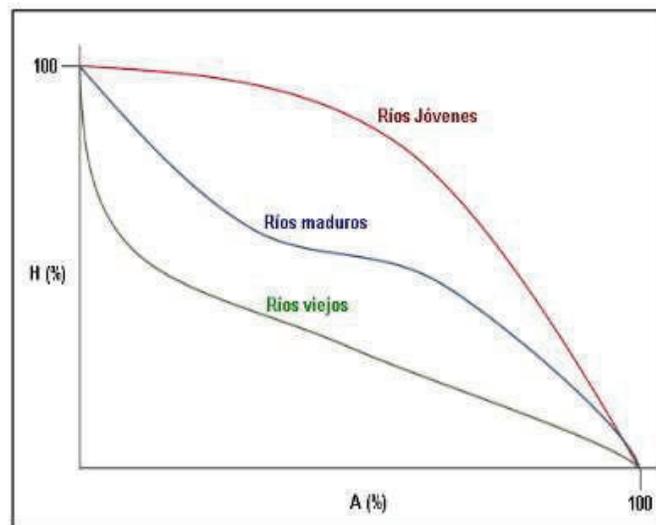


FIGURA 2.16: Cambio de forma de la curva hipsométrica con la edad del río
FUENTE: [Ibáñez Asensio et al., 2009]

En la figura 2.17 y 2.18 se presentan ejemplos típicos de curvas hipsométricas dependiendo de las características fisiográficas de la cuenca.

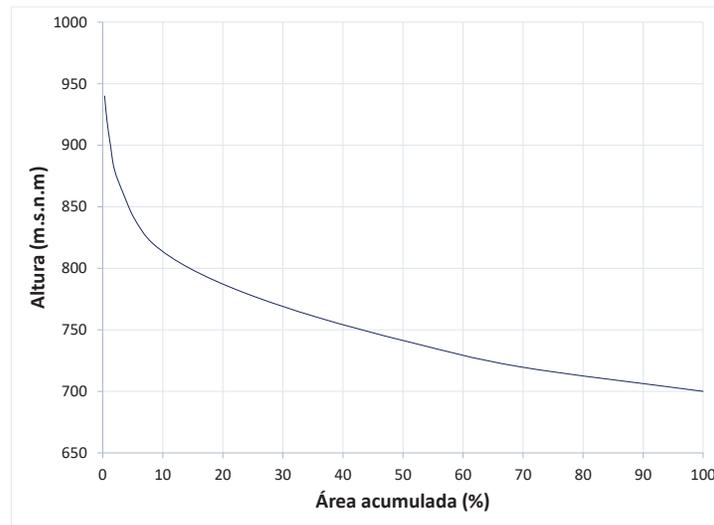


FIGURA 2.17: Cuenca con valles extensos y cumbres escarpadas
ELABORADO POR: Ana Quishpe

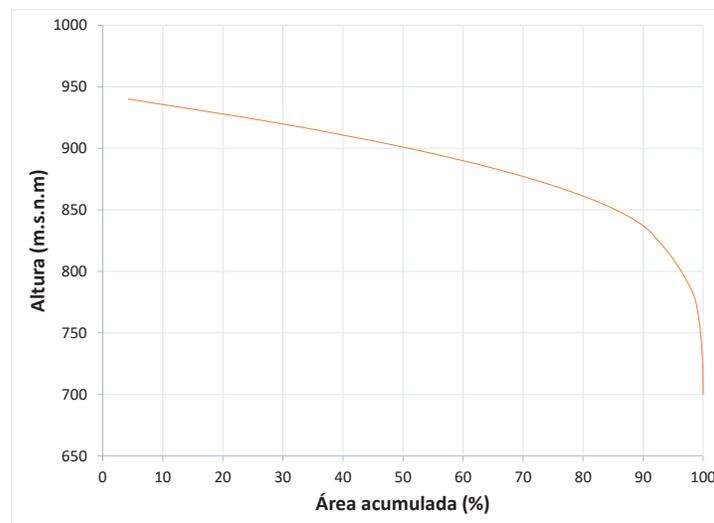


FIGURA 2.18: Cuenca con valles profundos y sabanas planas
ELABORADO POR: Ana Quishpe

- Elevación media: presenta una importante influencia sobre la precipitación, pérdidas de agua por evaporación y transpiración y a consecuencia sobre el caudal medio; lo cual incide directamente en la existencia de microclimas y hábitats característicos de

acuerdo a las condiciones locales dominantes [Monsalve, 1995, Fuentes, 2004].

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n (Cotamedia_i * Area_i)}{\sum_{i=1}^n (Area_i)} \quad (2.6)$$

Donde n es el intervalo de clase.

- Pendiente del cauce principal: es uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta de una cuenca a una tormenta, puesto que influye en la velocidad de escurrimiento. Por lo tanto, una mayor pendiente implica mayor velocidad [Monsalve, 1995, Aparicio Mijares, 1989].
 - Pendiente media (S1): es la relación entre el desnivel existente entre los extremos del cauce y la longitud medida en planta del mismo.

$$S1 = \frac{h_1 - h_0}{L_1 - L_0} \quad (2.7)$$

donde:

h_1 : Punto más alto del perfil del río

h_0 : Punto más bajo del perfil del río

L_1 : Longitud final a lo largo del eje del río

L_0 : Longitud inicial a lo largo del eje del río

- Pendiente media ponderada (S2): para obtenerlo se traza una línea, tal que el área comprendida entre esa línea y los ejes coordenados sea igual a la comprendida entre la curva del perfil del río y dichos ejes.

$$S2 = \frac{h_2 - h_0}{L_1 - L_0} \quad (2.8)$$

donde:

h_2 : Punto para obtener un triángulo cuya área sea la misma que el área bajo el perfil del río

h_0 : Punto más bajo del perfil del río

L_1 : Longitud final a lo largo del eje del río

L_0 : Longitud inicial a lo largo del eje del río

Tanto la pendiente media como la pendiente media ponderada se pueden observar en la figura 2.19 para un mejor entendimiento de los términos.

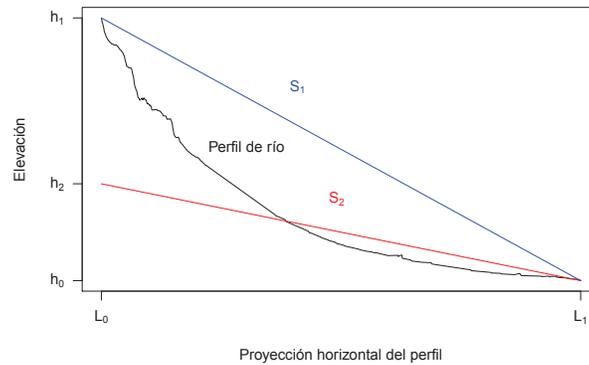


FIGURA 2.19: Pendientes S1 y S2 de la corriente principal
ELABORADO POR: Ana Quishpe

- Pendiente equivalente constante: genera una idea sobre el tiempo de recorrido del agua a lo largo de la extensión del perfil del río.

$$S3 = \left[\frac{\sum l_i}{\sum l_i / S_i^{0,5}} \right]^2 \quad (2.9)$$

donde:

l_i : Distancia inclinada entre cotas en un tramo

S_i : Pendiente de un tramo

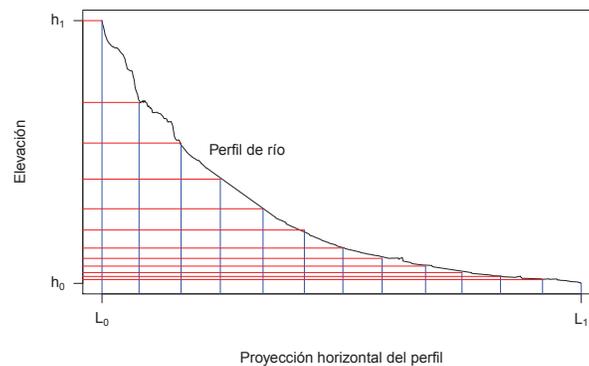


FIGURA 2.20: Pendiente S3 de la corriente principal
FUENTE: [Horna Kuonqui, 2016]

2.2.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS SUBCUENCAS

En la zona de estudio se han instalado anteriormente varias estaciones hidrometeorológicas pero según información proporcionada por el INAMHI algunas de ellas han sido destruidas por avalanchas y crecidas de los ríos. En algunos casos, debido a la dificultad de acceso no se ha podido continuar con la lectura de los datos. Según la cantidad y calidad de la información se seleccionaron 49 estaciones meteorológicas de las cuales 25 se encuentran inactivas y 24 activas. También tenemos 10 estaciones hidrológicas (7 activas, 3 inactivas)

que cuentan con suficiente información mensual, misma que ha sido facilitada por el INAMHI.

Las estaciones hidrológicas que se detallan en la tabla 2.11 son las que se usaron como punto de cierre de las subcuencas de interés (figura 2.21) ya que se encuentran en estado Activo, existe la estación H0783 que a pesar de estar en estado activo no fue considerada ya que la subcuenca perteneciente a la misma forma parte de la subcuenca de la estación H0790.

El correspondiente mapa de subcuencas correspondientes a las estaciones hidrológicas activas se encuentra en el Anexo 1 MAPA11.

TABLA 2.11: Estaciones de cierre de las subcuencas de estudio

CÓDIGO	ESTACIÓN	ÁREA (km^2)	PERÍMETRO (km)
H0783	Ozogoche en los Lagos	66.47	46.56
H0786	Guamote AJ Cebadas	604.89	154.06
H0787	Alao en Hda. Alao	117.64	60.22
H0788	Puela AJ Chambo	210.07	71.99
H0789	Guargualla AJ Cebadas	189.49	70.55
H0790	Cebadas AJ Guamote	707.40	172.67
H0791	Balsacón en San Andrés	22.62	33.67
H0826	Chambo en Hda. Cahuaji	3523.22	380.95

ELABORADO POR: Ana Quishpe

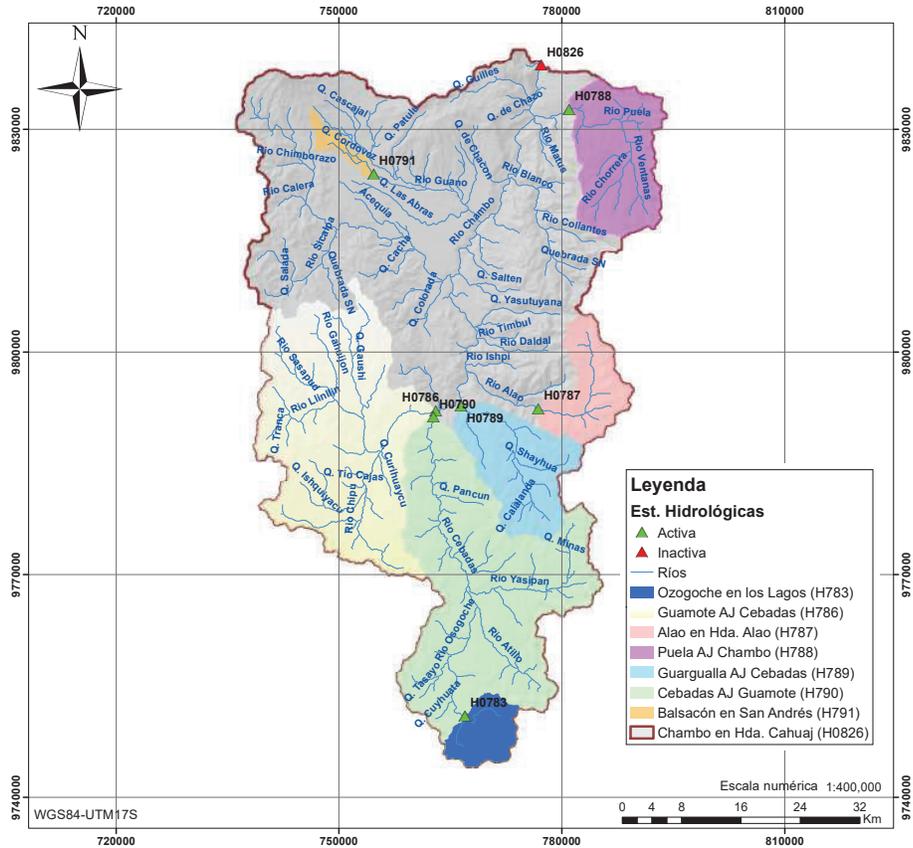


FIGURA 2.21: Subcuencas dentro de la cuenca del río Champo
ELABORADO POR: Ana Quishpe

2.2.4 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS

Después de analizar las subcuencas, con ayuda de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se presenta en la tabla 2.12 las principales características físico- morfológicas.

Además del área de drenaje y el perímetro se puede destacar:

- Las subcuencas correspondientes a las estaciones Cebadas AJ Guamote, Balsacón en San Andrés y Chambo en Hda. Cahuaji son las más irregulares debido a que presentan los valores más altos del Coeficiente de compacidad (Kc).
- La subcuenca de la estación Balsacón en San Andrés presenta el factor de forma (Kf) más bajo (0.11), por lo que consideramos esta subcuenca como la de forma más alargada, mientras que la subcuenca Guamote AJ Cebadas presenta el valor más alto (0.40).
- Los valores de la densidad de drenaje oscilan entre 1.01 y 1.72 (km/km^2) por lo que se considera a las subcuencas como medianamente drenadas, lo que significa que son capaces de responder rápidamente ante una tormenta.
- La subcuenca de la estación Balsacón en San Andrés presenta el valor más alto de sinuosidad (1.93), es decir, a su cauce principal se lo considera sinuoso.

- La subcuenca de Balsacón en San Andrés es la que tiene menor elevación media, y por lo tanto la temperatura media de dicha cuenca será más alta que la temperatura media de la subcuenca de Alao en Hda. Alao que tiene el mayor valor de elevación media; se ha realizado la comparación entre temperatura y elevación, debido a que la elevación (altitud) es uno de los factores más notorios en el condicionamiento de la temperatura.
- La cuenca de Alao en Hda. Alao es la que tiene la mayor pendiente media, lo que significa que la velocidad de la escorrentía superficial será mayor que en las otras cuencas.

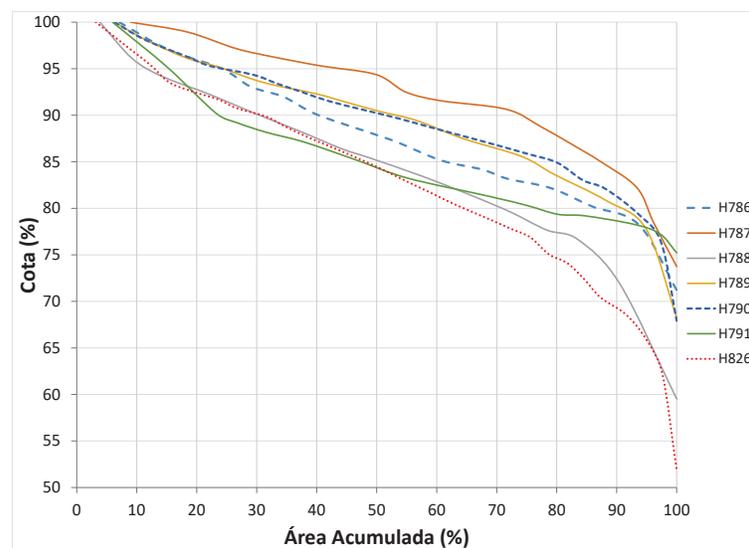


FIGURA 2.22: Curvas hipsométricas correspondientes a las subcuencas de estudio
ELABORADO POR: Ana Quishpe

- Según la forma de las curvas hipsométricas de las subcuencas (figura 2.22) se puede determinar que en su mayoría tienden a ser cuencas con ríos jóvenes, lo que indica que presentan un alto potencial erosivo. La cuenca que demuestra una mayor tendencia a ser erosiva es la H0787- Alao en Hda. Alao.

Las cuencas Puela AJ Chambo (H0788) y Chambo en Hda. Cahuaji (H0826) son cuencas con ríos maduros, por lo tanto están en estado de equilibrio; en la parte más alta se observa que la tendencia no es similar a la de las cuencas jóvenes y esto se debe a la presencia de las distintas elevaciones que rodean la cuenca.

La cuenca H0826 es la que tiene mayor tendencia a mantenerse en estado de equilibrio, debido a la presencia de zonas bajas donde podría ocurrir sedimentación.

- En la figura 2.23 se presentan los perfiles longitudinales de los ríos principales de las subcuencas mencionadas anteriormente. Los perfiles fueron obtenidos en base al modelo digital de elevación SRTM de 90m y a las longitudes de los cauces principales

de las subcuencas. Se puede apreciar que los ríos principales de las cuencas: Alao en Hda. Alao (H0787), Cebadas AJ Guamote (H0790) y Balsacón en San Andrés (H0791) son los de mayor pendiente.

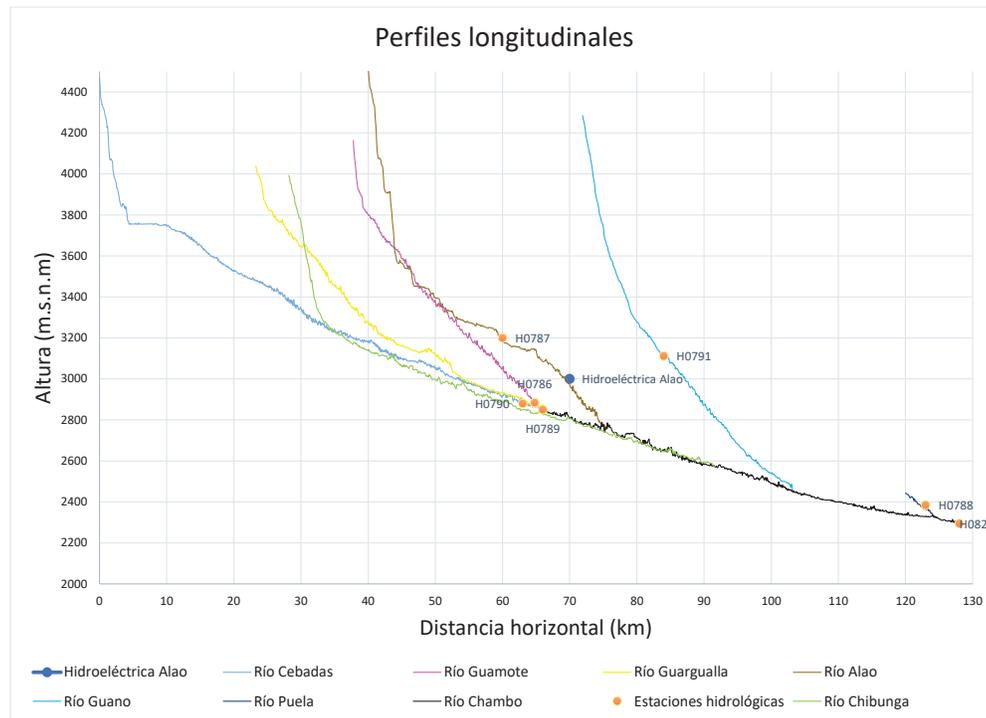


FIGURA 2.23: Perfiles longitudinales de los cauces principales de las subcuencas de estudio
ELABORADO POR: Ana Quishpe

- Según la figura 2.24 se puede observar que el porcentaje de pendientes en la mayor parte del área de la cuenca está en el rango de 20-40 %, las pendientes máximas se observan en las partes más altas de las elevaciones anteriormente mencionadas. Esta variación de pendientes es característica de la zona montañosa.

El correspondiente mapa de pendientes se encuentra en el Anexo 1 MAPA12.

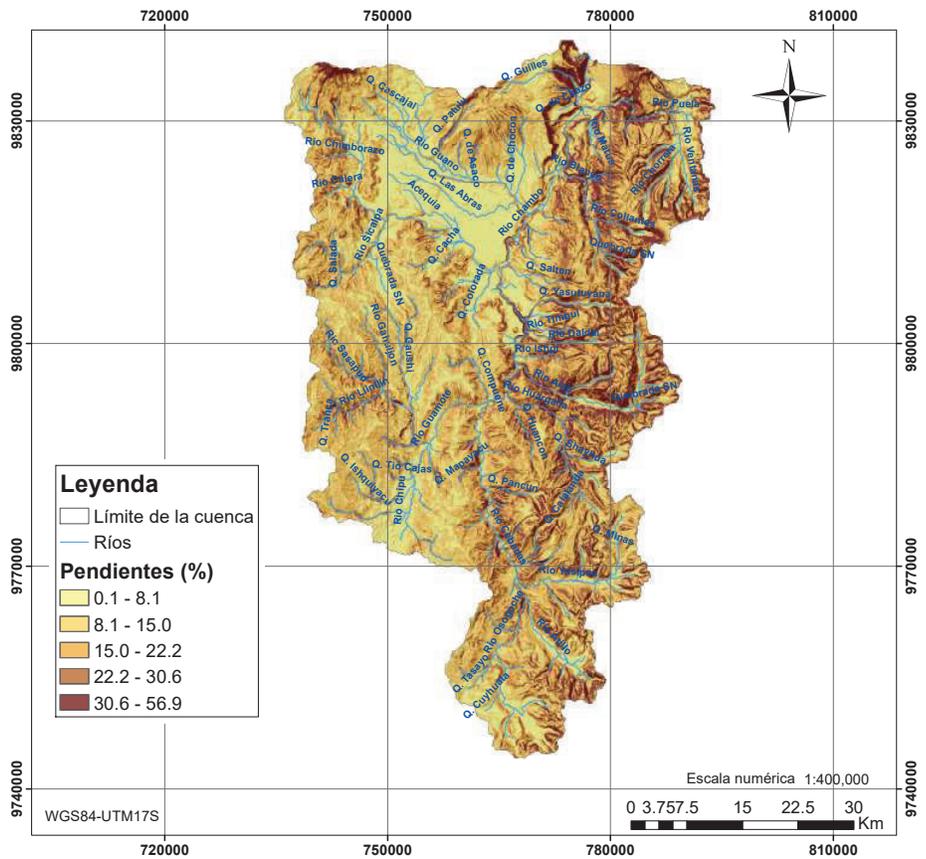


FIGURA 2.24: Pendientes de la cuenca de estudio
ELABORADO POR: Ana Quishpe

TABLA 2.12: Principales características físico-morfológicas de la cuenca principal y subcuencas de estudio

Código	Estación	$A(km^2)$	$P(km)$	$L(km)$	L_a	$L_t(km)$	K_c	K_f	D_d	l	S	$E(m.s.n.m)$	Pendiente media %		
													S1	S2	S3
H0786	Guamote AJ Cebadas	604.89	154.06	38.98	32.41	833.71	1.75	0.40	1.38	0.18	1.20	3560.63	0.025	0.017	0.0171
H0787	Alao en Hda. Alao	117.64	60.22	24.03	17.71	118.53	1.55	0.20	1.01	0.25	1.36	3834.43	0.028	0.018	0.0175
H0788	Puela AJ Chambo	210.07	71.99	27.28	21.73	231.50	1.39	0.28	1.10	0.23	1.26	3599.34	0.041	0.043	0.035
H0789	Guargualla AJ Cebadas	189.49	70.55	28.05	21.85	325.27	1.44	0.24	1.72	0.15	1.28	3751.95	0.036	0.035	0.033
H0790	Cebadas AJ Guamote	707.40	172.67	58.77	42.17	1107.72	1.82	0.20	1.57	0.16	1.39	3746.41	0.016	0.014	0.013
H0791	Balsacón en San Andrés	22.62	33.67	14.50	7.53	26.59	1.98	0.11	1.18	0.21	1.93	3418.72	0.044	0.037	0.036
H0826	Chambo en Hda. Cahuaji	3523.22	380.95	127.62	92.35	4693.52	1.80	0.22	1.33	0.19	1.38	3547.85	0.012	0.010	0.009

ELABORADO POR: Ana Quishpe

CAPÍTULO 3

RECOPIACIÓN, RELLENO Y VALIDACIÓN DE DATOS

La caracterización climática e hidrológica se realiza en función de los datos obtenidos en el presente capítulo realizando un análisis mensual de las series de precipitación y caudales líquidos; dichos valores son importantes para la estimación del balance hídrico en la zona de estudio y servirán para el futuro modelo de gestión que se desarrolla dentro del marco del proyecto de investigación PIMI-15-02.

Antes de utilizar los valores mensuales se debe preparar los datos hidrometeorológicos: primero se clasifican las estaciones según el número de años de registro, se las agrupa de acuerdo a su régimen de precipitación y se descarta las que posean poca información, se las correlaciona, se hace un análisis de confiabilidad y por último se rellena los datos faltantes.

3.1 PREPARACIÓN DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS

3.1.1 RECOPIACIÓN DE DATOS

3.1.1.1 Estaciones Meteorológicas

Las estaciones meteorológicas a utilizarse en la caracterización climática se clasifican de acuerdo a la función que deben cumplir y por el instrumental que poseen, como se muestra en la tabla 3.1:

TABLA 3.1: Codificación de las estaciones meteorológicas del país

Código	Equivalencia
AP	Agrometeorológica
CP	Climatológica principal
CO	Climatológica ordinaria
CE	Climatológica especial
AR	Aeronáutica
RS	Radio Sonda
PV	Pluviométrica
PG	Pluviográfica
PC	Plataforma colectora de datos
AU	Automática
AN	Anemógrafa

FUENTE: Anuarios meteorológicos INAMHI

Para este estudio se cuenta con estaciones del tipo climatológica ordinaria, climatológica principal, pluviométrica, aeronáutica y automática. Los resultados presentados a continuación, son producto del análisis de los datos meteorológicos observados a nivel mensual de las 35 estaciones representativas de la cuenca, considerando que 20 se encuentran activas y 15 inactivas; cabe señalar que 17 son internas y 18 externas.

En la figura 3.1 se muestra la distribución espacial de las estaciones meteorológicas existentes en la zona de estudio identificadas por diferentes símbolos de acuerdo al grupo en el que se encuentran. La estación M0134 no pertenece a ningún grupo ya que no dispone de datos suficientes de precipitación, pero será utilizada en la caracterización de la humedad relativa. El mapa donde constan las estaciones se encuentra en el Anexo 1 MAPA13.

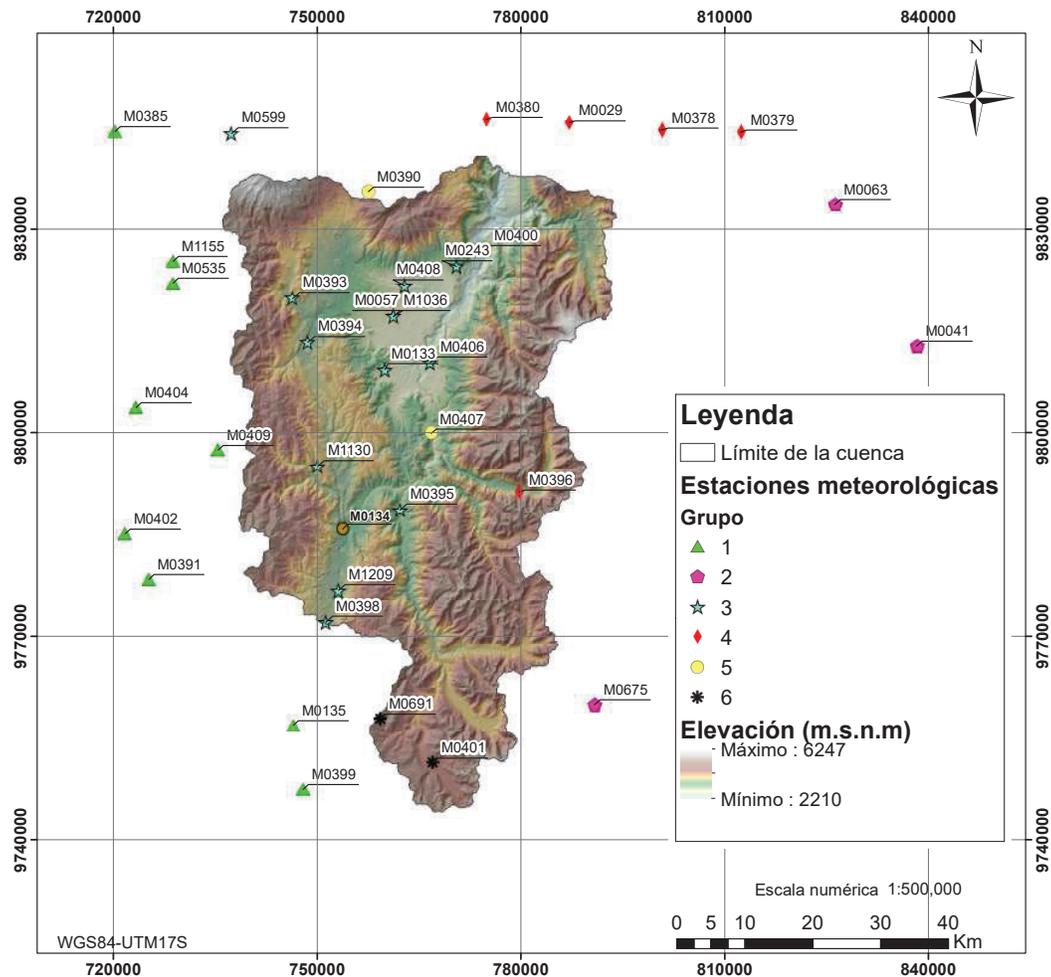


FIGURA 3.1: Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Chambo

FUENTE: INAMHI, SNI

ELABORADO POR: Ana Quishpe

En la tabla 3.2 se presenta el código, nombre, tipo, entidad encargada, coordenadas y el período de registro disponible de información diaria para precipitación, temperatura, humedad relativa, nubosidad, velocidad del viento y evaporación de las estaciones meteorológicas que se han utilizado en este estudio. La información diaria es la base para la obtención de la información mensual y anual.

3.1.1.2 Estaciones Hidrológicas

Las estaciones hidrológicas se clasifican de acuerdo a la función que desempeñan y al instrumental que poseen para la toma o registro de los datos hidrológicos. En la tabla 3.3

TABLA 3.2: Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Chambo

Código	Nombre	Tipo	Entidad	WGS84-T/S			Estado	Periodo de registro								
				S	W	H		Precipitación diaria	Temp. media diaria	Temp. mínima diaria	Temp. máxima diaria	H. Relativa media diaria	Nubosidad media diaria	Velocidad viento	Evaporación	
M0057	Riobamba-Aeropuerto	AR	INAMHI	761223	9817103	2760	I	1946-1986	1946-1986	1946-1986	1946-1986	1946-1986	1946-1986	1946-1986	1946-1986*	1946-1986*
M0133	Guadán	CO	INAMHI	759976	9809268	2850	A	1963-2015	1963-2014	1963-2015	1963-2015	1963-2015	1963-2015	1963-2015	1963-2015*	1963-2015*
M0243	Pungales	CO	INAMHI	770509	9824467	2550	I	1984-2000	1984-2000	1984-2000	1984-2000	1984-2000	1984-2000	1984-2000	1984-2000*	1988-1991
M0393	San Juan - Chimboraço	PV	INAMHI	746383	9819731	3220	A	1963-2015	-	-	-	-	-	-	dic-11	-
M0394	Cajabamba	PV	INAMHI	748633	9813276	3160	I	1964-2015	-	-	-	-	-	-	-	-
M0395	Cebadas	PV	INAMHI	762207	9788585	2930	A	1964-2015	-	-	-	-	-	-	-	-
M0396	Alao	PV	INAMHI	779743	9791264	3200	A	1964-2015	-	-	-	-	-	-	-	-
M0398	PALMIRA-INAMHI	PV	INAMHI	751270	9772068	3180	I	1963-1992	-	-	-	-	-	-	-	-
M0400	Penipe	PV	INAMHI	774780	9826951	2460	I	1964-1985	-	-	-	-	-	-	-	-
M0401	Río OZOCOCHÉ(LAGOS)	PV	INAMHI	767005	9751394	3715	I	1967-1983	-	-	-	-	-	-	-	-
M0406	Chamba-Finca Guadalupe	PV	INAMHI	766626	9810274	2640	I	1975-1990	-	-	-	-	-	-	-	-
M0407	Lieto	PV	INAMHI	766767	9799887	2840	A	1975-2015	-	-	-	-	-	-	-	-
M0408	Guano	PV	INAMHI	763119	9821994	2688	A	1979-2015	-	-	-	-	-	-	-	-
M0691	TOTORAS	PV	INAMHI	759286	9757890	3640	I	1979-1992	-	-	-	-	-	-	-	-
M1036	Riobamba-Politécnica	CO	INAMHI	761223	9817103	2740	I	1978-2015	1978-2015	1978-2015	1978-2015	1978-2015	1978-2015	1978-2015	1978-2015	1985-2015
M1130	SHIRY XII	CO	INAMHI	750064	9794992	3028	A	2001-2015	2001-2015	2001-2015	2001-2015	2001-2015	2001-2015	2001-2015	2001-2015*	2008-2013
M1209	TOTORILLAS	CO	INAMHI	753131	9776736	3210	A	2005-2015	2005-2015	2006-2015	2006-2015	2006-2015	2005-2015	2005-2015	2005-2015*	2006-2015
M0029	Baños	CP	INAMHI	787081	9845684	1695	A	1950-2015	1950-2015	1950-2015	1950-2015	1950-2015	1950-2015	1950-2015	1950-2015	1950-2015
M0041	Sangay(P. SANTA ANA)	CP	INAMHI	838207	9812755	880	A	1964-2014	1964-2014	1964-2014	1964-2014	1964-2014	1964-2014	1964-2014	1967-2014	1967-2014
M0063	Pastaza-Aeropuerto	AR	INAMHI	826202	9833618	1038	I	1962-2005	1962-2000	1962-2000	1962-2000	1962-2000	1962-2000	1962-2000	1962-2000	1962-2000
M0135	Pachamama-Tiwan	CO	INAMHI	746487	9756834	3690	I	1962-2005	1962-2000	1962-2000	1962-2000	1962-2000	1962-2000	1962-2000	1962-2000	1962-2000
M0378	Río Verde	PV	INAMHI	800753	9844593	1529	A	1964-2015	1964-2015	1964-2015	1964-2015	1964-2015	1964-2015	1964-2015	1964-2015	1964-2015
M0379	El Topo- Tungurahua	PV	INAMHI	812354	9844303	1270	I	1964-1992	1964-1992	1964-1992	1964-1992	1964-1992	1964-1992	1964-1992	1964-1992	1964-1992
M0380	Huambalo	PV	INAMHI	774894	9846158	2880	A	1964-2015	1964-2015	1964-2015	1964-2015	1964-2015	1964-2015	1964-2015	1964-2015	1964-2015
M0385	Sajinas-Bolivar	PV	INAMHI	720248	9844397	3600	A	1969-2015	1969-2015	1969-2015	1969-2015	1969-2015	1969-2015	1969-2015	1969-2015	1969-2015
M0390	Urbina	PV	INAMHI	757532	9835544	3610	A	1963-2015	1963-2015	1963-2015	1963-2015	1963-2015	1963-2015	1963-2015	1963-2015	1963-2015
M0391	Paltanga	CO	INAMHI	725218	9778370	1523	A	1966-2015	1966-2015	1966-2015	1966-2015	1966-2015	1966-2015	1966-2015	1966-2015	1966-2015
M0399	Achupallas-Chimboraço	PV	INAMHI	747956	9747399	3178	A	1964-2015	1964-2015	1964-2015	1964-2015	1964-2015	1964-2015	1964-2015	1964-2015	1964-2015
M0402	Chimbo DJ Pangor	PV	INAMHI	721733	9785072	2266	A	1967-2015	1967-2015	1967-2015	1967-2015	1967-2015	1967-2015	1967-2015	1967-2015	1967-2015
M0404	Cari-Limbe	PV	INAMHI	723331	9803688	2800	A	1969-2015	1969-2015	1969-2015	1969-2015	1969-2015	1969-2015	1969-2015	1969-2015	1969-2015
M0409	Pangor-Je Velasco (H. TEPEYAC)	PV	INAMHI	735412	9797407	3109	A	1963-2015	1963-2015	1963-2015	1963-2015	1963-2015	1963-2015	1963-2015	1963-2015	1963-2015
M0535	Las Herrerías	PV	INAMHI	728792	9822024	3650	A	1969-2015	1969-2015	1969-2015	1969-2015	1969-2015	1969-2015	1969-2015	1969-2015	1969-2015
M0599	Río Colorado	PV	INAMHI	737378	9844075	3850	I	1964-1991	1964-1991	1964-1991	1964-1991	1964-1991	1964-1991	1964-1991	1964-1991	1964-1991
M0675	Zumac	PV	INAMHI	790826	9759898	2300	I	1982-1992	1982-1992	1982-1992	1982-1992	1982-1992	1982-1992	1982-1992	1982-1992	1982-1992
M1155	Las Monjas (CEDEGE)	PV	INAMHI	728795	9825240	1497	I	1987-2015	1987-2015	1987-2015	1987-2015	1987-2015	1987-2015	1987-2015	1987-2015	1987-2015

ELABORADO POR: Ana Quishpe

se presenta la codificación de las estaciones hidrológicas del país según los anuarios del INAMHI.

TABLA 3.3: Codificación de las estaciones hidrológicas del país

Código	Equivalencia
LG	Limnigráfica
LM	Limnimétrica
AU	Plataforma colectora de datos
PP	Pozo perforado
PE	Pozo excavado
VV	Vertiente
VT	Vertiente termal
Ga	Galería

FUENTE: Anuarios hidrológicos INAMHI

Las estaciones con las que se cuenta para este estudio son del tipo limnimétrica y limnigráfica y son las que se utilizaron como punto de cierre de las subcuencas de interés pero únicamente las que se encuentran en estado Activo, excepto la estación H0826 que es la utilizada como punto de cierre de la cuenca de estudio. En la tabla 3.4 se presenta el código, nombre, tipo, entidad encargada, estado de funcionamiento, coordenadas y el periodo de registro disponible de información diaria para caudal líquido de todas las estaciones hidrológicas que se han utilizado en este estudio.

TABLA 3.4: Estaciones hidrológicas dentro de la cuenca de estudio

Código	Nombre	Tipo	Entidad	Estado	WGS84-17S			Periodo de registro Caudal líquido
					S	W	H	
H0783	Ozogoche en los Lagos	LM	INAMHI	A	766933.5	9750963.6	3756	1965-2015
H0786	Guamote AJ Cebadas	LM	INAMHI	A	763003.0	9792069.0	2864	2005-2014
H0787	Alao en Hda. Alao	LG	INAMHI	A	776829	9792312.8	3200	1962-2014
H0788	Puela AJ Chambo	LM	INAMHI	A	780994.5	9832690.1	2475	1954-2015
H0789	Guargualla AJ Cebadas	LM	INAMHI	A	766422.6	9792692.1	2828	1964-2015
H0790	Cebadas AJ Guamote	LM	INAMHI	A	762724.6	9791230.1	2840	1965-2015
H0791	Balsacón en San Andrés	LM	INAMHI	A	754673.3	9823993.9	3112	1962-2015
H0826	Chambo en Hda. Cahuaji	LG	INAMHI	I	777221.4	9838623.7	2295	1978-1998

FUENTE: INAMHI

En la figura 3.2 se muestra la distribución espacial de las estaciones utilizadas para la caracterización de caudales líquidos. El mapa de ubicación de las estaciones hidrológicas se encuentra en el Anexo 1 MAPA14.

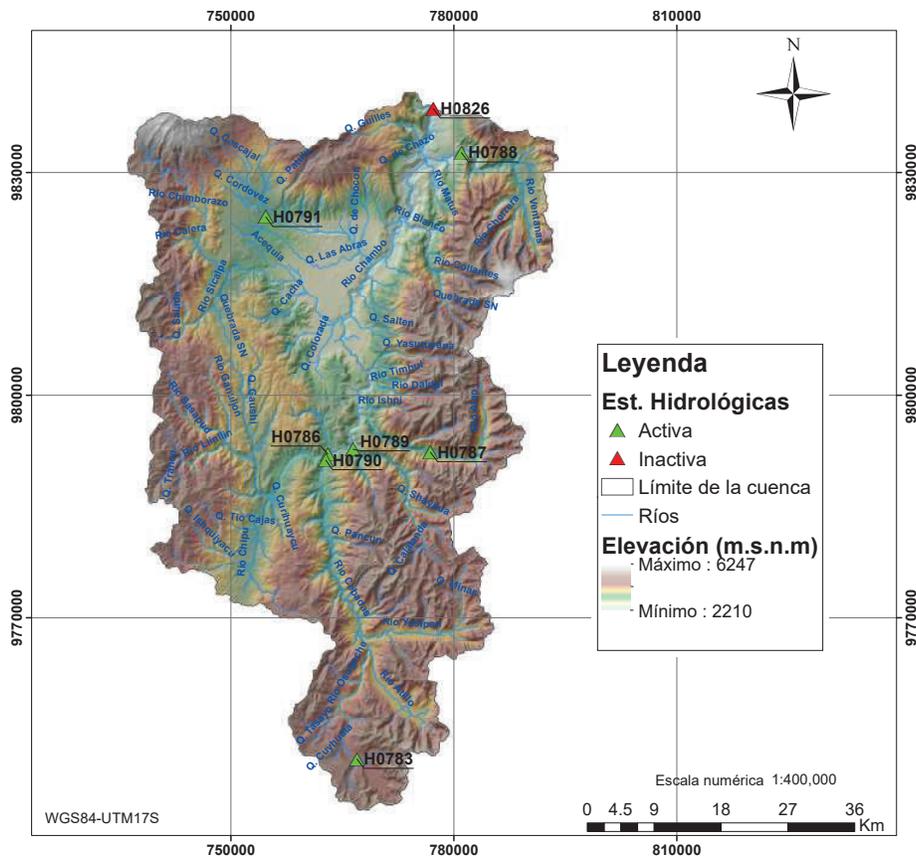


FIGURA 3.2: Estaciones hidrológicas dentro de la cuenca del río Chambo

FUENTE: INAMHI

ELABORADO POR: Ana Quishpe

3.1.2 AGRUPACIÓN DE ESTACIONES

Debido a la poca cantidad de estaciones hidrológicas con datos de caudal, únicamente se procederá a la agrupación de estaciones meteorológicas considerando la precipitación.

La precipitación varía en el espacio y el tiempo de acuerdo con un patrón general de circulación atmosférica [Chow et al., 1994], esta variación define el año hidrológico; mismo que consiste en determinar los meses de menor y mayor precipitación en un periodo de tiempo. Se pueden presentar dos regímenes pluviométricos: el primero de distribución unimodal (presenta un pico máximo y un mínimo de precipitación) y el segundo de distribución bimodal (ocurrencia de 2 picos máximos y 2 mínimos de precipitación) como se indica en la figura 3.3.

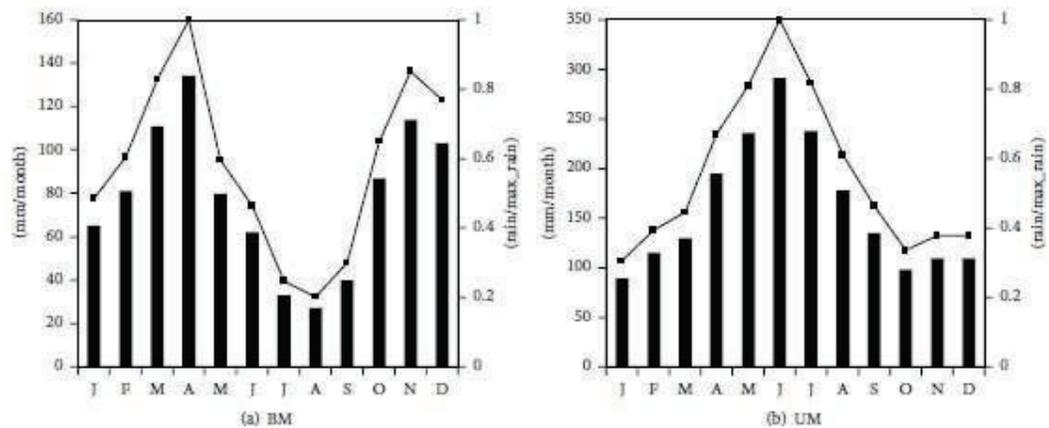


FIGURA 3.3: Ejemplo de regímenes de precipitación unimodal y bimodal
FUENTE: [Camposano et al., 2016]

Previo a la clasificación de estaciones de acuerdo a la cantidad de datos existentes, se analizará el patrón para cada estación existente en la zona de estudio considerando los valores máximos y mínimos que se presenten en los picos y de esta manera poder agrupar correctamente las estaciones que tengan similar comportamiento de la precipitación.

Una vez analizado el patrón de distribución de la precipitación para cada estación, se obtuvieron 6 diferentes grupos. Los grupos 2,3 y 6 son de característica bimodal siendo la diferencia entre cada uno los meses en los que se encuentran los picos y los milímetros de precipitación por mes. Existe esta diferencia debido a la localización ya que las estaciones del grupo 2 se ubican en la zona oriental mientras que las del grupo 3 y 6 se encuentran dentro de la zona de estudio. No se pudo incluir las estaciones del grupo 6 en el 3 debido a la variación en el comportamiento de la precipitación que puede deberse a la poca cantidad de datos.

Los grupos 1, 4 y 5 son de característica unimodal. Las estaciones del grupo 1 se encuentran en la zona costera, las del grupo 4 a excepción de la estación Alao-M0396 se encuentran en la zona oriental y las del grupo 5 forman parte de la cuenca pero su distribución de la precipitación es muy diferente de las del grupo 3. La agrupación realizada se indica en la tabla 3.5.

TABLA 3.5: Agrupación de estaciones según régimen de precipitación

Grupo	Código	Nombre
Grupo 1	M0135	Pachamama - Tixan
	M0385	Salinas-Bolivar
	M0391	Pallatanga
	M0399	Achupallas-Chimborazo
	M0402	Chimbo DJ Pangor
	M0404	Cañi-Limbe
	M0409	Pango-J. de Velasco
	M0535	Las Herrerias
	M1155	Las Monjas (CEDEGE)
Grupo 2	M0041	Sangay (P. Santa Ana)
	M0063	Pastaza Aeropuerto
	M0675	Zunnac
Grupo 3	M0057	Riobamba Aeropuerto
	M0133	Guaslan
	M0243	Pungales
	M0393	San Juan - Chimborazo
	M0394	Cajabamba
	M0395	Cebadas
	M0398	Palmira Inamhi
	M0406	Chambo Finca Guadalupe
	M0408	Guano
	M0599	Río Colorado
	M1036	Riobamba Politécnica
	M1130	Shiry XII
	M1209	Totorillas
Grupo 4	M0029	Baños
	M0378	Río Verde
	M0379	El Topo - Tungurahua
	M0380	Huambalo
	M0396	Alao
Grupo 5	M0390	Urbina
	M0400	Penipe
	M0407	Licto
Grupo 6	M0401	Río Ozogoché (Lagos)
	M0691	Totoras

ELABORADO POR: Ana Quishpe

3.1.2.1 Grupos

De acuerdo a la tabla 3.5 se describe cada grupo considerando que la diferencia existente entre cada uno de ellos es la forma en la que varía la precipitación a lo largo del tiempo (Enero a Diciembre).

- Grupo 1: Este grupo es de característica unimodal con su periodo húmedo representativo en los meses Marzo-Abril, presenta un ligero incremento en el mes de Octubre. La variación de la precipitación se indica en la figura 4.1.
- Grupo 2: De característica bimodal, siendo su primer periodo húmedo en los meses Marzo-Mayo y el segundo en los meses Octubre-Noviembre, dependiendo de la estación analizada como se indica en la figura 4.2. Esta distribución es característica de la zona oriental.
- Grupo 3: De característica bimodal, siendo su primer periodo húmedo representativo en el rango de meses Abril-Mayo y el segundo en los meses Octubre-Noviembre; variando el mes en el que se desarrolla la precipitación media máxima de acuerdo a la estación que se analice como se indica en la figura 4.3. Las estaciones de este grupo se encuentran localizadas dentro de la cuenca de estudio.

- Grupo 4: De característica unimodal, siendo su periodo húmedo en los meses de Junio-Julio. Se lo puede visualizar en la figura 4.4.
- Grupo 5: Este grupo es de característica unimodal con su periodo húmedo representativo en los meses Marzo-Mayo, presenta un ligero incremento en el mes de Octubre. En este grupo se encuentran 2 estaciones internas y una externa a la cuenca. La variación de la precipitación se indica en la figura 4.5.
- Grupo 6: De característica bimodal, siendo su primer periodo húmedo en el mes de Abril y el segundo periodo húmedo en Octubre-Noviembre. La diferencia con el grupo 3 es la forma de la distribución de la precipitación como se puede apreciar en la figura 4.6.

3.1.3 CLASIFICACIÓN DE ESTACIONES

Previo a la correlación y relleno de información se analizará la cantidad de datos y vacíos, si el número de vacíos es considerable lo mejor será descartar toda la estación. Para realizar el análisis de las estaciones se procede a clasificarlas según la cantidad de información disponible, considerando el siguiente criterio:

TABLA 3.6: Criterio de clasificación de estaciones según datos

Clase	Años de registro
A	mayor a 20 años
B	entre 10 y 20 años
C	entre 5 y 10 años
D	menor a 5 años

ELABORADO POR: Ana Quishpe

Considerando los parámetros indicados en la tabla 3.6, se procede a la clasificación de estaciones meteorológicas tomando en cuenta toda la serie de datos. Dicha clasificación se presenta en la tabla 3.7.

TABLA 3.7: Clasificación según calidad de información diaria de precipitación

Grupo	Código	Nombre	Años de registro	Clase
Grupo 1	M0135	Pachamama - Tixán	1964-2005	A
	M0385	Salinas-Bolivar	1969-2015	A
	M0391	Pallatanga	1966-2015	A
	M0399	Achupallas-Chimborazo	1964-2015	A
	M0402	Chimbo DJ Pangor	1967-2015	A
	M0404	Cañi-Limbe	1969-2015	A
	M0409	Pango-J. de Velasco	1969-2015	A
	M0535	Las Herrerías	1964-2015	A
Grupo 2	M1155	Las Monjas (CEDEGE)	1987-2015	B
	M0041	Sangay (P. Santa Ana)	1964-2014	A
	M0063	Pastaza Aeropuerto	1960-1985	B
Grupo 3	M0675	Zunnac	1982-1992	C
	M0057	Riobamba Aeropuerto	1945-1986	D
	M0133	Guaslán	1963-2014	B
	M0243	Pungales	1984-2001	D
	M0393	San Juan - Chimborazo	1963-2015	A
	M0394	Cajabamba	1964-2001	B
	M0395	Cebadas	1964-2015	A
	M0398	Palmira Inamhi	1963-1992	B
	M0406	Chambo Finca Guadalupe	1975-1990	C
	M0408	Guano	1979-2015	A
	M0599	Río Colorado	1964-1991	B
	M1036	Riobamba Politécnica	1978-2015	D
	M1130	Shiry XII	2001-2015	D
M1209	Totorillas	2005-2015	D	
Grupo 4	M0029	Baños	1950-2015	A
	M0378	Río Verde	1964-2015	A
	M0379	El Topo - Tungurahua	1964-1992	B
	M0380	Huambalo	1964-2015	A
Grupo 5	M0396	Alao	1964-2015	A
	M0390	Urbina	1963-2015	B
	M0400	Penipe	1964-1985	B
Grupo 6	M0407	Licto	1975-2015	B
	M0401	Río Ozogoché (Lagos)	1967-1983	C
	M0691	Totoras	1979-1992	C

ELABORADO POR: Ana Quishpe

En las estaciones hidrológicas para su clasificación se aplican los mismos criterios empleados en las estaciones meteorológicas, obteniendo la tabla a continuación:

TABLA 3.8: Clasificación según calidad de información diaria de caudales líquidos

Código	Nombre	Años de registro	Clase
H0783	Ozogoché en los lagos	1965-2015	B
H0784	Mahuazo AJ Alao	1967-1979	D
H0785	Chibunga en Calpi	1963-1985	C
H0786	Guamote AJ Cebadas	2005-2014	C
H0787	Alao en Hda. Alao	1962-2014	D
H0788	Puela AJ Chambo	1965-2015	B
H0789	Guargualla AJ Cebadas	1964-2015	D
H0790	Cebadas AJ Guamote	1965-2015	A
H0791	Balsacón en San Andrés	1962-2015	C
H0826	Chambo en Hda. Cahuaji	1978-1998	D

ELABORADO POR: Ana Quishpe

3.1.4 ANÁLISIS DE SERIES TEMPORALES

La estacionariedad es una característica de una serie temporal en el que los datos reflejan variaciones regulares y previsibles que se repiten cada año. Se considera estacionario a cualquier cambio predecible o patrón en una serie de tiempo que se repite durante un período de un año [Gras, 2001]. Si al realizar una inspección visual de la línea de tendencia y no se encuentra variaciones en la misma, la serie se considerará como estacionaria.

3.1.4.1 Precipitación

Se visualizan los valores de precipitación diaria de acuerdo al periodo de cada estación como se indica en la figura 3.4 que corresponde a la estación M0258. Para el resto de estaciones los gráficos correspondientes se encuentran en el Anexo 2.

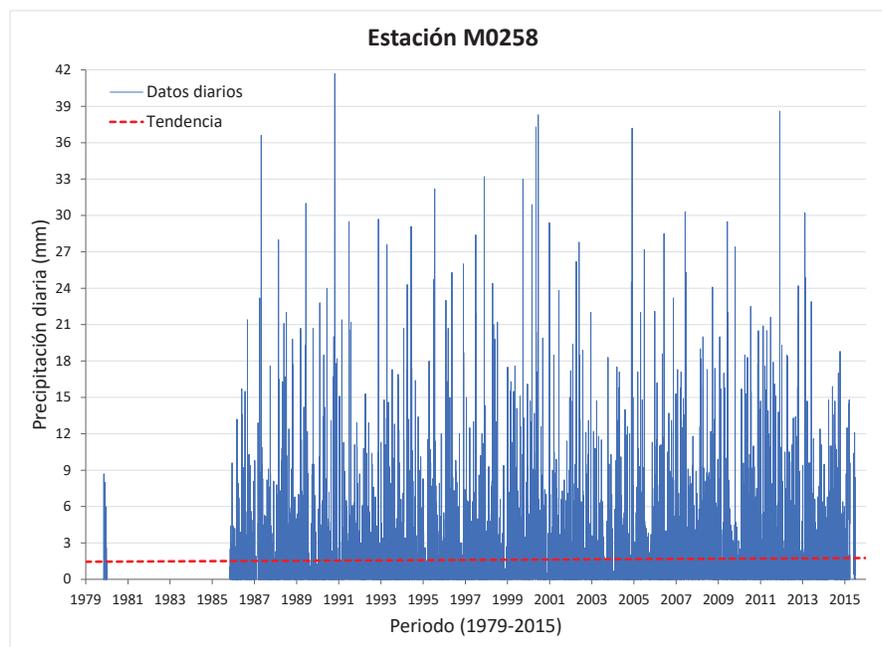


FIGURA 3.4: Valores medios diarios de precipitación de la estación M0258
ELABORADO POR: Ana Quishpe

Después de procesar la información de todas las estaciones se obtuvo la tabla 3.9, en donde constan todas las estaciones, el período de información diaria disponible, el total de datos y vacíos, el porcentaje de vacíos, el valor máximo, mínimo, la media, la desviación estándar (SD) y si la información es o no estacionaria (S_t). Para determinar si la serie es estacionaria o no se realizó una inspección visual de la línea de tendencia, es decir, mientras la línea se mantenga con una pendiente mínima la información se considera estacionaria. El porcentaje de vacíos se calculó en función de los años de registro para cada estación, no en función del período de tiempo. Los valores correspondientes a máx, mín, media y SD se encuentran expresados en mm (milímetros).

TABLA 3.9: Estadística de información de precipitación media diaria

Grupo	Estación	Periodo		Datos		% vacíos	máx.	mín.	media	SD	S _t
		desde	hasta	llenos	vacíos						
Grupo 1	M0135	1964	2005	12345	2996	19.5	402.1	0.00	2.47	11.76	si
	M0385	1969	2015	14929	2237	13.0	337.3	0.00	3.65	8.34	si
	M0391	1966	2015	15913	2349	12.9	120.4	0.00	2.86	6.59	si
	M0399	1964	2015	16573	2420	12.7	61.6	0.00	2.16	5.07	si
	M0402	1967	2015	15410	2487	13.9	200.5	0.00	2.58	6.32	si
	M0404	1969	2015	15777	1389	8.0	70.3	0.00	3.52	6.68	si
	M0409	1969	2015	14962	2204	12.8	215.2	0.00	4.05	6.59	si
	M0535	1964	2015	11415	7578	39.9	102.5	0.00	2.55	5.39	si
Grupo 2	M1155	1987	2015	6059	4533	42.8	91.4	0.00	5.69	10.31	si
	M0041	1964	2014	16240	2388	12.8	239.6	0.00	11.21	16.59	si
	M0063	1962	1985	4466	4300	49.0	160	0.00	12.12	17.27	si
Grupo 3	M0675	1982	1992	3145	873	21.7	97	0.00	6.99	9.25	si
	M0057	1945	1986	8011	7329	47.8	46.3	0.00	1.25	3.09	si
	M0133	1963	2014	16468	2525	13.3	100.5	0.00	1.71	4.32	si
	M0243	1984	2001	4722	1853	28.2	41.7	0.00	1.5	3.94	si
	M0393	1963	2015	18399	959	4.9	130.8	0.00	1.84	4.58	si
	M0394	1964	2001	11571	2309	16.6	270	0.00	2.17	7.81	si
	M0395	1964	2015	17639	1354	7.1	89	0.00	1.46	4.03	si
	M0398	1963	1992	10018	940	8.6	71.1	0.00	1.57	4.76	si
	M0406	1975	1990	4420	1424	24.4	96.2	0.00	2.15	5.55	si
	M0408	1979	2015	12796	718	5.3	74	0.00	1.24	3.87	si
	M0599	1964	1991	5488	4739	46.3	158.4	0.00	1.3	5.11	si
	M1036	1978	2015	5534	8345	60.1	52.4	0.00	1.6	3.95	si
	M1130	2001	2015	1879	3599	65.7	115	0.00	2.24	5.1	si
	M1209	2005	2015	3160	857	21.3	71.1	0.00	1.78	4.64	si
Grupo 4	M0029	1950	2015	19694	4412	18.3	198.9	0.00	3.76	7.43	si
	M0378	1964	2015	16489	2504	13.2	143	0.00	8.1	12.12	si
	M0379	1964	1992	8283	2310	21.8	180.5	0.00	10.67	13.35	si
	M0380	1964	2015	17647	1346	7.1	180	0.00	2.34	5.93	si
Grupo 5	M0396	1964	2015	17203	1790	9.4	87	0.00	2.96	5.23	si
	M0390	1963	2015	12199	7159	36.9	58.5	0.00	2.59	4.13	si
	M0400	1964	1985	7152	884	11.0	46.6	0.00	1.51	3.92	si
Grupo 6	M0407	1975	2015	13039	1936	12.9	203.3	0.00	3.25	6.5	si
	M0401	1967	1983	5203	1006	16.2	55	0.00	1.18	3.19	si
	M0691	1979	1992	4536	578	11.3	40.3	0.00	1.2	2.78	si

ELABORADO POR: Ana Quishpe

3.1.4.2 Caudales líquidos

Así como para la precipitación se graficó la información diaria de los datos existentes (Figura 3.4) a lo largo del periodo correspondiente, se realiza el mismo procedimiento para la información diaria de caudales líquidos. En la figura 3.5 se observa la distribución del caudal diario en el periodo de 1965-2015 para la estación H0790.

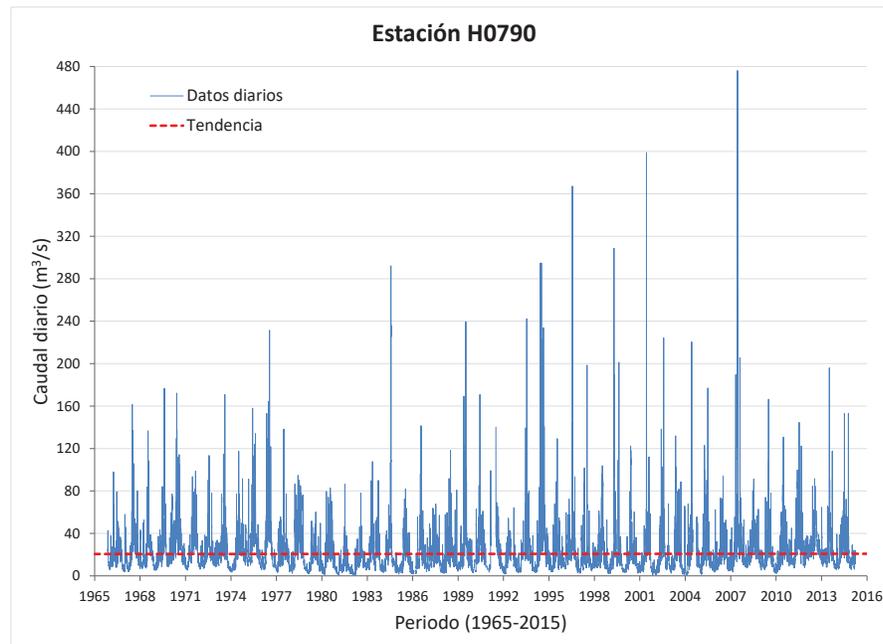


FIGURA 3.5: Valores medios diarios de caudal líquido de la estación H0790
ELABORADO POR: Ana Quishpe

En la tabla 3.10 se presentan todas las estaciones, el período de información diaria disponible, el total de datos y vacíos, el porcentaje de vacíos, el valor máximo, mínimo, la media, la desviación estándar (SD) y si la información es o no estacionaria (S_t). Los valores correspondientes a máx, mín, media y SD se encuentran expresados en m^3/s .

TABLA 3.10: Estadística de información de caudales líquidos medios diarios

Código	Período		Datos		% vacíos	máx.	mín.	media	SD	S_t
	desde	hasta	llenos	vacíos						
H0783	1965	2015	13548	5079	27.3	29.51	0.02	2.76	2.17	si
H0784	1967	1979	2185	2563	53.9	8.50	0.00	1.03	0.60	no
H0785	1963	1985	5166	3235	38.5	643.01	0.19	1.92	14.11	si
H0786	2005	2014	3499	153	4.2	16.17	0.26	3.01	1.89	no
H0787	1962	2014	17201	2157	11.1	156.33	0.18	8.05	9.24	si
H0788	1965	2015	16556	2071	11.1	265.53	0.00	14.94	14.50	si
H0789	1964	2015	15262	3731	19.6	65.31	0.08	5.04	3.75	si
H0790	1965	2015	17432	1195	6.4	476.13	0.59	20.72	20.61	si
H0791	1962	2015	14390	5333	27.0	5.80	0.00	0.26	0.22	no
H0826	1978	1998	5752	1918	25.0	1260.67	5.34	65.87	51.67	si

ELABORADO POR: Ana Quishpe

En la tabla se observa que existen estaciones que no son estacionarias, dichas estaciones no serán utilizadas para el relleno y validación de datos ya que no se puede determinar un patrón de variación en el tiempo en cada una de ellas. Los gráficos temporales a nivel diario de las estaciones hidrológicas se encuentran en el Anexo 3.

3.2 ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE INFORMACIÓN

Para realizar el análisis de confiabilidad de información se utiliza el método conocido como análisis de doble masa, mismo que permite verificar la homogeneidad de los datos de una estación para poder determinar si en algún periodo hubo alguna anomalía (cambio de ubicación de la estación, cambio de condiciones del aparato registrador o modificaciones en las técnicas de observación) [Monsalve, 1995]. De manera gráfica se puede observar la relación que existe entre las variables climáticas y/o hidrológicas de estaciones cercanas, para periodos comunes de información.

Este análisis consiste en construir una curva doble acumulativa, en la cual se relacionan los datos acumulados mensuales de una determinada estación y la media acumulada de los datos mensuales de todas las estaciones de la región, consideradas homogéneas desde el punto de vista climatológico y por ende desde el punto de vista de datos. En el eje *x* se representa la media acumulada de los datos y en el eje *y* la estación que posteriormente será rellenada. Este método, además de permitir detectar heterogeneidades permite corregirlas.

En caso de que se presente un cambio de pendiente se debe restablecer la homogeneidad bajo las condiciones del tramo más confiable, éste puede ser el último tramo que es el de la información más reciente (mejores equipos, operarios más capacitados); o considerarse el tramo más consistente al de mayor longitud. El ajuste se realiza en base a la relación de pendientes como se indica en la ecuación:

$$pcr = \frac{tcr}{tir} * pir \quad (3.1)$$

donde:

pcr: valor parcial corregido

pir: valor parcial incorrecto

tcr: pendiente del tramo correcto

tir: pendiente del tramo incorrecto

En la clasificación de estaciones presentada previamente se puede observar la clase a la que pertenece cada estación. Para realizar el análisis de doble masa se relacionaron las estaciones de acuerdo al grupo en que fueron ubicadas, donde *x* es la estación independiente, que en este caso será el promedio del grupo de estaciones homogéneas y *y* es la estación dependiente.

En las estaciones meteorológicas se utilizarán únicamente los grupos 1, 3 y 4. Los grupos 2, 5 y 6 no se consideran ya que no tienen periodos similares extensos en los que se pueda obtener la media acumulada y por este motivo en estos grupos no es posible realizar el análisis de doble masa; además se considera que debe haber un mínimo de 3 estaciones para realizar el promedio.

En el caso de las estaciones hidrológicas (tabla 3.11) se observa que existen promedios en diferentes periodos de tiempo, esto se debe a los registros existentes para cada estación. La estación H0788 será relacionada con el promedio de estaciones que tengan el periodo de datos entre 1986-2014 (H0783, H0787, H0789 y H0790) y la estación H0826 será analizada

con el promedio de datos de las estaciones que tengan datos en el periodo 1978-1998.

TABLA 3.11: Estaciones hidrológicas para análisis de doble masa

x	y
Promedio 1965-2014	H0783
	H0787
	H0789
	H0790
Promedio 1986-2014	H0788
Promedio 1978-1998	H0826

ELABORADO POR: Ana Quishpe

En el análisis de estaciones respecto a su curva doble masa la mayoría cumple con la tendencia lineal que deberían tener, las gráficas correspondientes a valores acumulados de precipitación o caudales líquidos para periodos similares se indica en las figuras 3.6 y 3.7. Se determinará las estaciones a corregir cuando se realice la relación por grupo entre las estaciones pertenecientes a cada uno.

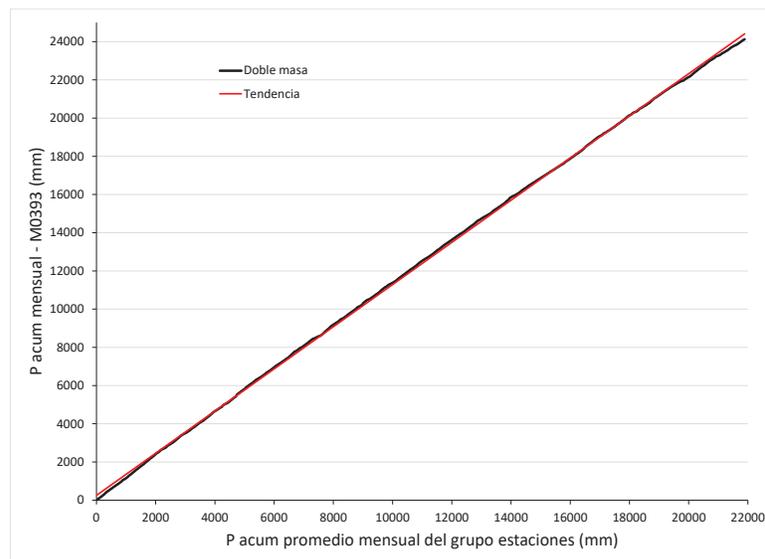


FIGURA 3.6: Curva doble masa M0393

ELABORADO POR: Ana Quishpe

Al existir homogeneidad entre la estación M0393 y la media acumulada del grupo de estaciones se verifica la validez de los datos observados en la estación y se puede proceder a utilizar esta información para el relleno de información.

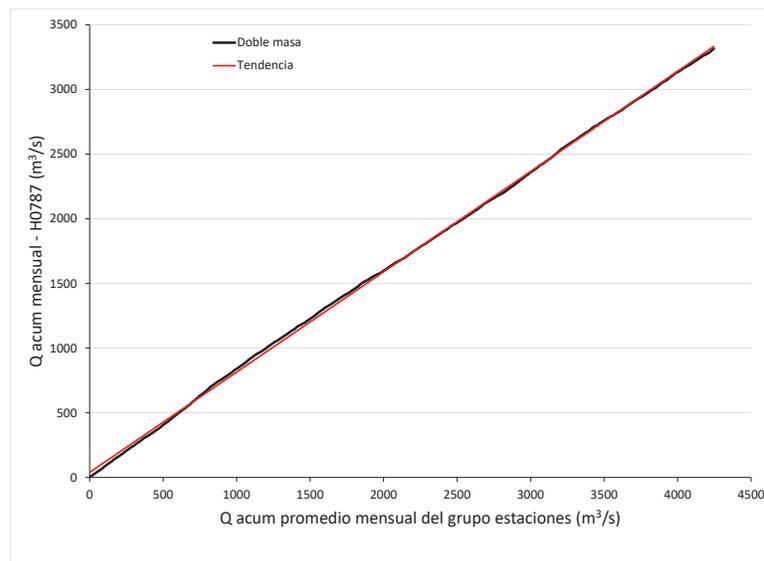


FIGURA 3.7: Curva doble masa H0787
ELABORADO POR: Ana Quishpe

Igualmente, se evidencia que existe homogeneidad y se podrá utilizar la información de la estación H0787 para un posterior relleno. Las curvas doble masa de precipitación y caudal para cada estación en función de la media acumulada del grupo determinado se encuentra en el Anexo 4.

3.3 RELLENO DE INFORMACIÓN

El coeficiente de correlación (R) define el grado de asociación lineal o dependencia entre dos variables. Para la mayoría de estimaciones el coeficiente varía entre -1 y 1, si la correlación es exactamente -1 o 1, significa que es una asociación lineal perfecta entre dos variables. La diferencia de signo se refiere a la pendiente de la recta dentro del diagrama de dispersión: negativa para el signo - y positiva para el signo +. Para fines prácticos se admiten las series cuyo coeficiente de correlación sea $R > 0.7$ [Kennedy et al., 1982].

En la tabla 3.12 se observa los pares de estaciones obtenidos dependiendo del grupo analizado, considerando en el eje x las estaciones que sean de clase A o que tengan menor porcentaje de vacíos de acuerdo a la tabla 3.9 .

TABLA 3.12: Pares de estaciones meteorológicas con su coeficiente de correlación R

Grupo	x	y	R
Grupo 1	M0391	M0385	0.73
	M0404	M0385	0.65
	M0391	M0402	0.80
	M0404	M0402	0.66
	M0404	M1155	0.82
	M0391	M1155	0.86
	M0135	M0535	0.39
	M0399	M0535	0.37
Grupo 3	M0393	M0133	0.66
	M0395	M0133	0.63
	M0393	M1036	0.81
	M0395	M1036	0.64
	M0393	M1130	0.76
	M0395	M1130	0.77
	M0393	M1209	0.71
	M0395	M1209	0.61
	M0398	M0394	0.49
	M0398	M0406	0.42
Grupo 4	M0029	M0379	0.41
	M0378	M0379	0.51
	M0380	M0379	0.37

ELABORADO POR: Ana Quishpe

Para las estaciones meteorológicas los pares de estaciones seleccionados son los que superan $R > 0.7$, por lo tanto primero se corrigió individualmente la curva de doble masa de cada estación para mejorar los coeficientes en el resto de estaciones de la tabla 3.12 y posteriormente poder realizar el relleno de información.

TABLA 3.13: Pares de estaciones hidrológicas con su coeficiente de correlación R

x	y	R
H0783	H0787	0.65
H0783	H0788	0.34
H0783	H0789	0.93
H0783	H0826	0.84
H0788	H0787	0.52
H0788	H0789	0.35
H0788	H0826	0.73
H0790	H0783	0.82
H0790	H0787	0.69
H0790	H0788	0.50
H0790	H0789	0.70
H0790	H0826	0.50

ELABORADO POR: Ana Quishpe

En la tabla 3.13 únicamente cinco (5) pares de estaciones cumplen con el criterio de $R > 0.7$, por lo tanto igual que en las estaciones meteorológicas primero se corrigió la curva doble masa de cada estación para mejorar dichos coeficientes.

Después de definir el valor del coeficiente y determinar que es adecuado para explicar una relación lineal entre las dos estaciones se aplica la ecuación correspondiente a la recta:

$$y = a + bx \quad (3.2)$$

Para los pares de estaciones seleccionados se presenta la ecuación obtenida en las tablas 3.14 y 3.15:

TABLA 3.14: Coeficiente de correlación corregido para precipitación

Grupo	x	y	R	Ecuación
Grupo 1	M0391	M0385	0.88	$y = 23.387+0.9748x$
	M0404	M0385	0.86	$y = 25.4+0.8494x$
	M0391	M0402	0.93	$y = 11.598+0.7644x$
	M0404	M0402	0.90	$y = 10.304+0.6752x$
	M0391	M1155	0.89	$y = 24.677+1.4959x$
	M0404	M1155	0.87	$y = 25.53+1.3296x$
Grupo 3	M0393	M0133	0.88	$y = 7.9688+0.769x$
	M0395	M0133	0.84	$y = 17.397+0.668x$
	M0393	M1036	0.87	$y = 10.167+0.6923x$
	M0393	M1209	0.92	$y = 6.7182+0.7401x$
	M0395	M1209	0.88	$y = 10.972+0.6937x$
	M0398	M0394	0.88	$y = 16.463+1.1101x$
	M0398	M0406	0.90	$y = 14.769+1.0924x$
Grupo 4	M0378	M0379	0.86	$y = 53.867+1.0223x$

ELABORADO POR: Ana Quishpe

Los coeficientes de correlación indicados en la tabla 3.14 superan el valor de 0.7 y son los pares de estaciones que posteriormente se utilizará para el relleno.

TABLA 3.15: Coeficiente de correlación corregido para caudales líquidos

x	y	R	Ecuación
H0790	H0783	0.93	$y = 0.1533+0.1417x$
H0788	H0787	0.85	$y = -0.828+0.657x$
H0790	H0787	0.92	$y = 0.8025+0.3991x$
H0790	H0788	0.72	$y = 6.6037+0.3324x$
H0788	H0789	0.78	$y = 0.7866+0.3692x$
H0788	H0826	0.88	$y = 6.013+2.744x$
H0790	H0826	0.82	$y = 29.127+1.267x$

ELABORADO POR: Ana Quishpe

No se utilizaron los pares de estaciones H0783-H0789 y H0783-H0826 a pesar de tener $R > 0.7$, debido a que la estación H0783 tiene mayor cantidad de vacíos que las demás con las que se relacionó las estaciones H0789 y H0826.

3.3.1 RESULTADOS

El significado de cada color utilizado y el resumen de datos validados y rellenados de las estaciones hidrológicas y meteorológicas se encuentra en la figura 3.8:



FIGURA 3.8: Disponibilidad de datos hidrometeorológicos mensuales
ELABORADO POR: Ana Quishpe

CAPÍTULO 4

CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA E HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DE ESTUDIO

4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

La cuenca del río Chambo está ubicada en el área de transición entre los Andes y la Amazonía por este motivo las masas de aire húmedo tienen gran influencia en la precipitación que se extiende durante todo el año. Al estar ubicada entre las cotas 2240-6310 m.s.n.m aproximadamente, existe una gran variabilidad del clima [Rodgers, 1991]. Para realizar la respectiva caracterización climática en el capítulo anterior se agruparon las estaciones meteorológicas de acuerdo al régimen de precipitación, obteniendo lo siguiente:

4.1.1 PRECIPITACIÓN

La precipitación es uno de los factores climáticos más importantes que influyen en la erosión del suelo. El volumen de la escorrentía y su velocidad dependen de la intensidad, frecuencia y duración de la lluvia [FAO, 2000]. El estudio de precipitación consta de tres análisis:

- Distribución temporal de precipitación
- Variación altitudinal de precipitación
- Distribución espacial de precipitación

4.1.1.1 Distribución temporal de precipitación

A partir de la tabla 3.5 se realiza el análisis de la distribución temporal de precipitación para cada grupo de estaciones.

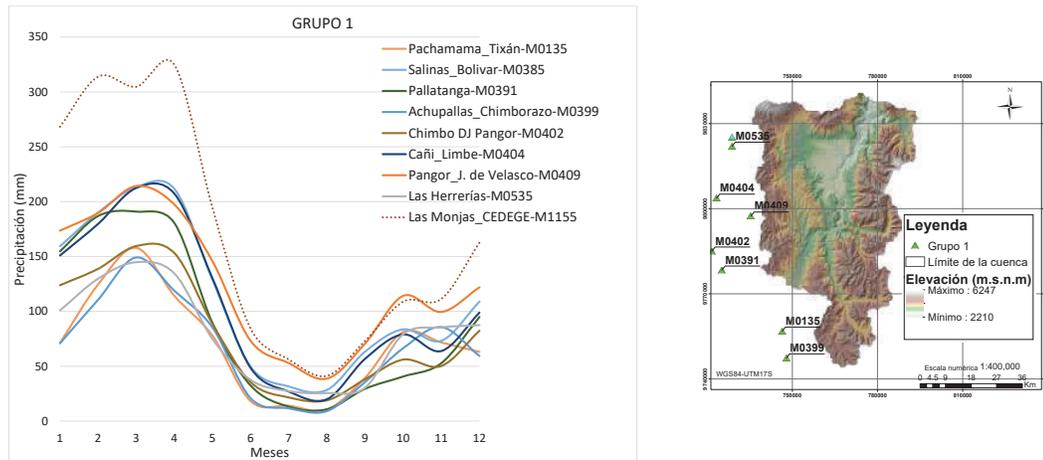


FIGURA 4.1: Distribución temporal de precipitación dentro de la cuenca del río Chambo para el grupo 1
ELABORADO POR: Ana Quishpe

En la figura 4.1 se aprecia que para las estaciones pertenecientes al grupo 1 la precipitación media varía en rangos de 6.6 a 350 mm por mes. La estación Las Monjas-CEDEGE (M1155-1497m.s.n.m) es la que presenta los mayores valores de precipitación, mientras que en Pachamama-Tixán (M0135-3690m.s.n.m) se registran los más bajos. Los valores pico se dan entre Marzo-Abril y un ligero incremento en Octubre-Noviembre sin alterar la característica unimodal de este grupo. Están localizadas en la zona costera, externas a la cuenca.

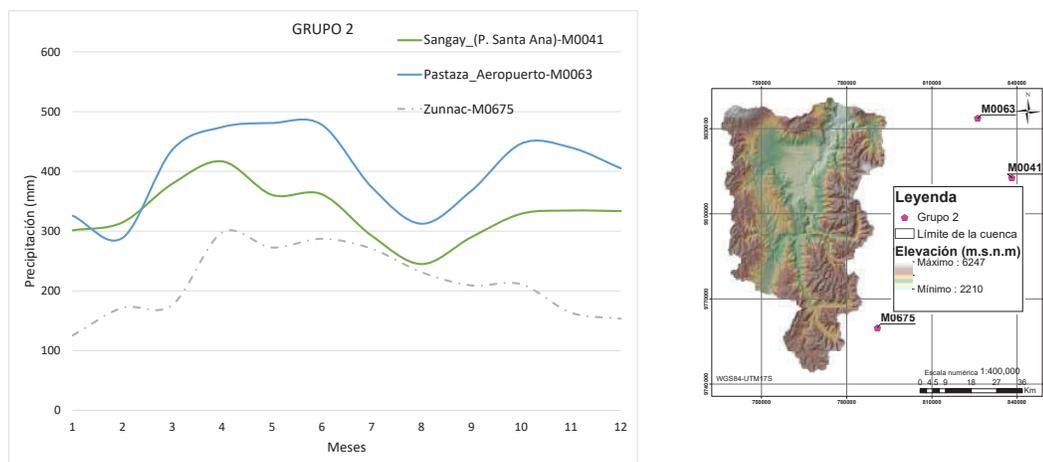


FIGURA 4.2: Distribución temporal de precipitación dentro de la cuenca del río Chambo para el grupo 2
ELABORADO POR: Ana Quishpe

La precipitación media para las estaciones pertenecientes al grupo 2, indicada en la figura 4.2, se registra en rangos de 100 a 500 mm por mes. La estación Pastaza-Aeropuerto (M0063-1038 m.s.n.m) presenta los valores más altos, y los valores más bajos están en la

estación Zunac (M0675-2300 m.s.n.m). El primer periodo de precipitaciones máximas se concentra en los meses de Marzo-Junio y el segundo en Noviembre. Las estaciones de este grupo se localizan en la parte externa de la cuenca, hacia el oriente.

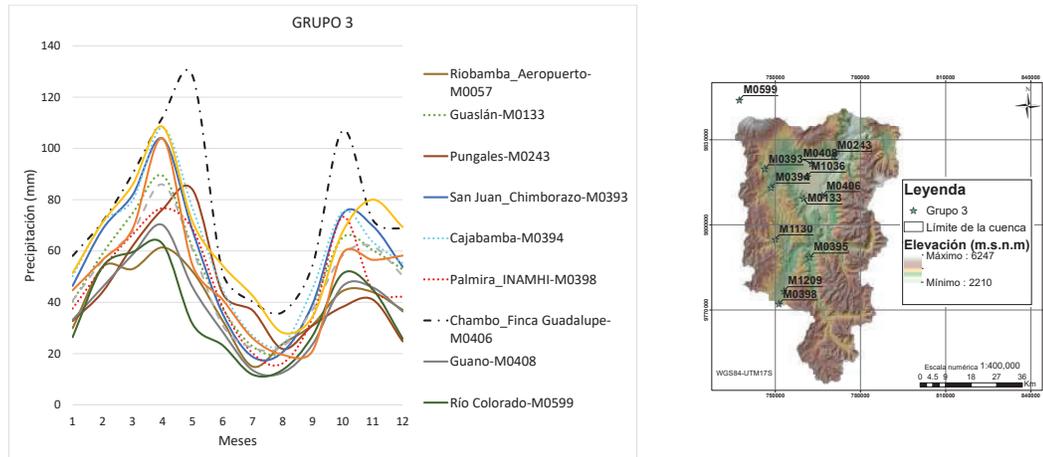


FIGURA 4.3: Distribución temporal de precipitación dentro de la cuenca del río Chambo para el grupo 3
ELABORADO POR: Ana Quishpe

En el grupo 3, como se indica en la figura 4.3, la precipitación media mensual se registra en rangos de 10 a 130 mm por mes. La estación Chambo Finca Guadalupe (M0406-2640 m.s.n.m) tiene los valores más altos de precipitación, mientras que en Guano (M0408-2688 m.s.n.m), Pungales (M0243-2550 m.s.n.m) y Río Colorado (M0599-3850 m.s.n.m) están los más bajos. Todas las estaciones excepto la M0599 se encuentran dentro de la zona de estudio.

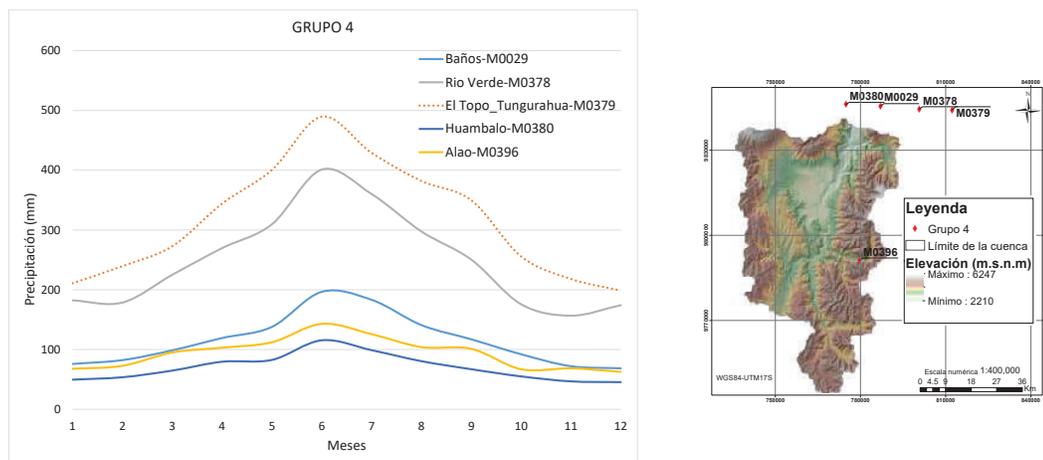


FIGURA 4.4: Distribución temporal de precipitación dentro de la cuenca del río Chambo para el grupo 4
ELABORADO POR: Ana Quishpe

En el grupo 4, como se indica en la figura 4.4, la precipitación media mensual se registra en rangos de 40 a 500 mm por mes. Las estaciones tienen un comportamiento unimodal característico de las zonas orientales. En este grupo se encuentra la estación Alao (M0396-3200 m.s.n.m) que a pesar de estar dentro de la zona de estudio tiene un comportamiento similar a las estaciones ubicadas en la zona oriental, esta variación se debe a la influencia que ejerce el clima de la región oriental en la zona.

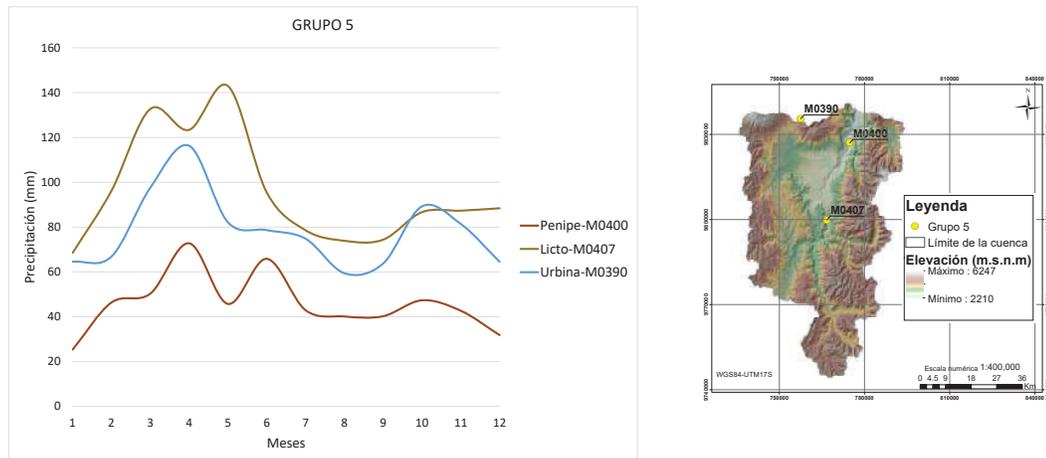


FIGURA 4.5: Distribución temporal de precipitación dentro de la cuenca del río Chambo para el grupo 5
ELABORADO POR: Ana Quishpe

La precipitación media para las estaciones pertenecientes al grupo 5, indicada en la figura 4.5, se registra en rangos de 22 a 142 mm por mes. La estación Licto (M0407-2840 m.s.n.m) presenta los valores más altos, y los valores más bajos están en la estación Penipe (M0400-2460 m.s.n.m). El periodo de precipitaciones máximas se concentra en los meses Marzo-Mayo y presenta un ligero incremento en el mes de Octubre.

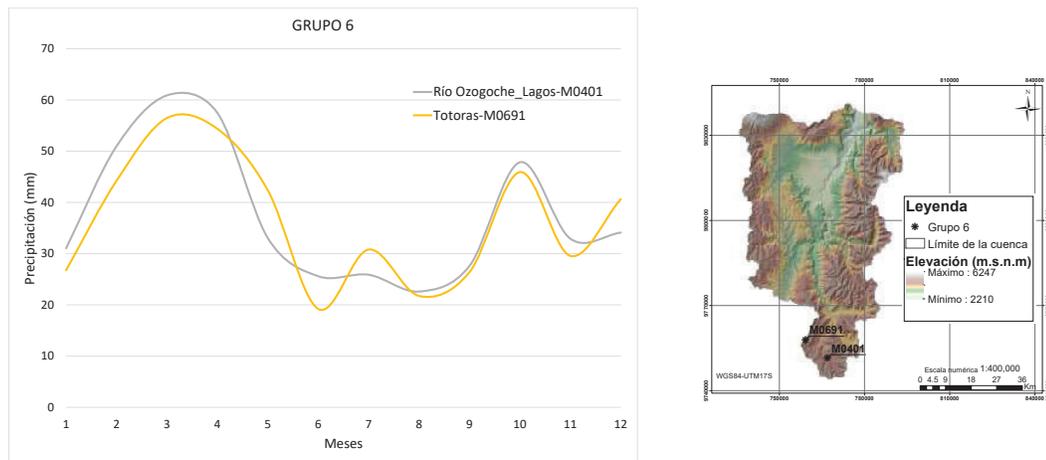


FIGURA 4.6: Distribución temporal de precipitación dentro de la cuenca del río Chambo para el grupo 6
ELABORADO POR: Ana Quishpe

En la figura 4.6 se aprecia que para las estaciones pertenecientes al grupo 6 la precipitación media varía en rangos de 19.8 a 62 mm por mes. Ambas estaciones presentan similares rangos de precipitación. Los valores pico se dan entre Marzo-Abril y Octubre-Noviembre ya que tienen característica bimodal, pero difieren del grupo 3 en los rangos de precipitación.

Para visualizar la precipitación media mensual de algunas estaciones se presenta a continuación la figura 4.7, donde se observa la distribución de la precipitación a lo largo del tiempo de las estaciones con mayor cantidad de datos de cada grupo. También se presentan las figuras correspondientes a la interpolación a nivel mensual de la cuenca en el Anexo 1 MAPA 17-28.

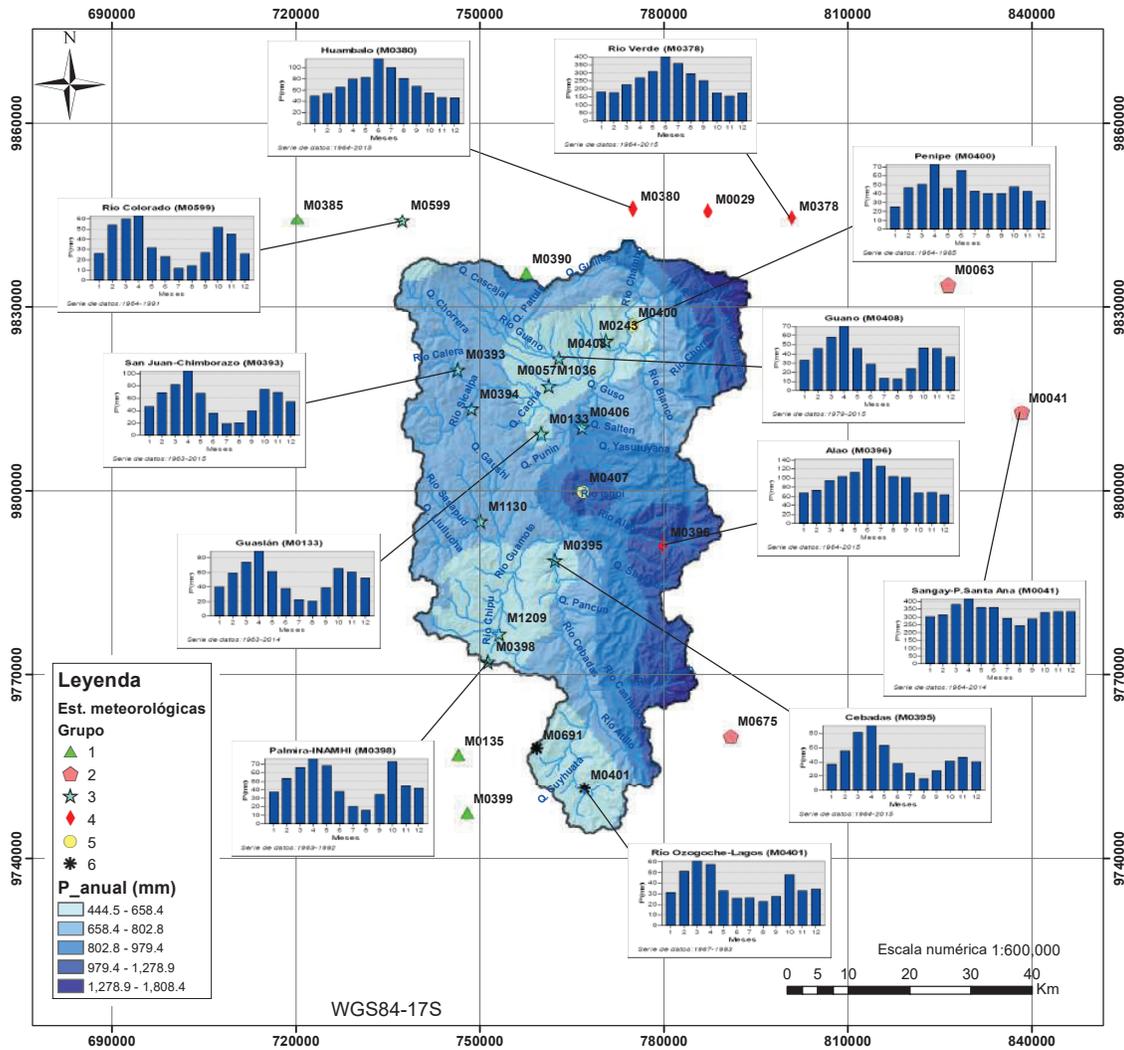


FIGURA 4.7: Caracterización de la precipitación en la cuenca del río Chambo- Precipitaciones medias mensuales

FUENTE: INAMHI
 ELABORADO POR: Ana Quishpe

Realizando una interpretación a nivel de cuenca se aprecian que los meses más húmedos son: Enero, Febrero, Octubre, Noviembre y Diciembre. Los meses semi-húmedos Marzo, Abril y Mayo y los meses secos son Junio, Julio, Agosto y Septiembre. Esta caracterización coincide con la distribución a nivel mensual de las estaciones existentes dentro de la cuenca de estudio.

4.1.1.2 Variación altitudinal de la precipitación

La variación altitudinal de la precipitación es producto del análisis de las precipitaciones medias anuales de cada estación en función de su altitud (Figura 4.8).

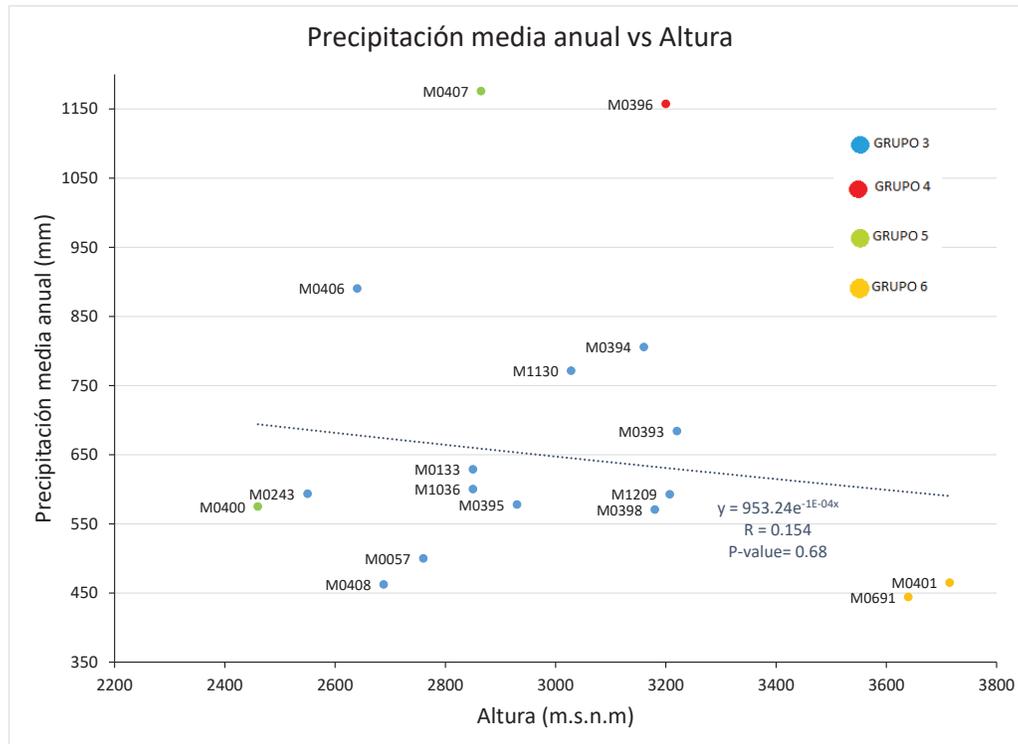


FIGURA 4.8: Variación altitudinal de la precipitación media en la cuenca del río Chambo
ELABORADO POR: Ana Quishpe

El coeficiente de correlación (R) de la curva de tendencia de la figura 4.8 es igual a 0.154, mismo que resulta del aplicar una relación exponencial. No existe una relación en que el coeficiente tienda a 1 debido a la variación climática de la zona, por ejemplo, la estación M0396 a pesar de estar dentro de la zona de estudio tiene una tendencia unimodal característica de la zona oriental como se observó en la figura 4.4. El "P-value" no tiene significancia, ya que debería ser menor a 0.05. Analizando tanto el coeficiente de correlación como "P-value", se determina que no existe relación entre las variables debido a la variabilidad de la precipitación en la cuenca.

4.1.1.3 Distribución espacial de la precipitación media anual

La distribución espacial de la precipitación permite definir de forma general el comportamiento de pluviosidad en la cuenca. Mediante el método de interpolación IDW (Inverse Distance Weight) se elaboró la distribución espacial de la precipitación usando la serie de datos interanuales de 35 estaciones meteorológicas que constan en la tabla 3.2 y son las que disponían de datos anuales.

El mapa de isoyetas se encuentra en Anexos 1 MAPA15.

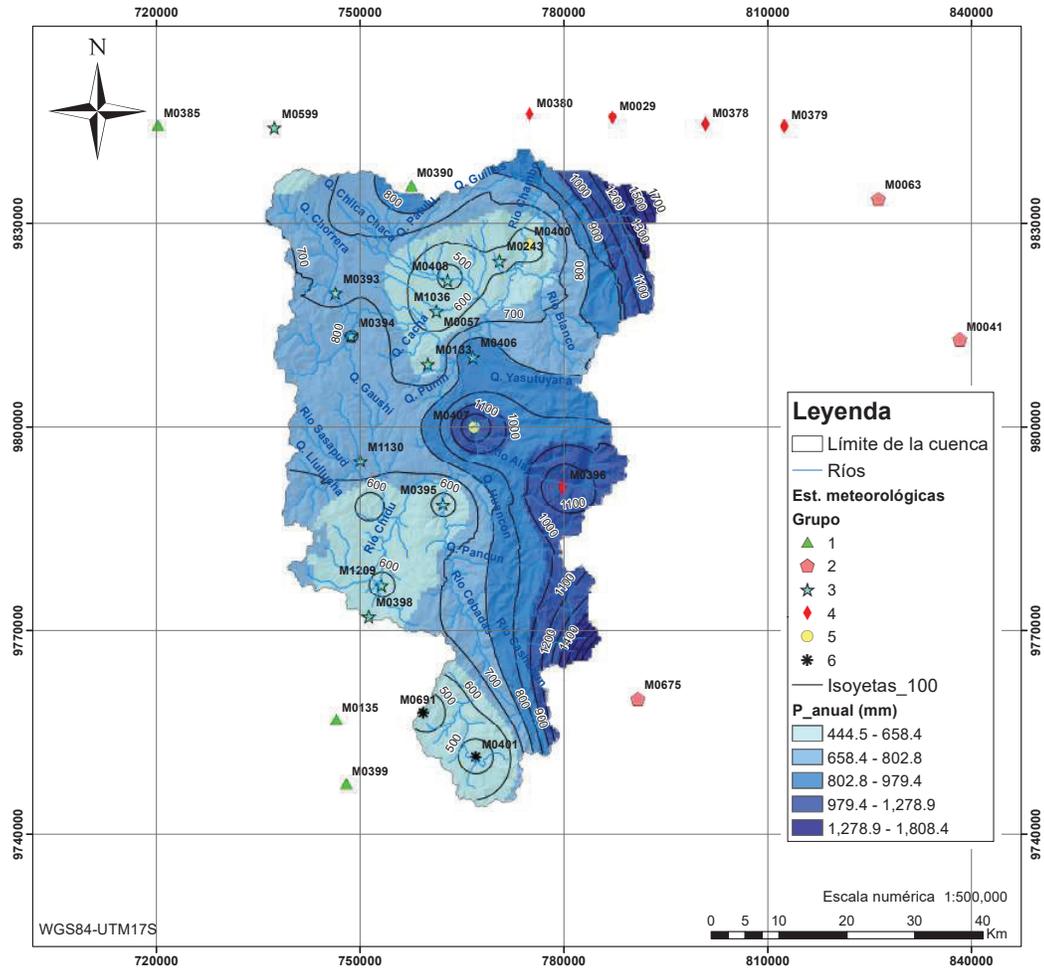


FIGURA 4.9: Distribución de la precipitación media interanual en la cuenca del río Chambo- IDW (Isoyetas)
ELABORADO POR: Ana Quishpe

Con la distribución espacial de precipitación media anual se define de forma general el comportamiento de pluviosidad de la cuenca. Se observa que en la zona cercana a El Tun-gurahua ocurren precipitaciones de alrededor de 1689 mm anuales debido a la influencia de la cercanía a la región Oriental. Las zonas de precipitación más baja se da en ciertos lugares de los cantones Riobamba, Guano y Guamote.

La cuenca del río Chambo forma parte de la cuenca del río Pastaza misma que se caracteriza por precipitaciones en la zona alta que van de 250mm a 700mm anuales y en la zona media y baja las precipitaciones están en el rango de 3865mm a 5215mm en el año [Lema Changoluisa and Plaza Quezada, 2009].

En la tabla 4.1 se presentan los valores de precipitación para las subcuencas, se aprecia que en la subcuenca del río Puela se registra uno de los más altos, siendo la subcuenca más cercana a la zona Oriental.

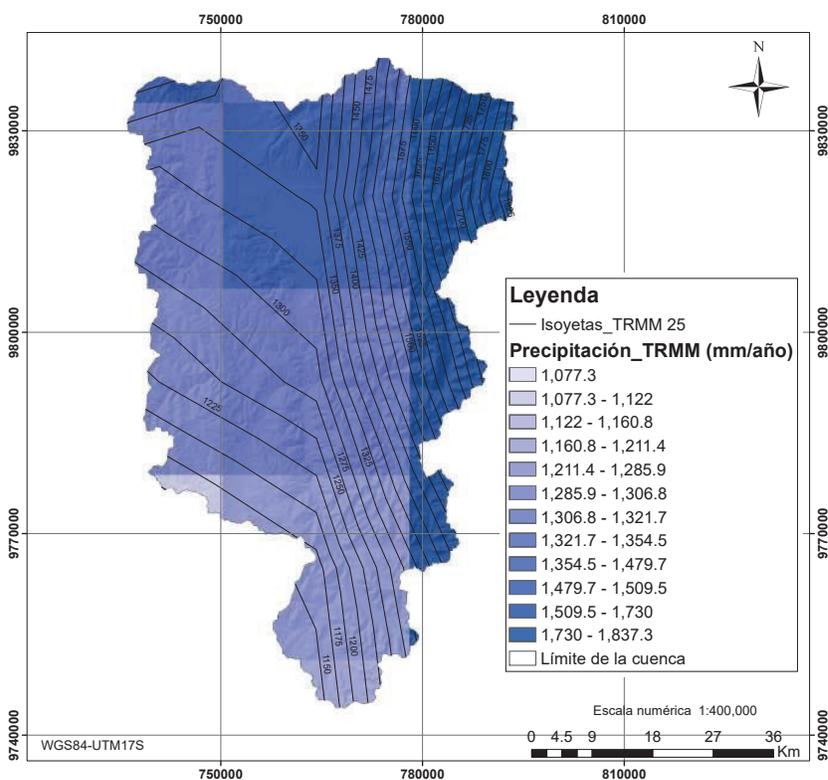
TABLA 4.1: Valores de precipitación media anual interpolada por subcuenca

Subcuenca	Precipitación (mm/año)
Ozogoche en los lagos (H0783)	578.5
Guamote AJ Cebadas (H0786)	675.5
Alao en Hda. Alao (H0787)	1028.9
Puela AJ Chambo (H0788)	1127.5
Guargualla AJ Cebadas (H789)	934.4
Cebadas AJ Guamote (H0790)	773.1
Balsacón en San Andrés (H0791)	694.7
Chambo en Hda. Cahuaji (H0826)	780.0

ELABORADO POR: Ana Quishpe

Para efecto de comparación de los resultados obtenidos utilizando los datos de campo se utilizaron los productos que se mencionan a continuación:

- El producto TMPA-3B43V7, es un algoritmo que proporciona información de precipitación satelital en (mm/h). Mismo que combina los datos conjuntos de estimaciones de buena calidad de 3 horas (3B42) con las mediciones de precipitación del Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) creando una combinación mensual en tiempo post-real, dicha estimación única resulta ser la mejor obtenida de precipitación mensual [Huffman and Bolvin, 2013]. Para obtener las isoyetas se consideró el periodo de datos que se dispone del producto (1998-2014), mismas que se indican en la figura 4.10 y están en mm/año.

**FIGURA 4.10:** Distribución de la precipitación media interanual en la cuenca del río Chambo del producto TMPA-3B43V7

ELABORADO POR: Ana Quishpe

- El producto IMERG (Integrated Multisatellite Retrieval for GPM), es un algoritmo que proporciona información de precipitación satelital en (mm/h). Mismo que considera los valores en un intervalo de media hora medidos por el satélite que forma parte de la red de medición global de precipitación GPM (Global Precipitation Measurement) [Liu, 2016, Sharifi et al., 2016]. La escala de valores de la precipitación para este producto está en mm/año.

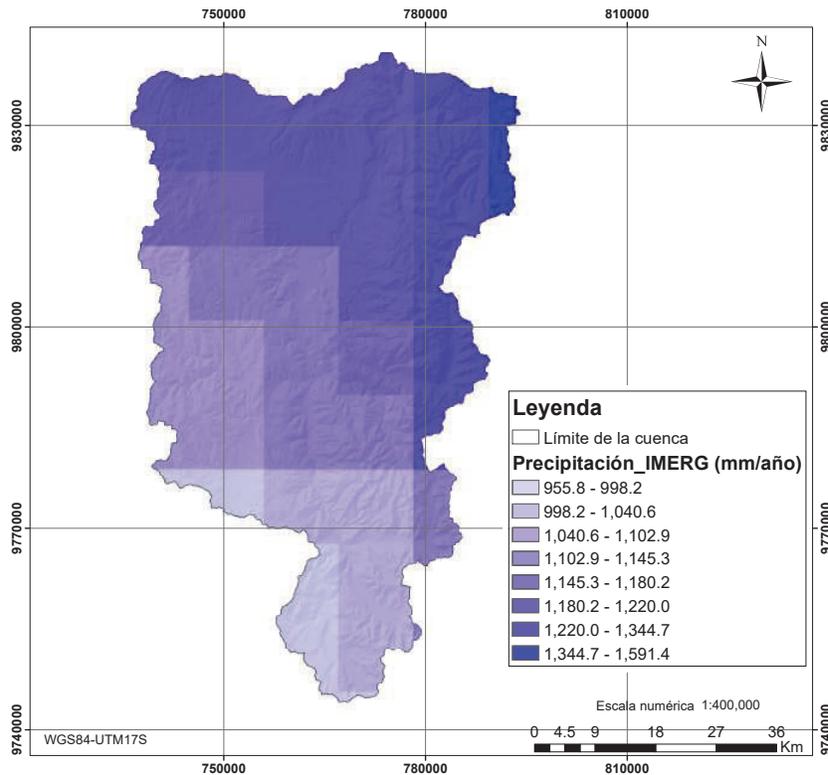


FIGURA 4.11: Distribución de la precipitación media interanual en la cuenca del río Chambo del producto IMERG

ELABORADO POR: Ana Quishpe

El rango de precipitación media anual obtenido de los datos de campo oscila entre 444.5mm a 1808.4mm, mientras que el obtenido de la precipitación satelital con el producto TRMM oscila entre 1077 a 1837mm y el obtenido del producto IMERG está en el rango 998-1591mm. Los valores de información satelital son similares entre ellos pero difieren completamente de los valores medidos en campo, siendo su única coincidencia la tendencia de la distribución espacial de la precipitación, mayor al noreste de la cuenca y menor al suroeste.

4.1.2 TEMPERATURA

Para realizar el análisis de temperatura dentro de la cuenca de estudio, se ha tomado en cuenta los mismos aspectos que se consideró para la precipitación:

- Distribución temporal de la temperatura
- Variación altitudinal de la temperatura
- Distribución espacial de la temperatura

4.1.2.1 Distribución temporal de la temperatura

El análisis de temperatura no se realiza separando por grupos debido a que se cuenta con pocas estaciones que miden esta variable.

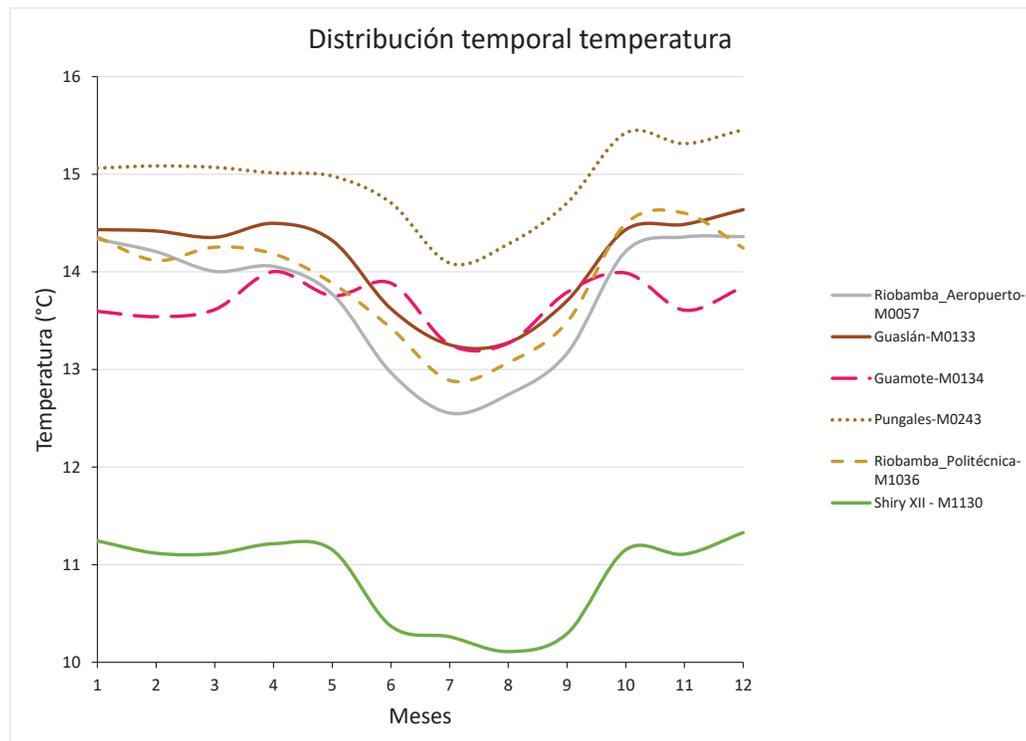


FIGURA 4.12: Distribución temporal de la temperatura dentro de la cuenca del río Chambo
ELABORADO POR: Ana Quishpe

En general, el mes de Agosto es el que presenta las temperaturas más bajas, siendo la mínima 10.1 °C en la estación Shiry XII (M1130-3028 m.s.n.m). El rango de temperatura de las estaciones existentes en la zona oscila en el rango de 10.1 a 15.4 °C. En la figura 4.13 se puede visualizar la distribución de la temperatura media mensual de todas las estaciones que disponen de datos.

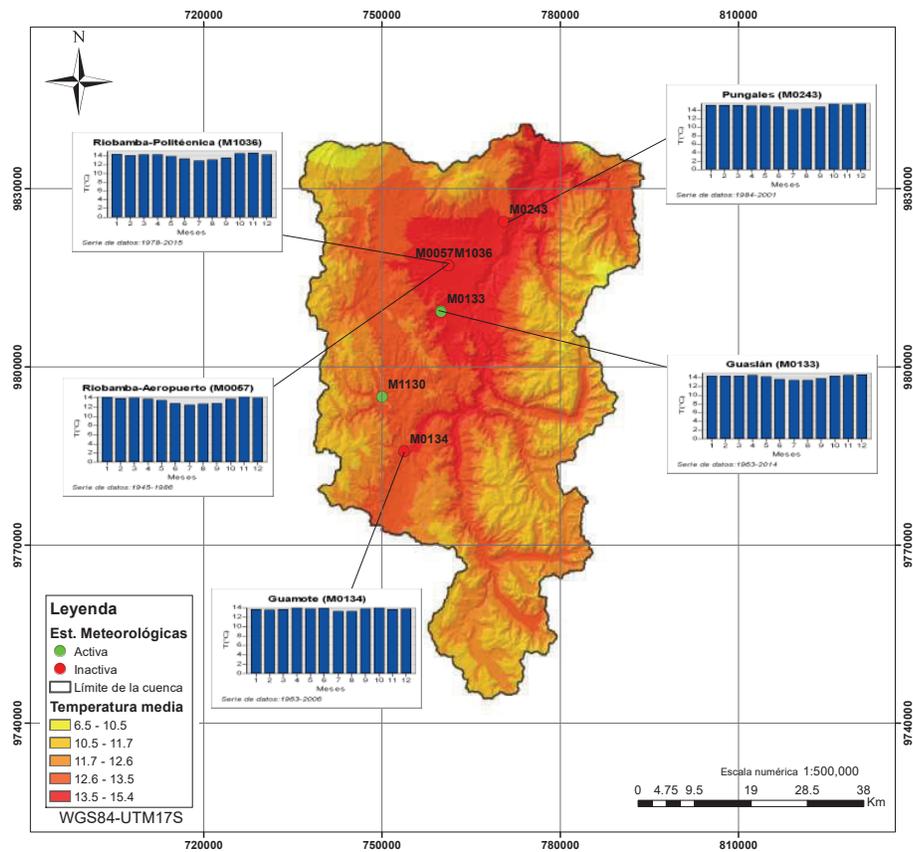


FIGURA 4.13: Caracterización de la temperatura en la cuenca del río Chambo - Temperatura media mensual

FUENTE: INAMHI
ELABORADO POR: Ana Quishpe

4.1.2.2 Variación altitudinal de la temperatura

La variación altitudinal de la temperatura se efectúa a partir del análisis de las temperaturas medias anuales de cada estación en función de la altitud. (Figura 4.14)

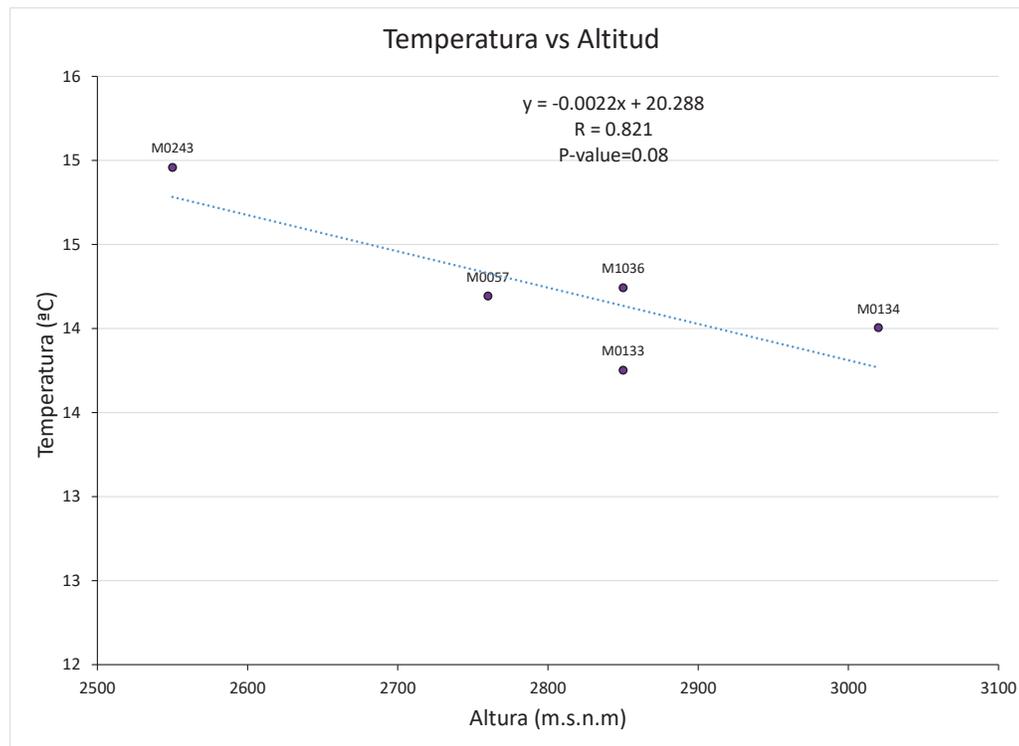


FIGURA 4.14: Variación altitudinal de la temperatura media en la cuenca del río Chambo
 ELABORADO POR: Ana Quishpe

El coeficiente de correlación (R) de la línea de tendencia de la figura 4.14 es de 0.82, eso significa que las variables están bastante relacionadas linealmente; siendo su relación inversamente proporcional: a mayor altitud menor temperatura.

La ecuación que se obtiene es: $y = -0,0022x + 20,288$ misma que se utilizará para la generación de isotermas en la zona.

4.1.2.3 Distribución espacial de la temperatura media anual

Para representar la distribución espacial de la temperatura se utilizará la ecuación de la línea de tendencia obtenida de la figura 4.14 gracias a que tiene un excelente coeficiente de correlación ($R = 0.82$). En dicha ecuación x será la elevación del modelo digital de elevación de la cuenca, y los valores de y serán la temperatura a lo largo de toda la superficie.

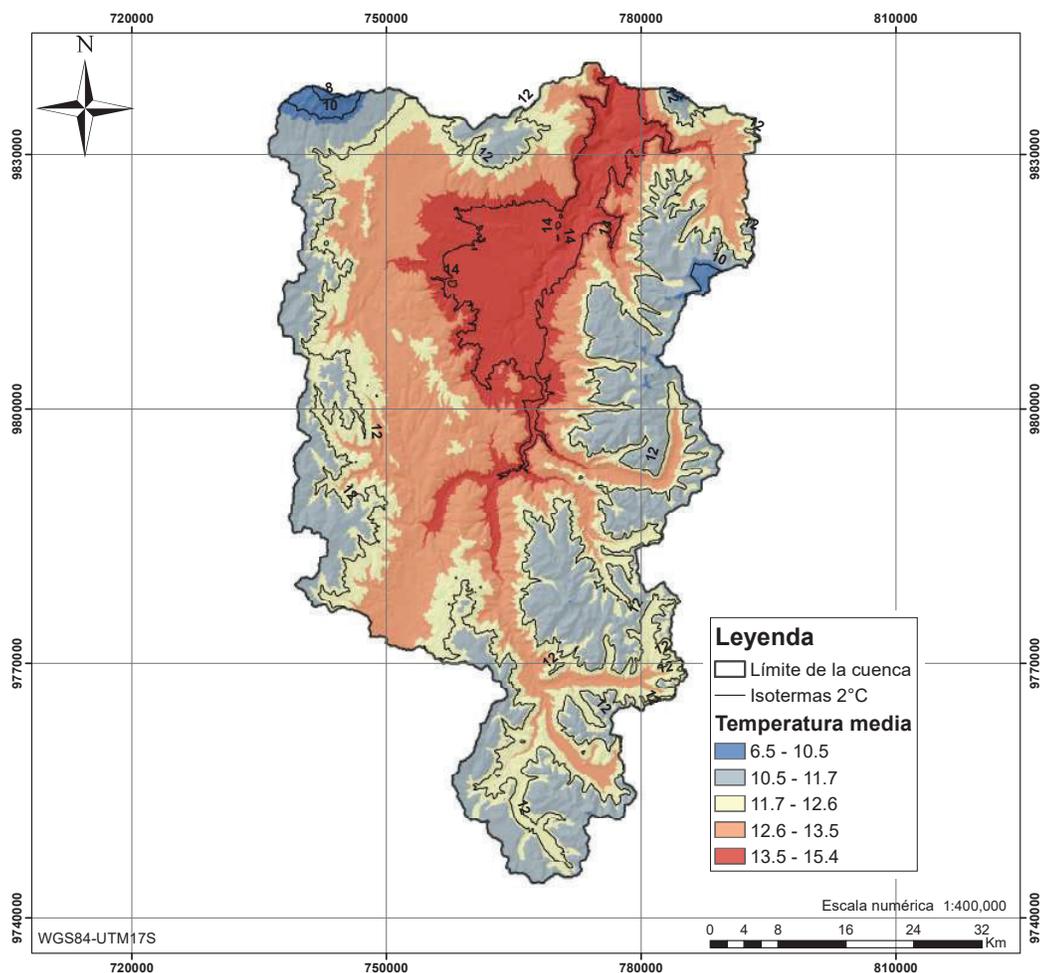


FIGURA 4.15: Distribución de la temperatura media anual en la cuenca del río Chambo (Isotermas)
ELABORADO POR: Ana Quishpe

En la figura 4.15 se muestra el resultado de la aplicación de la ecuación, con rangos de temperatura que van desde 6.5 °C a 15.4 °C, siendo las zonas altas las que registran los menores valores. El mapa de isotermas se encuentra en Anexos 1 MAPA16.

En la tabla 4.2 se presentan los valores de temperatura media anual para las subcuencas.

TABLA 4.2: Valores de temperatura media anual interpolada por subcuenca

Subcuenca	Temperatura (°C)
Ozogoche en los lagos (H0783)	11.54
Guamote AJ Cebadas (H0786)	12.45
Alao en Hda. Alao (H0787)	11.85
Puela AJ Chambo (H0788)	12.36
Guargualla AJ Cebadas (H789)	12.04
Cebadas AJ Guamote (H0790)	12.05
Balsacón en San Andrés (H0791)	12.77
Chambo en Hda. Cahuaji (H0826)	12.51

ELABORADO POR: Ana Quishpe

4.1.3 HUMEDAD RELATIVA

La humedad atmosférica se define como el contenido de vapor de agua en el aire. Para reflejarla se utiliza comúnmente la humedad relativa. La humedad relativa es un parámetro que determina el grado de saturación de la atmósfera, expresado en porcentaje y definido por la relación que existe entre la tensión de vapor actual y la tensión de vapor saturante a una determinada temperatura [INAMHI, 2010]. La tensión de vapor es la fuerza ejercida por el vapor de agua sobre la superficie de la Tierra, y la tensión de vapor saturante es la fuerza ejercida por el vapor de agua cuando el aire está saturado. A mayor porcentaje de humedad relativa es mayor el grado de saturación de la atmósfera [INAMHI, 2010].

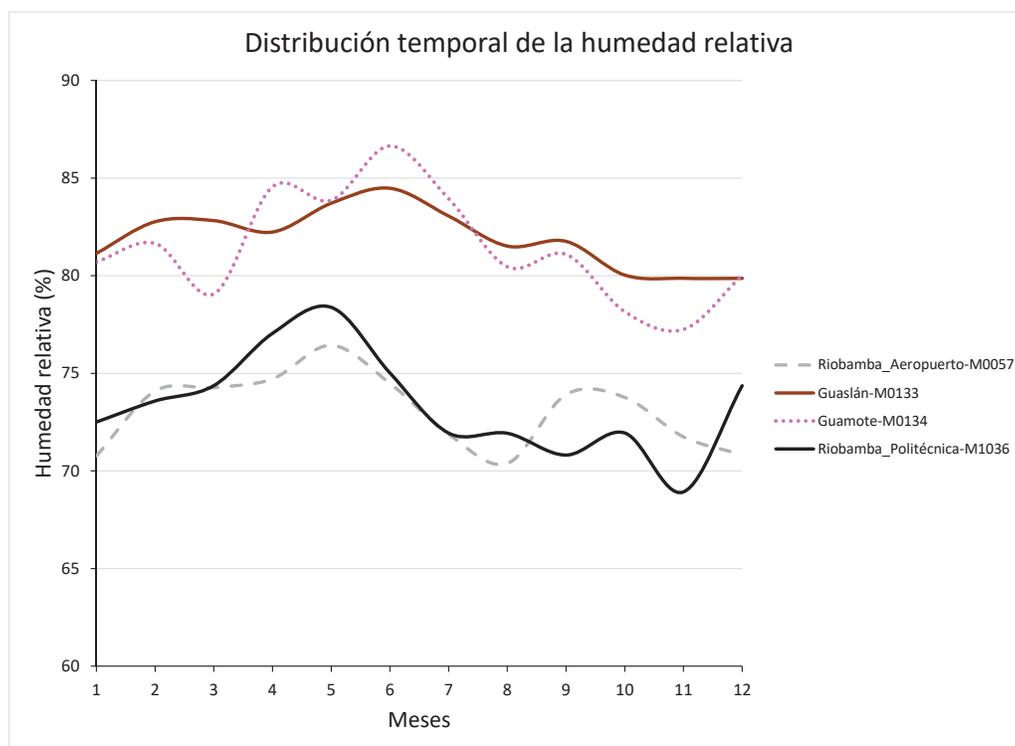


FIGURA 4.16: Distribución temporal de humedad relativa dentro de la cuenca del río Chambo
ELABORADO POR: Ana Quishpe

Como se puede observar en la figura 4.16 la humedad relativa media anual se encuentra en un rango de 68.9 a 90.9%, valores que fueron obtenidos mediante una interpolación utilizando las estaciones meteorológicas que se indican en la figura 4.17, también se presenta la variación de los valores de humedad relativa media mensual de todas las estaciones utilizadas. Los mayores valores se registran entre mayo y junio.

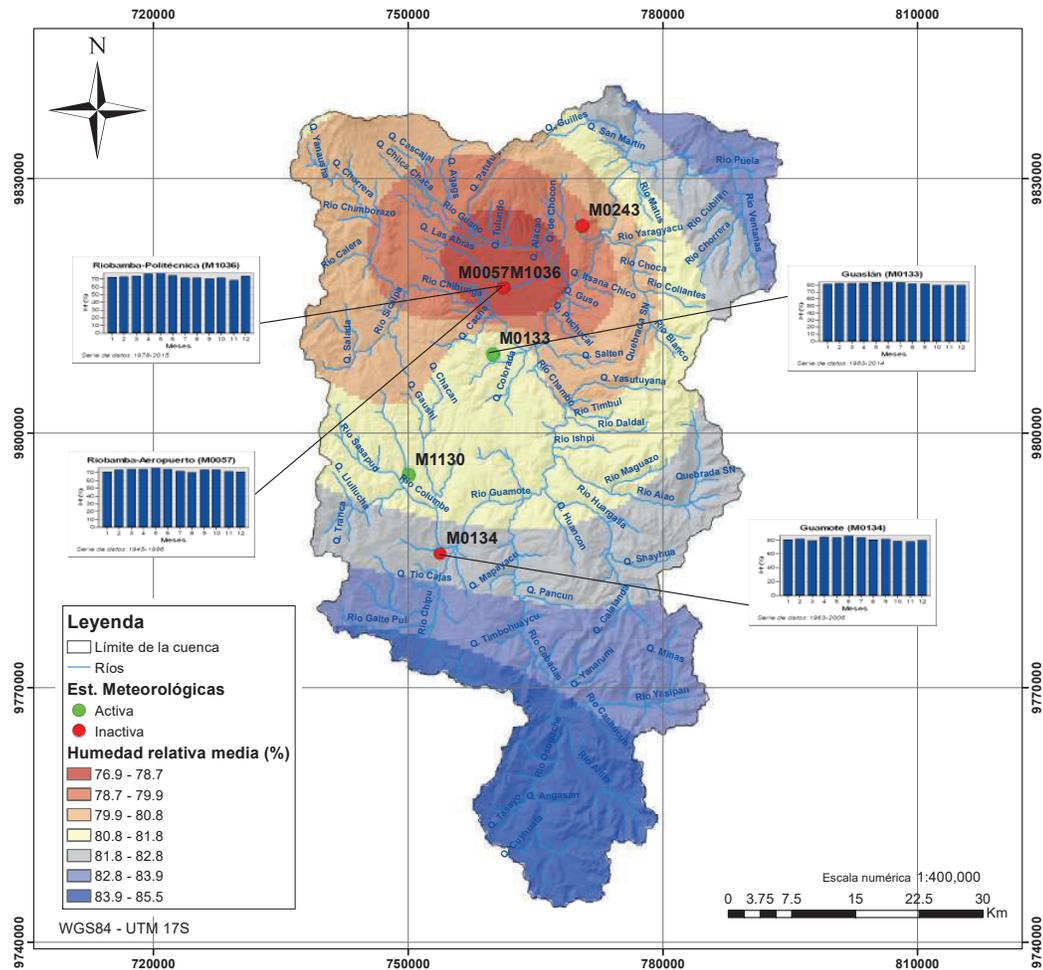


FIGURA 4.17: Caracterización de la humedad relativa media mensual y anual en la cuenca del río Chambo
 FUENTE: INAMHI
 ELABORADO POR: Ana Quishpe

4.2 CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

Para el análisis de caudales líquidos se realiza la distribución temporal de caudales líquidos en base a los valores medios mensuales.

4.2.1 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES LÍQUIDOS

El resumen de los caudales medios mensuales de 8 estaciones hidrológicas se muestra en la figura 4.18, considerando tanto estaciones activas como inactivas.

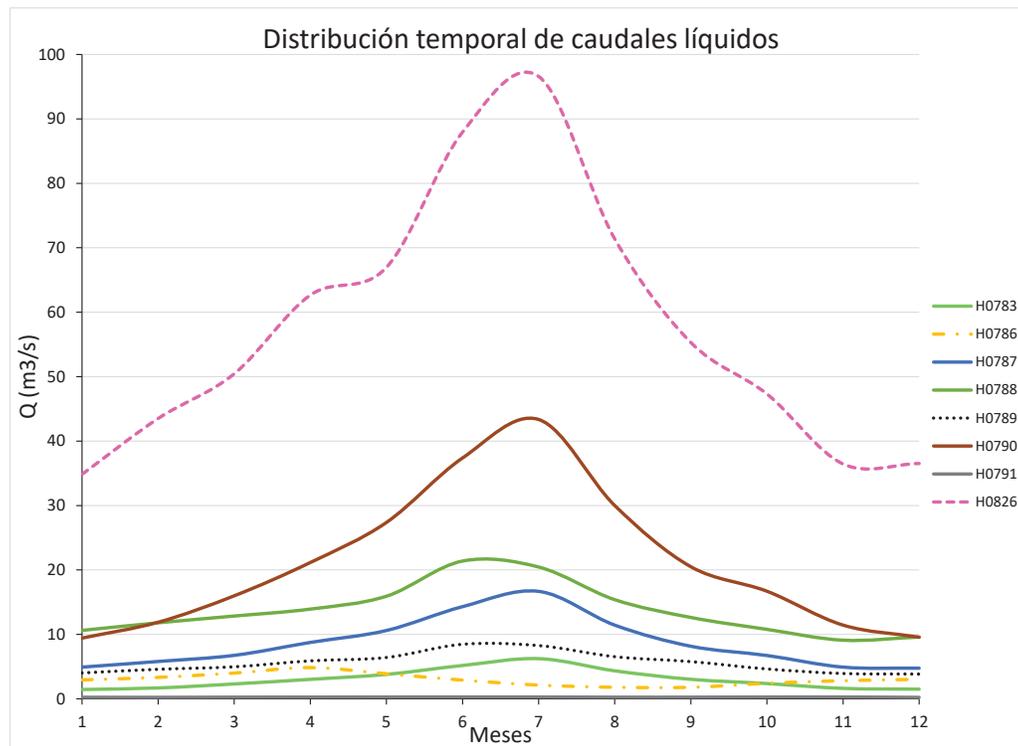


FIGURA 4.18: Distribución temporal caudales líquidos dentro de la cuenca del río Chambo
ELABORADO POR: Ana Quishpe

De la figura anterior se puede apreciar que la estación Chambo en Hda. Cahuaji (H0826) es la que presenta los valores más altos a lo largo de todo el año, con valores entre 34.8 y 96.6 m^3/s . Igualmente se aprecia una tendencia a tener mayores caudales en los meses de junio-agosto.

El caudal específico es el caudal por unidad de superficie, representa el caudal aportado por cada km^2 de cuenca. Este valor permite comparar el caudal de diversas cuencas que tengan superficies distintas [Sánchez, 2013]. En la tabla 4.3 se presenta para cada estación hidrológica sus respectivos valores de caudal líquido medio anual, de caudal líquido específico y escorrentía en m^3/s , l/s , $l/(s * km^2)$ y $mm/año$ respectivamente. En la figura 4.21 se puede apreciar este parámetro de forma gráfica.

TABLA 4.3: Caudal líquido específico

Estación	Q_{liq} medio anual (m^3/s)	Q_{liq} específico ($\frac{l/s}{km^2}$)	Escorrentía ($mm/año$)
H0783	3.05	45.88	1446.95
H0786	3.06	5.06	159.53
H0787	8.79	74.72	2356.45
H0788	13.72	64.84	2044.67
H0789	5.81	30.66	966.94
H0790	20.656	29.19	920.58
H0791	0.24	10.62	334.99
H0826	57.27	16.27	512.62

ELABORADO POR: Ana Quishpe

De la tabla anterior se puede apreciar que la subcuenca de Alao en Hda. Alao (H0787) es la que tiene el mayor caudal líquido específico, lo que significa que tiene el mayor caudal por unidad de área.

En la figura 4.19 se observa que la tendencia de los caudales es unimodal, con los valores máximos en el periodo de junio-agosto, y los mínimos en diciembre y enero. En la estación Guamote AJ Cebadas la tendencia es unimodal pero varía ligeramente en los meses de octubre-diciembre y enero; en la estación Balsacón en San Andrés la tendencia es casi lineal ya que el caudal no presenta gran variación por mes.

El comportamiento de la cuenca en relación a los caudales es completamente diferente al comportamiento de la precipitación en la mayoría de la cuenca, se aprecia claramente esta reacción de la cuenca ya que los meses más lluviosos no coinciden con los meses en los que el caudal es mayor. Esta variación se debe a un aporte proveniente de cuencas cercanas, en este caso las localizadas en la región amazónica, donde se observó la presencia de mayor precipitación en esas zonas.

En la figura 4.19, se puede observar la distribución del caudal en el tiempo para cada estación hidrológica, también se presenta el rango de escorrentía existente en la cuenca que oscila entre 159 y 2356 mm/año. Los valores que se encuentran en el centro de cada subcuenca representan el caudal líquido para cada una de ellas, expresado en m^3/s .

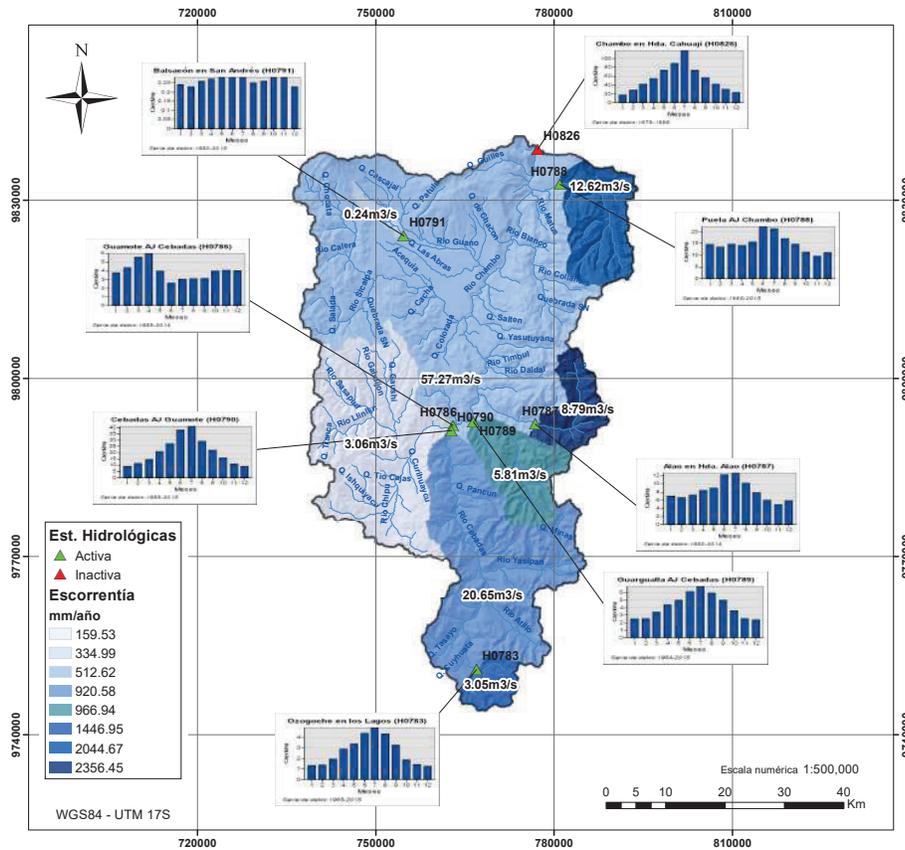


FIGURA 4.19: Caracterización de los caudales líquidos medios mensuales en la cuenca del río Chambo
 FUENTE: INAMHI
 ELABORADO POR: Ana Quishpe

Existen estudios anteriormente realizados respecto a caudales específicos [Pourrut et al., 1995], como se indica en la figura 4.20, donde se puede apreciar que para la zona correspondiente a la cuenca de estudio los valores oscilan entre $10\text{--}30 \frac{l/s}{km^2}$, valores que no coinciden en los presentados en la figura 4.21 para todas las subcuencas; se observa subcuencas con valores mayores a $40 \frac{l/s}{km^2}$, mismos que corresponden a la zona amazónica.

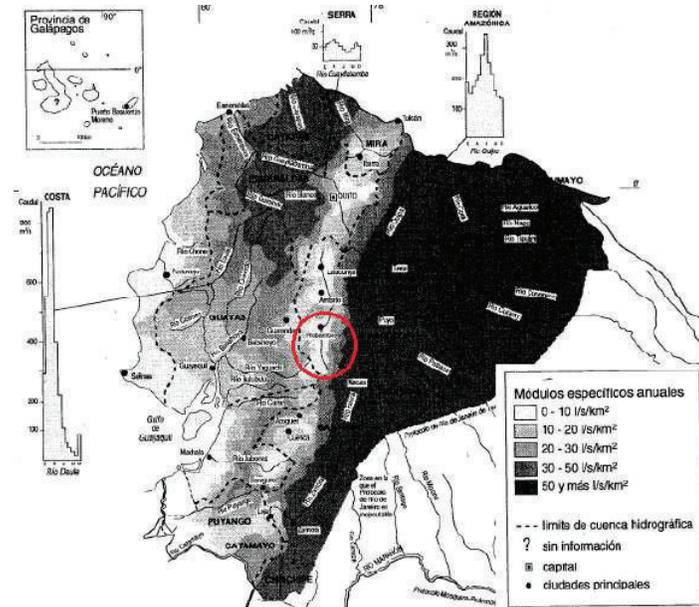


FIGURA 4.20: Módulos específicos anuales del Ecuador
 FUENTE: [Pourrut et al., 1995]

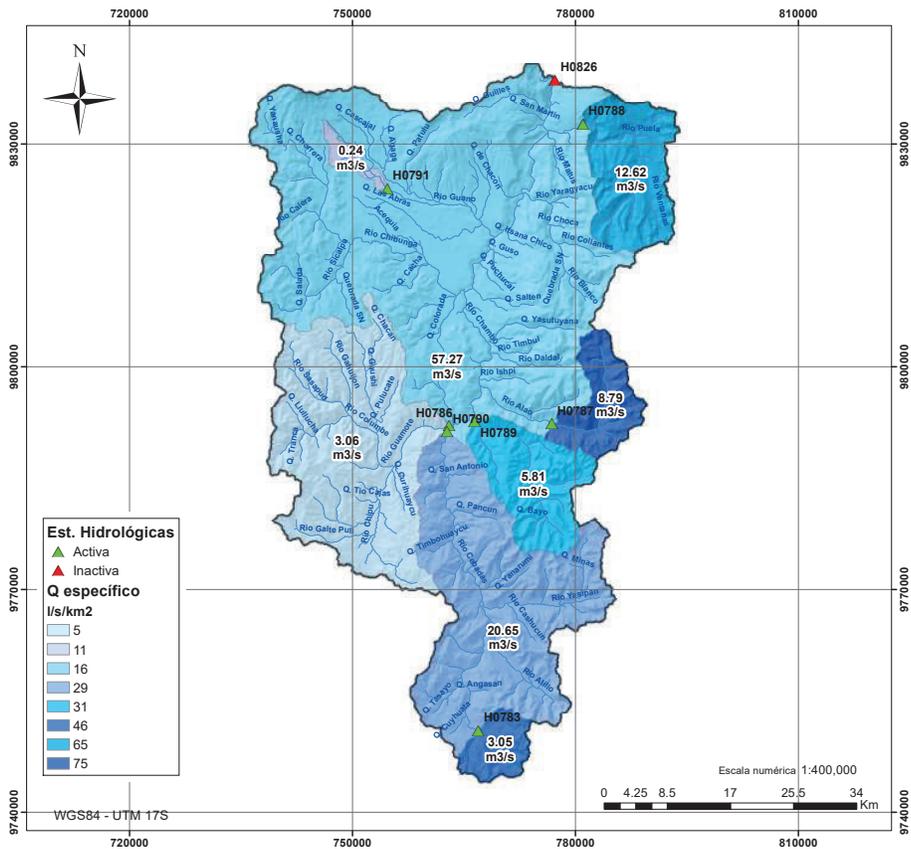


FIGURA 4.21: Caracterización de los caudales específicos en la cuenca del río Chambo
 FUENTE: INAMHI
 ELABORADO POR: Ana Quishpe

CAPÍTULO 5

ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

5.1 GENERALIDADES

5.1.1 DEFINICIÓN

El balance hídrico es una de las interacciones físicas que sucede en una cuenca hidrográfica, se lo entiende como el equilibrio entre el ingreso de agua ya sea por precipitación, deshielo, aporte de aguas subterráneas y/o trasvase desde otras cuencas hidrográficas colindantes; y la salida de agua por evapotranspiración, recarga de acuíferos (infiltración) y escorrentía superficial en un determinado tiempo [Dunne and Leopold, 1978], las entradas y salidas mencionadas se pueden observar en la figura 5.1.



FIGURA 5.1: Entradas y salidas de agua en una cuenca hidrográfica
ELABORADO POR: Ana Quishpe

5.1.2 PRINCIPALES PARÁMETROS CLIMÁTICOS

5.1.2.1 Precipitación

Precipitación es la forma de humedad mediante la cual el agua es depositada en la superficie terrestre, como: lluvia, granizo, rocío, neblina, nieve o helada. Los elementos más importantes para la formación de precipitación son: humedad atmosférica, radiación solar, enfriamiento del aire, condensación y crecimiento de las gotas.

El proceso de formación es tal, que se requiere el ascenso de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Los tres mecanismos más importantes para el ascenso de masas de aire son: elevación frontal, elevación

orográfica y elevación convectiva; siendo los responsables de la tipificación de la precipitación [Chow et al., 1994, Monsalve, 1995].

5.1.2.2 Infiltración

Infiltración es el proceso por el cual el agua ingresa desde la superficie del terreno hacia el suelo. Existen varios factores que influyen en la capacidad de infiltración como: humedad, permeabilidad y cobertura vegetal del suelo, temperatura del suelo y condiciones de contorno.

Conocida la precipitación y escurrimiento en una cuenca hidrográfica se puede calcular la capacidad de infiltración de la misma por diferencia de los parámetros mencionados o también utilizando ecuaciones matemáticas pero dicho valor solamente será un aproximado [Monsalve, 1995, Chow et al., 1994].

5.1.2.3 Escorrentía

La escorrentía superficial consiste en la ocurrencia y transporte de agua en la superficie terrestre; tiene la influencia de factores como: climáticos, fisiográficos y humanos. Entre los factores climáticos están los relacionados con la precipitación, tales como: intensidad, duración y precipitación antecedente. El área de la cuenca y la permeabilidad se consideran como factores fisiográficos. Los factores humanos más representativos son la construcción de obras hidráulicas y la rectificación de los ríos [Monsalve, 1995].

5.1.2.4 Evapotranspiración

La evapotranspiración es la unión de la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración efectuada por la vegetación; se considera evaporación al proceso por el cual el agua se transforma en vapor y transpiración a la pérdida de agua hacia la atmósfera ocasionada por las acciones físicas y fisiológicas de las plantas. Los principales factores que inciden en la evapotranspiración son: el suministro de energía, el transporte de vapor y el suministro de humedad a la superficie [Monsalve, 1995, Chow et al., 1994].

Existen dos tipos de evapotranspiración: potencial y real. La evapotranspiración potencial considera un adecuado abastecimiento de humedad de agua al suelo constantemente, mientras que la evapotranspiración real considera la humedad del suelo y las condiciones reinantes atmosféricas. En la actualidad aún no se han desarrollado métodos matemáticos acertados que estimen la evapotranspiración real o efectiva; sin embargo, existen métodos teórico-empíricos que estiman la evapotranspiración potencial y en función de ésta es posible determinar la real [Monsalve, 1995, Chow et al., 1994]. Para el caso de la evapotranspiración real y potencial un valor bastante acercado a la realidad, es el obtenido por satélite (MODIS16A) [Mu et al., 2009, Mu et al., 2011b] o la medición directa en la parcela de un determinado cultivo usando el lisímetro.

5.2 MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL EN LA CUENCA

5.2.1 MÉTODO DE THORNTHWAITE

El método de Thornthwaite es utilizado para la estimación de la evapotranspiración potencial, está basado en la temperatura media mensual y en la longitud del día. Este método está ajustado para meses de 30 días y con 12 horas de sol, por esta razón para obtener la evapotranspiración en una determinada zona debe corregirse en función de la latitud y el mes [Monsalve, 1995, Thornthwaite, 1948]. La expresión de Thornthwaite es la siguiente:

$$E_j = \left(\frac{10t_j}{I} \right)^a * 1,62 \quad (5.1)$$

donde:

E_j : Evapotranspiración potencial mensual no ajustada (cm)

t_j : Temperatura media mensual del mes j ($^{\circ}\text{C}$)

I : Índice de calor

$$I = \sum_{i=1}^{12} i_j \quad (5.2)$$

$$i_j = \left(\frac{t_j}{5} \right)^{1,514} \quad (5.3)$$

donde:

a : ecuación cúbica de la forma:

$$a = 0,675 * (10^{-6})(I^3) - 0,771 * (10^{-4})(I^2) + 1,792 * (10^{-2})I + 0,492 \quad (5.4)$$

Para obtener la evapotranspiración potencial corregida se la multiplica por un factor de corrección k que está en función de la latitud y longitud del día, valores que para la zona ecuatorial son:

TABLA 5.1: Factores de corrección de E_j obtenida por el método de Thornthwaite para la zona ecuatorial

Lat.	E	F	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N	D
Ecuador	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04

FUENTE: [Monsalve, 1995]

$$E_o = E_j * k \quad (5.5)$$

donde:

E_o : Evapotranspiración potencial mensual corregida (cm/mes)

E_j : Evapotranspiración potencial mensual no ajustada (cm/mes)

k : Factor de corrección (tabla 5.1)

De la aplicación del método de Thornthwaite se presenta la tabla 5.2, donde se indica a nivel mensual los valores de: precipitación, temperatura, todos los parámetros que se utilizan en el método y la evapotranspiración real; misma que fue obtenida de la aplicación de la ecuación de Budyko, cuyo cálculo se presenta más adelante en el capítulo 5.4.

TABLA 5.2: Aplicación del método de Thornthwaite en las subcuencas

Est.	Datos	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
H783	P(mm)	37.25	59.21	71.34	71.14	47.23	35.27	34.54	29.31	34.91	55.41	41.42	41.55
	T(°C)	11.14	10.64	10.99	13.54	11.21	13.04	12.62	12.62	13.01	11.31	10.53	10.66
	k	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
	i _j	3.36	3.14	3.29	4.52	3.40	4.27	4.06	4.06	4.25	3.44	3.09	3.15
	I	44.03											
	a	1.19											
	E _j	4.89	4.63	4.81	6.16	4.92	5.89	5.67	5.67	5.88	4.97	4.57	4.64
	E _o	50.81	43.48	50.00	62.23	51.19	59.51	58.93	58.93	59.34	51.73	46.15	48.22
	ET	27.73	30.80	35.94	41.48	31.25	28.74	28.27	25.39	28.53	33.63	27.83	28.53
		45.27	63.08	78.7	96.38	69.58	45.46	31.22	24.06	34.27	65.73	60.16	55.55
H786	P(mm)	45.27	63.08	78.7	96.38	69.58	45.46	31.22	24.06	34.27	65.73	60.16	55.55
	T(°C)	12.29	11.88	12.15	12.94	12.21	12.45	12.08	12.01	12.37	12.43	11.89	11.98
	k	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
	i _j	3.90	3.71	3.84	4.22	3.86	3.98	3.80	3.77	3.94	3.97	3.71	3.75
	I	46.46											
	a	1.23											
	E _j	5.34	5.12	5.26	5.69	5.30	5.42	5.23	5.19	5.38	5.41	5.13	5.17
	E _o	55.52	48.14	54.75	57.43	55.08	54.78	54.36	53.97	54.35	56.30	51.78	53.81
	ET	31.99	33.67	39.45	43.27	38.05	31.84	25.75	21.51	27.25	37.82	34.72	34.46
		60.97	71.4	92.47	102.64	105.74	113.84	97.43	81.49	82.67	68.78	67.15	61.34
H787	P(mm)	60.97	71.4	92.47	102.64	105.74	113.84	97.43	81.49	82.67	68.78	67.15	61.34
	T(°C)	11.54	11.07	11.39	13.87	11.56	13.28	12.86	12.9	13.29	11.69	11	11.11
	k	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
	i _j	3.55	3.33	3.48	4.69	3.56	4.39	4.18	4.20	4.39	3.62	3.30	3.35
	I	46.03											
	a	1.22											
	E _j	4.97	4.72	4.89	6.22	4.98	5.90	5.67	5.69	5.90	5.05	4.69	4.74
	E _o	51.67	44.40	50.86	62.80	51.78	59.56	58.97	59.19	59.61	52.49	47.34	49.34
	ET	34.85	33.06	39.12	46.97	40.94	46.37	44.24	42.08	42.47	36.72	33.97	33.90
		63.73	76.5	94.11	115.15	115.57	126.69	106.87	89.08	84.59	80.89	71.41	64.63
H788	P(mm)	63.73	76.5	94.11	115.15	115.57	126.69	106.87	89.08	84.59	80.89	71.41	64.63
	T(°C)	12.18	11.76	12.03	14.44	12.11	13.92	13.43	13.56	13.95	12.32	11.76	11.85
	k	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
	i _j	3.85	3.65	3.78	4.98	3.82	4.71	4.46	4.53	4.73	3.92	3.65	3.69
	I	49.77											
	a	1.28											
	E _j	5.08	4.85	5.00	6.31	5.04	6.02	5.75	5.82	6.04	5.15	4.85	4.90
	E _o	52.79	45.62	51.96	63.70	52.40	60.79	59.80	60.54	60.96	53.57	49.02	50.97
	ET	35.89	34.36	39.93	48.93	42.13	48.28	45.80	43.93	43.44	39.17	35.47	35.26
		55.88	71.64	92.74	105.61	97.19	89.51	75.38	62.59	66.39	69.23	65.89	61.16
H789	P(mm)	55.88	71.64	92.74	105.61	97.19	89.51	75.38	62.59	66.39	69.23	65.89	61.16
	T(°C)	11.77	11.31	11.62	13.59	11.75	13.08	12.66	12.66	13.05	11.92	11.27	11.38
	k	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
	i _j	3.66	3.44	3.58	4.54	3.65	4.29	4.08	4.08	4.27	3.73	3.42	3.47
	I	46.22											
	a	1.22											
	E _j	5.08	4.97	5.14	6.19	5.21	5.91	5.69	5.69	5.90	5.29	4.95	5.01
	E _o	52.81	46.76	53.42	62.50	54.13	59.72	59.16	59.16	59.56	55.07	50.03	52.11
	ET	34.16	34.34	40.61	47.17	41.51	43.58	40.99	38.27	39.32	37.98	35.05	35.07
		48.99	70.85	87.55	101.28	80	62.57	55.93	45.77	50.92	69.63	65.3	57.41
H790	P(mm)	48.99	70.85	87.55	101.28	80	62.57	55.93	45.77	50.92	69.63	65.3	57.41
	T(°C)	11.85	11.4	11.7	13.54	11.82	13.09	12.65	12.64	13.04	11.99	11.37	11.47
	k	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
	i _j	3.69	3.48	3.62	4.52	3.68	4.29	4.08	4.07	4.27	3.76	3.47	3.52
	I	46.45											
	a	1.23											
	E _j	5.11	4.87	5.03	6.01	5.09	5.77	5.53	5.53	5.74	5.18	4.85	4.91
	E _o	53.10	45.77	52.28	60.72	52.93	58.26	57.52	57.47	57.98	53.87	49.02	51.02
	ET	32.42	33.71	39.36	45.67	38.72	37.91	35.93	32.73	34.61	37.51	34.47	33.80
		46.03	62.91	77.42	94.54	68.84	46.46	32.71	29.51	42.13	67.66	58.82	49.91
H791	P(mm)	46.03	62.91	77.42	94.54	68.84	46.46	32.71	29.51	42.13	67.66	58.82	49.91
	T(°C)	12.71	12.32	12.56	14.16	12.56	13.49	13.04	13.15	13.54	12.83	12.38	12.45
	k	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
	i _j	4.11	3.92	4.03	4.84	4.03	4.49	4.27	4.32	4.52	4.16	3.95	3.98
	I	50.62											
	a	1.29											
	E _j	5.31	5.10	5.23	6.10	5.23	5.73	5.49	5.55	5.76	5.37	5.13	5.17
	E _o	55.20	47.93	54.36	61.62	54.36	57.89	57.06	57.68	58.17	55.88	51.82	53.75
	ET	32.16	33.54	39.06	45.27	37.59	33.10	26.99	25.33	31.54	38.03	34.45	32.91
		48.48	66.13	82.53	97.51	81.64	63.65	50.34	42.34	49.76	67.88	61.79	54.84
H826	P(mm)	48.48	66.13	82.53	97.51	81.64	63.65	50.34	42.34	49.76	67.88	61.79	54.84
	T(°C)	12.37	11.96	12.23	13.82	12.27	13.26	12.83	12.87	13.26	12.5	11.98	12.07
	k	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
	i _j	3.94	3.74	3.87	4.66	3.89	4.38	4.16	4.18	4.38	4.00	3.75	3.80
	I	48.78											
	a	1.26											
	E _j	5.24	5.02	5.16	6.02	5.18	5.72	5.48	5.51	5.72	5.31	5.03	5.08
	E _o	54.47	47.19	53.70	60.84	53.92	57.75	57.04	57.27	57.75	55.20	50.81	52.81
	ET	32.72	33.73	39.47	45.26	39.46	37.96	34.13	31.39	34.17	37.78	34.64	33.91

ELABORADO POR: Ana Quishpe

Los datos a nivel anual de precipitación y evapotranspiración potencial y real se obtienen realizando la sumatoria de todos los meses, ya que este método considera las variables meteorológicas a nivel mensual.

5.2.2 MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH (FAO)

Este método es el único recomendado para la determinación de la evapotranspiración de referencia (ET_o), es considerado el más completo ya que utiliza datos climáticos estándar: horas de sol, temperatura, humedad atmosférica y velocidad del viento. Se lo llama de referencia debido a que fue realizado para un cultivo hipotético con una altura asumida de 0.12m, con resistencia superficial de $70sm^{-1}$ y un albedo de 0.23 [Allen, 2006].

La ecuación de FAO Penman-Monteith es una representación clara y precisa de los factores físico-fisiológicos que tienen gran influencia en la evapotranspiración, siendo su expresión la siguiente:

$$ET_o = \frac{0,408 * \Delta(R_n - G) + \gamma * \frac{900}{T+273} * u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma * (1 + 0,34u_2)} \quad (5.6)$$

donde:

ET_o : Evapotranspiración de referencia (mm/dia)

R_n : Radiación neta en la superficie del cultivo ($MJ/m^2 dia$)

G : Flujo de calor del suelo ($MJ/m^2 dia$)

T : Temperatura media del aire a 2m de altura ($^{\circ}C$)

u_2 : Velocidad del viento a 2m de altura (m/s)

e_s : Presión de vapor de saturación (kPa)

e_a : Presión real de vapor (kPa)

$e_s - e_a$: Déficit de presión de vapor (kPa)

Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor ($kPa/^{\circ}C$)

γ : Constante psicométrica ($kPa/^{\circ}C$)

Considerando únicamente los parámetros del clima se puede obtener la evapotranspiración de referencia con ayuda del programa CROPWAT, misma que se indica en la figura 5.2, donde se puede observar los datos necesarios que se deben ingresar para poder obtener ET_o ; se puede observar que los datos necesarios a nivel mensual corresponden a temperatura máxima y mínima, humedad, velocidad del viento y horas de sol.

Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/m ² /day	ETo mm/day
January							
February							
March							
April							
May							
June							
July							
August							
September							
October							
November							
December							
Average							

FIGURA 5.2: Datos de clima a ingresar en CROPWAT

FUENTE: CROPWAT 8.0

ELABORADO POR: Ana Quishpe

Los datos indicados se ingresarán para las estaciones meteorológicas existentes dentro de la zona y que midan todos los parámetros, las estaciones a utilizar se indican en la tabla 5.3.

TABLA 5.3: Estaciones meteorológicas para cálculo de ET_o mediante programa CROPWAT

Código	Estación
M0057	Riobamba-Aeropuerto
M0133	Guaslán
M0134	Guamote
M0243	Pungales
M1036	Riobamba-Politécnica

ELABORADO POR: Ana Quishpe

En la figura 5.3 se puede observar los datos ingresados para la estación M0057, donde los valores de las variables meteorológicas corresponden al promedio del periodo de datos existente; de la misma manera se ingresan los datos a nivel mensual para el resto de estaciones. De este modo se obtiene un valor de ET_o para cada estación meteorológica mencionada en la tabla 5.3, tanto a nivel mensual como anual.

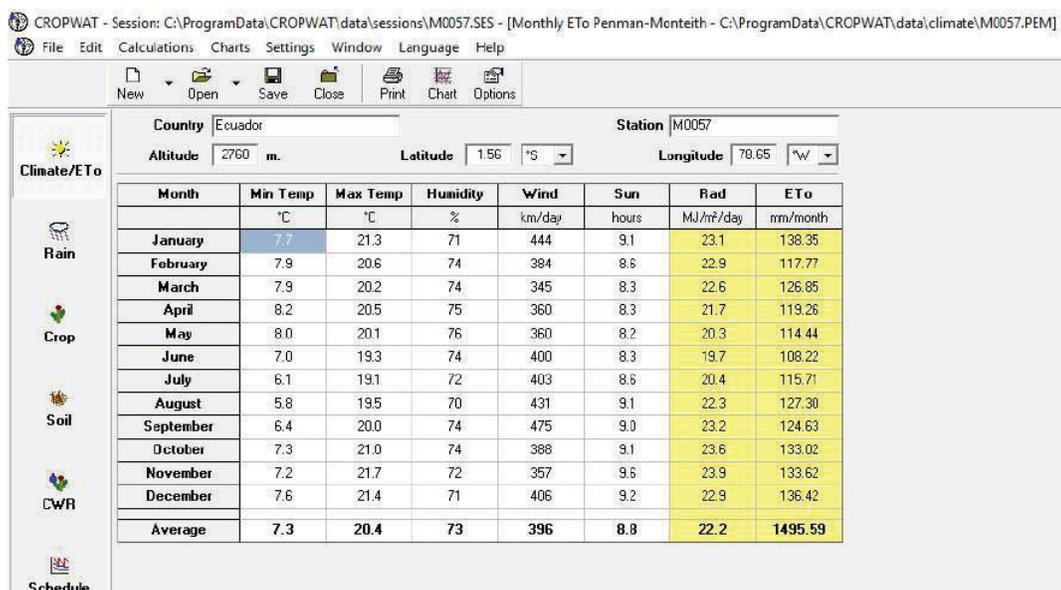


FIGURA 5.3: Datos de clima ingresados para la estación M0057 en programa CROPWAT

FUENTE: INAMHI

ELABORADO POR: Ana Quishpe

El resumen de los valores obtenidos de ET_o luego de la utilización del software se presentan en la tabla 5.4. Estos datos han sido colocados espacialmente y mediante la interpolación con el método IDW se obtiene la figura 5.4.

TABLA 5.4: Resumen de valores de ET_o anual para las estaciones meteorológicas indicadas - CROPWAT

Código	Estación	ET_o (mm)
M0057	Riobamba-Aeropuerto	1495.6
M0133	Guaslán	1341.3
M0134	Guamote	1346.8
M0243	Pungales	1242.3
M1036	Riobamba-Politécnica	1441.8

ELABORADO POR: Ana Quishpe

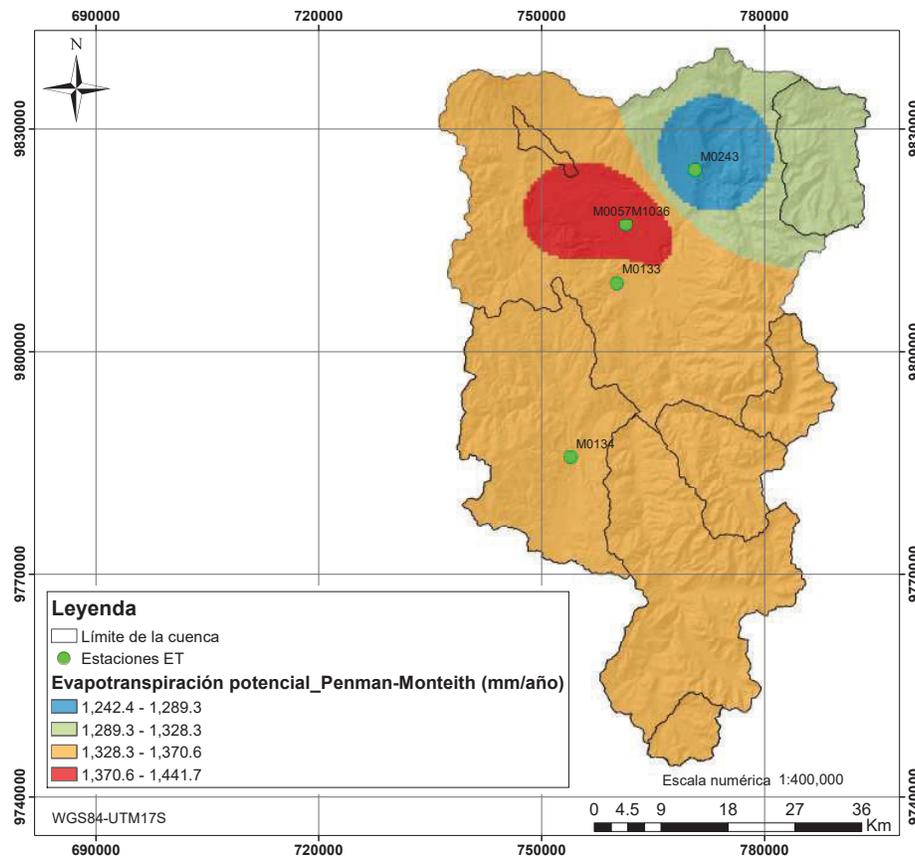


FIGURA 5.4: Evapotranspiración potencial de referencia en la cuenca del río Chambo - Penman-Monteith
ELABORADO POR: Ana Quishpe

5.2.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL DE SATÉLITE (MODIS16A)

El conjunto de datos de evapotranspiración global terrestre MODIS16A es parte del proyecto NASA/EOS, mismo que se encarga de la estimación de la evapotranspiración terrestre de la superficie de la tierra a nivel global, mediante el uso de satélites remotos de detección de datos. Los datos de los que se dispone en el MODIS16A (evapotranspiración real y potencial, flujo de calor latente real y potencial) son regulares en la superficie terrestre y se presentan en intervalos mensuales y anuales. Los datos cubren el periodo del 2000-2010 y el algoritmo de obtención de los mismos se basa en la ecuación de Penman-Monteith [Mu et al., 2011a, Mu et al., 2011b].

En la figura 5.5 se aprecia la distribución espacial de la evapotranspiración potencial.

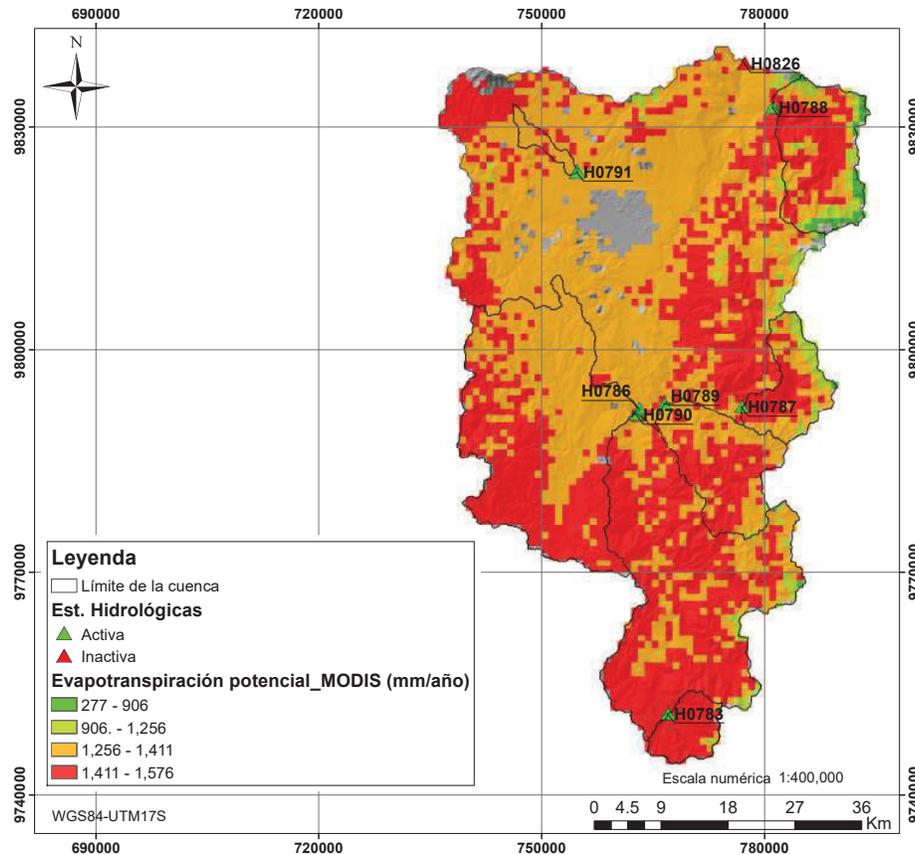


FIGURA 5.5: Evapotranspiración potencial en la cuenca del río Chambo - MODIS
ELABORADO POR: Ana Quishpe

5.3 MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL EN LA CUENCA

Como se mencionó anteriormente el método más acertado en la estimación de la evapotranspiración real o efectiva es el MODIS16A (evapotranspiración de satélite), por esta razón, se ha decidido utilizar ciertos métodos que estiman la evapotranspiración potencial para posteriormente utilizando otros mecanismos existentes estimar la evapotranspiración real. Los métodos utilizados en este análisis son:

5.3.1 ECUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

Este método es conocido como la ecuación de continuidad, misma que es considerada la ley más importante en Hidrología. Dicha ecuación expresa: los flujos de ingreso de agua menos los flujos de egreso de agua deben ser iguales a un cambio de almacenamiento [Monsalve, 1995] y es la siguiente:

$$I - O = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (5.7)$$

donde:

I: Entradas

O: Salidas

$\frac{\Delta S}{\Delta t}$: Cambio de almacenamiento

Las entradas (I) en una cuenca hidrográfica son: precipitación, trasvases, escorrentía superficial y aguas subterráneas desde otras cuencas. Entre las salidas (O) se considera: evapotranspiración, infiltración, exportaciones de agua, escorrentía superficial y aguas subterráneas hacia otras cuencas. El cambio de almacenamiento (ΔS) se entiende como el almacenamiento de aguas subterráneas y el almacenamiento por cambio de humedad en el suelo [Monsalve, 1995].

Para la aplicación de este método en la cuenca de estudio se consideró las series de datos a nivel anual; la ecuación hidrológica expresada en función de las entradas y salidas a considerarse es la siguiente:

$$P - R - ET = 0 \quad (5.8)$$

donde:

P : Precipitación media anual ($mm/año$)

R : Escorrentía media anual ($mm/año$)

ET : Evapotranspiración ($mm/año$)

Cuando se considera la serie de datos meteorológicos a nivel anual es posible despreciar la infiltración; de la ecuación anterior obtendremos la evapotranspiración real para cada subcuenca. En la tabla 5.5 se indica el balance realizado con toda la serie de datos existente y en la tabla 5.6 se considera el periodo de continuidad más largo, tanto para la precipitación como para la escorrentía.

TABLA 5.5: Aplicación de la ecuación del balance hídrico para la serie completa de datos anuales existentes

Código	Estación	Precipitación media anual	Escorrentía	ET
		($mm/año$)	($mm/año$)	($mm/año$)
H0783	Ozogoche en los Lagos	578.5	1447.0	-868.5
H0786	Guamote AJ Cebadas	675.5	159.5	516.0
H0787	Alao en Hda. Alao	1028.9	2356.5	-1327.5
H0788	Puela AJ Chambo	1127.5	2044.7	-917.2
H0789	Guargualla AJ Cebadas	934.4	966.9	-32.6
H0790	Cebadas AJ Guamote	773.1	920.6	-147.5
H0791	Balsacón en San Andrés	694.7	335.0	359.7
H0826	Chambo en Hda. Cahuaji	780.0	512.6	269.1

ELABORADO POR: Ana Quishpe

TABLA 5.6: Aplicación de la ecuación del balance hídrico para el periodo de datos continuo

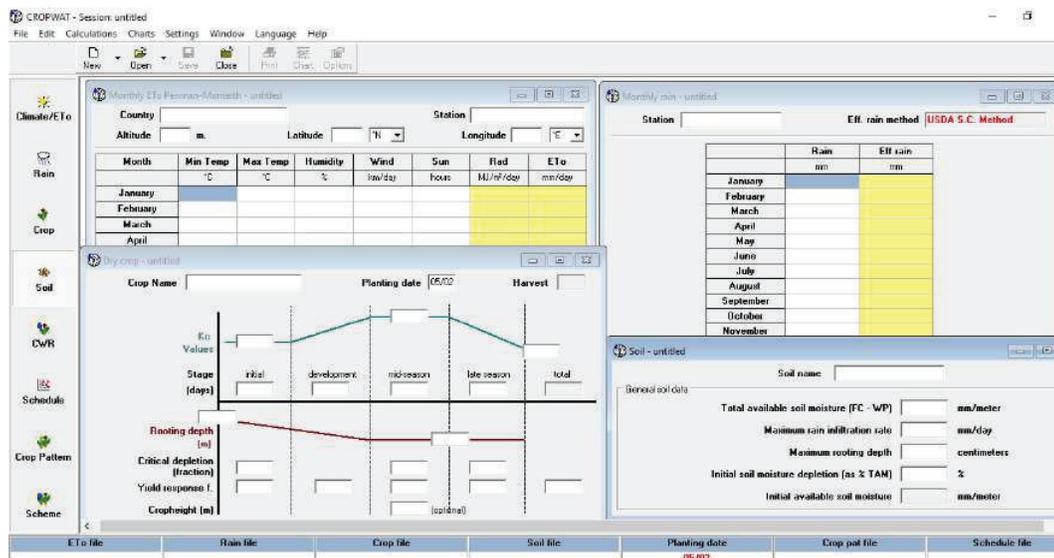
Código	Estación	Periodo	P. media anual	Escorrentía	ET
			(mm/año)	(mm/año)	(mm/año)
H0783	Ozogoche en los Lagos	1975-2001	918.1	1579.8	-661.7
H0786	Guamote AJ Cebadas	2005-2014	715.5	159.5	556.0
H0787	Alao en Hda. Alao	1975-2001	1143.6	2570.9	-1427.3
H0788	Puela AJ Chambo	1986-2001	1309.3	2173.8	-864.5
H0789	Guargualla AJ Cebadas	1975-2001	1019.3	1005.2	14.1
H0790	Cebadas AJ Guamote	1975-2001	914.7	999.0	-84.3
H0791	Balsacón en San Andrés	1984-2014	718.3	209.1	509.2
H0826	Chambo en Hda. Cahuaji	1978-1998	901.8	512.6	389.1

ELABORADO POR: Ana Quishpe

Se evidencia que en ambos casos para las estaciones H0783, H0788, H0789 y H0790; los valores de ET son negativos o muy pequeños. Estos resultados posiblemente se deben a un aporte extra, tal como agua subterránea o a la influencia de la precipitación de la región amazónica ya que todas las estaciones antes mencionadas están localizadas en esa zona. Es difícil conocer con exactitud la razón del desbalance existente debido a que no existen estaciones meteorológicas, por ello no es posible determinar el comportamiento de la precipitación en la franja oriental de la cuenca de estudio.

5.3.2 MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH (FAO)

Debido a la dificultad matemática de la expresión, la FAO ha desarrollado un software capaz de obtener la evapotranspiración real; este software se llama CROPWAT, sus componentes se pueden observar en la figura 5.6.

**FIGURA 5.6:** Interfaz del programa CROPWAT con sus respectivos componentes

FUENTE: CROPWAT 8.0

ELABORADO POR: Ana Quishpe

En el componente Climate/ ET_o , se ingresan los valores correspondientes a latitud, longitud, temperatura máxima y mínima, humedad, velocidad del viento y horas de sol a nivel mensual

de la estación meteorológica; con estos datos el programa calcula la evapotranspiración de referencia. Si se desea conocer el valor estimado de la evapotranspiración real es necesario ingresar los datos de precipitación en la sección "Rain", los datos del cultivo en la sección "Crop" y las características del suelo en la sección "Soil".

En efecto, para la zona de estudio se estimó la evapotranspiración real en las 5 estaciones ubicadas dentro de la zona de estudio que son: M0057, M0133, M0134, M0243 y M1036; utilizando los datos climáticos, el tipo de suelo y el cultivo que prevalece en cada una de ellas; todos estos datos se han considerado de acuerdo a los mapas obtenidos para cobertura vegetal y textura de la cuenca. Los datos utilizados se indican en la tabla 5.7.

TABLA 5.7: Datos de Kc, tipo de suelo y cultivo para cada estación (CROPWAT)

Código	Estación	Cultivo	<i>kc</i>	Tipo de suelo
M0057	Riobamba-Aeropuerto	césped	0.90-0.95-0.95	medio
M0133	Guaslán	vegetales	0.70-1.05-0.95	medio
M0134	Guamote	césped	0.90-0.95-0.95	medio
M0243	Pungales	maíz	0.30-1.20-0.35	medio
M1036	Riobamba-Politécnica	césped	0.90-0.95-0.95	medio

ELABORADO POR: Ana Quishpe

La información referente a cultivos corresponden a la proporcionada por el IEE en el ámbito de cobertura vegetal. Los valores de kc corresponden a las etapas del cultivo: inicial (siembra), media (crecimiento) y final (cosecha); estos valores se encuentran registrados en el programa de acuerdo al cultivo y han sido determinados por la FAO. El tipo de suelo se obtuvo del mapa de textura de la cuenca dependiendo de la ubicación de cada estación. El resultado obtenido de la aplicación del CROPWAT para la obtención de evapotranspiración real es el siguiente:

TABLA 5.8: Evapotranspiración real por el método Penman-Monteith FAO en las estaciones meteorológicas

Código	ET
	(<i>mm/año</i>)
M0057	1426.3
M0133	971.8
M0134	1322.1
M0243	1205.1
M1036	1357.7

ELABORADO POR: Ana Quishpe

Con la finalidad de conocer la evapotranspiración real en la cuenca de estudio se realizó la interpolación utilizando el método IDW y las estaciones anteriormente mencionadas. La distribución espacial en la cuenca de estudio se presenta en la figura y los valores para cada subcuenca en la tabla 5.9.

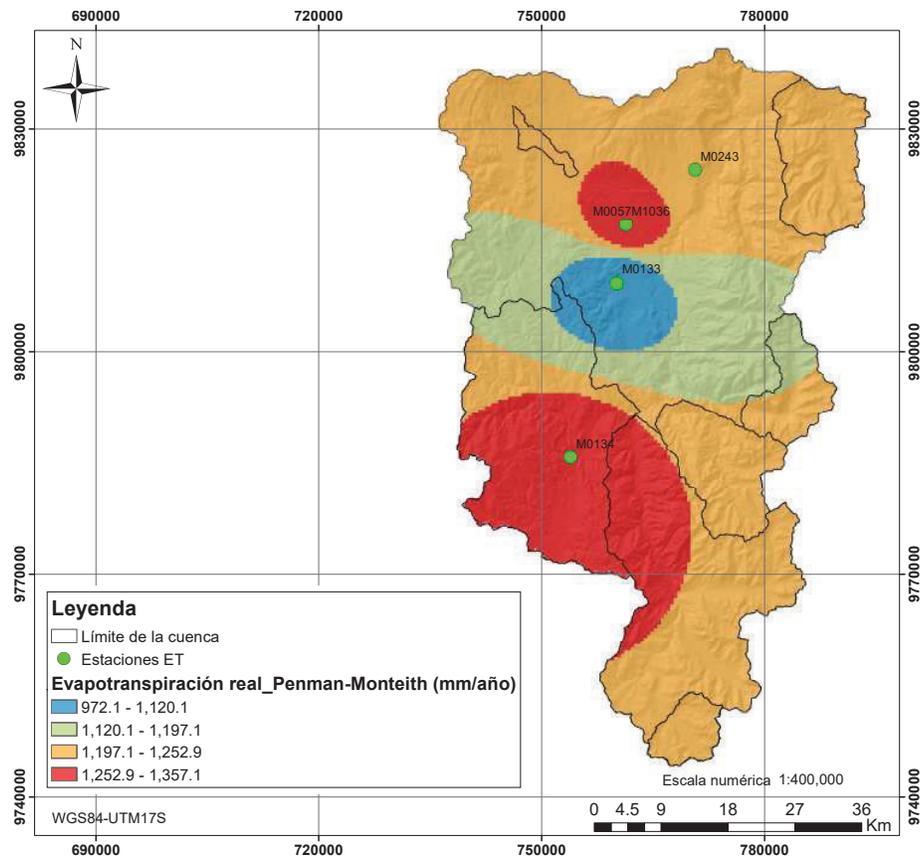


FIGURA 5.7: Evapotranspiración real en la cuenca del río Chambo - Penman-Monteith
ELABORADO POR: Ana Quishpe

En la figura se puede apreciar que la evapotranspiración en la zona se encuentra en los rangos de 972 mm/año a 1357 mm/año aproximadamente, valores que se asemejan en ciertas zonas al dato obtenido del satélite.

TABLA 5.9: Evapotranspiración real anual con el método Penman-Monteith FAO por subcuenca

Código	Estación	ET
		(<i>mm/año</i>)
H0783	Ozogoche en los Lagos	1238.3
H0786	Guamote AJ Cebadas	1254.4
H0787	Alao en Hda. Alao	1198.7
H0788	Puela AJ Chambo	1207.4
H0789	Guargualla AJ Cebadas	1226.6
H0790	Cebadas AJ Guamote	1251.6
H0791	Balsacón en San Andrés	1225.3
H0826	Chambo en Hda. Cahuaji	1218.3

ELABORADO POR: Ana Quishpe

5.3.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL POR SATÉLITE (MODIS16A)

Como se mencionó anteriormente en los métodos de evapotranspiración potencial, como parte del conjunto de evapotranspiración global tenemos la evapotranspiración real. El rango

de valores para la cuenca de estudio se indica en la figura 5.8 y los valores obtenidos para cada subcuenca en la tabla 5.10.

TABLA 5.10: Evapotranspiración real anual con valores de MODIS por subcuenca

Código	Estación	ET
		(<i>mm/año</i>)
H0783	Ozogoche en los Lagos	1117.5
H0786	Guamote AJ Cebadas	1054.9
H0787	Alao en Hda. Alao	995.4
H0788	Puela AJ Chambo	954.5
H0789	Guargualla AJ Cebadas	1018.3
H0790	Cebadas AJ Guamote	1047.3
H0791	Balsacón en San Andrés	1048.8
H0826	Chambo en Hda. Cahuaji	1032.9

ELABORADO POR: Ana Quishpe

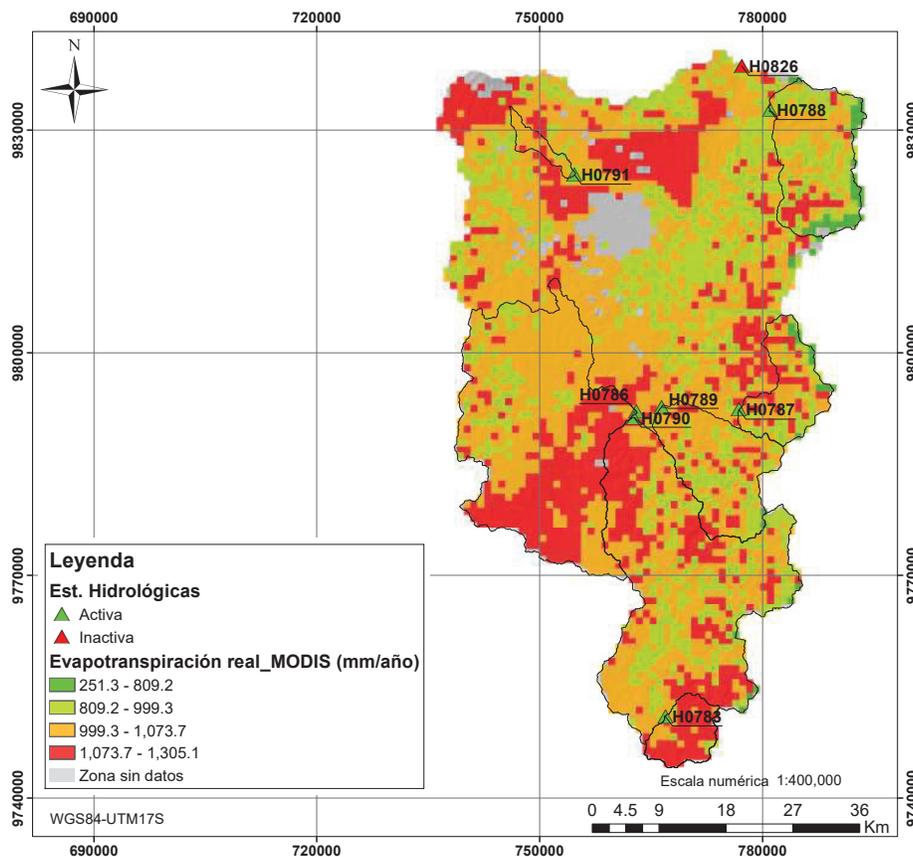


FIGURA 5.8: Evapotranspiración real en la cuenca del río Chambo - MODIS16A

FUENTE: MODIS 16A

ELABORADO POR: Ana Quishpe

Como se puede observar el valor promedio anual en las subcuencas se encuentra en el rango de 950-1120 *mm/año* aproximadamente.

5.3.4 CURVA DE BUDYKO

Esta metodología está basada en un balance de masas y considerando que la precipitación es directamente proporcional a la escorrentía, es decir, si la precipitación disminuye también lo hace la escorrentía pero cuando la precipitación aumenta el caudal tiene un valor límite. Realizando una combinación de las ecuaciones de Scheiber y Dekop [Budyko, 1974], Budyko obtuvo la siguiente expresión:

$$\frac{E}{P} = \left(1 - \exp\left(-\frac{E_p}{P}\right) \right) \quad (5.9)$$

donde:

E : Evapotranspiración real

E_p : Evapotranspiración potencial

P : Precipitación

Combinando la curva de Budyko con los métodos empíricos que estiman la evapotranspiración es posible obtener la evapotranspiración real. En este caso se combinó Budyko con Thornthwaite, Penman-Monteith y MODIS ETP.

5.3.4.1 Resultados

- Thornthwaite con Budyko: en este método se utilizó los datos obtenidos con la ecuación de Thornthwaite para evapotranspiración potencial, dichos valores junto con la precipitación se ingresaron en la curva de Budyko para obtener la evapotranspiración real. En la tabla 5.11 se presenta un resumen a nivel anual de los datos obtenidos de la aplicación del método Thornthwaite-Budyko.

TABLA 5.11: Evapotranspiración real anual con el método de Thornthwaite-Budyko por subcuenca

Código	Estación	E_o	ET
		(mm/año)	(mm/año)
H0783	Ozogoche en los Lagos	640.5	368.1
H0786	Guamote AJ Cebadas	650.3	399.8
H0787	Alao en Hda. Alao	648.0	474.7
H0788	Puela AJ Chambo	662.1	492.6
H0789	Guargualla AJ Cebadas	664.4	468.1
H0790	Cebadas AJ Guamote	649.9	468.1
H0791	Balsacón en San Andrés	665.7	410.0
H0826	Chambo en Hda. Cahuaji	658.7	434.6

ELABORADO POR: Ana Quishpe

- Penman-Monteith con Budyko: esta metodología se basa en la obtención de la evapotranspiración real mediante la combinación de la evapotranspiración de referencia (dato del software CROPWAT) y la curva de budyko, misma que necesita los datos de precipitación.

Se considerará en el cálculo de la evapotranspiración real, toda la serie de datos existente de precipitación. Los resultados obtenidos se indican en la tabla 5.12.

TABLA 5.12: Evapotranspiración real anual con el método de Penman-Monteith - Budyko por subcuenca

Código	Estación	E_o	ET
		(mm/año)	(mm/año)
H0783	Ozogoche en los Lagos	1347.1	522.1
H0786	Guamote AJ Cebadas	1350.0	583.9
H0787	Alao en Hda. Alao	1343.8	750.2
H0788	Puela AJ Chambo	1308.5	774.2
H0789	Guargualla AJ Cebadas	1347.9	713.6
H0790	Cebadas AJ Guamote	1347.5	637.8
H0791	Balsacón en San Andrés	1362.4	596.9
H0826	Chambo en Hda. Cahuaji	1342.6	640.5

ELABORADO POR: Ana Quishpe

- MODIS ETP con Budyko: se utilizará los datos de evapotranspiración potencial de satélite para posteriormente incluirlos en la curva de Budyko mediante la relación con la precipitación, de esta manera se obtendrá la evapotranspiración real. El resumen de la aplicación de la ecuación de Budyko para cada subcuenca se indica en la tabla 5.13, considerando que el periodo de datos para la precipitación es del 2000-2010 (valores que se indican en la tabla), mismo que coincide con el periodo de observación del MODIS.

TABLA 5.13: Evapotranspiración real anual con el método de MODIS PET -Budyko por subcuenca

Código	Estación	Precipitación	E_o	ET
		(mm/año)	(mm/año)	(mm/año)
H0783	Ozogoche en los Lagos	832.6	1375.0	672.9
H0786	Guamote AJ Cebadas	698.6	1494.0	616.3
H0787	Alao en Hda. Alao	890.0	1413.0	708.1
H0788	Puela AJ Chambo	1076.8	1333.2	764.6
H0789	Guargualla AJ Cebadas	811.5	1277.7	643.4
H0790	Cebadas AJ Guamote	765.0	1411.4	644.1
H0791	Balsacón en San Andrés	682.7	1418.2	597.2
H0826	Chambo en Hda. Cahuaji	751.0	1385.2	632.3

ELABORADO POR: Ana Quishpe

Una interpretación gráfica de los resultados obtenidos de la evapotranspiración real por subcuenca se presenta en el Anexo 5. Debido al desbalance existente en la zona se consideró el análisis de las curvas de duración general de caudales para cada estación y con ello determinar la existencia de una entrada o aporte extra que aún no ha sido cuantificado.

5.4 ANÁLISIS DE APORTE SUBTERRÁNEO

5.4.1 ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE DURACIÓN GENERAL (CDG)

La curva de duración general representa la distribución de la frecuencia del flujo en un río para un determinado tiempo, sin considerar la secuencia de ocurrencia [Smakhtin, 2001, Gilfedder et al., 2012]. Para obtener una curva suavizada se la genera a partir de la serie de datos diarios, ubicando en el eje x el porcentaje de cada dato con respecto al total y en el eje y el caudal.

En la figura 5.9 se presentan las CDG de cada subcuenca y de la cuenca de estudio, las curvas individuales de encuentran en el Anexo 5.

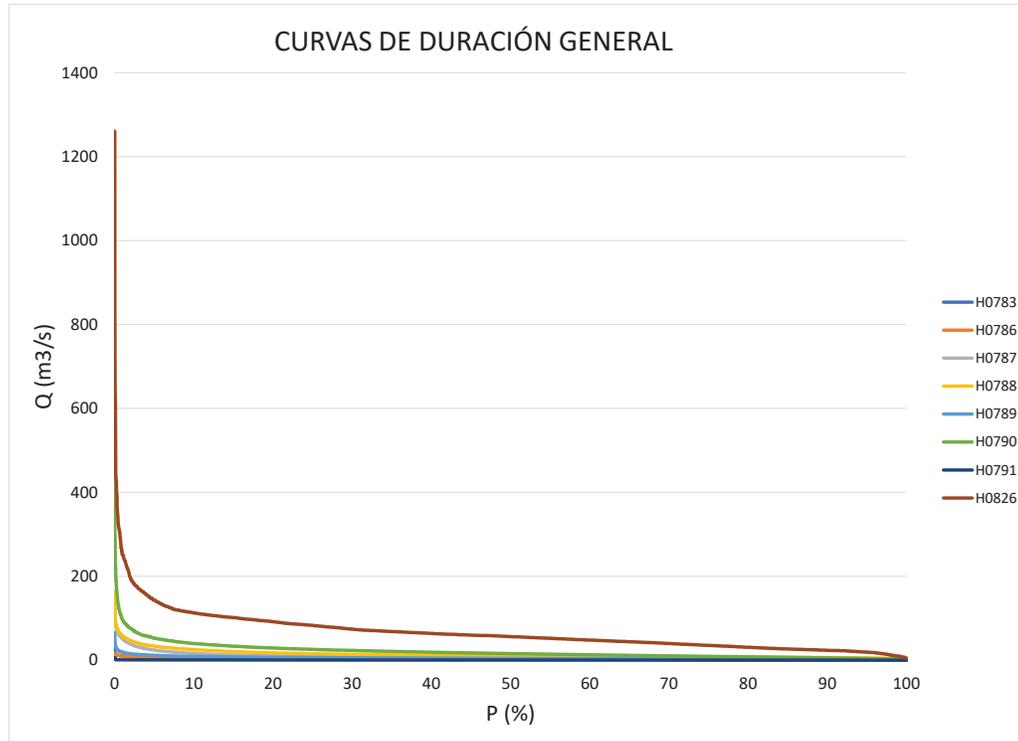


FIGURA 5.9: Curvas de duración general de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del río Chambo
ELABORADO POR: Ana Quishpe

Existen dos indicadores que se pueden interpretar como un índice que representa la cantidad del caudal del río que proviene de aguas subterráneas: la proporción entre el Q_{90} y el Q_{50} [Smakhtin, 2001], mientras más alto es el valor se considera un mayor aporte de aguas subterráneas [Zubieta et al., 2015] y la pendiente entre Q_{33} y el Q_{66} [Carrillo et al., 2011], mientras más plana es la pendiente mayor es el aporte.

TABLA 5.14: Caudales e índices representativos por subcuenca

Subcuenca	Q33	Q50	Q66	Q90	Q90/Q50	Pend tercio medio
H0783	3.047	2.232	1.621	0.647	0.29	-0.0191
H0786	3.327	2.593	1.974	1.26	0.49	-0.0410
H0787	7.05	5.174	3.962	2.502	0.48	-0.0936
H0788	12.987	10.485	8.768	6.237	0.59	-0.1278
H0789	5.383	4.133	3.196	1.921	0.46	-0.0663
H0790	21.712	15.683	11.213	5.304	0.34	-0.3181
H0791	0.263	0.197	0.153	0.08	0.41	-0.0033
H0826	70.255	56.157	43.126	23.526	0.42	-0.8222

ELABORADO POR: Ana Quishpe

En la tabla anterior se observa que las cuencas con mayor aporte de aguas subterráneas respecto a la proporción entre Q_{90} y Q_{50} son: H0786, H0787, H0788, H0789, H0791 y H0826; mismas que se indican en la figura 5.10.

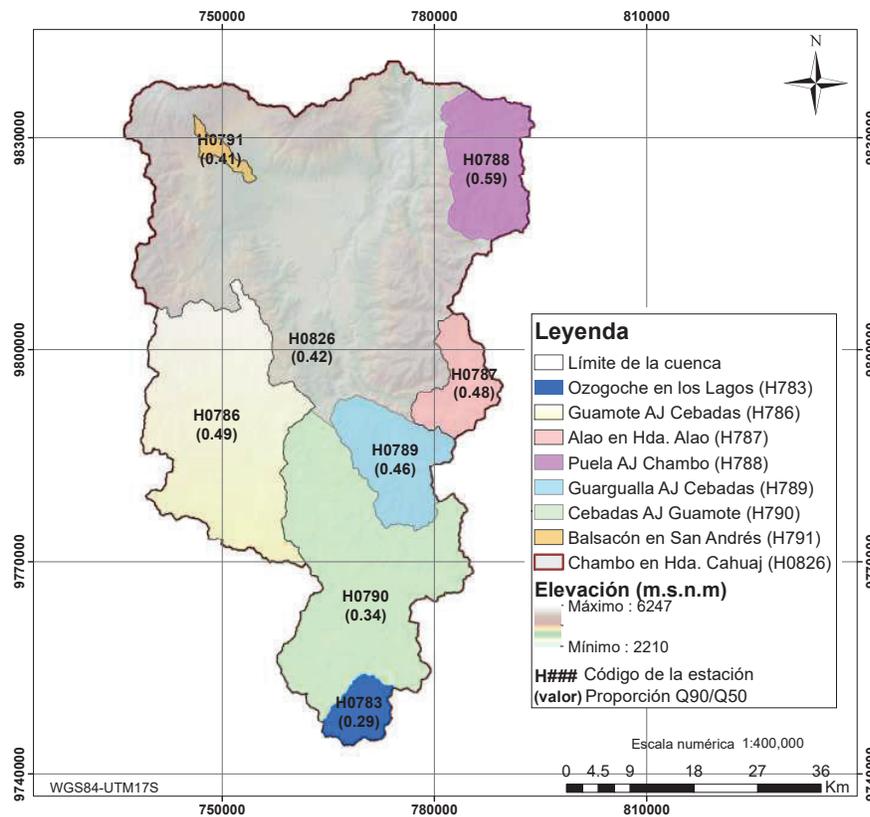


FIGURA 5.10: Cuenca y subcuencas con sus respectivos valores de Q_{90}/Q_{50}
ELABORADO POR: Ana Quishpe

Respecto a la pendiente del tercio medio son: H0783, H0786, H0789 y H0791 que tienen las pendientes más bajas (ver figura 5.11).

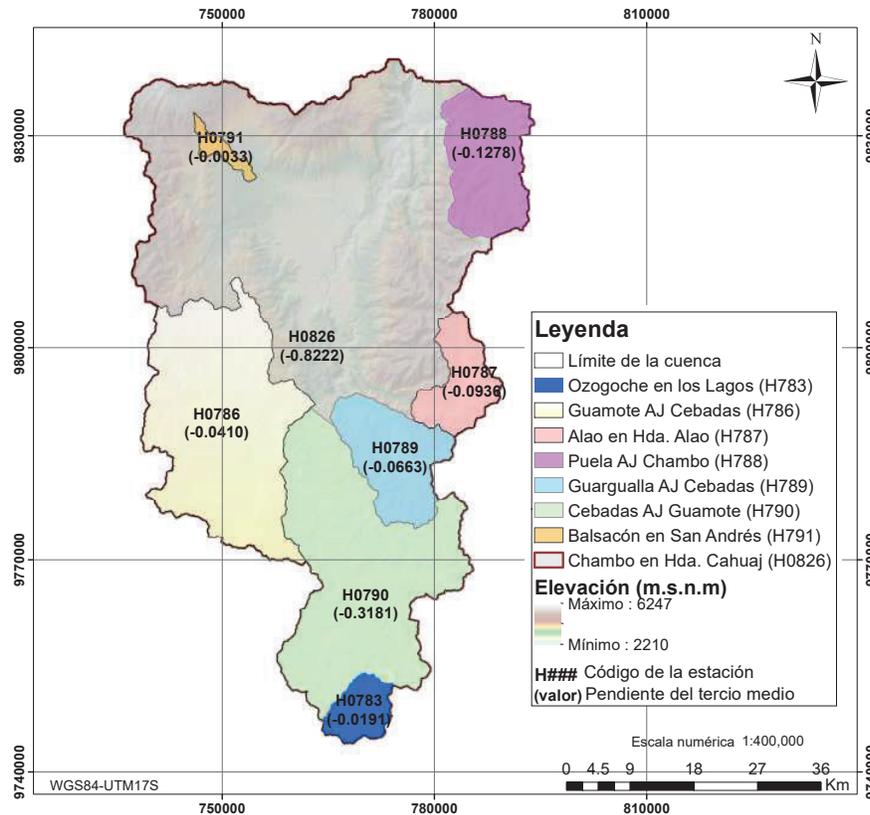


FIGURA 5.11: Cuenca y subcuencas con sus respectivos valores de la pendiente en el tercio medio
 ELABORADO POR: Ana Quishpe

Analizando las curvas de duración general con tendencia más plana tenemos las subcuencas pertenecientes a las estaciones: H0787, H0788, H0789, H0790, H0791 y H0826, como se indica en el Anexo 5.

Con estos antecedentes, se evidencia que existe un aporte extra mismo que será estimado como supuesta entrada.

5.4.2 ESTIMACIÓN DEL FLUJO ADICIONAL DE AGUA PARA EQUILBRAR EL BALANCE HÍDRICO

Habiendo comprobado la existencia de una entrada extra de agua, desconociendo aún su fuente; se procede al cálculo de la misma mediante la ecuación hidrológica para cada subcuenca y para cada método utilizado.

La entrada para el método del balance hídrico no es posible determinar, ya que se utilizó la ecuación para la estimación de la evapotranspiración. Para el resto de métodos si es posible determinarla, los resultados correspondientes se indican en las tablas siguientes.

TABLA 5.15: Flujo de entrada adicional calculado para el método Thornthwaite-Budyko

Estación	Precipitación media anual	Flujo adicional estimado	Escorrentía	ET
	(<i>mm/año</i>)	(<i>mm/año</i>)	(<i>mm/año</i>)	(<i>mm/año</i>)
H0783	578.5	1236.6	1447.0	368.1
H0786	675.5	-116.2	159.5	399.8
H0787	1028.9	1802.2	2356.5	474.7
H0788	1127.5	1409.8	2044.7	492.6
H0789	934.4	500.6	966.9	468.1
H0790	773.1	584.4	920.6	436.9
H0791	694.7	50.3	335.0	410.0
H0826	780.0	167.2	512.6	434.6

ELABORADO POR: Ana Quishpe

En la tabla 5.15, se observa que para la estación H0786 la supuesta entrada es de valor negativo, esto se debe a que en esta subcuenca no existe aporte de aguas subterráneas como se observa en la CDG de la estación; misma que no responde a una tendencia plana. En el resto de estaciones el valor oscila entre 50-1800 *mm/año* aproximadamente.

TABLA 5.16: Flujo de entrada adicional calculado para el método MODIS

Estación	Precipitación media anual	Flujo adicional estimado	Escorrentía	ET
	(<i>mm/año</i>)	(<i>mm/año</i>)	(<i>mm/año</i>)	(<i>mm/año</i>)
H0783	578.5	1986.0	1447.0	1117.5
H0786	675.5	538.9	159.5	1054.9
H0787	1028.9	2323.0	2356.5	995.4
H0788	1127.5	1871.6	2044.7	954.5
H0789	934.4	1050.8	966.9	1018.3
H0790	773.1	1194.8	920.6	1047.3
H0791	694.7	689.1	335.0	1048.8
H0826	780.0	765.5	512.6	1032.9

ELABORADO POR: Ana Quishpe

TABLA 5.17: Flujo de entrada adicional calculado para el método Penman-Monteith FAO

Estación	Precipitación media anual	Flujo adicional estimado	Escorrentía	ET
	(<i>mm/año</i>)	(<i>mm/año</i>)	(<i>mm/año</i>)	(<i>mm/año</i>)
H0783	578.5	2106.8	1447.0	1238.3
H0786	675.5	738.5	159.5	1254.4
H0787	1028.9	2526.2	2356.5	1198.7
H0788	1127.5	2124.6	2044.7	1207.4
H0789	934.4	1259.2	966.9	1226.6
H0790	773.1	1399.1	920.6	1251.6
H0791	694.7	865.6	335.0	1225.3
H0826	780.0	950.9	512.6	1218.3

ELABORADO POR: Ana Quishpe

TABLA 5.18: Flujo de entrada adicional calculado para el método Penman-Monteith con Budyko

Estación	Precipitación media anual	Flujo adicional estimado	Escorrentía	ET
	(mm/año)	(mm/año)	(mm/año)	(mm/año)
H0783	578.5	1390.6	1447.0	522.1
H0786	675.5	68.0	159.5	583.9
H0787	1028.9	2077.7	2356.5	750.2
H0788	1127.5	1691.4	2044.7	774.2
H0789	934.4	746.1	966.9	713.6
H0790	773.1	785.3	920.6	637.8
H0791	694.7	237.3	335.0	596.9
H0826	780.0	373.1	512.6	640.5

ELABORADO POR: Ana Quishpe

TABLA 5.19: Flujo de entrada adicional calculado para el método MODIS con Budyko

Estación	Precipitación media anual	Flujo adicional estimado	Escorrentía	ET
	(mm/año)	(mm/año)	(mm/año)	(mm/año)
H0783	832.6	1140.2	1299.9	672.9
H0786	698.6	64.8	147.1	616.3
H0787	890.0	1850.2	2032.1	708.1
H0788	1076.8	1511.8	1824.0	764.6
H0789	811.5	737.3	905.4	643.4
H0790	765.0	700.3	821.2	644.1
H0791	682.7	95.7	181.3	597.2
H0826	751.0	393.9	512.6	632.3

ELABORADO POR: Ana Quishpe

Como se puede observar por todos los métodos aplicados existe una cantidad de agua que aún no ha sido cuantificada; el faltante puede ser ocasionado por presencia de agua subterránea de otras cuencas o porque no toda la precipitación ha sido considerada ya que en la zona de la cuenca que se acerca a la región amazónica solamente existe una estación meteorológica. El gráfico de resumen de la supuesta entrada se encuentra en el Anexo 5.

CAPÍTULO 6

LOCALIZACIÓN DE SITIOS ADECUADOS PARA LA IMPLANTACIÓN DE UNA ESTACIÓN HIDROLÓGICA Y PLUVIÓMETROS

6.1 ESTACIÓN HIDROLÓGICA

6.1.1 DEFINICIÓN

Una estación hidrológica es una estación fija que además de contar con un limnómetro o regla, tiene un instrumento para el registro continuo de niveles denominado limnógrafo, mismo que registra las variaciones del nivel del agua y mantiene coincidencia con el nivel del limnómetro.

6.1.2 TIPOS

La clasificación de una estación hidrológica está en función del instrumental o implementos que posee. Existen diferentes formas de medición de niveles entre los que se pueden mencionar los siguientes:

- Flotadores: consiste en un pozo de amortiguación con un flotador, mismo que está vinculado a una rueda situada sobre un registrador mediante un alambre perlado o cinta perforada; conectado al río mediante tubos [Organización Meteorológica Mundial, 2009].



FIGURA 6.1: Limnógrafo de flotador
FUENTE: www.dicyt.com

- Sensores de presión: estos dispositivos se basan en el principio de que la presión estática en un punto fijo de la corriente es directamente proporcional a la carga del líquido sobre ese punto [Organización Meteorológica Mundial, 2009], utiliza la siguiente expresión:

$$Nivel_{agua} = (P_{est} - P_{atm}) * C \quad (6.1)$$

donde: P_{est} : Presión estática P_{atm} : Presión atmosférica C : factor del peso neto del agua

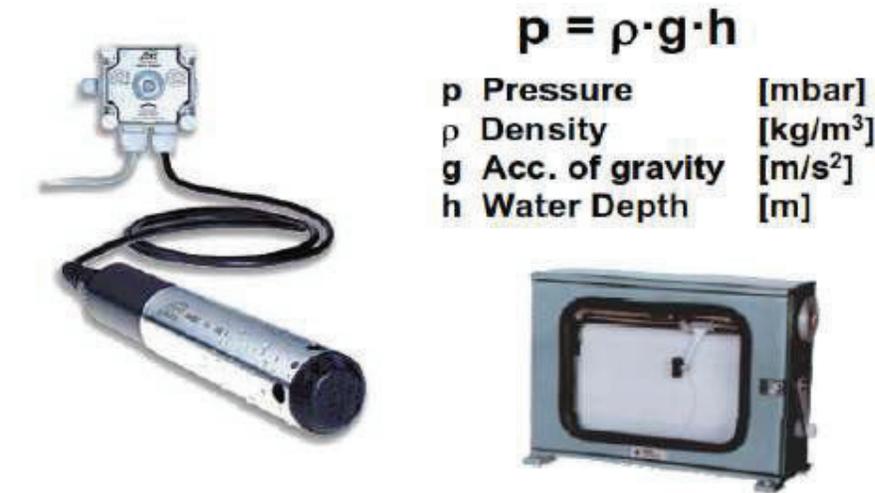


FIGURA 6.2: Limnógrafo de sensores de presión
FUENTE: Hydrometry Lecture WAREM

- Sensores neumáticos o de burbuja: consiste en la circulación de un pequeño caudal de aire por una sonda neumática cuyo extremo debe situarse en cota mínima a medir.

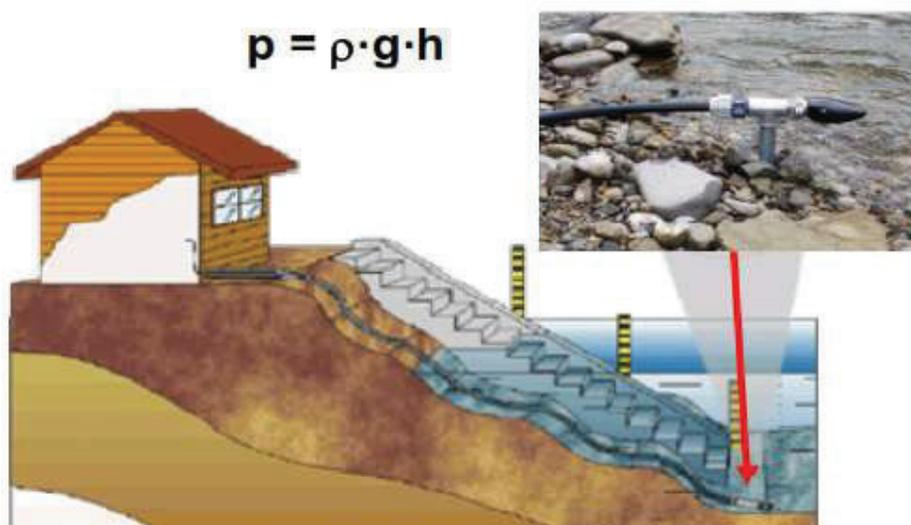


FIGURA 6.3: Limnógrafo de sensores neumáticos o de burbuja
FUENTE: Hydrometry Lecture WAREM

- Radar o ultrasónico: está basado en la velocidad de desplazamiento de un impulso de frecuencia ultrasónica, que se emite por un transmisor localizado en una estructura existente sobre el río [Organización Meteorológica Mundial, 2009].

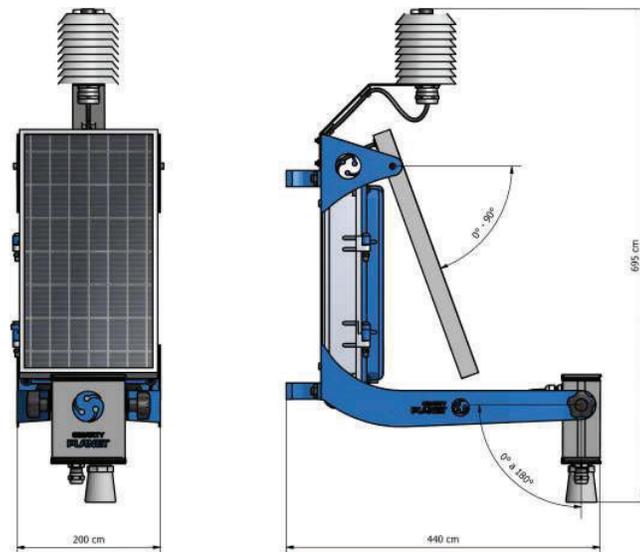


FIGURA 6.4: Limnógrafo de radar
FUENTE: www.smartyplanet.com

6.1.3 SELECCIÓN DE LA SECCIÓN DE AFORO

La finalidad de escoger adecuadamente la sección de aforo es obtener registros sistemáticos de niveles y caudales de un río [Organización Meteorológica Mundial, 2009]. Los criterios a cumplirse para poder instalar una estación hidrológica son:

- a) El curso de la corriente debe ser rectilíneo 100 metros aguas arriba y abajo del sitio de medición.
- b) El lecho del río no debe experimentar erosión ni sedimentación y no tener maleza.
- c) Las márgenes deben ser lo suficientemente altas para que puedan contener las crecidas.
- d) Debe existir un control natural o artificial del flujo.
- e) El sitio de instalación debe estar lo suficientemente lejos de la confluencia con otra corriente fluvial.
- f) Debe ser accesible.
- g) En las proximidades de la estación no deben generarse olas ni ondulaciones en la superficie del agua.

6.1.4 PROPUESTA DEL SITIO DE INSTALACIÓN

En virtud de lo mencionado anteriormente y debido a que la estación de cierre se encuentra inactiva, se recomienda colocar una estación hidrológica en las coordenadas UTM WGS84-17S: 776136 W y 9833708 S, misma que permitirá obtener los datos del caudal que circula

por el río Chambo. El sitio recomendado está ubicado un poco antes del punto de cierre debido a que la estación existente en esa zona fue destruida y ese sitio no se considera seguro. Como referencia del punto se encuentra un puente, mismo que está localizado en el río Chambo. Se puede acceder al mismo tomando la vía Riobamba-Guano desde la ciudad de Riobamba, luego la vía a Santa Teresita hacia la Av. 17 de Abril, se pasa por los poblados de San José de Chazo y Puela; continuando por esta vía principal se llega al puente indicado. La ruta de acceso así como el sitio de instalación se indican en la figura 6.5.

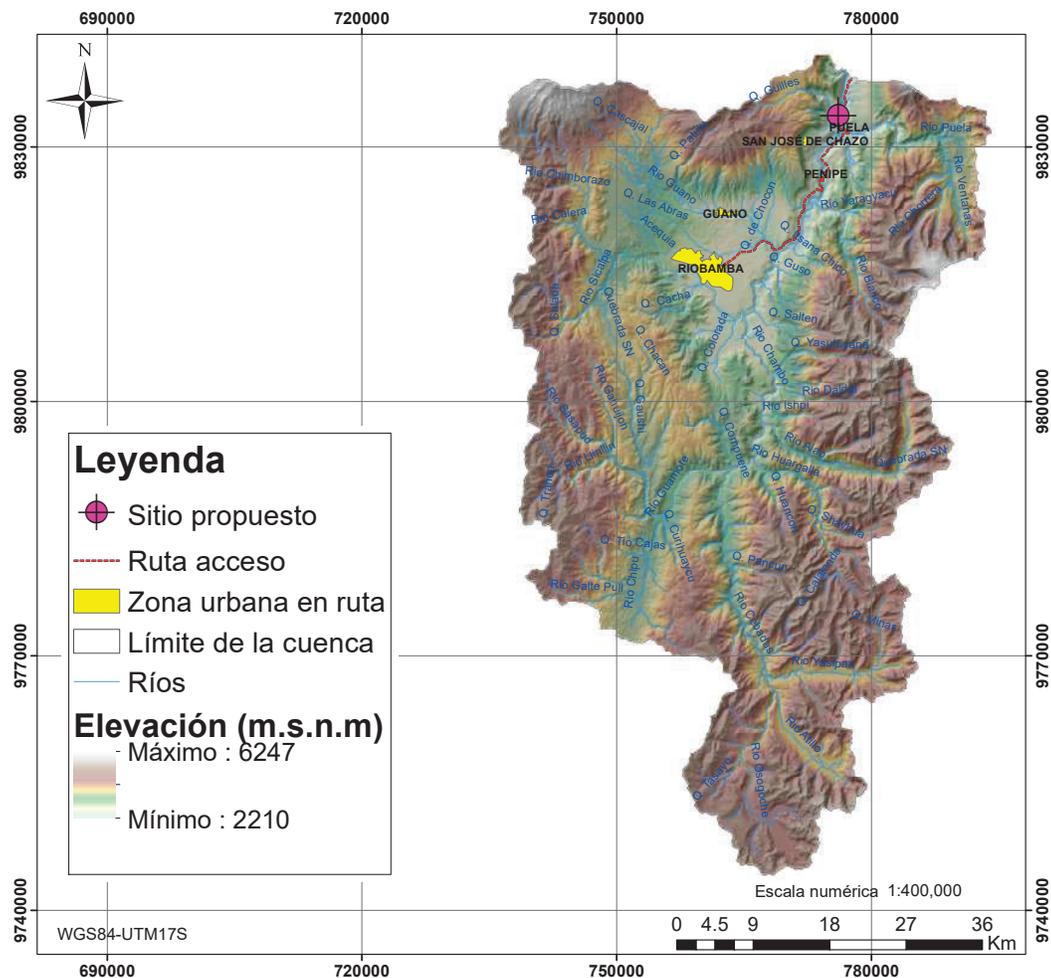


FIGURA 6.5: Sitio propuesto para la instalación de la estación hidrológica
ELABORADO POR: Ana Quishpe

En la zona propuesta existe un puente donde sería el punto de mayor facilidad de instalación de la estación, se recomienda la del tipo mediante radar/ultrasónico debido a la exactitud que posee en el registro de los datos. Se considera necesaria la instalación de una regla limnimétrica para relacionar las mediciones del sensor, tomando en cuenta que dicho sensor debe estar ubicado en el punto más bajo de la sección transversal como se indica en la figura. La zona de interés se indica a continuación, tanto aguas arriba, aguas abajo y en el puente.



FIGURA 6.6: Aguas arriba del sitio propuesto
FUENTE: Ana Quishpe



FIGURA 6.7: Puente en el sitio propuesto
FUENTE: Ana Quishpe



FIGURA 6.8: Aguas abajo del sitio propuesto
FUENTE: Ana Quishpe

6.2 PLUVIÓMETROS

6.2.1 DEFINICIÓN

El pluviómetro es un instrumento que mide la cantidad de lluvia acumulada (mm) en un recipiente estandarizado y en un periodo de tiempo determinado. El pluviómetro estándar está compuesto de un embudo capaz de conducir el agua y de un colector [Jarraud, 2008]. Existen varios tipos de pluviómetros como se indica en la figura 6.9, donde las líneas continuas representan las líneas de corriente de viento y las discontinuas indican la trayectoria de las partículas de precipitación. Se observa claramente que en el primer pluviómetro existe mayor influencia del viento que en el último.

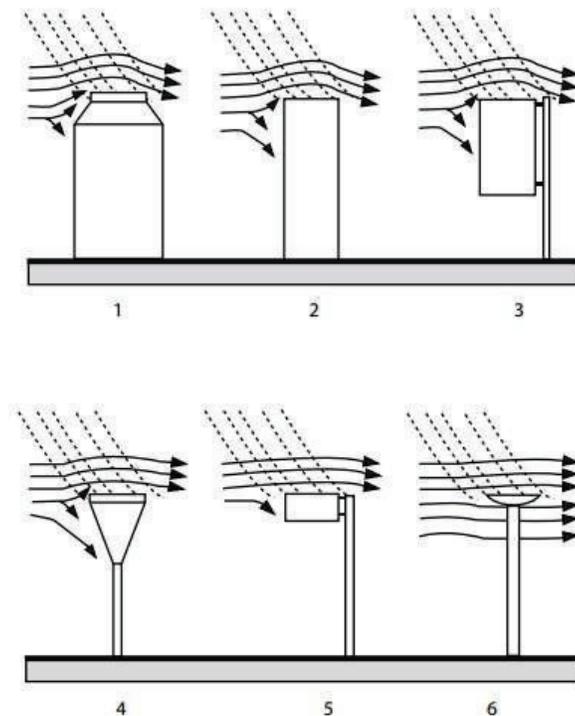


FIGURA 6.9: Tipos de pluviómetros estándar
FUENTE: [Jarraud, 2008]

6.2.2 SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

El pluviómetro debe ser instalado en una parcela de las siguientes dimensiones: 10m x 7m aproximadamente [Organización Meteorológica Mundial, 2009] y el lugar idóneo para la colocación del mismo debe cumplir con los parámetros mencionados a continuación:

- a) Debe instalarse en terreno llano, mismo que debería estar cubierto de hierba corta o de una superficie representativa de la localidad; de preferencia cercada para impedir la entrada de personas no autorizadas.
- b) No deben existir laderas empinadas en las proximidades y la estación no debería encontrarse en un sitio muy profundo.
- c) El emplazamiento debería estar lo suficientemente alejado de árboles, edificios, muros u otros obstáculos. De existir alguno, la distancia entre cualquiera de ellos y el pluviómetro no debería ser inferior al doble de la altura del objeto por encima del borde del aparato y de preferencia cuadruplicar dicha altura.
- d) Si se desea instalar más pluviómetros o pluviógrafos en la misma parcela se debe realizar un triángulo equilátero de 1.5m y ubicar los aparatos en las esquinas.
- e) No ubicar en emplazamientos muy abiertos ya que la captación de agua de lluvia resulta muy reducida.
- f) Los pluviómetros deben estar protegidos con paravientos o situarse de modo que los árboles, matorrales o cualquier objeto actúe como cortavientos. Lo ideal sería que los

obstáculos se encuentren a la misma altura, utilizando como referencia la altura de la superficie de captación del pluviómetro.

Además de considerar los parámetros anteriores es necesario analizar la incertidumbre que se presenta debido a la pendiente y presencia de obstáculos y de esta manera determinar el mejor lugar, considerando lo siguiente:

a) Clase 1: sin incertidumbre por efecto de obstáculos y pendiente.

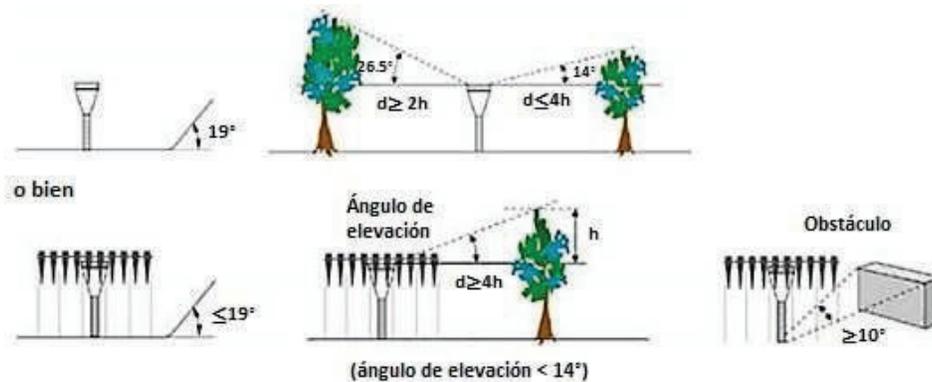


FIGURA 6.10: Localización de obstáculos para pendiente menor a 19° sin causar incertidumbre
FUENTE: [Jarraud, 2008]

b) Clase 2: incertidumbre adicional estimada hasta 5 %.

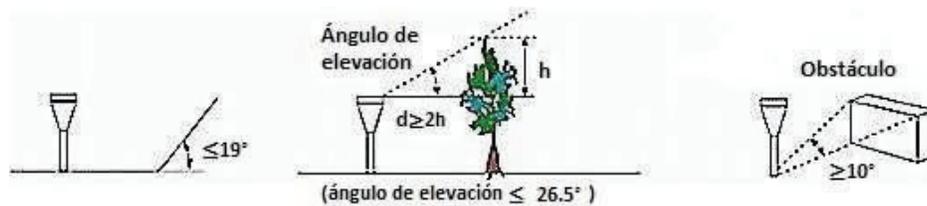


FIGURA 6.11: Localización de obstáculos para pendiente menor a 19° con incertidumbre de hasta 5 %
FUENTE: [Jarraud, 2008]

c) Clase 3: incertidumbre adicional estimada hasta 15 %.

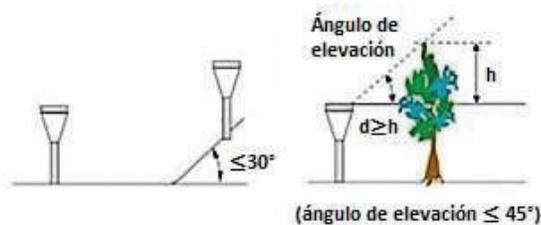


FIGURA 6.12: Localización de obstáculos para pendiente menor a 30° con incertidumbre de hasta 15 %
FUENTE: [Jarraud, 2008]

d) Clase 4: incertidumbre adicional estimada hasta 25 %.

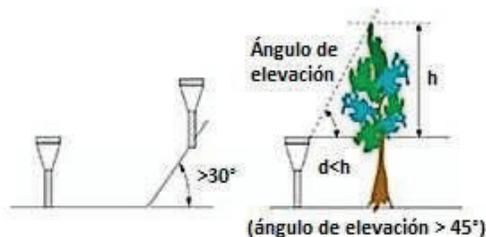


FIGURA 6.13: Localización de obstáculos para pendiente pronunciada mayor a 30° con incertidumbre de hasta 25 %

FUENTE: [Jarraud, 2008]

e) Clase 5: incertidumbre adicional estimada hasta 100 %.

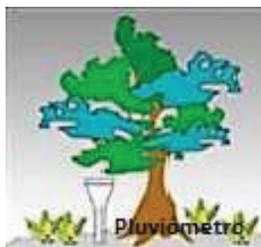


FIGURA 6.14: Localización de obstáculos junto al aparato con incertidumbre de hasta 100 %

FUENTE: [Jarraud, 2008]

Por lo tanto, debido a la incertidumbre que causan los obstáculos es recomendable que el pluviómetro se sitúe a una distancia mayor a 2 veces su altura.

6.2.3 REQUISITOS DEL EQUIPO

Los instrumentos meteorológicos, en este caso los pluviómetros deben satisfacer los siguientes requisitos:

- 1) Incertidumbre
- 2) Fiabilidad y estabilidad
- 3) Facilidad de funcionamiento, calibración y mantenimiento
- 4) Sencillez de diseño
- 5) Durabilidad
- 6) Nivel de costo aceptable de los instrumentos

Se recomienda que el número de estaciones a instalar de acuerdo a la economía sea tan pequeño como sea posible y tan grande como las necesidades lo exijan. La ubicación de las estaciones debe ser representativa en condiciones de tiempo y espacio, y también se debe considerar que la distancia entre las estaciones e intervalos de observación deben corresponder con la resolución espacial y temporal deseada de las variables meteorológicas [Jarraud, 2008].

6.2.4 METODOLOGÍA PARA UBICACIÓN DE PLUVIÓMETROS

6.2.4.1 Relación entre el coeficiente de correlación y la distancia entre estaciones

Para definir la densidad óptima de una red, una técnica apropiada es la aplicación de correlaciones entre estaciones cercanas, para conocer el grado de dependencia entre las estaciones en función de la distancia entre ellas. La matriz de correlación-distancia se desarrolló con los datos mensuales de las estaciones ubicadas dentro de la cuenca de estudio (Grupo3), se la puede observar a continuación:

TABLA 6.1: Matriz de correlación-distancia de las estaciones internas de la cuenca

	M0057	M0133	M0243	M0393	M0394	M0395	M0398	M0406	M0408	M1036	M1130	M1209
M0057	1	7.97	11.87	15.06	13.11	28.8	46.36	8.75	4.9	0	24.79	41.36
M0133	0.76	1	18.6	17.2	12.2	21	38.39	6.66	12.72	8.03	17.51	33.53
M0243	0.52	0.67	1	24.6	24.4	37.02	56.08	14.81	8.04	11.87	36.03	51.02
M0393	0.62	0.63	0.55	1	6.22	35.1	47.93	22.51	16.85	15.01	25.04	43.72
M0394	0.36	0.38	0.23	0.41	1	28.34	41.27	18.27	16.42	13.01	18.35	36.88
M0395	0.63	0.60	0.58	0.62	0.28	1	19.92	22.24	33.15	28.61	13.96	15.47
M0398	0.55	0.52	0.14	0.48	0.45	0.44	1	41.23	51.06	46.06	22.92	4.9
M0406	0.67	0.67	0.58	0.64	0.48	0.59	0.49	1	11.89	8.82	22.84	36.24
M0408	0.84	0.69	0.72	0.76	0.37	0.63	0.47	0.68	1	4.79	29.6	46.23
M1036	0.93	0.85	0.90	0.81	0.42	0.64	0.56	0.72	0.83	1	24.92	41.36
M1130		0.71		0.77		0.76			0.72	0.82	1	18.45
M1209		0.62		0.62		0.58			0.52	0.62	0.41	1

ELABORADO POR: Ana Quishpe

En la tabla 6.1, los valores en color negro representan los coeficientes de correlación R , mientras que los valores en azul representan la distancia en km entre estaciones. Para determinar un criterio de selección de la distancia en que la correlación entre estaciones es buena (mayor a 0.7), es necesario presentar la matriz gráficamente de la siguiente manera:

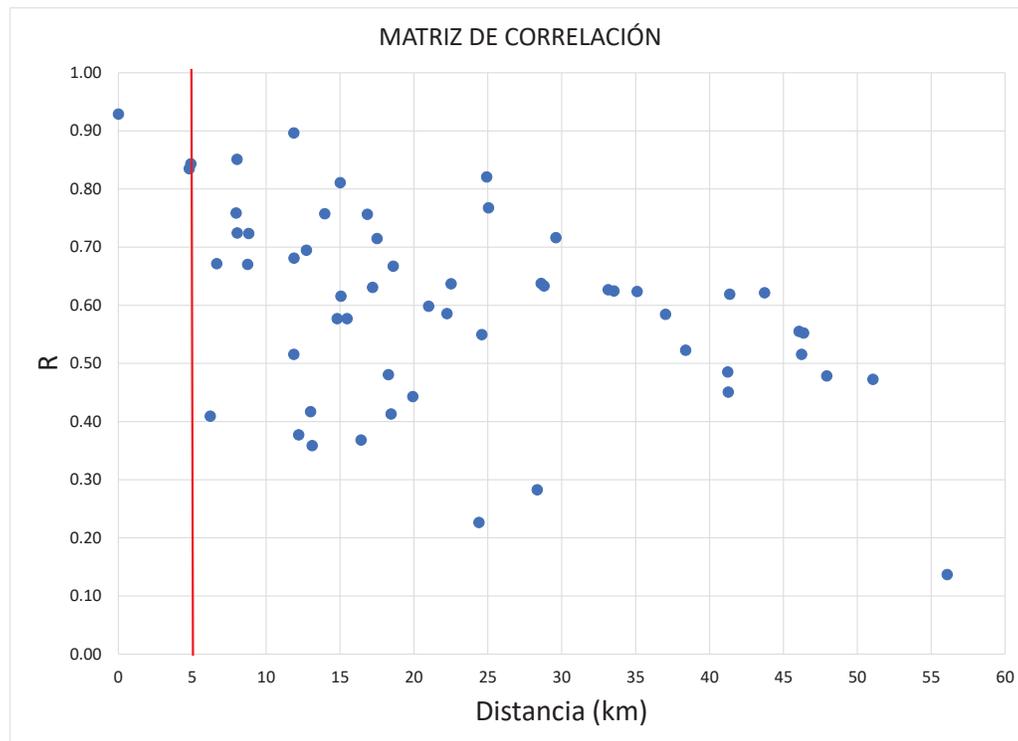


FIGURA 6.15: Matriz de correlación gráfica
ELABORADO POR: Ana Quishpe

Se observa que la mayor correlación se encuentra en el rango de distancias de 5-10 km, sin embargo la OMM recomienda en su manual N°8 que el radio de influencia sea de 8.9 km para zonas montañosas; por lo tanto se considerará dicho valor. En la figura 6.16 se observa el radio de influencia de las estaciones existentes y las posibles zonas donde se podría instalar los pluviómetros.

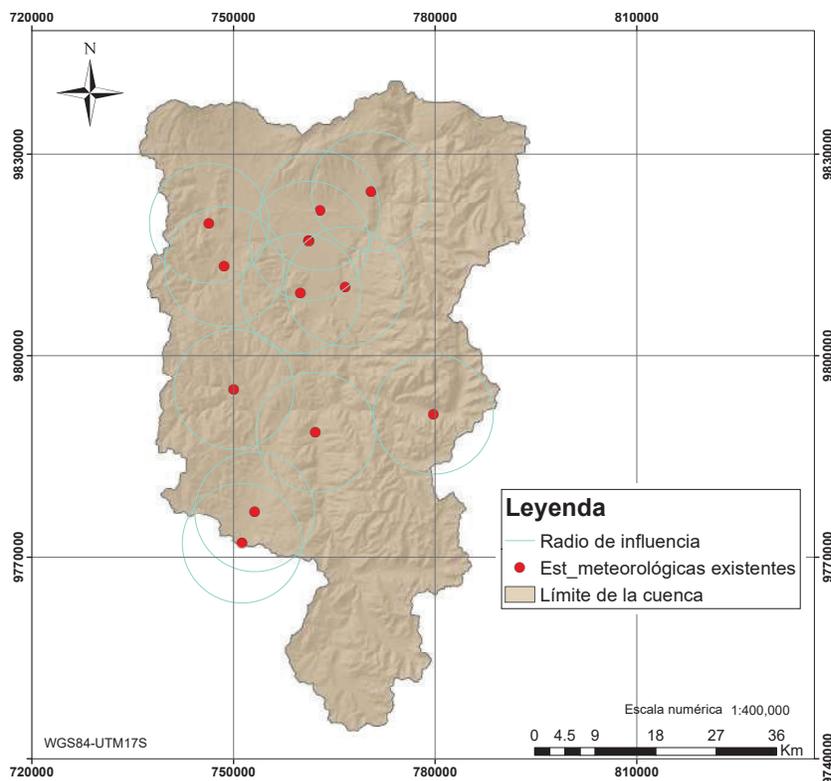


FIGURA 6.16: Radio de influencia de las estaciones meteorológicas existentes
ELABORADO POR: Ana Quishpe

Como se puede apreciar existen zonas en las que el radio de influencia no dispone de punto central, esto se debe a que para proponer el sitio de instalación de los pluviómetros es necesario realizar la evaluación multicriterio.

6.2.4.2 Evaluación Multicriterio

Para una adecuada evaluación multicriterio se deben considerar criterios espaciales e hidrológicos. Desde el punto de vista espacial hay que tomar en cuenta aspectos como: logística, operatividad y seguridad, siendo los principales:

- Cercanía a vías
- Cercanía a centros urbanos (poblados)
- Alejadas de zonas de inundación
- Ubicadas donde las coberturas del suelo no intercepten la precipitación
- Ubicadas lejos de los pluviómetros existentes

Desde el punto de vista hidrometeorológico se debe tomar en cuenta las zonas homogéneas (temperatura y precipitación) y la cercanía al centroide de la cuenca.

Para analizar los parámetros como cercanía a vías y centros urbanos se han utilizado las capas tipo vector del MTOP y del IGM. Las zonas de inundación se obtuvo del SNI, mismos que se encuentran especificados en la tabla 6.2. Los puntos anteriormente propuestos se

modificaron de acuerdo al cumplimiento de los criterios mencionados, considerando que la ubicación abarque la falta de cobertura existente en la cuenca.

TABLA 6.2: Información cartográfica utilizada en la evaluación multicriterio

Información cartográfica	Formato	Año	Escala	Descripción	Institución responsable
SRTM	Raster	2000	1:5000	Modelo digital de elevación (Resolución 90m)	SRTM
Red vial estatal	Vector	2015	1:250000	Estado actual de la red vial estatal	MTOP
Red estaciones meteorológicas	Vector	2013	1:50000	Ubicación de las estaciones meteorológicas del Ecuador	INAMHI
Cobertura y uso de la tierra	Vector	2002	1:250000	Caracterización del uso del suelo	MAGAP
Mosaico por la cobertura	Vector	2009-2015	1:25000	Cobertura vegetal de las zonas intervevidas por el IEE	IEE
Área de Inundación	Vector	2002	1:1000000	Áreas inundación permanente	INAMHI-MAGAP
Poblado	Vector	V/A	1:50000	Localización de poblados a nivel nacional	IGM

ELABORADO POR: Ana Quishpe

En la figura 6.17 se presenta el mapa base utilizado para la definición de los sitios donde es posible colocar los pluviómetros; el mapa de cobertura se encuentra en el Anexo 1 Mapa06, la caracterización de la cuenca respecto a precipitación y temperatura se encuentran en el Anexo 1 Mapas 15 y 16 respectivamente.

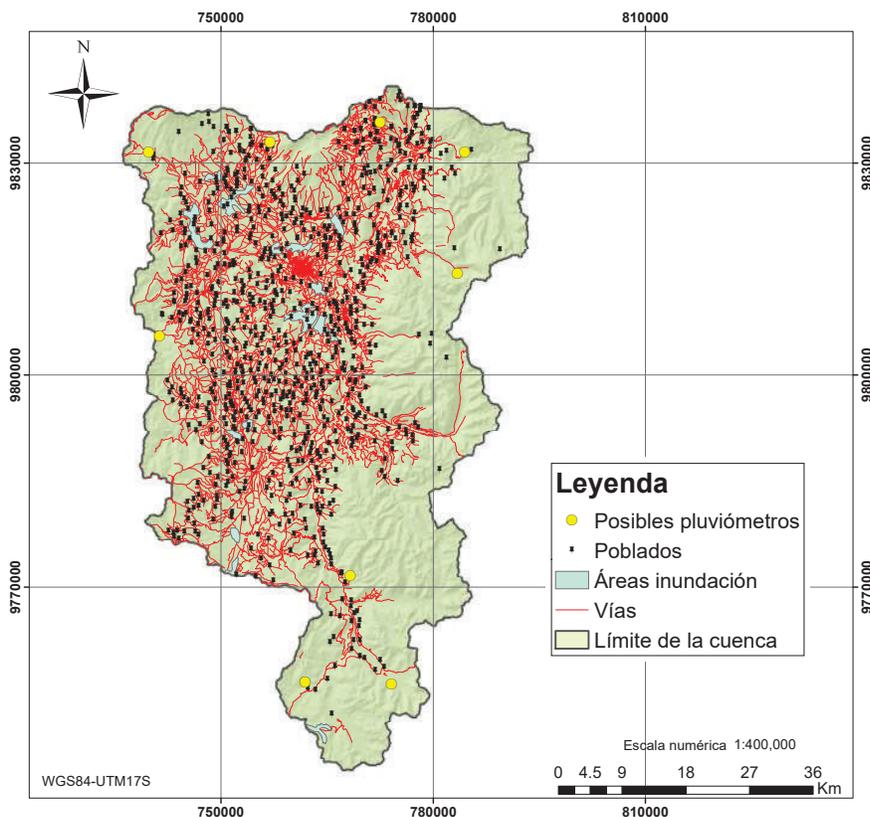


FIGURA 6.17: Mapa de cartografía base utilizado para la selección de zonas posibles para la instalación de pluviómetros

ELABORADO POR: Ana Quishpe

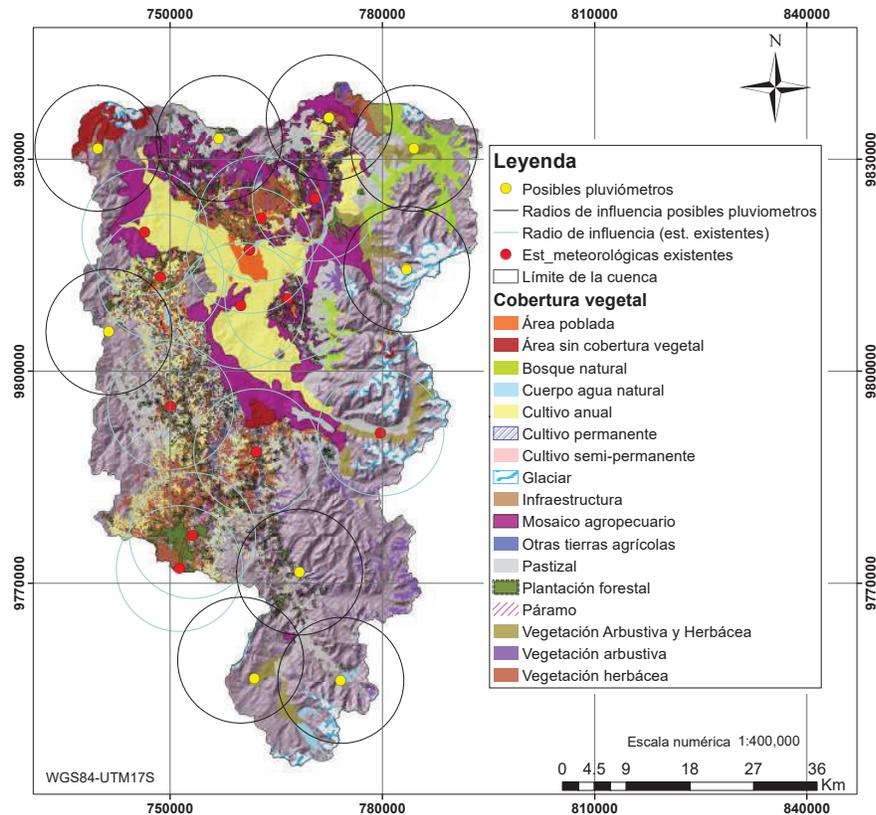


FIGURA 6.18: Mapa de cobertura vegetal utilizado para la selección de zonas posibles para la instalación de pluviómetros

ELABORADO POR: Ana Quishpe

6.2.5 PROPUESTA DE UBICACIÓN DE PLUVIÓMETROS

Una vez considerados todos los parámetros anteriormente mencionados, se presentan en la figura los posibles sitios para la instalación de pluviómetros, mismos que podrán ser modificados de acuerdo a las condiciones encontradas en campo; dichos sitios fueron seleccionados de acuerdo al peso de cada uno, es decir, los que cumplan la mayor cantidad de criterios anteriormente mencionados son los que se pueden observar.

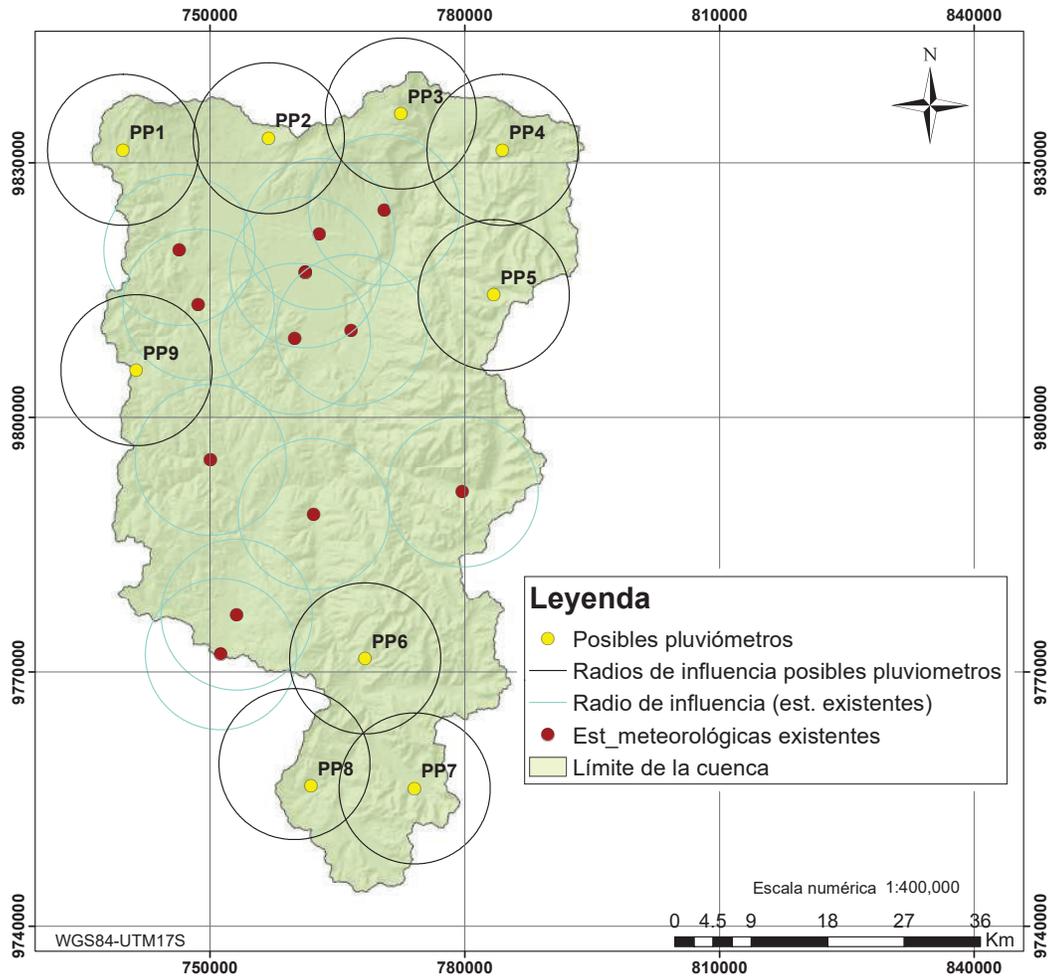


FIGURA 6.19: Posibles sitios para la instalación de pluviómetros
ELABORADO POR: Ana Quishpe

Previo a la instalación de los pluviómetros en las zonas propuestas, se debe verificar en campo que el sitio cumpla con todas las condiciones especificadas en el presente capítulo. Las coordenadas de los puntos propuestos se indican en la tabla 6.3.

TABLA 6.3: Coordenadas de los pluviómetros propuestos

Posible pluviómetro	WGS84-17S	
	W	S
PP1	739751.82	9831544.05
PP2	756908.94	9832914.45
PP3	772467.00	9835820.63
PP4	784442.13	9831532.49
PP5	783410.85	9814414.51
PP6	768263.56	9771578.95
PP7	774096.31	9756244.33
PP8	761913.55	9756529.42
PP8	741321.89	9805561.06

ELABORADO POR: Ana Quishpe

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

Respecto a las características físicas de las subcuencas, se determina que en su mayoría son cuencas irregulares, siendo la de Balsacón en San Andrés (H0791) la más alargada e irregular. La densidad de drenaje oscila entre 1.01 y 1.72 indica que son cuencas aceptablemente drenadas ya que se encuentran en un rango medio de este valor. Las curvas hipsométricas indican que la mayor parte de subcuencas tienen ríos jóvenes lo que indica un gran potencial erosivo; estos datos concuerdan con los perfiles longitudinales de los ríos principales donde se aprecian altas pendientes. El río Alao es el de pendiente más pronunciada, dato que coincide con la existencia de una hidroeléctrica en el mismo; en esta cuenca se registran los mayores caudales líquidos y precipitaciones.

El conocimiento de características como textura, taxonomía, uso del suelo y cobertura vegetal es importante al momento de realizar una evaluación hidrológica, ya que dichos factores pueden ser responsables de la modificación de las tasas de escorrentía e infiltración dentro de la cuenca. En la zona hay presencia de suelos de textura media (54.01 %) y gruesa (19.45 %), por tal razón se puede presentar mayor infiltración que escorrentía en la cuenca. Respecto a la taxonomía, los Andisoles ocupan gran parte de la cuenca (38.71 %), coincide en su mayoría con la zona correspondiente a textura media. La cobertura vegetal es de gran importancia, en este caso el páramo abarca un 37.41 %. La coincidencia de textura media, andisoles y páramo en gran parte de la cuenca es un gran indicativo de que la infiltración será mucho mayor a la escorrentía en la cuenca, por ende, la existencia de un gran aporte a las aguas subterráneas.

Hidrológicamente se aprecia un régimen unimodal de caudales, con los valores máximos en junio y mínimos en diciembre-enero; dicho comportamiento no coincide con el régimen de precipitación de las estaciones ubicadas dentro de la cuenca, excepto la estación Alao. La existencia continua de caudal sobre todo en la época seca indica claramente un aporte extra que aún no ha precisamente identificado en los ríos.

La distribución espacial de precipitación anual a lo largo de la cuenca es bastante irregular, varía desde los 444 mm/año (Guano) a 1800 mm/año (Alao); para esta cuenca no se cumple que a mayor altura se presenta menor precipitación, debido a la influencia de la región amazónica y a la morfología de la cuenca. Por ejemplo, la estación Alao que se localiza a 3200m.s.n.m tiene un comportamiento respecto a la precipitación similar a las estaciones ubicadas en la Amazonía y las subcuencas con mayor precipitación son las de los ríos Puela y Alao (H0788 y H0787, respectivamente). En cambio, la temperatura si tiene una amplia relación con la altura, es decir, a mayor altura menor temperatura.

De acuerdo a la comparación realizada entre la precipitación de estaciones, producto TMPA-3B43 V7 y producto IMERG-GPM, es posible determinar que los datos satelitales no son

acertados en ciertas zonas incluso pueden ser sobrevalorados. Los satélites detectan cualitativamente las zonas de menor y mayor precipitación pero no lo hacen cuantitativamente.

Del análisis de caudales específicos se tienen valores en ciertas subcuencas que están en el rango de $60-75 \text{ l/s/km}^2$, valores que no son semejantes a los determinados en estudios anteriores para el Ecuador, donde para esta zona oscilan entre $10-30 \text{ l/s/km}^2$. Los valores obtenidos para estas subcuencas son similares a los que se presentan en la región amazónica, esto indica que existe mayor caudal respecto al área que proviene de cuencas vecinas a la cuenca de estudio.

El balance hídrico de manera general, se espera que represente un equilibrio entre entradas y salidas de la cuenca, en este caso dicho equilibrio no se cumple. Se realizó el análisis por varias metodologías pero todos arrojan valores diferentes, por esta razón se hizo el análisis de curvas CDG para cada estación hidrológica. Se aprecia una tendencia plana desde el Q30 aproximadamente en la mayoría de subcuencas, lo que indica un gran aporte extra en la zona.

Del cálculo del flujo adicional de agua para equilibrar el balance hídrico, se determinó que aproximadamente existe un aporte extra entre $500-2000 \text{ mm/año}$ dependiendo la subcuenca que se analice, faltando determinar el origen de la misma. Dicho aporte puede deberse a un valor no cuantificado de precipitación en la zona montañosa de la cuenca que da hacia la Amazonía o por aporte de aguas subterráneas.

La propuesta de instalación de pluviómetros recae en la zona oriental de la cuenca, ya que al tener un comportamiento climático muy variado es necesaria una mayor cobertura del área de medición. Se ha considerado para los pluviómetros un radio de influencia de 8.9 km , como lo recomienda la Organización Meteorológica Mundial.

7.2 RECOMENDACIONES

Implementar y recuperar las estaciones meteorológicas en las zonas de influencia de la región amazónica, debido a la necesidad de este tipo de información; ya que se debe ampliar la zona de cobertura para tener mejor conocimiento de la característica hídrica de la zona.

Dar adecuado mantenimiento a las estaciones meteorológicas e hidrológicas, sobre todo a las del tipo climatológico-principal ya que estas se encargan de la medición de mayor cantidad de parámetros (precipitación, temperaturas máximas y mínimas, nubosidad, velocidad del viento, evaporación, entre otros); de ser posible implementar más estaciones de este tipo ya que se necesita conocer todos los parámetros antes mencionados para el desarrollo de mejores estudios hidrológicos.

Dar capacitaciones continuas a las personas encargadas de la toma y tipeo de datos, ya que en algunas estaciones se han presentado valores considerados erróneos por ser demasiado altos o bajos.

El INAMHI como institución encargada de la meteorología e hidrología del país, no debe olvidar su misión que es proporcionar de información hidrológica y meteorológica confiable,

así como de un periodo de datos continuo; realizando las gestiones necesarias para que suceda.

En función de la experiencia obtenida en esta investigación recomiendo la continuidad mediante la determinación de la infiltración observada en la cuenca y subcuencas, ya que de esta manera se podría determinar con mayor precisión la existencia de aporte subterráneo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Allen, 2006] Allen, R. G. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, volume 56. Food & Agriculture Org.
- [Almeida, 2010] Almeida, M. (2010). Instructivos de procesamiento de información hidrometeorológica. *Trabajo de grado, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador*.
- [Aparicio Mijares, 1989] Aparicio Mijares, F. J. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Limusa.
- [Bedient et al., 2008] Bedient, P. et al. (2008). *Hydrology and floodplain analysis*. Prentice-Hall Inc.
- [Bernard and Andrade, 2011] Bernard, B. and Andrade, D. (2011). Volcanes cuaternarios del Ecuador Continental. *IGEPN Poster Informativo*.
- [Beven, 2011] Beven, K. J. (2011). *Rainfall-runoff modelling: the primer*. John Wiley & Sons.
- [Brady et al., 2002] Brady et al. (2002). *The nature and properties of soils*. Prentice-Hall Inc., ed. 13 edition.
- [Budyko, 1974] Budyko, M. (1974). *Climate and life*, 508 pp.
- [Buytaert et al., 2003] Buytaert, W., Céleri, R., Bièvre, B. d., Deckers, J., and Wyseure, G. (2003). Modelando el comportamiento hidrológico de microcuencas de páramo en el Sur del Ecuador con TOPMODEL. *Revista Marginalia*, 6:149–157.
- [Campozano et al., 2016] Campozano, L., Céleri, R., Trachte, K., Bendix, J., and Samaniego, E. (2016). Rainfall and cloud dynamics in the Andes: A Southern Ecuador case study. *Advances in Meteorology*, 2016.
- [Carrillo et al., 2011] Carrillo, G., Troch, P. A., Sivapalan, M., Wagener, T., Harman, C., and Sawicz, K. (2011). Catchment classification: hydrological analysis of catchment behavior through process-based modeling along a climate gradient. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(11):3411.
- [Chow et al., 1994] Chow, V. T., Maidment, D. R. M., Saldarriaga, L. W., Juan, G., et al. (1994). *Hidrología aplicada*. McGRAW HILL.
- [Coltorti and Ollier, 1999] Coltorti, M. and Ollier, C. D. (1999). The significance of high planation surface in the Andes of Ecuador. *Geological Society, London, Special Publications*, 162(1):239–253.
- [Devia et al., 2015] Devia, G. K., Ganasri, B., and Dwarakish, G. (2015). A review on hydrological models. *Aquatic Procedia*, 4:1001–1007.

- [Dudley, 2008] Dudley, N. (2008). *Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas*. IUCN.
- [Dunne and Leopold, 1978] Dunne, T. and Leopold, L. B. (1978). *Water in environmental planning*. Macmillan.
- [Economic and Social Council, 2002] Economic, U. and Social Council (2002). General Comment No. 15: The right to water. (Arts. 11 y 12 of the Covenant). *CESCR*.
- [FAO, 2000] FAO (2000). Manual on integrated soil management and conservation practices. *FAO Land and Water Bulletin*, (8):214.
- [Fuentes, 2004] Fuentes, J. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro. *Instituto Nacional de Ecología. Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas*.
- [Gilfedder et al., 2012] Gilfedder, M., Rassam, D. W., Stenson, M. P., Jolly, I. D., Walker, G. R., and Littleboy, M. (2012). Incorporating land-use changes and surface-groundwater interactions in a simple catchment water yield model. *Environmental Modelling & Software*, 38:62–73.
- [Gras, 2001] Gras, J. A. (2001). *Diseños de series temporales: técnicas de análisis*, volume 46. Edicions Universitat Barcelona.
- [Horna Kuonqui, 2016] Horna Kuonqui, L. N. (2016). Evaluación hidrometeorológica y de sedimentos en la cuenca del río Coca en la zona de influencia del Proyecto Coca Codo Sinclair. *Trabajo de grado, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador*.
- [Huffman and Bolvin, 2013] Huffman, G. J. and Bolvin, D. T. (2013). TRMM and other data precipitation data set documentation. *NASA, Greenbelt, USA*, pages 1–40.
- [Ibáñez Asensio et al., 2009] Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H., and Gisbert Blanquer, J. (2009). Morfología de las Cuencas Hidrográficas.
- [INAMHI, 2010] INAMHI (2010). Anuario meteorológico.
- [Jardí, 1985] Jardí, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, 19(1):41–68.
- [Jarraud, 2008] Jarraud, M. (2008). Guide to meteorological instruments and methods of observation (wmo-no. 8). *World Meteorological Organisation: Geneva, Switzerland*.
- [Kennedy et al., 1982] Kennedy, J. B., Neville, A. M., and Pulido, M. M. A. C. (1982). *Estadística para ciencias e ingeniería*. Harper & Row Latinoamericana.
- [Lema Changoluisa and Plaza Quezada, 2009] Lema Changoluisa, M. A. and Plaza Quezada, V. C. (2009). Modelación hidrológica de la cuenca (alta y media) del río Pastaza aplicando el modelo de simulación weap (water evaluation and planning system).
- [Litherland et al., 1994] Litherland, M., Aspen, J. A., and Jemielita, R. A. (1994). *The metamorphic belts of Ecuador*, volume 11. British Geological Survey.

- [Liu, 2016] Liu, Z. (2016). Comparison of integrated multisatellite retrievals for GPM (IMERG) and TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA) monthly precipitation products: Initial results. *Journal of Hydrometeorology*, 17(3):777–790.
- [Mendoza et al., 2002] Mendoza, M., Bocco, G., López Granados, E., and Bravo, M. (2002). Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del lago de Cuitzeo, Michoacán. *Investigaciones geográficas*, (49):92–117.
- [Monsalve, 1995] Monsalve, G. (1995). *Hidrología en la Ingeniería*. Departamento de Publicaciones, Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia.
- [Moradkhani and Sorooshian, 2008] Moradkhani, H. and Sorooshian, S. (2008). General review of rainfall-runoff modeling: model calibration, data assimilation, and uncertainty analysis. In *Hydrological modelling and the water cycle*, pages 1–24. Springer.
- [Mu et al., 2007] Mu, Q., Heinsch, F. A., Zhao, M., and Running, S. W. (2007). Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. *Remote sensing of Environment*, 111(4):519–536.
- [Mu et al., 2009] Mu, Q., Jones, L. A., Kimball, J. S., McDonald, K. C., and Running, S. W. (2009). Satellite assessment of land surface evapotranspiration for the pan-Arctic domain. *Water Resources Research*, 45(9).
- [Mu et al., 2011a] Mu, Q., Zhao, M., and Running, S. W. (2011a). Brief introduction to MODIS evapotranspiration data set (MOD16).
- [Mu et al., 2011b] Mu, Q., Zhao, M., and Running, S. W. (2011b). Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. *Remote Sensing of Environment*, 115(8):1781–1800.
- [Organización Meteorológica Mundial, 2009] Organización Meteorológica Mundial (2009). Guía de prácticas hidrológicas: Hidrología- de la medición a la información hidrológica. Vol. 1(OMM N °168).
- [Pourrut et al., 1995] Pourrut, P. et al. (1995). El agua en el Ecuador.
- [Ramos et al., 2011] Ramos, L., Pérez, F., Cañas, J., and Hevia, I. (2011). Influencia de la vegetación en el balance hídrico superficial de la cuenca hidrológica de El Cabril. *Ingeniería del agua*, pages 498–506.
- [Richey et al., 2015] Richey, A. S., Thomas, B. F., Lo, M.-H., Famiglietti, J. S., Swenson, S., and Rodell, M. (2015). Uncertainty in global groundwater storage estimates in a total groundwater stress framework. *Water Resources Research*, 51(7):5198–5216.
- [Rodgers, 1991] Rodgers, K. (1991). Proyecto de manejo y conservación, cuenca alta del río Pastaza: Resumen ejecutivo. Technical report, Organización de los Estados Americanos-Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales, Washington (EUA). Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente.
- [Sánchez, 2013] Sánchez, F. J. (2013). Medida de Caudales.

- [Sharifi et al., 2016] Sharifi, E., Steinacker, R., and Saghafian, B. (2016). Assessment of GPM-IMERG and other precipitation products against gauge data under different topographic and climatic conditions in iran: preliminary results. *Remote Sensing*, 8(2):135.
- [Smakhtin, 2001] Smakhtin, V. (2001). Low flow hydrology: a review. *Journal of hydrology*, 240(3):147–186.
- [Staff, 1999] Staff, S. S. (1999). Soil taxonomy.
- [Thornthwaite, 1948] Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, 38(1):55–94.
- [Zubieta et al., 2015] Zubieta, R., Getirana, A., Espinoza, J. C., and Lavado, W. (2015). Impacts of satellite-based precipitation datasets on rainfall–runoff modeling of the western Amazon basin of Peru and Ecuador. *Journal of Hydrology*, 528:599–612.

ANEXOS

ANEXO 1

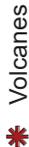
Mapas de la cuenca

Ubicación en el Ecuador



Leyenda

- Cabecera cantonal
 - Límite de la cuenca
 - Ríos
 - Vía principal
- Elevación (m.s.n.m)**
- Máximo : 6247
 - Mínimo : 2210



Volcanes



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

MAPA GENERAL DE LA CUENCA

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

Elaborado por: Ana G. Quishpe

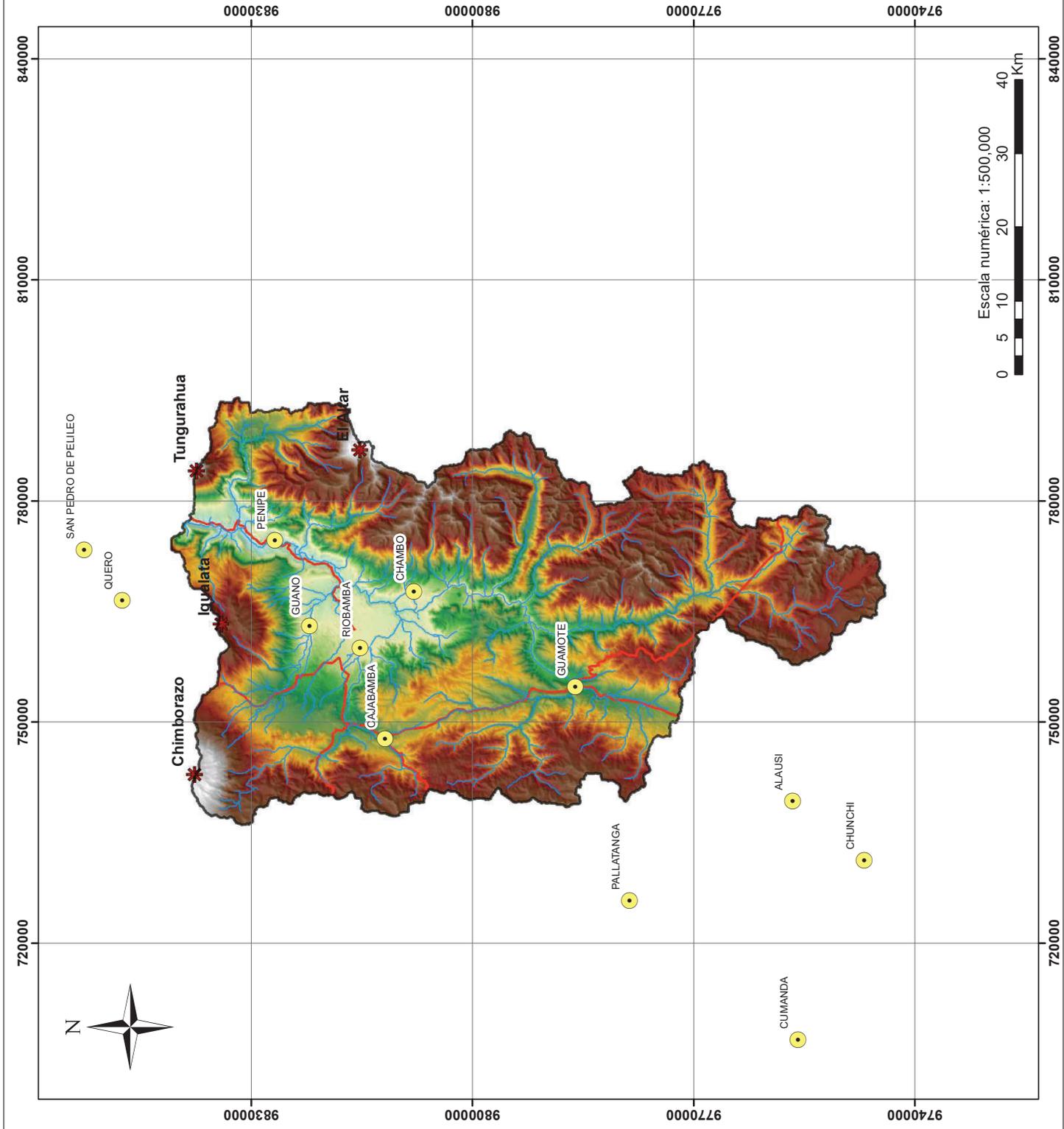
Fecha: Marzo 2017

No. Mapa

Formato de impresión:

A3

MAPA 01



Ubicación en el Ecuador



Leyenda

□ Límite de la cuenca

Cantones

- ALAUSI
- CHAMBO
- COLTA
- GUAMOTE
- GUANO
- PENIPE
- QUERO
- RIOBAMBA
- SAN PEDRO DE PELILEO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

DISTRIBUCIÓN CANTONAL DE LA CUENCA

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

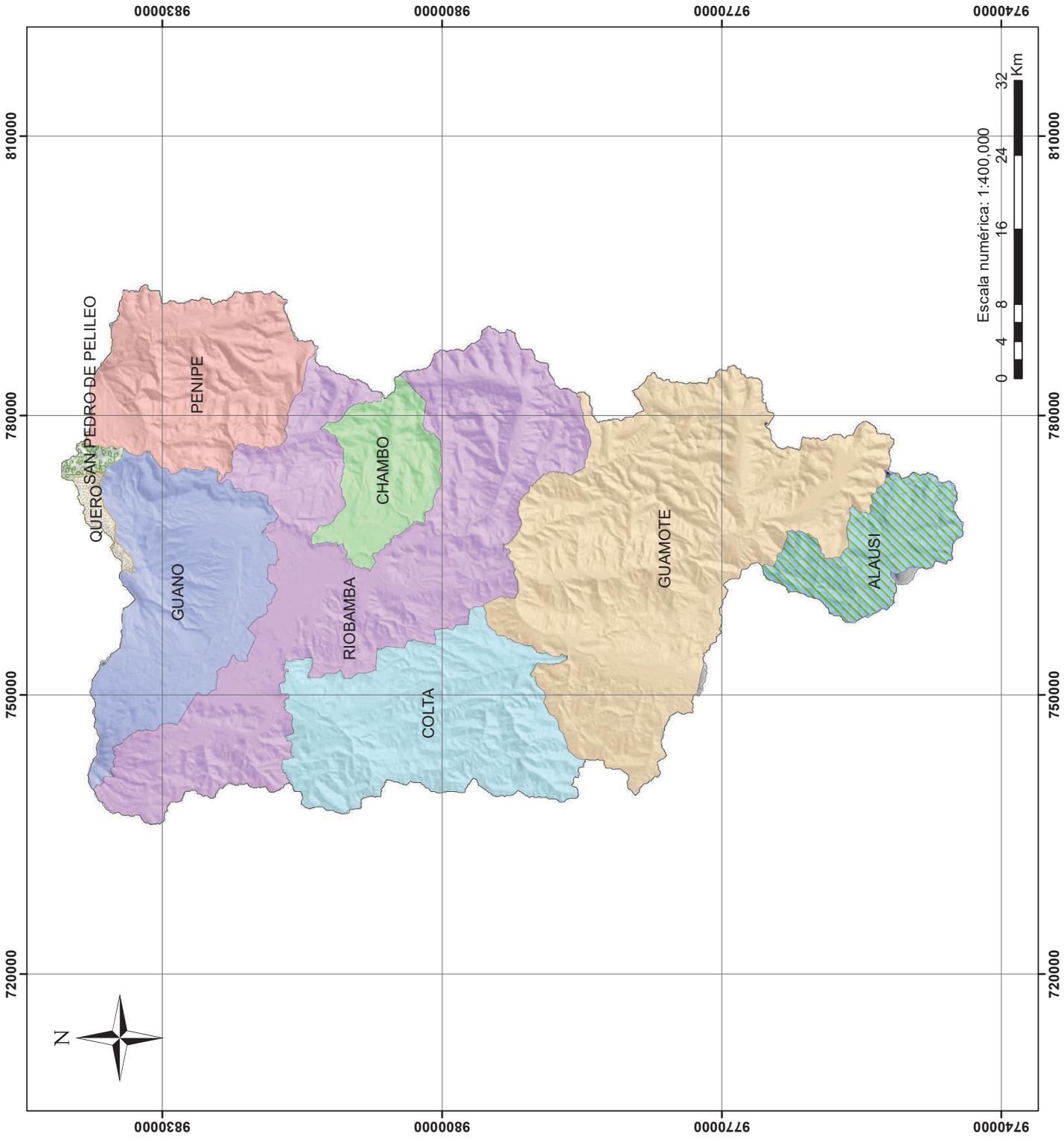
Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:400000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: IGM, SRTM

Formato de impresión: A3

MAPA 02



Ubicación en el Ecuador



Leyenda

□ Límite de la cuenca

Textura

■ Fina

■ Gruesa

■ Media

■ Moderadamente gruesa

■ No aplicable



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

TEXTURA DEL SUELO EN LA CUENCA

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

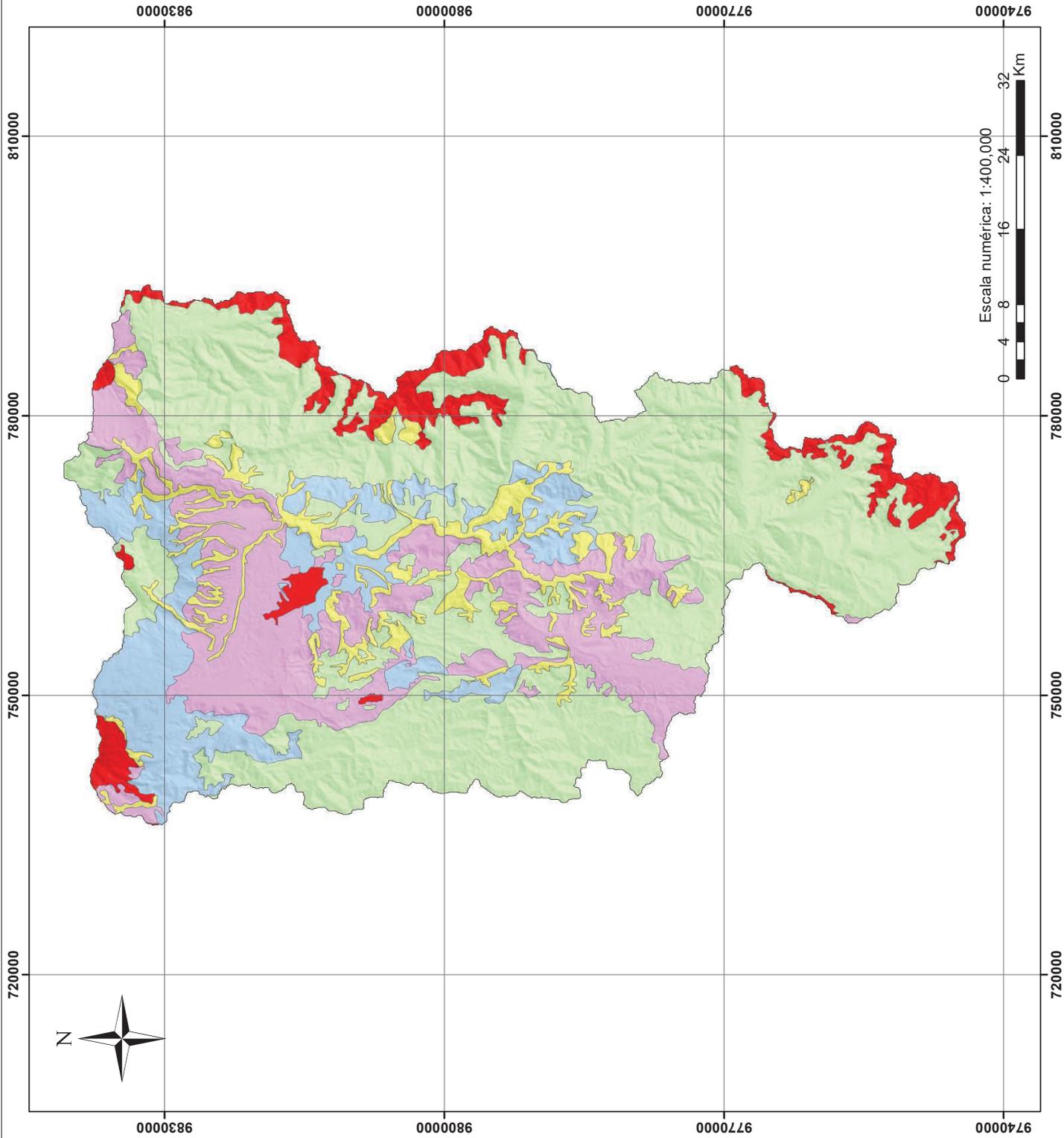
Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:400000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: MAGAP, SIGAGRO

Formato de impresión: A3

MAPA 04



Ubicación en el Ecuador



Leyenda

- Limite de la cuenca
- Taxonomía**
- Alfisol
- Andisol
- Cuerpo de agua nat.
- Entisol
- Histosol
- Inceptisol
- Inceptisol+Entisol
- Molisol
- Nieve
- No aplicable
- Tierras misceláneas

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

TAXONOMÍA DEL SUELO EN LA CUENCA

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

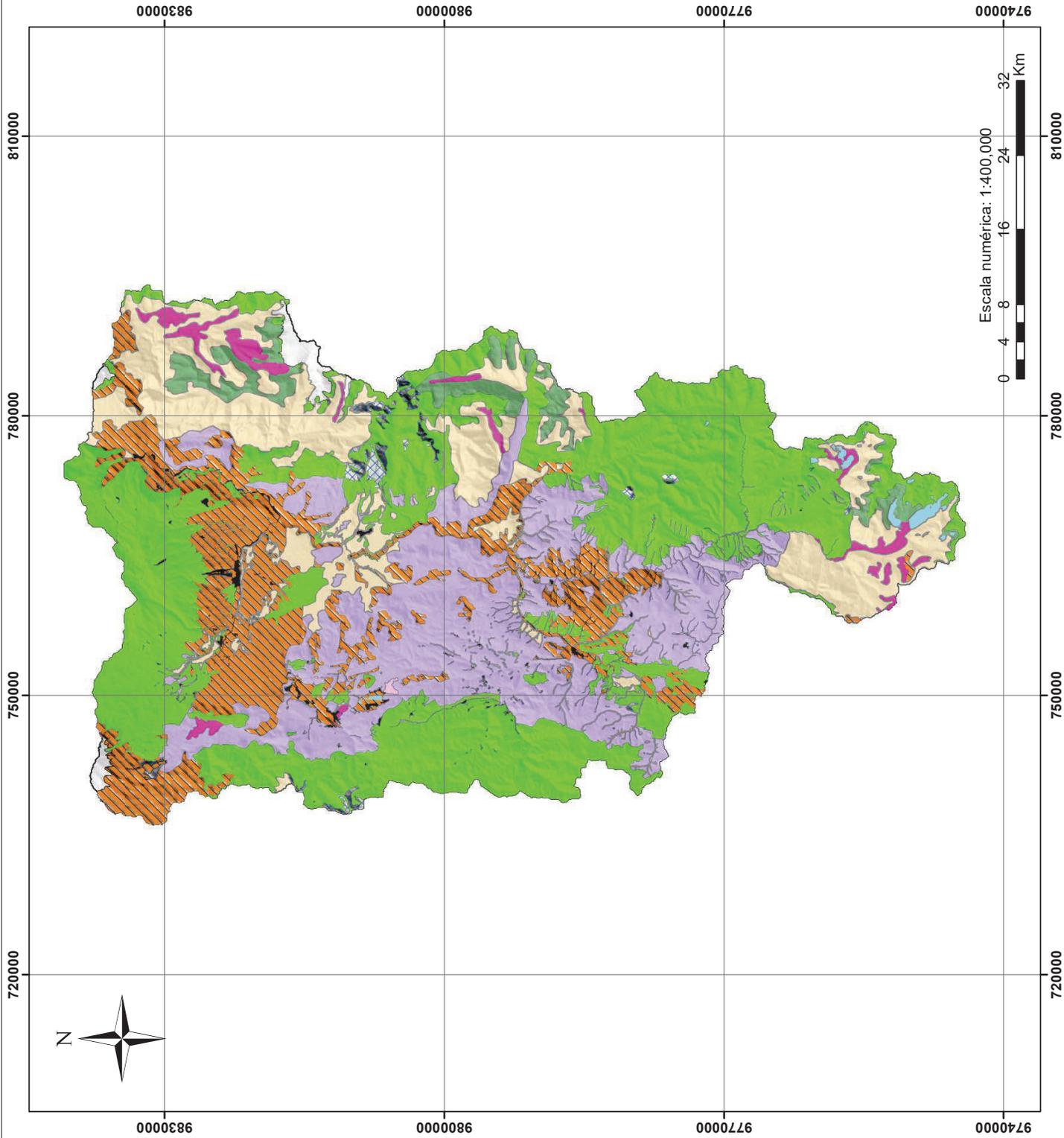
Elaborado por: Ana G. Quishpe

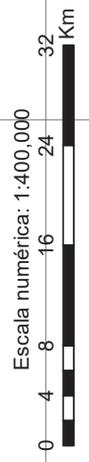
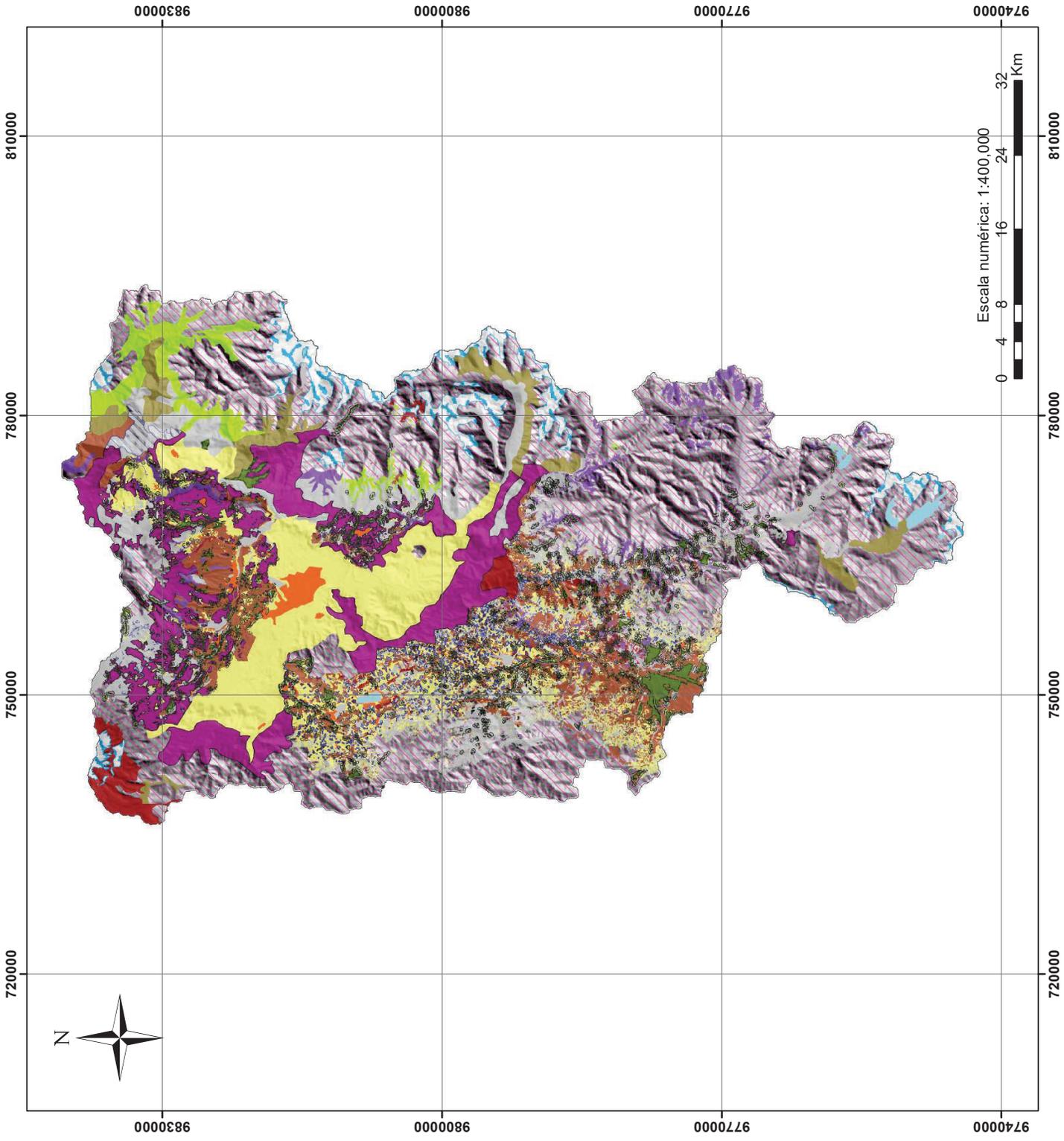
Escala temática: 1:400000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: MAGAP-SIGAGRO, IEE

Formato de impresión: A3

MAPA 05





Ubicación en el Ecuador



Leyenda

- Limite de la cuenca
- Glaciar
- Infraestructura
- Mosaico agropecuario
- Otras tierras agrícolas
- Pasizal
- Plantación forestal
- Parámo
- Vegetación Arbustiva y Herbácea
- Vegetación arbustiva
- Vegetación herbácea
- Cobertura vegetal
- Área poblada
- Área sin cobertura vegetal
- Bosque natural
- Cuerpo agua natural
- Cultivo anual
- Cultivo permanente
- Cultivo semi-permanente

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

COBERTUA VEGETAL EN LA CUENCA

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:
U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:400000
Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: MAE-MAGAP, IEE

Formato de impresión: MAPA 06
A3

Ubicación en el Ecuador



Leyenda

□ Límite de la cuenca

Uso del suelo

- Agropecuaria
- Agropecuaria Mixto
- Antrópico
- Avícola
- Conservación y Producción
- Conservación y Protección
- Cuerpo de Agua
- Forestal
- Pecuario
- Protección o Producción
- Tierras improductivas



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

USO DEL SUELO EN LA CUENCA

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

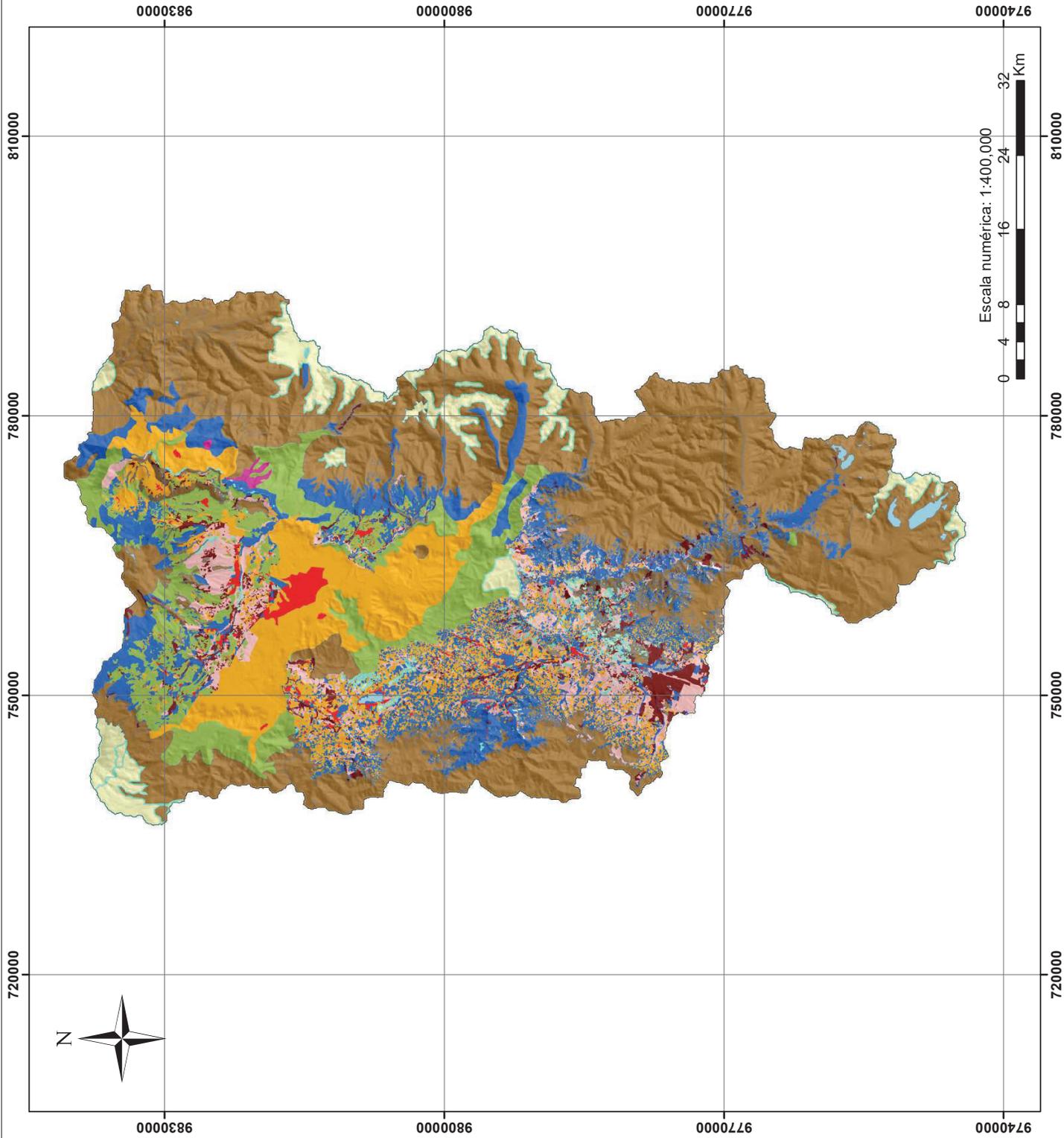
U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:400000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: No. Mapa

MAE-MAGAP, IEE
Formato de impresión: MAPA 07
A3



Ubicación en el Ecuador



Leyenda

- Limite de la cuenca
- Fallas geológicas**
- Tipo**
- Falia
- Falia Regional
- Falia transcurrente
- Elevación (m.s.n.m)**
- Máximo : 6247
- Mínimo : 2210

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

FALLAS GEOLÓGICAS EN LA CUENCA

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

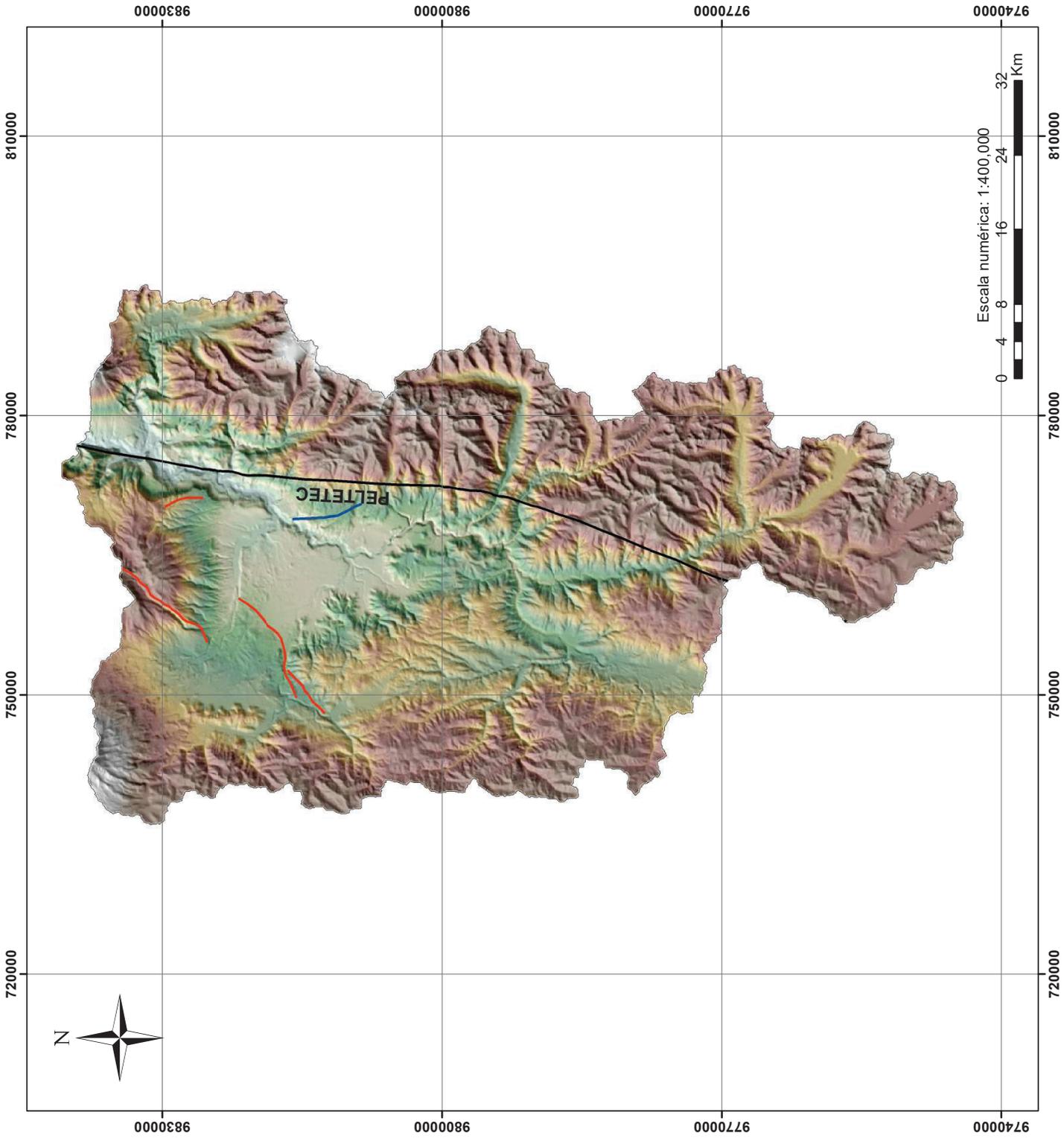
U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:400000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: IGEPN No. Mapa

Formato de impresión: MAPA 08 A3



Ubicación en el Ecuador



Leyenda

- Límite de la cuenca
- Geología**
- Depósito Lagunar
- Depósito Aluvial
- Depósito Coluvial
- Depósito Coluvio Aluvial
- Depósito flujo lacustre
- Depósito Glaciar
- Depósito lahárico
- Depósito volcánico Sangay
- Derriumbre
- Form. Alausí
- Form. Cangahua
- Form. Macacachi
- Form. Palmira
- Form. Playabambo
- Form. Ribambamba
- Form. Tarquí
- Form. Yaruquiles
- Form. Yunguilla
- Lavas Tungurahua
- Lavas Canfuaruazo
- Lavas jóvenes Chimborazo
- Lavas y tobas El Altar
- No aplicable
- PANE
- Piroclastos Chimborazo
- Rocas basálticas
- Rocas ígneas
- Rocas Metamórficas
- S. Llanquanes
- S. Metauridulitas
- S. Volcánica
- Sed. Río Chambo
- Terrazas
- Unidad/Alao-Paule
- Volc. Chimborazo
- Volc. El Altar
- Volc. Igualaia
- Volc. Playabambo
- Volc. Siatipa


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

GEOLOGÍA EN LA CUENCA

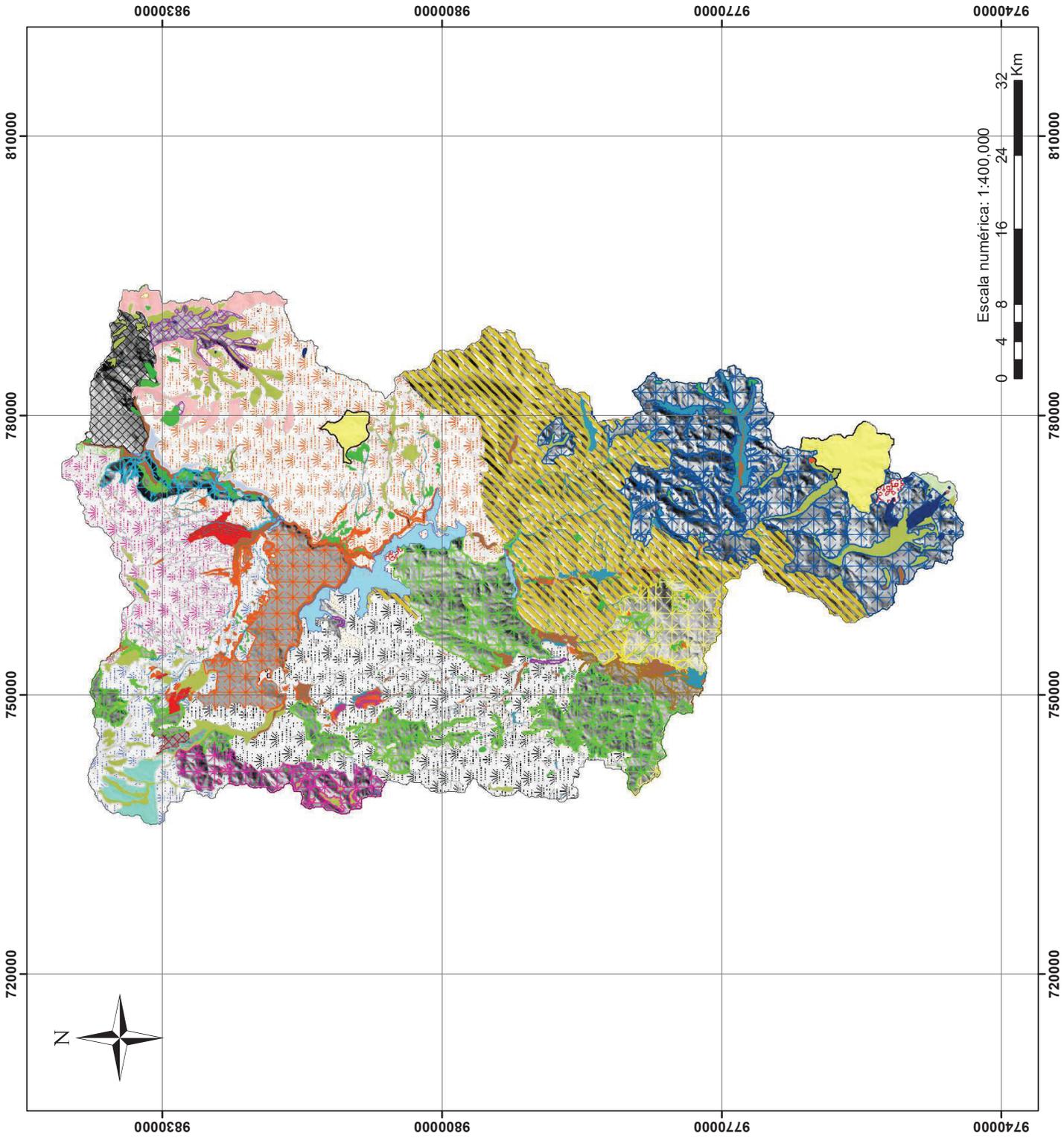
Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:
 U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
 WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

Elaborado por: Ana G. Quishpe

Fecha:	Marzo 2017
Escala temática:	1:400000
Fuente Cartografía Base:	IEE, MAGAP-SIGAGRO
Formato de impresión:	MAPA 09
	A3



Ubicación en el Ecuador



Leyenda

Proyectos hidroeléctricos

-  Existentes
-  Estudios de inventario
-  Ríos
-  Límite de la cuenca



HIDROELÉCTRICAS DENTRO DE LA CUENCA

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

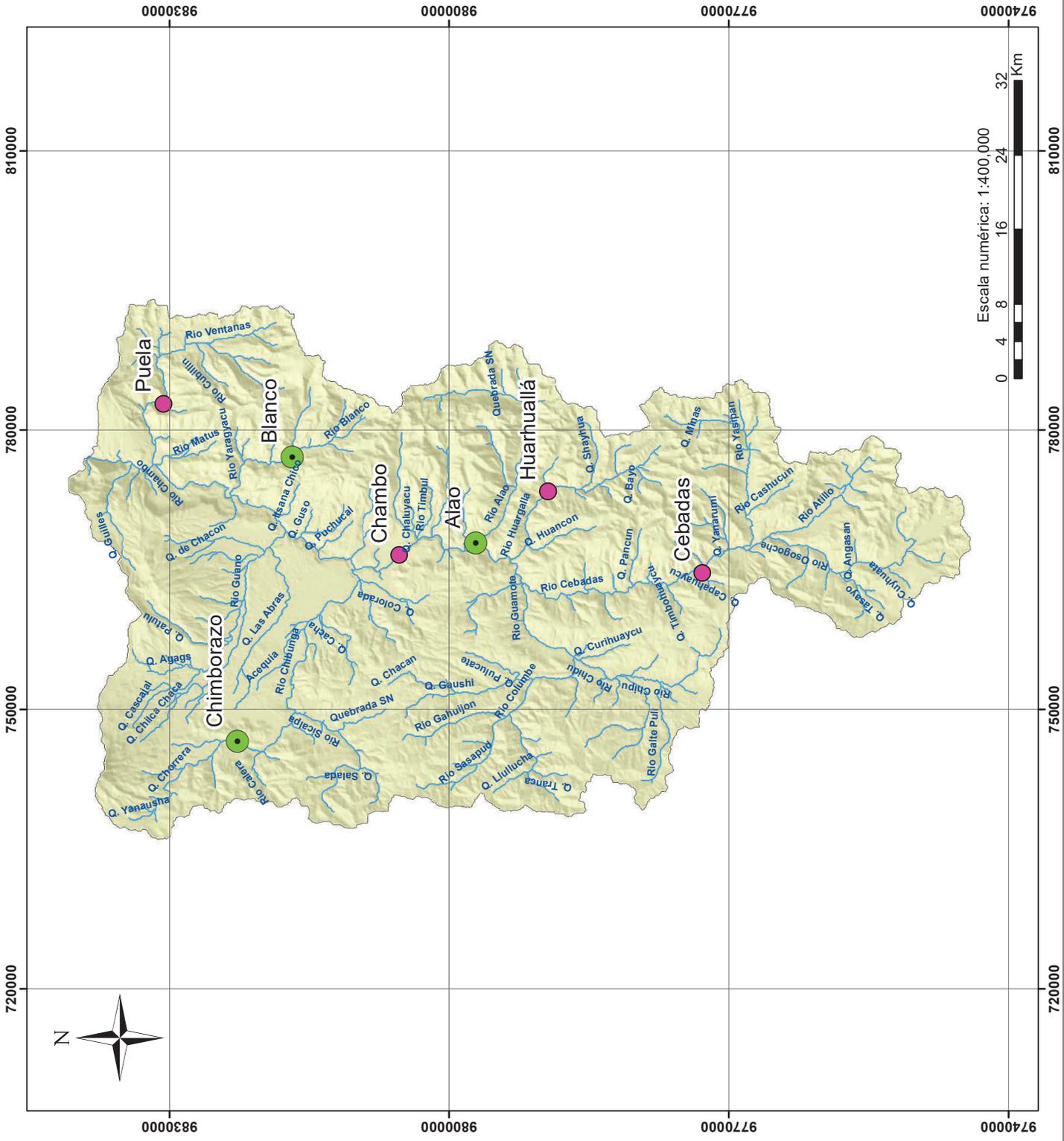
Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:400000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: CONECEL

Formato de impresión: A3

MAPA 10



Ubicación en el Ecuador



Leyenda

- Ríos
- Limite de la cuenca

Est. Hidrológicas

- ▲ Activa
- ▲ Inactiva
- Ozogoché en los Lagos (H783)
- Guamote AJ Cebadas (H786)
- Alao en Hda. Alao (H787)
- Puela AJ Chambo (H788)
- Guargualla AJ Cebadas (H789)
- Cebadas AJ Guamote (H790)
- Balsacón en San Andrés (H791)
- Chambo en Hda. Cahualj (H0826)



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

SUBCUENCAS

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

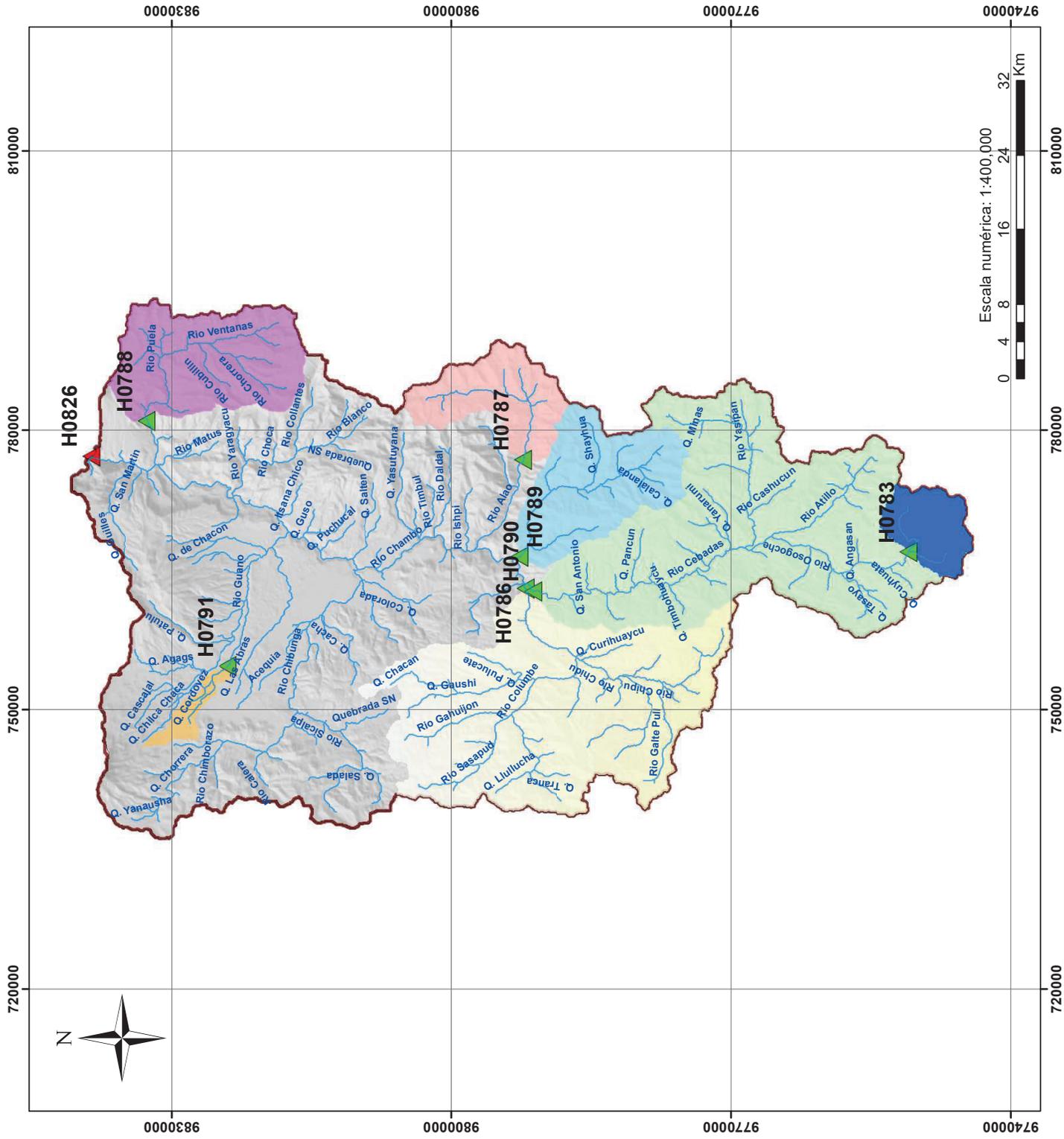
Elaborado por: Ana G. Quishpe

Fecha: Marzo 2017

No. Mapa

Formato de impresión:
A3

MAPA 11



Ubicación en el Ecuador



Leyenda

- Límite de la cuenca
- Ríos

Pendientes (%)

- 0.11 - 8.1
- 8.1 - 15.0
- 15.0 - 22.2
- 22.2 - 30.6
- 30.6 - 56.9



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

PENDIENTES EN LA CUENCA

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

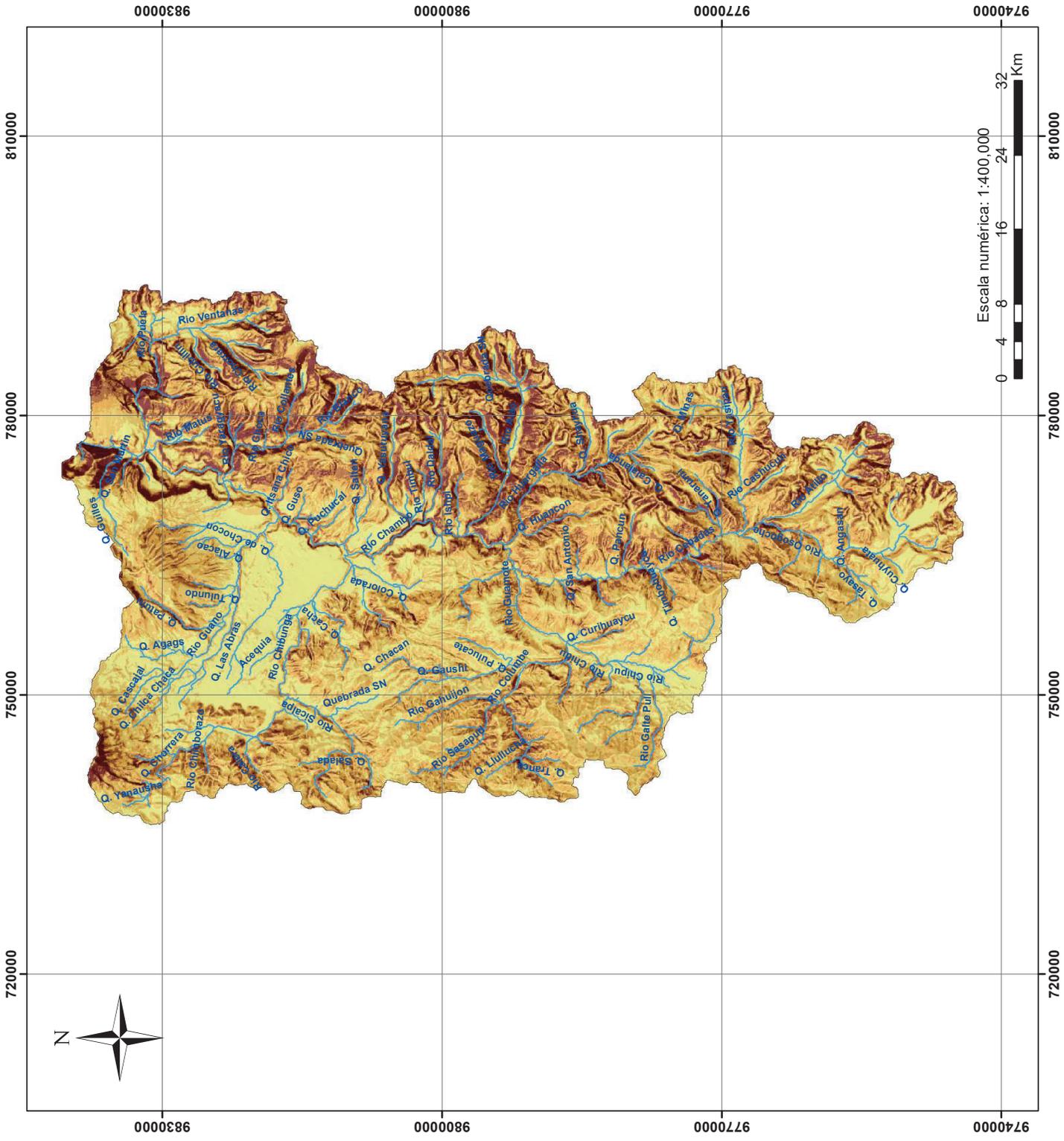
U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:400000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: IGM, SRTM No. Mapa

Formato de impresión: MAPA 12 A3



Ubicación en el Ecuador



Leyenda

□ Límite de la cuenca

Elevación (m.s.n.m)



· Máximo : 6247

· Mínimo : 2210

Est. Hidrológicas

▲ Activa

▲ Inactiva



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

ESTACIONES HIDROLÓGICAS EN LA CUENCA

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

Elaborado por: Ana G. Quishpe

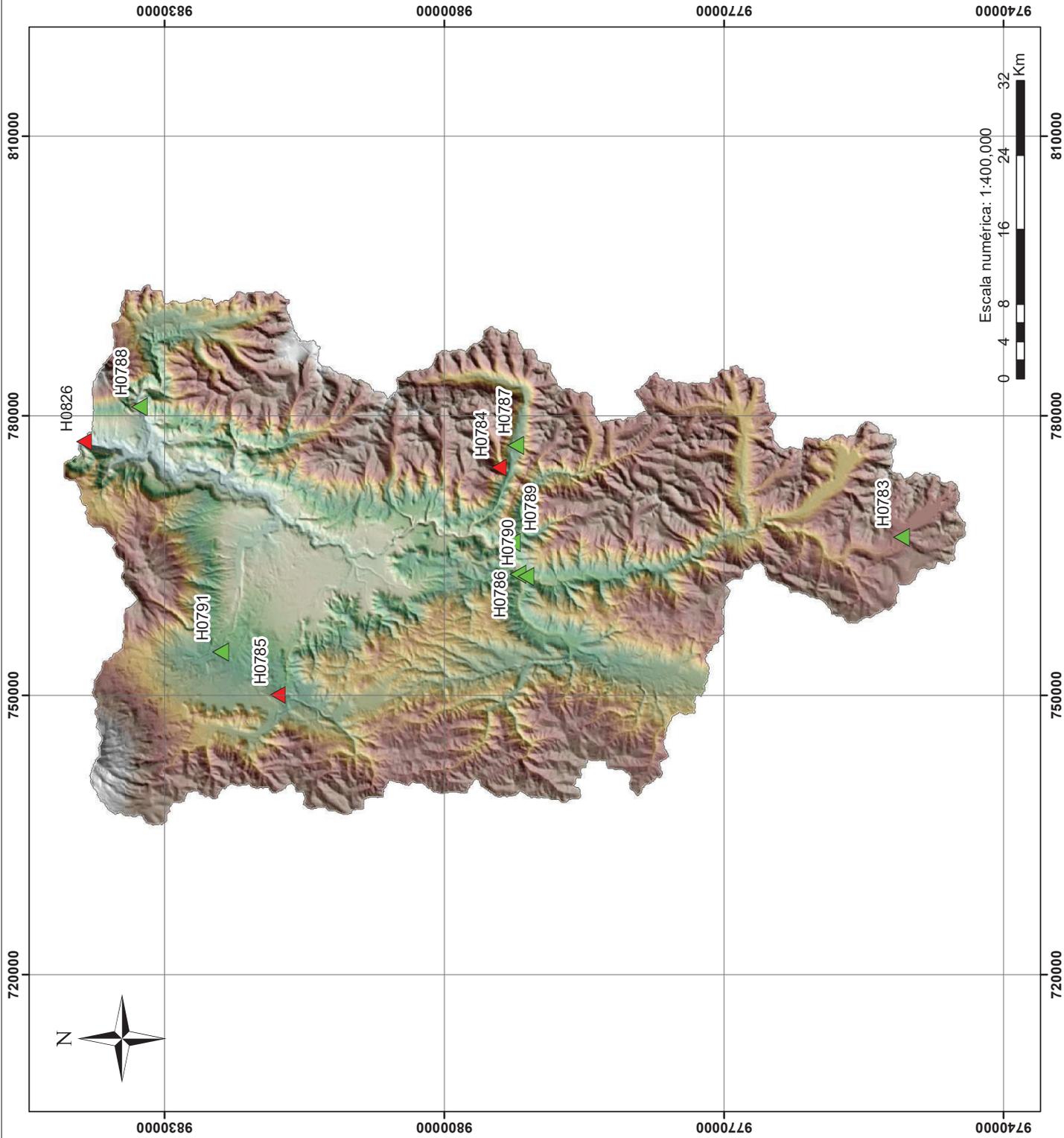
Escala temática: 1:400000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: INAMHI

No. Mapa

Formato de impresión: A3

MAPA 14



Ubicación en el Ecuador



Leyenda

Limite de la cuenca

Est. meteorológicas

Grupo

- 1 (Green triangle)
- 2 (Red triangle)
- 3 (Star)
- 4 (Red diamond)
- 5 (Yellow circle)
- 6 (Black star)

Precipitación anual (mm)

- 444.5 - 656.4
- 656.4 - 802.8
- 802.8 - 979.4
- 979.4 - 1,276.9
- 1,276.9 - 1,606.4

ISOYETAS_100

- 1600
- 1300
- 1100
- 1000
- 900
- 800
- 700
- 600
- 500



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

ISOYETAS

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

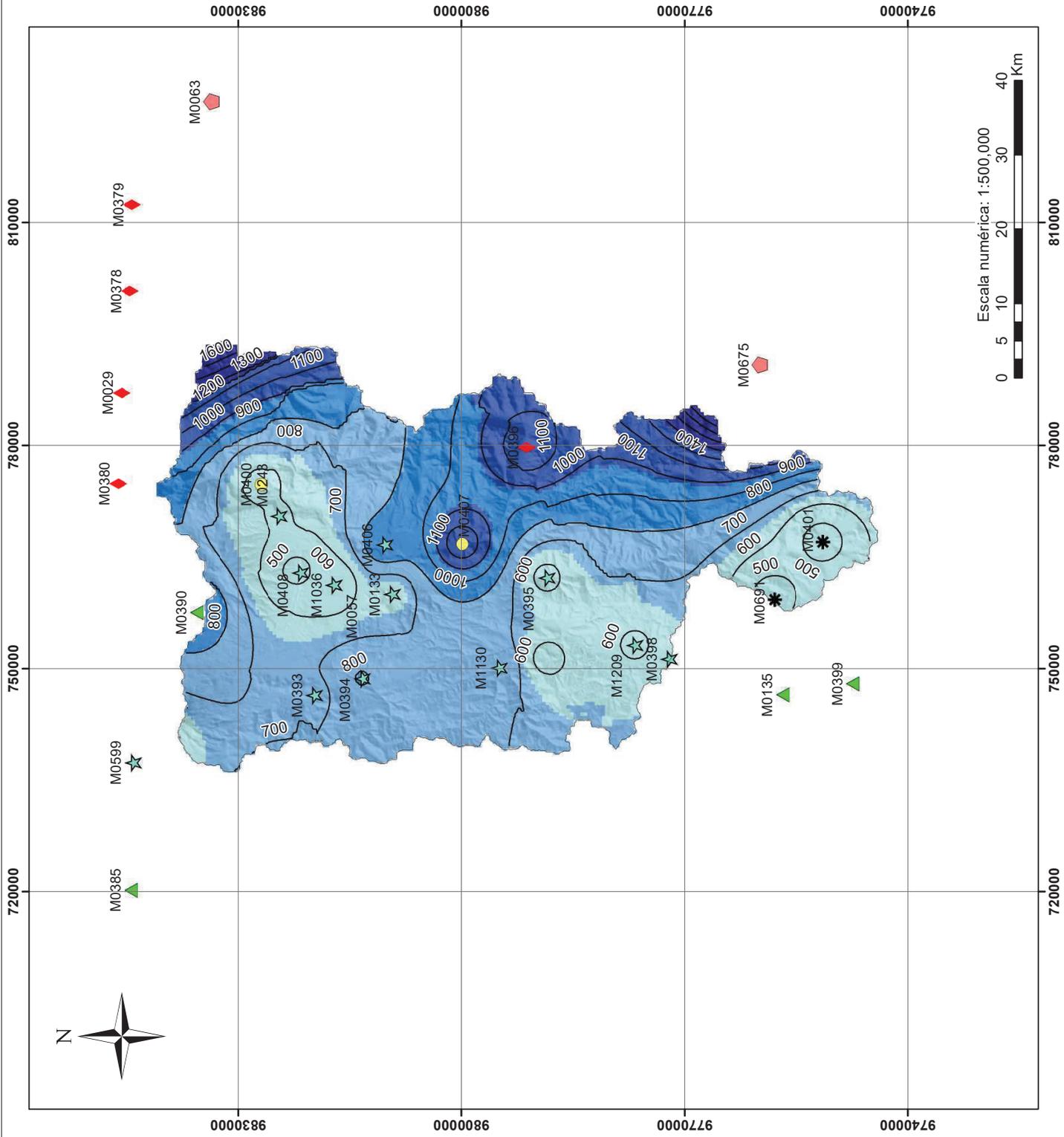
Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:500000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: INAMHI No. Mapa

Formato de impresión: A3

MAPA 15



Ubicación en el Ecuador



Leyenda

— Límite de la cuenca

Est. Meteorológicas

● Activa

● Inactiva

— Isotermas 2°C

Temperatura media

6.5 - 10.5

10.5 - 11.7

11.7 - 12.6

12.6 - 13.5

13.5 - 15.4



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

ISOTERMAS

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:400000

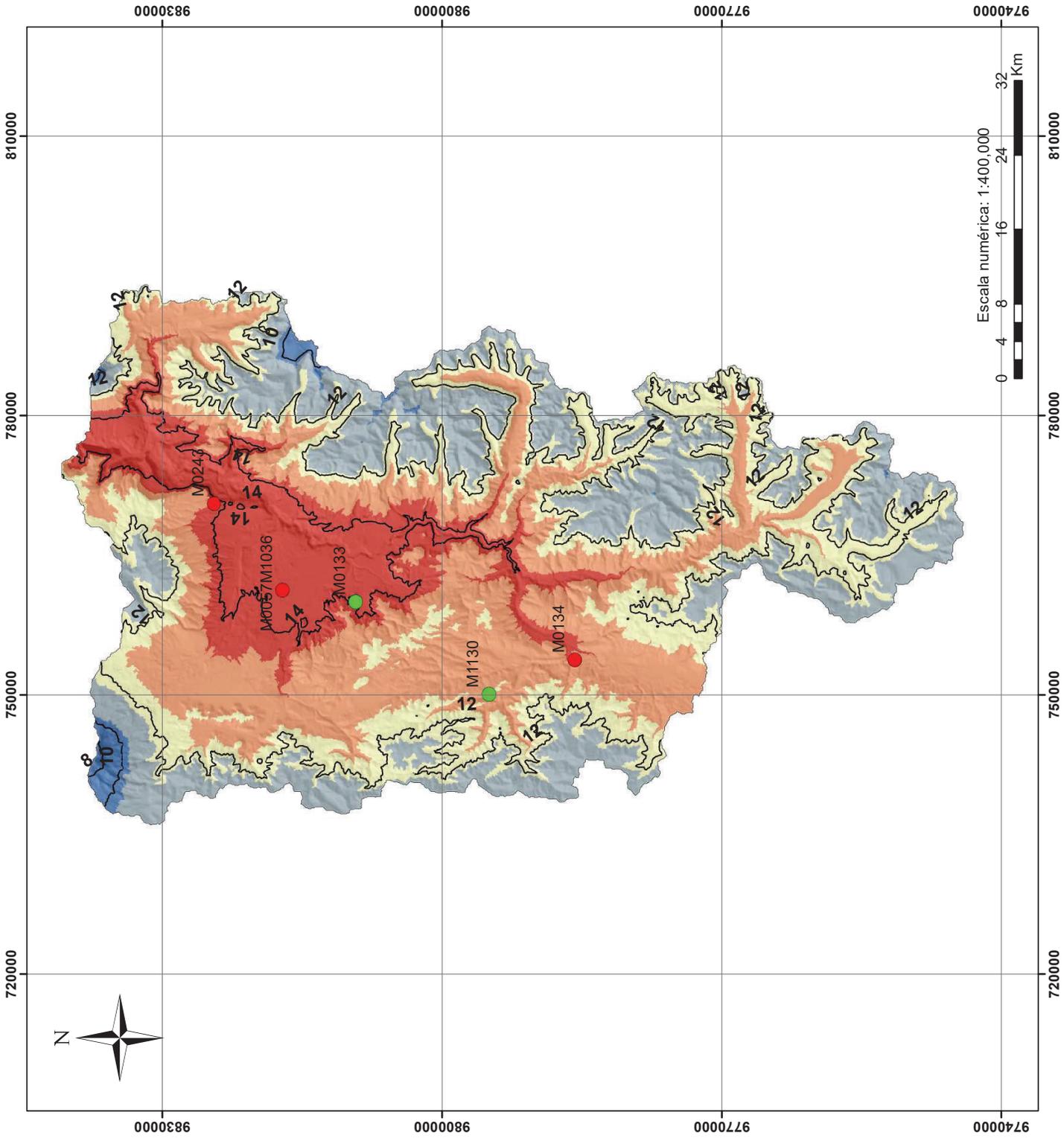
Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: INAMHI

No. Mapa

Formato de impresión: A3

MAPA 16



Ubicación en el Ecuador



Leyenda

□ Límite de la cuenca

Precipitación Enero

- 25.4 - 40.8
- 40.8 - 49.9
- 49.9 - 58.7
- 58.7 - 74.7
- 74.7 - 108.7



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

PRECIPITACIÓN ENERO

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

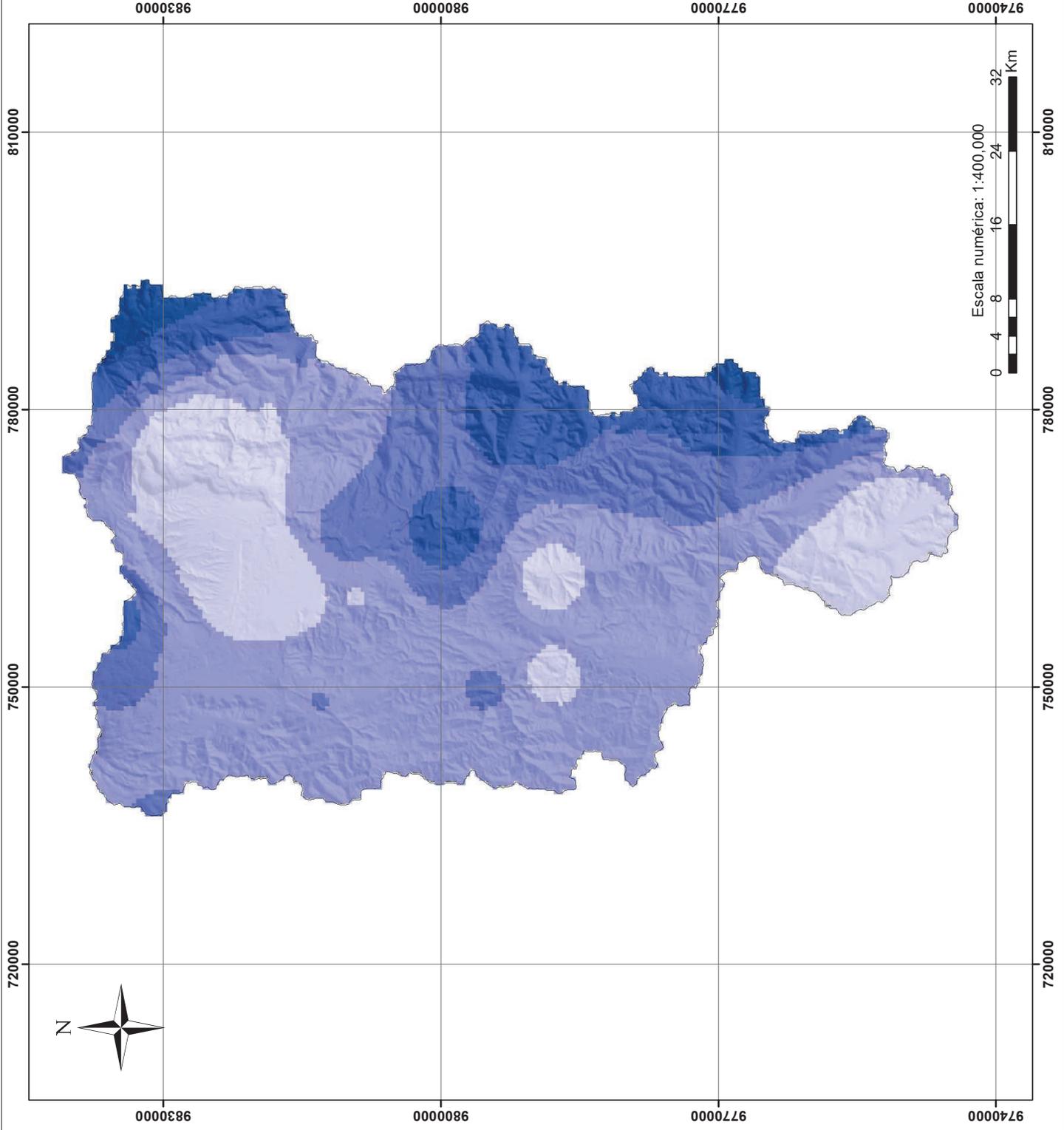
Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:400000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: INAMHI

Formato de impresión: A3

MAPA 17



Ubicación en el Ecuador



Leyenda

□ Límite de la cuenca

Precipitación Febrero

- 44.1 - 57.7
- 57.7 - 65.9
- 65.9 - 75.2
- 75.2 - 89.7
- 89.7 - 120.8



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

PRECIPITACIÓN FEBRERO

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

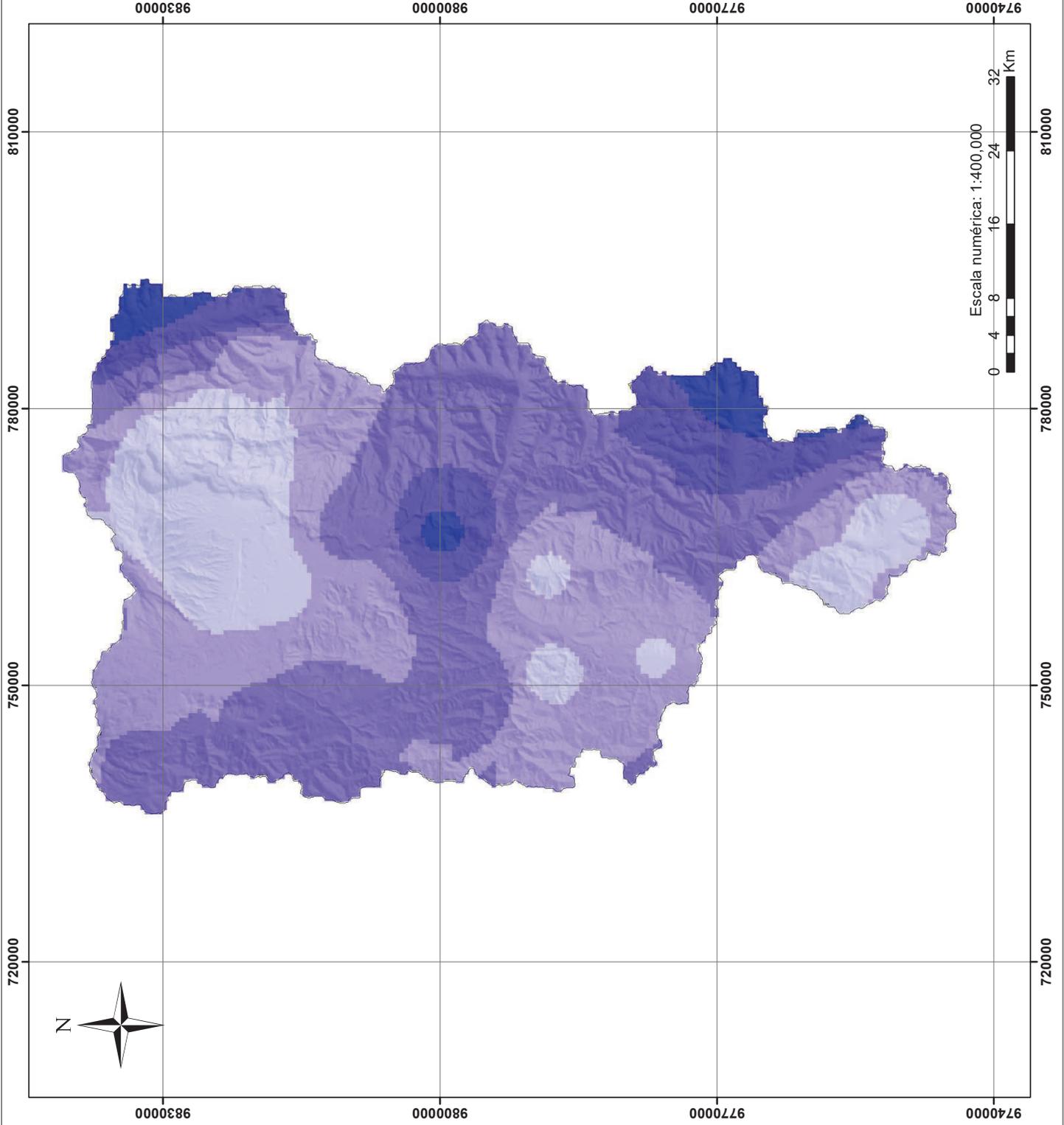
U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:400000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: INAMHI No. Mapa

Formato de impresión: A3 MAPA 18



Ubicación en el Ecuador



Leyenda

□ Límite de la cuenca

Precipitación Marzo

- 50.4 - 72.4
- 72.4 - 84.9
- 84.9 - 95.9
- 95.9 - 110.9
- 110.9 - 144.0



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

PRECIPITACIÓN MARZO

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

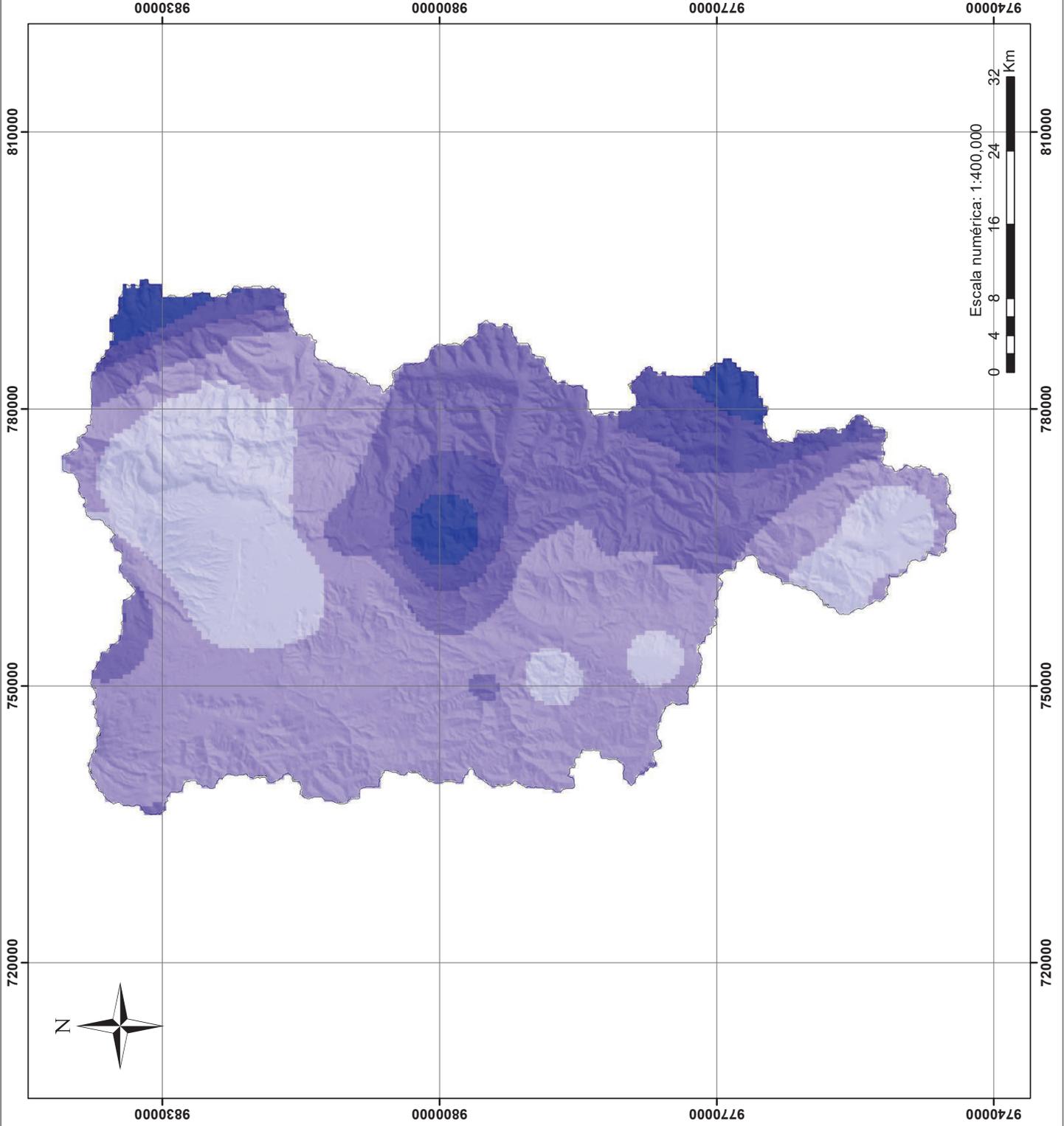
U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:400000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: INAMHI No. Mapa

Formato de impresión: MAPA 19
A3



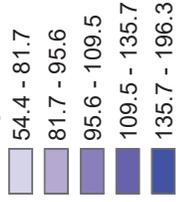
Ubicación en el Ecuador



Leyenda

□ Límite de la cuenca

Precipitación Abril



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

PRECIPITACIÓN ABRIL

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

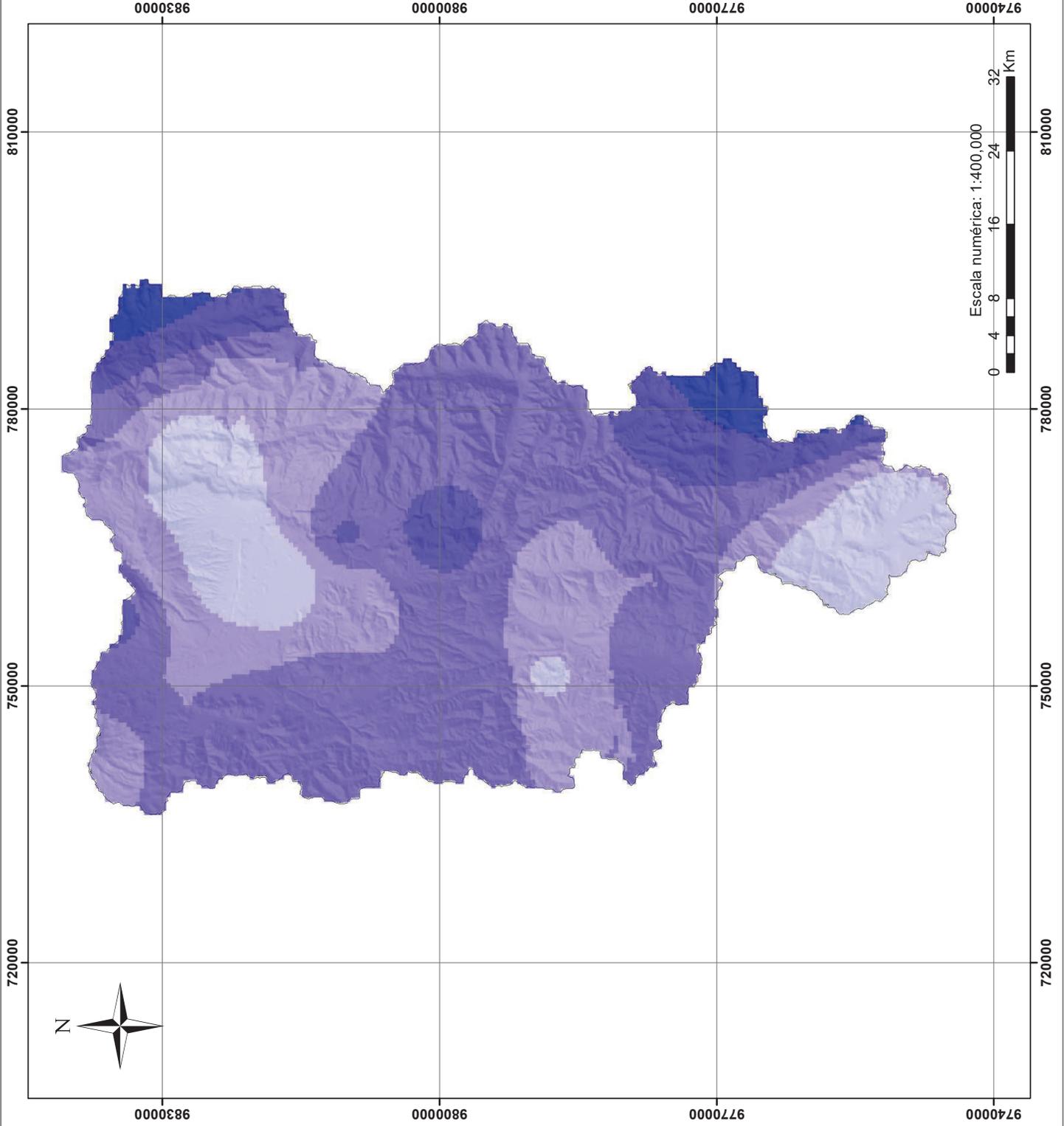
U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:400000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: INAMHI No. Mapa

Formato de impresión: A3 MAPA 20



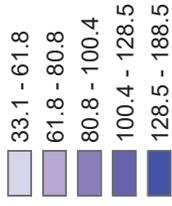
Ubicación en el Ecuador



Leyenda

□ Límite de la cuenca

Precipitación Mayo



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

PRECIPITACIÓN MAYO

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

Elaborado por: Ana G. Quishpe

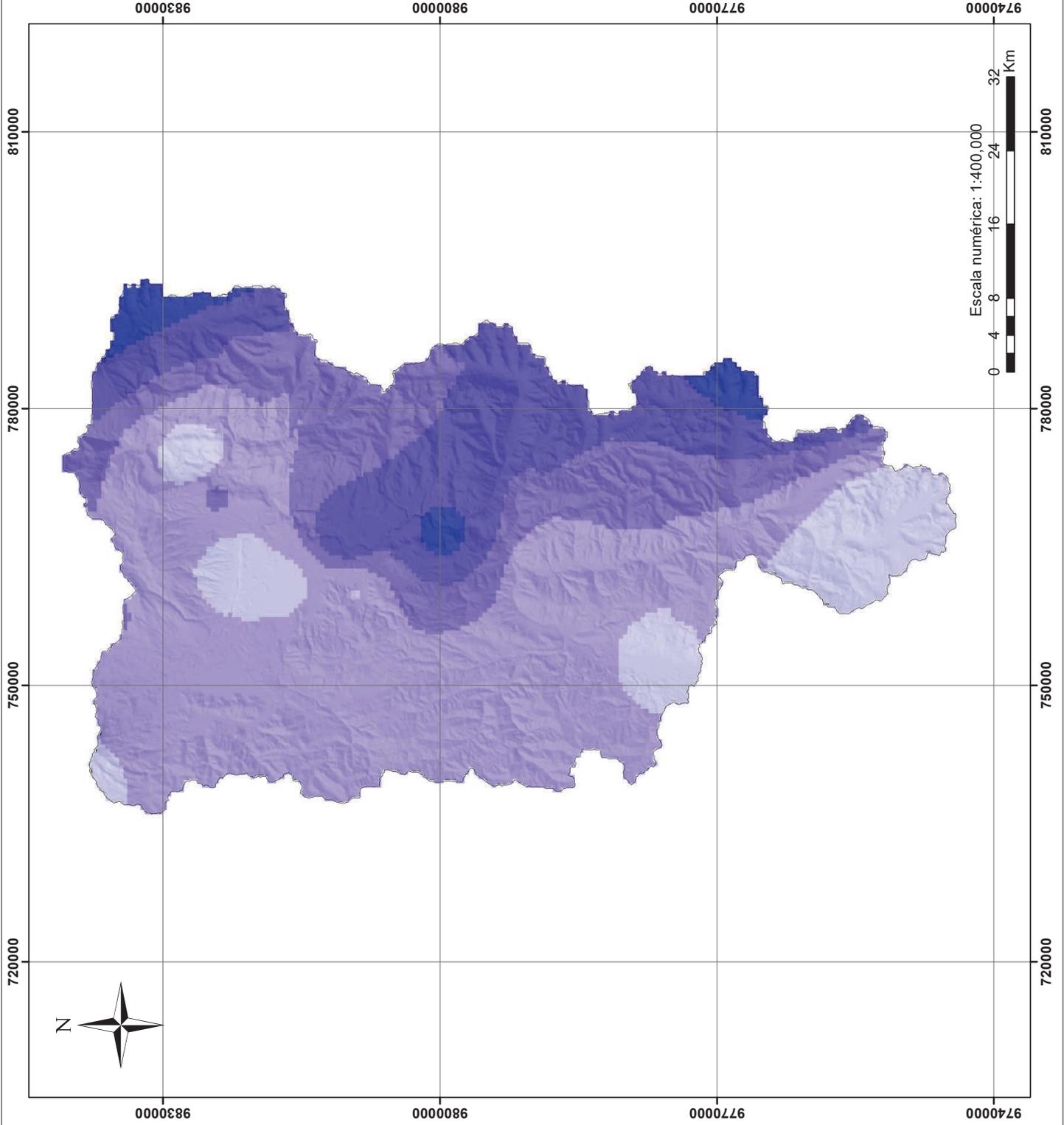
Escala temática: 1:400000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: INAMHI

No. Mapa

Formato de impresión: A3

MAPA 21



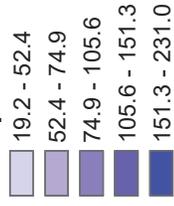
Ubicación en el Ecuador



Leyenda

□ Límite de la cuenca

Precipitación Junio



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

PRECIPITACIÓN JUNIO

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

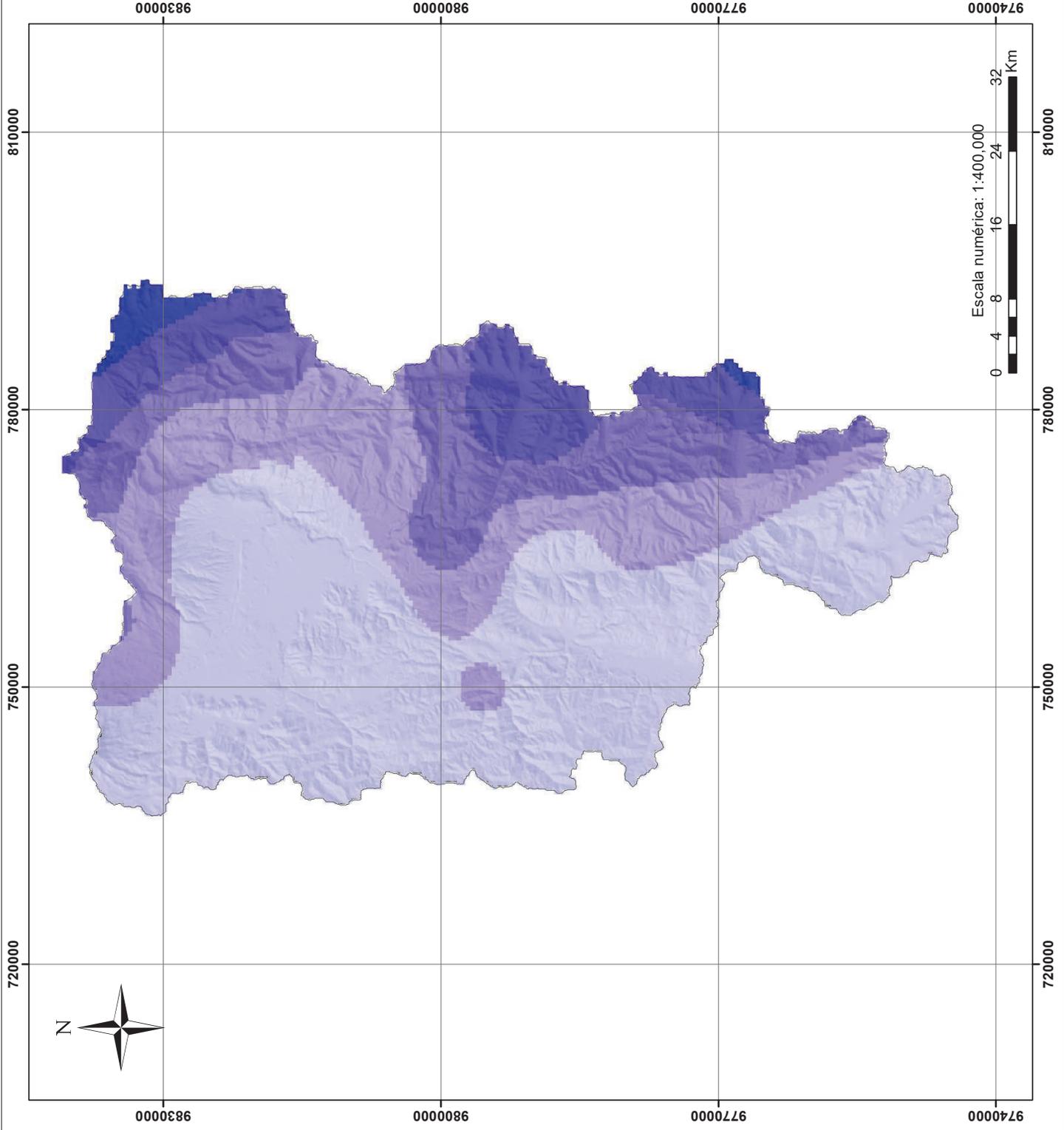
Elaborado por: Ana G. Quishpe

Fecha: Marzo 2017

No. Mapa

Formato de impresión:
A3

MAPA 22



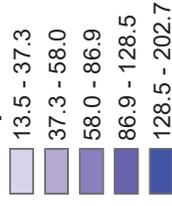
Ubicación en el Ecuador



Leyenda

□ Límite de la cuenca

Precipitación Julio



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

PRECIPITACIÓN JULIO

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

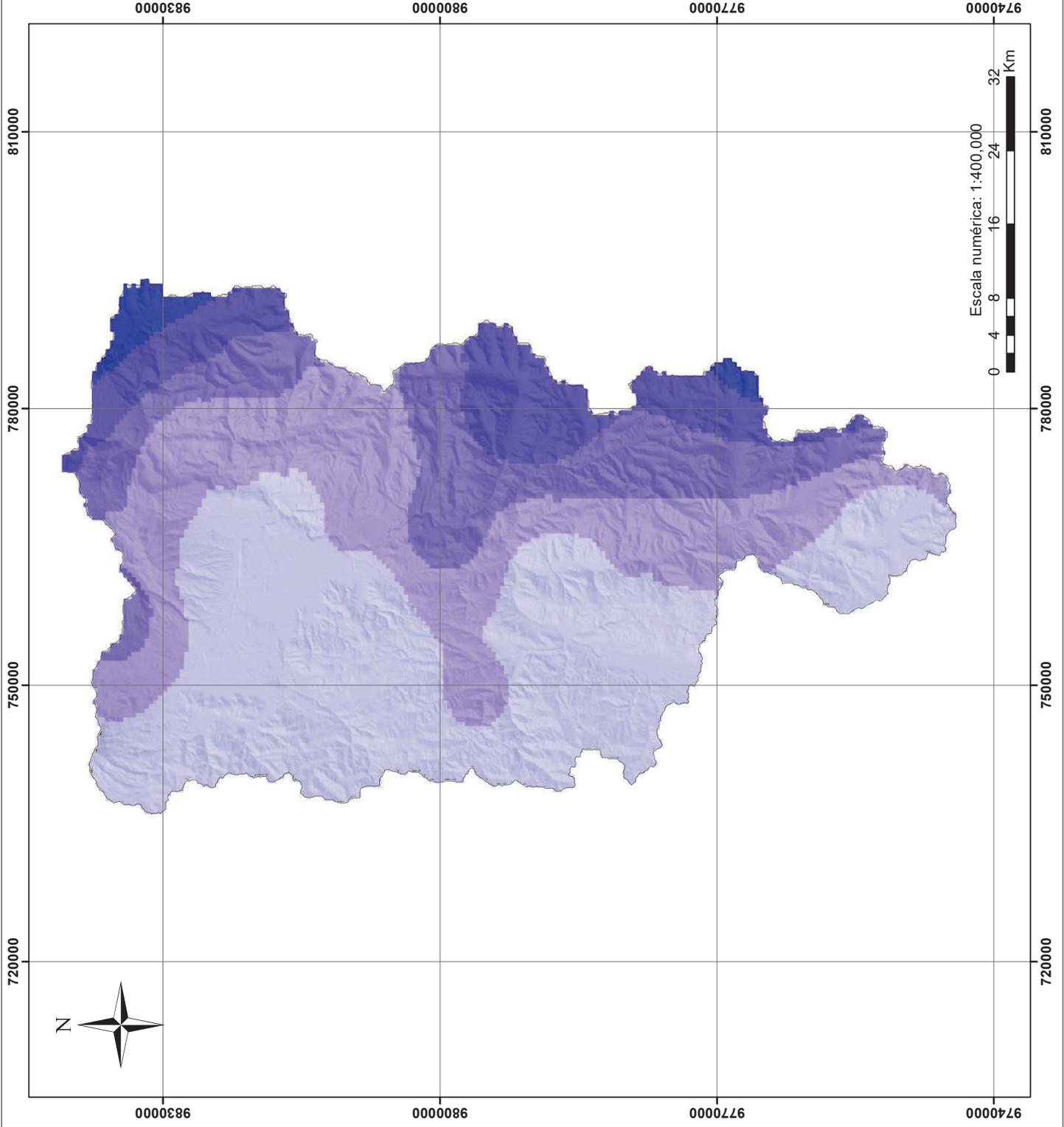
Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:400000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: INAMHI No. Mapa

Formato de impresión: A3

MAPA 23



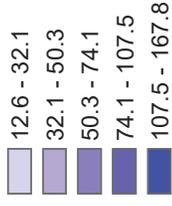
Ubicación en el Ecuador



Leyenda

□ Límite de la cuenca

Precipitación Agosto



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

PRECIPITACIÓN AGOSTO

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

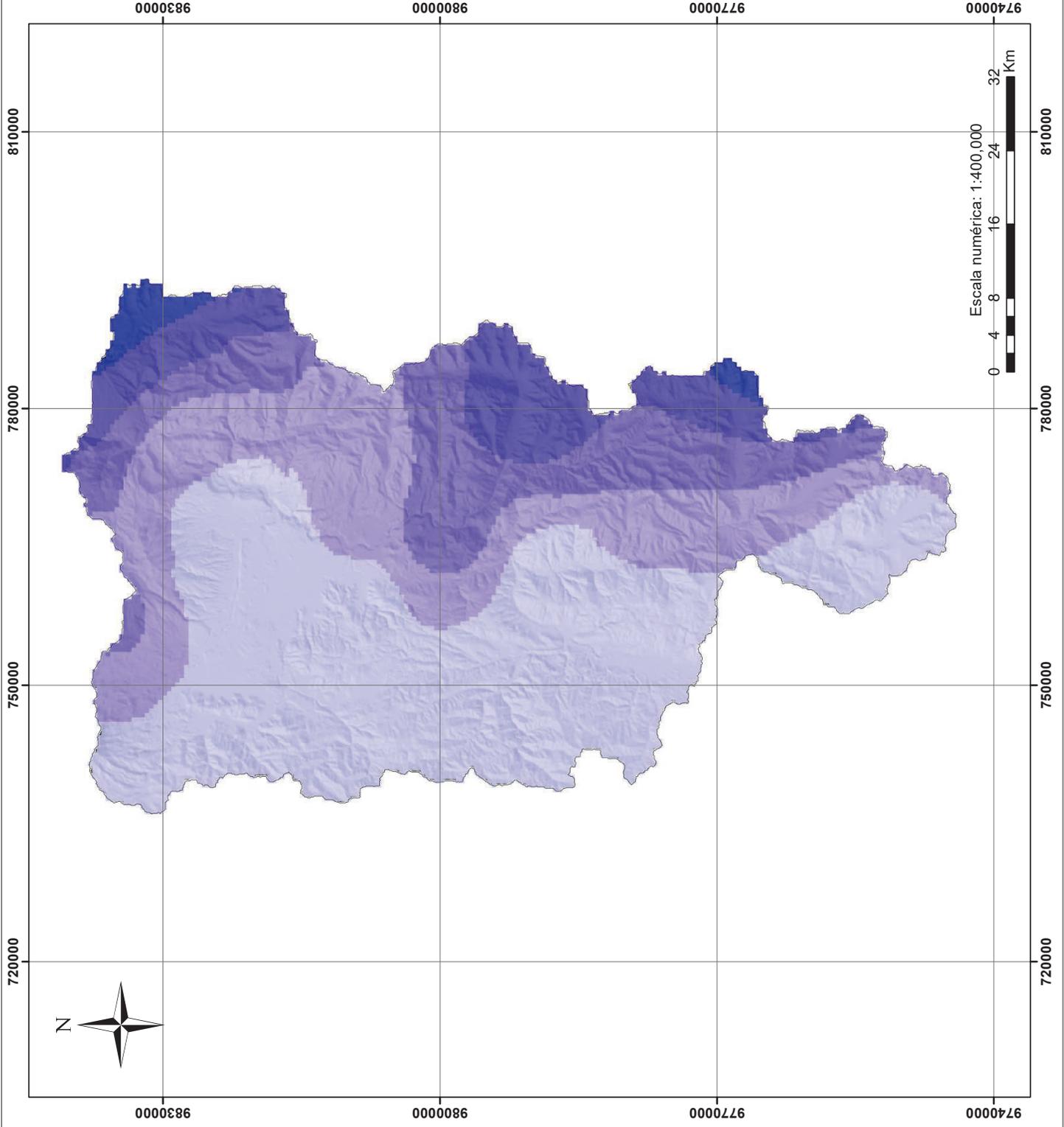
U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:400000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: INAMHI No. Mapa

Formato de impresión: MAPA 24 A3



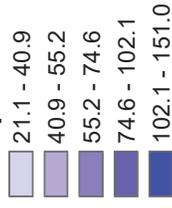
Ubicación en el Ecuador



Leyenda

□ Límite de la cuenca

Precipitación Septiembre



ESCUOLA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

PRECIPITACIÓN SEPTIEMBRE

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

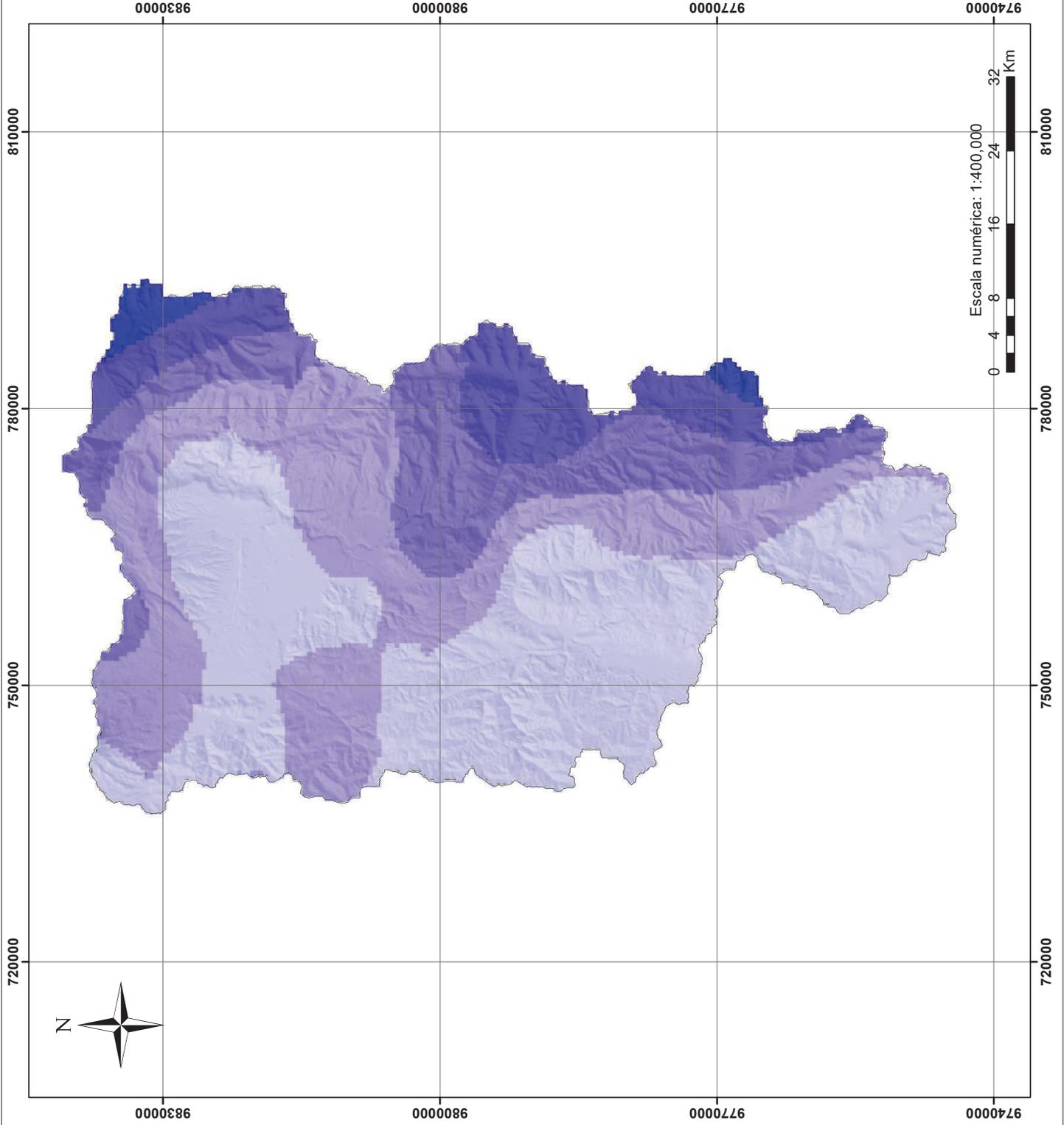
U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:400000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: INAMHI No. Mapa

Formato de impresión: A3 MAPA 25



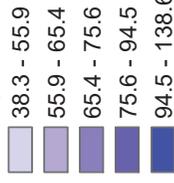
Ubicación en el Ecuador



Leyenda

□ Límite de la cuenca

Precipitación Octubre



 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

PRECIPITACIÓN OCTUBRE

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

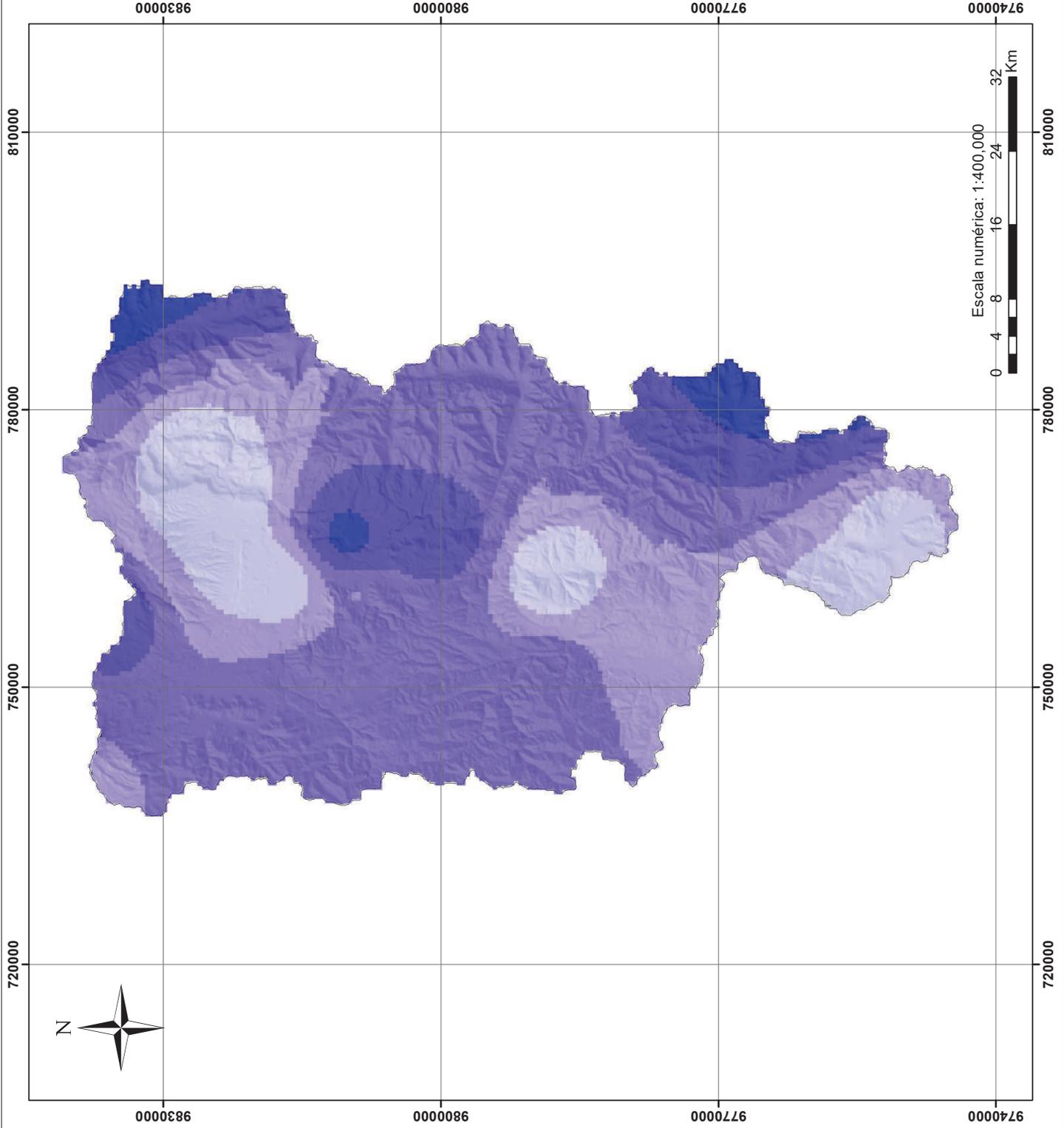
Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:400000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: INAMHI No. Mapa

Formato de impresión: A3

MAPA 26



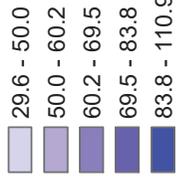
Ubicación en el Ecuador



Leyenda

□ Límite de la cuenca

Precipitación Noviembre



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

PRECIPITACIÓN NOVIEMBRE

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

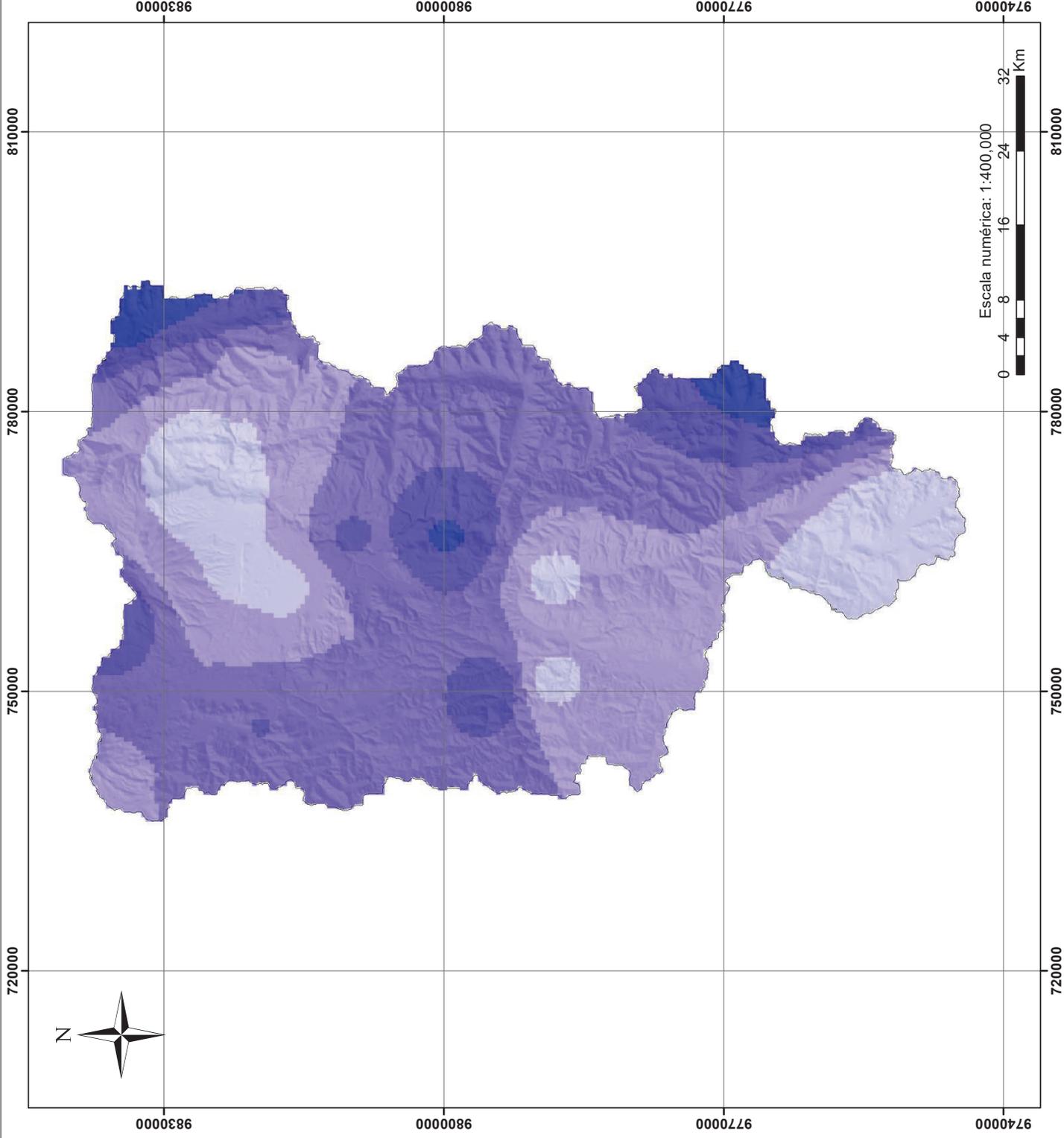
Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:400000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: INAMHI

Formato de impresión: A3

MAPA 27



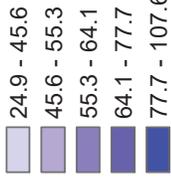
Ubicación en el Ecuador



Leyenda

□ Límite de la cuenca

Precipitación Diciembre



 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

PRECIPITACIÓN DICIEMBRE

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

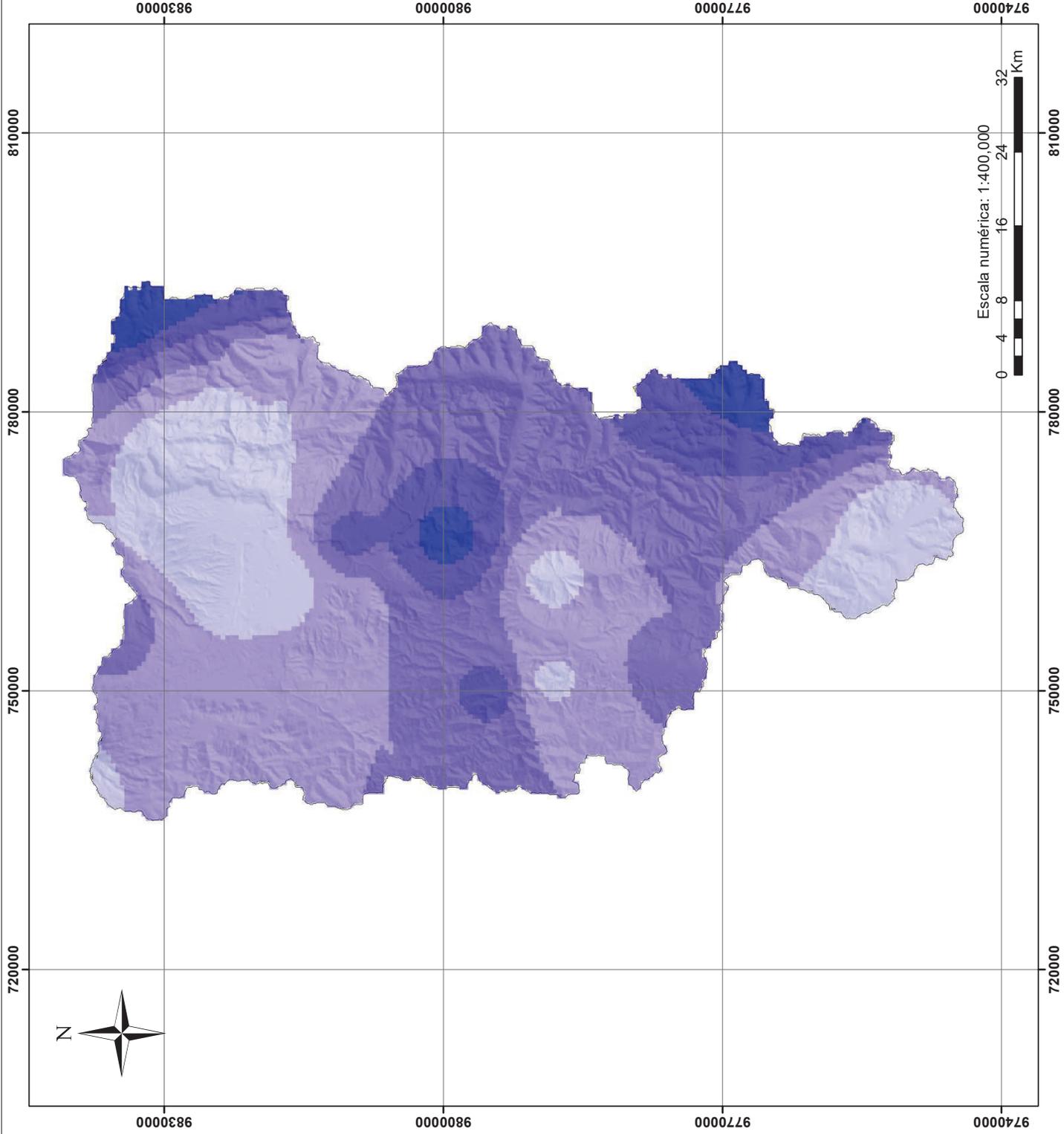
Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:400000 Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: INAMHI

Formato de impresión: A3

MAPA 28

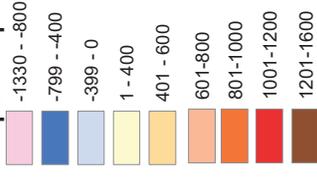


Ubicación en el Ecuador



Leyenda

Evapotranspiración real (mm/año)



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:

U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

Elaborado por: Ana G. Quishpe

Escala temática: 1:1000000

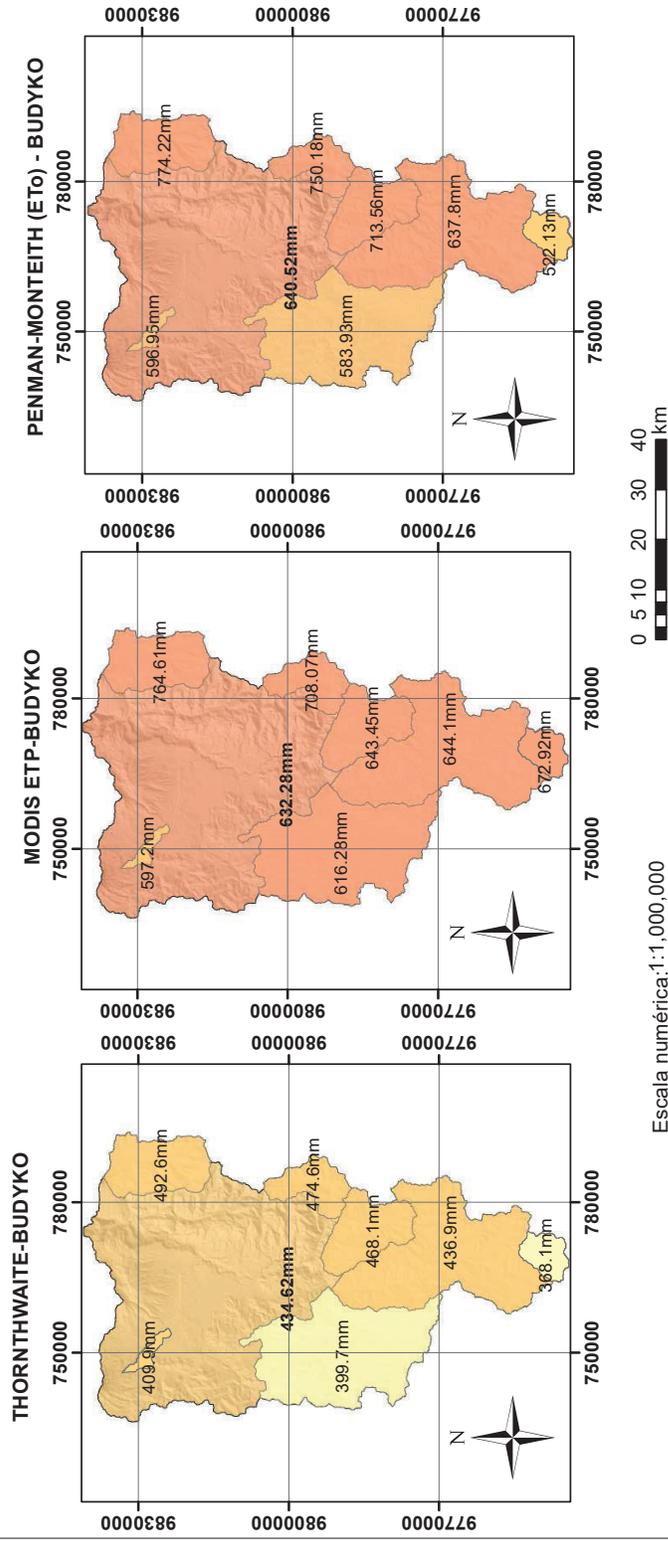
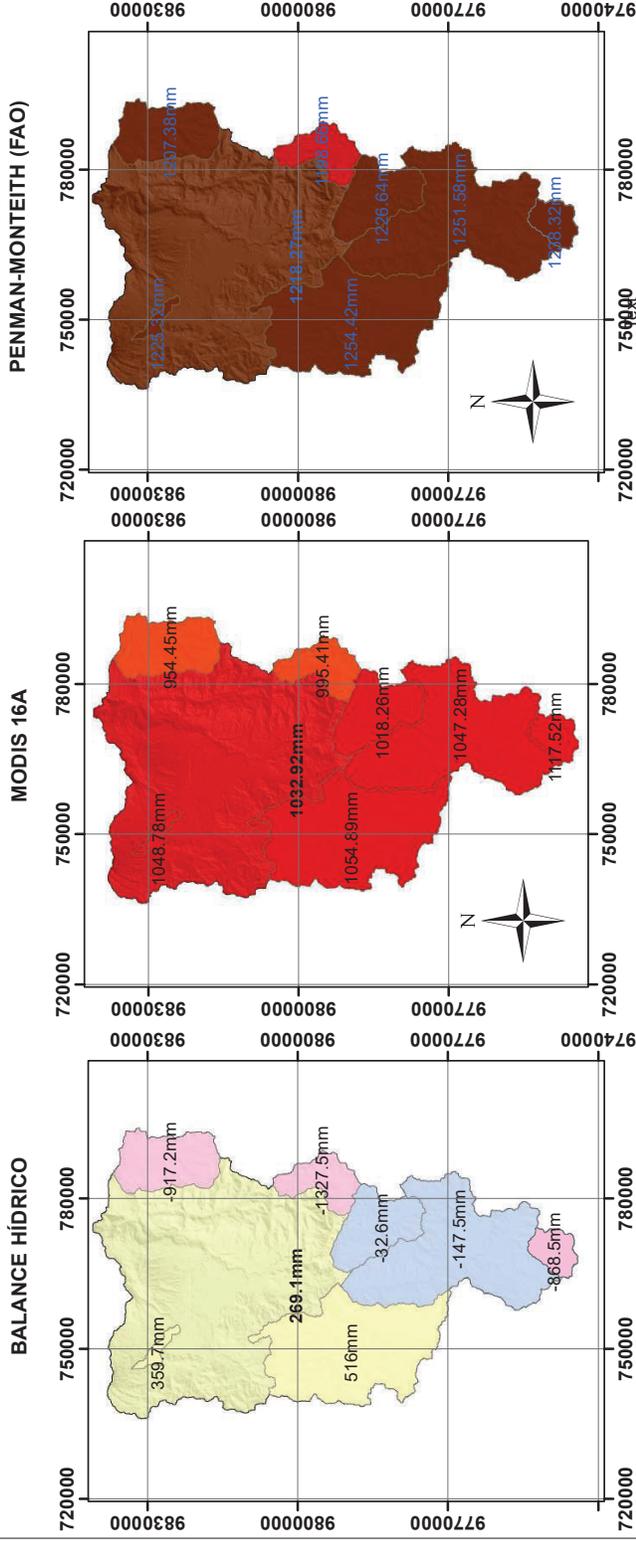
Fecha: Marzo 2017

Fuente Cartografía Base: IGM

No. Mapa

Formato de impresión: A3

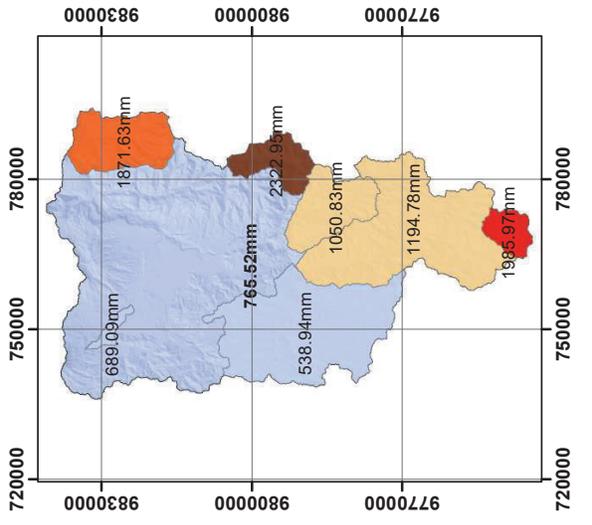
MAPA 29



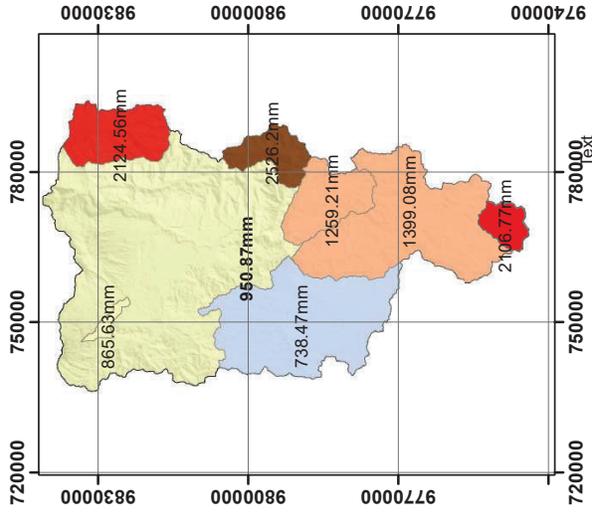
Escala numérica: 1:1,000,000



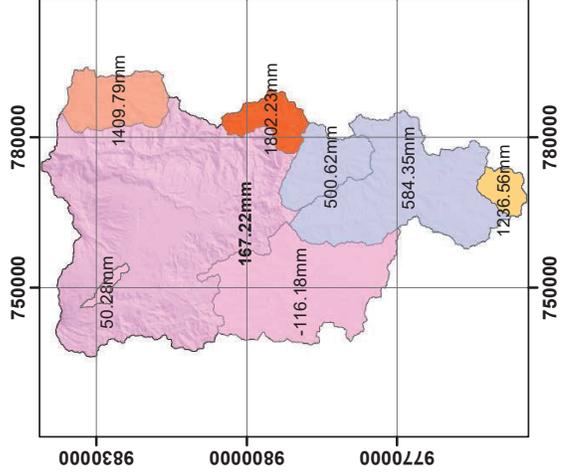
MODIS 16A



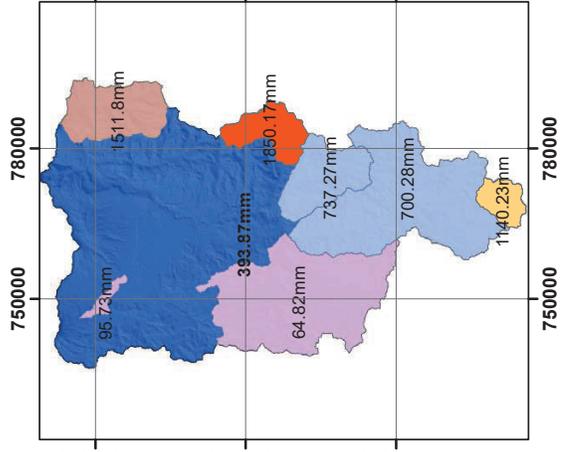
PENMAN-MONTEITH (FAO)



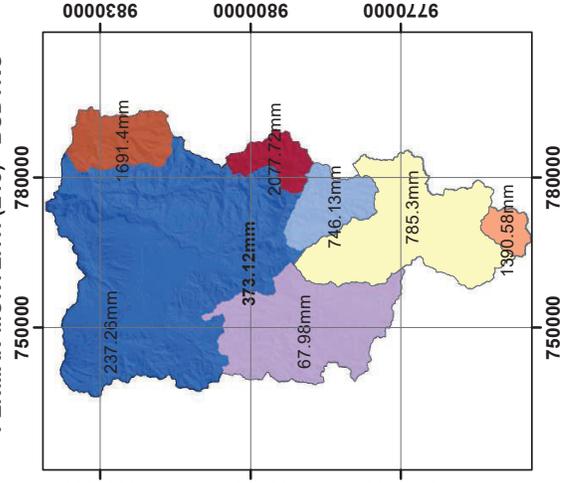
THORNTHWAITE-BUDYKO



MODIS ETP-BUDYKO



PENMAN-MONTEITH (ETO) - BUDYKO



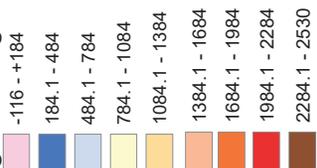
Escala numérica: 1:1,000,000

Ubicación en el Ecuador



Leyenda

Ingreso de agua (mm/año)



ESCUOLA POLITÉCNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

INGRESO DE AGUA NECESARIO PARA
EQUILIBRAR EL BALANCE HÍDRICO

Proyecto de titulación:

Caracterización hidrometeorológica y estimación del
balance hídrico en la cuenca del Río Chambo

Proyección:
U.T.M. Elipsoide Internacional Datum Horizontal
WGS84 (World Geodesic System) Zona 17S

Elaborado por: Ana G. Quishpe

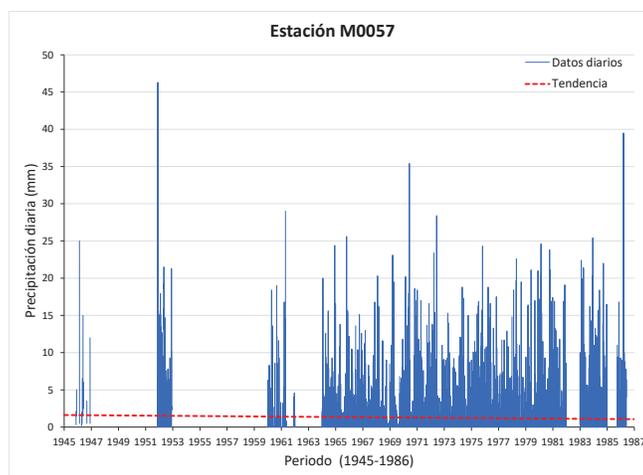
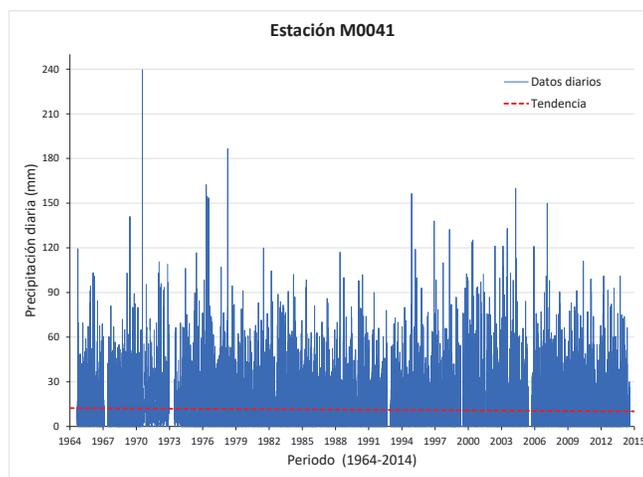
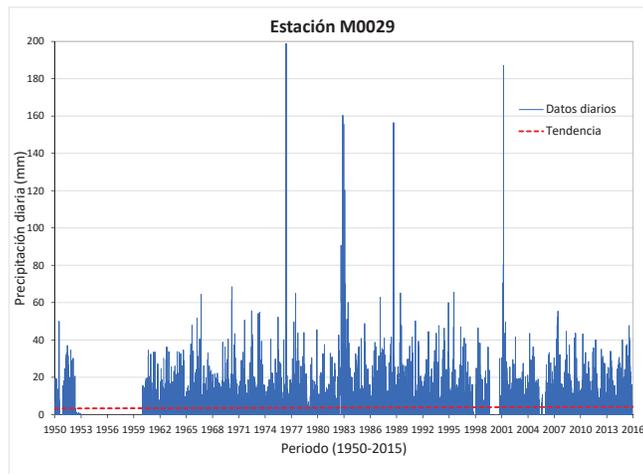
Escala temática: 1:1000000 Fecha: Marzo 2017

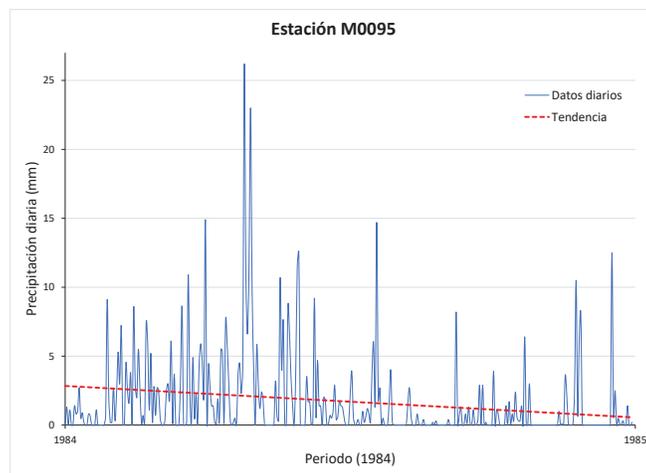
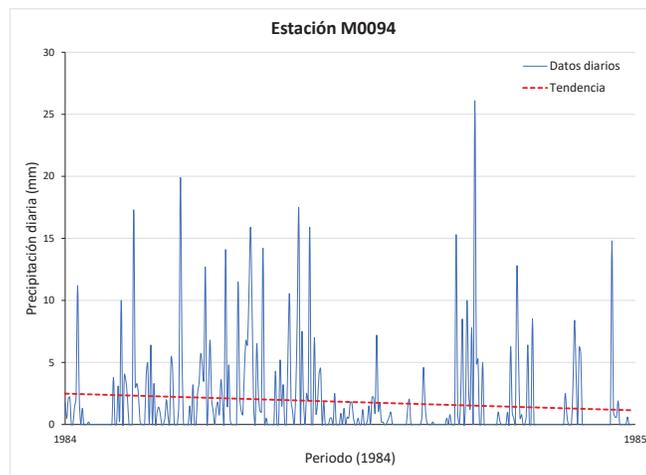
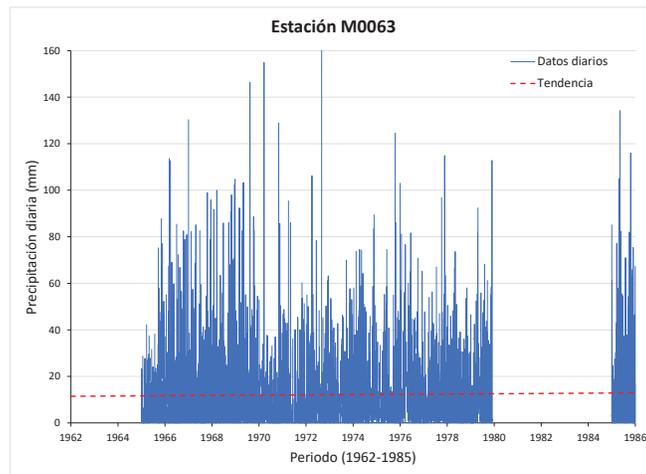
Fuente Cartografía Base: IGM No. Mapa

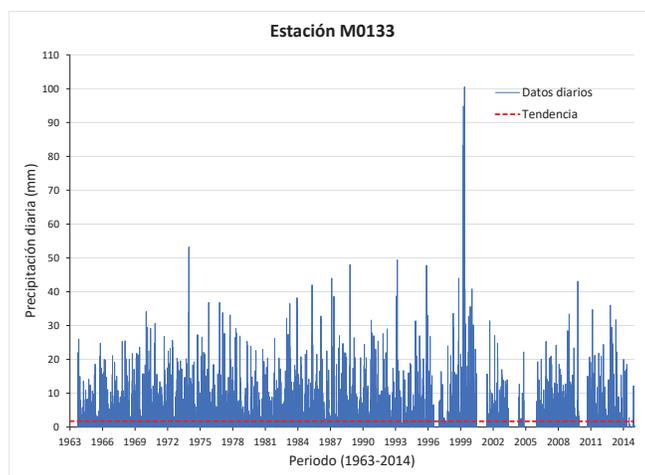
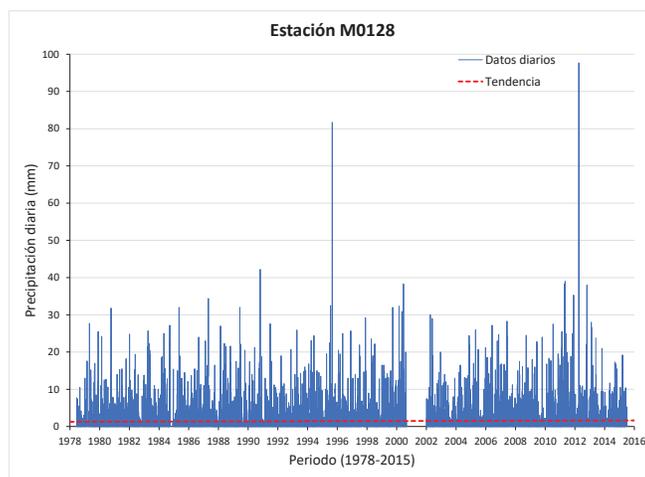
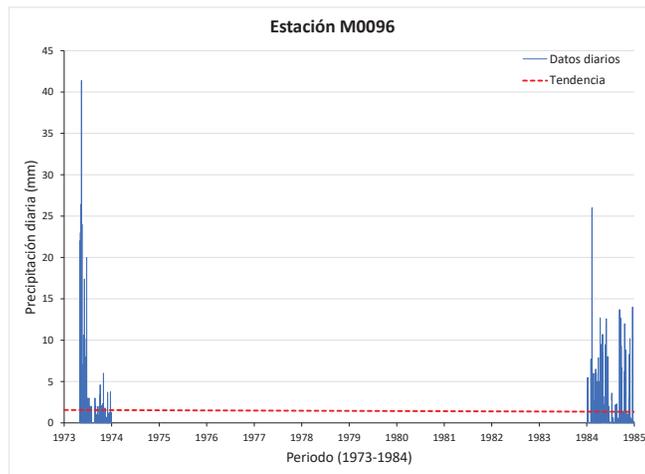
Formato de impresión: A3 **MAPA 30**

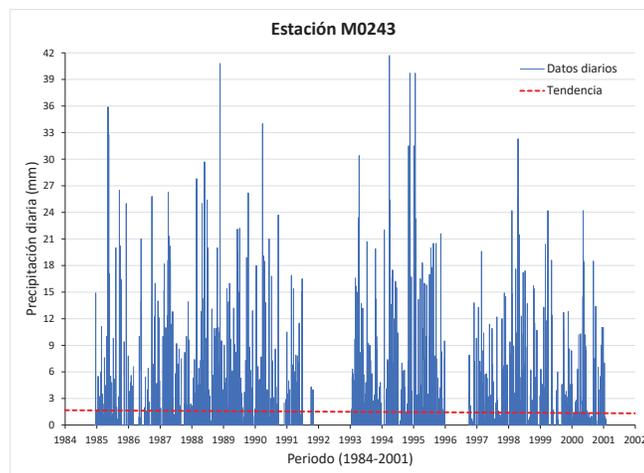
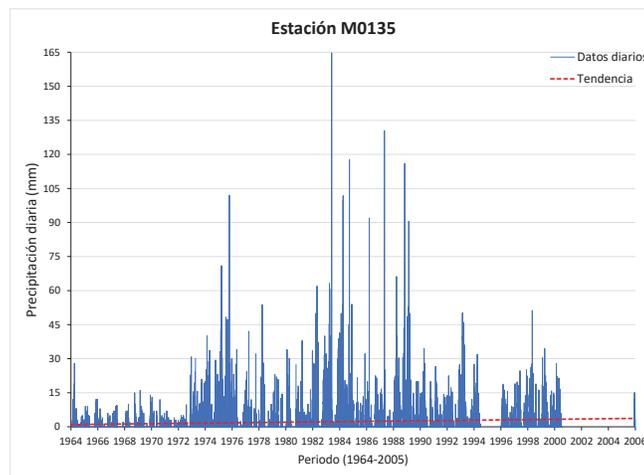
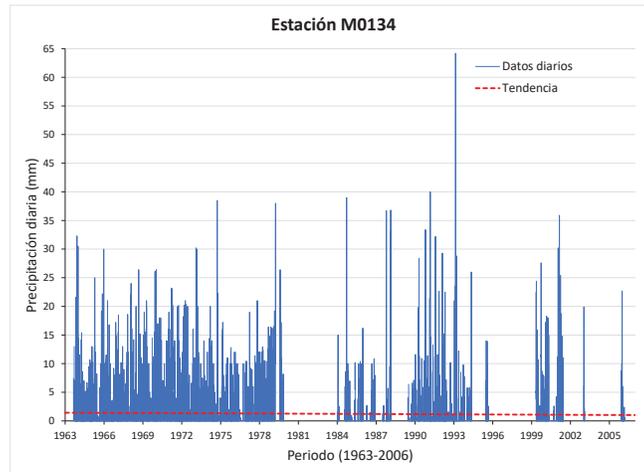
ANEXO 2

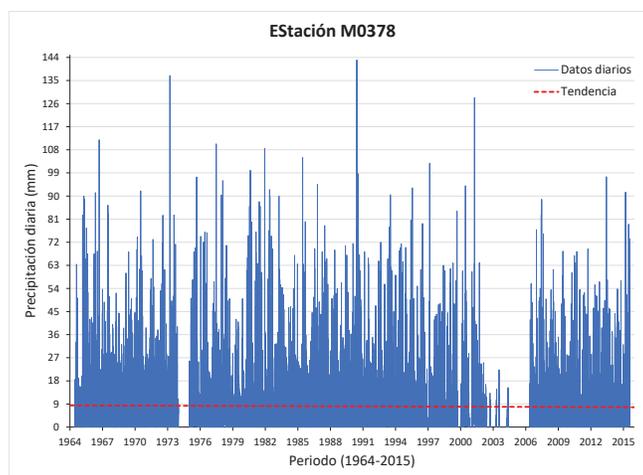
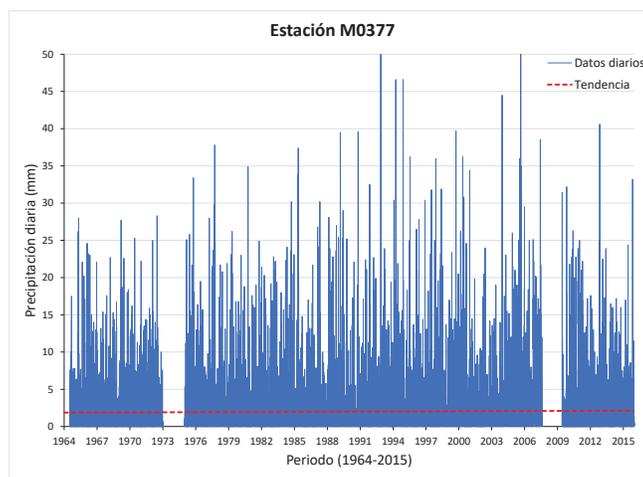
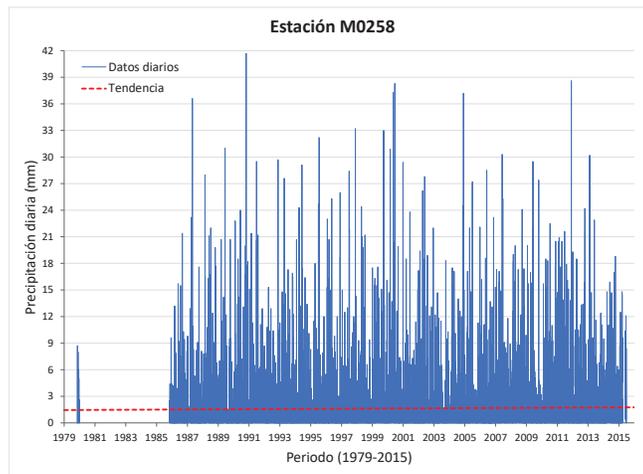
Precipitación media diaria

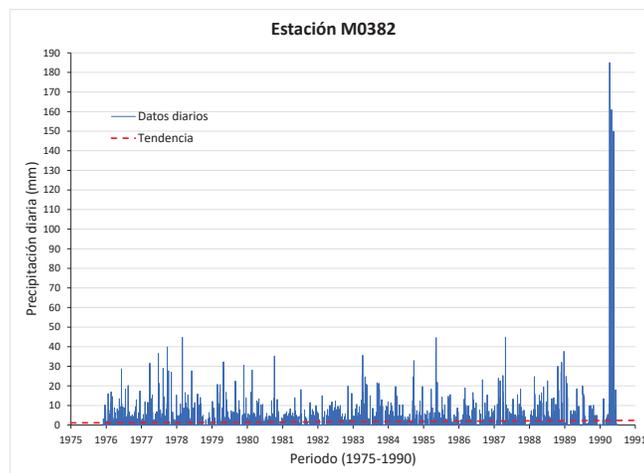
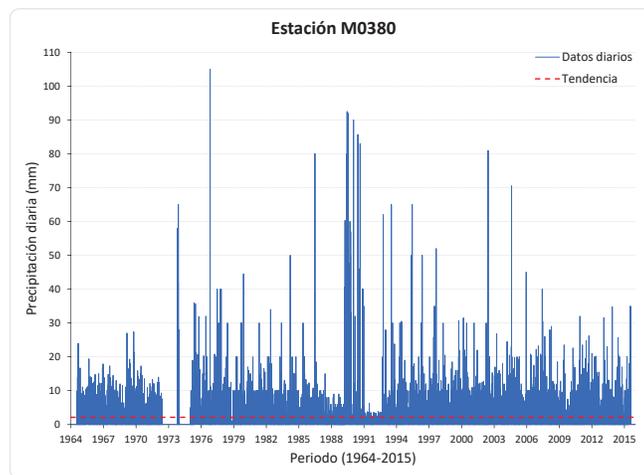
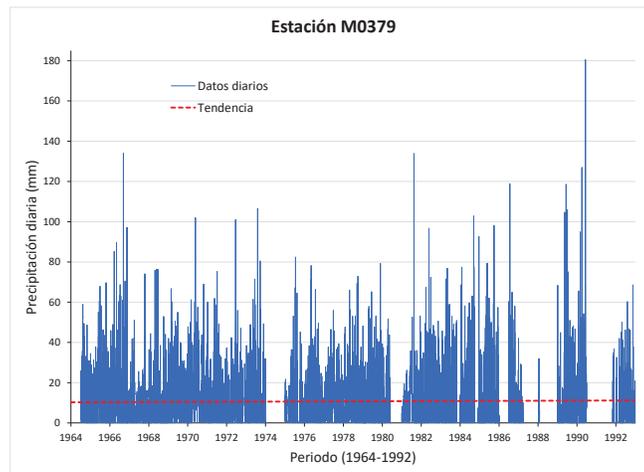


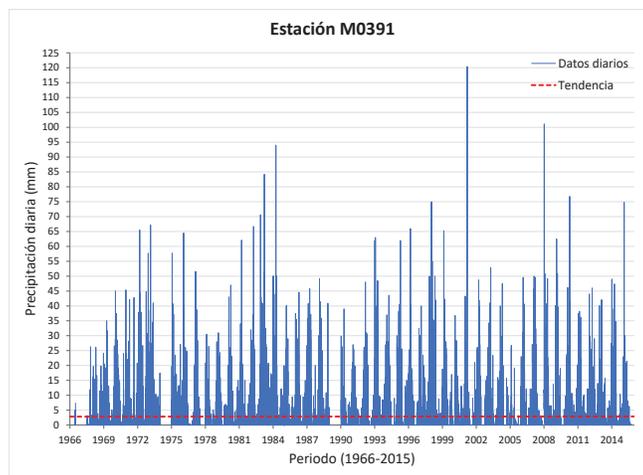
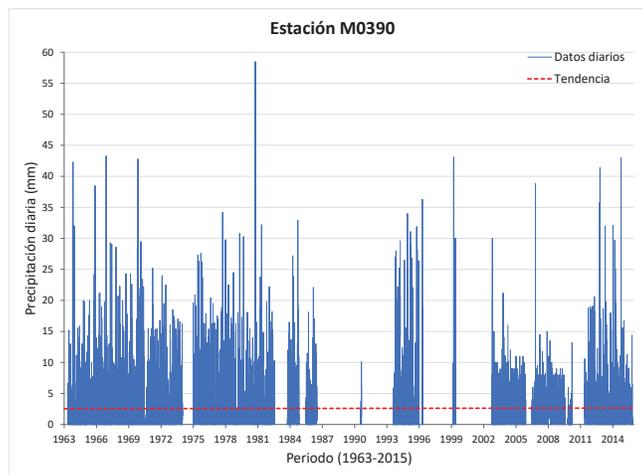
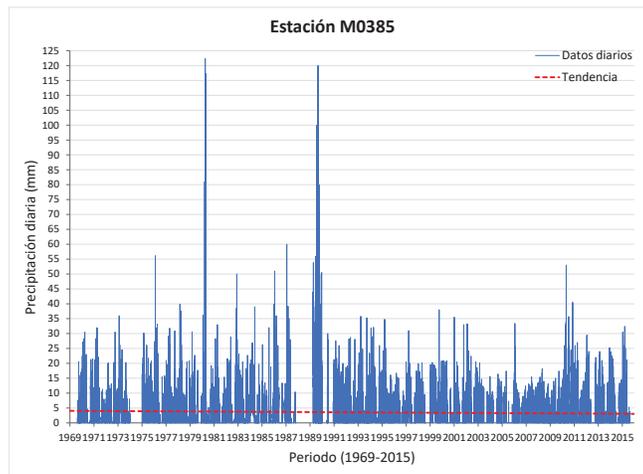


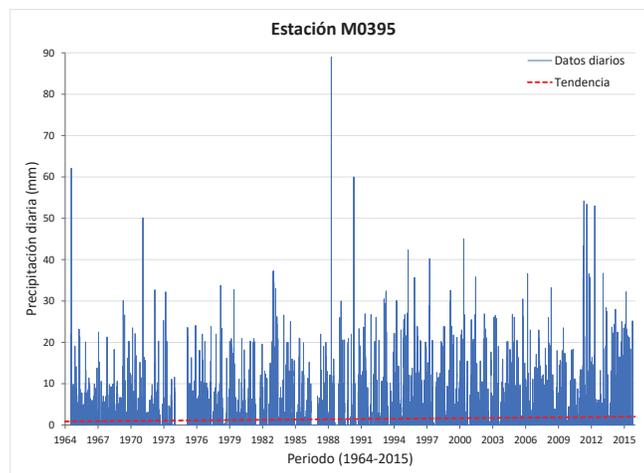
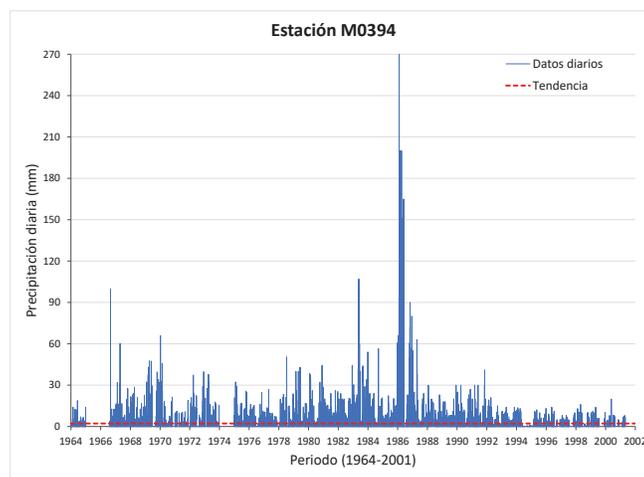
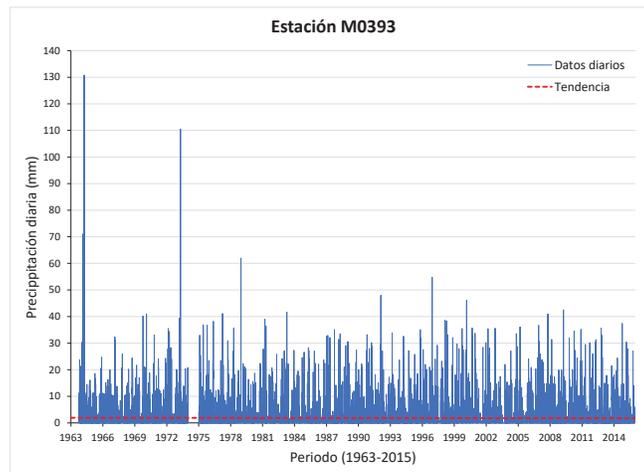


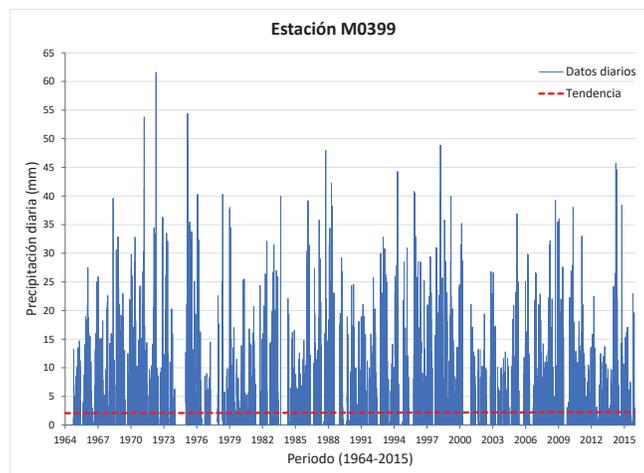
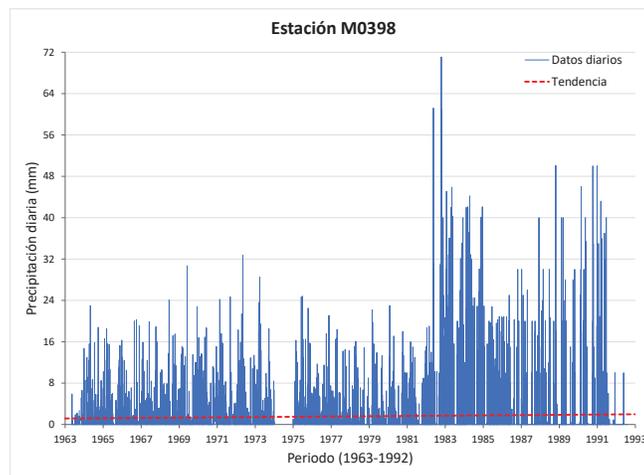
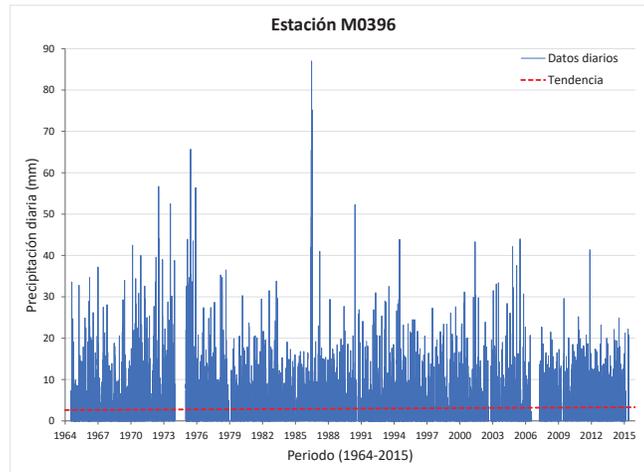


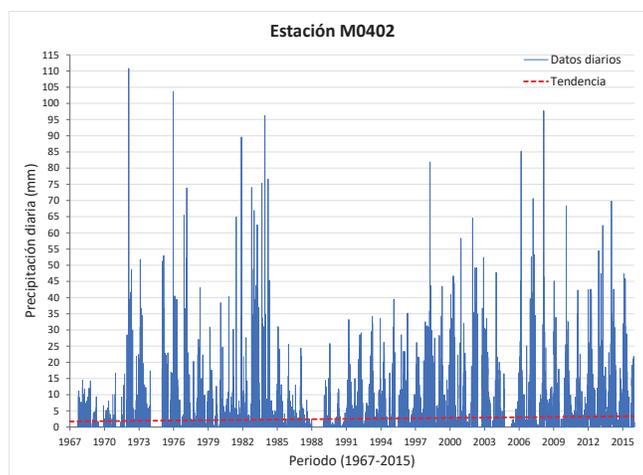
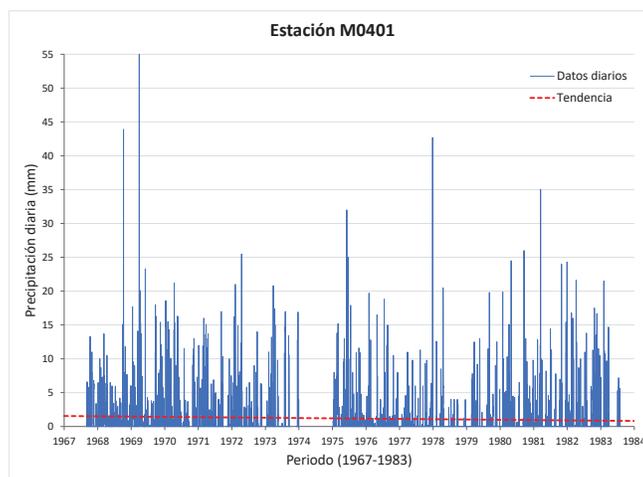
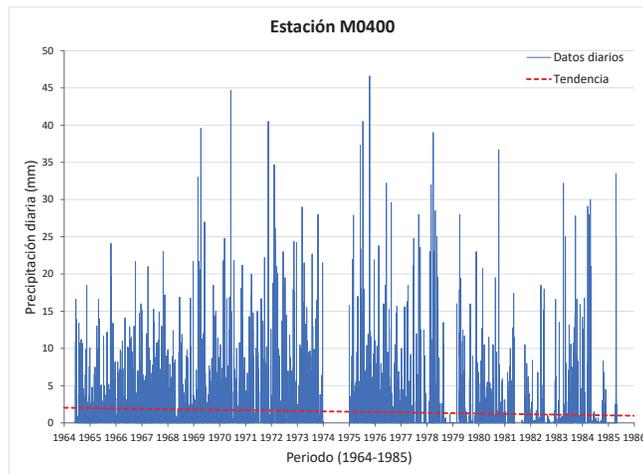


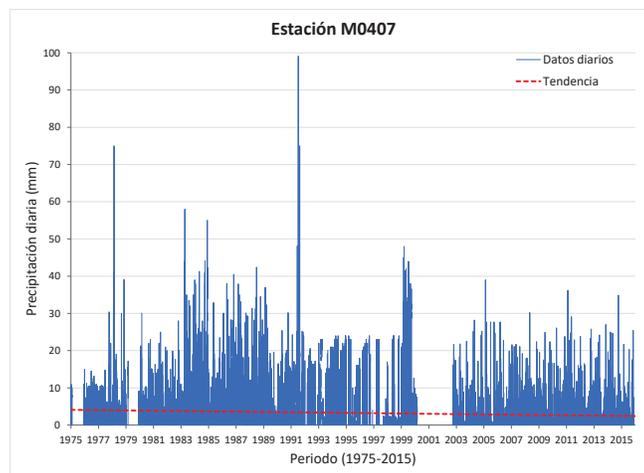
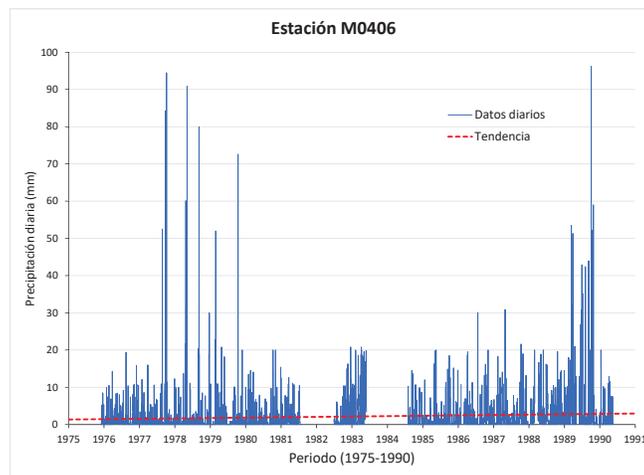
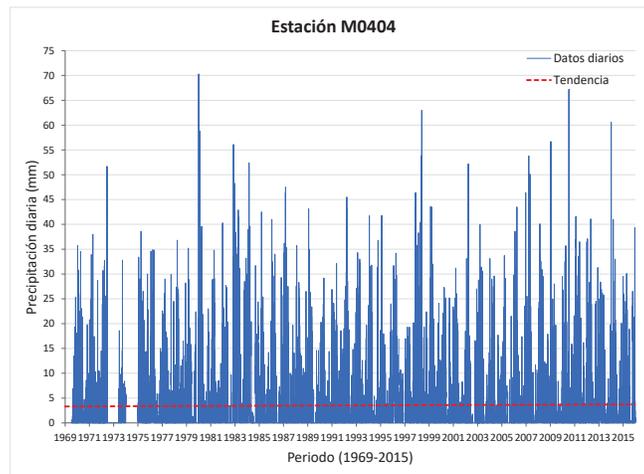


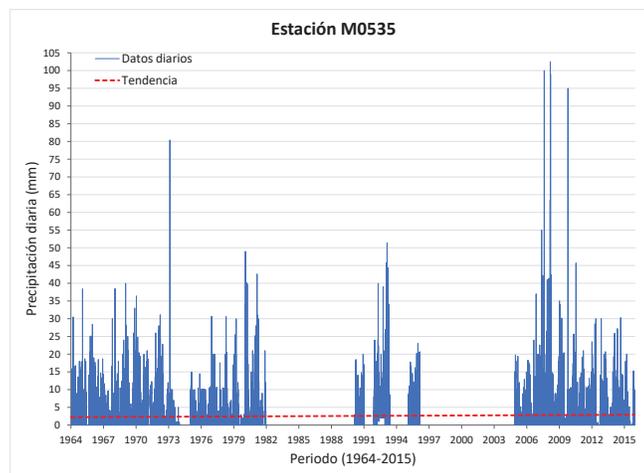
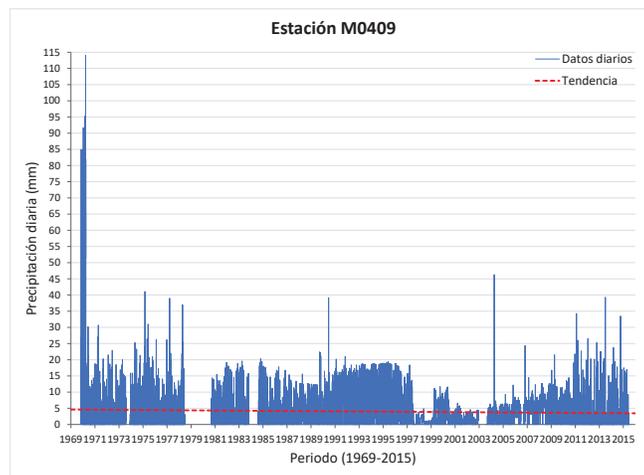
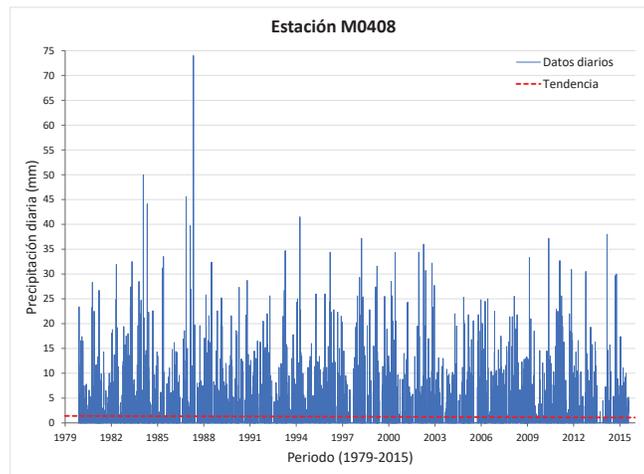


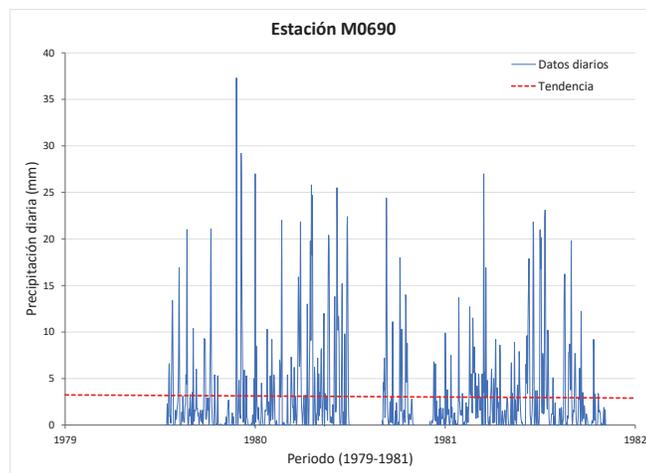
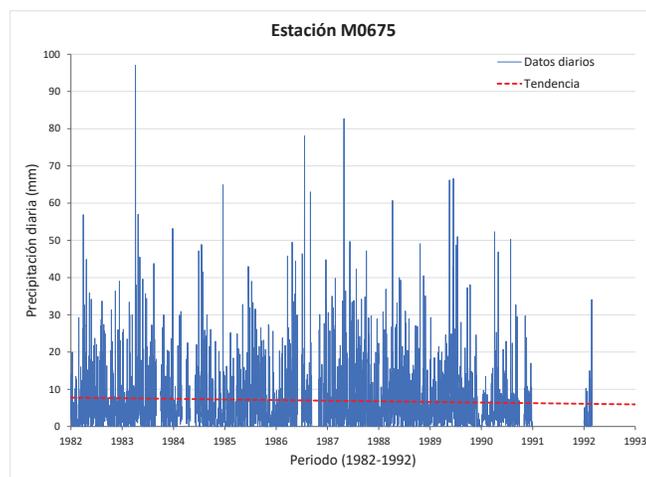
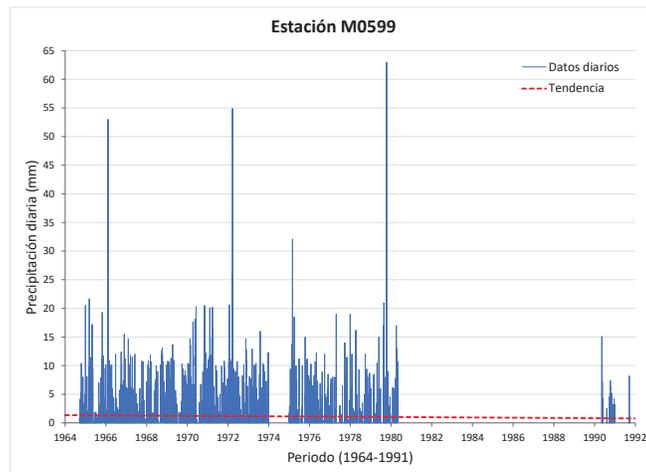


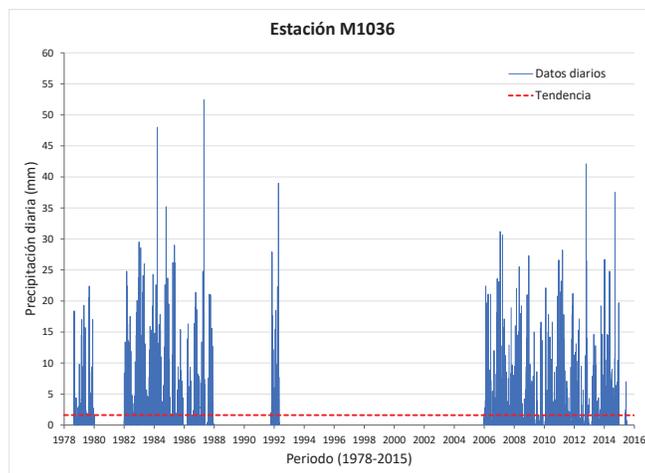
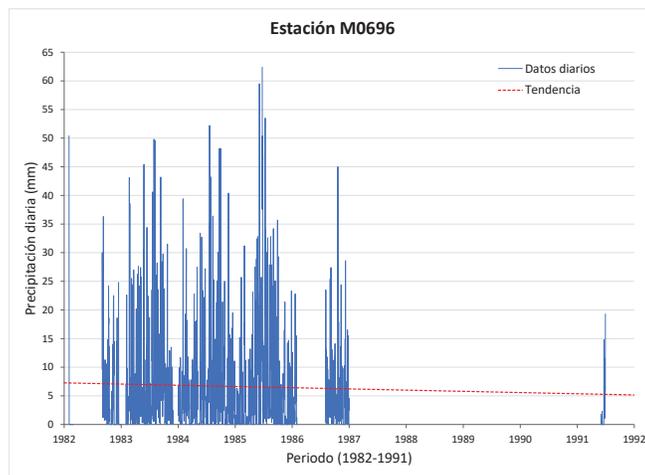
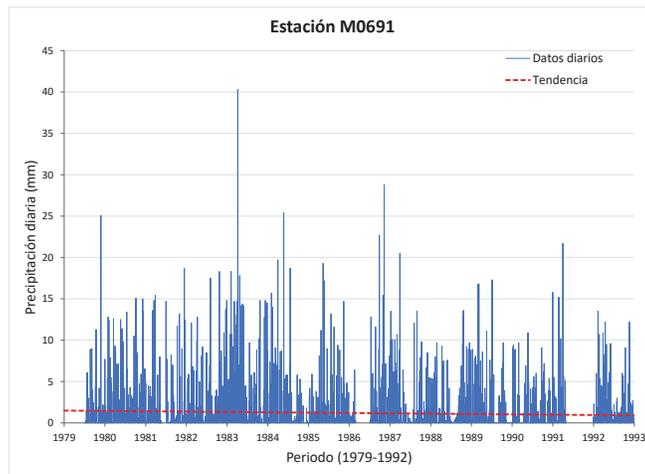


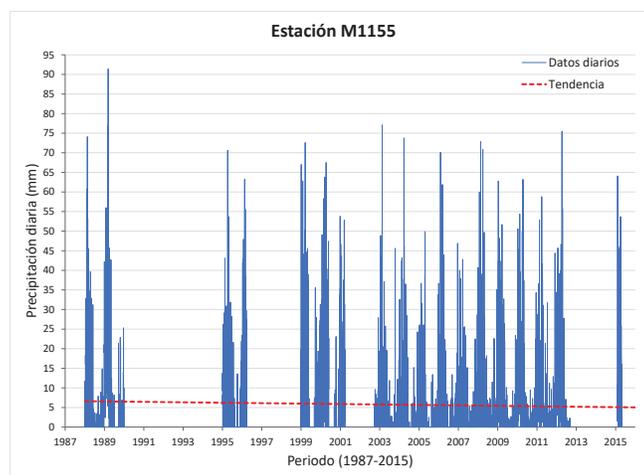
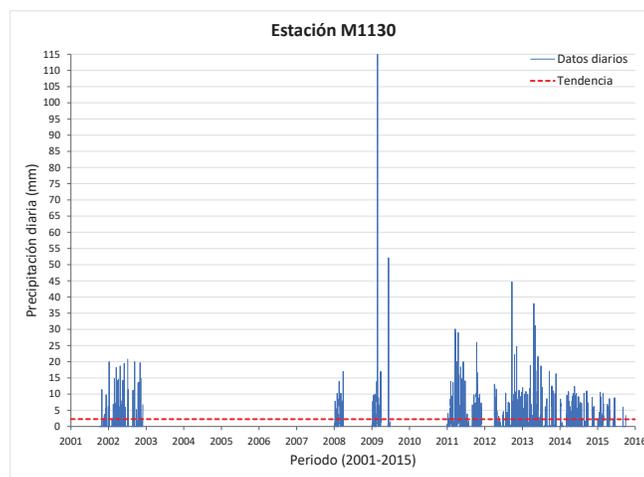
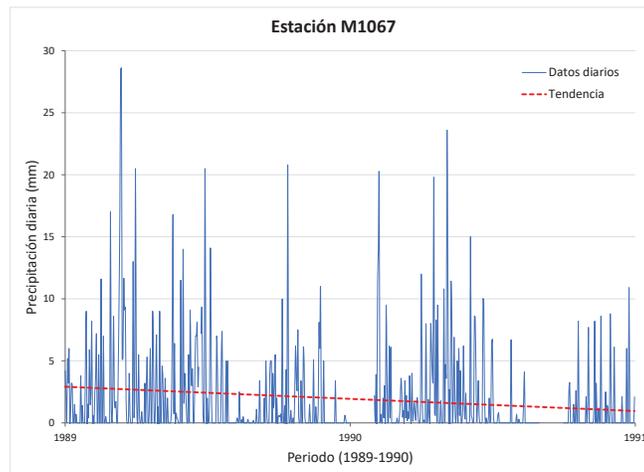


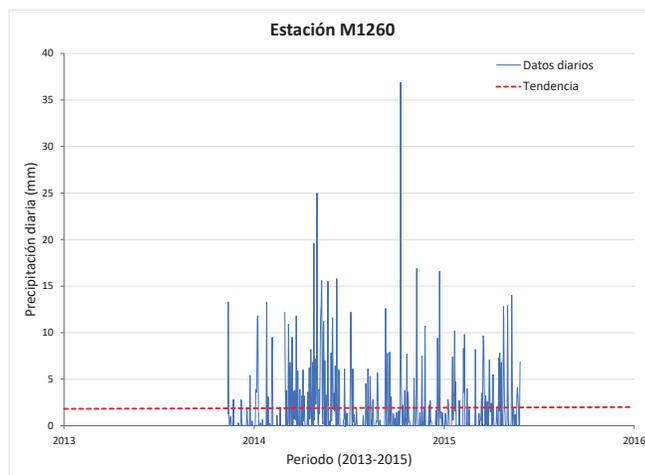
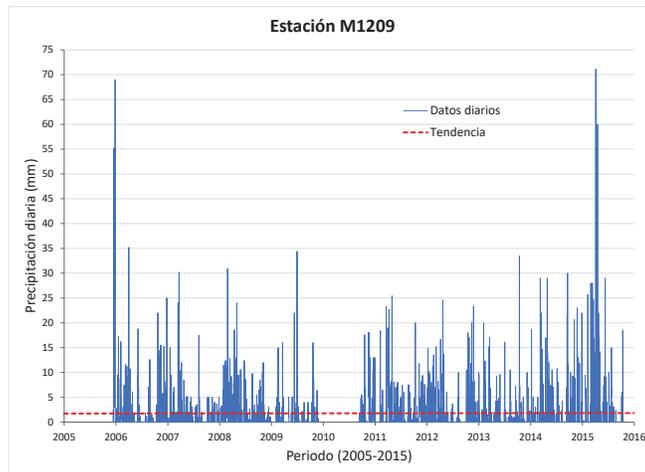






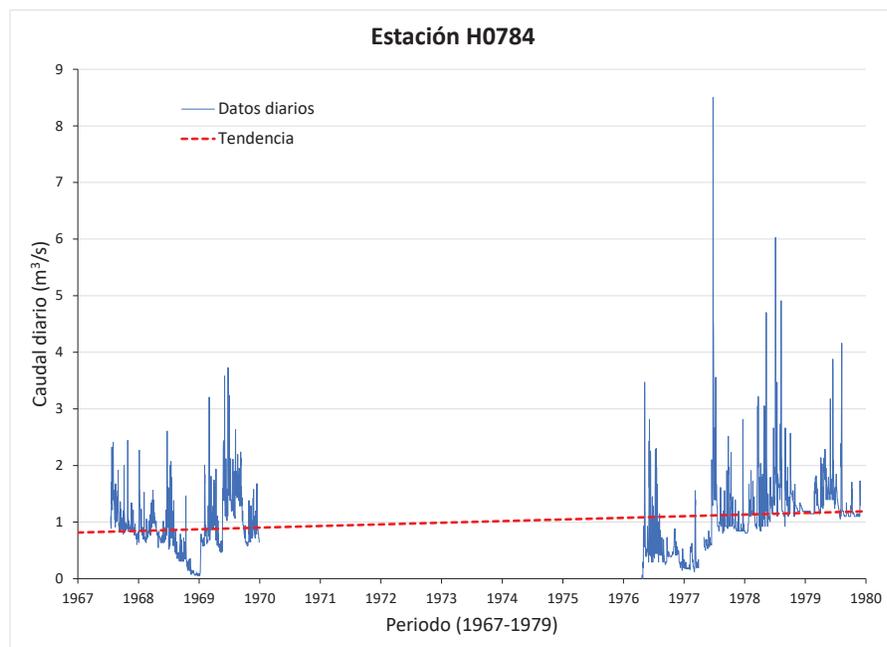
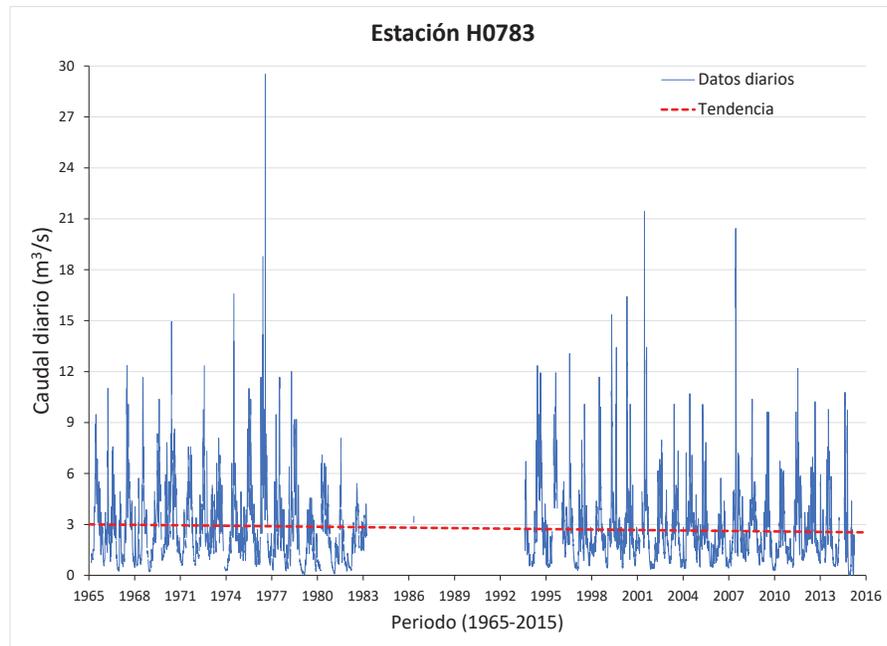


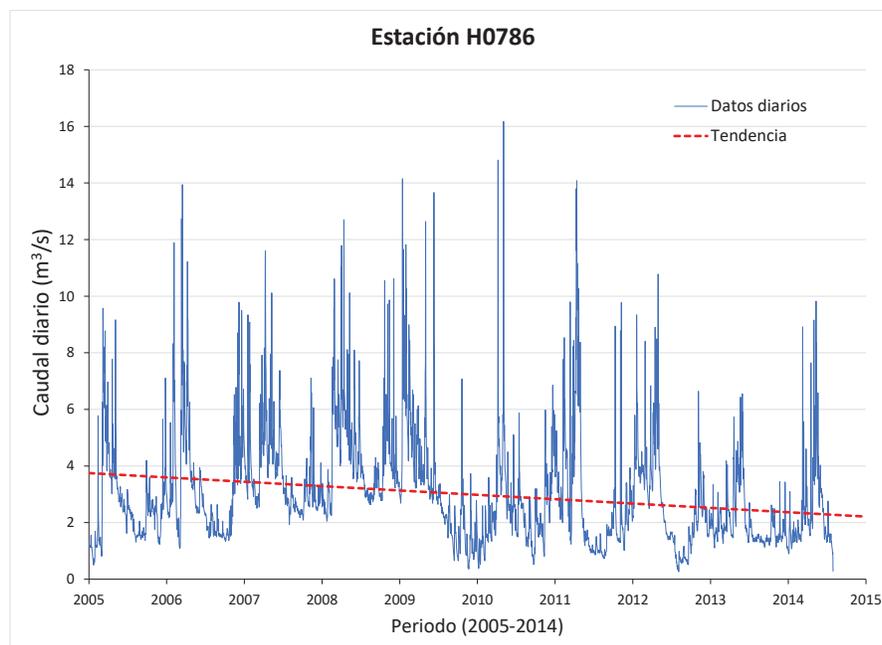
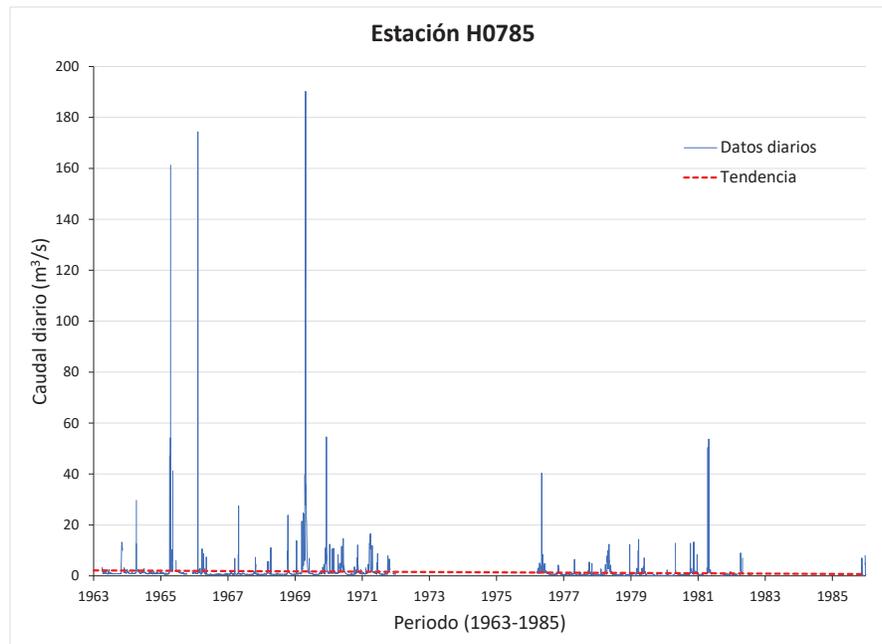


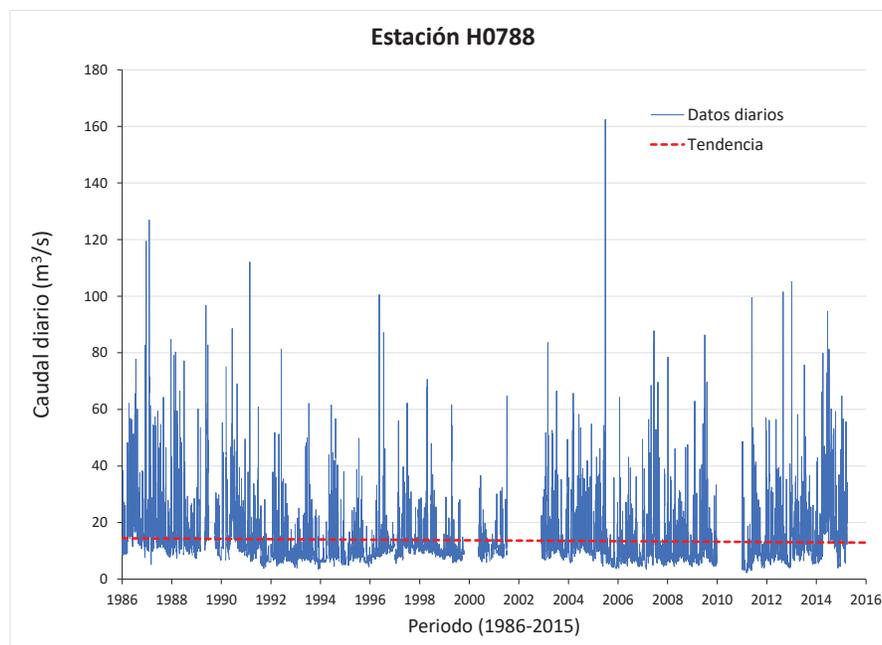
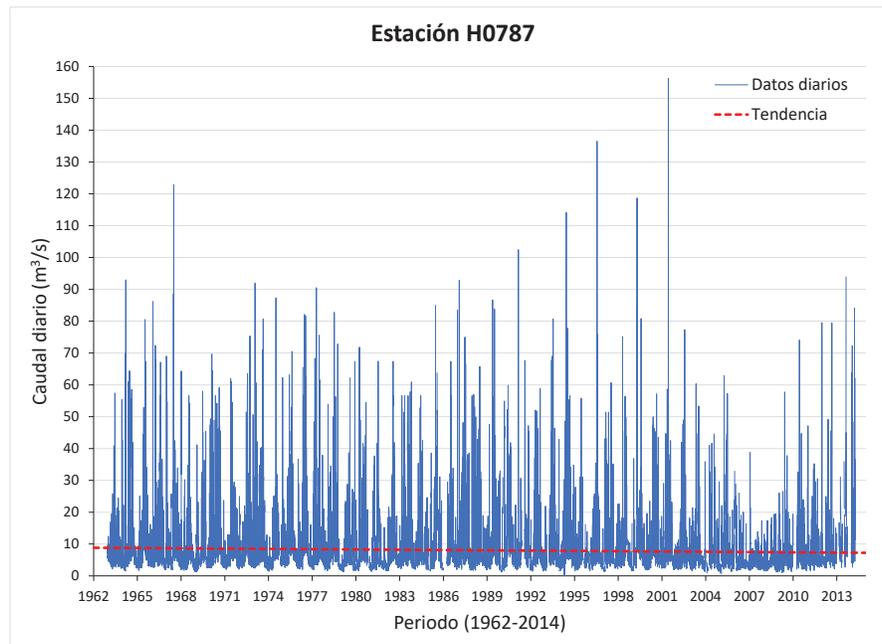


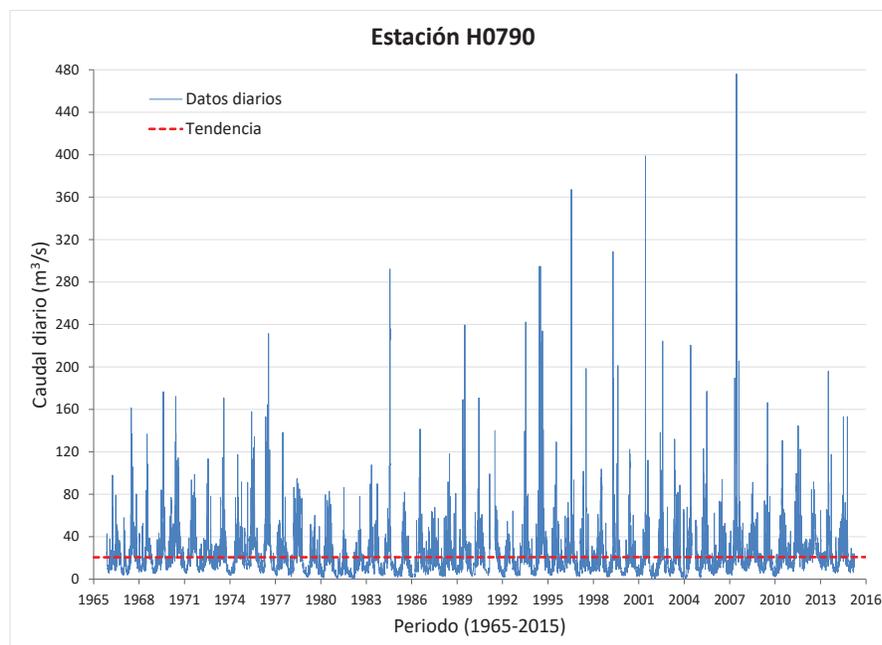
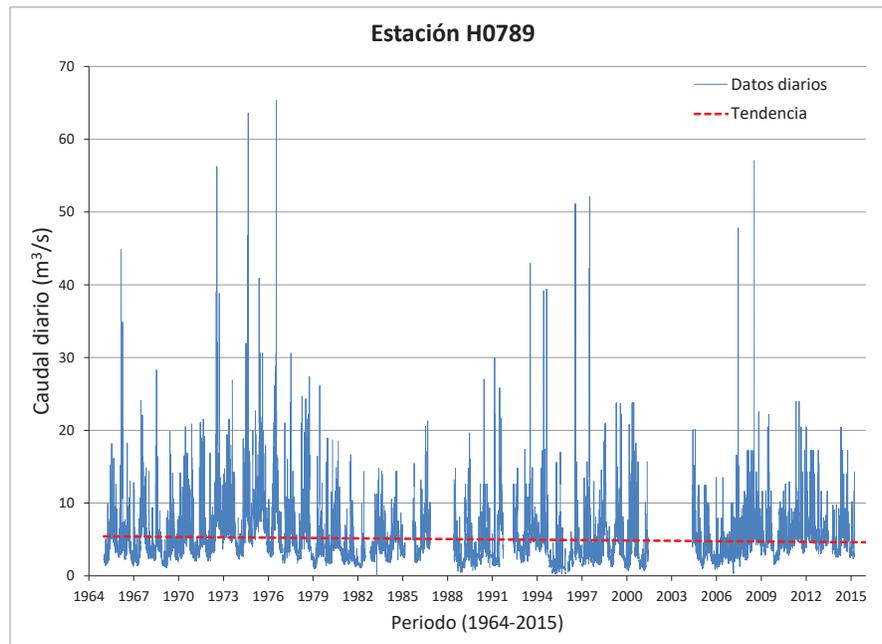
ANEXO 3

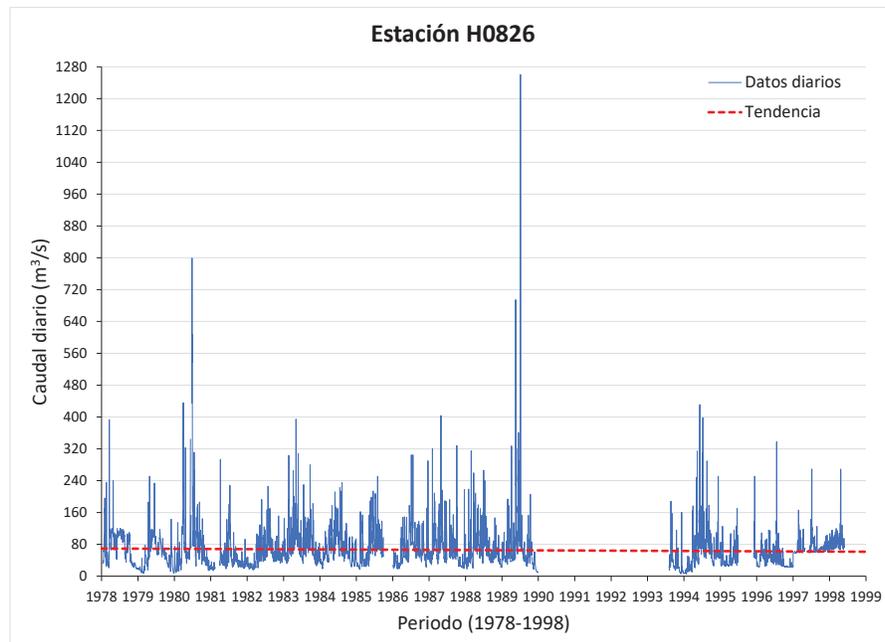
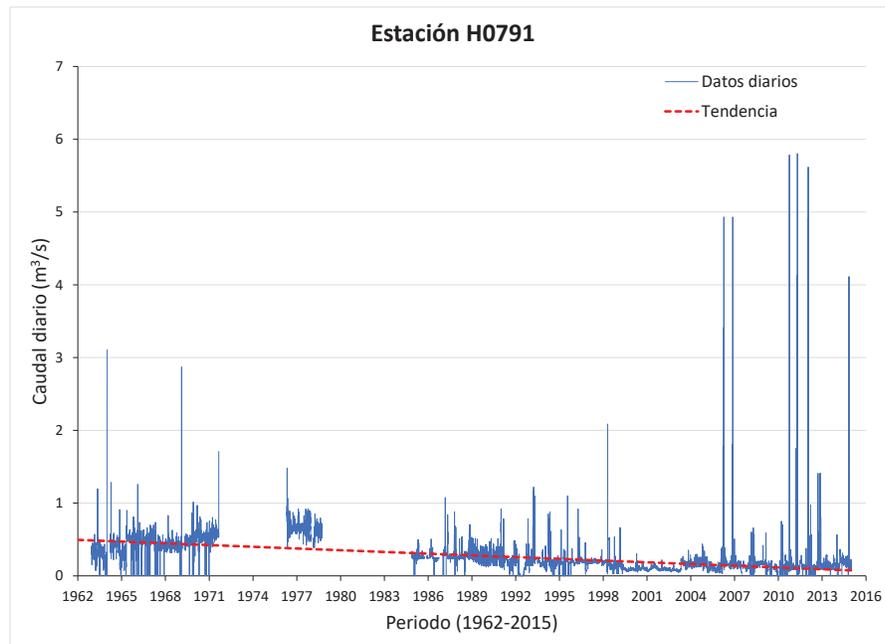
Caudal líquido medio diario





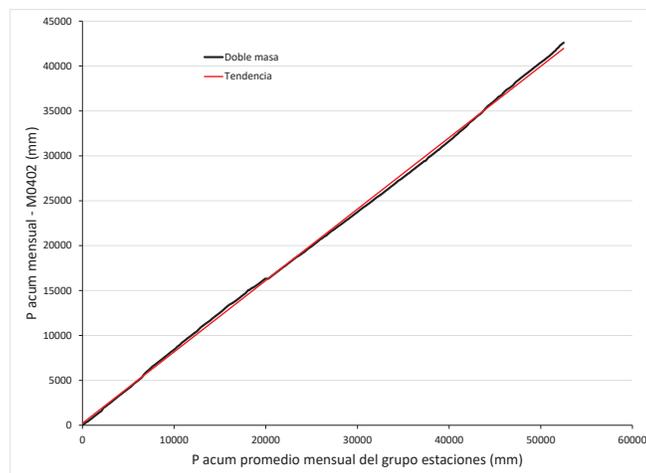
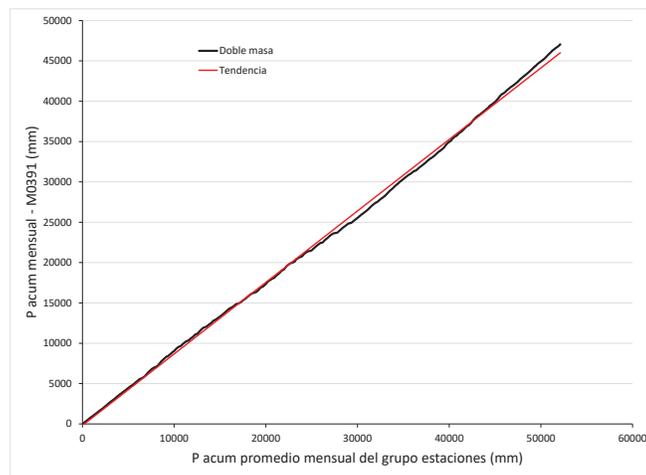
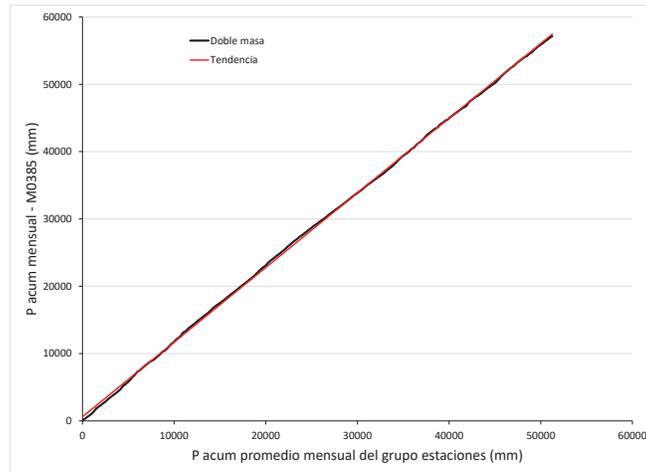


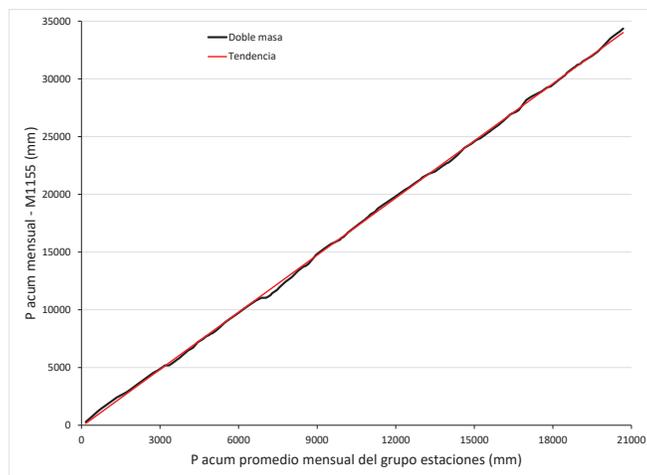
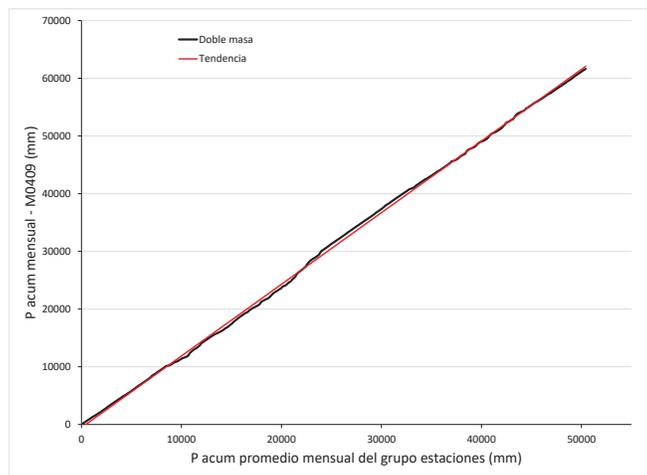
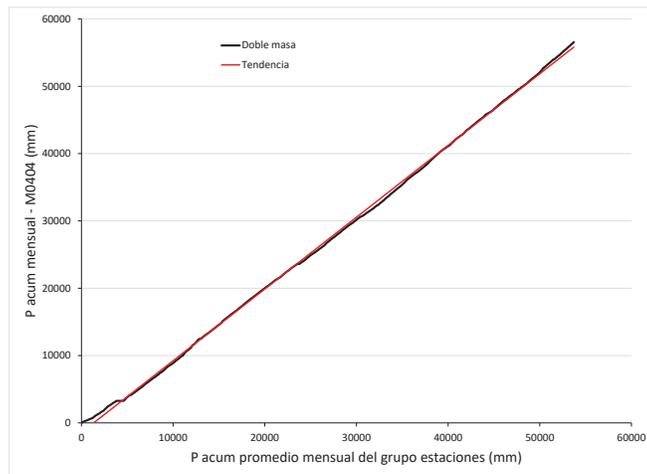


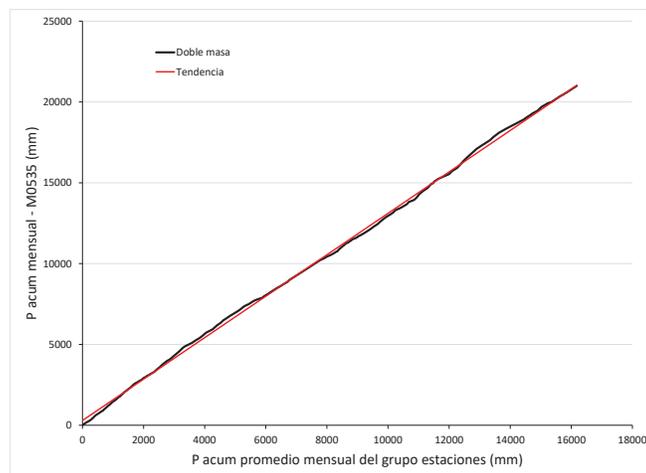
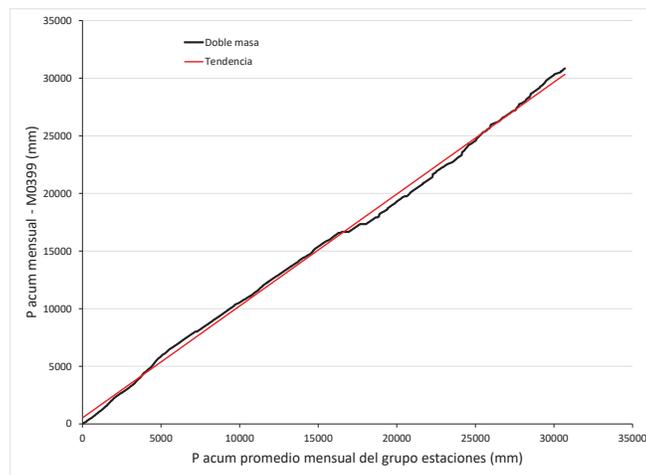
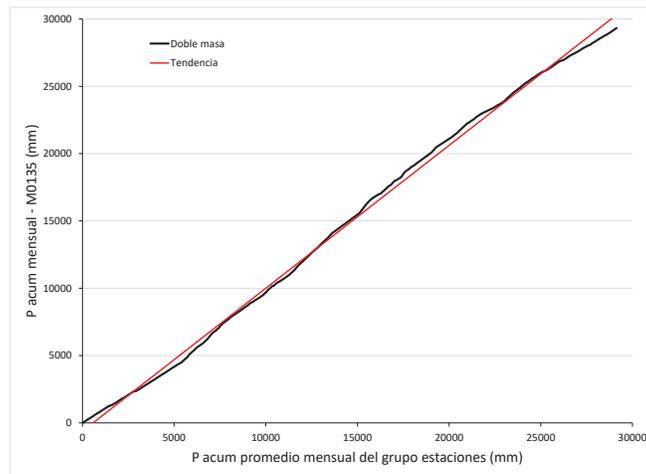


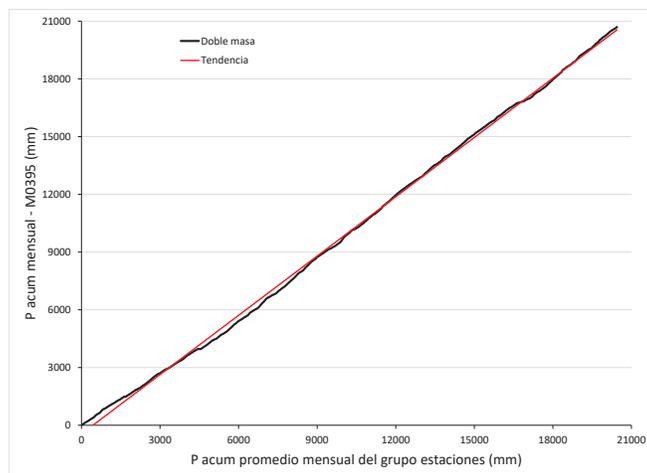
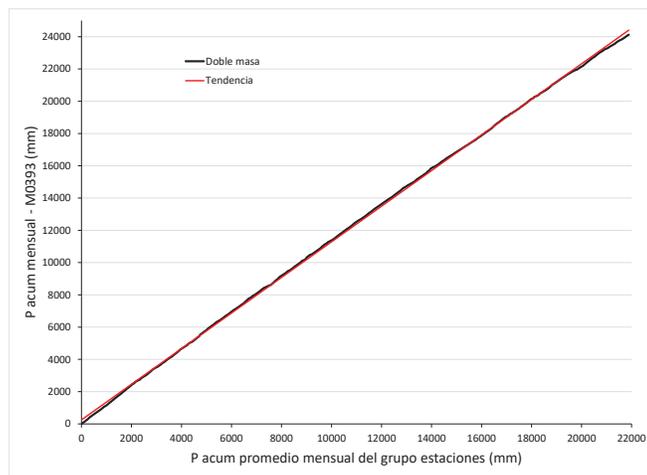
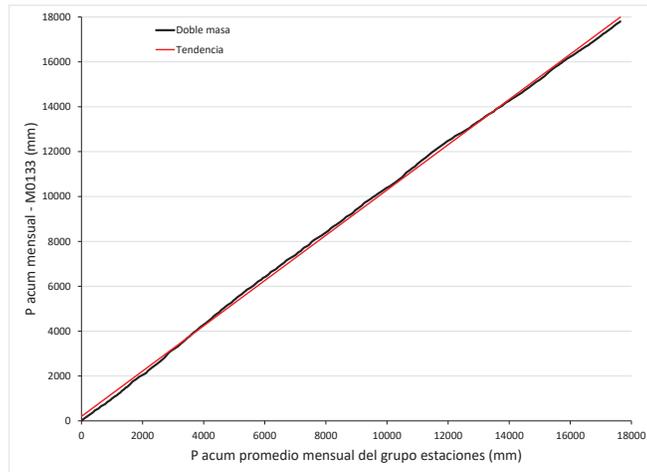
ANEXO 4

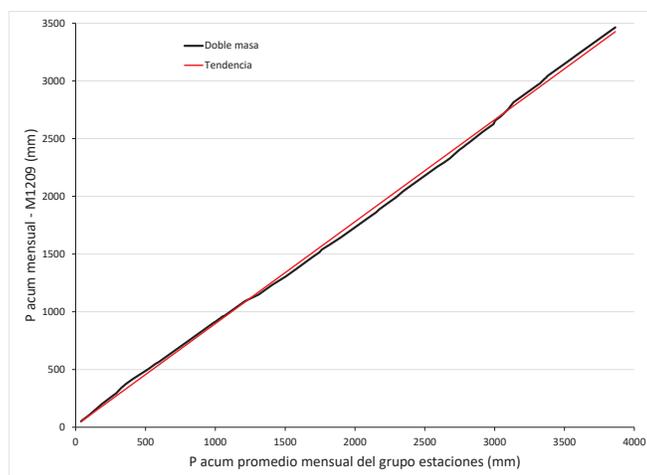
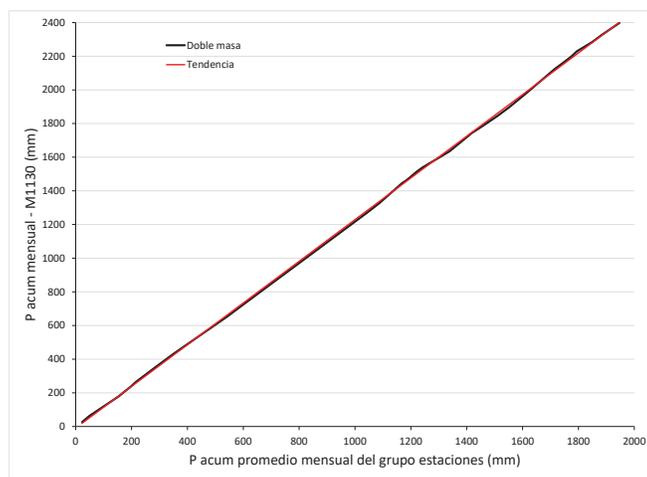
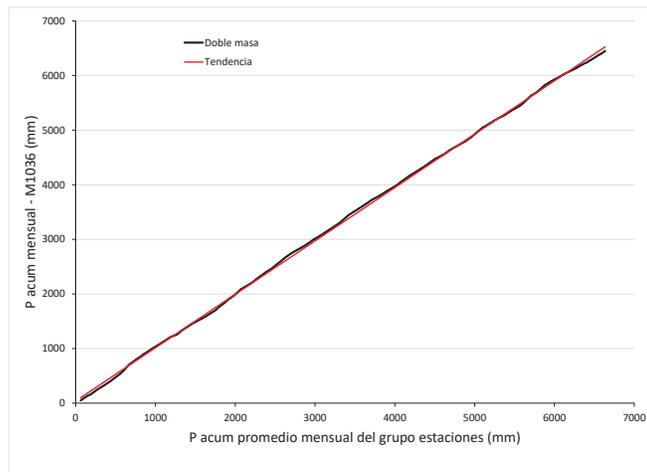
Curvas doble masa

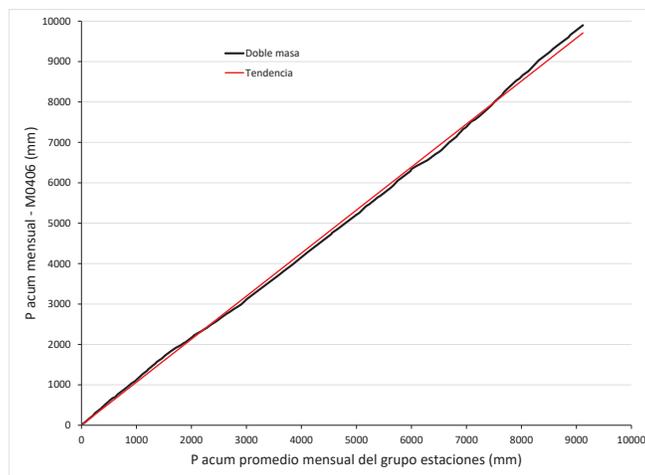
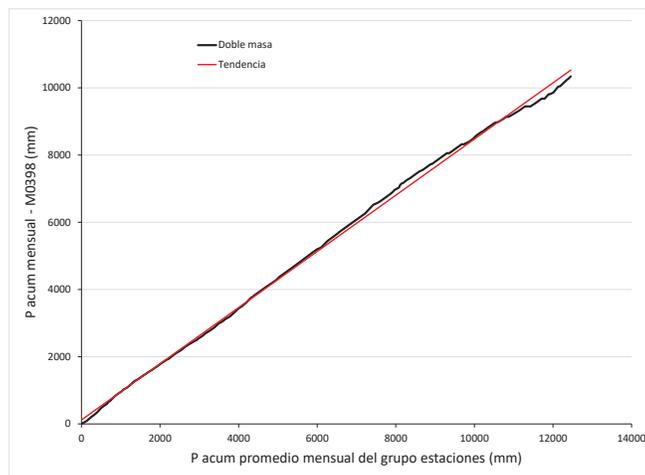
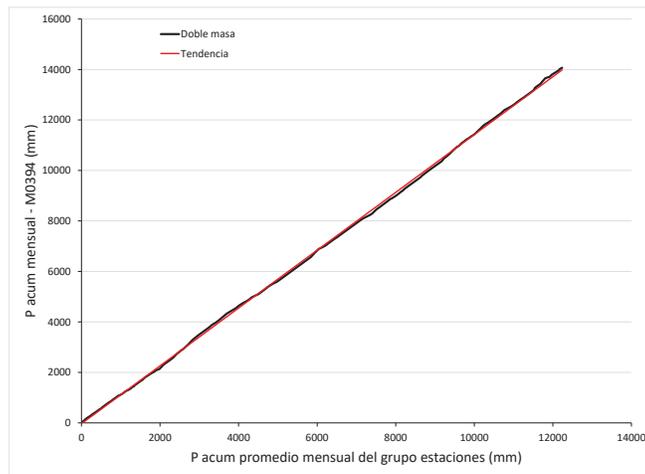


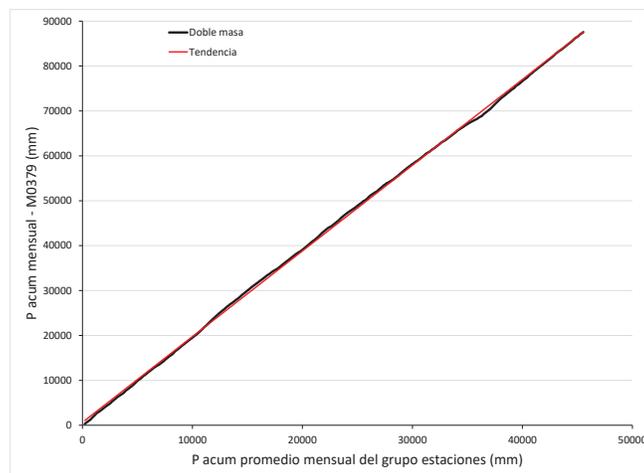
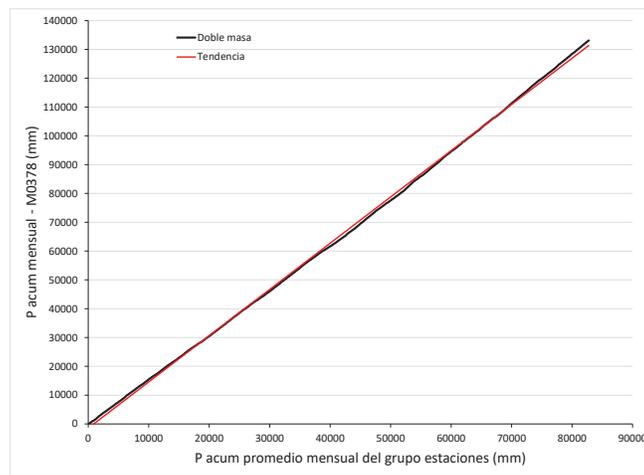
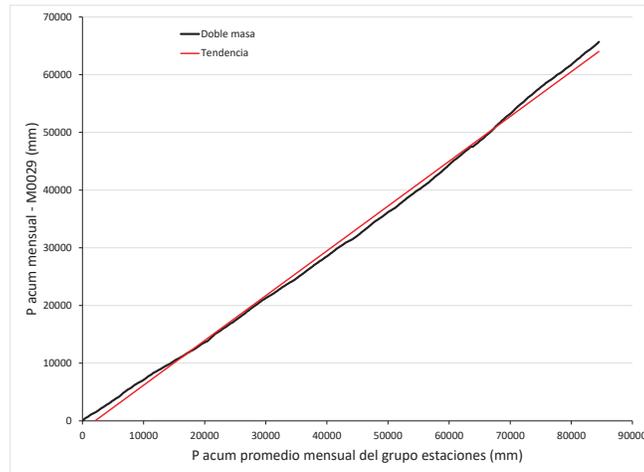


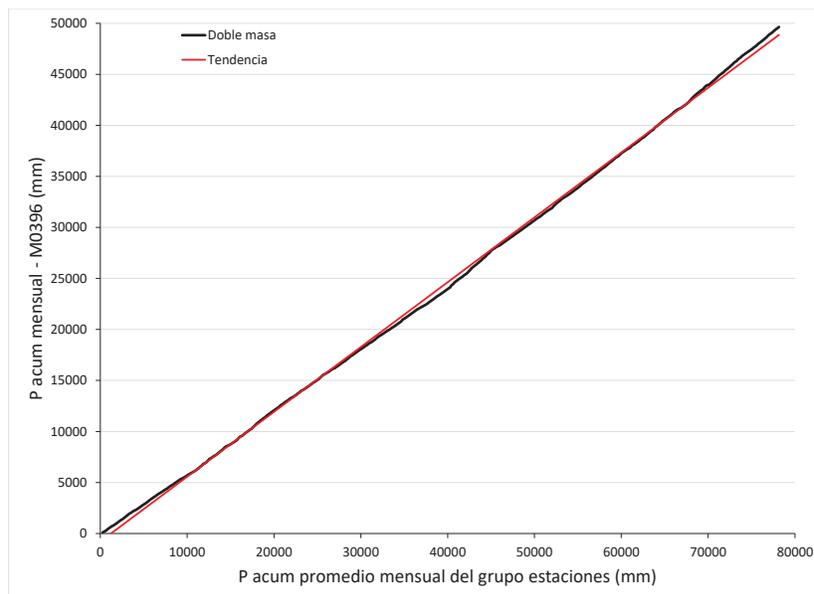
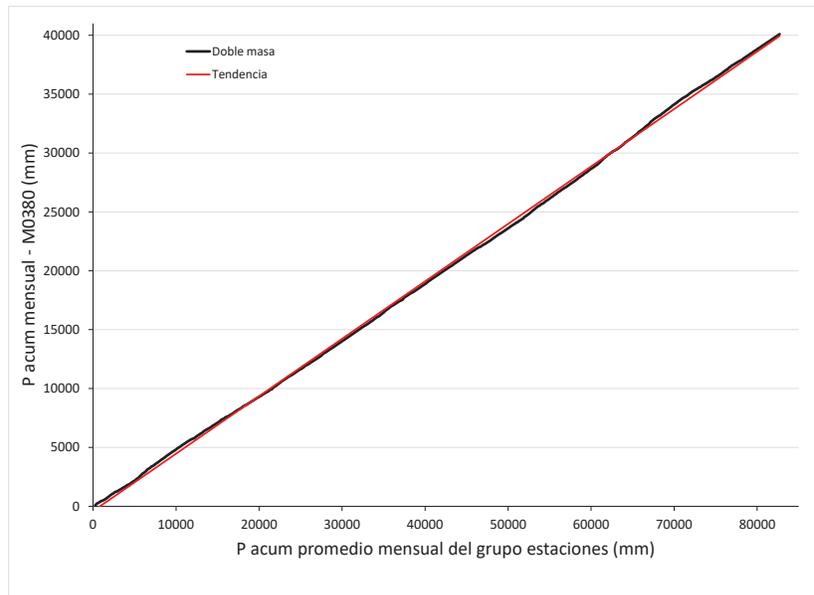


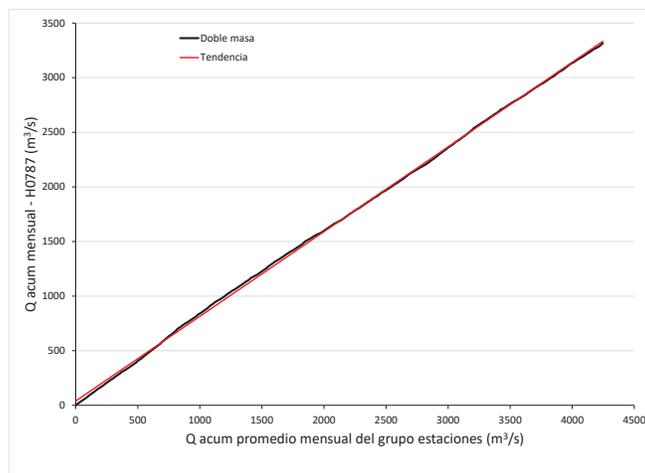
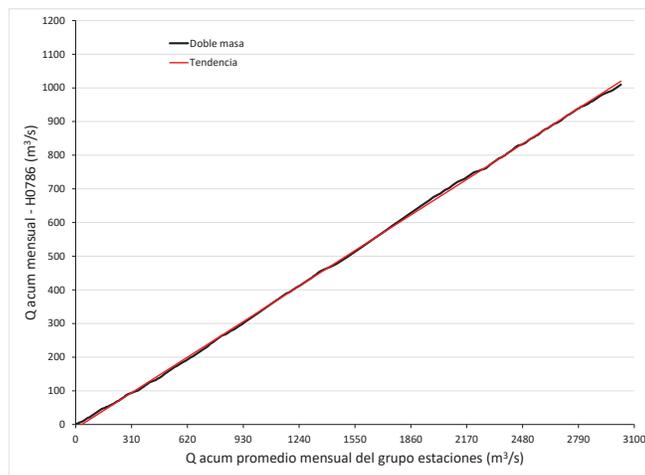
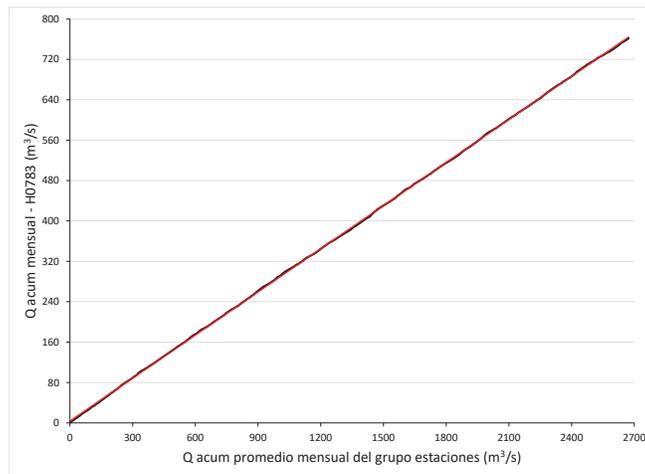


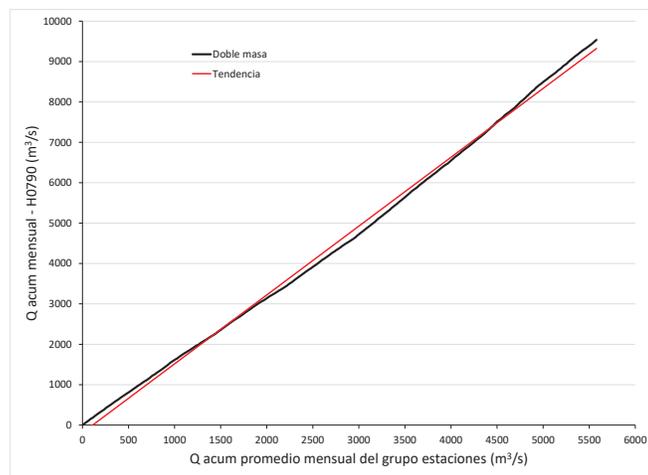
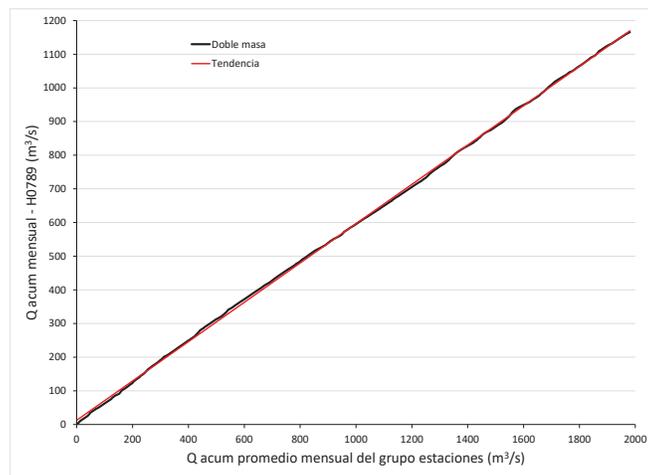
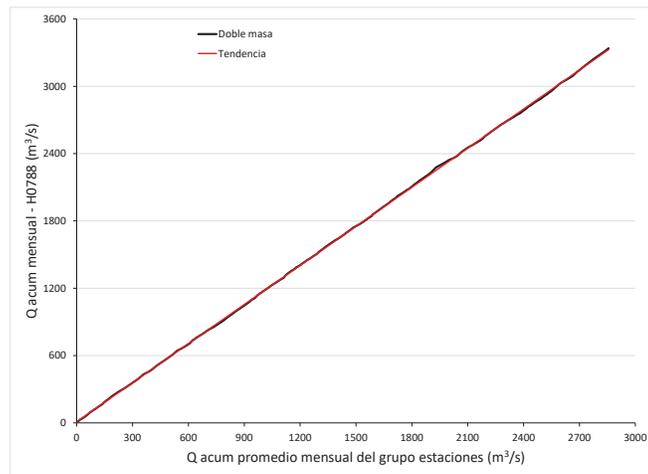


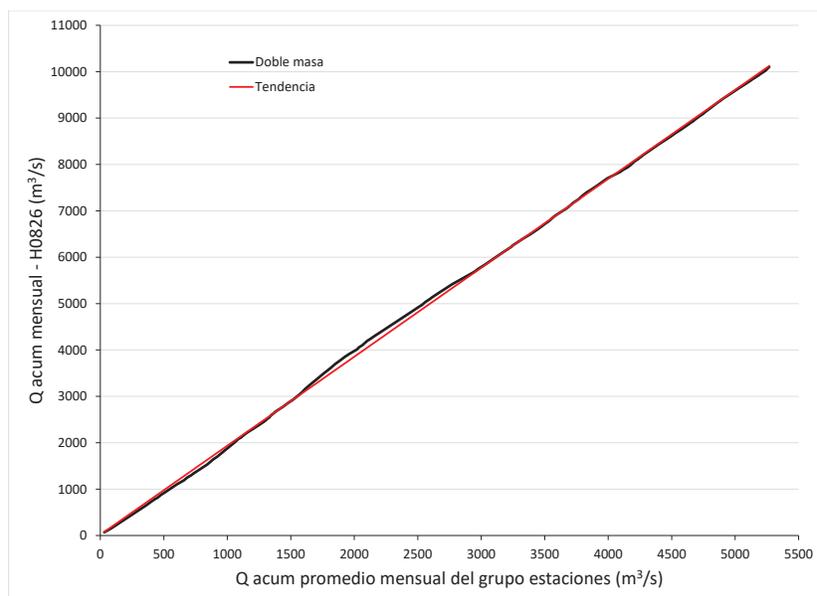
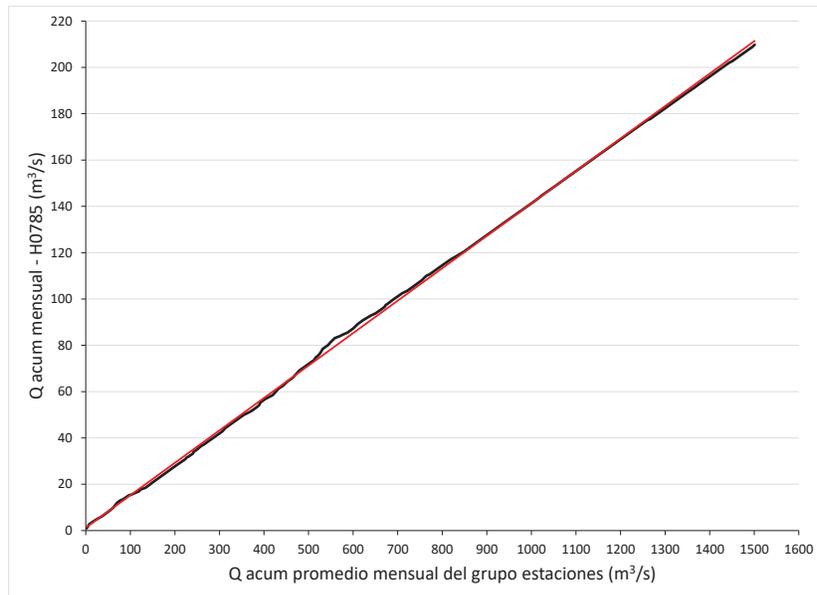












ANEXO 5
Balance Hídrico

