PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS

DISERTACIÓN DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y DESARROLLO SUSTENTABLE CON MENCIÓN EN ORDENAMIENTO TERRITORIAL

"ZONIFICACIÓN HIDROLÓGICA PARA LA UBICACIÓN ÓPTIMA DE LA RED HIDRO-METEOROLÓGICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PATATE"

RAFAEL FRANCISCO PALACIOS NOLIVOS

DIRECTOR: GALO CIRO MANRIQUE YACELGA

QUITO, 2013

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

DECLARACIÓN y AUTORIZACIÓN

Yo, **PALACIOS NOLIVOS RAFAEL FRANCISCO**, C.I. **1716111537** autor del trabajo de graduación intitulado: **"ZONIFICACIÓN HIDROLÓGICA PARA LA UBICACIÓN ÓPTIMA DE LA RED HIDRO-METEOROLÓGICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PATATE"**, previo a la obtención del grado académico de **INGENIERÍA EN CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y DESARROLLO SUSTENTABLE CON MENCIÓN EN ORDENAMIENTO TERRITORIAL** en la Facultad de **Ciencias Humanas**:

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Quito, 27 de agosto de 2013

Rafael Francisco Palacios Nolivos
C.I. 1716111537

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar te agradezco Dios por darme la oportunidad de crecer personal y profesionalmente, para poder servir de mejor manera a mi país.

A mi familia por el apoyo incondicional, las palabras, los gestos, las riñas que en conjunto es la fuerza motora para caminar, correr y volar.

A la PUCE y todo su personal docente y administrativo por dar alas y una guía oportuna en el camino del aprendizaje a todo nivel.

Al Ing. Rigoberto Lucero por la confianza y la orientación brindada para el desarrollo y culminación del presente trabajo.

A Aquiles Arévalo, amigo y compañero quien supo brindarme su ayuda incondicional en momentos claves en el transcurso de este estudio.

A la vida por hacerme ver que todo lo que uno se propone es un desafío, y que hay que agotar todas las armas para llegar a la consecución de los logros establecidos.

DEDICATORIA

A Dios por poner en mi camino la oportunidad de cursar y culminar mis estudios universitarios con el presente trabajo de titulación.

A mi padre por la energía y tesón con la cual siempre ha defendido sus convicciones.

A mi madre por el esfuerzo y dedicación en todos los aspectos de la vida.

A mi hermana Daniela por su empuje, alegría y espíritu aventuro que ha promovido la curiosidad de descubrir más en todo sentido.

A mis amigos todos.

ESQUEMA BÁSICO DE CONTENIDOS (TABLA DE CONTENIDOS)

Declaración y Autorización

Agradecimientos

Dedicatoria

Tabla de contenidos

Índice de Gráficos

Índice de Mapas

Índice de Tablas

INTRODUCCIÓN

RESUMEN

CAPÍTULO I – Descripción General de la Investigación

1.1. Justificación

1.2. Planteamiento del problema

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

1.3.2. Objetivos específicos

1.4. Marco teórico y conceptual

1.4.1. Antecedentes o marco referencial

1.4.2. Marco teórico

1.4.3. Marco conceptual

1.5. Procedimiento – Marco Metodológico

1.5.1. Metodología

1.5.2. Técnicas

1.5.3. Variables e indicadores

CAPÍTULO II – Descripción de la Subcuenca del Río Patate

2.1. Delimitación del área de estudio

2.2. Ubicación geográfica

2.3. La cuenca hidrográfica como un sistema

2.4. Características biofísicas generales
2.4.1. Geomorfología
2.4.2. Clima
2.4.3. Cobertura natural y uso de la tierra
2.5. Problemática de las cuencas hidrográficas
2.6. Delimitación de las microcuencas hidrográficas
2.7. Caracterización morfométrica de las microcuencas
2.7.1. Área
2.7.2. Perímetro
2.7.3. Índice de compacidad o Gravelius
2.7.4. Longitud de los drenajes

CAPÍTULO III – Caracterización meteorológica
3.1. Recopilación de datos meteorológicos
3.2. Inspección de campo de estaciones meteorológicas
3.3. Proceso y Cálculo de los elementos meteorológicos: precipitación y temperatura
3.3.1. Precipitación
3.3.2. Trazo de isoyetas
3.3.3. Temperatura
3.3.4. Trazo de isotermas

CAPÍTULO IV – Caracterización hidrológica
4.1. Recopilación y proceso de información hidrológica
4.2. Cálculo de caudales medios
4.3. Delimitación del área de influencia de las estaciones hidrométricas

CAPÍTULO V – Zonificación hidrológica
5.1. Caracterización física de las microcuencas
5.1.1. Pluviometría
5.1.2. Permeabilidad

5.1.3. Relieve
5.1.4. Altura media
5.2. Determinación de las zonas hidrológicas homogéneas
5.2.1. Superposición de las variables físicas de las microcuencas
5.2.2. Zonas teóricamente homogéneas
5.2.3. Cálculo del caudal medio de la subcuenca
5.2.4. Propuesta de ubicación de estaciones hidrometeorológicas

CAPÍTULO VI – Conclusiones y Recomendaciones
Bibliografía
Anexos

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Ubicación del área de estudio en el Ecuador..... 22

Gráfico 2. Forma y orientación de las curvas de nivel según MEJÍA (2012). 38

Gráfico 3. Corte transversal de una unidad hidrográfica según MONSALVE (1999)..... 42

Gráfico 4. Correlación altura – temperatura de las estaciones consideradas..... 62

Gráfico 5. Curva hipsométrica de una cuenca hidrográfica según MONSALVE (1999). 95

Gráfico 6. Hoja de cálculo para la obtención de la curva hipsométrica 99

Gráfico 7. Relación entre caudales promedio multianuales y alturas medias de las cuencas hidrográficas según LONDOÑO (2001) 104

Índice de Mapas

Mapa 1. Base cartográfica del área de estudio 20

Mapa 2. Microcuencas hidrográficas de la subcuenca del río Patate 41

Mapa 3. Zonas de precipitación de la subcuenca del río Patate 60

Mapa 4. Zonas de temperatura de la subcuenca del río Patate 68

Mapa 5. Área de influencia de las estaciones hidrológicas 79

Mapa 6. Zonas de precipitación media por clases 89

Mapa 7. Clases de permeabilidad por zonas 93

Mapa 8. Zonas de relieve por clases 103

Mapa 9. Zonas de altura media por clases 108

Mapa 10. Zonas hidrológicas teóricamente homogéneas 114

Mapa 11. Propuesta de Ubicación de Estaciones Hidrometeorológicas 122

Índice de Tablas

Tabla 1. Distribución de la superficie provincial en la zona de estudio. 22

Tabla 2. Microcuencas al interior de la subcuenca del río Patate. 39

Tabla 3. Categorías según el índice de compacidad según LONDOÑO (2001). 45

Tabla 4. Valor y nivel de la densidad de drenaje de las microcuencas en estudio 47

Tabla 5. Diferencia euclidiana entre las estaciones originales y las visitadas en campo. 53

Tabla 6. Registro de datos de precipitación por estación en el área de estudio. 56

Tabla 7. Valor de altura por cada grado Celsius según la correlación. 64

Tabla 8. Curvas de nivel para cada grado Celsius de temperatura. 65

Tabla 9. Caudales medios por estación hidrológica 76

Tabla 10. Caudal específico de acuerdo al área de influencia de cada estación. 81

Tabla 11. Categoría y rangos de precipitación media en el área de estudio 88

Tabla 12. Información muestra del archivo de permeabilidad 91

Tabla 13. Clases de permeabilidad 92

Tabla 14. Campos necesarios para elaborar la curva hipsométrica y ejemplo de cálculo 95

Tabla 15. Clases de relieve y rangos del desnivel específico 97

Tabla 16. Clases de altura media y rangos 107

Tabla 17. Combinaciones existentes entre las características físicas de las microcuencas 110

Tabla 18. Zonas hidrológicas homogéneas de la subcuenca del río Patate 112

INTRODUCCIÓN

El agua, fuente de vida y soporte de la misma, se manifiesta en diferentes estados en la naturaleza de acuerdo a la etapa que se encuentra al interior del ciclo hidrológico.
Por su parte, el ser humano cumple su propio ciclo, y en sus diferentes fases hace buen y mal uso del agua. En cualquier sentido ejerce presión sobre el recurso. En tiempos actuales, tal presión se manifiesta mediante el manejo extensivo de todo tipo de ganado, avance de la frontera agrícola, deforestación, explotación de los recursos naturales, contaminación, degradación de la cobertura vegetal, entre otros.

Estas circunstancias suceden en unidades geográficas llamadas cuencas hidrográficas, las cuales no han sido partícipes preponderantes a la hora de planificar el territorio. En virtud de lo mencionado, el presente trabajo centra su eje de investigación en conocer factores físicos particulares de la subcuenca, con el fin de integrar el elemento hídrico a los diferentes procesos de planificación en conjunto con las cuencas hidrográficas.

RESUMEN

En tiempos actuales se maneja a menudo el concepto de la sustentabilidad en lo referente a las actividades antrópicas. Esto no es más que ejecutar cierta actividad en específico, con miras a la satisfacción de las necesidades humanas, pero sin mermar o negar la posibilidad de que las generaciones futuras puedan satisfacer las necesidades propias de ellos.

En esta línea se encuentra encaminado el presente trabajo, en donde el eje territorial principal de la investigación es la subcuenca del río Patate y las microcuencas al interior de la misma. Con estas unidades territoriales se obtuvo las características morfométricas principales, de las cuales se derivó de manera general que existe una alta deficiencia en el número de drenajes que abastecen al cauce principal de la subcuenca, y por ende una carestía o déficit hídrico al interior de la subcuenca.

A continuación se caracterizó a la subcuenca en sus elementos meteorológicos e hidrológicos. En el primer aspecto se determinó la variación de la precipitación y la temperatura al interior de la subcuenca; y en la parte hidrológica, se obtuvo los caudales medios de las estaciones hidrométricas consideradas y sus respectivas áreas de influencia o áreas de recepción y transporte del agua lluvia que es medida por cada estación.

El planteamiento del presente trabajo se basa en efectuar un monitoreo adecuado del recurso hídrico mediante la propuesta de mantener e implementar estaciones hidro-meteorológicas. Esto se logró gracias al ejercicio de síntesis realizado entre las cuatro variables físicas consideradas de las microcuencas, estas son: pluviometría, permeabilidad, relieve y altura media. El producto final, que fue el soporte para ratificar y proponer tales estaciones, fue las zonas hidrológicas homogéneas, las cuales fueron logradas al combinar las variables de las microcuencas, clasificadas previamente de acuerdo a rangos.

Este proceso fue pensado para conocer de mejor manera la dinámica del recurso hídrico, y de esta manera entender que si no se toma acciones y correcciones en cuanto a su uso y manejo, no podremos entregar un futuro promisorio para las siguientes generaciones.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. JUSTIFICACIÓN

El recurso hídrico tiene trascendental importancia en tiempos actuales ya que de forma general es base fundamental para un sinnúmero de actividades del ser humano y visto de una manera esencial es sustento para la permanencia de toda forma de vida sobre el planeta.

Vista la gran importancia del líquido vital, se ve la necesidad de una adecuada planificación en base a estudios cada vez con más detalle y más fundamentos técnicos para conocer principalmente la condición y distribución de este recurso en el territorio, específicamente en una cuenca o subcuenca hidrográfica, que viene a ser el espacio idóneo para la planificación territorial.

En este aspecto, cuando el proceso planificador se toma a la ligera o no se lo ejecuta, se deja sin herramientas a los tomadores de decisiones, los cuales no tienen la capacidad de respuesta necesaria para mitigar o solucionar problemas como la degradación de las cuencas hidrográficas. Esta condición que se presenta de forma sigilosa, trae consigo la disminución de caudales fruto de la explotación irracional de los bosques. El efecto inmediato, al no contar con la vegetación que mantiene el suelo firme y estable, es la generación de un escenario propicio para desastres naturales como los movimientos en masa que representan una amenaza para el ser humano.

Estas circunstancias adversas pueden ser minimizadas y hasta cierto punto controladas cuando se apunta a tener un monitoreo adecuado de los diferentes indicadores hidrológicos al interior de una subcuenca, para lo cual está enfocado el presente estudio.

Es en este punto, que al examinar las características físicas y morfológicas de una subcuenca así como el comportamiento de la misma, se observa que son escasos o inexistentes en el país los estudios sobre este tema, donde se conjugue factores como la pluviometría, permeabilidad, relieve, altura media y caudal. Es por esto que se quiere llevar a cabo el presente estudio a escala 1:50.000, lo que le da mayor relevancia a la investigación debido a que trabajos previos sobre esta temática no han llegado a este nivel de detalle.

Es por lo mencionado previamente, que se ve la necesidad de investigar e identificar las zonas hidrológicamente homogéneas, lo cual abre la posibilidad de administrar el recurso hídrico en cuanto a su utilización, ya que de esta manera se puede establecer un umbral de volumen de un curso de agua, bajo el cual, no se permita la captación de agua para cualquier fin. Este ejemplo indica que una excesiva captación de agua, se traduce en una sobreutilización del recurso, lo que puede generar conflictos sociales.

La zonificación hidrológica a más de diagnosticar la condición del recurso hídrico y sus repercusiones presentes y futuras, también sirve para implantar nuevas estaciones hidrometeorológicas donde por las características analizadas, no cuente con una estación para el monitoreo del recurso. Esto se logra al observar las zonas comunes dentro de la unidad hidrográfica analizada (subcuenca), conforme a los indicadores tanto físicos como morfológicos analizados.

En definitiva el monitoreo y el estudio del líquido vital es fundamental, ya que éste se encuentra presente día a día en la vida de todos los seres humanos. Este conocimiento proporciona directrices para la ejecución de acciones y correctivos necesarios para

lograr un mejor uso y optimización del recurso, y de esta forma, asegurar la regeneración del mismo y el aprovechamiento de las futuras generaciones.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La presente investigación se enfoca en la problemática de no conocer en forma cuantitativa y fidedigna la disponibilidad del recurso hídrico precipitado (lluvia) y superficial en una unidad hidrográfica determinada. El conocer esto daría la pauta para lograr una adecuada utilización del recurso y de las actividades dependientes del él, en base a una planificación en donde el líquido vital juegue un papel preponderante.

En el país como la planificación se ha circunscrito a los diferentes niveles políticos territoriales, ahora también llamados GAD'S, se evidencia los escasos ejemplos en donde las unidades hidrográficas constituyen el eje de la planificación de un territorio.

En la actualidad como es común este patrón en cuanto a la planificación; con la presente disertación se abre una ventana alternativa, en la cual el recurso hídrico pasa de ser un insumo a ser un elemento predominante para lograr los objetivos y metas de los GAD´S.

Con este aporte académico se espera contribuir a volcar esta tendencia en la forma de proceder. Por ello a continuación se describe brevemente la mecánica y el propósito del presente estudio.

Los datos recogidos por los diferentes dispositivos para la medición de los diversos indicadores hidrológicos, son el insumo para toda una serie de procesos y estudios que diagnostican y caracterizan varios de los elementos que componen el ciclo hidrológico; sin embargo, como se puede asegurar la veracidad de la información obtenida cuando esta red de monitoreo tiene, en alguna forma, falencias como:

- Negligencia del operador en cuanto a las lecturas en uno o varios indicadores.
- Una deficitaria red de monitoreo al interior de una unidad hidrográfica.
- Cambio de lugar o cierre de estaciones.
- Mal funcionamiento o avería de alguno de los instrumentos que registran los datos.

Estas circunstancias hacen que la información final diste de la realidad en algún porcentaje. Para subsanar esta deficiencia se procedió a delimitar las zonas hidrológicas homogéneas a escala 1: 50.000 y con este producto se buscó establecer la ubicación óptima de la red de estaciones hidro-meteorológicas en la subcuenca del río Patate, de forma que esta distribución pueda realizar un monitoreo adecuado de todos los indicadores del recurso hídrico, para que los posteriores procesos y resultados en base a estos datos, puedan ser representativos y ayuden a la toma de decisiones dentro de un proceso de planificación.

Cuando se tiene indicadores confiables se puede caracterizar de mejor forma el sistema hidrológico y concluir por ejemplo el nivel de densidad de los drenajes de una unidad hidrográfica.

Por otro lado se puede afrontar eventos adversos con mayor solvencia al presentarse acontecimientos tanto naturales como sociales. En el primer caso se puede mencionar varios aspectos como las crecidas y la tendencia de un determinado curso de agua a este fenómeno; en contraposición está la escasez de agua, debido al aumento de la demanda del mismo, a la tala acelerada de bosques para obtener réditos de la madera o el aumento de la frontera agrícola, lo que representa una amenaza a los caudales ambientales. En la parte social las prácticas agropecuarias ineficientes generan una cadena de circunstancias desfavorables, entre ellas podemos citar las siguientes: aumento de la frontera agrícola para suplir los bajos niveles de producción, mayor cantidad de agua para el riego, deterioro y lavado de los suelos que se evidencia en la

erosión y sedimentación que son sinónimos de falta de fertilidad y deterioro de la calidad del agua respectivamente y por último la contaminación por la utilización de agroquímicos. Estos agravantes originan la migración de los agricultores a los centros poblados dejando al campo abandonado (CANTERA, 2009).

Como punto final, y de gran importancia, se debe mencionar que el déficit hídrico en determinados lugares es el resultado de las condiciones históricas físico-ambientales propias de dicho lugar, y que no es producto de la inadecuada intervención humana que, a falta de controles y estudios del recurso hídrico, ha conducido a que lugares donde históricamente el recurso fue suficiente, ahora tengan la necesidad del mismo y que para ello se destine una gran cantidad de recursos para lograr obras de gran proporción.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Establecer la zonificación hidrológica homogénea de la subcuenca del río Patate por medio de la caracterización físico-climática de sus microcuencas, lo cual permite la planificación de la red hidrométrica óptima.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer la subcuenca y delimitar las microcuencas para contar con las unidades mínimas de análisis, y así determinar las características morfométricas de las mismas.
- Caracterizar los elementos meteorológicos con el objeto de conocer los parámetros físicos e interpretar su efecto sobre las aguas superficiales.

- Evaluar los parámetros hidrológicos principales para comprender su dinámica y examinar las relaciones entre ellos, y de esta forma conocer la disponibilidad hídrica superficial y la precipitación.
- Proponer la ubicación óptima de la red hidrometeorológica, en base a la espacialización de la zonificación hidrológica homogénea obtenida de las variables físicas de las microcuencas.

1.4. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

1.4.1. ANTECEDENTES O MARCO REFERENCIAL

El referente de mayor significancia para llevar a cabo la zonificación hidrológica es una serie de investigaciones realizadas bajo el convenio MAG-ORSTOM en los años 80´s, de donde se extraen las temáticas más cercanas para el presente estudio. Parte de estas investigaciones hacen referencia a los insumos, productos intermedios y finales para llegar a la zonificación y fue desarrollado a escala 1:200000 de forma analógica y con la dificultad de no contar con una cartografía base adecuada, información temática de soporte y la ausencia de software SIG (Sistemas de Información Geográfica). Estos documentos obtenidos bajo el mencionado convenio tuvieron mucha importancia ya que se dio un avance significativo en esta rama investigativa. Hoy día, este documento únicamente analógico, pero que goza de sólidas bases conceptuales e investigativas, representa la principal guía de consulta que permite junto a los Sistemas de Información Geográfica SIG, la generación, manipulación y conformación de las zonas hidrológicas homogéneas de la subcuenca del río Patate, y que además brinda directrices claras que facilita el análisis para la ubicación de las estaciones hidro-meteorológicas.

Un estudio complementario para la presente disertación, es “Instructivos de Procesamiento de Información Hidrometeorológica” (ALMEIDA, 2010); proyecto de titulación de la Escuela Politécnica Nacional que indica los pasos y procesos para una adecuada manipulación de la información hidrometeorológica disponible, el cual se basa en la Guía de Prácticas Hidrológicas de la Organización Meteorológica Mundial

(OMM). Se toma en cuenta este documento para poder contrastar con la metodología usada por los franceses en el convenio MAG-ORSTOM y obtener de acuerdo a los insumos disponibles los mejores procesos y resultados.

Por otro lado se tomó en consideración la investigación realizada por el ex Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) actualmente Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), denominado "Estudio Hidrológico de la Subcuenca del Río Chambo e Implementación de un Modelo Hidrológico" que tiene como objetivo realizar una estimación del recurso hídrico superficial al interior de dicha subcuenca. De este eje central se extrajo la caracterización en el tema de precipitación, a fin de diagnosticar la disponibilidad del recurso que es uno de los cuatro ejes principales en la zonificación hidrológica.

También se toma como texto base el escrito de Germán Monsalve Sáenz titulado "Hidrología en la Ingeniería", ya que describe de forma clara y precisa los elementos al interior de una cuenca hidrográfica y las características de cada uno de ellos. De este texto se tomó en consideración las temáticas relacionadas con las características físicas de una hoya hidrográfica y los indicadores de la precipitación.

1.4.2. MARCO TEÓRICO

Geografía Física

Dentro del amplio espectro que abarca el estudio de la geografía, se encuentra la geografía física que se encarga de describir y comprender las reacciones y relaciones manifiestas que resultan del contacto e interacción de los tres elementos fundamentales que conforman nuestro entorno: atmósfera, hidrósfera y litósfera.

La complejidad de esta interminable relación entre estos tres elementos es determinante para toda forma de vida orgánica en el planeta. Es así que este dominio expreso y

envolvente de la geografía física, marca el rumbo de la geografía propia de animales y plantas, la biogeografía (MARTONNE, 1973).

Manejo de Cuencas Hidrográficas

Constituye una serie de actividades sistémicas en donde la unidad espacial de intervención es la cuenca hidrográfica, en donde los recursos naturales existentes en la misma, son objeto de administración y control bajo la regulación del ser humano con el fin de originar bienes y servicios.
En este actuar se considera las diferentes interconexiones e interrelaciones de los medios biofísicos, socioeconómicos y políticos, y que la base de esta dinámica reside en que las acciones sobre uno o varios elementos del sistema natural provoca efectos positivos o negativos en los demás elementos.

De aquí parte la idea de lograr que la intervención sobre los recursos naturales de la cuenca sea de forma sostenible, con la participación de los diversos actores involucrados e identificando las potencialidades que puede ofrecer el territorio; sin olvidar que el elemento integrador y determinante en este proceso es el agua (ARROYO, 2007).

Desarrollo Sustentable

Esta reciente corriente teórica se fundamenta en el modo de actuar de las personas con respecto a la utilización de los recursos que nos ofrece nuestro entorno. Puntualmente indica que no se debe comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras por causa de la sobreexplotación, el mal uso, el despilfarro y el acaparamiento de los recursos naturales por parte de las generaciones presentes.
Esta tendencia insta a que el ser humano incline su accionar para lograr un equilibrio en tres frentes: la preservación de los recursos naturales (sustentabilidad ecológica), el fomento de de las economías locales (crecimiento económico) y el amparo y protección de los asentamientos y comunidades que habitan una determinada área (equidad social).

1.4.3. MARCO CONCEPTUAL

Hidrología

La base conceptual de la hidrología radica en el ciclo hidrológico, el cual fue plenamente concebido tras muchos años y una serie de hipótesis formuladas para comprender su mecanismo. Fue a Pierre Perrault a quien se le adjudicó el reconocimiento por ser quien justificó con pruebas cuantitativas la confirmación del ciclo hidrológico.

Según la Federal Council for Science and Technology: "La hidrología versa sobre el agua de la Tierra, su existencia y distribución, sus propiedades físicas y químicas, y su influencia sobre el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos. El dominio de la hidrología abarca la historia completa del agua sobre la Tierra" (MONSALVE, 1999).

Climatología

Esta rama de la investigación realiza un compendio de eventos relevantes durante el transcurso del tiempo para un área determinada. De una manera más técnica indica BRENES y SABORÍO (1995: 3), que la climatología "suma los diferentes estados del tiempo durante varios años, con el objeto de clasificarlos, estudiar su distribución espacial y temporal para definir los regímenes climáticos y brindar una explicación de ellos".

Además se debe tener en cuenta que las variaciones en los elementos climáticos se ven influenciadas por los componentes geográficos como el relieve, ya que existe una estrecha relación entre los dos. El ejemplo más claro es la relación inversa que existe entre la temperatura y la altura.

Zonificación Hidrológica Homogénea

Es la técnica que se fundamenta en el estudio particularizado de ciertos elementos del medio físico-climático, a manera de síntesis para obtener una visión general de los elementos analizados.
Por consiguiente, el resultado de reunir estos elementos que poseen características semejantes se conoce como zonas hidrológicas homogéneas, en otras palabras, una homogeneidad de los recursos de agua. Esto sirve de base para una futura planificación de la red hidrológica al interior de un área de estudio establecida y como fuente de información para futuros estudios relacionados (MAG-ORSTOM, 1976).

Red hidrométrica Óptima

Al tener como finalidad conformar esta red, es lo que primeramente se debe tener claro y se lo define como “un conjunto de estaciones puntuales de medidas de altura y gastos de los cursos de agua, repartidos en una región o país, con una cierta densidad y según ciertos criterios” (MAG-ORSTOM, 1976).

Según (FRANQUET, 2009), “la Red Hidrométrica es el conjunto de estaciones de medición que se tiene dentro de un sistema que puede ser: de riego, hidrográfico o de agua potable. Este conjunto de estaciones debe ser planeado con la finalidad de determinar el caudal que circula en toda la red y conocer, en el caso concreto de un sistema de riego, cuáles son los caudales o volúmenes recibidos por el sistema, cuáles los entregados y cuáles los perdidos”.

Precipitación

El factor que tiene mayor incidencia para determinar las zonas hidrológicas homogéneas es la precipitación, ya que tiene una variabilidad considerable sobre el espacio en estudio. Por otro lado su importancia también radica en la fluctuación de este factor en

base a la distribución estacional y a la diferencia altitudinal entre las cabeceras y las partes bajas de las microcuencas.

Permeabilidad

"La permeabilidad es la facilidad que tiene un material geológico para dejar pasar cualquier fluido, en este caso el agua, a través de los intersticios" (MADEREY, 2005).

También se cita lo expuesto por (Soil Science Society of America, 2001) que manifiesta que la permeabilidad de un suelo se refiere a la facilidad con la que los gases, líquidos o las raíces de las plantas penetran o pasan a través de la masa de suelo o de un horizonte del suelo (SANTA OLALLA et al., 2005).

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Al hablar de Sistemas de Información Geográfica, se han presentado una serie de formulaciones en el transcurso del tiempo, las cuales se han ido puliendo y desarrollando, pero hasta nuestros días no se logra acordar su definición gracias a la complejidad y amplitud de los campos que abarca.

Una de las primeras definiciones es la citada por (BERRY, 1987) quien señaló un Sistema de Información Geográfica como "un sistema informático diseñado para el manejo, análisis y cartografía de información espacial" (PEÑA, 2006).

En el mismo año el Department of Environment de USA lo declaró como "un sistema para capturar, almacenar, chequear, manipular, analizar y representar datos que están espacialmente referenciados en la Tierra (PEÑA, 2006)".

Sin embargo una de las definiciones más completas es la referida por el National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA) de USA que señala como "sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión,

manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión" (PEÑA, 2006).

1.5. PROCEDIMIENTO – MARCO METODOLÓGICO

1.5.1. METODOLOGÍA

La metodología utilizada durante el presente estudio se focalizó en el proceso de inducción. A partir de datos o hechos particulares se pudo alcanzar el objetivo, en base a la evaluación, proceso y análisis de las series climáticas e hidrológicas para caracterizar espacialmente las variables de la investigación.
El primer paso fue delimitar el espacio de estudio de la investigación, esto es obtener las unidades mínimas de análisis que son las microcuencas.

A continuación se evaluó las series climáticas e hidrológicas de las estaciones consideradas, para proceder según sea el caso, a completar dichas series. El método a utilizar para completar los datos faltantes consistió en sacar el promedio mensual de todo el período correspondiente al mes o meses faltantes, con la condición de que no falten más de dos o tres meses en verano y uno en invierno. El valor obtenido suplió al faltante para los procesos posteriores.

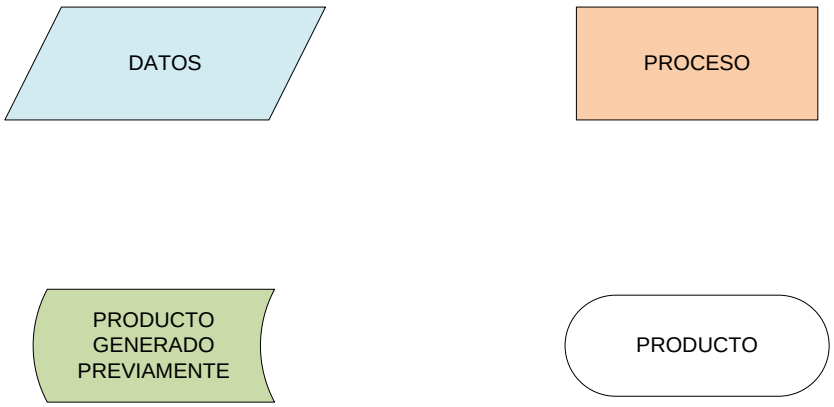
Seguidamente se clasificó las estaciones en principales y de apoyo en base a la continuidad y cantidad de la información levantada por cada estación.
La información depurada de las estaciones consideradas, se espacializó mediante las coordenadas de cada una de ellas, para poder generar los productos climáticos e hidrológicos.

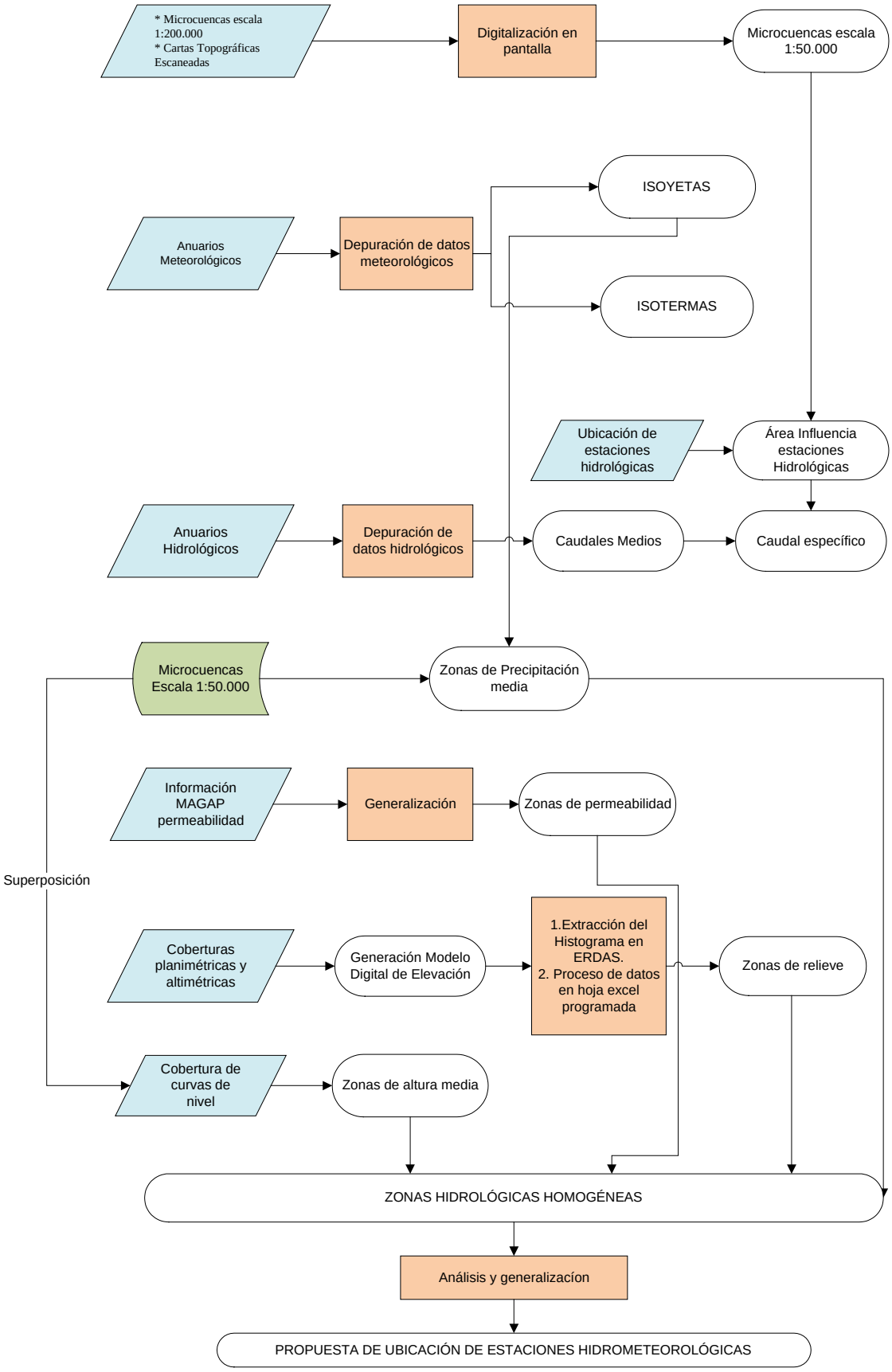
Los elementos que constituyen la caracterización física de las microcuencas, eje central de la investigación, se los cartografió individualmente a escala 1:50.000 conforme a la información recopilada previamente y los productos obtenidos a través de la espacialización de las estaciones.
Las temáticas altitudinales fueron generadas mediante modelos digitales de elevación (DEM).

Como último paso se generó un producto síntesis denominado zonas hidrológicas homogéneas, fruto de los cuatro elementos físicos de las microcuencas antes cartografiados (pluviometría, permeabilidad, relieve y altura media). Este resultado se lo obtuvo mediante el cruce o superposición cartográfica. Al contar con las zonas hidrológicas homogéneas, se está en la capacidad de proponer la ubicación de nuevas estaciones hidrometeorológicas con el fin de complementar la red de estaciones ya existente y lograr un mejor monitoreo del recurso hídrico.

- **Esquema de la metodología**

Elementos utilizados en el flujograma de la metodología.




* Microcuencas escala 1:200.000
* Cartas Topográficas Escaneadas
Digitalización en pantalla
Microcuencas escala 1:50.000
ISOYETAS
Anuarios Meteorológicos
Depuración de datos meteorológicos
ISOTERMAS
Ubicación de estaciones hidrológicas
Área Influencia estaciones Hidrológicas
Anuarios Hidrológicos
Depuración de datos hidrológicos
Caudales Medios
Caudal específico
Microcuencas Escala 1:50.000
Zonas de Precipitación media
Información MAGAP permeabilidad
Generalización
Zonas de permeabilidad
Superposición
Coberturas planimétricas y altimétricas
Generación Modelo Digital de Elevación
1.Extracción del Histograma en ERDAS.
2. Proceso de datos en hoja excel programada
Zonas de relieve
Cobertura de curvas de nivel
Zonas de altura media
ZONAS HIDROLÓGICAS HOMOGÉNEAS
Análisis y generalizacíon
PROPUESTA DE UBICACIÓN DE ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS

1.5.2. TÉCNICAS

En los datos

- Las series climáticas e hidrológicas que se encuentren incompletas fueron rellenadas con el valor del promedio mensual de todo el período correspondiente al mes o mese faltantes (solo si faltan registros de dos o tres meses en verano y uno en invierno). Este valor calculado sustituye al no registrado, el mismo que se empleará para el cálculo del valor anual. Estos procesos se los llevó a cabo sobre la plataforma Excel ya que facilita la manipulación de las series de datos.

En la información y generación de productos

- La herramienta ArcView, que es el componente operativo de los SIG (Sistemas de Información Geográfica), permitió la generación y análisis de mapas que representan las diferentes características físicas de las microcuencas. A más de ello fue posible, en el caso correspondiente, modificar el trazado de alguna de las características mencionadas, para no tener un excesivo número de zonas homogéneas.

1.5.3. VARIABLES E INDICADORES

Fueron consideradas para el presente estudio las siguientes variables con sus respectivos indicadores cuantitativos y cualitativos (para el caso de la permeabilidad).

Variables	Indicadores
Pluviometría	La altura media anual medida en milímetros.
Temperatura	Los grados centígrados en períodos de tiempo establecidos.
Caudales	El volumen de agua que pasa por una sección transversal al cauce de un río en la unidad de tiempo.
Permeabilidad	Tipo de suelo.
Altura Media	Valor en metros que indica el punto medio del rango altitudinal de una unidad hidrográfica.
Relieve	La pendiente expresada en metros mediante el desnivel específico.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PATATE

La caracterización de un espacio específico se halla definido por una serie de paisajes, los cuales son resultantes de conjugar diversos factores que van desde eventos que preceden la historia de la humanidad hasta los que moldean en la actualidad las diversas formas del relieve.

Antes de que el ser humano sea partícipe de la historia de la Tierra, ya se esculpía el relieve por lo que hoy conocemos como la teoría de la tectónica de placas, fruto de ella se produce a lo largo de la costa sudamericana, el levantamiento de la cordillera de Los Andes como consecuencia del fenómeno de subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana. Esto por el lado de la génesis histórica (WINCKELL, 1997).

Por otro lado, la dinámica del entorno donde vivimos se ve marcado por agentes que realizan cambios físicos y químicos en los elementos del medio. Agentes como la variabilidad climática con épocas frías y cálidas, la humedad atmosférica, los vientos, las precipitaciones y las heladas han forjado y continúan haciéndolo dando vida a los paisajes andinos ecuatorianos.

La subcuenca del río Patate ocupa una porción de las provincias de Cotopaxi y Tungurahua, donde se ubican las ciudades de Ambato y Latacunga. Presenta diferentes rasgos morfológicos que van desde planicies hasta pronunciadas elevaciones, como resultado de los eventos mencionados previamente. Entre los edificios volcánicos que poseen mayor altitud están los Ilinizas, el Chimborazo y el Carihuairazo que se encuentran en la cordillera occidental y el Cotopaxi y Tungurahua en la cordillera oriental. Los glaciares que brindan el mayor aporte de agua a los ríos cercanos son el Cotopaxi y el Chimborazo (6310 msnm), este evento determina, conforme a la época del año, la cantidad de agua que corre en los ríos que nacen de ellos.
Descendiendo en altitud se presenta el páramo andino que va generalmente entre los 3200 y 4700 msnm (SUÁREZ, 2001), caracterizado por la gran humedad presente y temperaturas bajas. Se evidencia además una vegetación herbácea que no crece significativamente y con ausencia de árboles y arbustos.

Debajo del páramo se encuentran bosques y también áreas de cultivos, sin mecanización en su mayoría. Esta actividad se da en zonas con pendientes bastante pronunciadas, propias de las estribaciones interiores de las cordilleras (occidental y oriental), en

especial entre los poblados de Salcedo y Ambato donde se acentúa las pendientes y las quebradas son mayormente disectadas.

Al suavizarse estos terrenos variables se llega hasta el fondo de la cuenca, que es la parte más baja donde se tiene un relieve bastante plano sin mucha irregularidad, lo que ha permitido el mayor número de asentamientos humanos y el desarrollo de actividades agropecuarias. El valle de Latacunga es el ejemplo más claro, al interior de la subcuenca, de relieve predominantemente suave donde se desarrolla y crece las actividades antrópicas.

2.1. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para poder delimitar la subcuenca del río Patate es necesario conocer claramente el ámbito de estudio, que en este caso es la subcuenca, y por añadidura la cuenca y microcuenca que vienen a ser los espacios inmediatamente superior e inferior respectivamente, en base a la superficie y relación que guardan con la subcuenca.

La cuenca hidrográfica según MONSALVE (1999), es la superficie que se delimita por rasgos topográficos, específicamente por las divisorias de aguas, que drena sus aguas mediante un curso o una red conectada de cursos de agua, de modo que la descarga de todo el caudal efluente sea canalizado por una única salida.

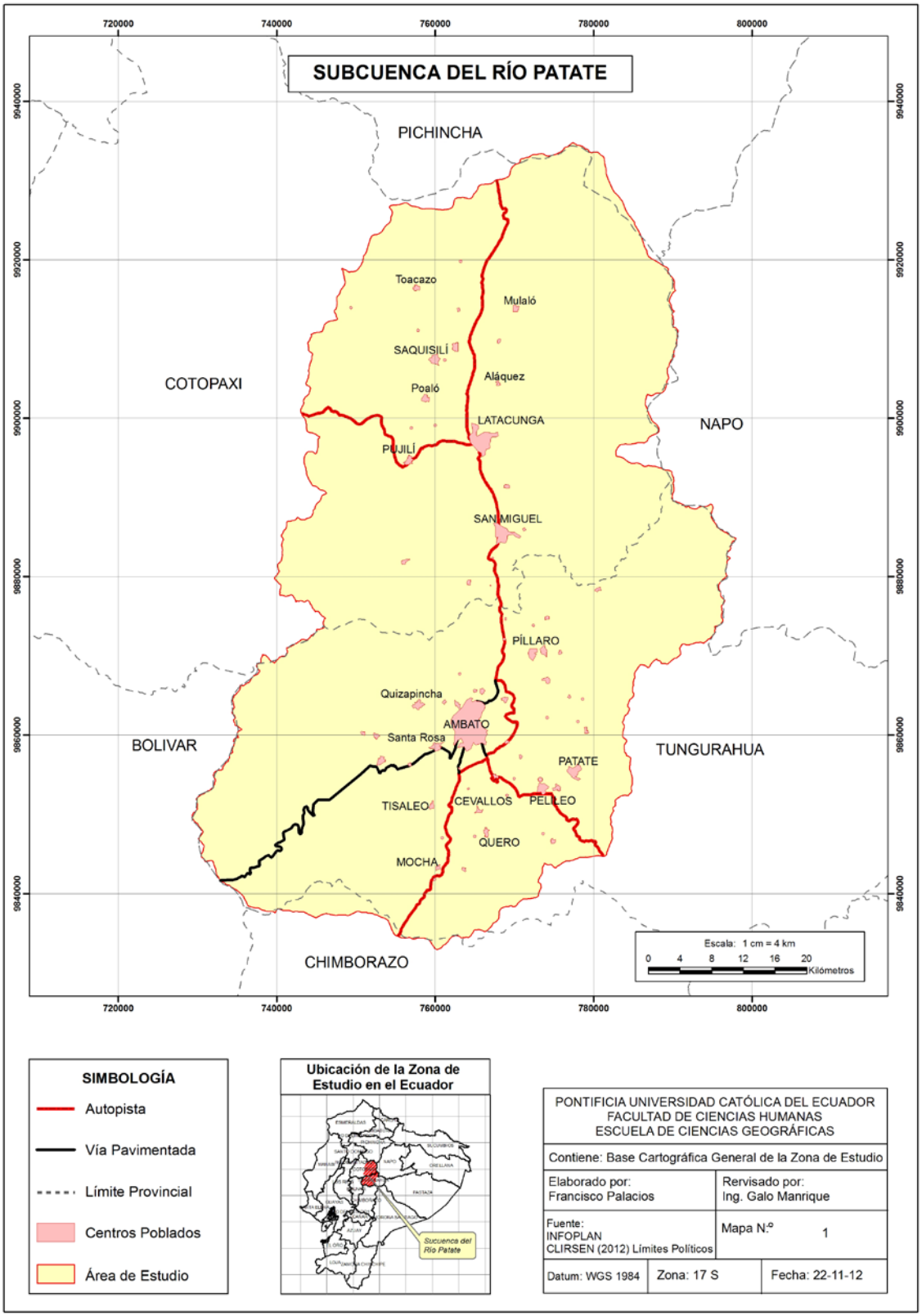
La subcuenca por su lado es el área que capta, conduce y drena sus aguas al curso principal de la cuenca a la cual pertenece, por tal motivo pueden existir varias subcuencas que forman una cuenca (FAUSTINO y JIMÉNEZ, 2000).
En el último nivel jerárquico hablando de superficie está la microcuenca, que capta y drena sus aguas al curso principal de la subcuenca a la que pertenece. De igual manera una subcuenca contiene varias microcuencas (FAUSTINO y JIMÉNEZ, 2000).

El área de estudio se delimitó en base a los conceptos previos y a la delimitación de cuencas, subcuencas y microcuencas del Ecuador a escala 1:250.000, desarrollado por el MAGAP en el año 2000. Esta información sirvió de referencia para lograr el trazo de la subcuenca a escala 1:50.000, mediante la digitalización en el software ArcMap 9.3 con la ayuda de las cartas topográficas escaneadas a escala 1:50.000 de la zona de estudio y la información descargada en formato shape (.shp: formato de archivo utilizado en el software ArcMap) del portal web del Instituto Geográfico Militar (IGM), que consistió en los siguientes elementos: curvas de nivel, puntos acotados, ríos simples y dobles, lagos y lagunas.

El resultado obtenido a mayor detalle, evidencia que el producto realizado por el MAGAP tiene algunos desvíos y variantes en su delimitación a causa de la falta de precisión, lo que no significa que el producto se encuentre mal elaborado, simplemente es consecuencia de haber trabajado a una escala muy grande, donde no se tiene mucha exactitud al momento de realizar los trazos en la digitalización.

El estudio se restringió a esta área en específico debido a la importancia del recurso hídrico en esta parte del país, ya que el valle de Latacunga en particular, posee un potencial agroproductivo muy elevado pero se ve mermado por el déficit hídrico presente en el sector, lo que ha impulsado la gestión de proyectos hídricos que aminoren esta situación. El área de estudio se observa en el mapa N° 1.

Mapa 1. Base cartográfica del área de estudio



2.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La subcuenca del río Patate se encuentra ubicada en el centro del país, sobre las provincias de Cotopaxi y Tungurahua. Tiene una superficie de 4.285 Km^2, lo que según FAUSTINO y JIMÉNEZ (2000), se cataloga como una cuenca conforme a la clasificación basada en la superficie. Sin embargo también menciona que esta clasificación es relativa, porque además pueden incluirse criterios físicos, climáticos e hidrológicos para determinar a qué nivel pertenecen las unidades hidrográficas.

La subcuenca se encuentra situada entre las coordenadas geográficas siguientes, y espacialmente se la puede ver en el gráfico N° 1. a continuación.

Longitud occidental: 78° 19´ 19” – 78° 56´ 22”
Latitud Sur: 00° 35´ 18” – 01° 30´ 37”

Gráfico 1. Ubicación del área de estudio en el Ecuador.



Fuente: IEE, INFOPLAN; 2012
Diseño: Palacios F.; 2013

A continuación se presenta superficies y porcentajes que ocupa la subcuenca dentro de las provincias involucradas. Ver tabla N° 1.

Tabla 1. Distribución de la superficie provincial en la zona de estudio.

SUPERFICIE / PROVINCIAS	Superficie Provincial	Porcentaje Superfice Provincial	Superficie del Área de Estudio	Porcentaje del Área de Estudio
	Km²	%	Km²	%
COTOPAXI	6015	36,33	2185,61	51,01
CHIMBORAZO	6490	0,57	37,45	0,87
NAPO	12504	0,04	5,16	0,12
PICHINCHA	9537	0,21	20,15	0,47
TUNGURAHUA	3384	60,17	2036,58	47,53
TOTAL			**4284,95**	**100,00**

Fuente: IEE; 2012
Diseño: Palacios F.; 2013

Se observa que el 98.54% del área de estudio aparece dentro de los límites de las provincias de Cotopaxi y Tungurahua, y que apenas el 1.46% se encuentra repartido entre Chimborazo, Napo y Pichincha. Además se nota que los límites naturales de la subcuenca (al norte el nudo de Tiopullo y al sur el nudo del Igualata) coinciden en su mayoría con la delimitación política; no sucede así con los límites oriental y occidental de la subcuenca ya que el porcentaje de coincidencia con los límites políticos será cercano al 50%. Esta diferencia entre los límites políticos y naturales es una constante común en el Ecuador.

2.3. LA CUENCA HIDROGRÁFICA COMO UN SISTEMA

La cuenca es un espacio donde se expresan a cada momento y en cada lugar una serie de eventos, sucesos y fenómenos con una estrecha vinculación unos con otros, ya que intervienen actores que inciden y determinan el desenvolvimiento de la cuenca, elevándola, por decirlo así, a una superficie dinámica, con vida propia, donde las partes de la misma conforman un sistema (ARROYO, 2007).

Al indicar que una cuenca funciona como un sistema, se encuentra implícito encontrar y entender, a más de las relaciones entre los subsistemas que la componen, los rasgos que dan el carácter de sistema a una cuenca. Esto obedece a distinguir las cualidades constitutivas del sistema, en este caso, la cuenca hidrográfica.

Todo sistema persigue uno o varios propósitos u objetivos, los de la cuenca son suministrar de agua para lograr una adecuada producción agropecuaria mediante las diferentes formas de riego, satisfacer necesidades de servicios tanto recreativos como el turismo donde se disfruta de cascadas y aguas termales, como también de aprovechamiento para generar energía hidroeléctrica.

La cuenca como sistema se encuentra inmersa en un ambiente, el cual la condiciona debido a que los elementos del ambiente no son controlados por la cuenca, y además define el comportamiento de la misma. En la cuenca el ambiente está comprendido por los siguientes elementos: social, cultural, económico, político, jurídico y ecológico (LONDOÑO, 2001).

El logro de los objetivos de un sistema depende de los insumos y recursos con los que cuente el sistema. Los recursos para alcanzar los propósitos de la cuenca se los puede catalogar en: físicos, naturales, humanos y económicos.

En la cuenca hidrográfica es necesario establecer los subsistemas o componentes que actúan en el andamiaje de este sistema. Cada uno de ellos, de manera interrelacionada, cumple un rol y una meta en particular, sin perder la orientación de que cada componente se complementa para favorecer la consecución de los objetivos integrales del sistema. En la cuenca se evidencian los siguientes subsistemas: biótico, físico, económico y social.

La cuenca al ser un espacio dinámico necesita un ente regulador o administrador que conduzca al sistema al logro de las metas planteadas. Él o los directivos son los encargados de establecer los lineamientos y logros de cada subsistema, diagnosticar y disponer los recursos y vigilar el desenvolvimiento del sistema para asegurar que se cumplan los objetivos planteados. También son partícipes al momento de rectificar y solucionar falencias que no permitan alcanzar las metas del sistema. Estos actores de tinte administrativo lo constituyen las alcaldías, juntas parroquiales y diversas alianzas en pro del desarrollo regional.

El sistema cuenca brinda sus frutos al término del proceso, los que se traducen en servicios o producción física útiles para alcanzar los objetivos fijados como cuenca. Los réditos finales son la mejora en el abastecimiento y distribución del agua, el incremento

en la calidad de vida de los habitantes, productos agrícolas y pecuarios óptimos y varios servicios ambientales (LONDOÑO, 2001).

Esta serie de elementos y pasos que se dan al interior de la cuenca, caracterizan este espacio como un sistema, el cual funciona mediante la interacción de sus elementos constitutivos, y al momento que se origine algún cambio en cualquiera de ellos, se produce un efecto en cadena en los procesos y productos, lo que determina a la cuenca como un sistema vivo y dinámico.

2.4. CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS GENERALES

2.4.1. GEOMORFOLOGÍA

La descripción de las características siguientes se las realiza conforme a los paisajes encontrados al interior de la subcuenca y de acuerdo al gradiente descendente en base a la altitud.

- **Los Edificios Volcánicos**

Estos paisajes se encuentran tanto en el límite de la subcuenca como al interior de la misma.

Al referirnos a los que se encuentran al interior de la subcuenca, estos constituyen los menos representativos en cuanto a su altura y actividad; los que se pueden mencionar son los siguientes: los volcanes Sagatoa y Carihuarirazo por el lado occidental de la cuenca y el volcán Huisla por el lado oriental, los que según Hall son volcanes inactivos y que desde hace bastante tiempo se encuentran extintos (CLIRSEN, 2009).

La conformación de los edificios volcánicos orientales es distinta en su génesis, pero la capa superficial de estas zonas, guarda similitud por la acumulación de materia orgánica a causa del clima frío en la actualidad y una capa de cenizas fruto de la actividad de volcanes más recientes, la cual se fue desarrollando hasta convertirse en andosoles desaturados caracterizado por su color negro (WINCKELL, 1997). Por su parte el volcán Huisla se genera según WINCKELL (1997), por movimientos tectónicos recientes en sentido vertical generando esta elevación entre el graben y la cordillera; se encuentra compuesto por piroclastitas de mediana cimentación.

También están los edificios volcánicos recientes, los que se ubican en los límites de la subcuenca, coincidiendo con los flancos occidental y oriental de la cordillera de los Andes. Los Ilinizas y el Chimborazo, a los extremos de la subcuenca por el lado occidental, son según WINKELL elevaciones de segunda y tercera generación que fueron bastante modificados en su morfología, y que fruto de ello quedó crestas afiladas en el primer caso y restos de conos en el segundo caso (CLIRSEN, 2009).
El origen y la composición edáfica de estas dos imponentes elevaciones guardan estrecha similitud con el Sagatoa y el Carihuairazo.

El volcán Cotopaxi perteneciente a la cuarta generación, caracteriza las elevaciones esculpidas de forma simétrica, con un cono distintivo donde sus flancos se proyectan homogéneamente en forma rectilínea y empinada (CLIRSEN, 2009).
Los materiales que afloran en los flancos son principalmente escorias, lapilli, cenizas arenosas, aglomerados, brechas, pómez y tobas (WINCKELL, 1997).

- **La Sierra Alta y Fría**

Este paisaje se compone por las elevaciones de menor altitud, aledaña a los edificios volcánicos dominantes. Esta estructura que se extiende de norte a sur en las dos cordilleras, se encuentra entre los 3.200 y los 4.500 msnm aproximadamente (CLIRSEN, 2009).

Esta zona se halla cubierta de cenizas recientes, de una potencia regular y uniforme, lo que produjo la fosilización de los relieves que se encontraban por debajo de estas cenizas y con el pasar de mucho tiempo debilitó los modelados originales. El resultado fue un relieve más uniforme con formas suaves con cimas redondeadas, pero también se denota la presencia de crestas muy escarpadas y rocas en ángulos muy agudos dentro de este paisaje.

Los suelos que se hallan en este sector son provenientes del volcanismo reciente, los que se desarrollaron en base al material piroclástico y cenizas. Los suelos son andosoles desaturados profundos, con gran porcentaje de humedad gracias a la buena permeabilidad, lo que ocasionó eventos de solifluxión en un período de mayor humedad (WINCKELL, 1997).

- **Las Estribaciones Interandinas de la Cordillera Occidental**

Son elevaciones bastante masivas en sentido alargado norte-sur, que se encuentran variando entre los 3.200 a 3.300 msnm. en la parte alta cerca de los Ilinizas y baja hasta los 3.000 msnm. en la falda norte del Sagatoa. Estos perfiles están definidos por dos procesos, la conformación de conos de deyección y los escurrimientos. En el primer caso se presentan en la desembocadura de las vertientes que provienen de las laderas de los volcanes, y los escurrimientos de tipo difuso, superficial en capa y anastomosado. Estas circunstancias, junto a la teoría de que hubo recientes movimientos tectónicos verticales, pliegue de superficie, han formado relieves e interfluvios con cimas onduladas y planas, con la particularidad, en zonas más bajas, de tener quebradas y disecciones en forma de V y pendientes pronunciadas. Estos rasgos, al acercarse al fondo de la cuenca, se confunden y desvanecen entre sí conforme se acentúa la horizontalidad (WINCKELL, 1997).

Estos suelos, más secos que el estrato altitudinal superior, son limo-arenosos de origen volcánico-sedimentario con arenas y gravas no muy profundas, las que proceden del material piroclástico emitido por los edificios volcánicos (CLIRSEN, 2009).

- **Las Estribaciones Interandinas de la Cordillera Oriental**

Este modelado comienza al sur del volcán Cotopaxi, son interfluvios de forma alargada, segregados por profundos cortes en V y sus cimas son redondeadas. Estas formaciones en general son suelos andosoles poco evolucionados de coloración negra y en menor altitud tienden a cafés.

Este paisaje se ve dividido por la presencia de dos edificios juntos que no poseen nombre y se ubican al este de la ciudad de Latacunga. Al continuar hacia el sur se retoma este paisaje, el cual tiene un origen estructural y se expresa como un conjunto de elevaciones en dirección norte-sur resultado, ya sea de movimientos tectónicos en sentido vertical o de la acción de un plegamiento unidireccional de sus flancos. Como producto podemos observar relieves suavizados y ondulados sobre las cumbres, y mientras se desciende en altitud empiezan a aparecer las disecciones que en ocasiones son pronunciadas y en otras más discretas, lo que ha dado lugar a extensas vertientes que varían en su grado de disección (WINCKELL, 1997).

Los suelos son del orden de los andosoles desaturados tendientes a desarrollar humus por la alta retención de humedad propia de estos suelos (IGAC, 2010).

- **El Fondo de la cuenca Interandina**

Este paisaje presenta relieves bastante suaves que van desde planicies hasta ondulaciones de moderadas a pronunciadas, las que están conformadas de varios elementos: suelos de tipo arenoso localizados en las márgenes del río Cutuchi desde las

faldas del Cotopaxi hasta la altura de Salcedo, los cuales son fruto del proceso fluvial sobre arenas-pedregosas no muy consolidadas que rellenaron la cuenca, entre ellos conglomerados, tobas y limos.

El área que se aleja de las márgenes del río Cutuchi hasta acercarse a las estribaciones de la cuenca, son suelos poco evolucionados, los que forman paisajes amplios y uniformes debido a la remodelación reciente de su perfil por los materiales depositados. Estas formas se constituyen de varios estratos que van desde arenas y gravas intercaladas con sedimentos de proyecciones piroclásticas más consolidadas en la parte inferior; sobre ellas se tiene material volcánico como lahares que han dado paso a la conformación de ladrillos y arcillas por el metamorfismo presente, también se manifiestan en menor proporción coladas de lava; y más superficialmente influenciado por arenas antiguas y recientes de coloración amarillenta que adecuaron y moldearon los costados de fondo del valle.

En dirección occidental, desde el río Cutuchi como referencia, encontramos relieves ondulados sobre las poblaciones de Saquisilí y Pujilí, que se extienden en sentido norte-sur desde las faldas de los Ilinizas hasta las faldas del volcán Sagatoa. Estas colinas son producto de una actividad tectónica reciente y su perfil superficial fue delineado por cenizas recientes de coloración gris y algo amarillento, mientras que interiormente se tienen las cenizas antiguas más endurecidas sobre una capa de piedra pómez. Estos suelos son generalmente limo-arenosos.

Hacia el sur de Salcedo hasta la entrada al cantón Cevallos la morfología se presenta más irregular con perfiles muy acentuados y cortes bastantes profundos, consecuencia de pliegues recientes en este sector. Los elementos constitutivos de esta zona abarcan los encontrados en la parte central norte de la cuenca, los cuales están cubiertos por suelos franco-arenosos levemente humíferos (WINCKELL, 1997).

2.4.2. CLIMA

Para comprender de mejor manera el comportamiento de las variaciones climáticas que se dan al interior del área de estudio, en primer lugar se debe exponer y comprender las condiciones climáticas externas, que de una u otra forma inciden en el comportamiento climático de la subcuenca.

El callejón interandino, donde se ubica la subcuenca del río Patate, está sometido a la acción de dos factores climáticos principales: primero, la presencia de la corriente cálida Ecuatorial, mal llamada en nuestro medio como corriente de “El Niño”, que aparece frente a nuestras costas a fines de diciembre, aproximadamente por la época de Navidad, de ahí el nombre que comúnmente se le da de “El Niño”, y que llega desde el norte, y determina el inicio de la época lluviosa para la Región Litoral, período marcado por abundantes precipitaciones y que se extiende hasta mediados de junio; y, segundo, la gran masa de aire húmedo proveniente de la Región Amazónica y que se presenta de manera uniforme a través del año, y que tiene como picos lluviosos, aunque no muy marcados, los meses de junio, julio y agosto, cuando tenemos el período seco en la zona de estudio (WINCKELL, 1997).
Tras esta aclaración se podrá comprender de mejor manera los resultados, posterior al análisis sobre los mismos.

Las zonas que comprenden los edificios volcánicos, que se encuentran en las franjas occidental y oriental de la cordillera sobrepasando los 4.000 msnm., varían en su rango de temperatura por la explicación precedente. Así las elevaciones orientales presentan temperaturas medias de 6° a 12° C y por el lado occidental varía entre 2° y 6° C. La pluviosidad oscila entre los 1.500 mm al año en la vertiente oriental, según los valores promedios anuales de los registros del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y para la vertiente occidental varía entre los 600 a 1.100 mm de precipitación, en base a los datos de la misma fuente.

El clima del paisaje de la sierra alta y fría se caracteriza por presentar una continua neblina y lluvias de baja intensidad pero de larga duración, que en ocasiones puede ser de 30 mm en 24 horas, lo que vendría a constituirse en una lluvia fuerte (MAG-ORSTOM, 1976). La precipitación media va en el orden de los 700 mm en el ramal occidental de la cuenca, mientras que en flanco oriental las lluvias se encuentran desde los 800 mm aproximadamente, hasta superar los 1.000 mm en ciertos sectores.

Hacia las estribaciones occidentales de la cuenca se encuentran temperaturas que varían entre los 12 y 18° C según lo señalado por LUCERO. Adicional indica que el rango de precipitaciones se encuentra de 500 a 1.000 mm al año, lo que comprende un rango muy amplio ya que según los valores promedios de los anuarios del INAMHI de las estaciones en este paisaje, las menores precipitaciones están por debajo de los 600 mm y las más altas son inferiores a los 900 mm. Globalmente sobre este paisaje el promedio de lluvia es de 700 mm al año. Los meses más secos se encuentran entre julio y septiembre (CLIRSEN, 2009).

Por el lado de las estribaciones orientales de la cuenca se tiene un clima entre temperado y sub-húmedo en la mayoría de este paisaje, lo que se traduce en temperaturas que fluctúan entre los 12 ° C en la parte central de la cuenca a la altura de Salcedo, y que al dirigirse hacia el sur, aumenta la temperatura promedio a 16 ° C a la altura de Patate, debido al descenso altitudinal y a la proximidad con la garganta que trae corrientes de aire cálido del valle del río Pastaza. La cantidad de precipitación es similar a las estribaciones occidentales, encontrándose entre los 600 y 900 mm al año; y el valor medio anual de precipitación sobre este paisaje es de 700 mm (CLIRSEN, 2009).

El clima en el fondo de la cuenca es sub húmedo temperado con la menor cantidad de lluvias del área de estudio, en consecuencia el ambiente se presenta más agradable para las diferentes actividades antrópicas, y es justamente donde se presenta el mayor dinamismo productivo, social, cultural y económico. La temperatura oscila entre los 12° C en las cercanías del volcán Cotopaxi y alcanza los 18 ° C en las zonas más bajas. Por

su lado la precipitación se maneja entre los 400 y 1.000 mm de lluvia al año, sin embargo la mayor parte de este paisaje recibe alrededor de 600 mm de precipitación, lo que es consecuente con el valor de la humedad relativa del aire que está en el 70% (CLIRSEN, 2009).

2.4.3. COBERTURA NATURAL Y USO DE LA TIERRA

Las temáticas que se describirán brevemente a continuación son el resultado de determinar la ausencia (cobertura natural) o presencia (uso de la tierra) de la acción humana en cualquiera de sus diferentes manifestaciones, en pro de lograr, en sentido muy generalista, la satisfacción de sus necesidades básicas y no tan básicas.
A continuación se expone secuencialmente los paisajes mencionados en los acápites previos, para no perder la secuencia que se ha manejado hasta el momento.

Los edificios volcánicos presentan condiciones bastante agrestes para el crecimiento diversificado de especies, donde por lo general se dan heladas frecuentes y la precipitación nocturna se presenta como nieve, adicional a esto los vientos que corren por el sector son bastante fuertes. También cabe señalar la variabilidad en los valores de temperatura, que por la noche llega a bajo cero y en el día con cielo despejado, la radiación eleva la temperatura considerablemente. Bajo estas condiciones se desarrollan, en el Cotopaxi, plantas de los géneros *Lupinus, Plantago, Ephedra* y los dos de la familia (*Scrophulariaceae*) los *Bartsia y Castileja*, los cuales no crecen más de 5 cm. y entre ellas frecuentemente se encuentra un liquen del género *Stereocaulon* (WINCKELL, 1997).
Además, de forma general en este paisaje se puede avizorar la presencia de plantas de los géneros *Baccharis, Chuquiragua, Cortaderia, Culcitium, Draba, Erigeron, Genciana y Senecio.* (CLIRSEN, 2009).

Este paisaje tiene un único uso que es el turístico, gracias a que estos ecosistemas se los conserva por su gran importancia en el ciclo hidrológico, especialmente porque abastecen un caudal mínimo a las vertientes en épocas de estiaje.

Sobre los páramos, también conocido como la sierra alta y fría, se presentan especies que juegan un papel muy importante, el de captar primeramente el recurso hídrico en el seno de este ecosistema, para luego regular el flujo del líquido vital hacia las partes bajas de la cuenca. Las especies que forman almohadillas principalmente son las siguientes: *Distichia muscoides, Gentianella cerastoides, Plantago rigida y tubulosa y* además varias especies del género *Azorella*.

También encontramos gramíneas hacia las partes más bajas del páramo, entre las más típicas están la *Stipa* y la *Calamagrostis*; y entre los espacios dejados por ellas se presentan varios géneros de plantas herbáceas de diversas características, como son: varias erguidas como *Gentiana, Halenia* y *Lycopodium*; especies en forma de roseta como *Eryngium humile, Valeriana rigida* y *Wemeria disticha*; y otros géneros de porte postrado como *Alchemilla, Geranium* y *Nototriche* (WINCKELL, 1997).

Esta variedad de vegetación se está viendo mermada por el avance de las actividades de del ser humano como la agricultura, ganadería, pastoreo de ganado bovino y borregos, quemas y desmonte para el cultivo de especies de altura como la cebada, el haba, la papa, etc. La presión humana sobre este ecosistema debe ser regulada bajo mecanismos legales e incentivos para la conservación del medio, caso contrario los caudales y la dotación de agua para cualquier uso disminuirá de forma irreparable.

Sobre las estribaciones interiores de la cuenca, se han mermado en una magnitud importante las poblaciones forestales, para dar paso a los cultivos y pastos que avanzan en cantidad y diversificación de los mismos. Esto se ha traducido en la marginación de especies arbóreas como el *Alnus*, que ahora se la encuentra en lechos mayores de los

ríos o en pendientes fuertes, lo que la hace vulnerable a crecidas de ríos o deslizamientos. Además se puede identificar la presencia de *Quinoa Polylepis*, *Pumamaqui Oreopanax*; matorrales de los géneros *Weinmannia, Buddleja, Miconia* y *Brachyotum*; y también el *Carrizo Chusquea* (WINCKELL, 1997).

En lo referente a los cultivos se observa la producción de chochos, fréjoles varios cereales como la cebada, trigo, avena, y quinua; y la papa como tubérculo principal. Los pastizales también tienen su espacio en este paisaje para ganado bovino y lanar.

En los diferentes niveles del valle de la cuenca, es evidente el aumento sustancial de todo tipo de actividades antrópicas, empezando por el emplazamiento de las mayores ciudades de la cuenca: Latacunga y Ambato como capitales provinciales de Cotopaxi y Tungurahua respectivamente. A ellas se suma un gran número de poblados entre pequeños y medianos distribuidos a lo largo del valle, los cuales se encuentran conectados por la amplia red vial existente en las dos provincias. Esta conexión brinda facilidades para la transportación y comercio de los cultivos presentes en el sector: arveja, fréjol, varias hortalizas, maíz, trigo, pastos. A más de ellos se tiene una importante producción de frutales entre los que destacan las manzanas, duraznos, claudias, peras y mandarinas.

La producción pecuaria se desarrolla en magnitud similar a la actividad agrícola, lo que se ve reflejado en numerosas industrias lácteas, de las cuales sobresalen La Avelina, Lecocem y Lactodam.

La vegetación natural casi no tiene espacio en el valle por la dinámica agropecuaria, por lo que es casi inexistente, sin embargo se tiene pequeños remanentes arbóreos de Tara en forma aislada; los arbustos igualmente en espacios reducidos son de los géneros *Duranta, Lantana, Dodonea, Croton* y *Nicotiana glauca*. Finalmente se presenta una

variedad de cactus, el *Opuntia cylindrica,* que se lo encuentra generalmente en los bordes de las parcelas (WINCKELL, 1997).

2.5. PROBLEMÁTICA DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Como se indicó previamente, la cuenca es un sistema abierto, con elementos constitutivos interrelacionados entre sí. La manera en que el ser humano interrelaciona en este espacio, da la pauta para diagnosticar el estado en el que se encuentra una cuenca hidrográfica.

Nuestro actuar se ve condicionado por la necesidad, y en el caso de que la única necesidad fuera la alimentación, es una tarea difícil, ya que el Ecuador es el país más densamente poblado de América del Sur, lo que obliga y exige contar con tierras aptas para la producción agrícola en especial. Sin embargo, además de esta necesidad fundamental, existen otras más, que de igual forma tendrán que solventarse con acciones que derivarán en varias condiciones y circunstancias no favorables para la futura sustentabilidad de la cuenca; dichas situaciones son:

- Avance de la frontera agrícola, en otras palabras, disminución de los ecosistemas de páramo. Se obtiene más superficie para cultivo a cambio de la disminución de los caudales de los ríos, debido a que el captador y almacenador nato del agua se lo va desplazando progresivamente.

- Políticas extractivistas sin control, entre las que tenemos la deforestación y la minería. El primer caso genera procesos erosivos y degradación del suelo debido a que la capa superficial queda descubierta, adicional pueden suscitarse remociones en masa, a falta de la cobertura vegetal que mantiene firme el suelo. Por su lado, la actividad minera, esencialmente artesanal, ha contaminado los

ríos con metales pesados como el mercurio; este elemento es arrastrado por la corriente hasta zonas donde al agua es utilizada para riego, consumo o recreación (CLIRSEN, 2009).

- Contaminación del suelo y del agua por la utilización de agroquímicos (fertilizantes, plaguicidas), que en primera instancia logran una mejor producción agrícola pero que posteriormente se trasladan por acción eólica o hídrica a otros lugares, donde afecta a las especies locales, mermando la biodiversidad del sector, lo que se manifiesta en el debilitamiento genético de las especies y la modificación de la relación entre las mismas cuando disminuye el número de individuos en algún nivel de la cadena alimentaria.

- Degradación del suelo, que es consecuencia de algunas acciones o factores mencionados previamente como la deforestación, y otros adicionales como la labranza intensa mecanizada que compacta el suelo alterando las propiedades físicas y químicas, y por ende la estructura en sí del mismo. Sumado a esto, existen prácticas agrícolas no adecuadas, como la no rotación de cultivos o el laboreo en favor de la pendiente, que intensifican la degradación del suelo cuando parte de la capa arable es arrastrada por las lluvias para luego depositarse en los ríos y cuerpos de agua de la cuenca baja, produciendo cambios en el dinamismo de los cursos de agua y menor productividad de las tierras ubicadas en la cuenca media y alta (CLIRSEN, 2009).

Estas circunstancias requieren correcciones y paliativos, teniendo en consideración que la unidad territorial de intervención es la cuenca hidrográfica. Con esta orientación, se puede establecer argumentos legales que viabilicen la gestión adecuada de las cuencas en base al ordenamiento territorial de estos espacios. Una vez dispuestos los argumentos legales, entra en marcha la fase de regulación y control para disminuir la intervención agresiva sobre los recursos naturales, y dar paso a una explotación sustentable de los mismos.

2.6. DELIMITACIÓN DE LAS MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS

Las unidades mínimas de análisis en la presente investigación son las microcuencas, las cuales se extraen del área global de estudio, la subcuenca del río Patate.

En primera instancia se debe contar con los mismos insumos con los cuales se realizó la delimitación de la subcuenca, estos son:

- Archivo en formato .shp de la delimitación de microcuencas del Ecuador a escala 1:250.000, desarrollado por el MAGAP.
- Cartas topográficas escaneadas del área de estudio.
- Archivos .shp descargados del portal web del Instituto Geográfico Militar (IGM), que consta de: curvas de nivel, puntos acotados, lagos-lagunas y ríos simples y dobles.

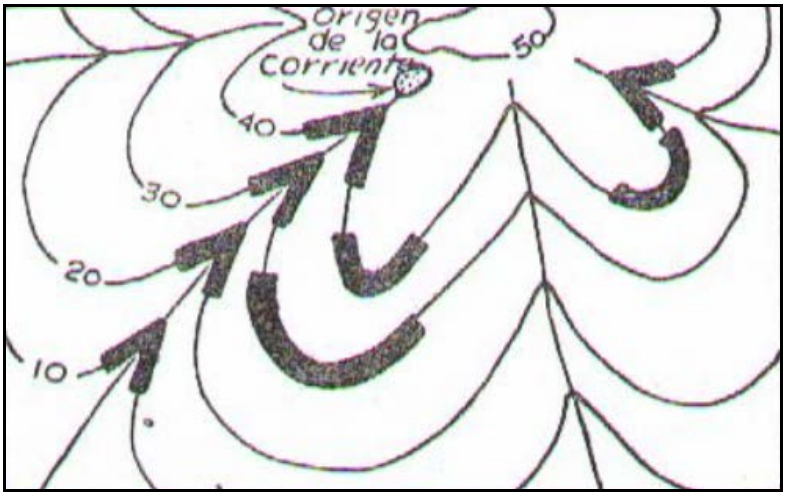
Adicional a esto, cabe aclarar que las microcuencas a ser digitalizadas, son superficies no regulares con un límite, por lo cual es necesario crear una cobertura nueva de tipo polígono, para en ella almacenar la información que va a ser generada. Al momento de crear esta cobertura se debe indicar el sistema de coordenadas, el cual es Universal Transverse de Mercator (UTM) y el datum es WGS 84 Zona 17 sur.

Luego de esta indicación, se empieza la digitalización en la cobertura creada para el efecto, en base a los insumos ya mencionados, sin olvidar activar el comando snapping cuando la edición se haya habilitado, esto, para reducir los errores topológicos en los cuales se incurre en el proceso de digitalización.

Para empezar este proceso es necesario ilustrar la forma y distribución de las curvas de nivel, ya que es el eje de acción para determinar las microcuencas de manera espacial.

Las divisorias de aguas o parteaguas según APARICIO (1999), es donde las curvas de nivel se doblan logrando una formación en “U”, cuya base apunta hacia el pie de las elevaciones. Por su lado, cuando una curva de nivel atraviesa un curso de agua, forma una “V” invertida, cuyo vértice apunta hacia las nacientes de los ríos, o lo que es lo mismo, hacia la cumbre de las elevaciones. Se expone a continuación un gráfico para clarificar lo expuesto.

Gráfico 2. Forma y orientación de las curvas de nivel según MEJÍA (2012).



Fuente: www.puce.edu.ec, Maestría en Ingeniería Vial.

Después de esta especificación, la delimitación de las microcuencas empieza por las partes altas de la subcuenca, desde aquí sigue la digitalización por donde se observe la tendencia de la formación en “U” de las curvas de nivel, hasta acercarse a la base de la elevación donde se encuentra próximo el desagüe de la corriente principal alimentada por sus tributarios al cauce principal de la subcuenca. A unos escasos metros, de que la corriente principal de la microcuenca vierta sus aguas en el cauce principal, la delimitación de la microcuenca corta por única vez la corriente de la misma, luego de lo cual, continúa la digitalización hacia las partes altas por la divisoria de aguas frontal a la ya digitalizada, tomando siempre como referencia la forma en “U” de las curvas de nivel. Previo a cerrar el polígono de la microcuenca, es aconsejable observar los puntos acotados y las nacientes de los tributarios y del cauce principal, para asegurarse de cerrar efectivamente la microcuenca por el parteaguas.

El proceso se reitera para delimitar todas microcuencas que sean identificadas al interior de la subcuenca del río Patate. Cabe anotar que el proceso de delimitación es mejor realizarlo una a continuación de la otra, con lo cual se sigue una secuencia lógica tanto espacial como altitudinal.

Al finalizar con la demarcación de las microcuencas halladas, se notará que no existe un polígono que abarque los cauces principales de la subcuenca, esto se da porque estos cauces conceptualmente no son propios de una microcuenca, son los tributarios y la corriente principal de la subcuenca del río Patate, que más adelante drenarán sus aguas a la cuenca del río Pastaza.

En razón de que las microcuencas son las unidades mínimas de análisis, se las debe identificar una a una, esto se lo realiza tomando como referencia la codificación de la cobertura de microcuencas realizada por el MAGAP, la cual se apega a la normativa de catalogación al momento en que fue creada y los nombres de los ríos tanto de los shapes descargados del portal web del IGM como los observados en las cartas topográficas escaneadas.

A continuación la tabla 2 indica los nombres y códigos de las 67 microcuencas delimitadas, y posteriormente para una adecuada visualización, el mapa 2 muestra la distribución espacial de las mismas.

Tabla 2. Microcuencas al interior de la subcuenca del río Patate.

NOMBRE	CÓDIGO
Río Cutuchi	7601001
Quebrada Cuilche	7601002
Río Blanco	7601003
Quebrada Chiriacu	7601004
Río Saquilama	7601005
Quebrada El Pozo	7601006

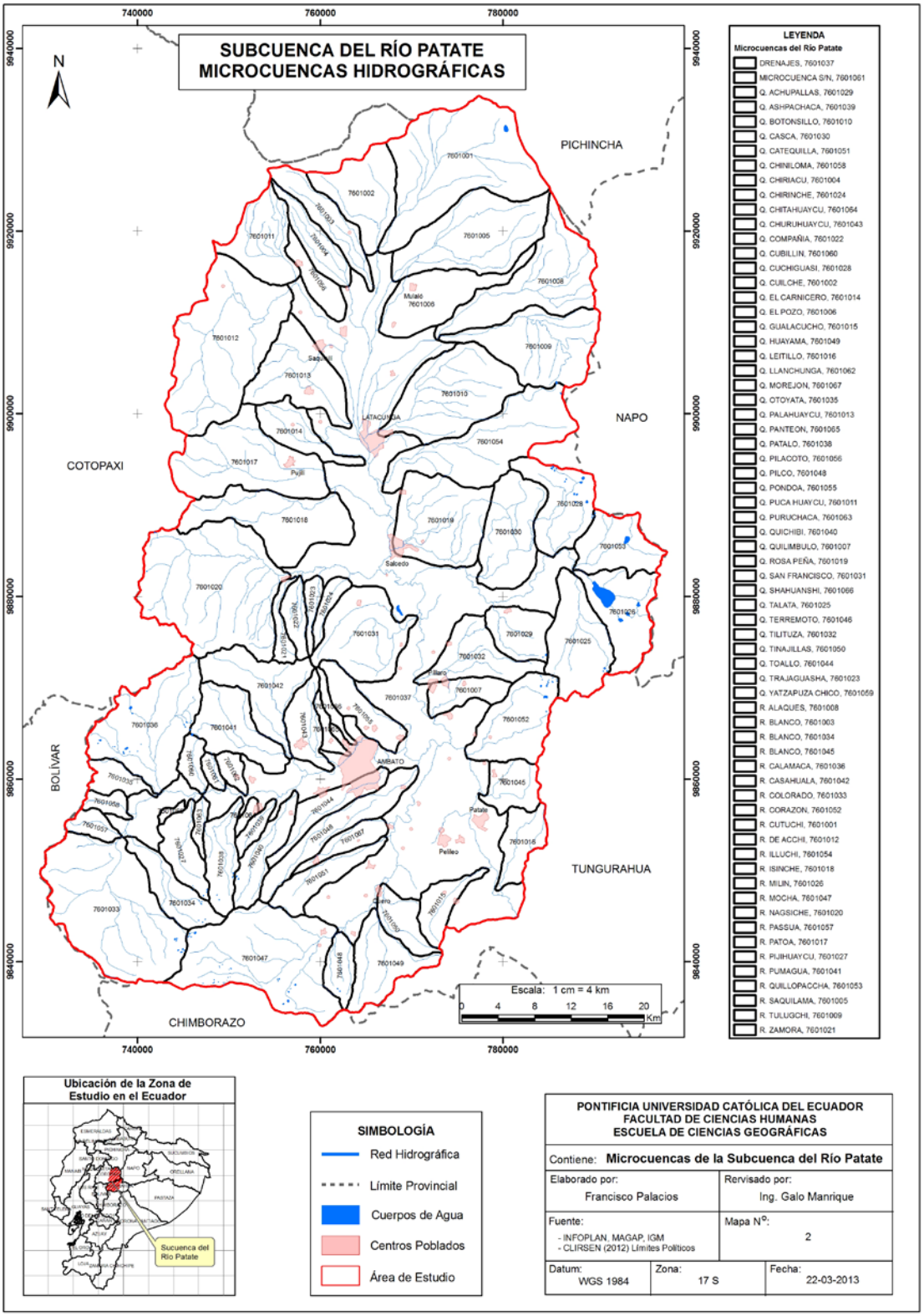
NOMBRE	CÓDIGO
Quebrada Otoyata	7601035
Río Calamaca	7601036
Drenajes Menores	7601037
Quebrada Patalo	7601038
Quebrada Ashpachaca	7601039
Quebrada Quichibi	7601040

Quebrada Quilimbulo	7601007
Río Alaques	7601008
Río Tulugchi	7601009
Quebrada Botonsillo	7601010
Quebrada Puca Huaycu	7601011
Río De Acchi	7601012
Quebrada Palahuaycu	7601013
Quebrada El Carnicero	7601014
Quebrada Gualacucho	7601015
Quebrada Leitillo	7601016
Río Patoa	7601017
Río Isinche	7601018
Quebrada Rosa Peña	7601019
Río Nagsiche	7601020
Río Zamora	7601021
Quebrada Compañía	7601022
Quebrada Trajaguasha	7601023
Quebrada Chirinche	7601024
Quebrada Talata	7601025
Río Milin	7601026
Río Pijihuaycu	7601027
Quebrada Cuchiguasi	7601028
Quebrada Achupallas	7601029
Quebrada Casca	7601030
Quebrada San Francisco	7601031
Quebrada Tilituza	7601032
Río Colorado	7601033
Río Blanco	7601034

Río Pumagua	7601041
Río Casahuala	7601042
Quebrada Churuhuaycu	7601043
Quebrada Toallo	7601044
Río Blanco	7601045
Quebrada Terremoto	7601046
Río Mocha	7601047
Quebrada Pilco	7601048
Quebrada Huayama	7601049
Quebrada Tinajillas	7601050
Quebrada Catequilla	7601051
Río Corazón	7601052
Río Quillopaccha	7601053
Río Illuchi	7601054
Quebrada Pondoa	7601055
Quebrada Pilacoto	7601056
Río Passua	7601057
Quebrada Chiniloma	7601058
Quebrada Yatzapuza Chico	7601059
Quebrada Cubillin	7601060
Microcuenca S/N	7601061
Quebrada Llanchunga	7601062
Quebrada Puruchaca	7601063
Quebrada Chitahuaycu	7601064
Quebrada Panteón	7601065
Quebrada Shahuanshi	7601066
Quebrada Morejón	7601067

Fuente: MAGAP; 2000, IGM; 2012
Diseño: Palacios F.; 2013

Mapa 2. Microcuencas hidrográficas de la subcuenca del río Patate



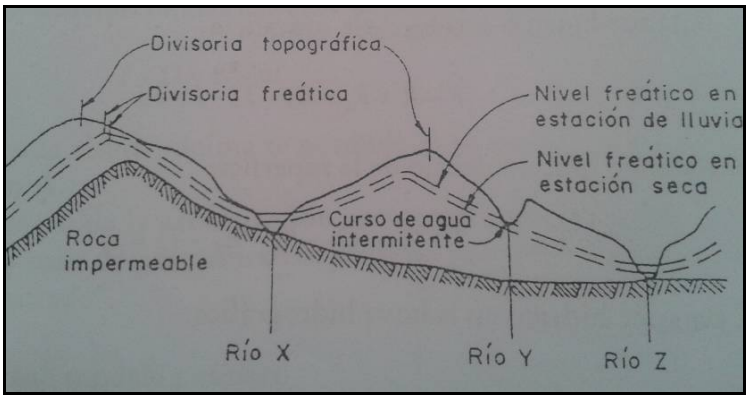
2.7. CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LAS MICROCUENCAS

Cada una de las microcuencas demarcadas se diferencia unas de otras por sus características propias. Los rasgos morfológicos, que en este caso se describirán a continuación, determinan en gran manera, la distribución y evolución del escurrimiento superficial en cada una de las microcuencas.

2.7.1. ÁREA

Este parámetro es de mucha importancia para referencias y análisis posteriores, y se define como la superficie plana (proyección horizontal) enmarcado por su parteaguas o divisoria topográfica (MONSALVE, 1999). Es importante comentar que existen dos divisorias para una unidad hidrográfica, que por lo general no coinciden: la topográfica o superficial y la freática o subterránea, lo cual se puede apreciar en el gráfico 3.

Gráfico 3. Corte transversal de una unidad hidrográfica según MONSALVE (1999).



Fuente: Hidrología en la Ingeniería.

Tras esta explicación, el presente estudio se enmarca en analizar las aguas superficiales y los aportes de agua precipitada, más no las aguas subterráneas, por lo cual el desarrollo de la investigación se sustenta en la divisoria de aguas superficial.

El área de estas unidades se las obtiene directamente en el software ArcMap, mediante un comando específico en la tabla de atributos del shape de microcuencas.

Según CANTERA et al. (2009), se establece que el área de drenaje de las microcuencas es menor a 20 Km^2, mientras que para FAUSTINO y JIMÉNEZ (2000), las microcuencas van desde los 10 Km^2 hasta los 500 Km^2. Esta diferencia de criterios hace notar que este valor depende, como ya se indicó previamente, de las condiciones topográficas principalmente.

Con el cálculo realizado, se tiene microcuencas que van desde 2.89 Km^2 hasta los 182.04 Km^2, lo que muestra una buena concordancia con los valores teóricos. Únicamente 6 microcuencas se encuentran por debajo de los 10 Km^2.

2.7.2. PERÍMETRO

No es más que la extensión de la divisoria de aguas de cada microcuenca. El perímetro se encuentra en función de la superficie y forma de cada microcuenca.

Las microcuencas estudiadas presentan perímetros entre los 9.17 y 61.55 Km.
Además de manera general, se puede indicar que mientras la forma de la microcuenca tiende a ser más alargada, su perímetro es mayor, en relación a otra microcuenca de igual superficie que tiene una forma mucho más redonda.

Cabe anotar que el perímetro se lo puede calcular también con la siguiente fórmula (ARÉVALO, 2005).

$P=KA^nRf^m$

Donde:

A= superficie de la microcuenca

Rf= factor de forma

K, n y m son coeficientes cuyos valores medios son: 4; 0.5 y -0.5 respectivamente.

2.7.3. ÍNDICE DE COMPACIDAD O GRAVELIUS

Este coeficiente marca la relación entre el perímetro de la microcuenca y el largo de la circunferencia de un círculo de idéntica área a la de la microcuenca. Esto se determina mediante la siguiente expresión:

$Kc = 0.282 (P/\sqrt{A})$

Donde:

Kc: coeficiente de compacidad, adimensional

P: perímetro de la unidad hidrográfica, en Km

A: área de la unidad hidrográfica, en Km^2

Cuando este índice tiende a la unidad, la forma de la microcuenca estará próxima a ser un círculo, por ende la tendencia a las crecidas será mayor, gracias a que la distancia entre diferentes puntos de la divisoria, con respecto a un punto central, no muestran diferencias considerables; por lo tanto, cuando se presentan lluvias fuertes, la concentración de las mismas en las partes bajas, se efectúa relativamente al mismo tiempo y de manera uniforme, aumentando la posibilidad de crecidas (LONDOÑO, 2001).

Por el contrario, cuando el índice va creciendo en valor, la forma de la microcuenca será cada vez más irregular y por consiguiente la tendencia a las crecidas disminuye. Con

base en los valores que toma este índice, se tiene a continuación la tabla 3 que muestra lo mencionado.

Tabla 3. Categorías según el índice de compacidad según LONDOÑO (2001).

Valores de Kc	Forma	Características
1,00 – 1,25	Compacta o redonda a oval redonda.	Cuenca torrencial peligrosa.
1,25 – 1,50	Oval redonda a oval oblonga.	Presenta peligros torrenciales, pero no iguales a la anterior.
1,50 – 1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga.	Son las cuencas que tienen menos torrencialidad.

Fuente: Cuencas Hidrográficas: Bases Conceptuales – Caracterización – Planificación – Administración.

En referencia a este cuadro, las microcuencas del río Patate se establecen así:

- 11 microcuencas con tendencia alta a crecidas
- 31 microcuencas con tendencia media a crecidas
- 19 microcuencas con tendencia baja a crecidas
- 6 microcuencas con tendencia muy baja o nula a las crecidas

2.7.4. LONGITUD DE LOS DRENAJES

Para determinar esta característica lineal, se acude a la fuente oficial de generación de cartografía en el país, el IGM. La información de ríos simples y dobles está a disposición del público en general a través de su página web, desde donde se la descargó, de acuerdo a las cartas que abarcan el área de estudio. Es importante mencionar que la escala de los ríos simples y dobles generados por el IGM es 1:50.000, lo cual concuerda con la escala del presente estudio.

Cada carta descargada constituía un archivo .shp diferente, por lo cual se procedió a unir los 17 shapes en uno solo mediante la herramienta *merge*. Con un solo archivo de ríos se pudo manipular la información de una forma adecuada, seleccionado todos los elementos hidrográficos al interior de cada microcuenca, para finalmente encontrar la longitud de los drenajes por cada unidad de estudio.

El simple valor de la longitud de los causes no indica nada relevante y es por ello que además se hallará la densidad de drenaje.

- **Densidad de Drenaje**

Es la relación que existe entre la longitud total de los causes al interior de una microcuenca y el área total de la misma.

Este indicativo da la pauta para comprender la respuesta hidrológica de una cuenca ante la precipitación, o medir el grado de relación de las microcuencas con la geología, topografía o el tiempo de salida del escurrimiento superficial (LONDOÑO, 2001). Sin embargo estos no son temas del presente estudio, por lo cual se indicará únicamente que tan bien o mal drenadas se encuentran las entidades hidrográficas, en base al cálculo de este indicador.

$Dd = L/A$

En donde:

L: longitud total de las corrientes de agua, en Km
A: área total de la entidad hidrográfica, en Km^2

La Dd generalmente oscila entre 0.5 Km/Km^2 para entidades hidrográficas con un drenaje pobre, hasta 3.5 Km/Km^2 para unidades hidrográficas muy bien drenadas (MONSALVE, 1999).

Es importante también mencionar, que según LONDOÑO (2001), basado en estudios de diagnóstico y planificación de cuencas hidrográficas realizados por la Universidad de Tolima, estableció categorías más específicas para determinar la calificación de la densidad de drenaje. Se lo hizo de la siguiente manera: valores menores a 1.5 Km/Km^2 para sistemas de drenaje deficientes, valores entre 1.5 y 3.0 Km/Km^2 para condiciones medias en su sistema de drenaje y valores mayores a 3.0 Km/Km^2 para indicar que el sistema tiene una alta densidad de drenajes.

Como lo establecido por LONDOÑO (2001), posee intervalos de clase bien definidos, se presenta en la tabla 4 los valores de densidad de drenaje de las microcuencas en estudio, de acuerdo a estas tres categorías.

Tabla 4. Valor y nivel de la densidad de drenaje de las microcuencas en estudio

Nombre de la microcuenca	Código	Valor Dd	Categoría Dd
RIO MOCHA	7601047	1,00	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA PILCO	7601048	1,23	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA HUAYAMA	7601049	1,05	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA TINAJILLAS	7601050	0,79	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA GUALACUCHO	7601015	0,85	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA LEITILLO	7601016	1,17	Unidad con deficiencia de drenajes
RIO BLANCO	7601045	1,12	Unidad con deficiencia de drenajes
RIO COLORADO	7601033	1,06	Unidad con deficiencia de drenajes
RIO BLANCO	7601034	0,97	Unidad con deficiencia de drenajes
RIO PIJIHUAYCU	7601027	1,01	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA PATALO	7601038	0,92	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA ASHPACHACA	7601039	0,93	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA QUICHIBI	7601040	1,08	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA TOALLO	7601044	0,61	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA TERREMOTO	7601046	0,92	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA CATEQUILLA	7601051	0,58	Unidad con deficiencia de drenajes

QUEBRADA OTOYATA	7601035	1,00	Unidad con deficiencia de drenajes
RIO CALAMACA	7601036	1,08	Unidad con deficiencia de drenajes
RIO PUMAGUA	7601041	0,87	Unidad con deficiencia de drenajes
RIO CASAHUALA	7601042	1,27	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA CHURUHUAYCU	7601043	1,40	Unidad con deficiencia de drenajes
RIO CORAZON	7601052	0,96	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA TILITUZA	7601032	0,88	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA ACHUPALLAS	7601029	1,20	Unidad con deficiencia de drenajes
RIO MILIN	7601026	0,80	Unidad con deficiencia de drenajes
RIO QUILLOPACCHA	7601053	1,30	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA CUCHIGUASI	7601028	1,09	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA CASCA	7601030	1,26	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA ROSA PEÐA	7601019	1,21	Unidad con deficiencia de drenajes
RIO ILLUCHI	7601054	0,95	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA BOTONSILLO	7601010	1,47	Unidad con deficiencia de drenajes
RIO TULUGCHI	7601009	1,26	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA EL POZO	7601006	1,45	Unidad con deficiencia de drenajes
RIO SAQUILAMA	7601005	1,35	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA CUILCHE	7601002	1,34	Unidad con deficiencia de drenajes
RIO DE ACCHI	7601012	1,42	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA PALAHUAYCU	7601013	0,77	Unidad con deficiencia de drenajes
RIO PATOA	7601017	1,20	Unidad con deficiencia de drenajes
RIO ISINCHE	7601018	0,83	Unidad con deficiencia de drenajes
RIO NAGSICHE	7601020	1,15	Unidad con deficiencia de drenajes
RIO ZAMORA	7601021	1,39	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA TRAJAGUASHA	7601023	1,30	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA CHIRINCHE	7601024	0,85	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA SAN FRANCISCO	7601031	0,97	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA PONDOA	7601055	1,10	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA EL CARNICERO	7601014	1,09	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA COMPAÐIA	7601022	1,45	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA QUILIMBULO	7601007	0,46	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA PILACOTO	7601056	0,83	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA TALATA	7601025	1,05	Unidad con deficiencia de drenajes
RIO PASSUA	7601057	1,43	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA CHINILOMA	7601058	1,28	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA CUBILLIN	7601060	1,38	Unidad con deficiencia de drenajes
MICROCUENCA S/N	7601061	1,01	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA LLANCHUNGA	7601062	0,88	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA CHITAHUAYCU	7601064	1,01	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA PANTEON	7601065	1,25	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA SHAHUANSHI	7601066	1,40	Unidad con deficiencia de drenajes
QUEBRADA MOREJON	7601067	1,31	Unidad con deficiencia de drenajes

QUEBRADA YATZAPUZA CHICO	7601059	1,93	Unidad con mediana red de drenajes
RIO ALAQUES	7601008	1,54	Unidad con mediana red de drenajes
RIO CUTUCHI	7601001	2,57	Unidad con mediana red de drenajes
RIO BLANCO	7601003	1,78	Unidad con mediana red de drenajes
QUEBRADA CHIRIACU	7601004	1,89	Unidad con mediana red de drenajes
QUEBRADA PUCA HUAYCU	7601011	1,52	Unidad con mediana red de drenajes
QUEBRADA PURUCHACA	7601063	2,15	Unidad con mediana red de drenajes
DRENAJES MENORES	7601037		No aplica

Fuente: MAGAP; 2000, IGM; 2012
Diseño: Palacios F.; 2013

Lo que es realmente notable es que ninguna microcuenca tenga un alto nivel de drenajes, y apenas siete microcuencas sean las que tienen una red media de drenajes, las cuales nacen del Cotopaxi y los Ilinizas, que se ubican en la cabecera de la subcuenca del río Patate.

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN METEOROLÓGICA

Los elementos meteorológicos a ser analizados son la precipitación y la temperatura del aire. Con el análisis de estos dos componentes meteorológicos, se llega a tener un diagnóstico bastante representativo del área de estudio en este tema, con lo cual se puede evaluar la bondad o dificultad que presentaría este territorio para el establecimiento de actividades supeditadas a estos dos elementos.

3.1. RECOPILACIÓN DE DATOS METEOROLÓGICOS

La recopilación está orientada a obtener los datos que correspondan a los elementos y superficie estudiada, en este caso serán tanto al interior como al exterior de la cuenca en

cuestión. Esta tarea se la debe asumir con gran sensatez ya que sobre ella descansarán las posteriores etapas del presente estudio.

En esta fase la fuente primaria de obtención de datos es el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Gracias al convenio de cooperación institucional entre el INAMHI y el ex CLIRSEN (Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos) ahora Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), fue factible acceder a la información histórica de las estaciones meteorológicas, la cual se compone de datos estadísticos mensuales y anuales presentados en anuarios.

Los valores anuales se los puede hallar cuando se dispone de los valores de los doce meses, con los cuales se consigue las medias anuales en el caso de la temperatura y las sumas anuales para el caso de las precipitaciones.

Las series de datos ideales para trabajar y obtener los productos deseados, deben tener por lo menos 30 años de registros, según recomienda la Organización Meteorológica Mundial (OMM), para que los resultados sean los más fidedignos en concordancia a la realidad. En vista de que en nuestro país muchas de las estaciones no cuentan con este período prolongado de recolección de datos, el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD), por sus siglas en francés, sugiere como base un lapso mínimo de diez años, para tratar y obtener productos meteorológicos en nuestro medio (ALMEIDA, 2010).

Según ALMEIDA (2010), las estaciones que recogen estos datos son de varios tipos, las cuales son: Climatológica Principal (CP), Climatológica Ordinaria (CO), Aeronáutica (AR), Pluviométrica (PV) y Pluviográfica (PG). Revisando el archivo en formato Excel facilitado por el IEE, de autoría del INAMHI, se distinguen al interior de la subcuenca este tipo de estaciones, y adicionales a ellas se encontraron dos terminales tipo AN, dos Agrometeorológicas (AP) y una Climatológica Especial (CE).

El archivo mencionado contenía estaciones tanto meteorológicas como hidrológicas a nivel nacional con sus respectivas coordenadas en proyección UTM WGS84 Zona 17 S, por consiguiente se pudo espacializar la información en el interfaz de ArcMap mediante la herramienta *Add XY Data.* Para localizar únicamente las estaciones con las cuales se va a trabajar, primeramente se amplía el área de la subcuenca, utilizando la herramienta *Buffer*, con lo cual se incluye en el estudio, las estaciones que se hallen en un rango de 10 Km al exterior del límite de la subcuenca, esto con el propósito de obtener resultados más cercanos a la realidad al interior de la subcuenca.

Al realizar estas operaciones se obtienen 77 estaciones incluidas en esta nueva área provisional de estudio.

Este número de estaciones se va a modificar el momento que se examine la información recopilada por cada una de ellas, debido a que una o varias de estas estaciones, no cumplirá con el período mínimo de registros anuales establecido en diez años según lo ya mencionado por el IRD, y adicional se puede presentar variaciones pequeñas o importantes en cuanto a las coordenadas de las estaciones proporcionadas por el INAMHI, lo cual se verificará en campo de forma puntual, tomando en consideración la cantidad de estaciones y su relevancia, la accesibilidad, la distancia y en consideración al tiempo que se emplea para realizarlo.

En el instante que se disponga de datos primarios y secundarios suficientes, es factible comenzar con el procesamiento de los mismos, por lo cual el siguiente paso es la verificación de campo de las estaciones consideradas en primera instancia.

3.2. INSPECCIÓN DE CAMPO DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Para constatar la ubicación de las estaciones meteorológicas en el campo, primeramente se determinó a través de la información histórica de las mismas, las estaciones que se

encontraban en funcionamiento según la información proporcionada por el INAMHI, y en base a esta revisión se pudo observar que veinte estaciones se encontraban en operación hasta el año 2009, fecha de corte para el procesamiento de los datos por parte de la institución.

Con esta depuración preliminar, se visito de preferencia las estaciones efectivamente al interior de la subcuenca, que representa el 75% de las mismas, ya que estas estaciones son las de mayor importancia para el estudio. Las estaciones ubicadas en los aeropuertos tanto de Latacunga como de Ambato, no fueron visitadas para su verificación ya que el acceso a las dependencias de las terminales aéreas en general no es sencillo, y posiblemente se necesite recurrir a trámites y permisos.

En resumen fueron visitadas once de las veinte estaciones, las restantes nueve no se constató su ubicación y funcionamiento debido a la distancia para llegar a las mismas o por que se encontraban dentro de los 10 kilómetros fuera del límite de la subcuenca; esto no quiere decir que no sean importantes estas estaciones, simplemente se estableció como prioridad las ubicadas dentro de la subcuenca del río Patate.

A continuación se presenta la tabla 5. que indica la diferencia aproximada en metros entre las coordenadas de las estaciones originales y de las visitadas en campo.

Tabla 5. Diferencia euclidiana entre las estaciones originales y las visitadas en campo.

Estaciones visitadas	Coordenada levantada X	Coordenada levantada Y	Diferencia en línea recta con las Est. Originales (metros)
M004 – RUMIPAMBA-SALCEDO	767698	9887154	346
M029 – BAÑOS	787135	9845977	200
M126 – PATATE	777164	9855221	1390
M127 – PÍLLARO	772086	9870292	418
M128 – P. F. CEVALLOS	765640	9849975	473
M258 – QUEROCHACA-UTA	766445	9848763	4400
M369 – CUSUBAMBA	755655	9881486	677
M371 – PASTOCALLE	764057	9920149	661
M375 – SAQUISILÍ	760040	9907665	357
M376 – PILAHUÍN	752340	9856003	201
M377 – TISALEO	759221	9850849	582

Fuente: IEE; 2012
Diseño: Palacios F.; 2013

Las diferencias que se muestran en la tabla 5, indica que las coordenadas tomadas por el INAMHI datan de mucho tiempo atrás, ya que no se puede hablar realmente de una precisión en la ubicación de las estaciones. Los puntos ubicados en campo concuerdan mejor con la realidad en el terreno, ya que al ubicarlos en el interfaz de ArcMap junto con las cartas topográficas escaneadas, indican una mejor coincidencia con los lugares donde efectivamente se encuentran las estaciones meteorológicas.

Para tener una idea clara de las estaciones que se ubicaron en campo, a continuación se exponen los dos tipos más comunes que se encuentran distribuidas en la subcuenca y en general en el país. Ver fotografías 1 y 2.

Fotografía 1. Estación Climatológica Ordinaria (CO).



Autor: Palacios F.
Lugar y fecha: Patate, cabecera cantonal; noviembre 2012.

Esta estación se encuentra ubicado al interior del colegio Benjamín Araujo, la cual tiene varios instrumentos para monitorear los diferentes elementos del clima como la temperatura, precipitación, viento, evaporación y otros más.

La ubicación de esta estación se encontraba originalmente a medio camino rumbo a la cumbre de la elevación que se localiza al fondo a la izquierda de la fotografía 1.

Fotografía 2. Estación Pluviométrica (PV).



Autor: Palacios F.
Lugar y fecha: Pilahuín, cantón Ambato; noviembre 2012.

La fotografía 2. muestra la estación pluviométrica, la cual únicamente toma registros de precipitación, misma que es receptada por la abertura circular superior, para depositarla en un recipiente interno graduado que permite realizar lecturas de la cantidad de lluvia precipitada (APARICIO, 1999). En contraposición a la estación de Patate, la estación de Pilahuín distaba del registro original de su ubicación, en aproximadamente 200 metros en línea recta, lo que se puede considerar como una diferencia menor.

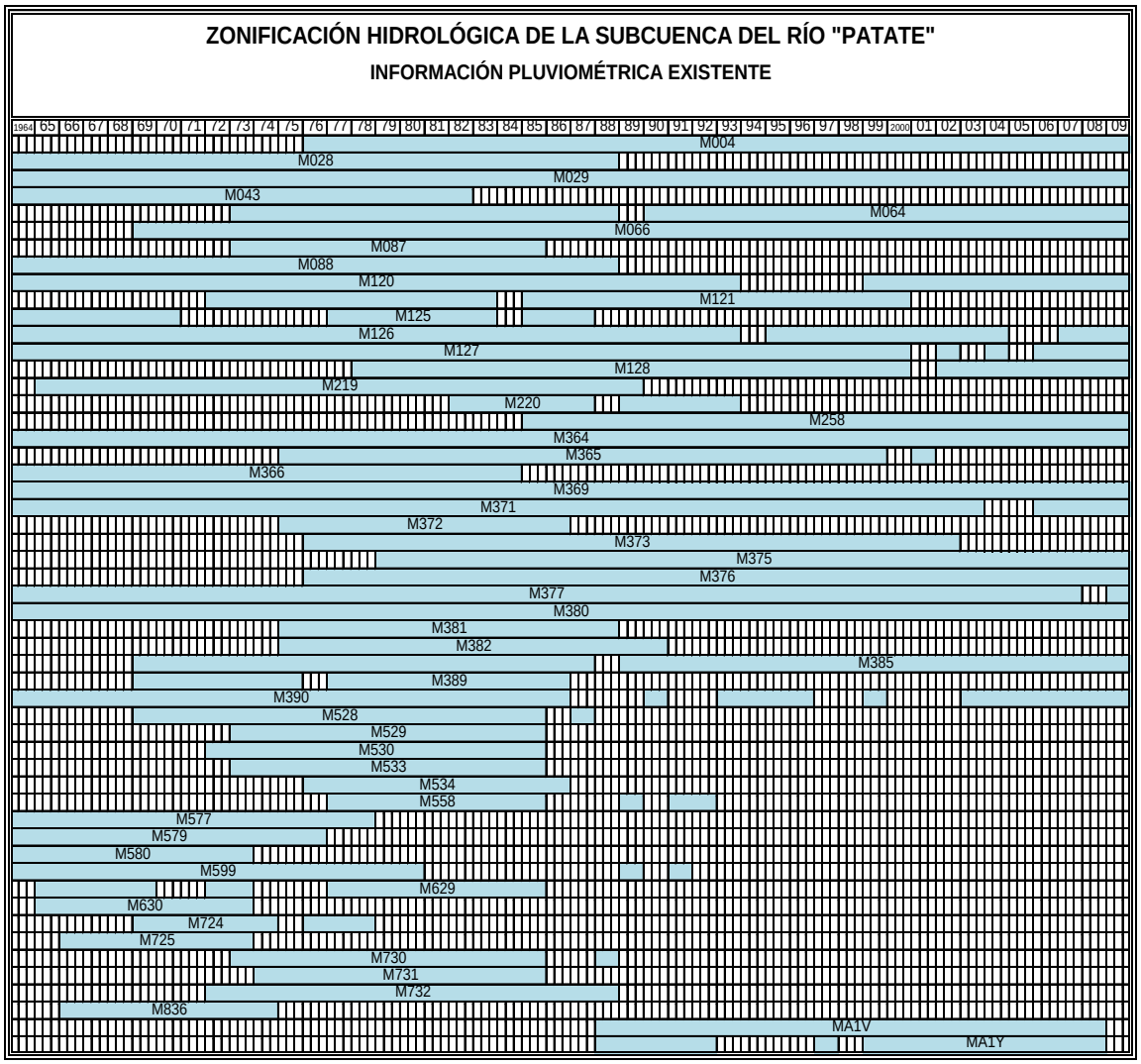
En conclusión, se puede anotar que la fase de campo es aconsejable realizarla cuando se presentan las condiciones propicias para ejecutarla, ya que esto posibilita levantar información primaria y además rectificar datos o información que por cualquier motivo fueron detectados como erróneos, deficientes o incompletos.

3.3. PROCESO Y CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS METEOROLÓGICOS: PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA

Con los datos levantados en campo y la información histórica de las estaciones meteorológicas consideradas para el presente estudio, es factible empezar a tratar los datos para determinar, en primera instancia, el periodo general de análisis, en base al lapso de tiempo de los registros que posea cada estación. Es importante señalar que la información que fue otorgada por el INAMHI, se encuentra actualizada al año 2009; por otro lado, la información publicada en el portal web del INAMHI, de igual forma estaba actualizada hasta el año 2009 en el momento en que se recopiló la información; en consecuencia, el año que se tomará en consideración como tope para el período de estudio es el 2009, pese a que en la actualidad ya se encuentra publicado en la web los anuarios meteorológicos e hidrológicos a nivel nacional del año 2010.

Tras esta aclaración, se expone a continuación los periodos de registro de datos de cada estación, de las cuales se dispone de información.

Tabla 6. Registro de datos de precipitación por estación en el área de estudio.



Fuente: IEE; 2012
Diseño: Palacios F.; 2013

En la tabla 6. se observa que el período de información sobre el cual fueron evaluadas las estaciones, empieza en el año 1965, esto según LUCERO (2012), se debe a que en el país existía muy pocas estaciones meteorológicas a inicios de los años sesentas (aproximadamente 120), lo que dificultaba un adecuado monitoreo de los diferentes elementos del clima. En vista de la carestía de estaciones, a partir del año 1965 se empieza a instalar varias estaciones a lo largo del país, y al año 2009, el INAMHI identifica 1178 estaciones meteorológicas, muchas de las cuales ya no están en funcionamiento, como se puede observar en la tabla anterior. Con este aumento en la

densidad de estaciones desde el año 1965, se puede realizar estudios meteorológicos de precipitación y temperatura del aire que arrojen resultados más acordes a la realidad.

3.3.1. PRECIPITACIÓN

De acuerdo a la tabla 6 y el enunciado previo, se establece que los datos necesarios para llegar a obtener la precipitación media de la zona de estudio, se fija en el periodo 1965 – 2009. Conforme a este espacio macro de análisis, las estaciones que posean registros de diez o más años completos (que posean datos de mínimo 9 meses en el año), serán tomadas en cuenta para el análisis de la precipitación. Este requisito lo cumplen 44 estaciones, sin embargo también fueron tomadas en consideración nueve estaciones que no cumplen con la condición establecida, en razón de que se encuentran ubicadas en las márgenes tanto interior como exterior del límite de la subcuenca en estudio; en consecuencia, estos registros tienen un valor significativo, ya que a excepción de la estación Agoyán en la Represa, las restantes ocho, se ubican sobre los 3200 msnm., donde la precipitación es captada en buena magnitud por el ecosistema páramo, que es el almacenador nato y regulador de las fuentes de agua que se dirigen hacia tierras bajas.

En suma se han considerado 53 estaciones para el análisis de la precipitación en la subcuenca del río Patate. Estas terminales se las segregó en principales y secundarias de la siguiente manera:

- Se considera estación principal cuando posee registros de precipitación de 10 o más años completos (mínimo 9 meses en el año) y que se encuentre en el periodo 1985 – 2009.
- Estación secundaria será cuando posea registros de precipitación de 10 o más años completos (mínimo 9 meses en el año) y que se encuentre en el periodo 1965 – 1985.

La razón de esta discriminación se debe a la necesidad de trabajar con la mayor cantidad de información posible, y esto se logra empleando tanto los registros antiguos considerados de apoyo, como los más recientes considerados principales. Si únicamente se utilizara la información de las estaciones principales (lo ideal), que son en menor número que las de apoyo, la información interpolada resultante sería menos real que la obtenida incluyendo las estaciones de apoyo.

De estos dos grupos de estaciones, solamente se rellena los datos faltantes de las 24 terminales principales, mediante el promedio mensual de los datos históricos del mes correspondiente. En el momento que se tiene las series de datos completa, se calcula el promedio de precipitación de cada mes dentro del periodo considerado, que en este caso abarca 25 años (1985 – 2009). La precipitación media de las estaciones de apoyo se la obtiene mediante el mismo proceso anterior, pero a partir del año 1965 en adelante.

Finalmente la precipitación media multianual de cada estación se halla al sumar el promedio de precipitación de todos los meses del año. Con este valor por estación y las coordenadas de las mismas, se tiene los insumos necesarios para poder representar esta información de forma cartográfica.

3.3.2. TRAZO DE ISOYETAS

Para tener un trazado de isoyetas, en primer lugar la información que se trató en Excel se la importa a la interfaz ArcMap mediante la herramienta *Add XY Data* y seguidamente este archivo provisional se lo exporta para obtener un archivo .shp, que es el archivo nativo de la de plataforma ArcGIS.

Este nuevo archivo vector, geométricamente punto, contiene varios campos, pero el más importante para elaborar las isoyetas es la precipitación media de cada estación.
Siendo así, a continuación se va a obtener un archivo raster mediante la herramienta *topo to raster*, la cual interpola la información de precipitación la mayor distancia posible teniendo en cuenta cada una de las estaciones consideradas. De esta forma no se tiene información puntual de precipitación en la subcuenca, por el contrario, el producto es una red de pixeles de 50 metros por lado, donde cada pixel tiene información de precipitación a lo largo y ancho de toda la subcuenca.

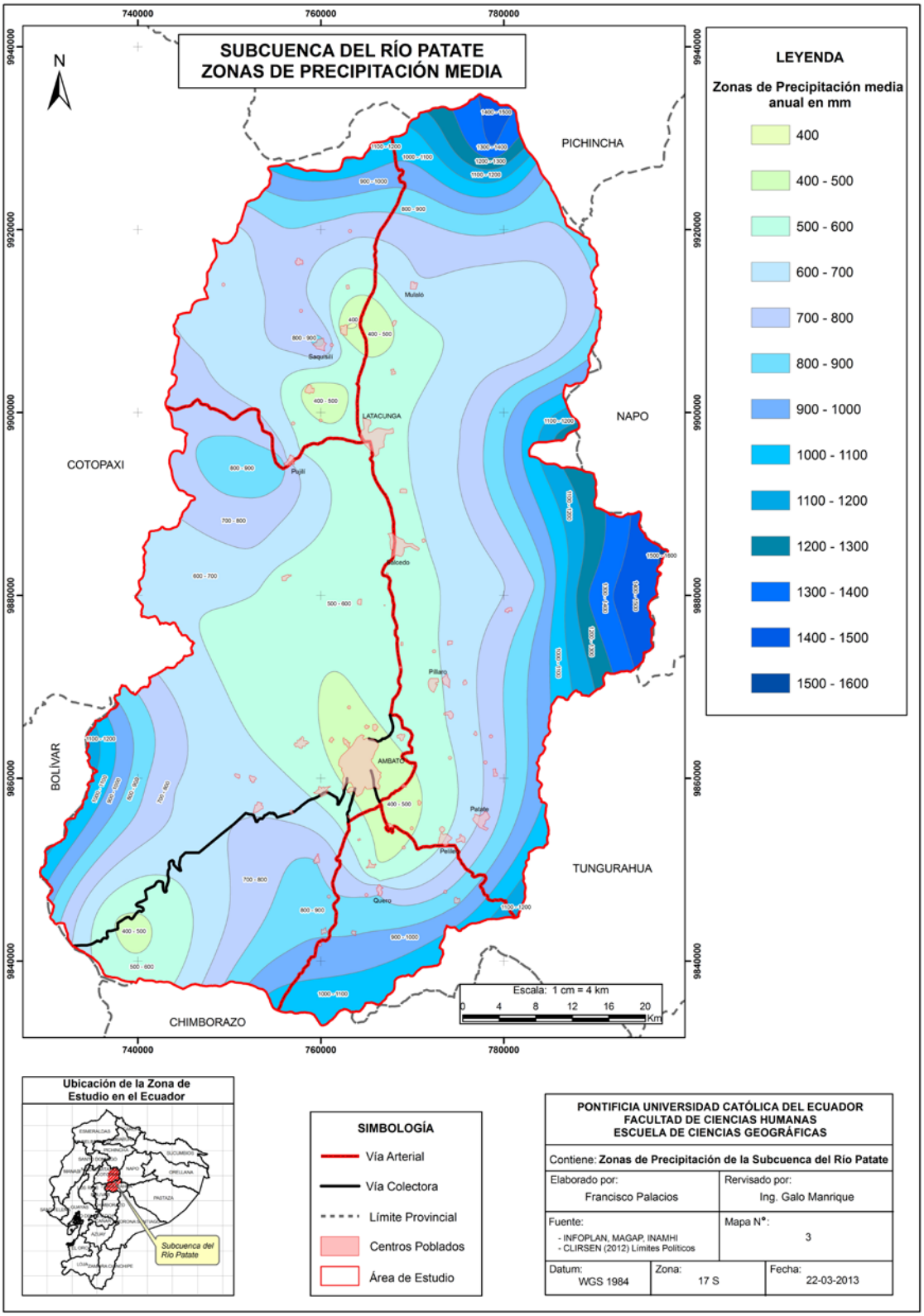
Al aplicar esta herramienta se tiene el mejor ejemplo para usar la mayor cantidad de estaciones posible, ya que al tener más puntos para ejecutar la interpolación, menor será el grado de imprecisión del archivo resultante.

Con este archivo raster de precipitación, se genera un archivo vector de líneas mediante la herramienta contour, la cual permite generar líneas de igual precipitación (isoyetas) de acuerdo al intervalo que el usuario desee. Para el presente estudio se escogió un intervalo de 100, lo que quiere decir que se generará una isolínea de precipitación cada 100 milímetros de lluvia.

Con el producto final que son las isoyetas, solamente se las debe circunscribir al área de estudio, ya que al haber utilizado varias estaciones hasta 10 kilómetros a la redonda de la subcuenca del río Patate, las isoyetas se encuentran generadas hasta esa distancia. Este proceso lo ejecuta la herramienta clip para producir el resultado deseado.

Una isolínea de precipitación (isoyeta), es un valor que no representa fielmente una cantidad específica de lluvia a lo largo de esa línea, aunque en teoría eso simboliza. Para no dar esa rigidez que un solo valor implica, el trazado de las isoyetas se lo ha representado en rangos de precipitación, lo cual da una caracterización más propia del tema tratado. El resultado se lo puede ver en el mapa 3.

Mapa 3. Zonas de precipitación de la subcuenca del río Patate



3.3.3. TEMPERATURA

Este elemento meteorológico es valorado por los termómetros, los cuales se encuentran solamente en estaciones climatológicas, agrometeorológicas y aeronáuticas. Para obtener estas estaciones, simplemente se excluye las estaciones pluviométricas y pluviográficas, exclusivas para registrar precipitación, y se obtiene las estaciones efectivas para el análisis de la temperatura del aire, que para el presente caso, son 19 estaciones entre los tres tipos ya mencionados.

Se establece el periodo de análisis, a la par de la precipitación, desde el año 1965 hasta el 2009, con lo cual se logra homogeneidad temporal en el presente estudio y además se puede obtener resultados y conclusiones complementarias entre los dos temas.

En cuanto al requerimiento anual de registros por cada estación, se sigue el mismo patrón que para el caso de la precipitación, que tiene como base diez o más años completos (mínimo 9 meses en el año), para que la estación sea considerada en el análisis de temperatura del aire. Al revisar los registros históricos, se separan tres estaciones por no cumplir con el requisito necesario de datos, estas son: Mariscal Sucre INAMHI, Pujilí hacienda y Agoyán; con lo cual el saldo de estaciones fijo para el análisis se restringe a 16 estaciones.

A continuación se dispone las estaciones en principales y de apoyo, en idéntica distribución temporal a la efectuada con los datos de precipitación. Al realizar este paso se ve que las estaciones principales son más que las de apoyo, en una relación de 3 a 1.

En cuanto al relleno de datos, se procede de manera distinta, ya que para el caso de la temperatura del aire no se realiza ningún relleno en los registros, debido a que el cambio en los valores de temperatura entre la época lluviosa y la época seca no es tan marcado

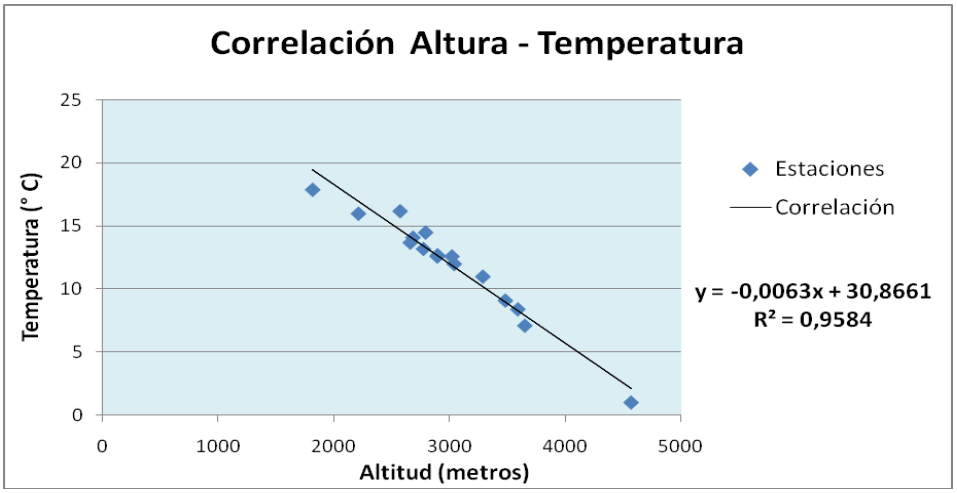
como en los valores de la precipitación, donde es más fácil darse cuenta la diferencia en volumen del agua precipitada mes a mes.

Como último paso similar a los efectuados en el cálculo de la precipitación, se halla el valor promedio de la temperatura mes a mes, conforme al periodo considerado previamente, tanto para las estaciones principales como las de apoyo. Con la media de temperatura de cada mes se calcula finalmente la media general por cada estación.

En este punto es conveniente referirse a lo mencionado por MONSALVE (1999), que señala que la distribución vertical de la temperatura en la tropósfera varía aproximadamente en 0.65 °C por cada 100 metros, lo cual da la pauta para encontrar una relación lineal entre la temperatura media de cada estación y su respectiva altura respecto del nivel del mar.

Como las dos variables que se analizan son conocidas, se efectuó dicha relación en una hoja de cálculo, obteniéndose el gráfico 4. a continuación.

Gráfico 4. Correlación altura – temperatura de las estaciones consideradas.



Fuente: IEE; 2012
Diseño: Palacios F.; 2013

El factor de correlación mientras más cercano se encuentre a la unidad evidencia una correlación más directa entre las variables representadas. Este valor se encuentra elevado al cuadrado en el gráfico, y aplicando la raíz cuadrada da como resultado 0.9789, lo que denota una correlación muy evidente y estable.

Como lo que se desea es encontrar la altura por cada grado Celsius, se debe despejar la variable *X*, para ir remplazando la variable *Y* por cada grado en aumento o decrecimiento, y así determinar cada cuantos metros se incrementa o disminuye la temperatura.

Despejando la variable *X* de la fórmula del gráfico, se tiene:

$X = (Y - 30.8661)/ -0.0063$

Para ejemplificar la correlación, se hallará la altura a la que teóricamente se tendría cero grados Celsius.

$X = (0 - 30.8661)/ -0.0063$

$X = - 30.8661 / -0.0063$

X = 4899. 4 metros

Ahora, la tabla 7., muestra la variación de la altura cuando se aumenta grado a grado la temperatura en la fórmula de correlación encontrada.

Tabla 7. Valor de altura por cada grado Celsius según la correlación.

TEMPERATURA (° C)	ALTURA POR GRADO POR LA CORRELACIÓN (m)	VARIACIÓN ALTITUDINAL POR GRADO (m)
-8	6169	159
-7	6010	159
-6	5852	159
-5	5693	159
-4	5534	159
-3	5376	159
-2	5217	159
-1	5058	159
0	**4899**	159
1	4741	159
2	4582	159
3	4423	159
4	4264	159
5	4106	159
6	3947	159
7	3788	159
8	3630	159
9	3471	159
10	3312	159
11	3153	159
12	2995	159
13	2836	159
14	2677	159
15	2518	159
16	2360	159
17	2201	159
18	2042	159

Fuente: IEE; 2012
Diseño: Palacios F.; 2013

La variación altitudinal por cada grado es la misma, debido a que en la fórmula de la correlación despejada, únicamente aumenta o disminuye el numerador en la unidad de forma constante, con lo cual la altura encontrada por cada grado también varía de forma constante.

La altura encontrada por cada grado es solamente referencial porque las condiciones orográficas son cambiantes en el territorio y las atmosféricas varían a cada momento y en diferentes formas, por lo que no es adecuado indicar, por citar un ejemplo, que a los 2042 msnm. se tiene una temperatura de 18 ° C. Los valores de altura son aproximados, y para poder ilustrar de mejor manera la fluctuación de la altura, se hará coincidir las alturas de cada grado con las curvas de nivel, ya que estas últimas varían cada 40 metros a escala 1:50.000. Entonces tomando como referencia la altura encontrada a los 18 ° C, que es 2042 msnm., se la ajustará a la curva de nivel de 2040 msnm., y desde este punto se le sumará, no 159 metros, sino 160 metros para que todas las alturas de cada grado se ajusten a las curvas de nivel. De esta forma se obtiene la tabla 8.

Tabla 8. Curvas de nivel para cada grado Celsius de temperatura.

CURVAS DE NIVEL (m)	TEMPERATURA (° C)
2040	18
2200	17
2360	16
2520	15
2680	14
2840	13
3000	12
3160	11
3320	10
3480	9
3640	8
3800	7
3960	6
4120	5
4280	4
4440	3
4600	2
4760	1
4920	0
5080	-1
5240	-2
5400	-3
5560	-4
5720	-5
5880	-6
6040	-7

Fuente: IEE, IGM; 2012
Diseño: Palacios F.; 2013

Al disponer de la altura por cada grado Celsius y las curvas de nivel, se puede representar cartográficamente como fluctúan estas dos variables: altura y temperatura.

3.3.4. TRAZO DE ISOTERMAS

Quedó muy claro el vínculo entre la altura y la temperatura, y en consecuencia se utilizará como primer insumo para este producto las curvas de nivel. Como se necesita únicamente las que se encuentran al interior de la subcuenca en estudio, entonces son cortadas.

Ahora se toma como referencia la tabla 7, y se seleccionan todas las curvas de nivel que coincidan con cada uno de los valores de temperatura para generar un nuevo archivo .shp (shape) mediante el comando *export data*. Esta acción permite trabajar solamente con las curvas de nivel de interés.

Este nuevo archivo debe ser depurado y editado por tres razones:

- Existe una gran cantidad de curvas de nivel cerradas que aparentemente forman polígonos (especialmente en las partes altas) y son de magnitudes muy pequeñas. Estas curvas no aportan de forma significativa para obtener el mapa de isotermas de la subcuenca, por lo que serán eliminadas. Una razón adicional para suprimir estas curvas es la escala de representación, la cual no permite visualizar entidades muy pequeñas, en especial cuando el área de estudio es bastante grande.

- Al observar una curva de nivel en específico, supuestamente es una sola línea continua, lo cual no es así. Una curva de nivel, especialmente cuando tiene una longitud considerable, está compuesta de varias entidades, las cuales deben

unirse para formar una sola entidad. Este proceso es fundamental para elaborar los rangos de temperatura a partir de las isolíneas de temperatura.

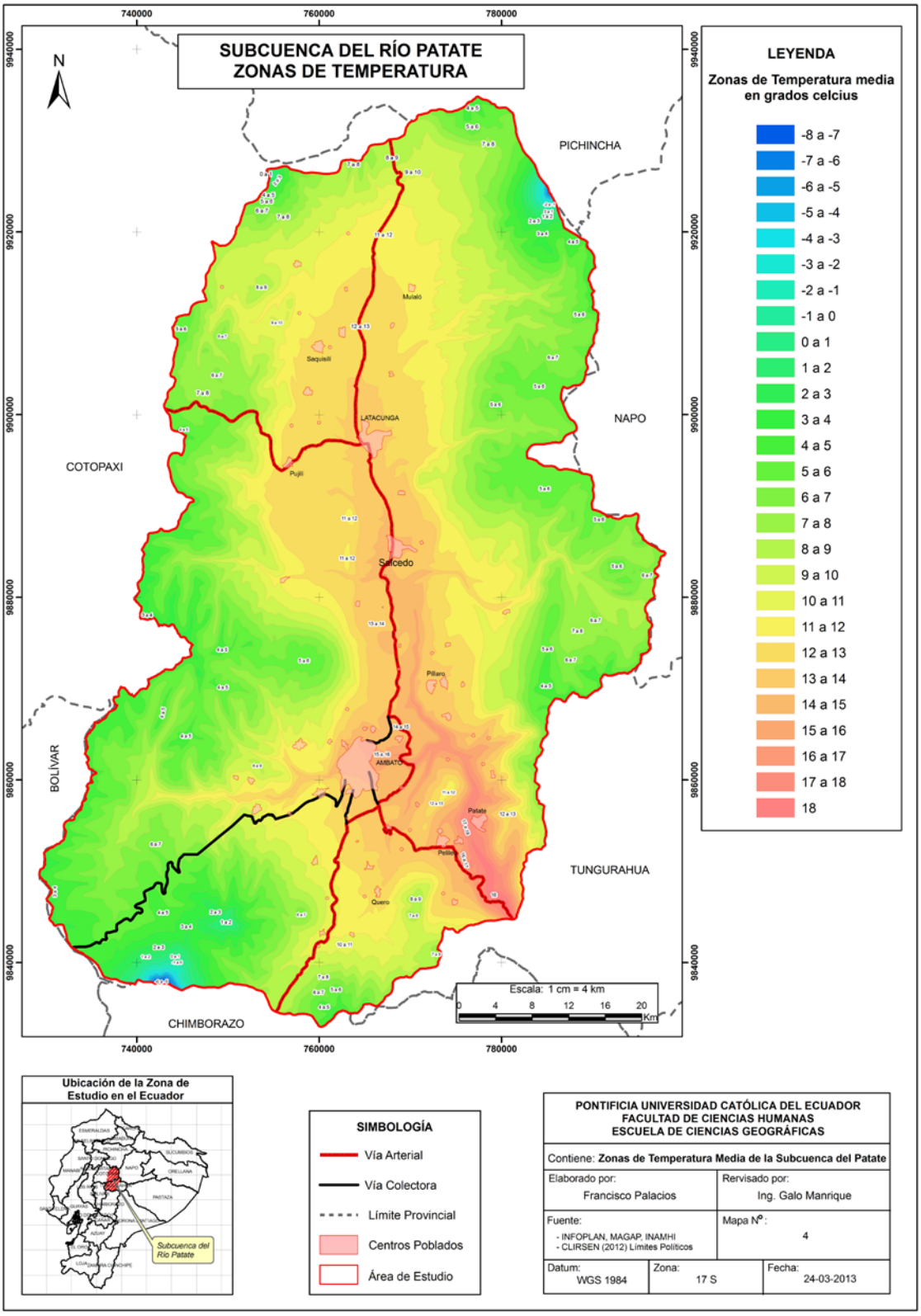
- El momento en que las curvas de nivel son cortadas con el límite de la subcuenca, se generan curvas muy pequeñas, a veces imperceptibles, en las cercanías del límite, las cuales deben omitirse para no generar espacios muy pequeños de información que no contribuyen en la generación de las isotermas por las razones expuestas en el primer punto.

Tras estas acciones se tiene un archivo de mejor calidad en referencia al producto que se desea alcanzar y que tiene un número de registros menor lo que facilita la manipulación del mismo.

Ahora se procede a suavizar las curvas de nivel mediante la herramienta *smooth line* para obtener una representación mucho más agradable y lograr un mejor entendimiento del tema. Si se representa las isotermas con las curvas de nivel originales, se da lugar a interpretar que la temperatura por cada grado, tiene una distribución extremadamente irregular, lo que en el terreno no sucede así, más acertado es ilustrar esta distribución teniendo en cuenta que no se puede poner límites fijos a este elemento meteorológico en especial, a sabiendas de que en la naturaleza los cambios implican un periodo de transición en muchos casos.

Las curvas suavizadas ya pueden ser representadas como isotermas, pero al igual que en la precipitación, se muestran en rangos para demostrar que en ese espacio la temperatura varía entre uno y otro valor, como se ilustra en el mapa 4. a continuación.

Mapa 4. Zonas de temperatura de la subcuenca del río Patate



Con este mapa y el de isoyetas se puede diagnosticar, al menos de forma atmosférica, los requerimientos para la implantación de cierta actividad productiva que dependa en gran parte de estos dos elementos meteorológicos, y así evaluar cuan viable resulta poner en marcha la actividad en cuestión.

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

4.1. RECOLIPACIÓN Y PROCESO DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

Para poder abordar este tema, es necesario colectar los registros históricos de las estaciones hidrográficas, los cuales constan en anuarios hidrológicos que permitirán hallar los caudales medios previa la depuración y relleno de datos. Esta información se la obtuvo de la misma manera que la información meteorológica, a través del convenio institucional entre el INAMHI y el ex CLIRSEN, ahora Instituto Espacial Ecuatoriano.

Para esta parte del estudio se tomo en consideración únicamente las estaciones que se ubican al interior de la subcuenca, ya que los registros del nivel del cauce obtenidos por las estaciones hidrométricas, son exclusivamente del agua que es recogida al interior del parteaguas o divisoria topográfica de la subcuenca.

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en su publicación Guía de Prácticas Hidrológicas (1994), expone como una norma que las estaciones hidrométricas deberían estar en funcionamiento en al menos 10 años para que los registros tomados arrojen resultados fiables en cuanto a los parámetros analizados y las variaciones temporales que se presentan en un lapso de tiempo considerado.

La situación de las estaciones hidrológicas es similar al de las estaciones meteorológicas, ya que el lapso de recolección de datos especificado por la OMM, no cumplen un número considerable de estaciones en el país, por lo cual para el presente estudio se tomó en cuenta inclusive a las estaciones con cinco años de registros.

Los instrumentos con los cuales se mide comúnmente el nivel de agua de un cauce son los limnímetros (LM) y los limnígrafos (LG). En la actualidad se cuenta también con instrumentos automáticos (AU) para la medición del nivel de un río, sin embargo en el área de estudio no se cuenta con este tipo de instrumentos según el archivo proporcionado por el IEE.

Adicionalmente se puede indicar, que posterior a la revisión de esta información, se constató algunas inconsistencias referente a las coordenadas de las estaciones, por lo cual se acudió a una base de datos facilitada por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), la cual tenía información más actualizada de la ubicación de las estaciones hidrológicas gracias a las campañas de georeferenciación realizadas en conjunto con el ex CLIRSEN, ahora Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), bajo el convenio entre estas dos instituciones.

En similar operación a la ejecutada con las estaciones meteorológicas, se espacializó las estaciones hidrológicas el interfaz de ArcMap utilizando la herramienta *Add XY Data*. Al seccionar las estaciones al área de estudio se cuenta con un total de 28 estaciones, las cuales podrían disminuir, posterior a la revisión de la información en cuanto al periodo de registros de cada una de ellas y a la verificación en campo de las coordenadas que indica el archivo del cual se extrajo la información.

En referencia a la verificación de campo, en primera instancia se revisó el periodo de recolección de datos de cada estación, para constatar las estaciones que se encuentran en funcionamiento hasta el año 2009, fecha hasta la cual el INAMHI presentó los registros por cada estación. En consideración a la observación previa, se tiene cinco estaciones que están en operación al interior de la subcuenca, de ellas se pudo verificar dos estaciones limnimétricas que se indican en las fotografías 3. y 4. a continuación.

Fotografía 3. Limnímetro de la estación hidrométrica Río Nagsiche en Planta Eléctrica – Cusubamba (H793)



Autor: Palacios F.
Lugar y fecha: Cusubamba, Prov. Cotopaxi; noviembre 2012.

Fotografía 4. Limnímetro de la estación hidrométrica Illuchi antes de la junta con el río Cutuchi (H857)



Autor: Palacios F.
Lugar y fecha: Cantón Latacunga, Cotopaxi; noviembre 2012.

Tras la constatación de la ubicación y el estado de los limnímetros se encontró que la estación Illuchi antes de la junta con el Cutuchi (H857) tiene un desplazamiento mínimo de 13 metros en relación a las coordenadas del archivo fuente. Por su lado la estación Nagsiche Planta Eléctrica en Cusubamba (H793) difiere en 186 metros con el archivo original, lo cual puede deberse a un posible cambio de ubicación del limnímetro ya que se observó una regla numerada degradada en una posición no adecuada debajo del puente donde no alcanzaba el cauce del río, y unos metros río abajo se encontró una nueva regleta empotrada en una estructura de hormigón muy bien conservada acompañada de una tarabita, lo que indica un posible cambio de lugar del instrumento.

Esta información a manera de muestra denota una buena concordancia entre los datos de gabinete y los obtenidos en campo, por lo que a continuación se realizó la depuración de las series de datos de las estaciones consideradas para el estudio y de esta forma llegar a calcular el caudal medio.

Para que esta parte del estudio no difiera con el espacio temporal de la investigación, la sección hidrológica se la procesa en el mismo periodo de tiempo que la sección meteorológica, esto es entre los años 1965 - 2009. Con el periodo de análisis fijado se procede con el tratamiento de la información por estación.

En función del espacio de análisis establecido, las estaciones que posean registros de cinco o más años completos (9 meses como mínimo), serán tomadas en consideración para obtener los caudales medios. En razón de esta condición, de las 28 estaciones que en primera instancia se consideró, ahora restan 16 estaciones hábiles para el análisis. Adicional se debe dejar de lado tres estaciones más, ya que estas registraban, hasta el año 1975, caudales aguas abajo de lo que posteriormente sería el embalse de Pisayambo. Esta situación produjo el cese de la toma de registros en las tres estaciones, ya que en el año de 1977 entro en funcionamiento el embalse, con lo cual las mediciones del caudal tras esta obra, serían totalmente alterados e irrelevantes.

También se distinguió la existencia de dos estaciones hidrológicas que recogían datos en la bocatoma de los canales de Mulalillo y Tilulúm. Bajo similar razonamiento, estas estaciones no se las toma en consideración debido a que los datos registrados tienen valía para el riego que se proporciona en el sector, mas no para determinar el caudal medio efectivo producido por una unidad hidrográfica.

Bajo las circunstancias mencionadas, se efectuó el cálculo de los caudales medios únicamente en once estaciones al interior de la subcuenca.

4.2. CÁLCULO DE CAUDALES MEDIOS

En la mayoría de los casos, es necesario para proyectar una obra o proyecto hidráulico, conocer indicadores que muestren los niveles de variación del recurso hídrico en el espacio y en el tiempo, de tal manera que puedan tomarse decisiones acertadas en función del volumen de captación para definir si un proyecto, en primera instancia, se ejecuta o no. Si procede la realización del proyecto, esta información es de gran

importancia para estimar la ubicación del proyecto y la envergadura del mismo (ALMEIDA, 2010).

El caudal según MONSALVE (1999), se define como el volumen de escorrentía superficial medido por unidad de tiempo. Se lo expresa mediante la siguiente expresión.

$Q = V/t$

En donde:

Q: caudal, en m^3/s
V: volumen de agua, en m^3
t: unidad de tiempo considerada, en segundos

Sin embargo, el indicador adecuado para el presente estudio es el caudal específico, el cual consiste en dividir el caudal para el área de drenaje de una unidad hidrográfica.
La siguiente expresión matemática define este indicador.

$q = Q/A$

En donde:

q: caudal específico, en $m^3/s/Km^2$
Q: caudal, en m^3/s
A: área de la unidad hidrográfica, en Km^2

En primer lugar para computar los valores medios mensuales y el valor multianual de los caudales por cada estación se debe rellenar los datos faltantes, ya que a simple vista saltan algunos vacíos en las series e incluso varios años sin información que impide

continuar con el estudio debido a la falta de continuidad de los datos (ALMEIDA, 2010).

Para efectuar el relleno de la información, primeramente se separa a las estaciones en principales y secundarias de acuerdo a la consideración temporal tomada para la precipitación.

- Estación principal: registros de cinco o más años completos (9 meses como mínimo) dentro del periodo 1985 – 2009.
- Estación secundaria o de apoyo: registros de cinco o más años completos (9 meses como mínimo) dentro del periodo 1965 – 1985.

Al tener claro la distinción de las estaciones, únicamente se realiza en relleno de la información en las estaciones principales, a través de la media mensual de los registros históricos del mes correspondiente.
Realizado este paso que permite completar las series, se obtiene el promedio del caudal de cada mes para el periodo establecido, que para las estaciones principales se fijo desde 1985 hasta el 2009, y el de las estaciones de apoyo va desde el año 1965 en adelante.

El caudal medio por estación se lo encuentra calculando nuevamente la media en base a los valores medios de todos los meses del año. En la tabla 9. a continuación se presenta en resumen lo expuesto previamente.

Tabla 9. Caudales medios por estación hidrológica

CAUDALES MEDIOS ANUALES			
CÓDIGO	**ESTACIÓN**	**DENOMINACIÓN**	**PROMEDIO (m^3/s)**
H763	QDA.MULA CORRAL AJ CALAMACA	PRINCIPAL	0,696
H764	CALAMACA DJ Q.HUARCUSACHA	PRINCIPAL	1,049
H792	CUTUCHI AJ YANAYACU	PRINCIPAL	9,469
H793	NAGSICHE PLTA.ELEC.CUSUBAMBA	PRINCIPAL	1,877
H795	NEGRO AJ PUMACUNCHI	APOYO	2,364
H796	YANAYACU PTE. PUCARA	APOYO	8,517
H797	PANSACHI EN HDA. BAÑOS	APOYO	1,241
H801	AMBATO EN AMBATO	APOYO	6,507
H857	ILLUCHI AJ CUTUCHI	APOYO	0,773
H869	YANAYACU AJ MOCHA	APOYO	13,825
H954	CUTUCHI EN LASSO (DS F.ILESA)	APOYO	2,064

Fuente: IEE; 2012, INAMHI; 2012
Diseño: Palacios F.; 2013

Este valor da la pauta para determinar el área de influencia de cada estación, dicho de otra manera, permite conocer cuál es el área de drenaje que genera el caudal que es registrado por cada estación.

Tras este proceso que se realiza a continuación, se contará con las dos variables involucradas para el cálculo del caudal específico.

4.3. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS

A diferencia del número elevado de estaciones trabajadas en la sección meteorológica, para la delimitación del área de influencia de las estaciones hidrológicas se cuenta con apenas once estaciones con registros del monitoreo el agua de los cauces en una amplia superficie de la subcuenca, pero no en la totalidad de la misma. Esto ocurre ya que en la

salida de la subcuenca, antes de la confluencia del río Patate y Chambo, no se tiene una estación que registre los datos de niveles y caudales.

En virtud de lo mencionado por LONDOÑO (2001), el cual indica la estrecha relación existente entre la precipitación y la altura, lo cual trae consigo de forma implícita, la relación y dependencia de los caudales en función de la variabilidad de las precipitaciones. La interrelación entre estos factores es muy útil para estimar el caudal de la sección de la subcuenca que no está cubierta por una estación hidrológica. A más de los factores mencionados, también se toma como referencia la permeabilidad del suelo, que no escapa a estas interrelaciones, interviniendo mediante la retención del agua a través de la infiltración en mayor o menor medida. En definitiva actúa como un regulador del volumen de agua lluvia que llega hacia los cauces.

Bajo los enunciados generales previamente citados, se encontró el caudal medio teórico para la sección no monitoreada, que se extiende desde la altura de Salcedo al norte, abarcando todas las cabeceras cantonales de la provincia de Tungurahua dentro del área de estudio, hasta la salida del cauce de la subcuenca, antes de la junta de los ríos Patate y Chambo. Para realizar esto se halló primeramente los cuatros factores (precipitación media, permeabilidad, relieve y altura media) con los cuales se determina las zonas hidrológicas teóricamente homogéneas. Hasta llegar a esa instancia, se realiza la delimitación del área de influencia de las estaciones hidrológicas.

Con la ayuda de las microcuencas demarcadas previamente y la ubicación de las estaciones hidrológicas, se establece la superficie efectiva que genera un determinado valor de metros cúbicos de agua, sea mayor o menor a uno, el cual es registrado por cada segundo en el lugar donde se encuentra ubicada cada estación.

Este proceso se inició generando una cobertura tipo polígono, ya que las unidades a ser generadas son superficies. Cuando se genera esta cobertura se especifica el sistema de coordenadas, el cual se lo importa de una cobertura ya generada para tener la confianza de generar la nueva información en el mismo sistema de coordenadas.
El momento de comenzar la edición sobre esta cobertura, se activa el comando *snapping* para minimizar los errores topológicos que se comete cuando se digitaliza.

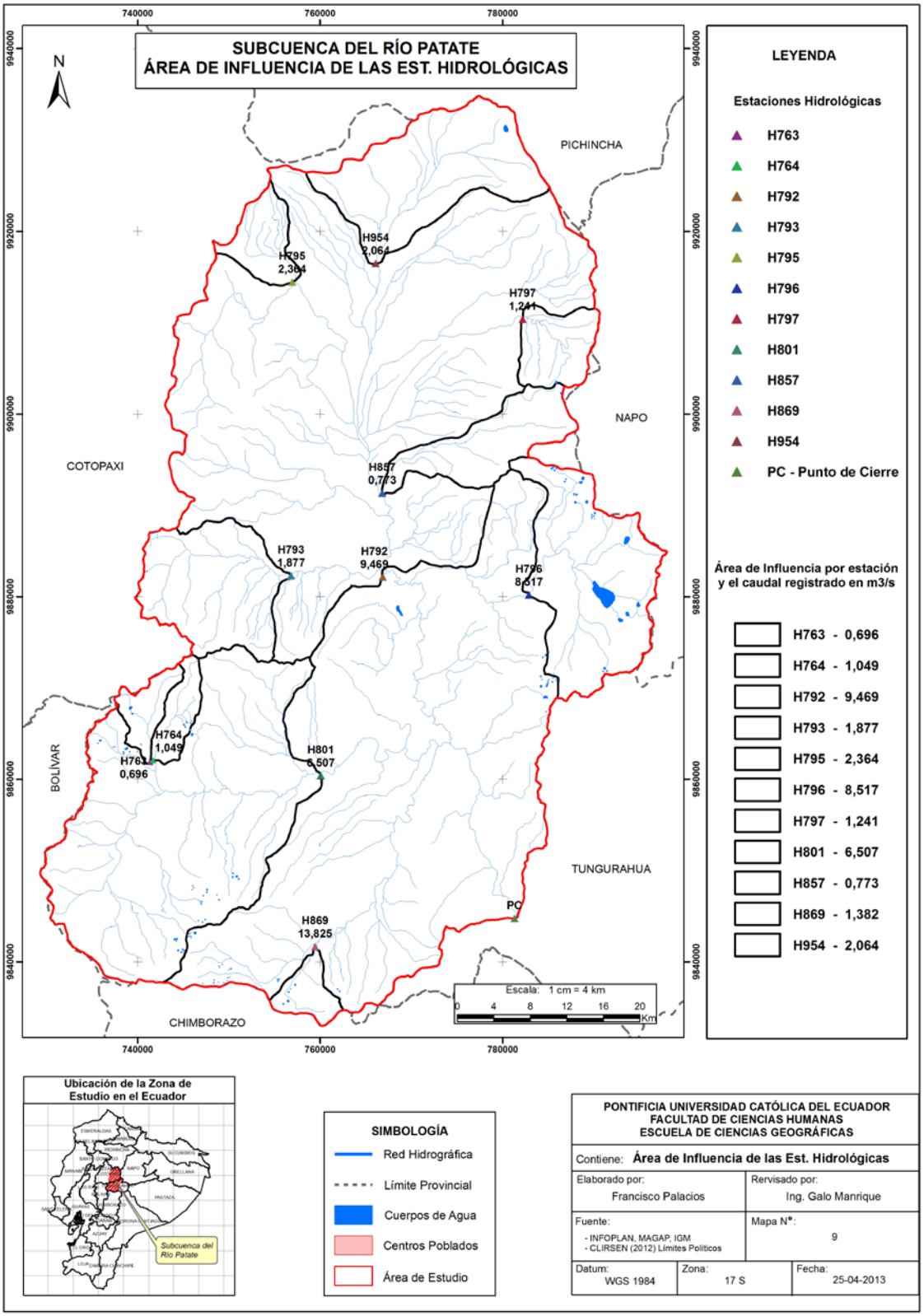
En este instante las microcuencas ya trazadas son de gran utilidad, ya que el parteaguas al ser el límite natural que direcciona las aguas, pasa a ser el límite de las áreas de influencia de las estaciones. Lo que cambia en el proceso es que en lugar de delimitar cuencas en base a los ríos, se delimita áreas en función de las estaciones que se encuentran sobre los ríos. Por lo tanto, se trazan las áreas de influencia en base al parteaguas de las microcuencas y el instante de cerrar las áreas sobre la estación hidrológica, es la única parte de la digitalización que es diferente a la de las microcuencas, ya que se debe cerrar el polígono en el lugar donde se encuentre ubicada la estación.

Al no contar con una estación en la salida del cauce principal de la subcuenca, se ubica un punto de forma hipotética en la salida de la subcuenca, para poder delimitar el área de influencia en esta parte de la subcuenca que no tiene una estación de monitoreo.

Al finalizar la edición de las áreas de influencia, en lugar de tener once unidades delimitadas se tendrá doce, en razón de que la entidad adicional no posee estación hidrológica que cumpla con el seguimiento de las variables hidrológicas circunscritas a esta superficie.

Para tener una mejor referencia de las áreas de influencia delimitadas, se observa a continuación el mapa 5.

Mapa 5. Área de influencia de las estaciones hidrológicas



En la cobertura de áreas de influencia se asigna a cada polígono el código de la estación correspondiente. A continuación se calculó el área de cada polígono en un campo adicional mediante el comando *Calculate geometry*; de igual forma, en un campo adicional, se ingresa el caudal medio registrado por cada estación.

Con las variables área y caudal se obtuvo directamente el caudal específico, sin embargo antes de efectuar el cálculo se debe observar las estaciones de las zonas más bajas, para verificar que el valor del caudal registrado por ellas, no contenga el aporte del caudal ya registrado por otra estación aguas arriba. En el caso de presentarse esta situación, se procede a restar el caudal medio de la estación más elevada del de la estación de la zona baja.

En base a esta consideración las estaciones Cutuchi AJ Yanayacu (H792) y Ambato en Ambato (H801), son las que tenían el aporte de caudales que ya fueron registrados por otras estaciones en zonas más altas, por lo que se sustrajo estas aportaciones para determinar efectivamente el caudal generado por el área de influencia de estas dos estaciones.

Con los ajustes realizados sobre los caudales medios, es factible calcular el caudal específico para el área de influencia de cada estación. Los resultados se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Caudal específico de acuerdo al área de influencia de cada estación

CÓDIGO	ÁREA DE INFLUENCIA	CAUDAL MEDIO	CAUDAL ESPECÍFICO
	Km^2	m^3/s	$m^3/s/Km^2$
H763	34,560	0,696	0,020139
H764	35,873	1,049	0,029242
H792	1367,893	9,469	0,000841
H793	182,083	1,877	0,010308
H795	54,072	2,364	0,043719
H796	256,142	8,517	0,033251
H797	64,969	1,241	0,019101
H801	642,567	6,507	0,007411
H857	110,728	0,773	0,006981
H869	32,683	13,825	0,423005
H954	229,765	2,064	0,008983

Fuente: IEE; 2012, INAMHI; 2012
Diseño: Palacios F.; 2013

Tomando como referencia el mapa de áreas de influencia, se puede observar que el área que no cuenta con una estación hidrológica para el monitoreo del recurso hídrico es bastante grande. La zonificación hidrológica en base a la precipitación media, permeabilidad, relieve y altura media permitirá dar un valor aproximado sobre el caudal que sale de la subcuenca, en base al análisis de estos cuatro factores.

CAPÍTULO V

ZONIFICACIÓN HIDROLÓGICA

Al hablar de zonificar hidrológicamente una superficie, se está hablando de encontrar extensiones de territorio homogéneas, en base a ciertas variables establecidas de forma previa. En el presente estudio, se han tomado los cuatro factores principales del medio

físico-climático que tienen mayor influencia en el régimen hidrológico de una subcuenca, estos son: pluviometría, permeabilidad, relieve y altura.

Tras la caracterización particularizada de estos factores, se debe confeccionar las zonas teóricamente homogéneas, donde cada una de las unidades hidrográficas al interior de una zona establecida, sea representativa de toda la zona delimitada. Además se pueden presentar áreas no adyacentes que posean las mismas características, que de igual forma formarán parte de la misma zona hidrológica.

5.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LAS MICROCUENCAS

Los elementos físicos que fueron analizados, se clasificaron de acuerdo a sus características específicas, de tal manera que cada uno de ellos presentó un rango de magnitudes o varias cualidades (en el caso de la permeabilidad), que determinó a que categoría pertenece cada unidad hidrográfica conforme al elemento físico-climático que fue analizado.

5.1.1. PLUVIOMETRÍA

Este elemento es el de mayor importancia para la zonificación hidrológica ya que presenta una notoria fluctuación de precipitaciones en el área de estudio. Esto es gracias a la variabilidad geográfica y temporal.

La variación geográfica está determinada por la ubicación del Ecuador en la llamada zona de convergencia intertropical, donde los vientos de superficie convergen hacia la línea ecuatorial y en consecuencia se elevan en este lugar, lo que da como resultado alta humedad del aire y una gran cantidad de nubes que al final se convertirán en lluvias. De

manera más local, la precipitación también es influenciada por elementos orográficos que determinan la forma y la magnitud en que es afectada la zona de estudio (masas de aire caliente y húmedo que provienen de la costa y oriente en diferentes épocas). Esta incidencia por ambos flancos, se encuentra ligado a la variación temporal, ya que el aumento o disminución de lluvias que se da cada año, todavía se puede mencionar que se presenta de una forma medianamente regular en razón de estos dos eventos (MONSALVE, 1999).

La alternancia entre épocas de mayor y menor precipitación se ve reflejada el momento en que el pluviómetro capta y cuantifica el agua lluvia, inclusive la cantidad de agua precipitada difiere del sitio donde está emplazado el instrumento y los alrededores del mismo, considerándose distancias cortas. La medida que registran estos instrumentos es representativa para el sitio mismo donde fueron instalados.

La precipitación media brinda la posibilidad de cuantificar la lluvia de una zona establecida, como por ejemplo una cuenca hidrográfica, en un intervalo de tiempo dado. Esta medida, mucho más representativa que la lluvia caída sobre un punto, permite realizar cálculos para proyectos de ingeniería en torno al recurso hídrico o para determinar el balance hídrico de una unidad hidrográfica (MONSALVE, 1999).

Para hallar este indicador se pueden seguir varios métodos, los más comunes son los siguientes.

- La media aritmética
- Los polígonos de Thiessen
- Método de isoyetas

- **LA MEDIA ARITMÉTICA**

Es la forma más sencilla de calcular la precipitación media de una unidad hidrográfica, la que consiste en hallar el promedio aritmético de los valores de lluvia registrados en los pluviómetros considerados para el análisis. Este método es bastante apropiado cuando los pluviómetros tienen una distribución espacial uniforme en la unidad hidrográfica, la altura de precipitación registrada por cada aparato no tiene mucha diferencia con la media y si el área de la cuenca es mayormente plana (CHOW, 1994).

Esto se lo puede expresar de la siguiente manera.

$$\overline{P} = (1/n) \sum pi$$

En donde:

$\overline{P}$: precipitación media
n: número de pluviómetros
pi: altura de precipitación en la estación *i*

- **POLÍGONOS DE THIESSEN**

Este método es más útil cuando la distribución de estaciones no es uniforme; se precede mediante la asignación de un factor de ponderación al total de precipitación de cada instrumento.

El método se describe a continuación:

1. Ubicar las estaciones en un mapa y trazar líneas rectas que conecten los pluviómetros considerados. De esta forma se obtienen triángulos, donde las estaciones pluviométricas se localizan en los vértices de dichos triángulos.

2. Trazar las mediatrices (recta perpendicular de un segmento trazada por su punto medio) de los lados de los triángulos encontrados.

3. Cada estación estará circunscrita por las mediatrices trazadas, las cuales constituyen los polígonos de Thiessen, y en ocasiones por segmentos del parteaguas. El área delimitada por los polígonos de Thiessen y en ciertos lugares por el parteaguas, determina el área efectiva de influencia de cada estación.

Entonces la precipitación media se determina al realizar un promedio ponderado, en el cual la precipitación por cada estación se ve sopesado por la respectiva área de influencia encontrada previamente (APARICIO, 1999).

La expresión siguiente define el cálculo:

$$\overline{P} = (1/A) \sum pj * aj$$

En donde:

$\overline{P}$: precipitación media
A: área total de la unidad hidrográfica
pj: valor de precipitación media en la estación *j*
aj: área de influencia de la estación *j*, derivada del método de Thiessen

Este método en general brinda resultados más exactos que el método del promedio aritmético, pero el inconveniente de este proceso radica en que no admite modificaciones cuando se presenta cambios en la red de estaciones, ya sea en la ubicación o por falta de datos en alguna de ellas. Cuando se presenta alguno de estos sucesos se debe construir una nueva red de polígonos de Thiessen.
También es necesario indicar que este método no toma en cuenta la influencia orográfica en la lluvia (CHOW, 1994).

- **MÉTODO DE LAS ISOYETAS**

Es el método más preciso para obtener la precipitación media de una cuenca hidrográfica. Para ello se utilizan las isolíneas de precipitación (isoyetas) que fueron obtenidas en la sección 2.3.2., que pasan a sustituir a los lados de los polígonos de Thiessen para el cálculo de la precipitación media. El área que se encuentra entre cada par de isoyetas en la unidad hidrográfica, ahora da el peso para el cálculo, mientras que la altura de precipitación media entre dos isoyetas es la cantidad que se pesa (APARICIO, 1999).

Matemáticamente queda representado de la siguiente manera:

$$\overline{P} = (1/A) \sum ak * pk$$

En donde:
$\overline{P}$: precipitación media
A: área total de la unidad hidrográfica
ak: área *k* entre dos isoyetas consecutivas
pk: valor de precipitación media *k*, entre dos isoyetas consecutivas

De las tres variables que conforman el cálculo para hallar la precipitación media, el área de cada microcuenca se estableció en la sección 2.7.1. de este estudio, por lo que a continuación se describe los pasos para hallar las dos variables restantes.

Con los shapes de microcuencas y el de zonas de precipitación previamente obtenidos y cargados en la plataforma ArcMap, se empleó la herramienta *intersect* para cortar cada microcuenca en áreas delimitadas por cada isoyeta que cruza por las microcuencas. Este procedimiento hace que cada microcuenca este dividida en varios polígonos que conservan el código de la microcuenca cortada. Esta situación se replica con todas las microcuencas trabajadas en el mismo proceso.
Todas estas partes de cada microcuenca tomaron el atributo de área total de cada microcuenca, por lo que es necesario recalcular en un nuevo campo el área de cada porción.

El campo llamado rango de precipitación, que se traspasó al shape resultante, indica los límites de clase de los rangos de lluvias, pero el dato realmente necesario para el cálculo es el promedio entre estos límites de clase, que se lo calcula en un nuevo campo de la misma tabla.

Al tener las áreas parciales entre cada isoyeta y por microcuenca, se generó un nuevo campo en la tabla para multiplicar estas áreas por los valores medios de las isoyetas. Los valores encontrados por cada área parcial se los debe sumar en base al código de cada microcuenca, para así obtener el numerador de la expresión matemática que define el cálculo de la precipitación media. Esto es posible al aplicar la herramienta *dissolve*, la cual me genera un nuevo shape con un solo registro por cada microcuenca acompañado por un campo donde especifica la sumatoria de las áreas parciales multiplicado por los valores medios de las isoyetas.

El nuevo shape no posee el área de cada microcuenca, por lo que en un campo adicional se lo calcula sin dificultad. Finalmente se determina, en un nuevo campo, la precipitación media por microcuenca, al dividir la sumatoria encontrada para el área total de cada microcuenca mediante la calculadora de campos.

Para poder realizar la zonificación se debe establecer sectores que posean la misma cantidad de precipitación. Para ello se ha elegido los siguientes límites de clase, y por defecto, los rangos más adecuados de precipitación para el área de estudio, tomando como referencia las medias anuales de lluvia de las microcuencas trabajadas. Ver tabla 11.

Tabla 11. Categoría y rangos de precipitación media en el área de estudio

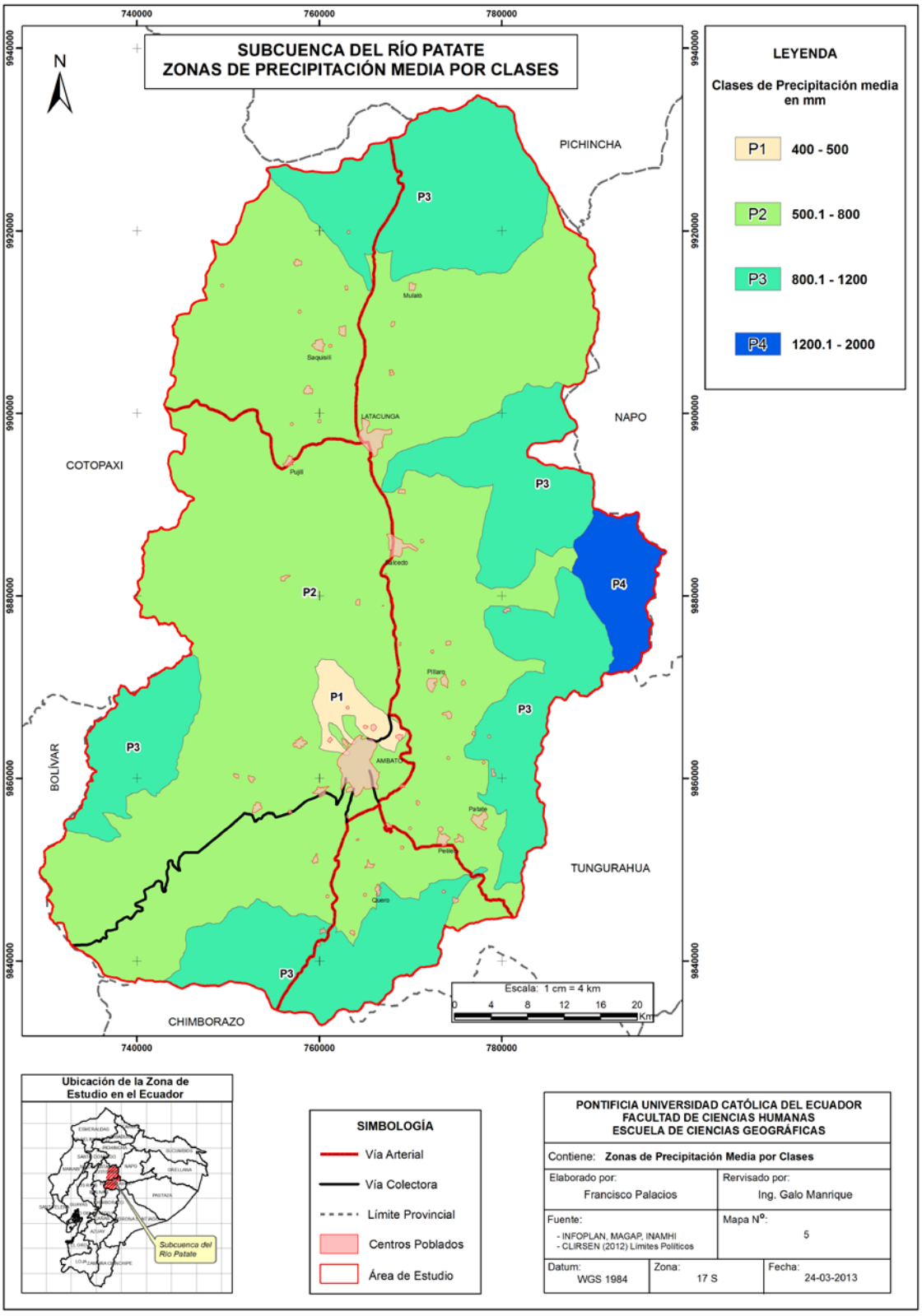
CLASE	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)	
	Límite Inferior	**Límite Superior**
P1	-	500
P2	500,1	800
P3	800,1	1200
P4	1200,1	2000

Fuente: MAG; 1976
Diseño: Palacios F.; 2013

Después de catalogar las 67 microcuencas de acuerdo a la tabla anterior, se puede observar que el 1.19% de la superficie de la subcuenca, presenta lluvias medias hasta los 500 mm; en el 66.84% del territorio se precipita entre 500.1 y 800 mm de agua en promedio al año; en el 29.43% de la subcuenca llueve en promedio anualmente entre 800.1 y 1200 mm; y en el 2.54% del área estudiada la lluvia se manifiesta entre 1200.1 y 2000 mm promedio anual.

Para una mejor comprensión de los valores encontrados, se visualiza en el mapa 6. las zonas de precipitación media en base a las clases establecidas en la tabla 11.

Mapa 6. Zonas de precipitación media por clases



Esta segmentación en base a la precipitación media, permite tener una visión más clara sobre cómo se distribuyen las lluvias en la subcuenca del río Patate. Las clases definidas para la precipitación, se sumó a los otros tres elementos constitutivos (determinados igualmente en clases) para establecer la zonificación hidrológica.

5.1.2. PERMEABILIDAD

Esta característica se define principalmente por el lapso de tiempo que demora en infiltrar el agua a través de los intersticios o espacios que tiene el suelo. En palabras de MADEREY (2005) y SANTA OLALLA et al. (2005), es la facilidad para que cualquier elemento pueda pasar a través del suelo. Gracias a la estrecha interrelación que tiene la permeabilidad con la precipitación, se considera a esta característica como principal para realizar la zonificación hidrológica, el momento en que la pluviosidad no sea realmente significativa.

El ejercicio de establecer niveles de permeabilidad no es cuestión simplemente de determinar si el suelo es permeable o no, se debe recordar que el objetivo final de la zonificación es proponer la ubicación de estaciones hidrometeorológicas. Para este factor, la variable que tiene mayor relevancia es la litología de las rocas y como factor de apoyo el nivel de densidad de drenaje.

Según el convenio MAG-ORSTOM (1976), se sugiere utilizar principalmente mapas geológicos en lugar de mapas geomorfológicos y edafológicos para definir las diferentes zonas de permeabilidad. Es preciso indicar que la cartografía geológica disponible en el Ecuador se encuentra a escala 1: 100.000 en la mayoría del país, en consecuencia el factor permeabilidad tiene la misma escala.

En el proceso para obtener productos cartográficos de síntesis, que son el resultado de conjugar varios temas realizados a la misma escala, no es adecuado introducir una temática con una escala diferente, ya que rompe con la hegemonía de las entidades analizadas, y además la precisión de ese tema en particular, será distinta a los demás analizados. Sin embargo, al no contar con información geológica oficial a escala 1: 50.000, la temática de permeabilidad se encuentra a escala 1: 100.000.

Este tema se lo obtuvo en virtud del convenio institucional entre el ex CLIRSEN, ahora Instituto Espacial Ecuatoriano, y el Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP), el cual consiste en un archivo preliminar en formato shape, que contiene información de litología, tipo de formación, edad geológica y tipo de permeabilidad entre los más importantes. Este archivo se lo elaboró, en su mayoría, en base a las cartas geológicas realizadas en los años 80´s. En la tabla 12., se tiene una muestra de la información que contiene este shape.

Tabla 12. Información muestra del archivo de permeabilidad

LITOLOGÍA	FORMACIÓN	EDAD	TIPO DE PERMEABILIDAD
CENIZA	CANGAGUA	Cuaternaria	POROSIDAD INTERGRANULAR
TOBAS	VOLCÁNICOS DEL CHIMBORAZO	Cuaternaria	FISURACIÓN
PIROCLÁSTICOS, ANDESITA, AGLOMERADO	VOLCÁNICOS PISAYAMBO	Mio-plioceno	FISURACIÓN
FILITA, ESQUISTO, GNEIS, PIZARRAS, CUARZITAS	F.CUYUJA-GRUPO LLANGANATES	Pre-Paleozoico-PZ-MZ	POROSIDAD INTERGRANULAR Y FISURACIÓN-ROCAS SIN IMPORTANCIA HIDROGEOLÓGICA

Fuente: MAG; 2013
Diseño: Palacios F.; 2013

Las clases de permeabilidad que se muestran a continuación, dan la pauta para establecer las diferentes zonas permeables a lo largo de la subcuenca. Los límites que separan las distintas clases en esta cobertura, están considerados en gran medida como rígidos, en consecuencia al delimitar la permeabilidad por zonas, no se los ha cambiado de manera importante para que más adelante, los otros factores en estudio, sean los que se ajusten a este factor (MAG-ORSTOM, 1976).

Tabla 13. Clases de permeabilidad

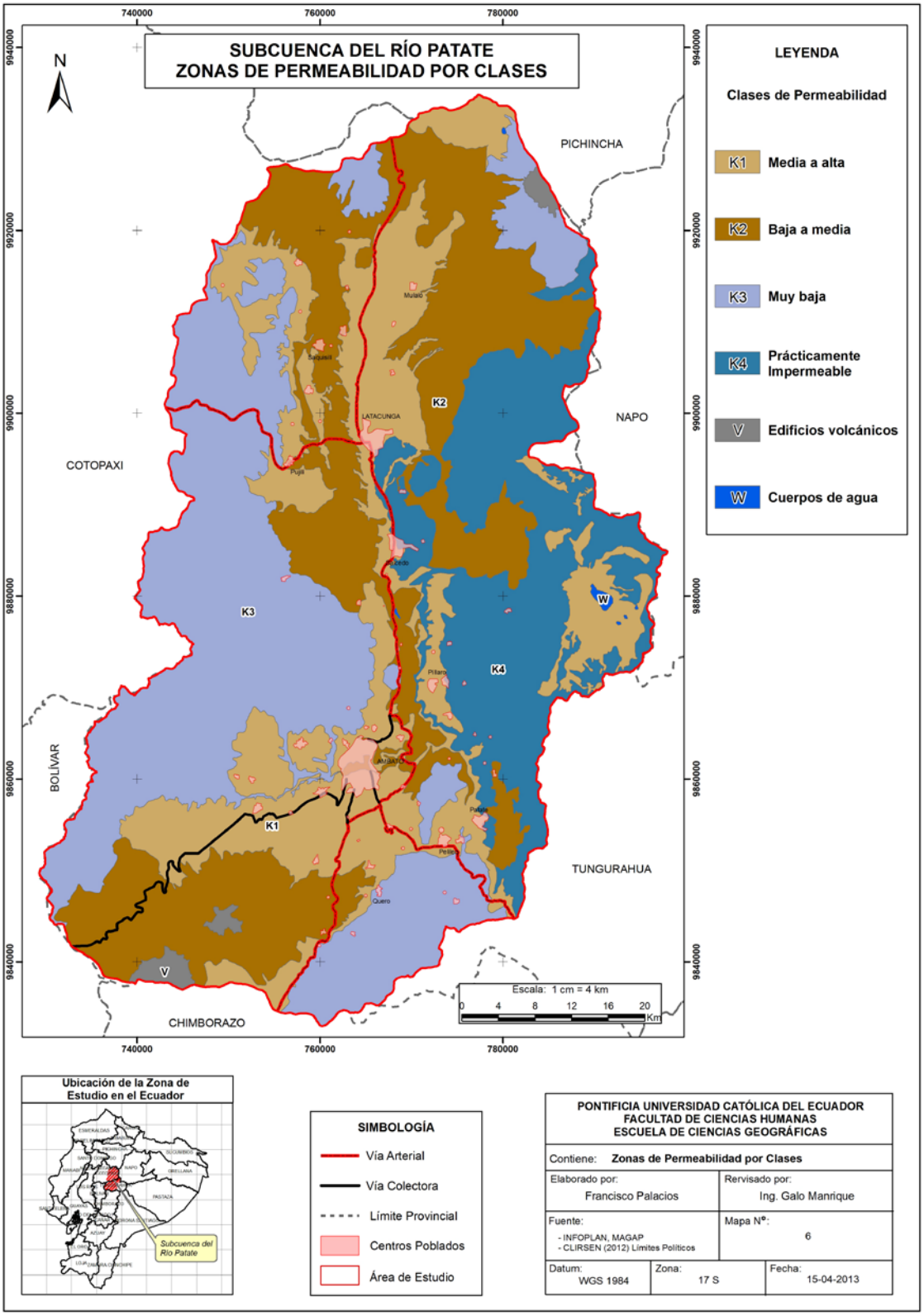
CLASE	DESCRIPCIÓN DE PERMEABILIDAD
K1	Media a alta
K2	Baja a media
K3	Muy baja
K4	Prácticamente Impermeable

Fuente: MAG; 1976, MAGAP; 2013
Diseño: Palacios F.; 2013

Los límites litológicos, son límites que por naturaleza son estáticos, ahora que por la orientación del estudio y los resultados a alcanzarse sufran una pequeña modificación, no quiere decir que se puede interpolar la información como en la pluviometría, ni tampoco es factible modificarlos para que coincidan con la delimitación de las microcuencas. Es por esto que las unidades hidrográficas no se encasillan en una u otra clase de permeabilidad. Lo más adecuado en esta situación es generar las zonas de permeabilidad en base a las clases dadas, y con este producto estimar la permeabilidad de cada unidad hidrográfica.

El mapa 7. muestra las clases de permeabilidad de una forma más generalizada en relación al archivo original. Este proceso consistió en añadir las unidades de superficie relativamente pequeñas a la unidad de clase inmediata superior o inferior, con el propósito de no incurrir en demasiadas unidades que dificulte la determinación de la clase de permeabilidad por unidad hidrográfica.

Mapa 7. Clases de permeabilidad por zonas



5.1.3. RELIEVE

El aspecto o rasgo que define este factor es la inclinación media o pendiente, la cual se le atribuye a la superficie de la cuenca en aquellos lugares antes de que el agua llegue a los cauces.
Mediante esta característica se puede determinar el tiempo que demora la escorrentía superficial hasta confluir en los diferentes ríos que forman la red de drenaje de una cuenca. De este enunciado se puede deducir que la pendiente condiciona de buena manera, la velocidad de flujo, la distribución y el nivel de infiltración del agua lluvia sobre el terreno (MONSALVE, 1999).

Asimismo, este factor tiene incidencia en la erosión del suelo y el transporte de sólidos, ya que la escorrentía superficial, mecánicamente, se torna más dinámica y gana en velocidad conforme aumenta el nivel de pendiente de una superficie.

Existen varias maneras para obtener la pendiente media de una cuenca: métodos porcentuales como el de Alvord basado en las curvas de nivel y también el que relaciona el perímetro de la cuenca con las cotas máxima y mínima de la misma; hasta métodos más elaborados como el de las cuadrículas asociadas a un vector y el de la construcción de la curva hipsométrica.

En el presente estudio, esta característica se determinará, en base al trazado de la curva hipsométrica, ya que según MONSALVE (1999), es la representación gráfica del relieve de una cuenca.

Para la elaboración de la curva hipsométrica es necesario apoyarse en la tabla 14., donde se ingresa la siguiente información:

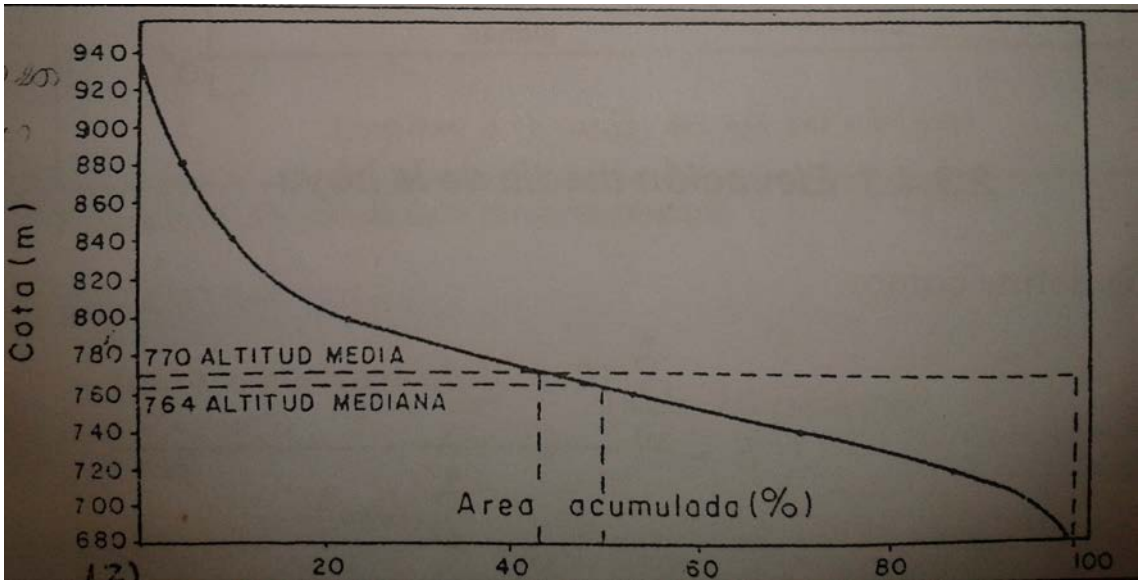
Tabla 14. Campos necesarios para elaborar la curva hipsométrica y ejemplo de cálculo

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Cotas del intervalo de clase (msnm)	Cota media del intervalo (msnm)	Área (Km^2)	Área acumulada (Km^2)	Porcentaje del Área (%)	Porcentaje acumulado del Área (%)	Columna (2) x Columna (3)
940-920	930	1.92	1.92	1.08	1.08	1785.6
920-900	910	2.90	4.82	1.64	2.72	2639.0
900-880	890	3.68	8.50	2.08	4.80	3275.2
880-860	870	4.07	12.57	2.29	7.09	3540.9
860-840	850	4.60	17.17	2.59	9.68	3910.0
840-820	830	2.92	20.09	1.65	11.33	2423.6
820-800	810	19.85	39.94	11.2	22.53	16078.5
800-780	790	23.75	63.69	13.4	35.93	18762.5
780-760	770	30.27	93.96	17.08	53.01	23307.9
760-740	750	32.09	126.05	18.10	71.11	24067.5
740-720	730	27.86	153.91	15.72	86.83	20337.8
720-700	710	15.45	169.36	8.72	95.55	10969.5
700-680	690	7.89	177.25	4.45	100.00	5444.1
TOTAL	-	177.25	-	-	-	136542.1

Concepción: Monsalve G.; 1999
Diseño: Palacios F.; 2013

Al procesar la información en la tabla precedente y disponer los valores de la cota media (columna 2) en el eje de las *Y*, y el porcentaje acumulado del área (columna 6) en el eje de las *X*, se obtuvo el gráfico 5. como se muestra a continuación.

Gráfico 5. Curva hipsométrica de una cuenca hidrográfica según MONSALVE (1999).



Fuente: Hidrología en la Ingeniería.

En la gráfica se representa los menores valores de cada intervalo de clase de las cotas versus la respectiva área acumulada. Por consiguiente la cota de mayor valor de una cuenca, tiene un área acumulada de cero por ciento, mientras que a la cota de menor valor le corresponde un área acumulada de cien por ciento.

En definitiva la curva hipsométrica indica el porcentaje de área acumulado que iguala o excede a un valor de cota puntual (MONSALVE, 1999).

Al tener claro como se construye la curva hipsométrica y la información que proporciona, a continuación se exponen los dos índices que según el CONVENIO MAG-ORSTOM (1976), representan en su totalidad al relieve de una cuenca: índice de pendiente (Ip) e índice de pendiente global (Ig).
De los dos índices se empleará el índice de pendiente global, ya que para calcularlo interviene la curva hipsométrica. La expresión matemática de este índice es:

$$Ig = D/L$$

En donde:

Ig: índice de pendiente global
D: desnivel en metros, resultado de la diferencia de altura, entre un valor de altura (H5) que abarca sobre la curva el 5% de la superficie total de la cuenca (en referencia a la cota máxima) y un valor de altura (H95) que engloba bajo la curva el 5% de la misma superficie en referencia a la cota mínima.
L: longitud del rectángulo equivalente

El índice de pendiente global tiene una relación inversa con la superficie de una unidad hidrográfica según lo indicado por el CONVENIO MAG-ORSTOM (1976), lo que quiere decir que mientras el Ig disminuye, la superficie de la cuenca crece. El parámetro que elimina esta relación se denomina Desnivel Específico (Ds), el cual distingue en

metros, las regiones con relieve homogéneo sin depender de la superficie de la unidad hidrográfica. Se lo calcula de la siguiente forma:

$$Ds = Ig * \sqrt{A}$$

En donde:

Ds: desnivel específico
Ig: índice de pendiente global
A: área de la unidad hidrográfica

Los valores del desnivel específico caracterizan el relieve de las microcuencas. Se los clasifica de acuerdo a la siguiente distribución de rangos que se indica en la tabla 15.

Tabla 15. Clases de relieve y rangos del desnivel específico

CLASE	DESCRIPCIÓN DEL RELIEVE	DESNIVEL ESPECÍFICO (m)	
		Límite Inferior	Límite Superior
R1	Muy débil	-	10
R2	Débil	10,1	25
R3	Débil a moderado	25,1	50
R4	Moderado	50,1	100
R5	Moderado a fuerte	100,1	250
R6	Fuerte	250,1	500
R7	Muy fuerte	500,1	1000
R8	Extremadamente fuerte	1000,1	2500

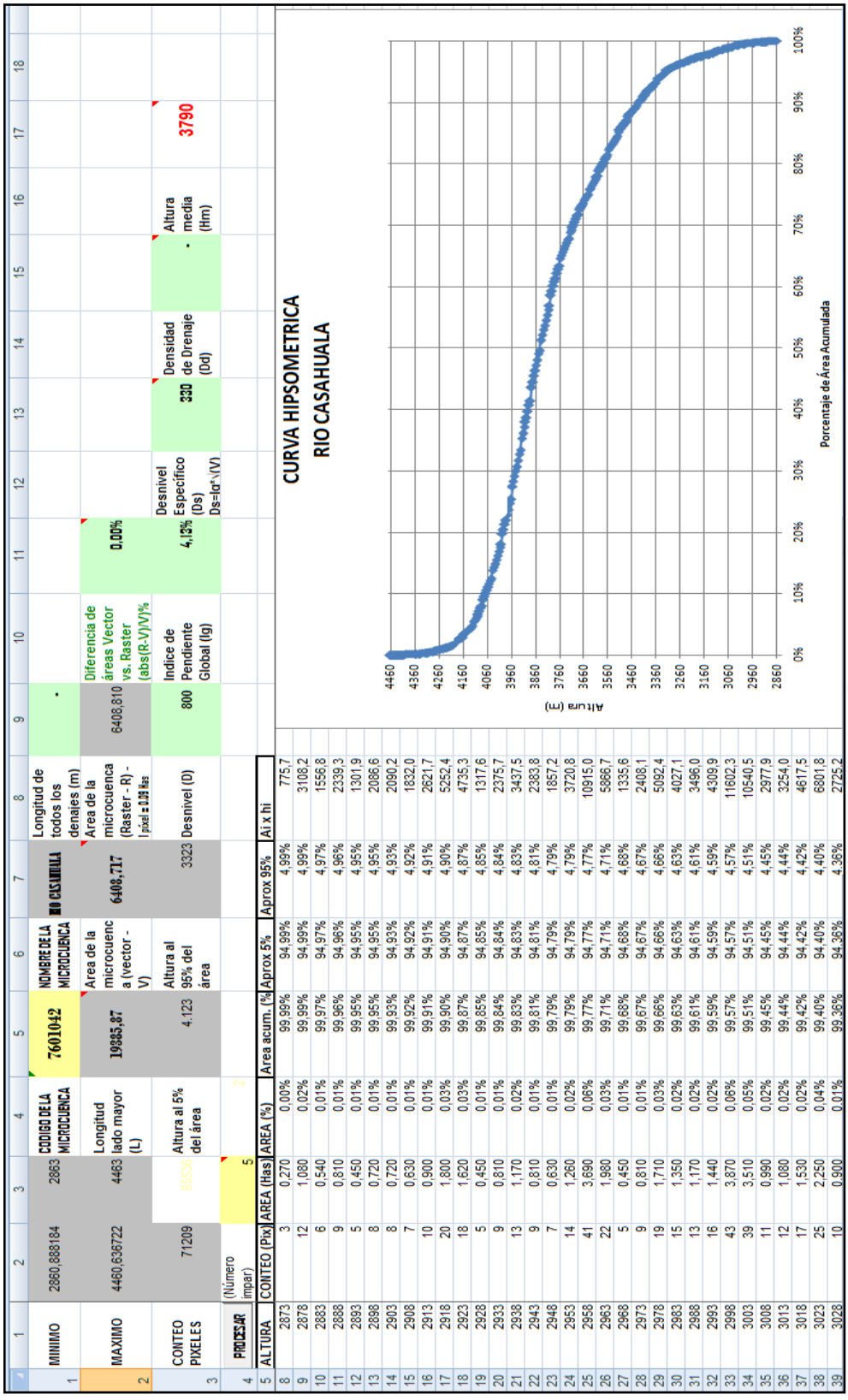
Fuente: MAG; 1976
Diseño: Palacios F.; 2013

Establecidas las clases de relieve, se retoma la curva hipsométrica para hallar los datos de los dos valores necesarios para el cálculo del desnivel (D), pero en razón de que la

subcuenca del río Patate contiene 67 microcuencas a ser analizadas, se automatizó el cálculo de este índice a través de una hoja de cálculo.

Este archivo .xls programado gracias al señor Diego Villafuerte, permitió automatizar el proceso de elaboración de la curva hipsométrica para las 67 microcuencas (adjuntas en los anexos), generar el índice de pendiente global y el desnivel específico. A continuación se describe el proceso para determinar los resultados en base a esta hoja de cálculo, que previamente se muestra a continuación en el gráfico 6.

Gráfico 6. Hoja de cálculo para la obtención de la curva hipsométrica



Concepción: Villafuerte D.; 2013
Diseño: Palacios F.; 2013

Para tener la curva hipsométrica por cada microcuenca, en primera instancia se debe generar modelos digitales de elevación (DEM) mediante la herramienta *topo to raster* en la interfaz de ArcMap. Para este paso se utilizan las coberturas vector que permitieron delimitar las microcuencas en la primera parte del estudio (curvas de nivel, puntos acotados, lagos-lagunas y ríos simples y dobles; este último shape debe ser geométricamente línea). La característica principal de este DEM es que debe ser creado con un tamaño de celda de 30 metros por lado, de esta forma la superficie que encierra cada pixel será de 0.09 hectáreas. En otras palabras cada pixel representa el 9% de una hectárea.

Con 11 pixeles por hectárea se puede determinar sin inconveniente en esta superficie, la variación de pendiente, lo que de forma macro será representado por la curva hipsométrica.

El atributo innato del DEM generado es poseer el valor de altura en cada pixel. Toda esta red de pixeles, que es la base para generar la curva hipsométrica, se la obtuvo empleando el software especializado en imágenes, ERDAS. Esta plataforma presenta el histograma de una imagen de forma numérica, indicando la cantidad de pixeles por valor de altura que posee una microcuenca en este caso.

Estos dos indicadores (número de pixeles y valor de altura) se los traslada a la hoja de cálculo programada. Estos valores junto a todos los registros que contiene la cobertura de microcuencas en sus diferentes campos, permiten obtener la curva hipsométrica, el índice de pendiente global y el desnivel específico tras el proceso de los datos.

Al contar con los diferentes cálculos por microcuenca, y en especial el desnivel específico, se clasificó a las microcuencas en base a la tabla 15., para posteriormente zonificar a la subcuenca de acuerdo a este elemento. Los tipos de relieve presentes en la subcuenca y los porcentajes en relación al área total de estudio son los siguientes:

- 22.44% de la superficie de la subcuenca tiene relieve moderado a fuerte (R5).

- 39.49% de la subcuenca presenta relieve fuerte (R6).

- 36.57% de la subcuenca muestra un relieve muy fuerte (R7).

- 1.5% de la superficie de estudio tiene relieve extremadamente fuerte (R8).

Los porcentajes expuestos y más que todo el tipo de relieve, evidencian un paisaje típico de la serranía ecuatoriana, donde la irregularidad del relieve es notoria pese al amplio valle donde se asienta la ciudad de Latacunga.

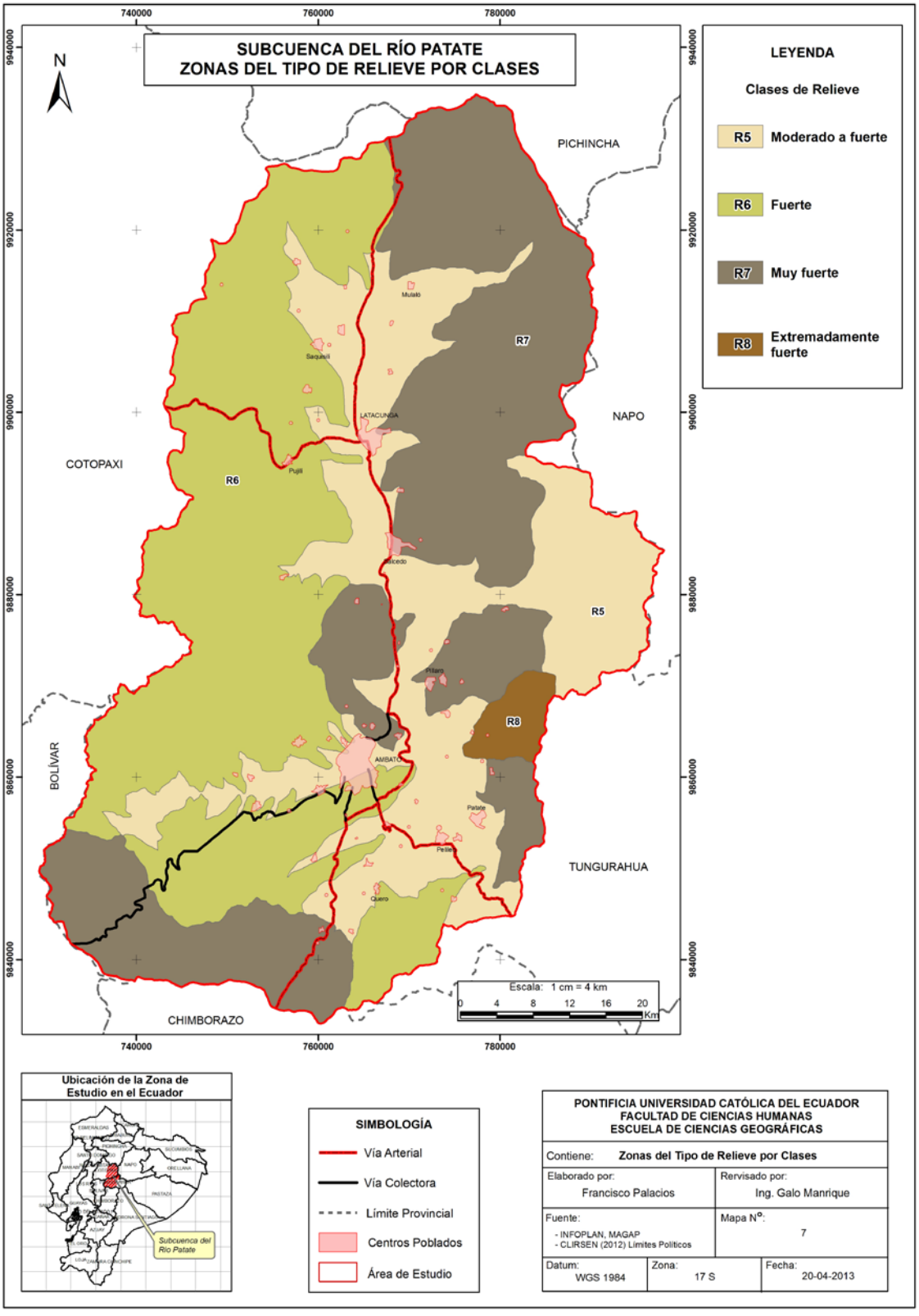
Al espacializar las microcuencas de acuerdo a las clases de relieve de cada una de ellas, se constató que sobre el margen occidental de la subcuenca, el tipo de relieve predominante es el llamado relieve fuerte (R6), pero de forma intercalada se encontraban microcuencas de clase muy fuerte (R7) con valores que se encontraban en el límite inferior de esta clase, por lo cual se las incorporó a la clase R6 para no tener las zonas de relieve muy fragmentada y dar facilidad en la obtención de la zonificación hidrológica.

De las nueve microcuencas que fueron integradas a la categoría R6, siete de ellas se ubican en las dos grandes zonas R6 al occidente del área de estudio; la microcuenca llamada quebrada Gualacucho (7601015) se encuentra al suroriente de la subcuenca y la unidad hidrográfica conocida como quebrada Achupallas (7601029), que se sitúa en el centro oriente de la subcuenca, por estar aislada se la unió a la zona R6 de su alrededor.

Como se puede observar el ejercicio de espacializar información temática, en especial para zonificar, esclarece el análisis del tema tratado y conlleva a realizar cambios que posiblemente a través de textos o tablas se vuelve una tarea más complicada que quizá no ofrezca los resultados esperados en función de los objetivos planteados.
Con las modificaciones realizadas a las clases de relieve de algunas microcuencas, se tiene espacios más amplios y menos número de zonas de relieve. Esto con la finalidad de no incrementar la cantidad de zonas hidrológicas homogéneas de forma exagerada.

La clasificación de relieve realizada se observa con más detalle en el mapa 8. a continuación.

Mapa 8. Zonas de relieve por clases

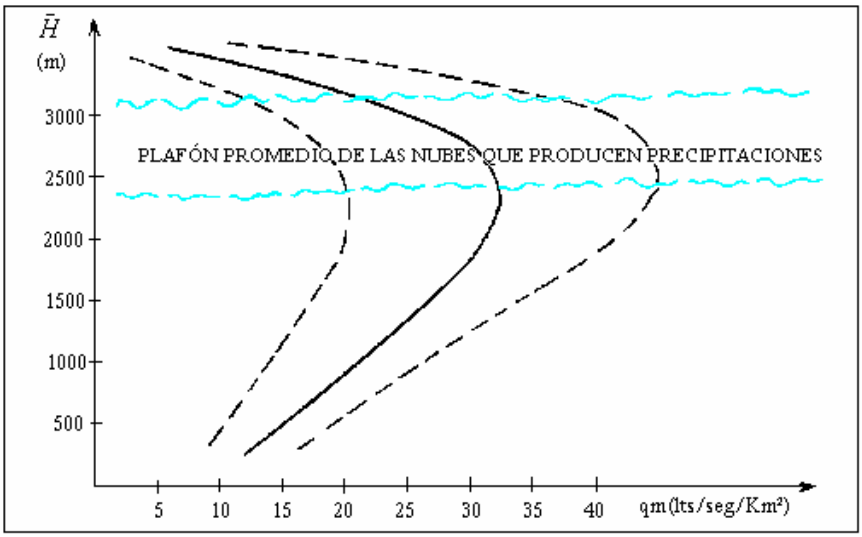


5.1.4. ALTURA MEDIA

Este factor se define por la variación de altura que existente entre la cota máxima y mínima de una unidad hidrográfica, tomando en cuenta la extensión de superficie entre los distintos rangos de altura de la cuenca. Estos rangos altitudinales se los establece generalmente a partir de las curvas de nivel (LONDOÑO, 2001).

Esta característica altitudinal es de gran importancia para tener una idea inicial sobre el caudal en zonas montañosas especialmente. Los caudales medios de una unidad hidrográfica aumentan conforme la altura media de una cuenca se eleva. Esta situación se da hasta alcanzar la altitud donde se ubica el colchón de nubes habitual (plafón) que generan las precipitaciones. Al superar el nivel de las nubes el caudal medio disminuye (LONDOÑO, 2001). Este fenómeno se observa en el siguiente gráfico.

Gráfico 7. Relación entre caudales promedio multianuales y alturas medias de las cuencas hidrográficas según LONDOÑO (2001)



Fuente: Cuencas Hidrográficas: Bases Conceptuales - Caracterización - Planificación - Administración.

Gracias a la ilustración anterior y al mapa de isoyetas diagramado en una fase previa de este estudio, se puede indicar de forma general, que las precipitaciones medias (fuente

vital hacia los cauces) y el caudal medio multianual se incrementan en una relación directa con la altura. Este suceso se invierte al atravesar el colchón de nubes y se anula sobre el mismo (LONDOÑO, 2001).

La altura también influye en la temperatura tanto del aire como del agua. En el primer caso, es evidente ante la percepción de cambio de temperatura entre una zona montañosa y los valles, lo cual se sustenta en la correlación encontrada entre la altura y la temperatura en la primera parte del estudio, la cual concluyó que la temperatura varía un grado al subir o descender 160 metros en el área de estudio. Por su lado, la temperatura del agua según LONDOÑO (2001), está relacionada con la temperatura del aire al interior de una cuenca. Esta interrelación determina varios cambios en las características físico-químicas e incluso biológicas del agua.

Este parámetro, que incide de gran forma en la dinámica climática de las cuencas hidrográficas, se lo puede hallar mediante un cálculo que considera el promedio ponderado de las alturas en base a las curvas de nivel o a través de la curva hipsométrica.

La fórmula que permite hallar la altura media es la siguiente:

$$Am = \frac{\sum (hi * ai)}{A}$$

En donde:

Am: altura media
hi: cota media entre dos curvas de nivel consecutivas
ai: área entre dos curvas de nivel consecutivas
A: área total de la unidad hidrográfica

Para hallar la altura media de las microcuencas a través de la fórmula anterior, se sigue la misma mecánica de trabajo que permitió elaborar la cobertura de precipitación media por microcuencas en base al método de las isoyetas. Lo que cambió en el proceso fue únicamente los pasos iniciales, ya que para utilizar la herramienta *intersect* en la interfaz de ArcMap, y obtener una cobertura de salida tipo polígono, se necesita dos polígonos como insumos al ejecutar el comando. Esto obligó en primera instancia a editar y depurar las curvas de nivel para generar un shape tipo polígono de este tema, mediante la herramienta *feature to polygon*. El único inconveniente al aplicar este comando es la ausencia de la información en los campos del shape resultante, lo que se resolvió primeramente eliminando estos campos innecesarios y añadiendo otro en el cual se colocó el valor de la cota media entre cada par de curvas de nivel índice que tiene la subcuenca.

En adelante el proceso es similar al método de las isoyetas utilizado para encontrar la precipitación media por microcuencas.

Al igual que los elementos previos, los valores de altura media de cada microcuenca se los ha clasificado según la tabla 16.

Tabla 16. Clases de altura media y rangos

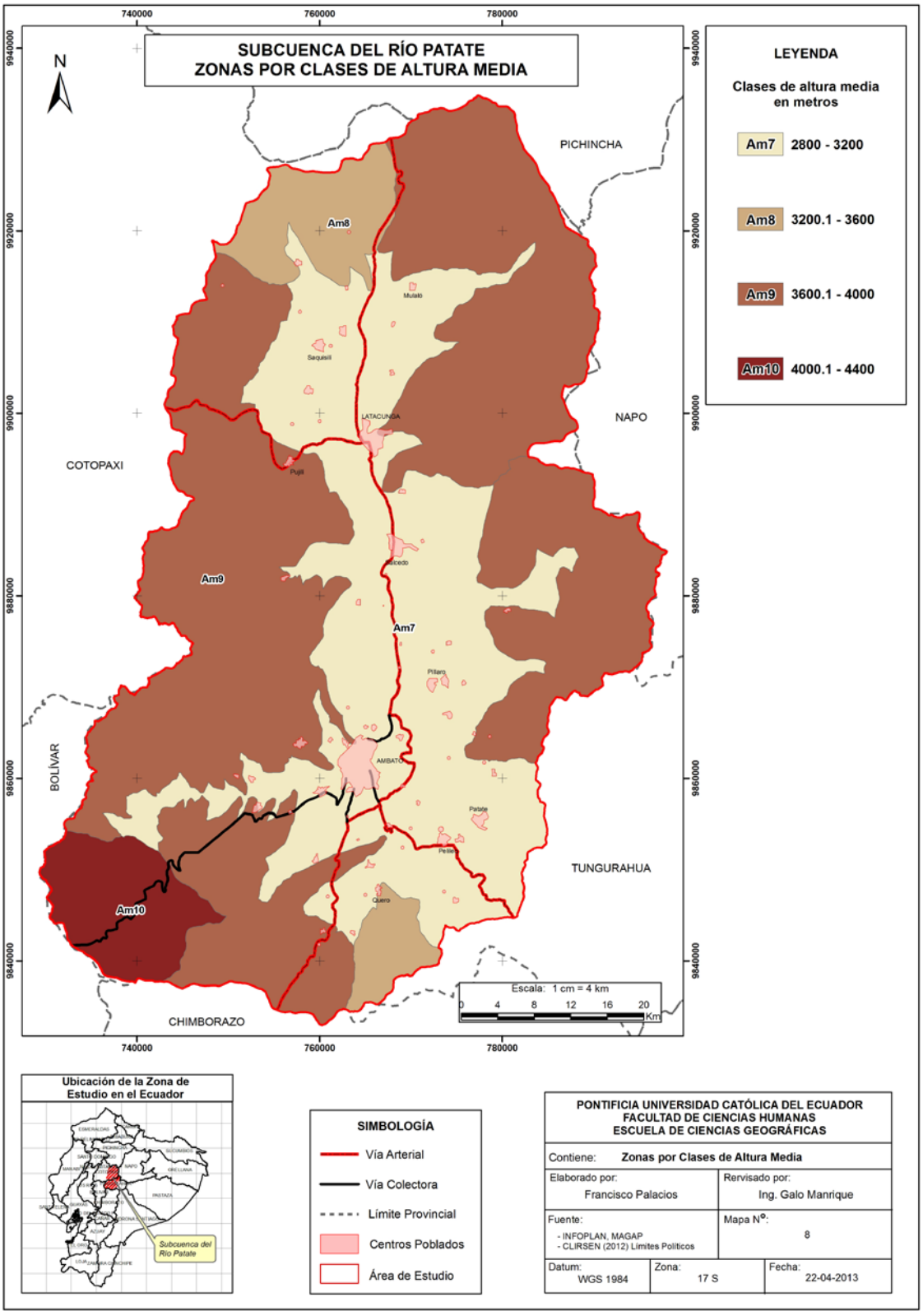
CLASE	RANGOS DE ALTURA MEDIA (m)	
	Límite Inferior	**Límite Superior**
Am0	0	400
Am1	400,1	800
Am2	800,1	1200
Am3	1200,1	1600
Am4	1600,1	2000
Am5	2000,1	2400
Am6	2400,1	2800
Am7	2800,1	3200
Am8	3200,1	3600
Am9	3600,1	4000
Am10	4000,1	4400

Fuente: MAG; 1976
Diseño: Palacios F.; 2013

Antes de sacar cualquier estadística en base a la altura media, primeramente se espacializa las microcuencas en función de sus clases, para analizarlas y de ser el caso cambiar la clase de una o varias microcuencas en pro de facilitar la determinación de las zonas homogéneas.

Con este argumento se modificó la clase de altura media de quince microcuencas, las cuales estaban consideradas en la clase Am8 y se les otorgó la categoría de Am9.
Al no haberse realizado más modificaciones en este tema, a continuación se espacializa el producto final de la altura media, lo que se puede ver en el mapa 9.

Mapa 9. Zonas de altura media por clases



5.2. DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS HIDROLÓGICAS HOMOGÉNEAS

5.2.1. SUPERPOSICIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICAS DE LAS MICROCUENCAS

Para llegar a determinar las zonas hidrológicas homogéneas se debe tomar las variables precipitación, permeabilidad, relieve y altura media ya obtenidas, y superponerlas a fin de diagnosticar y analizar las zonas que se generan en base a las cuatro características analizadas. Esta mecánica de obtención de resultados se la empleó en las investigaciones efectuadas bajo el convenio MAG-ORSTOM en los años 80´s con buenos resultados.

En la actualidad, gracias a la amplia capacidad y utilidad de los software SIG, se puede efectuar este procedimiento tomando una de las bondades más destacables de esta herramienta: la manipulación de la información en tablas de atributos, las cuales se encuentran ligadas a las características visuales del mapa.

Esta herramienta informática, permite unificar la información que se tiene en varias coberturas en una sola. El comando que posibilita esta acción es el *Spatial Join*.
De esta manera se consolida en una sola cobertura la información de las cuatro características físicas de las microcuencas, y de esta forma se puede establecer las diferentes combinaciones entre las cuatro variables consideradas. Como las características físicas de la sierra ecuatoriana y en particular del área de estudio, tienen un rango de variabilidad importante en sus diferentes rasgos, se presentan 35 combinaciones con las variables analizadas, las cuales se observan en la tabla 17.

Tabla 17. Combinaciones existentes entre las características físicas de las microcuencas

CLASE DE PRECIPITACIÓN	CLASE DE PERMEABILIDAD	CLASE DE RELIEVE	CLASE DE ALTURA M	COMBINACIONES ENCONTRADAS
P1	K3	R6	Am7	1
P1	K3	R6	Am8	2
P1	K3	R7	Am7	3
P2	K1	R5	Am7	4
P2	K1	R5	Am9	5
P2	K1	R6	Am7	6
P2	K1	R6	Am8	7
P2	K1	R6	Am9	8
P2	K2	R5	Am7	9
P2	K2	R6	Am7	10
P2	K2	R6	Am8	11
P2	K2	R6	Am9	12
P2	K2	R6	Am10	13
P2	K2	R7	Am7	14
P2	K2	R7	Am8	15
P2	K2	R7	Am9	16
P2	K2	R7	Am10	17
P2	K3	R6	Am8	18
P2	K3	R6	Am9	19
P2	K4	R7	Am7	20
P3	K1	R5	Am9	21
P3	K2	R6	Am8	22
P3	K2	R7	Am8	23
P3	K2	R7	Am9	24
P3	K3	R6	Am7	25
P3	K3	R6	Am8	26
P3	K3	R6	Am9	27
P3	K3	R7	Am9	28
P3	K4	R5	Am9	29
P3	K4	R7	Am7	30
P3	K4	R7	Am8	31
P3	K4	R7	Am9	32
P3	K4	R8	Am8	33
P4	K1	R5	Am9	34
P4	K4	R5	Am9	35
P2	N/A	R5	Am7	N/A

Fuente: IEE, INAMHI, MAGAP; 2012
Diseño: Palacios F.; 2013

La última fila de la tabla 17., muestra las características del área llamada drenaje menor, que corresponde a las márgenes de los ríos que se ubican en las zonas más bajas, hacia los cuales fluyen todos los cauces de las microcuencas delimitadas previamente. Esta superficie al ser bastante amplia e irregular, abarca en algún tramo todas las clases de permeabilidad y en consecuencia, no se la puede catalogar en ninguna clase de esta característica física. Por la razón expuesta, esta parte de la subcuenca no se sujeta a ninguna combinación posible.

5.2.2. ZONAS TEÓRICAMENTE HOMOGÉNEAS

La clasificación de las zonas hidrológicas homogéneas se lo debe establecer en función de la aptitud creciente al escurrimiento, por consiguiente el orden de importancia de los factores que intervienen en la zonificación se fija de la siguiente manera: precipitación media, permeabilidad, relieve y altura media (MAG-ORSTOM, 1976).

La tabla 17 dispone las diferentes combinaciones existentes en base al aumento del escurrimiento. De esta forma, se puede observar características similares entre las zonas vecinas, y de ser el caso, agruparlas para disminuir el número de zonas homogéneas en la subcuenca.

Al analizar las 35 combinaciones indicadas en la tabla 17., y teniendo como referencia los dos factores principales para la zonificación, las isoyetas y la permeabilidad, se pudo constatar que efectivamente en estos dos temas, existía coincidencia entre varias unidades hidrográficas, que en muchas ocasiones eran contiguas. Al darse esta situación, se evaluó la posibilidad de unificar estas unidades homogéneas, procurando cambiar únicamente las variables relieve y altura media, en no más de una clase superior o inferior a la original. Esta acción permitió reducir diez unidades hidrográficas, que en su mayoría se modificó solamente en la característica de altura media.

Antes de definir las zonas hidrológicas homogéneas, se analizó individualmente las tres únicas unidades que tienen clasificación P1 en la precipitación media, y al presentar valores medios de lluvia muy cercanos a la clase P2, coincidir en la misma clase de permeabilidad y no diferir en más de una clase en el relieve y altura media, se decidió añadirlas a la combinación 18 de características (P2 - K3 - R6 - Am8) que se presenta en la tabla 17. Con este último paso se logra obtener la zonificación hidrológica de una manera más uniforme y menos extensa, la cual se presenta en la tabla 18.

Tabla 18. Zonas hidrológicas homogéneas de la subcuenca del río Patate

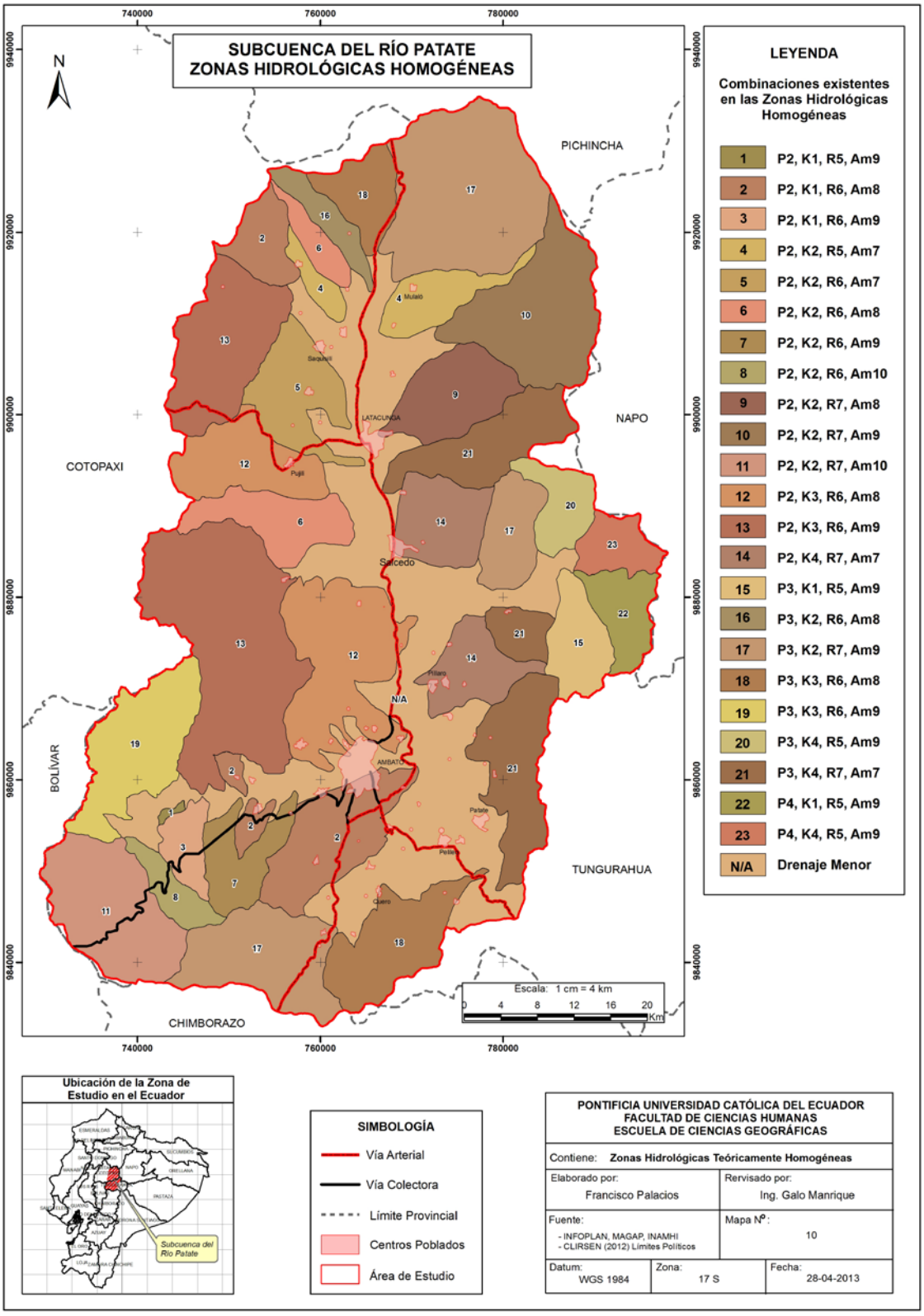
CLASE DE PRECIPITACIÓN	CLASE DE PERMEABILIDAD	CLASE DE RELIEVE	CLASE DE ALTURA M	ZONAS HIDROLÓGICAS HOMOGÉNEAS
P2	K1	R5	Am9	1
P2	K1	R6	Am8	2
P2	K1	R6	Am9	3
P2	K2	R5	Am7	4
P2	K2	R6	Am7	5
P2	K2	R6	Am8	6
P2	K2	R6	Am9	7
P2	K2	R6	Am10	8
P2	K2	R7	Am8	9
P2	K2	R7	Am9	10
P2	K2	R7	Am10	11
P2	K3	R6	Am8	12
P2	K3	R6	Am9	13
P2	K4	R7	Am7	14
P3	K1	R5	Am9	15
P3	K2	R6	Am8	16
P3	K2	R7	Am9	17
P3	K3	R6	Am8	18
P3	K3	R6	Am9	19
P3	K4	R5	Am9	20
P3	K4	R7	Am7	21
P4	K1	R5	Am9	22
P4	K4	R5	Am9	23
P2	N/A	R5	Am7	N/A

Fuente: IEE, INAMHI, MAGAP; 2012
Diseño: Palacios F.; 2013

Como se mencionó en la sección previa, la última fila de la tabla 17. no tiene asignado una zona hidrológica, debido a la amplia superficie de la unidad drenaje menor que se extiende sobre la parte más baja de la subcuenca, y adicionalmente por su gran tamaño que abarca todas las clases de permeabilidad establecidas para el estudio.

Las zonas homogéneas que se muestran en el mapa 10., tienen una doble función: primero, determinar el caudal teórico estimado que sale de la subcuenca solucionando el problema del drenaje menor; y segundo, permitir tener una idea preliminar sobre donde se pueden ubicar nuevas estaciones hidrometeorológicas para el monitoreo del recurso hídrico.

Mapa 10. Zonas hidrológicas teóricamente homogéneas



5.2.3. CÁLCULO DEL CAUDAL MEDIO DE LA SUBCUENCA

En la sección anterior de este estudio, se estableció el caudal medio y el área de influencia de las estaciones hidrológicas circunscritas al límite de la subcuenca del río Patate. Sin embargo al no poseer una estación que realice lecturas de caudal en la salida de la subcuenca, un gran porcentaje de superficie del área de estudio queda sin el monitoreo del recurso hídrico.

En base a estos dos productos y a las zonas hidrológicas homogéneas es factible determinar un valor teórico aproximado del caudal del río Patate antes de confluir con el río Chambo y formar el río Pastaza. Este proceso se lo detalla a continuación.

- El área llamada drenaje menor, que se extiende a lo largo de la parte más baja de la subcuenca y que en ella se encuentran los ríos Cutuchi, Yanayacu, Ambato y Patate; se la fragmenta tomando como punto de corte las estaciones que igualmente se encuentran en las partes bajas, las cuales que son: Cutuchi AJ Yanayacu (H792), Yanayacu Pte. Pucará (H796) y Ambato en Ambato (H801). Para este paso se toma de referencia la delimitación de las áreas de influencia de las estaciones, y como resultado se agrega 3 unidades hidrográficas adicionales a las 67 ya existentes.

- En la cobertura que tiene las 70 unidades hidrográficas, se añade un campo en la tabla de atributos llamado caudal unitario, en el cual se ingresará el valor del caudal específico calculado para el área de influencia que las contiene.

  Tras esta operación se halló el caudal específico para todas las microcuencas a excepción de las localizadas en el área que no cuenta con una estación hidrológica para el monitoreo.

- En base a las zonas hidrológicas homogéneas, se identifica las microcuencas que tienen las mismas características físicas tanto al interior de las áreas que se monitorean por las estaciones como en la sección que no se lo realiza. Este

reconocimiento permite asignar el valor del caudal específico de una microcuenca monitoreada a una que no lo está, en razón de que la precipitación media, permeabilidad, relieve y altura media entre ambas microcuencas son semejantes. Al realizar este proceso se logra conocer de forma teórica, el caudal específico de las microcuencas en la sección no monitoreada, excepto el tramo del drenaje menor de esta zona que todavía no se conoce.

- Para conocer el caudal específico de la unidad faltante, en primer lugar se obtiene el caudal medio de las microcuencas que vierten sus aguas en el drenaje menor en cuestión, ya que se dispone de los datos para el cálculo. A continuación se determina el caudal específico de la unidad faltante, al dividir la sumatoria de los caudales medios para las áreas de las microcuencas consideras.

  $q = \sum Q / \sum A$

  $q = 6{,}342129 / 720{,}654623$

  $q = 0{,}00880051\ m^3/s/Km^2$

- Finalmente, al contar con los valores del caudal específico de las 70 unidades hidrográficas, se puede obtener fácilmente el caudal medio al despejarlo de la expresión matemática anterior. Sin embargo al haber calculado ya el caudal medio donde si existe estaciones hidrológicas, esta operación se la efectúa solamente con las 21 unidades hidrográficas ubicadas en el área que no posee estación de monitoreo, la salida del cauce de la subcuenca.

  Al realizar la suma de los caudales medios tanto de la superficie con estaciones de monitoreo (38,318 m^3/s) como de la superficie sin estación alguna (10,199 m^3/s), se puede indicar que la subcuenca del río Patate genera teóricamente 48,517 m^3/s.

5.2.4. PROPUESTA DE UBICACIÓN DE ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS

En la determinación de las zonas homogéneas, se produjo el resultado final en base a la aptitud creciente al escurrimiento. Para establecer la ubicación de las posibles estaciones hidrometeorológicas se toma también como referencia esta consideración, sin embargo el factor más influyente para proponer estas ubicaciones es detectando las regiones contiguas que posean características similares para agruparlas y se esta forma sugerir los sectores más idóneos para implantar las estaciones (CONVENIO MAG-ORSTOM, 1976).

Al efectuar el análisis para recomendar el sitio donde podría implantarse una estación de monitoreo, se debe tener claro los factores que se encuentran participando en esta decisión, para no caer en el error de adicionar u omitir consideraciones conforme a la superficie que se está analizando. Los puntos a continuación son la base que ayudó a indicar los posibles sitios donde podría funcionar una estación.

- La intervención del los factores relieve y altura media tienen una incidencia uniforme en cuanto a las zonas estudiadas, por lo cual, en teoría, ayudaría a lograr agrupaciones con características semejantes (CONVENIO MAG-ORSTOM, 1976).

- No se tiene en consideración las estaciones que se encuentran en las unidades hidrográficas al exterior de la subcuenca del río Patate.

- La intervención del ser humano al igual que la vegetación natural como de producción, no se tiene en consideración para el análisis. La única obra que se toma en cuenta por su magnitud es el embalse de Pisayambo, ya que tiene una fuerte incidencia en el volumen de agua hacia tierras bajas.

- Los glaciares ejercen la acción de reguladores sobre las fuentes de agua que van hacia las tierras bajas de acuerdo a la temporalidad y otros factores. Este hecho se lo toma como un referente general mas no como una consideración puntual.

- Según MAG-ORSTOM (1976), se recomienda incorporar a la red de estaciones que se propondría, estaciones que engloben una unidad hidrográfica que sea mayor a los 50 Km^2.

Los argumentos expuestos dan la pauta para realizar una observación detenida de las zonas homogéneas y concebir posibles agrupamientos entre ellas, para de esta manera, proponer los posibles sitios de ubicación donde se instalarían las estaciones hidrometeorológicas.

En alusión a las cuatro características físicas de las microcuenca (con primacía en la pluviometría y la permeabilidad), y adicionalmente a la aptitud creciente al escurrimiento, se obtuvo los siguientes resultados.

1. Para cubrir las unidades hidrográficas de las zonas 1, 2 y 3 bastaría con poner en funcionamiento la estación H795 (levantada hace muchos años) que se encuentra sobre el río Blanco antes de la junta con el río Pumacunchi, en la parte noroccidental de la subcuenca, a poca distancia del poblado de Toacazo. Esta estación cubre un área de 54 km^2 y con ella se estaría supliendo la falta de una estación para el monitoreo de 10 microcuencas que se encuentran al suroeste de Ambato de similares características.

2. Para el monitoreo de las zonas homogéneas numeradas desde la 4 hasta la 8, que difieren básicamente en la altura media, se podría instalar dos estaciones tentativas para abarcar con las 5 zonas consideradas. La primera sería

aproximadamente a 9 Km al noroeste de Salcedo, sobre el río Isinche antes de la junta con el río Patoa (Código HN001). La segunda cercana a Latacunga sobre la Quebrada Palahuaycu antes de la junta con el río Pumacunchi (Código HN002). Ambas unidades hidrográficas superan los 50 Km^2, sin embargo también es característica de estas zonas, la unidad hidrográfica que contiene a la quebrada Pataló al suroeste de Ambato, pero el inconveniente que presenta esta unidad es que su extensión solamente alcanza los 34.36 Km^2.

3. En el análisis de las zonas 9,10 y 11, donde el único elemento que varía es la altura media; en primer lugar las zonas 9 y 10 se encuentran contiguas y poseen una estación de monitoreo en funcionamiento al interior del límite de ellas, y una ya levantada en el borde exterior del límite. Esta situación da lugar a dos casos: mantener la estación (H797) de coordenadas X: 782203 y Y: 9910367 en funcionamiento y localizada sobre el río Tulugchi después de la junta con la quebrada Baños; o reinstalar la estación Alaquez después de la junta barrancas Tulugchi (H947) localizada aproximadamente a 6 Km aguas arriba de la población del mismo nombre.

   La zona 11 debería contar con una estación en el río Colorado antes de la junta con el río Blanco, ya que la variabilidad espacial de la precipitación es bastante acentuada, con valores promedio que van desde los 500 a 1.100 mm de lluvias al año (Código HN003).

4. Las zonas 12 y 13 de similares características a excepción de la altura media se encuentran representadas por los registros que toma la estación (H793) Nagsiche planta eléctrica Cusubamba, localizada a pocos metros del puente sobre el río Nagsiche en Cusubamba, por lo cual sería recomendable conservar esta estación.

5. La zona 14 compuesta por tres unidades hidrográficas, quedaría representada si se instalara una estación localizada inmediatamente después de la junta de las quebradas Langasa y Compadre Huaycu sobre la ciudad de Salcedo (Código HN004).

6. La zona 15 comprende una sola unidad por lo que se no sería adecuado instalar una estación. Adicional a esto, el suelo en su mayoría tiene una permeabilidad de media a alta.

7. La zona 16 contiene una sola unidad hidrográfica, por lo cual los registros que se tendrían al instalar una estación en esta zona, no se los podría utilizar para transferir los datos a unidades que no son monitoreadas. En tal razón no tiene caso instalar una estación en esta zona.

8. La zona 17 la conforman 3 unidades hidrográficas de las cuales 2 están en la cabecera de la subcuenca y son colindantes. Se podría monitorear esta zona si se colocara nuevamente la estación Cutuchi CA S.A. de Callo (H961) de coordenadas X: 766374 y Y: 9917951. Además los datos de esta zona podrían ser utilizados por la zona 16, gracias a las características similares entre las dos.

9. En referencia a las zonas 18 y 19 de muy similares características, se tiene dos estaciones en funcionamiento (H763 y H764) que representan las unidades de estas zonas. Al encontrarse en operaciones estas estaciones y en vista de que en base a ellas se trasladaría los datos a varias unidades hidrográficas, sería recomendable mantenerlas realizando el monitoreo.

10. La zona 20 está formada por una sola unidad hidrográfica, por tal motivo no es recomendable instalar una estación.

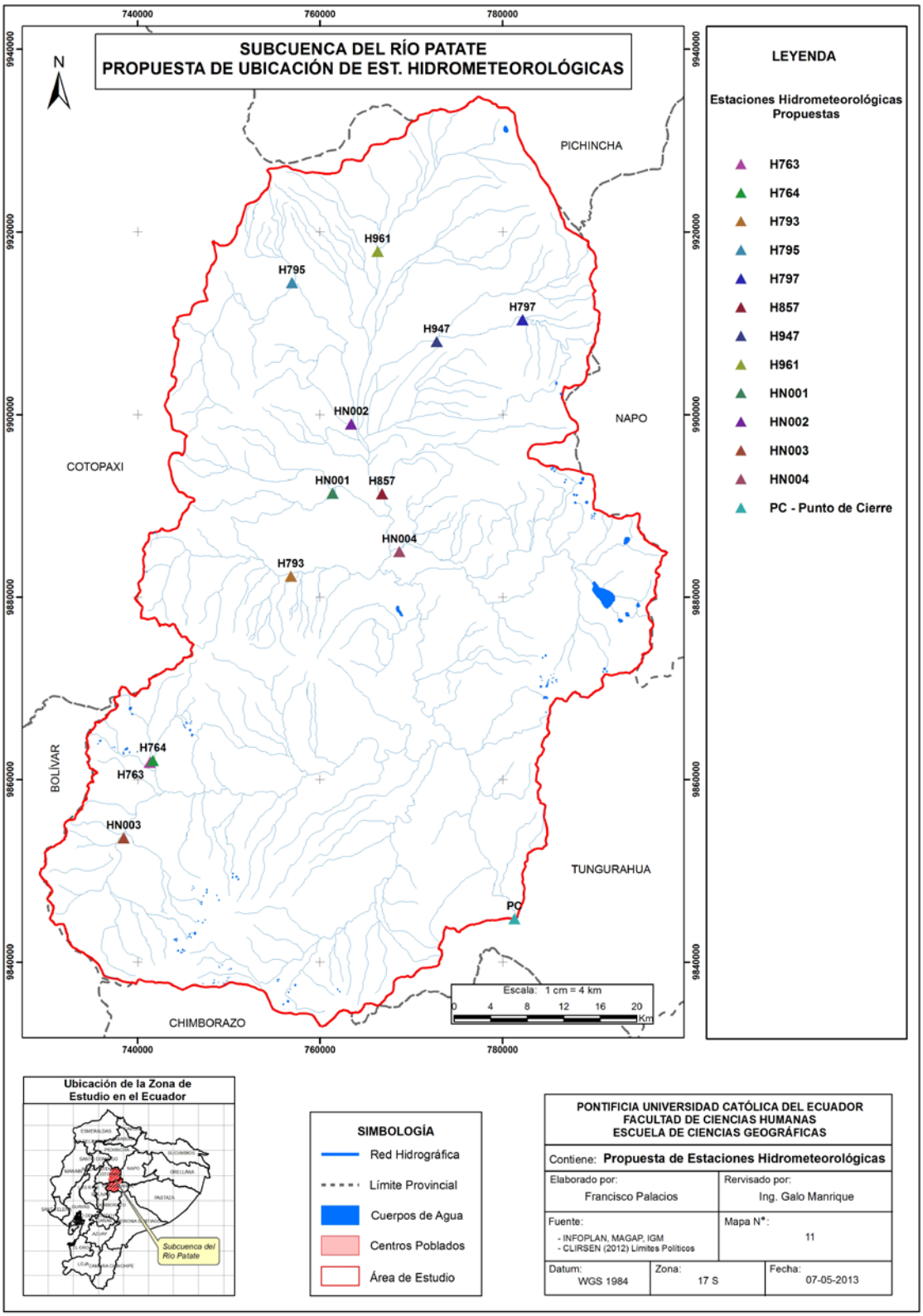
11. La estación Illuchi antes de la junta con el río Cutuchi (H857) representa idóneamente a las unidades hidrográficas de la zona 21, por lo que se sugiere mantener en operaciones a esta estación.

12. Al interior de la zona 22 se emplaza el embalse de Pisayambo por lo que no tiene caso el instalar una estación de monitoreo.

13. Al constituirse la zona 23 por una sola unidad, seria infructuoso instalar una estación hidrológica, ya que los datos registrados no serian aplicables en ninguna otra unidad hidrográfica.

A manera de resumen y en base a las zonas hidrológicas homogéneas, se sugiere la permanencia de operaciones de 6 estaciones hidrológicas y la instalación de 7 estaciones hidrometeorológicas incluida la que se ubicaría a la salida del área de estudio para el monitoreo global de la subcuenca del río Patate. La propuesta de las posibles estaciones se puede observar en el mapa 11. que se muestra a continuación.

Mapa 11. Propuesta de Ubicación de Estaciones Hidrometeorológicas



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Al observar que el nivel de densidad de drenaje de las microcuencas apunta a tener apenas un 10,45% de las unidades hidrográficas con una mediana red de drenajes y que el valor desmesurado cercano al 90% sea de microcuencas con una deficitaria red de drenajes, apunta a señalar que las diferentes actividades productivas, en especial la agricultura y la ganadería, se desarrollan en condiciones muy desfavorables. Al ser el valle de Latacunga y los diferentes territorios de Tungurahua, dos de los sectores más productivos del agro serrano, se ve la necesidad imperativa de poner en marcha algún proyecto (Ej: multipropósito Chalupas) que abastezca del líquido vital a estas regiones para poder asegurar la producción futura de alimentos y en segunda instancia para dejar de hablar de cantidades de producción y comenzar a referirnos a valores de productividad.

- Las condiciones cambiantes de la altitud del relieve es la condición principal que determina el régimen de lluvias y la variabilidad atmosférica de la temperatura. Es la relación directa de la precipitación con la altura y la relación inversa de la temperatura con la altura, las que determinan las condiciones meteóricas para la implantación de los diversos cultivos que se pueden producir en la zona. Sería ideal si de forma estandarizada se realizara por lo menos un sondeo sobre las temáticas precipitación, temperatura y clase de suelo para una determinada actividad agrícola. De esta manera se impulsaría una cultura, a más de ancestral, cognitiva, sobre lo que se puede producir, cuando hacerlo conforme a las condiciones ofrecidas por el medio.

- Los estudios hidrológicos en su mayoría son útiles para proyectar una obra hidráulica de la cual se pueda aprovechar el recurso hídrico. La única gran obra efectuada al interior de la subcuenca es el embalse de Pisayambo, la cual acumula y luego regula la distribución del agua. Esta obra está ubicada en el sector de la subcuenca donde más llueve y donde inclusive los suelos tienden a ser más impermeables. Al buscar condiciones similares alrededor de la subcuenca, para optar por iniciar hipotéticamente una obra semejante a la de Pisayambo, no es alentador confirmar que aparte de este sector, no existe otro adicional. Lo que sí se puede observar es una amplia y bien distribuida red de acequias y canales que sirven para suplir el déficit hídrico presente en la subcuenca, el cual se manifiesta al examinar los valores de la densidad de drenaje y admirarse con el exorbitante número de microcuencas que se encuentran en condición deficitaria de drenajes.

- Las zonas hidrológicas homogéneas es una herramienta de análisis sustancial para saber, con buena precisión, el posible caudal que me arroja una determinada unidad hidrográfica que no se esté monitoreada por una estación, versus una que si lo está. Al poseer características similares la microcuenca monitoreada y la que no lo está, se puede saber el caudal de la microcuenca sin seguimiento en base a la correlación de áreas entre estas dos microcuencas. Hacer esto es particularmente útil cuando son escasas las estaciones hidrológicas y se requiere conocer el caudal de una unidad hidrográfica, para un determinado fin específico.

RECOMENDACIONES

- Al realizar estudios donde intervenga la variable temperatura, es aconsejable utilizar la mayor cantidad de estaciones que dispongan de datos de temperatura, ya que al ingresar más valores de temperatura a la correlación de temperatura – altura, es más probable que la correlación se acerque a la unidad y la desviación estándar vaya disminuyendo.

- El estudio de las zonas hidrológicas homogéneas se restringió al análisis de los elementos precipitación media, permeabilidad, relieve y altura media; sin embargo antes que tomar en consideración el o los sitios donde se propuso implantar una estación hidrometeorológica, se debe analizar minuciosamente la situación de los alrededores de las estaciones propuestas en relación a las actividades antrópicas presentes en el sector.

- Al efectuar la propuesta de instalación de nuevas estaciones, estas deben complementarse con las estaciones que se encuentran en operación, procurando exista un equilibrio en cuanto al número y ubicación de estaciones entre las partes bajas y altas de la zona de estudio. De esta forma se podrá analizar el comportamiento de los causes y determinar el nivel de aprovechamiento del recurso hídrico en el trayecto del cauce hacia tierras bajas.

- Por último es aconsejable instalar una estación hidrometeorológica sobre el río Patate antes de la junta con el río Chambo, para saber efectivamente el caudal que produce la subcuenca y además estimar de mejor manera el caudal medio de las microcuencas que se encuentran en las cercanías de la confluencia de estos dos ríos.

BIBLIOGRAFÍA

- APARICIO, F. (1999): Fundamentos de Hidrología de Superficie. México, D.F.: Limusa.
- CANTERA, J.; CARVAJAL, Y. y CASTRO, L. (Eds.) (2009): Caudal Ambiental: Conceptos, Experiencias y Desafíos. Colección de Libros de Investigación. Cali: Programa Editorial Universidad del Valle.
- CHEREQUE, W. (1989): Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil. Publicación Investigativa. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
- CHOW, V.T. (1994): Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá: D´Vinni Editorial Ltda. (Traducción de SALDARRIAGA, J. (MCMLXXXVIII): Applied Hydrology).
- MAG – ORSTOM (1976): Estudio Hidro-Meteorológico e Hidrogeológico Preliminar de las Cuencas de los Ríos Pastaza Chimbo y Chanchán. Investigación bajo Convenio. Personal INAMHI, INERHI, MAG, ORSTOM. Quito.
- MARTONNE, E. (1973): Tratado de Geografía Física. Barcelona: Juventud (Traducción de CANDEL, R. Y COMAS, J. (1964): Tratté de Géographie Physique).
- MONSALVE, G. (1999): Hidrología en la Ingeniería. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

TRABAJOS DE TESIS Y DOCUMENTOS INSTITUCIONALES

- ALMEIDA, M. (2010): Instructivos de Procesamiento de Información Hidrometeorológica. Tesis de Ingeniería Ambiental. EPN. Quito.
- ARÉVALO, A. (2005): Rehabilitación del canal de riego aserrío - sitio nuevo, con sus obras complementarias. Río Raspas, parroquia Buenavista del cantón Pasaje, provincia de El Oro. Tesis de Ingeniería Civil. Universidad Técnica de Machala. Machala.

- ARROYO, A. (2007): El Enfoque de Cuencas Hidrográficas: Algunas Reflexiones. Foro sobre Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas. Ecociencia – CODERECH – GTP. Riobamba.
- BARROS, J. y TRONCOSO, A. (2010): Atlas Climatológico del Ecuador. Tesis de Ingeniería Civil. EPN. Quito.
- CLIRSEN (2009): Generación de geoinformación de la cuenca alta y media del río Pastaza. Diagnóstico bajo el enfoque de Ecología del Paisaje. Equipo consultor CLIRSEN. Quito.
- CNRH (2007): Estudio Hidrológico de la Subcuenca del Río Chambo e Implementación de un Modelo Hidrológico. Informe Ejecutivo. CNRH. Quito.
- IGAC (2009): El ABC de los suelos para no expertos. Guía gráfica y demostrativa para la aplicación práctica de los estudios de suelos. Personal del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá
- LONDOÑO, C. (2001): Cuencas Hidrográficas: Bases Conceptuales – Caracterización – Planificación – Administración. Trabajo realizado durante el período de año sabático. Universidad de Tolima. Ibagué.
- WINCKELL, A.; ZEBROWSKI, C. y SOURDAT, M. (1997): Los Paisajes Naturales del Ecuador. Las regiones y paisajes del Ecuador volumen 2. Quito: Talleres gráficos del IGM del Ecuador.

PÁGINAS WEB

- BRENES, A.; SABORÍO, V. (1995): Elementos de Climatología: Su aplicación didáctica a Costa Rica.
  Rev.:11.11.2012. En: http://books.google.com.ec/books?id=G-Bb7ovml3AC&pg=PA7&dq=concepto+climatologia&hl=es&sa=X&ei=0kKgUJitJZOK9ATwnoCwDw&ved=0CDEQ6wEwAg#v=onepage&q=concepto%20climatologia&f=false
- FAUSTINO, J. y JIMÉNEZ, F. (2000): Manejo de cuencas hidrográficas
  Rev.:02.02.2013.
  En:http://books.google.com.ec/books?id=99oOAQAAIAAJ&pg=PT4&lpg=PT4&dq=cuenca+subcuenca+microcuenca+hidrografica&source=bl&ots=2aDpMHl

asu&sig=9hetJR7V0uszBJJ0mAVCPrZq88w&hl=es&sa=X&ei=SFwNUcWAO-a40QHAwoCIAQ&sqi=2&ved=0CDYQ6AEwAg

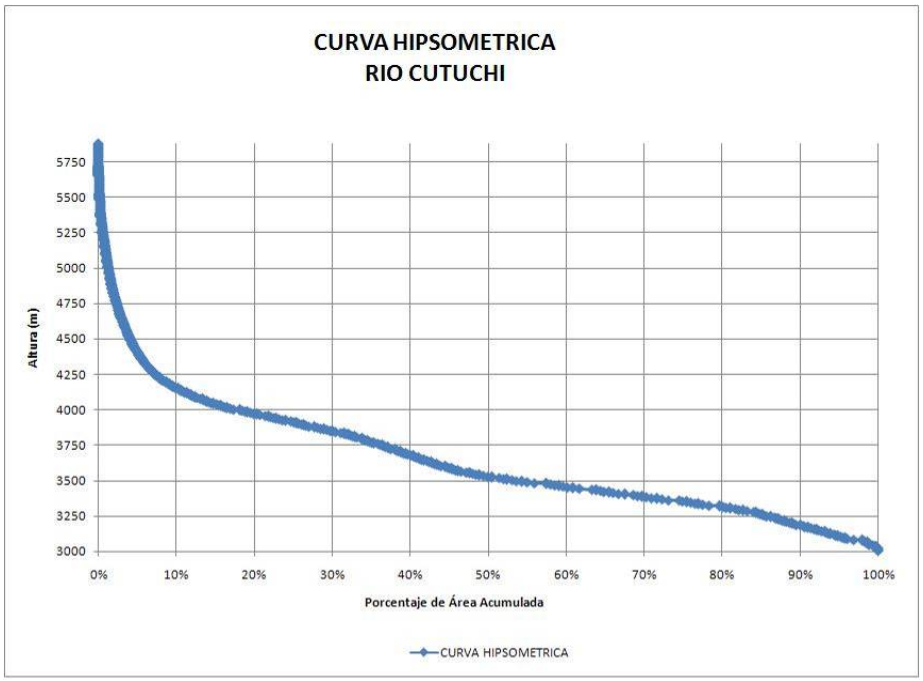
- MADEREY, L. (2005): Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico.
  Rev.: 12.11.2012.
  En:http://books.google.com.ec/books?id=0S3XDWsDzSAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- MEJÍA, M. (2012): Cartografía Automatizada.
  Rev.: 04.12.2012.
  En:ftp://ftp.puce.edu.ec/Facultades/CienciasHumanas/Maestria_Ing_Vial/Geodesia%20y%20Cartograf%C3%ADa%202012%20Ingenieria%20Vial.pdf
- PEÑA, J. (2006): Sistemas de Información Geográfica Aplicados a la Gestión del Territorio.
  Rev.: 12.11.2012.
  En:http://books.google.com.ec/books?id=QGG1Tw_rsB4C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- QUEREDA, J. (2005): Curso de Climatología General.
  Rev.:11.11.2012.
  En: http://books.google.com.ec/books?id=mW89MHwce-wC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- SANTA OLALLA, F.; LÓPEZ, P. y CALERA, A. (2005): Agua y Agronomía.
  Rev.: 12.11.2012.
  En:http://books.google.com.ec/books?id=LVF5_o3SP4sC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

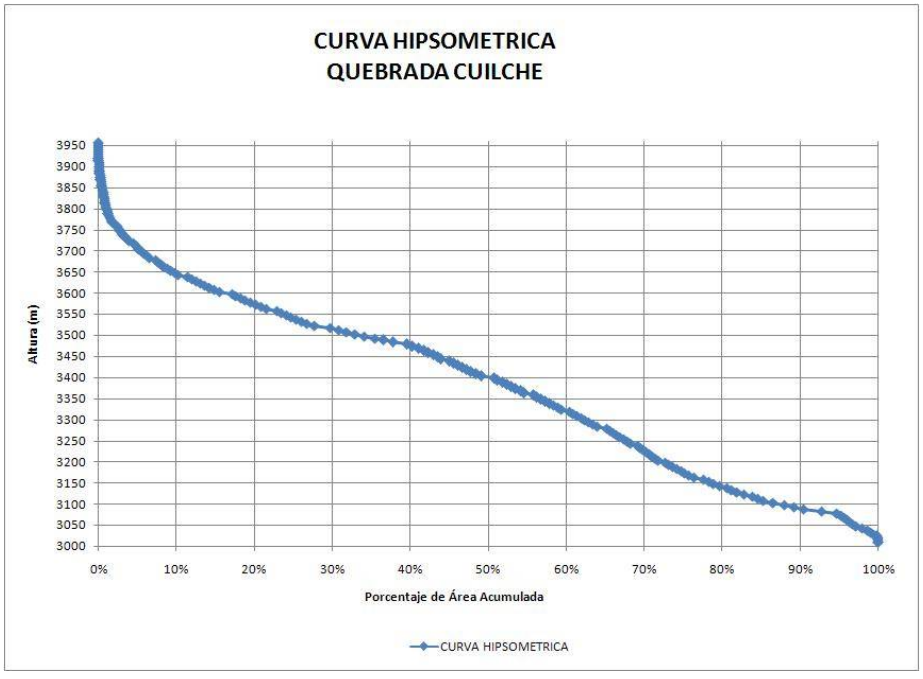
MATERIAL CARTOGRÁFICO

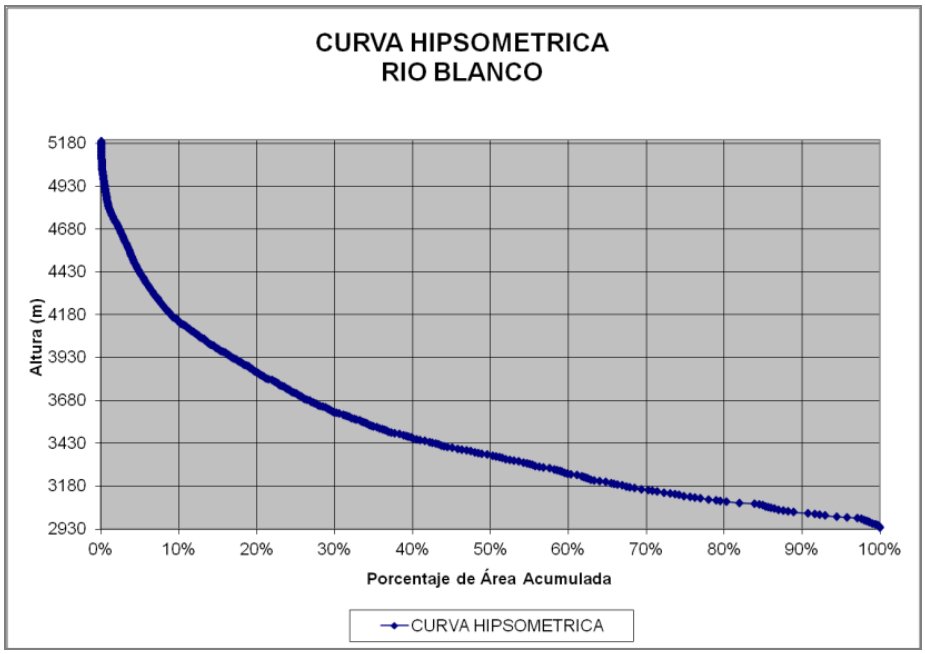
- WINCKELL, A.; ZEBROWSKI, C. y SOURDAT, M. (1997): Paisajes Naturales del Ecuador. 1:1.000.000. Quito.

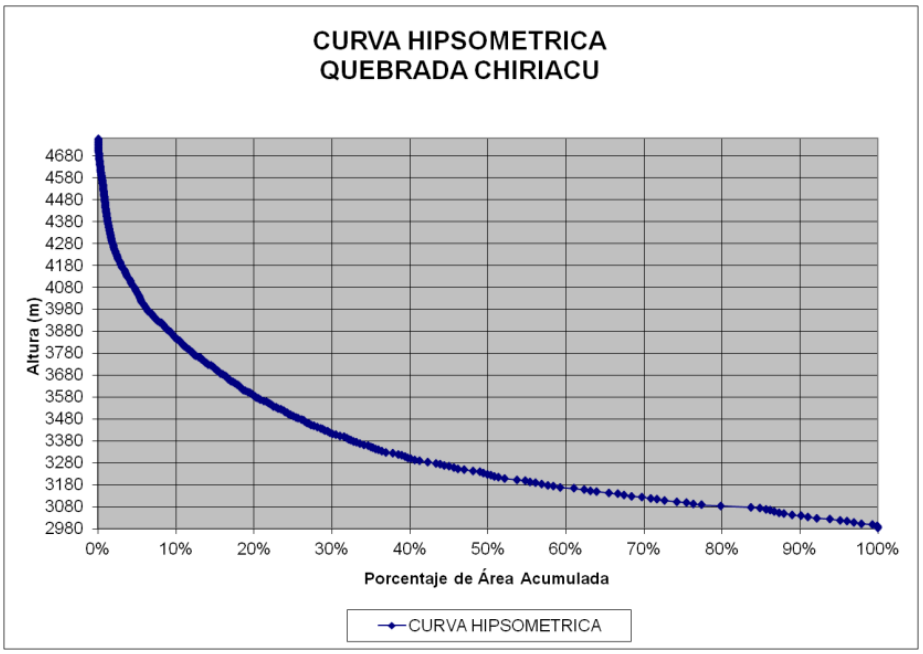
ANEXOS

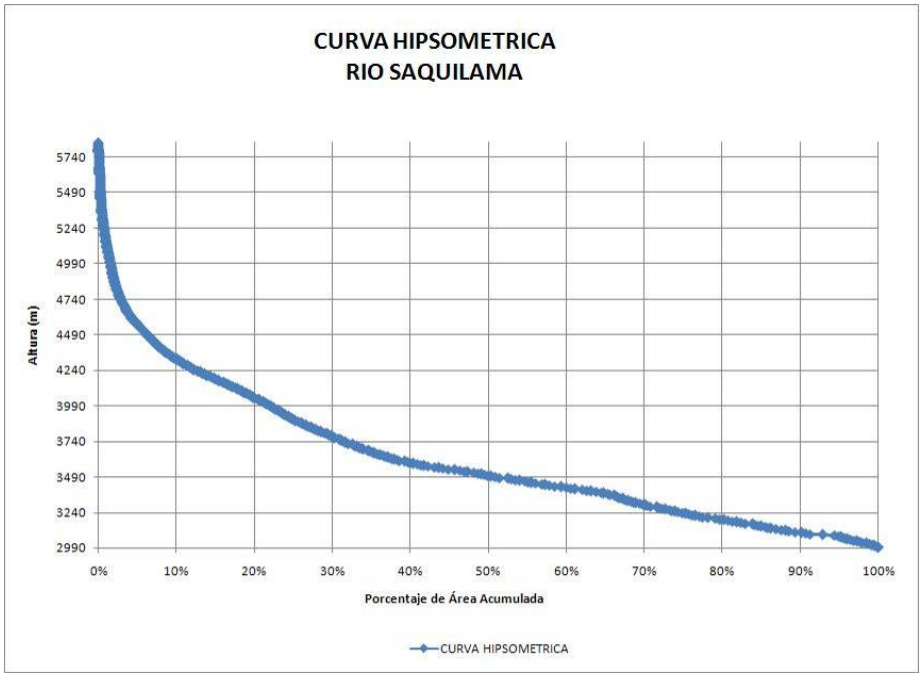
CURVAS HIPSOMÉTRICAS

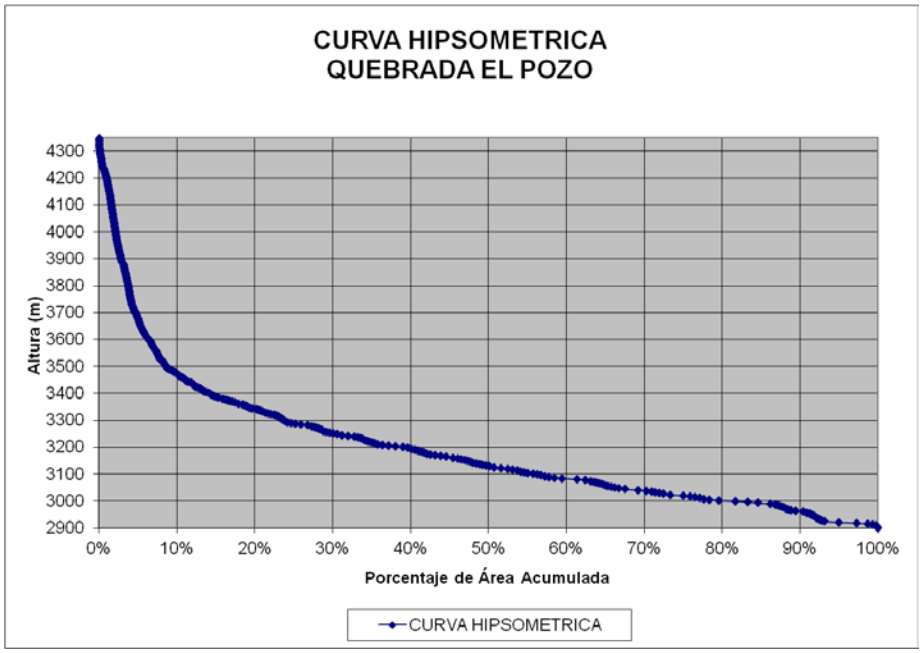

CURVA HIPSOMETRICA
RIO CUTUCHI
Altura (m)
5750
5500
5250
5000
4750
4500
4250
4000
3750
3500
3250
3000
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

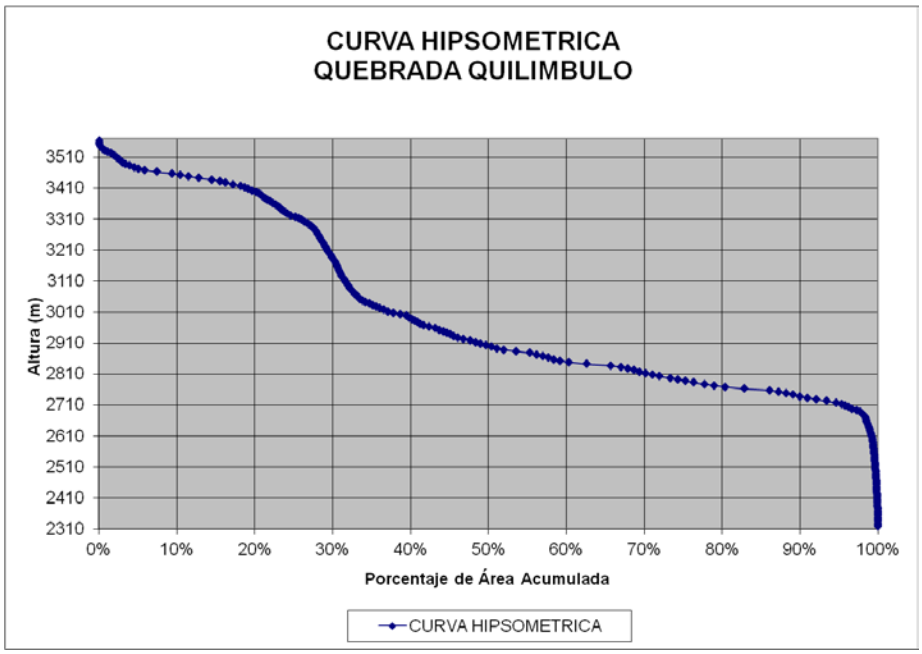

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA CUILCHE
Altura (m)
3950
3900
3850
3800
3750
3700
3650
3600
3550
3500
3450
3400
3350
3300
3250
3200
3150
3100
3050
3000
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA


CURVA HIPSOMETRICA
RIO BLANCO
Altura (m)
5180
4930
4680
4430
4180
3930
3680
3430
3180
2930
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

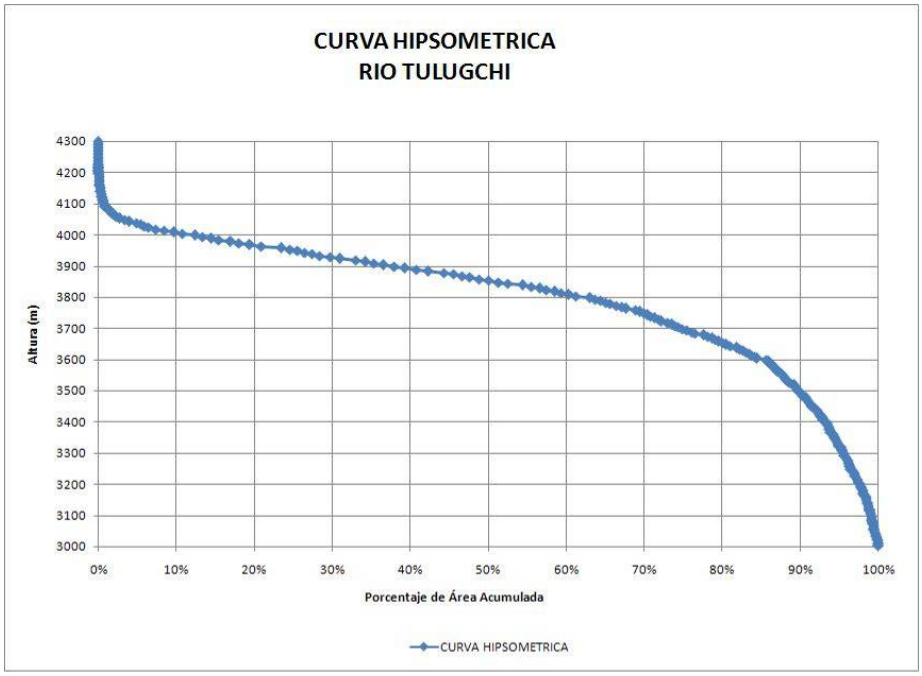

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA CHIRIACU
Altura (m)
4680
4580
4480
4380
4280
4180
4080
3980
3880
3780
3680
3580
3480
3380
3280
3180
3080
2980
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

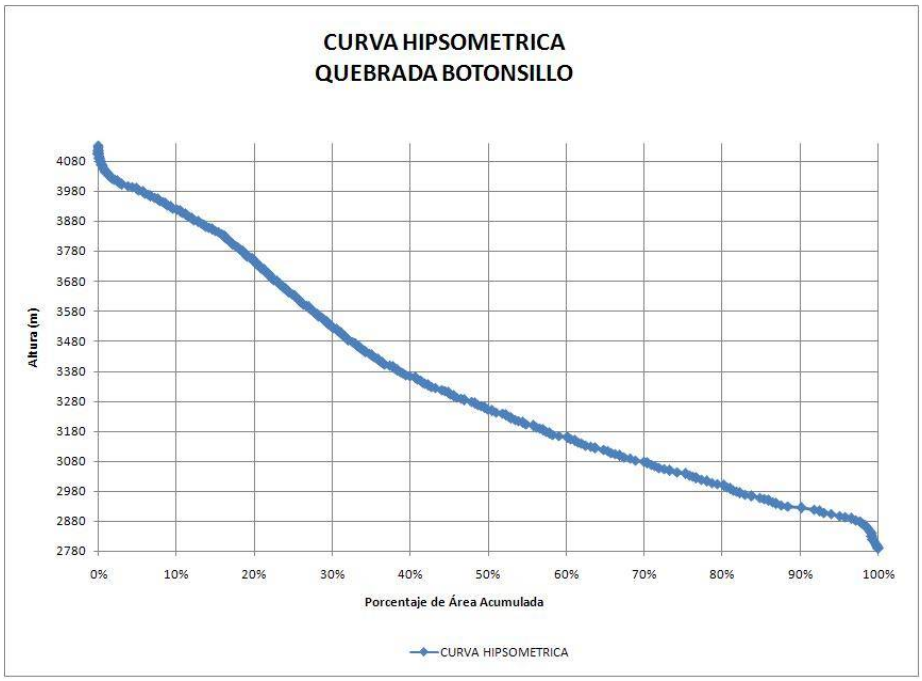

CURVA HIPSOMETRICA
RIO SAQUILAMA
Altura (m)
5740
5490
5240
4990
4740
4490
4240
3990
3740
3490
3240
2990
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

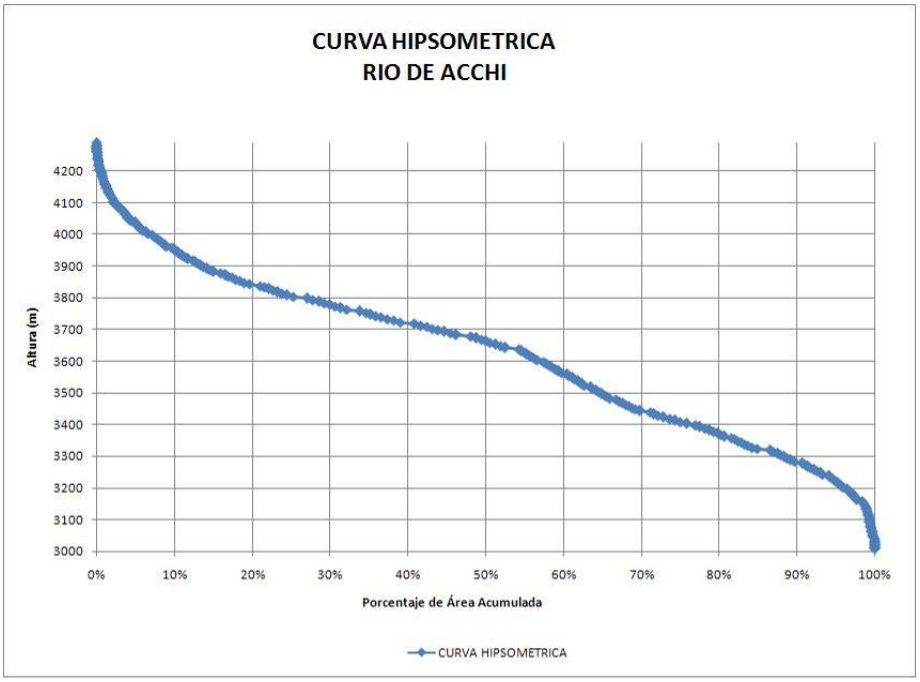

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA EL POZO
Altura (m)
4300
4200
4100
4000
3900
3800
3700
3600
3500
3400
3300
3200
3100
3000
2900
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

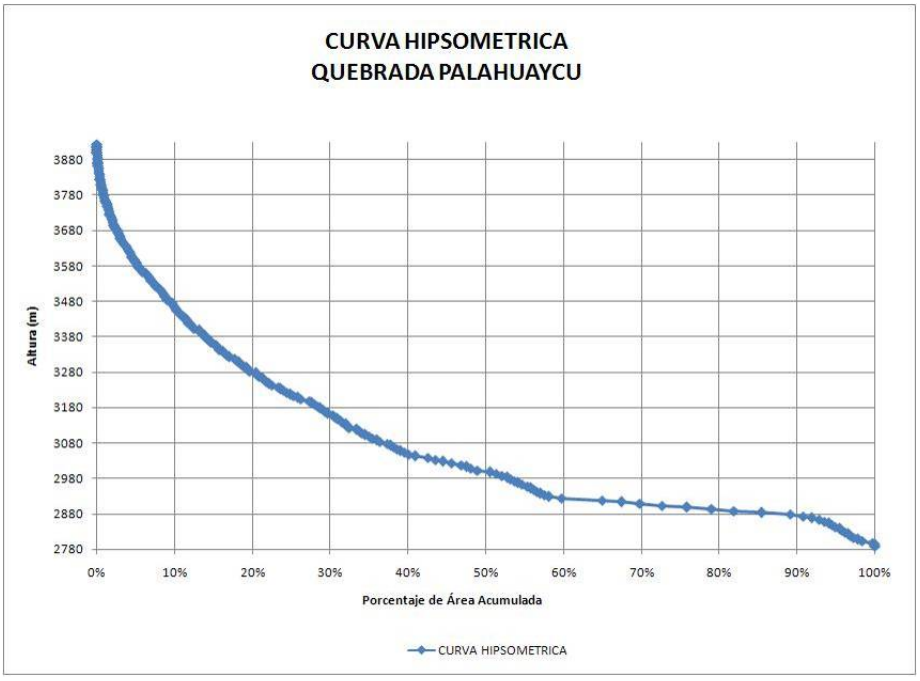

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA QUILIMBULO
Altura (m)
3510
3410
3310
3210
3110
3010
2910
2810
2710
2610
2510
2410
2310
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

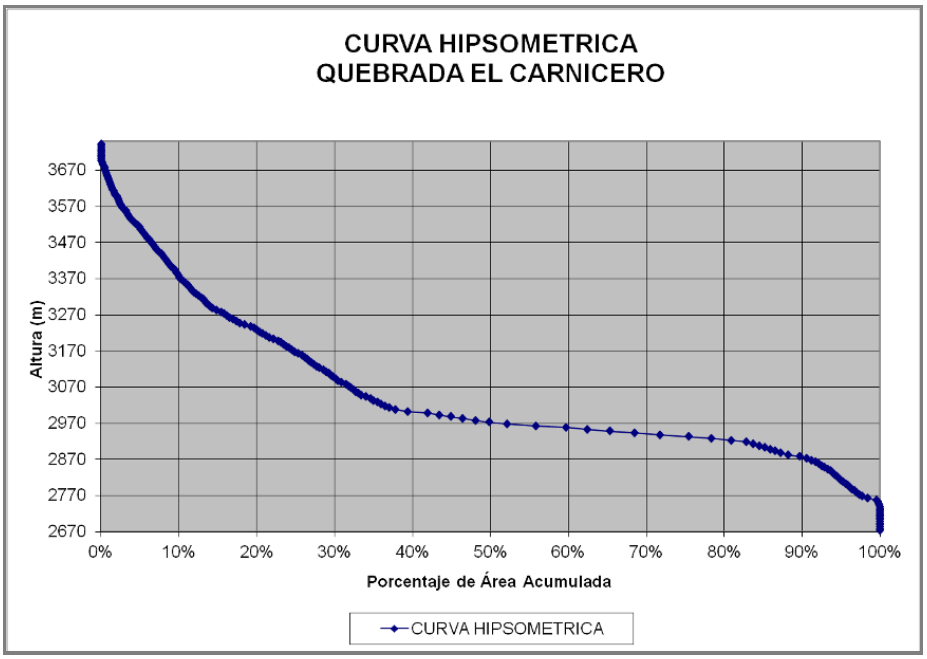

CURVA HIPSOMETRICA
RIO ALAQUES
Altura (m)
5740
5490
5240
4990
4740
4490
4240
3990
3740
3490
3240
2990
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

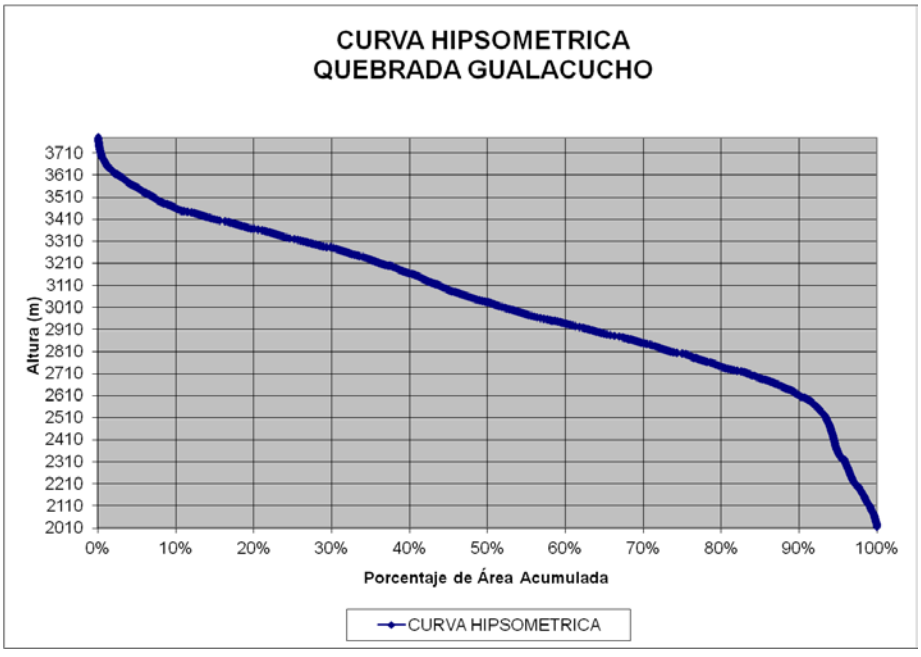

CURVA HIPSOMETRICA
RIO TULUGCHI
Altura (m)
4300
4200
4100
4000
3900
3800
3700
3600
3500
3400
3300
3200
3100
3000
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

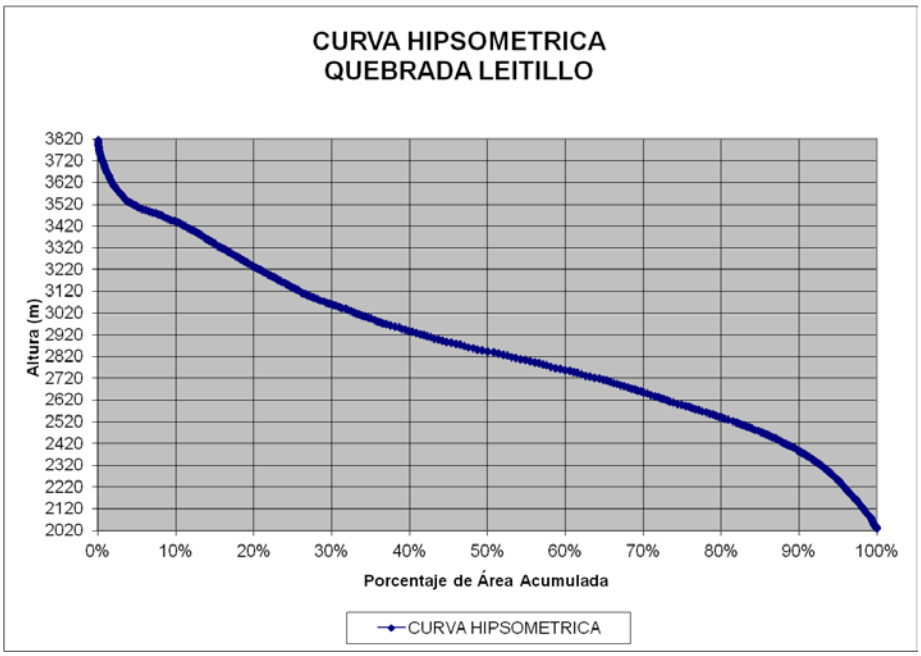

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA BOTONSILLO
Altura (m)
4080
3980
3880
3780
3680
3580
3480
3380
3280
3180
3080
2980
2880
2780
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

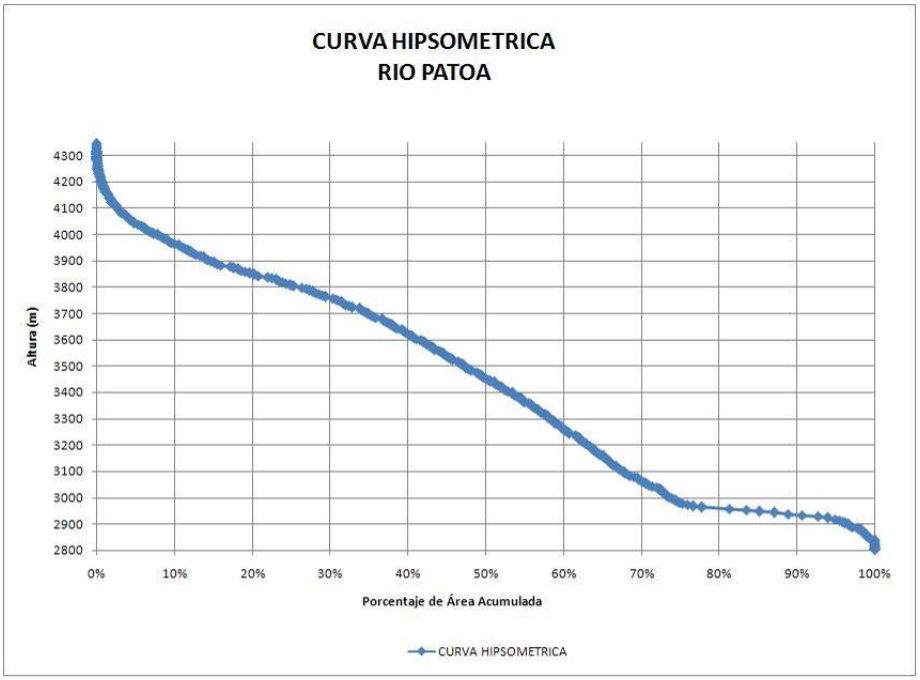

CURVA HIPSOMETRICA
RIO DE ACCHI
Altura (m)
4200
4100
4000
3900
3800
3700
3600
3500
3400
3300
3200
3100
3000
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

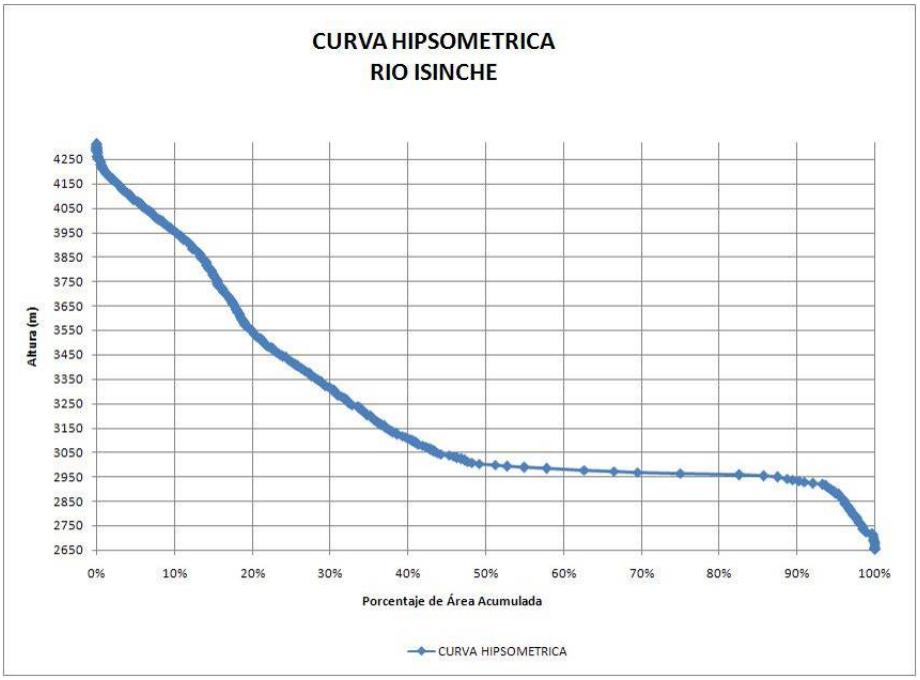

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA PALAHUAYCU
Altura (m)
3880
3780
3680
3580
3480
3380
3280
3180
3080
2980
2880
2780
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

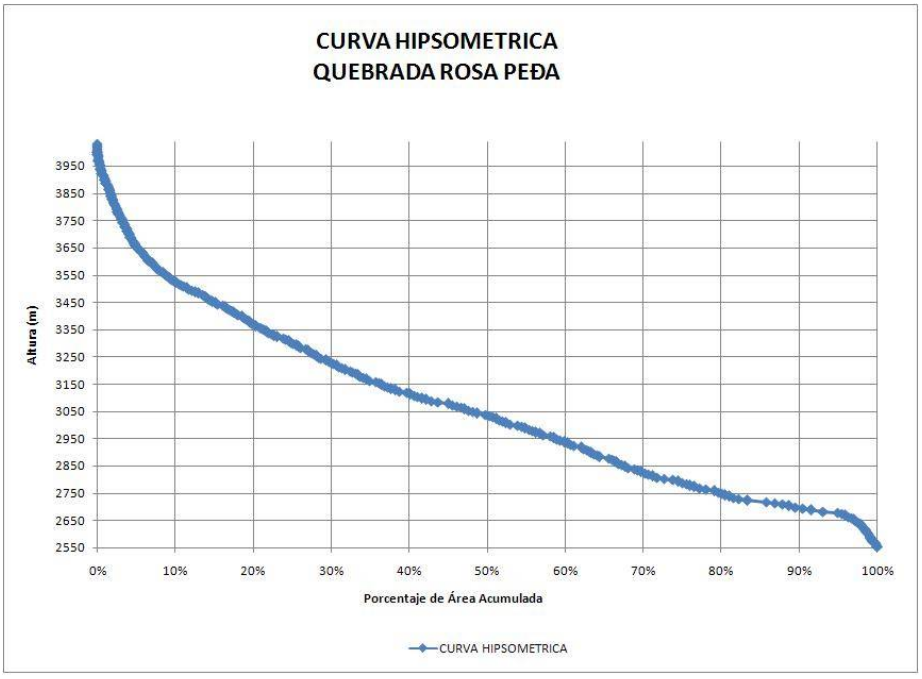

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA EL CARNICERO
Altura (m)
3670
3570
3470
3370
3270
3170
3070
2970
2870
2770
2670
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA


CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA GUALACUCHO
Altura (m)
3710
3610
3510
3410
3310
3210
3110
3010
2910
2810
2710
2610
2510
2410
2310
2210
2110
2010
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

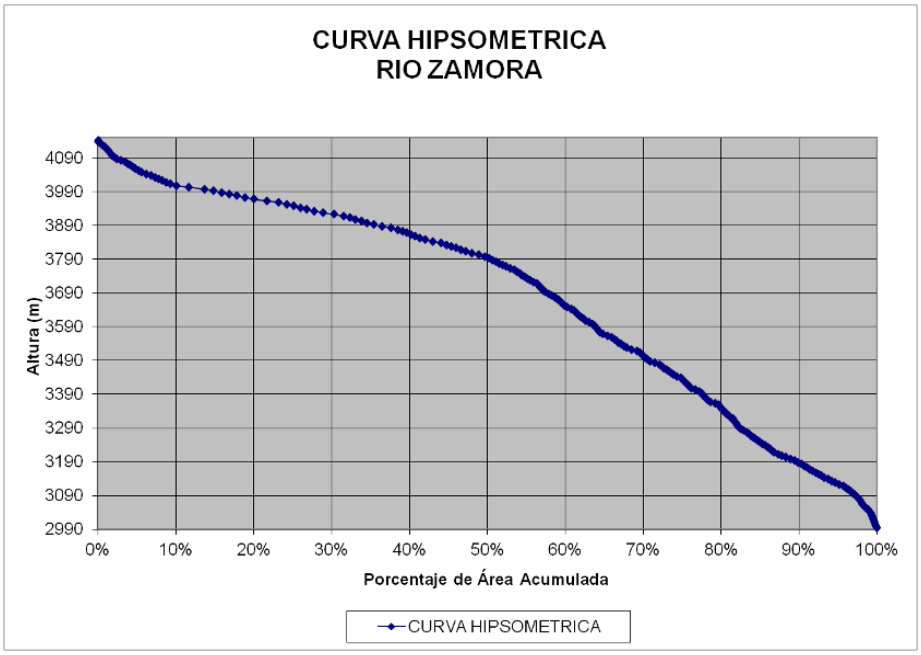

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA LEITILLO
Altura (m)
3820
3720
3620
3520
3420
3320
3220
3120
3020
2920
2820
2720
2620
2520
2420
2320
2220
2120
2020
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

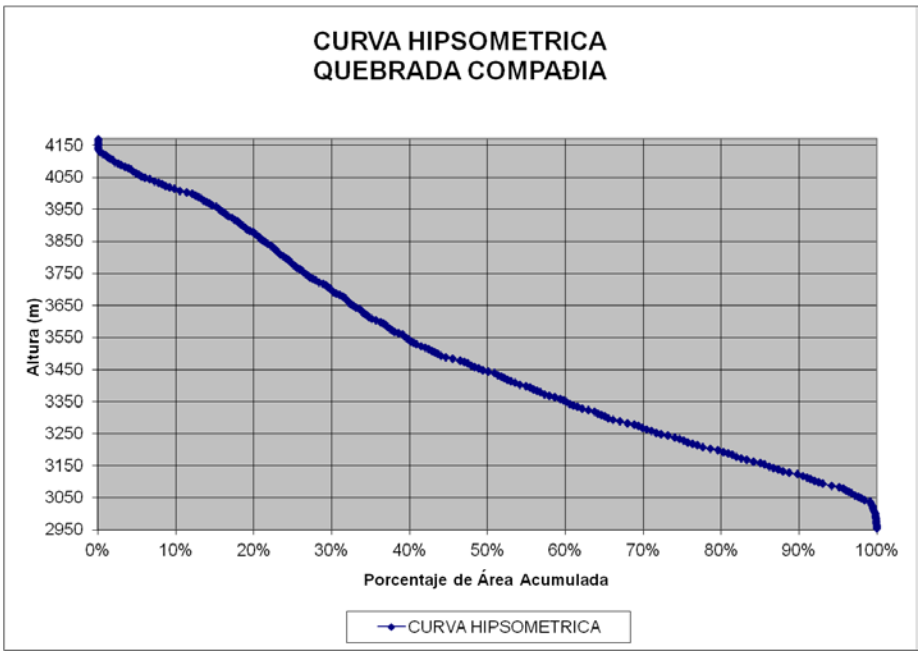

CURVA HIPSOMETRICA
RIO PATOA
Altura (m)
4300
4200
4100
4000
3900
3800
3700
3600
3500
3400
3300
3200
3100
3000
2900
2800
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

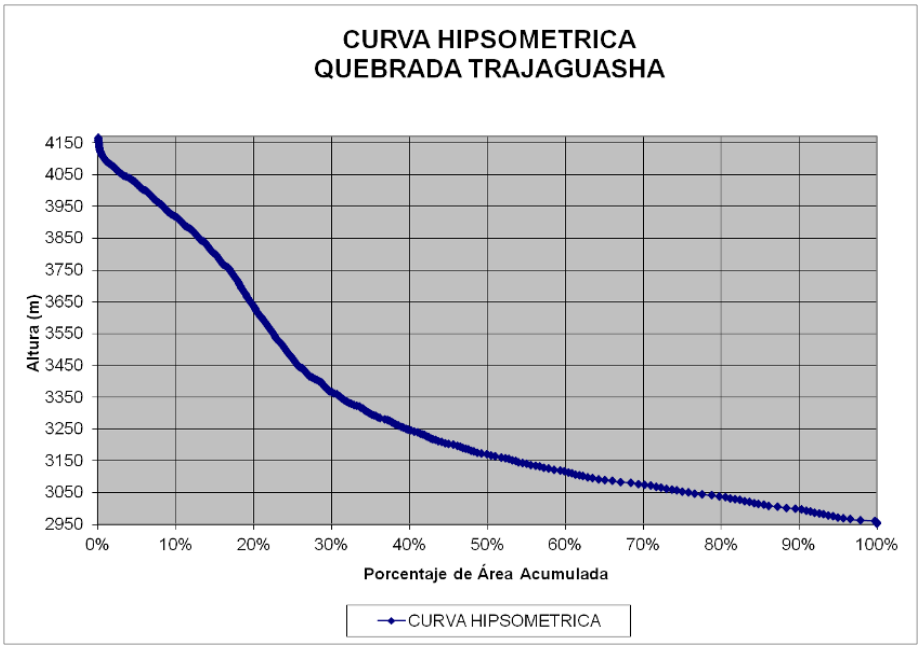

CURVA HIPSOMETRICA
RIO ISINCHE
Altura (m)
4250
4150
4050
3950
3850
3750
3650
3550
3450
3350
3250
3150
3050
2950
2850
2750
2650
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

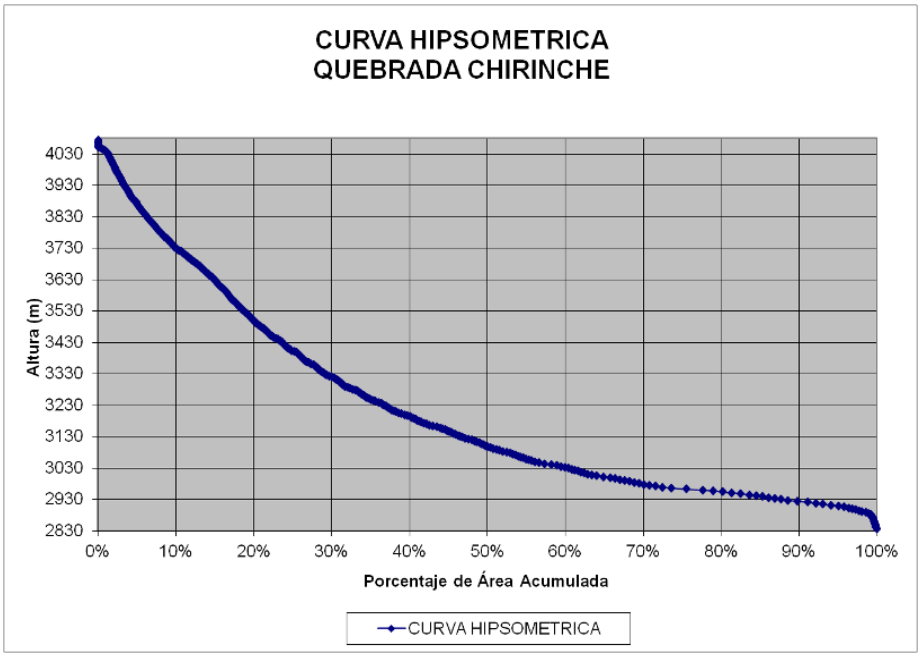

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA ROSA PEÐA
Altura (m)
3950
3850
3750
3650
3550
3450
3350
3250
3150
3050
2950
2850
2750
2650
2550
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

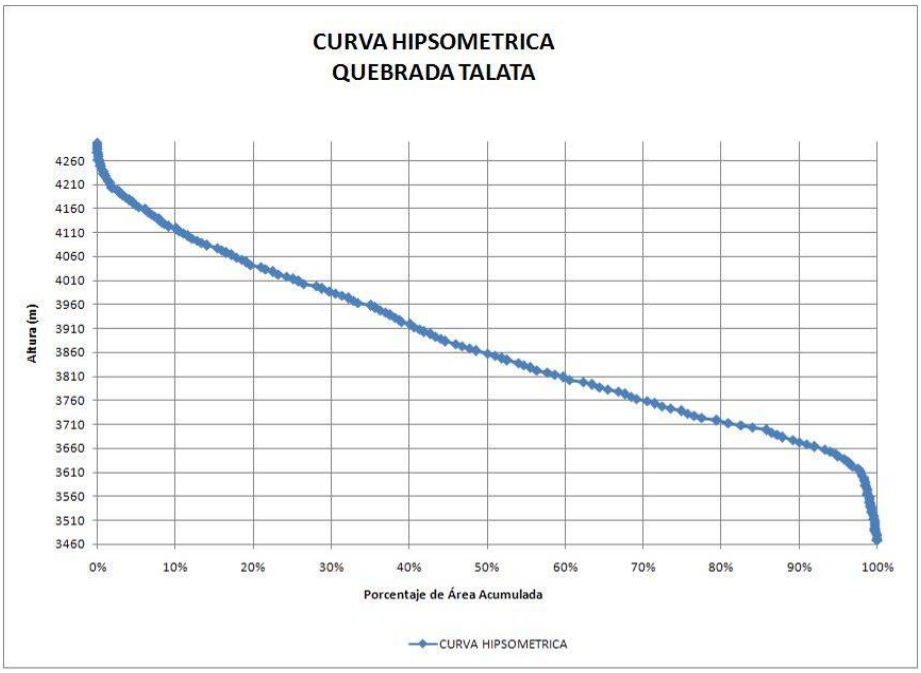

CURVA HIPSOMETRICA
RIO NAGSICHE
Altura (m)
4570
4470
4370
4270
4170
4070
3970
3870
3770
3670
3570
3470
3370
3270
3170
3070
2970
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

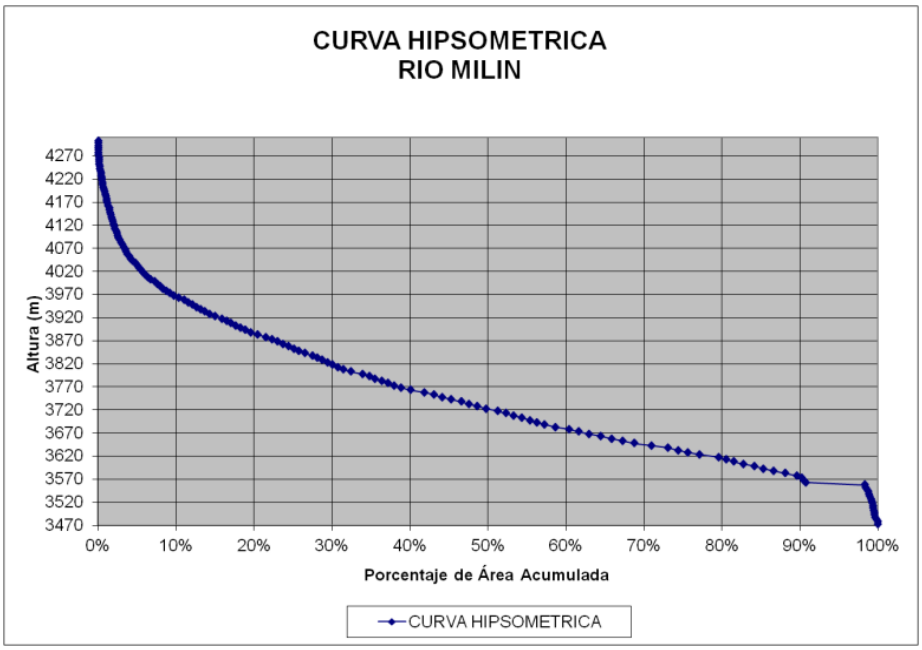

CURVA HIPSOMETRICA
RIO ZAMORA
Altura (m)
4090
3990
3890
3790
3690
3590
3490
3390
3290
3190
3090
2990
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

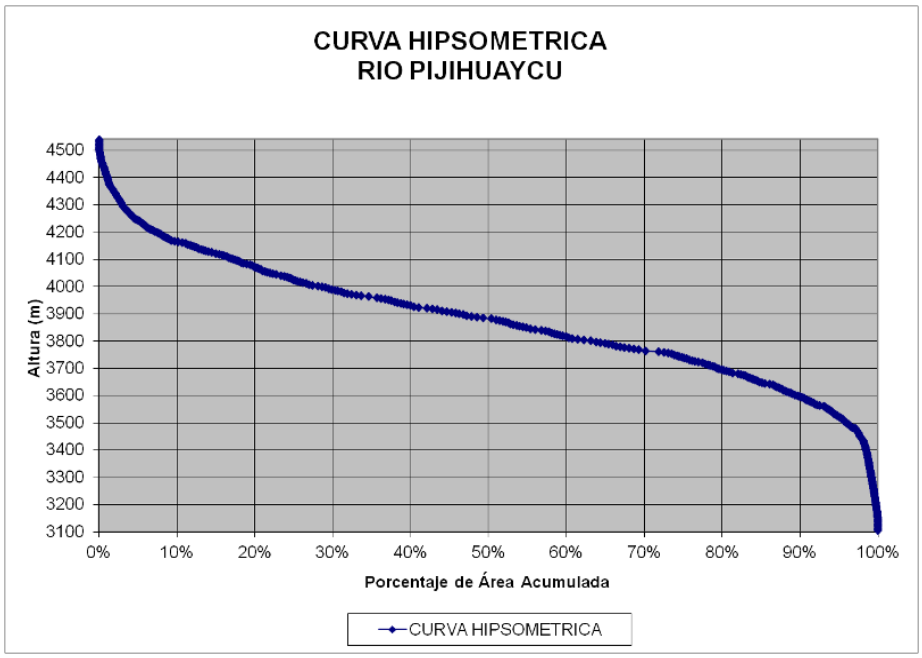

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA COMPAÐIA
Altura (m)
4150
4050
3950
3850
3750
3650
3550
3450
3350
3250
3150
3050
2950
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

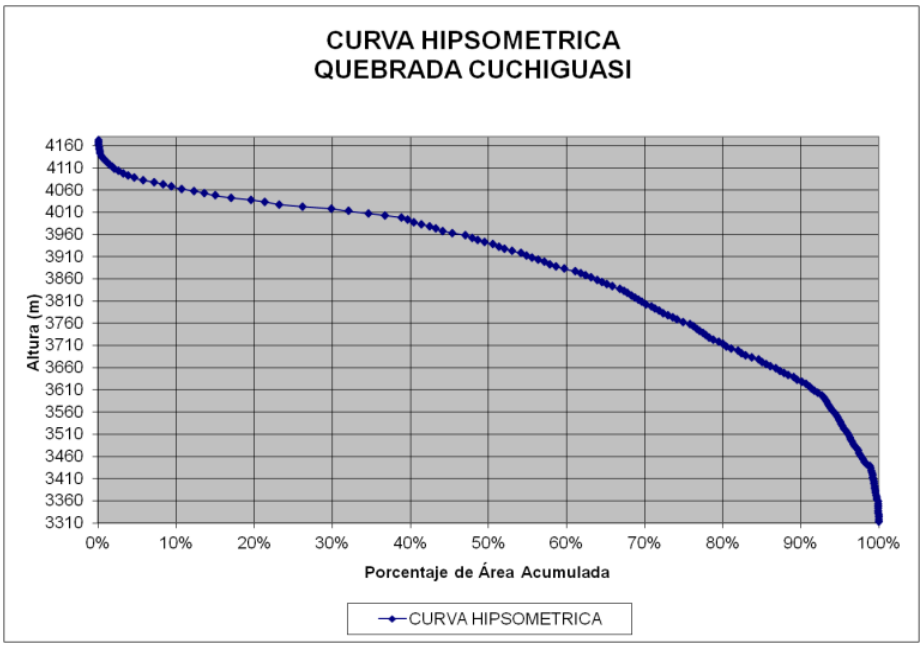

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA TRAJAGUASHA
Altura (m)
4150
4050
3950
3850
3750
3650
3550
3450
3350
3250
3150
3050
2950
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

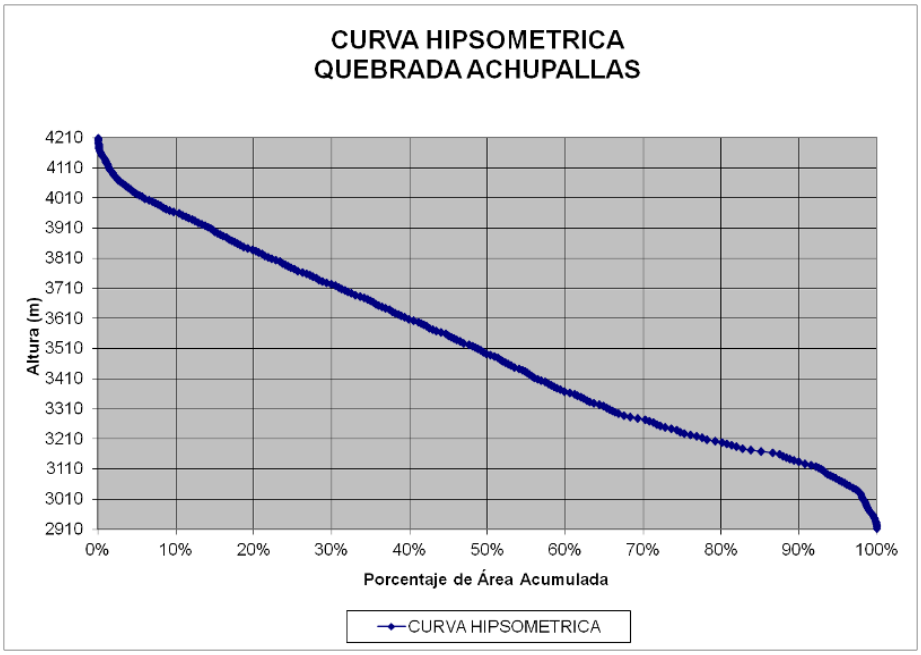

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA CHIRINCHE
Altura (m)
4030
3930
3830
3730
3630
3530
3430
3330
3230
3130
3030
2930
2830
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

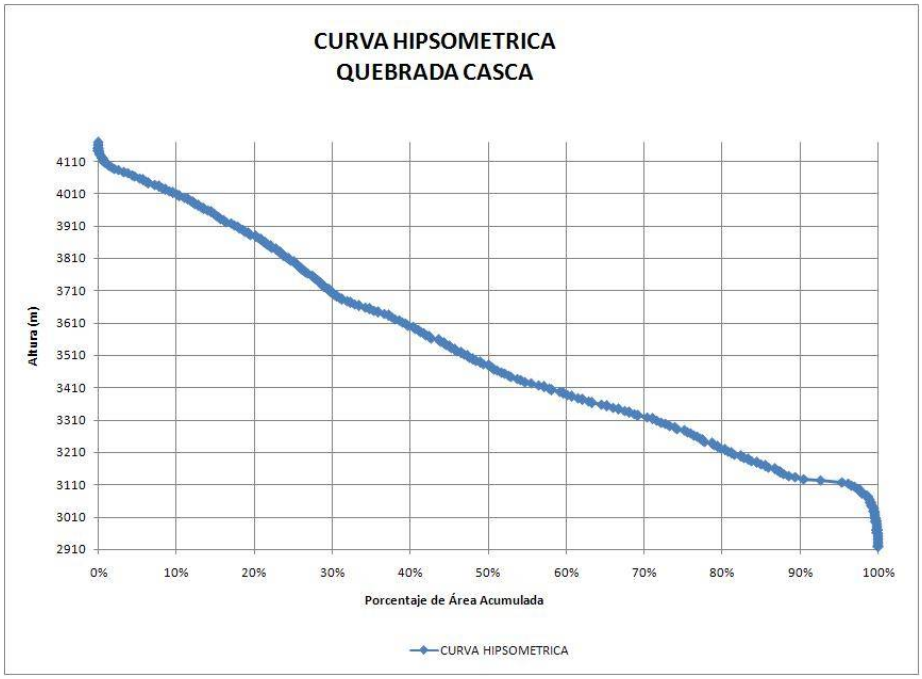

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA TALATA
Altura (m)
4260
4210
4160
4110
4060
4010
3960
3910
3860
3810
3760
3710
3660
3610
3560
3510
3460
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

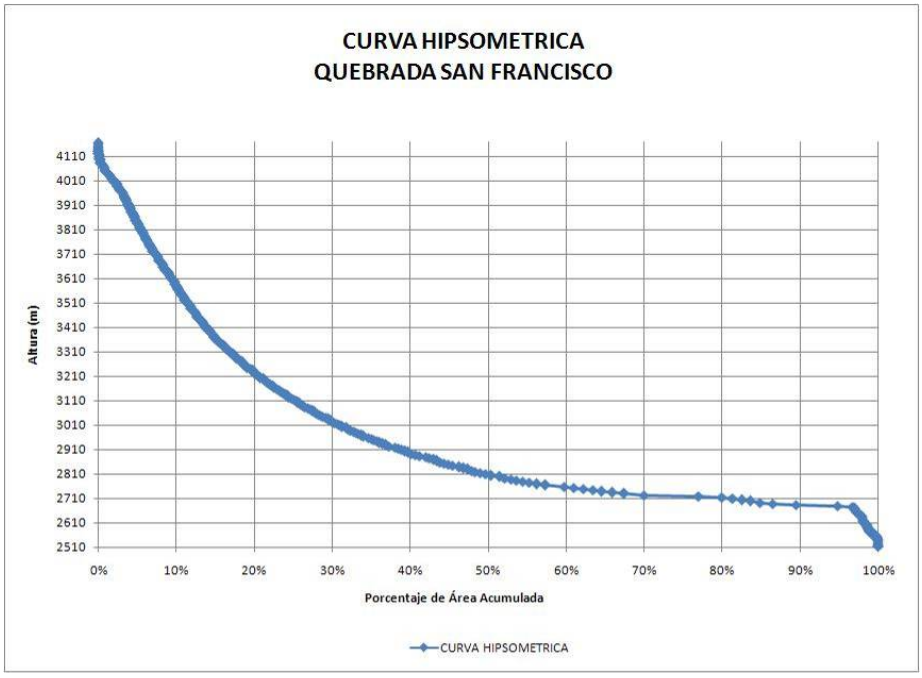

CURVA HIPSOMETRICA
RIO MILIN
Altura (m)
4270
4220
4170
4120
4070
4020
3970
3920
3870
3820
3770
3720
3670
3620
3570
3520
3470
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

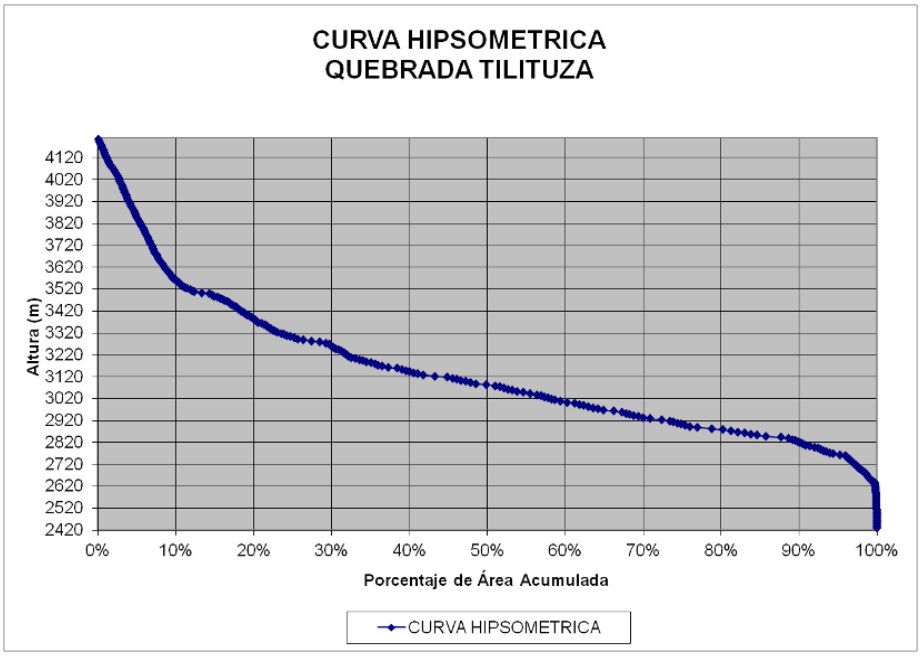

CURVA HIPSOMETRICA
RIO PIJIHUAYCU
Altura (m)
4500
4400
4300
4200
4100
4000
3900
3800
3700
3600
3500
3400
3300
3200
3100
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

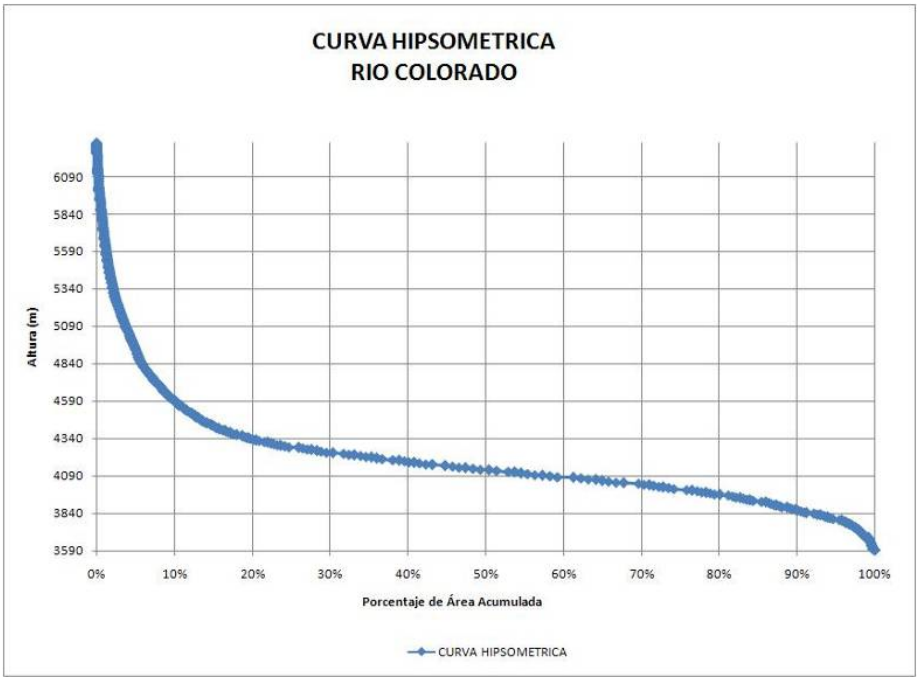

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA CUCHIGUASI
Altura (m)
4160
4110
4060
4010
3960
3910
3860
3810
3760
3710
3660
3610
3560
3510
3460
3410
3360
3310
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

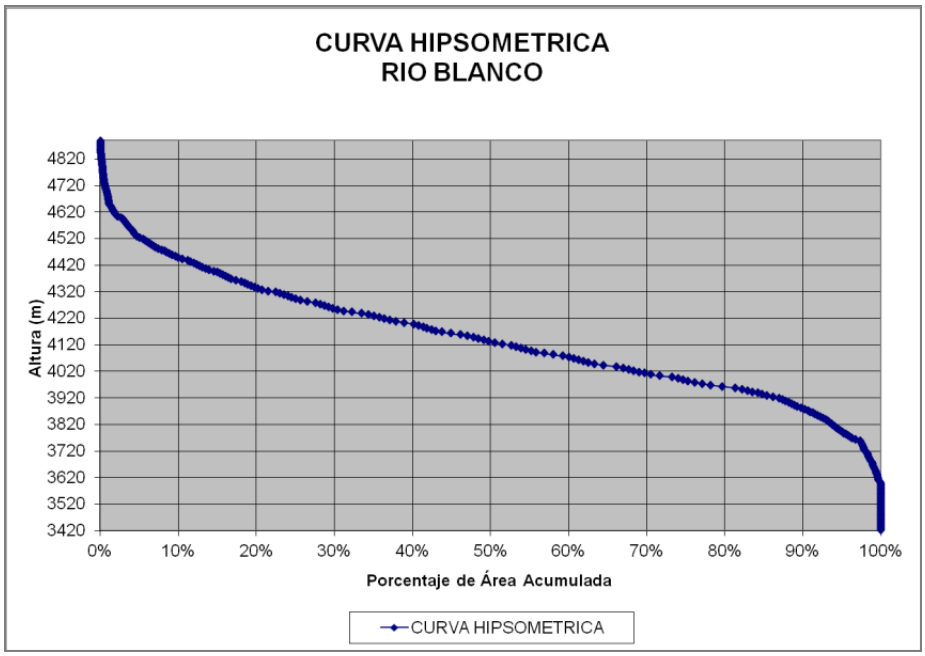

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA ACHUPALLAS
Altura (m)
4210
4110
4010
3910
3810
3710
3610
3510
3410
3310
3210
3110
3010
2910
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

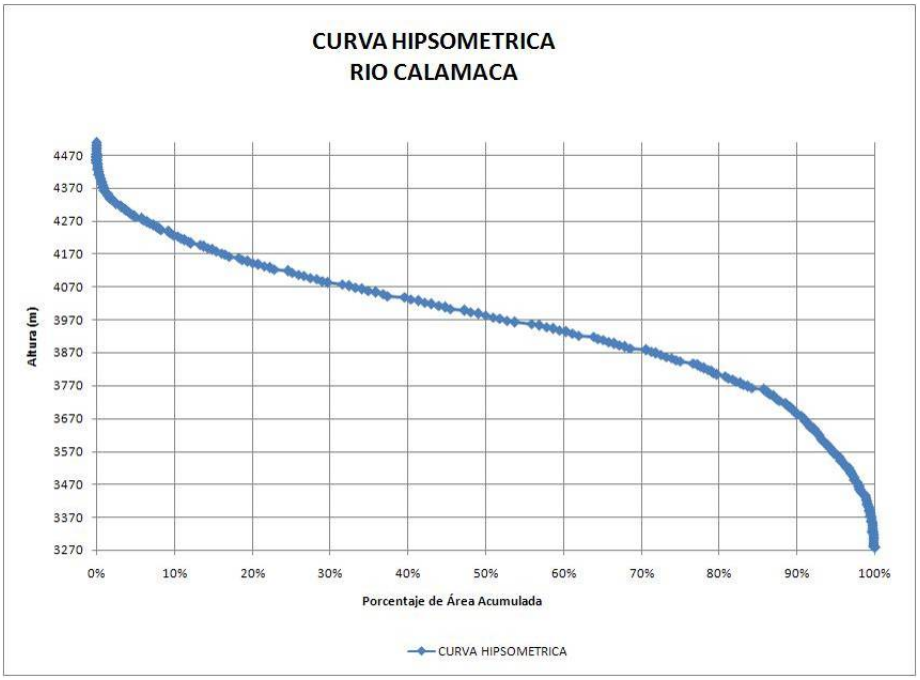

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA CASCA
Altura (m)
4110
4010
3910
3810
3710
3610
3510
3410
3310
3210
3110
3010
2910
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA


CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA SAN FRANCISCO
Altura (m)
4110
4010
3910
3810
3710
3610
3510
3410
3310
3210
3110
3010
2910
2810
2710
2610
2510
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

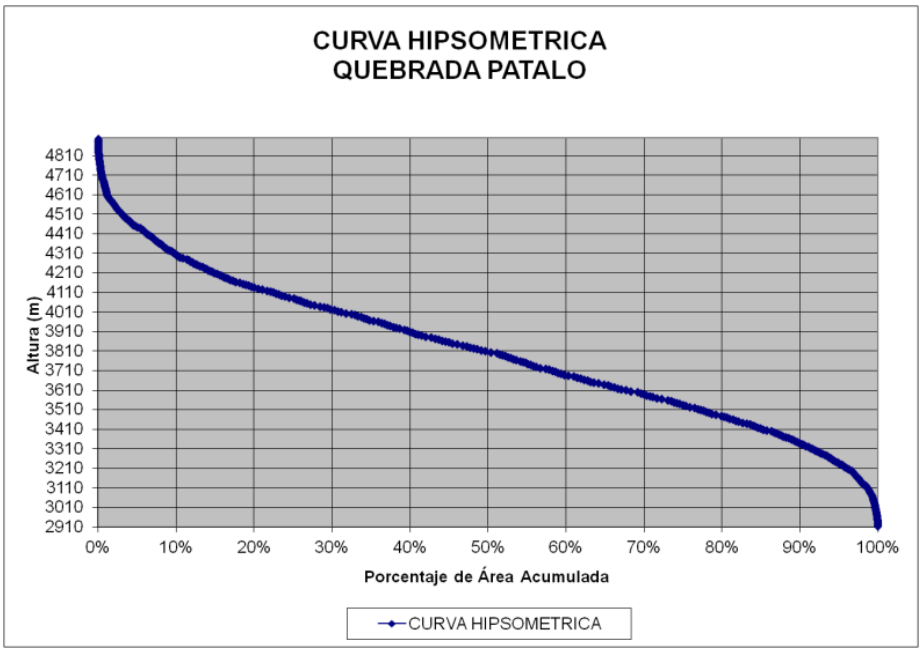

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA TILITUZA
Altura (m)
4120
4020
3920
3820
3720
3620
3520
3420
3320
3220
3120
3020
2920
2820
2720
2620
2520
2420
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

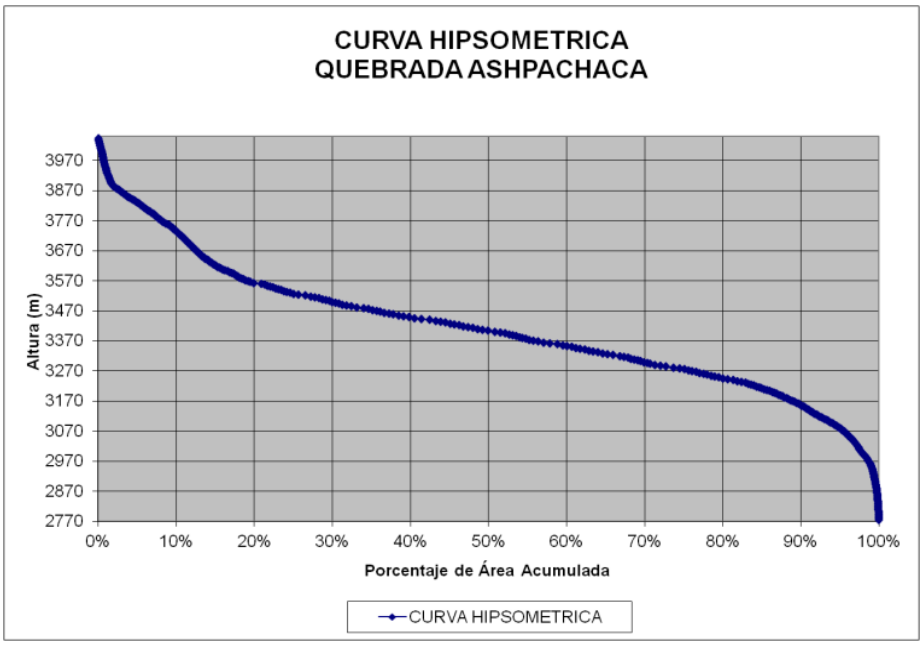

CURVA HIPSOMETRICA
RIO COLORADO
Altura (m)
6090
5840
5590
5340
5090
4840
4590
4340
4090
3840
3590
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

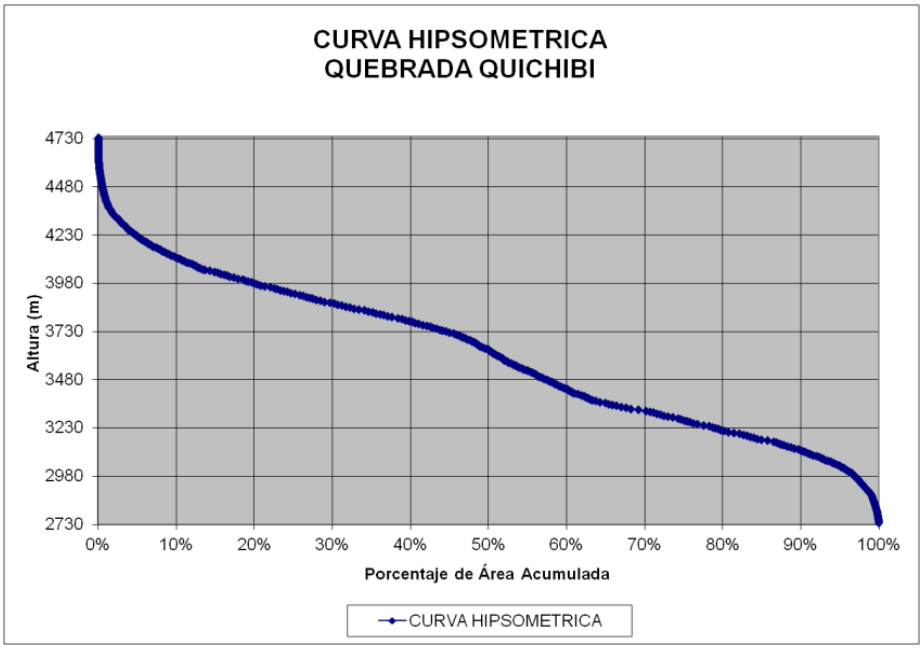

CURVA HIPSOMETRICA
RIO BLANCO
Altura (m)
4820
4720
4620
4520
4420
4320
4220
4120
4020
3920
3820
3720
3620
3520
3420
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

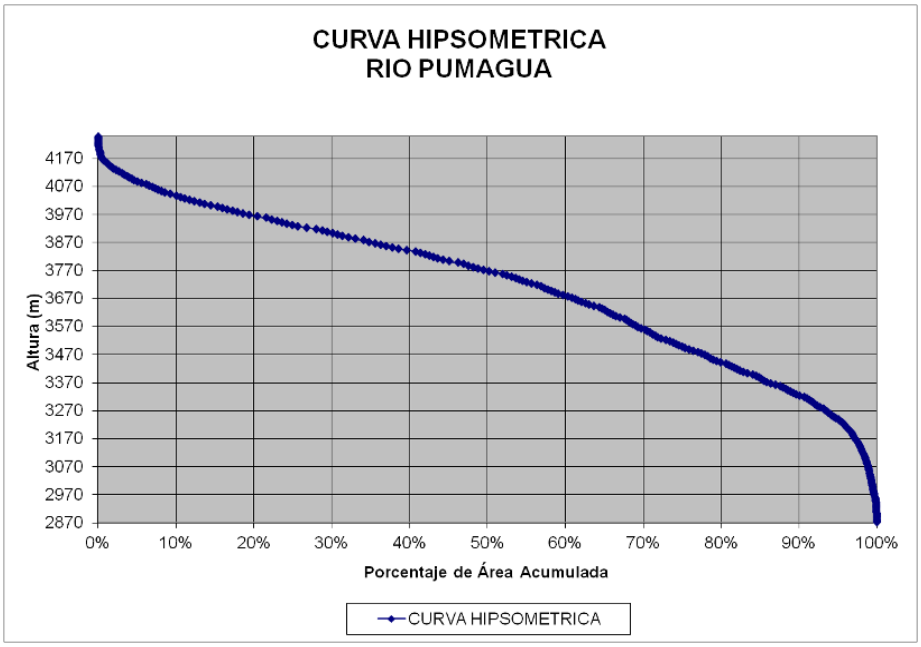

CURVA HIPSOMETRICA
RIO CALAMACA
Altura (m)
4470
4370
4270
4170
4070
3970
3870
3770
3670
3570
3470
3370
3270
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

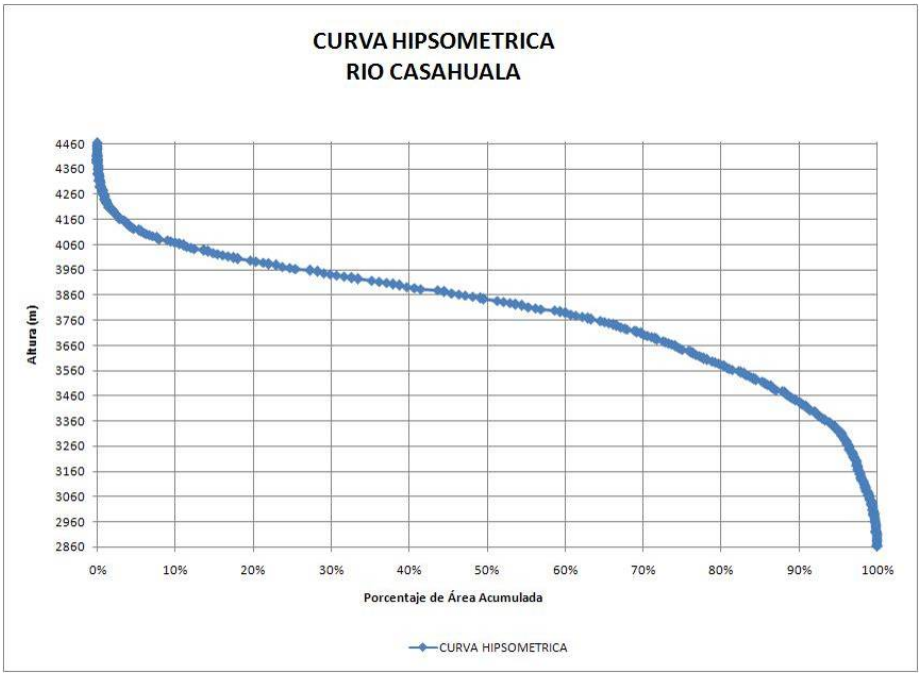

CURVA HIPSOMETRICA
DRENAJES MENORES
Altura (m)
3910
3660
3410
3160
2910
2660
2410
2160
1910
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

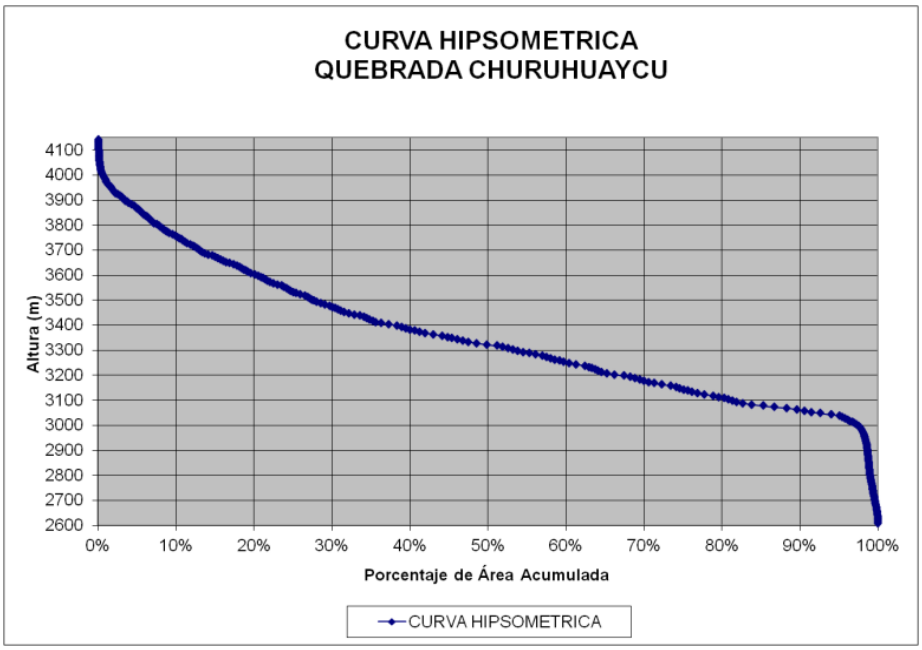

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA PATALO
Altura (m)
4810
4710
4610
4510
4410
4310
4210
4110
4010
3910
3810
3710
3610
3510
3410
3310
3210
3110
3010
2910
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

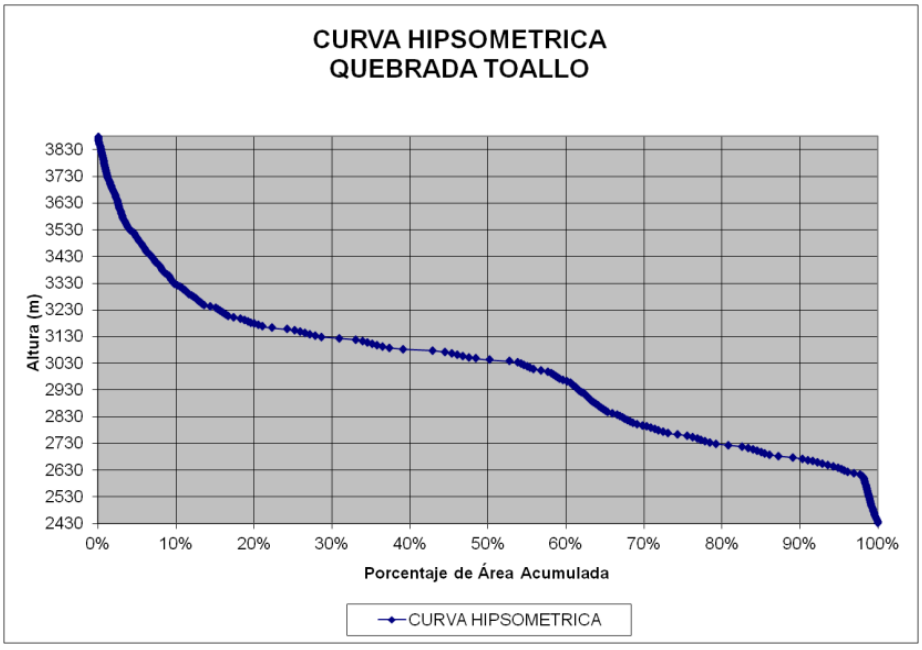

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA ASHPACHACA
Altura (m)
3970
3870
3770
3670
3570
3470
3370
3270
3170
3070
2970
2870
2770
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

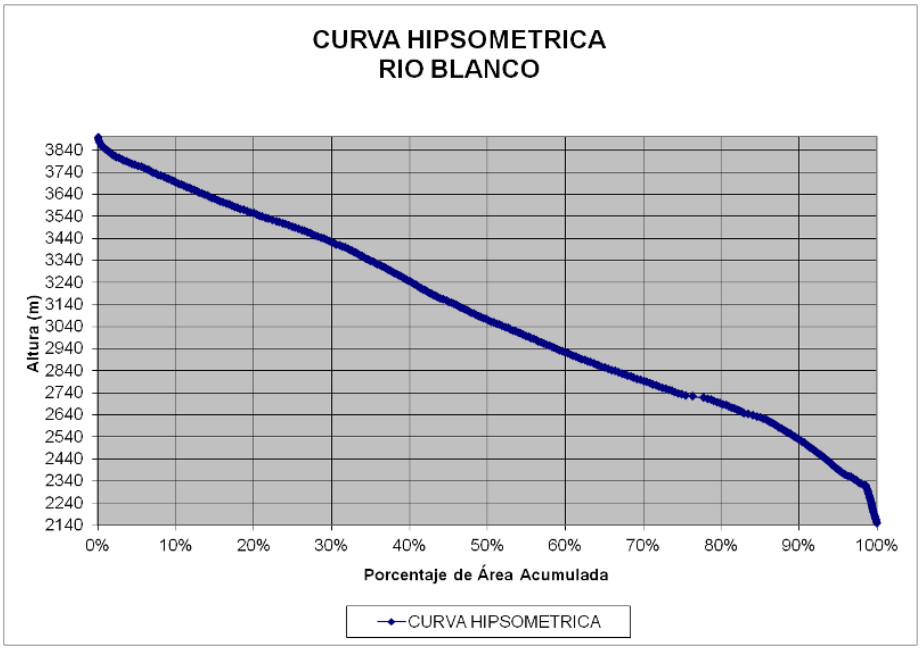

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA QUICHIBI
Altura (m)
4730
4480
4230
3980
3730
3480
3230
2980
2730
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

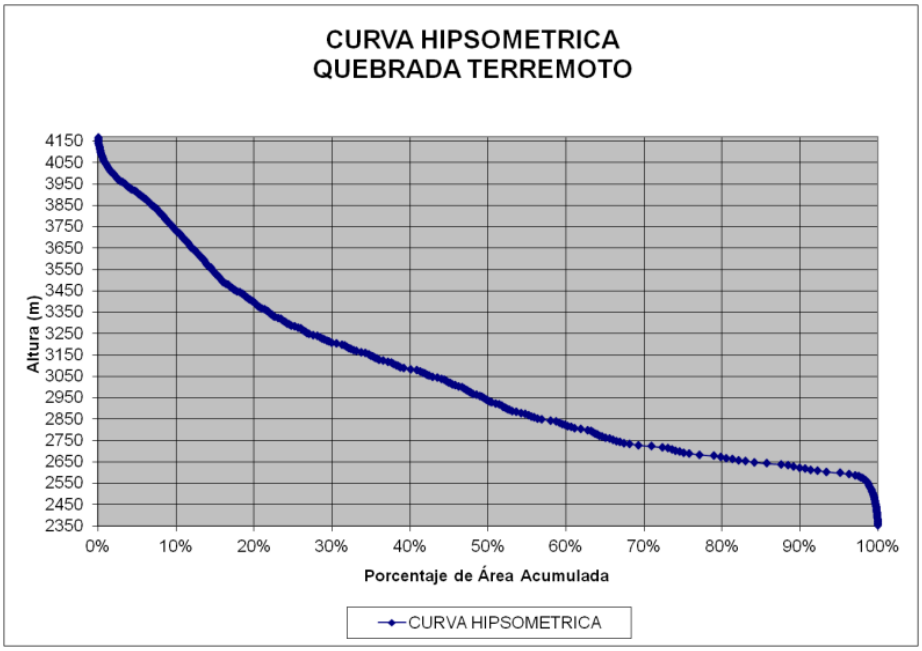

CURVA HIPSOMETRICA
RIO PUMAGUA
Altura (m)
4170
4070
3970
3870
3770
3670
3570
3470
3370
3270
3170
3070
2970
2870
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

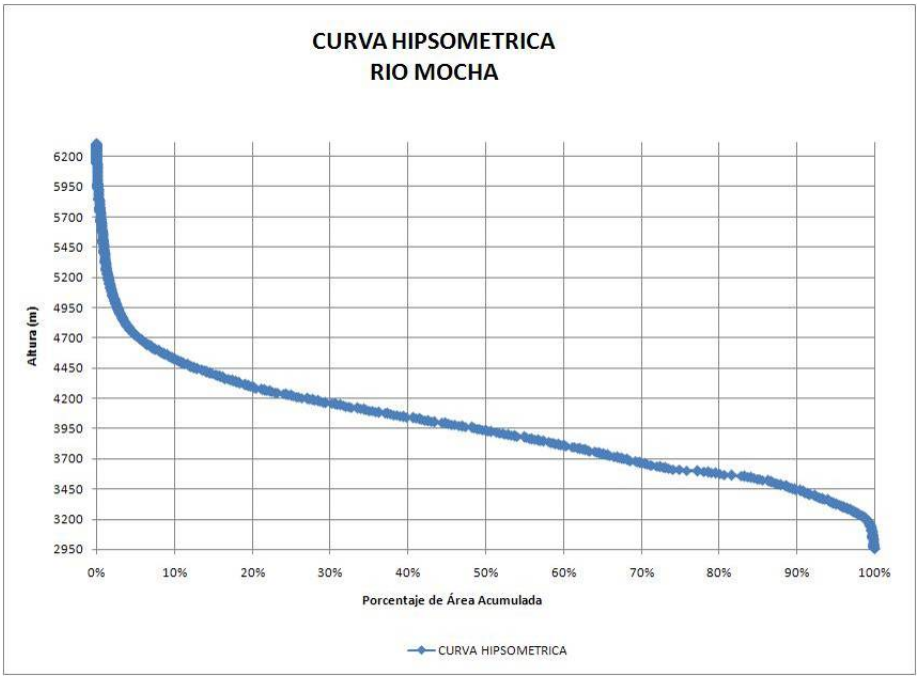

CURVA HIPSOMETRICA
RIO CASAHUALA
Altura (m)
4460
4360
4260
4160
4060
3960
3860
3760
3660
3560
3460
3360
3260
3160
3060
2960
2860
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

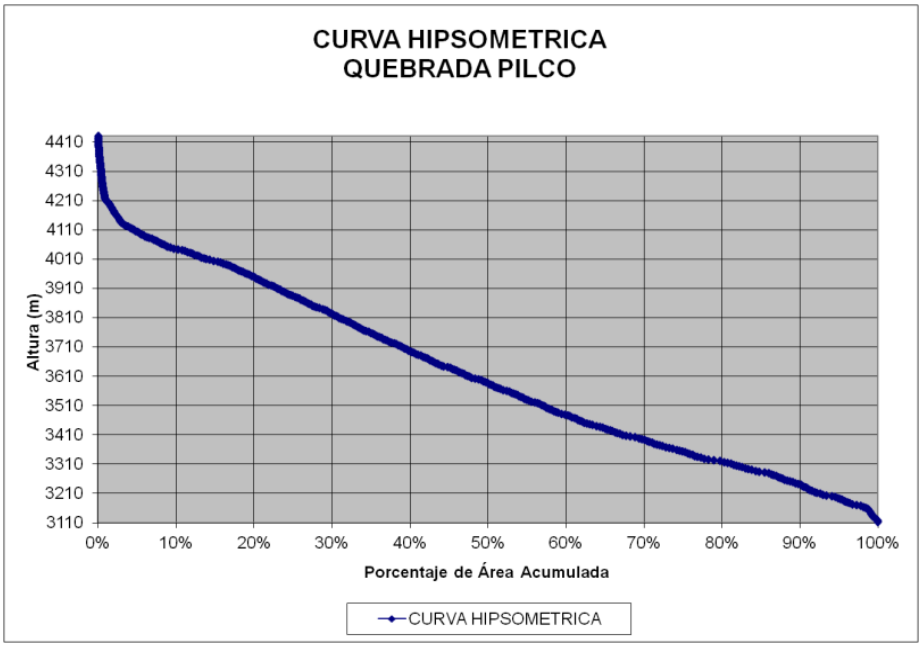

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA CHURUHUAYCU
Altura (m)
4100
4000
3900
3800
3700
3600
3500
3400
3300
3200
3100
3000
2900
2800
2700
2600
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

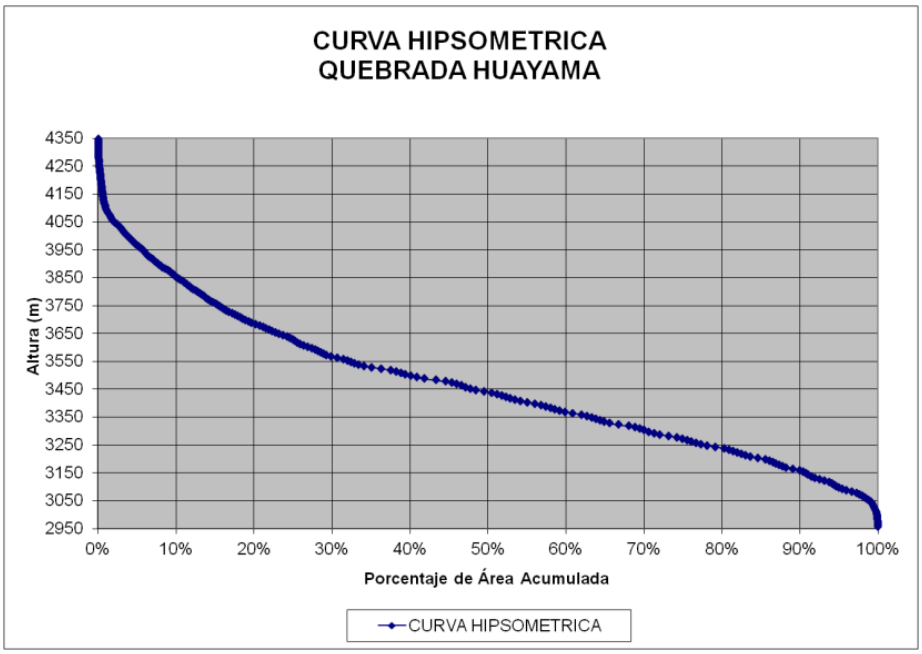

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA TOALLO
Altura (m)
3830
3730
3630
3530
3430
3330
3230
3130
3030
2930
2830
2730
2630
2530
2430
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

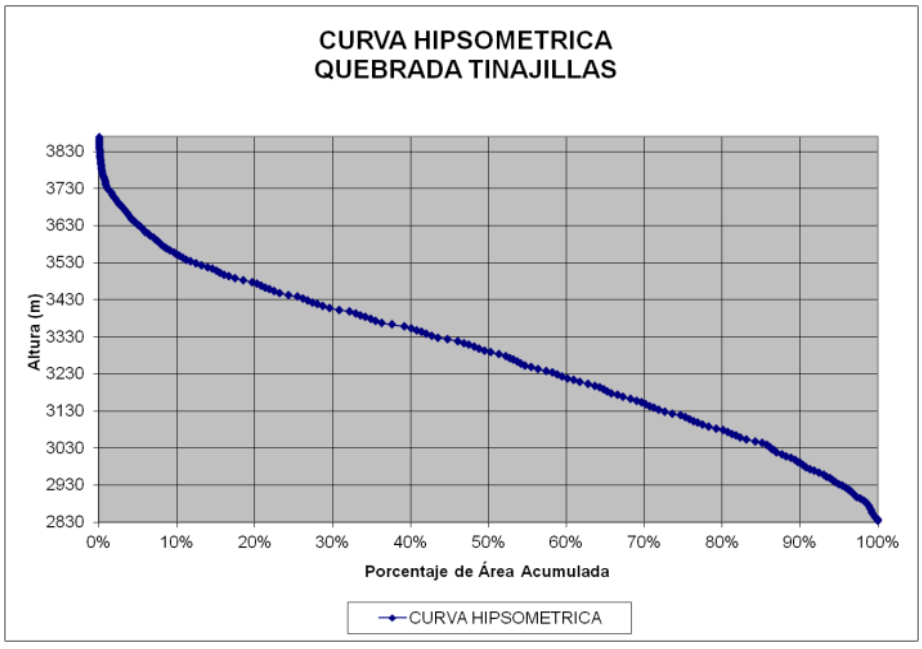

CURVA HIPSOMETRICA
RIO BLANCO
Altura (m)
3840
3740
3640
3540
3440
3340
3240
3140
3040
2940
2840
2740
2640
2540
2440
2340
2240
2140
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

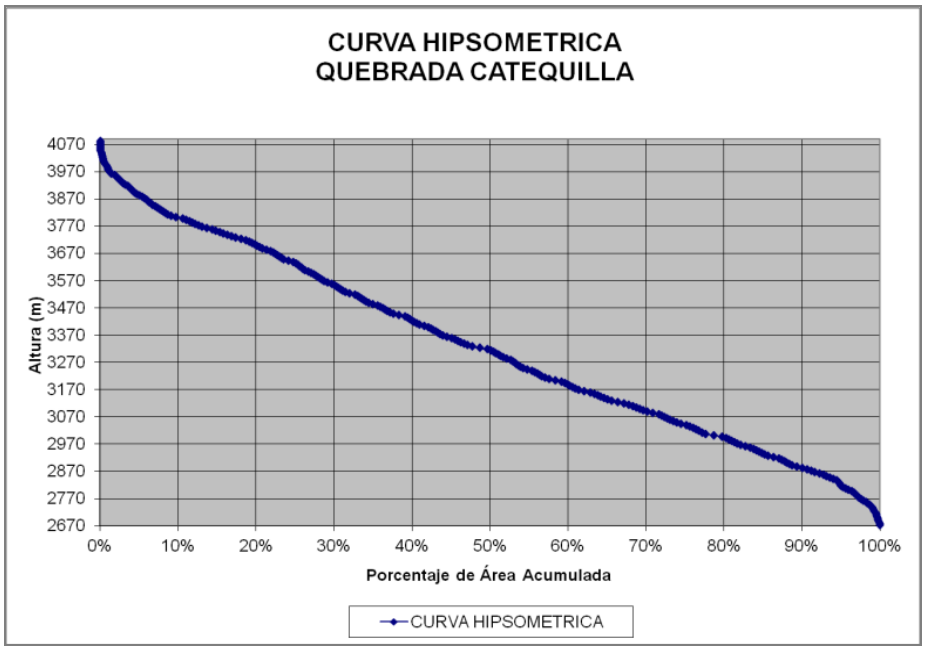

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA TERREMOTO
Altura (m)
4150
4050
3950
3850
3750
3650
3550
3450
3350
3250
3150
3050
2950
2850
2750
2650
2550
2450
2350
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

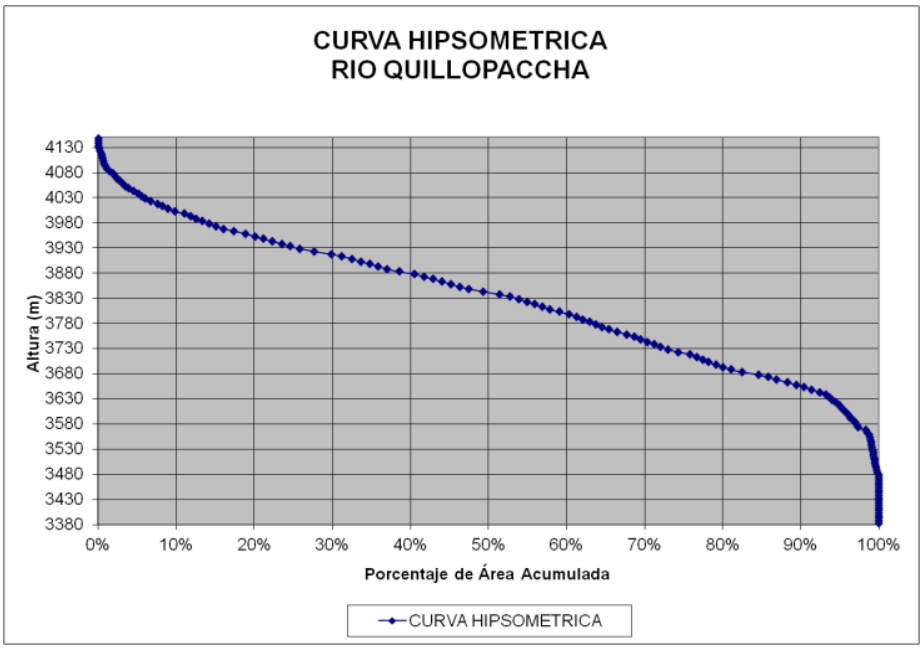

CURVA HIPSOMETRICA
RIO MOCHA
Altura (m)
6200
5950
5700
5450
5200
4950
4700
4450
4200
3950
3700
3450
3200
2950
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

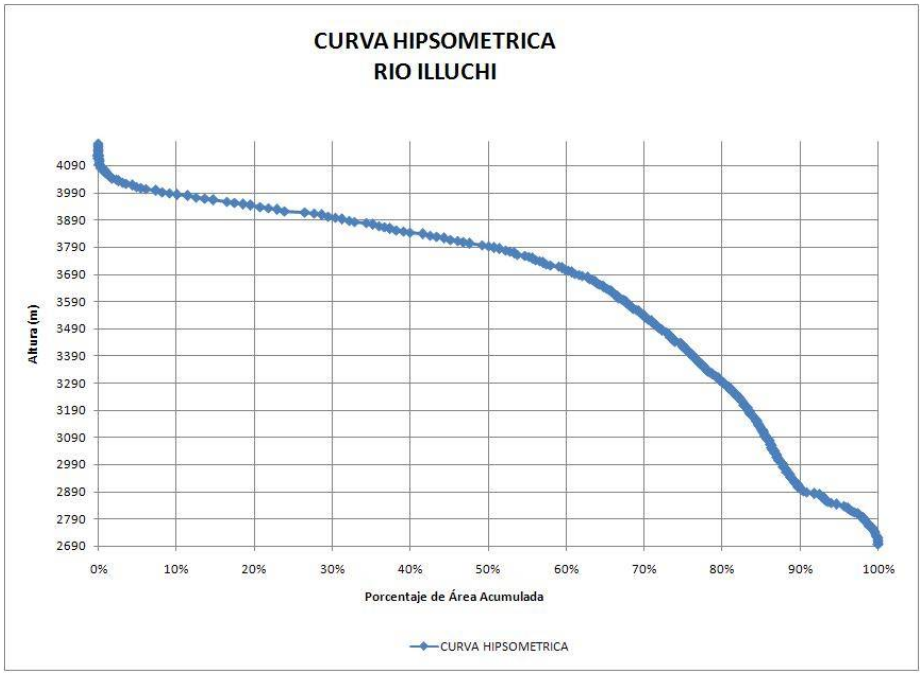

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA PILCO
Altura (m)
4410
4310
4210
4110
4010
3910
3810
3710
3610
3510
3410
3310
3210
3110
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

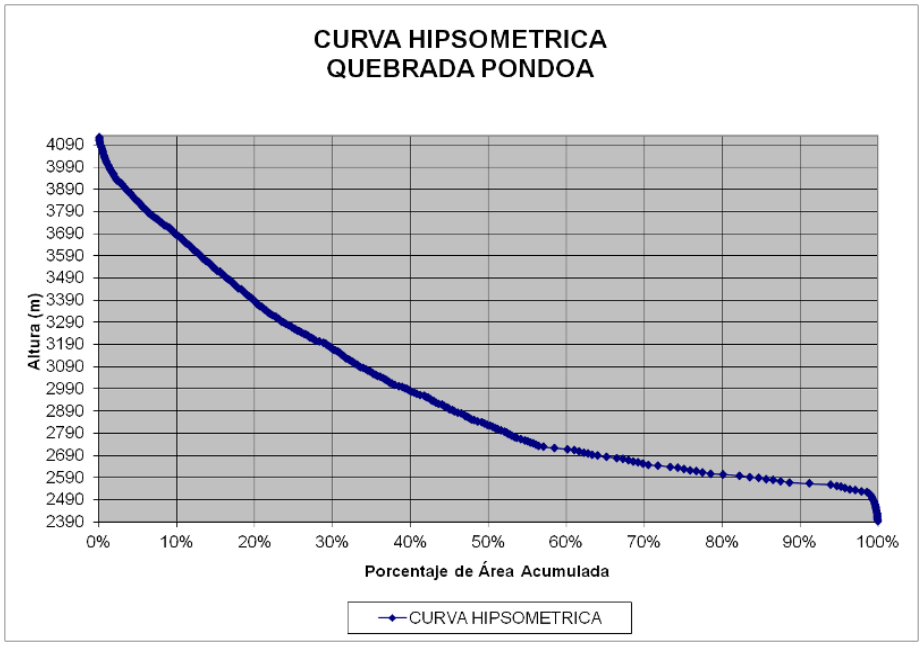

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA HUAYAMA
Altura (m)
4350
4250
4150
4050
3950
3850
3750
3650
3550
3450
3350
3250
3150
3050
2950
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

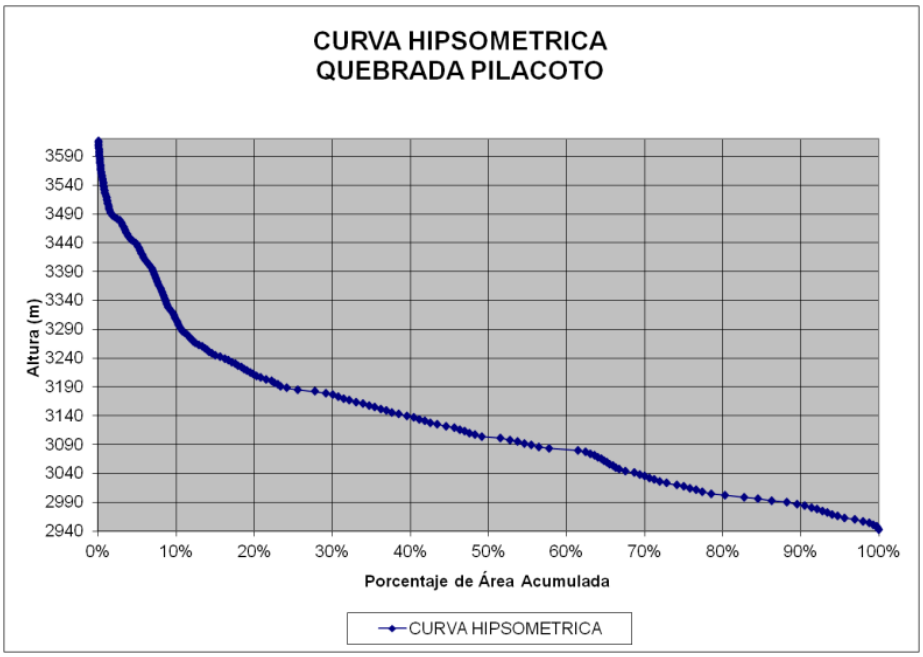

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA TINAJILLAS
Altura (m)
3830
3730
3630
3530
3430
3330
3230
3130
3030
2930
2830
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

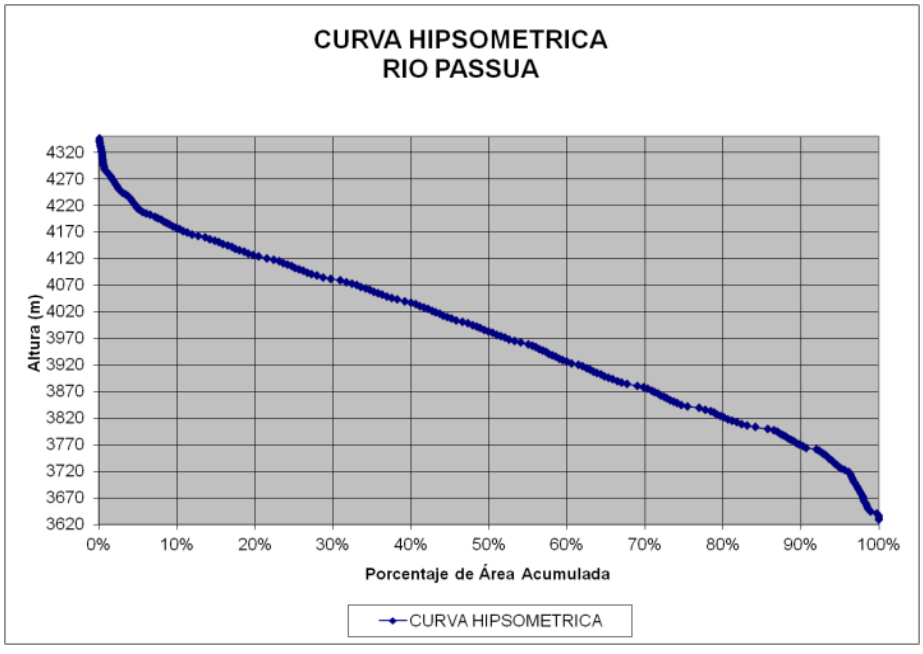

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA CATEQUILLA
Altura (m)
4070
3970
3870
3770
3670
3570
3470
3370
3270
3170
3070
2970
2870
2770
2670
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

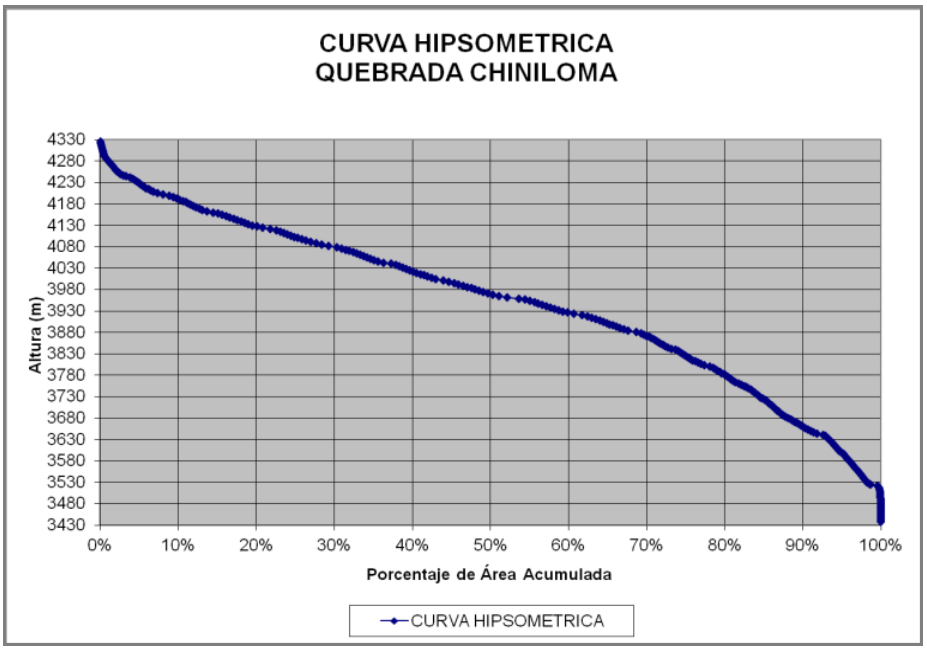

CURVA HIPSOMETRICA
RIO QUILLOPACCHA
Altura (m)
4130
4080
4030
3980
3930
3880
3830
3780
3730
3680
3630
3580
3530
3480
3430
3380
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

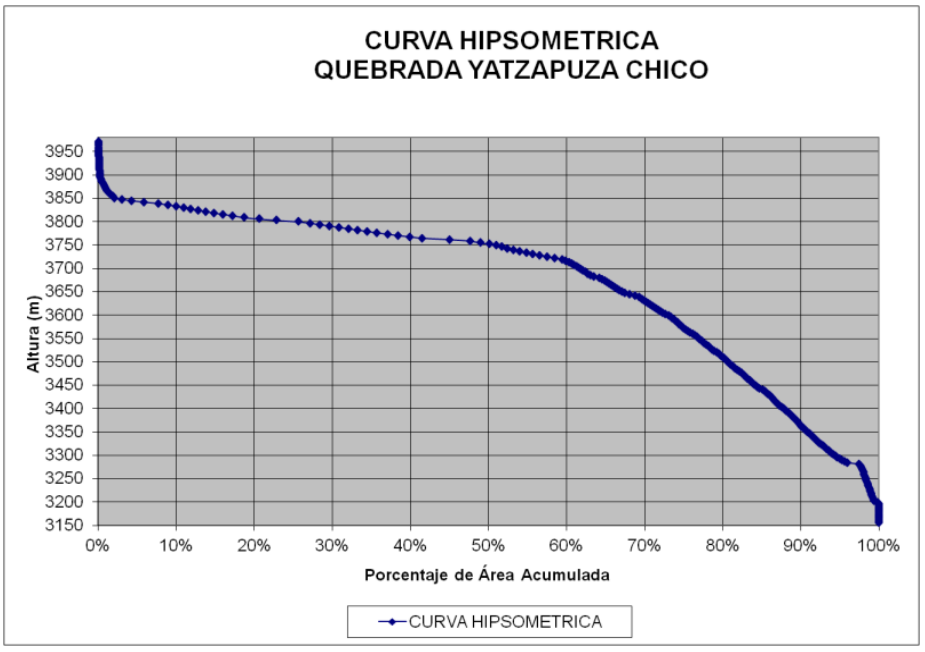

CURVA HIPSOMETRICA
RIO ILLUCHI
Altura (m)
4090
3990
3890
3790
3690
3590
3490
3390
3290
3190
3090
2990
2890
2790
2690
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

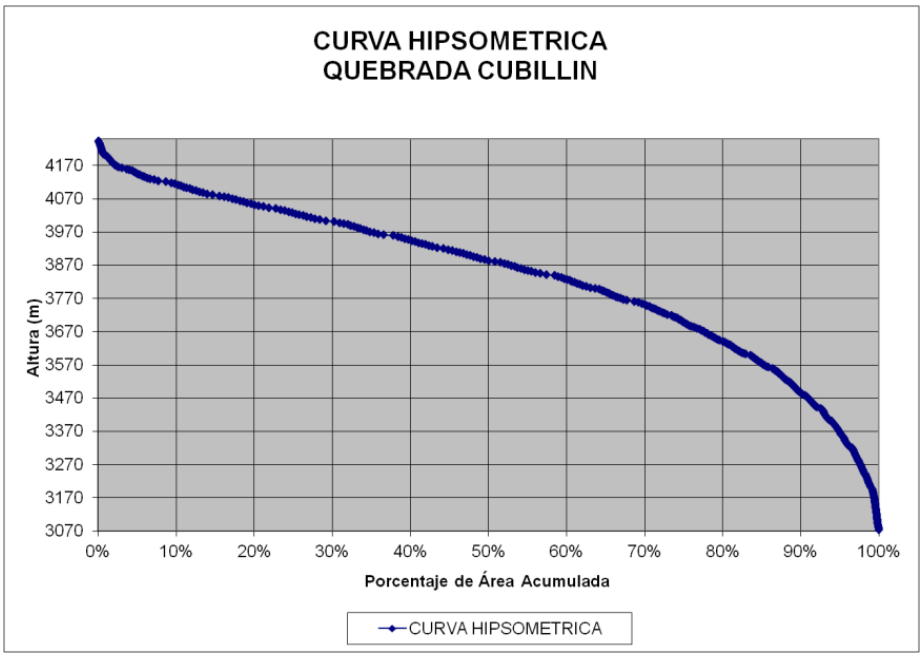

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA PONDOA
Altura (m)
4090
3990
3890
3790
3690
3590
3490
3390
3290
3190
3090
2990
2890
2790
2690
2590
2490
2390
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

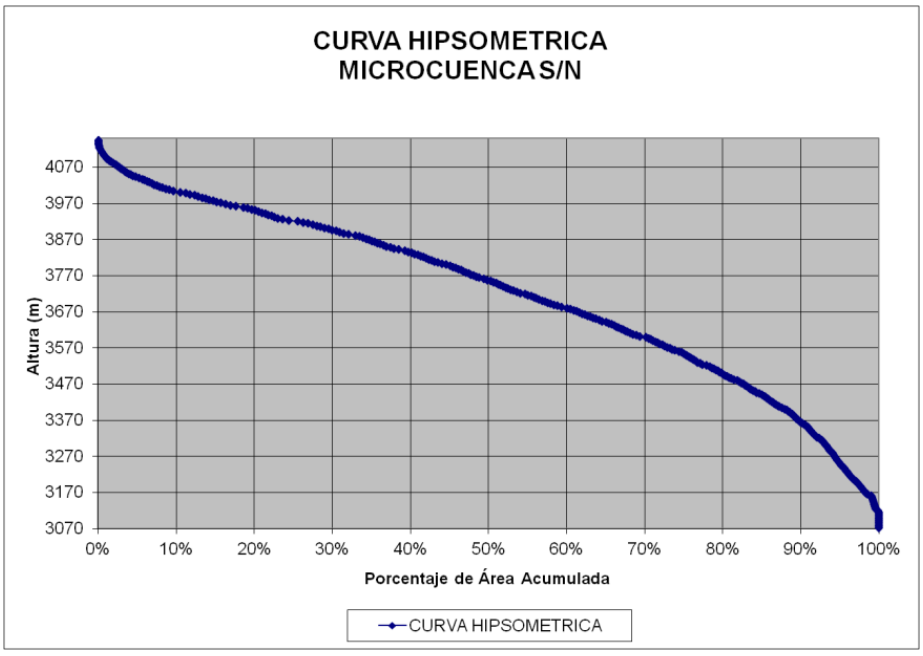

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA PILACOTO
Altura (m)
3590
3540
3490
3440
3390
3340
3290
3240
3190
3140
3090
3040
2990
2940
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

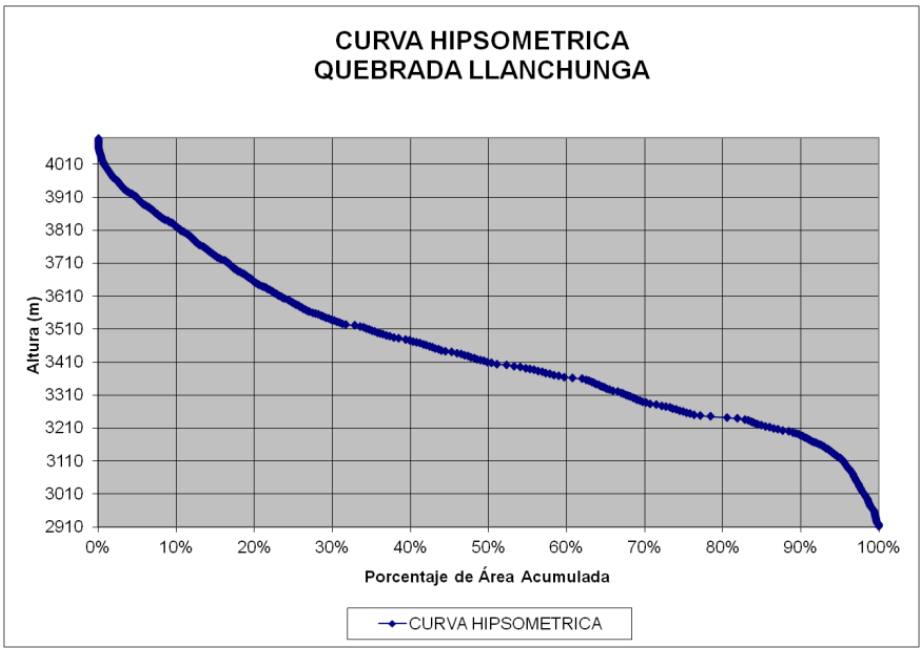

CURVA HIPSOMETRICA
RIO PASSUA
Altura (m)
4320
4270
4220
4170
4120
4070
4020
3970
3920
3870
3820
3770
3720
3670
3620
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

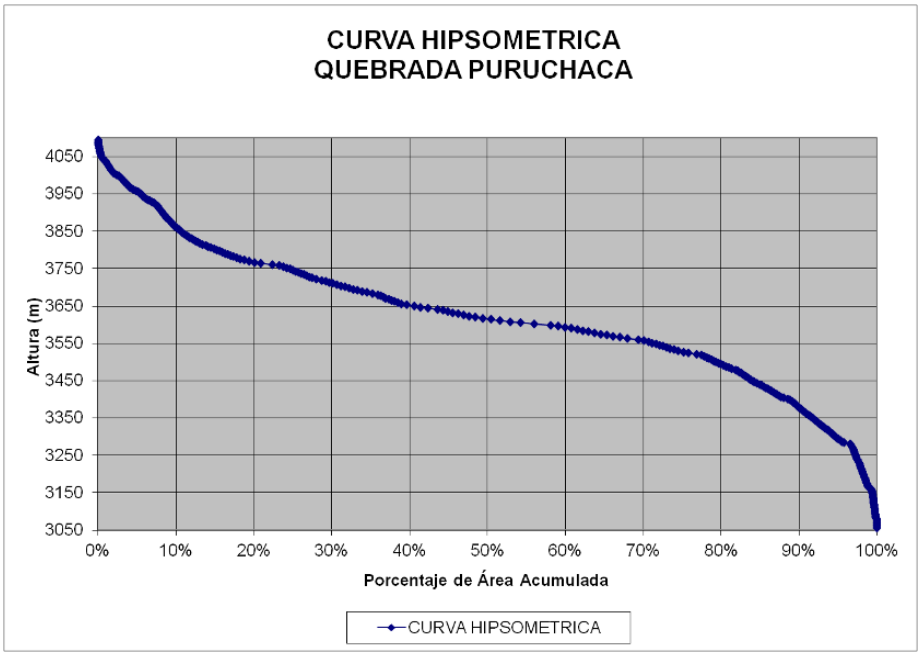

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA CHINILOMA
Altura (m)
4330
4280
4230
4180
4130
4080
4030
3980
3930
3880
3830
3780
3730
3680
3630
3580
3530
3480
3430
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

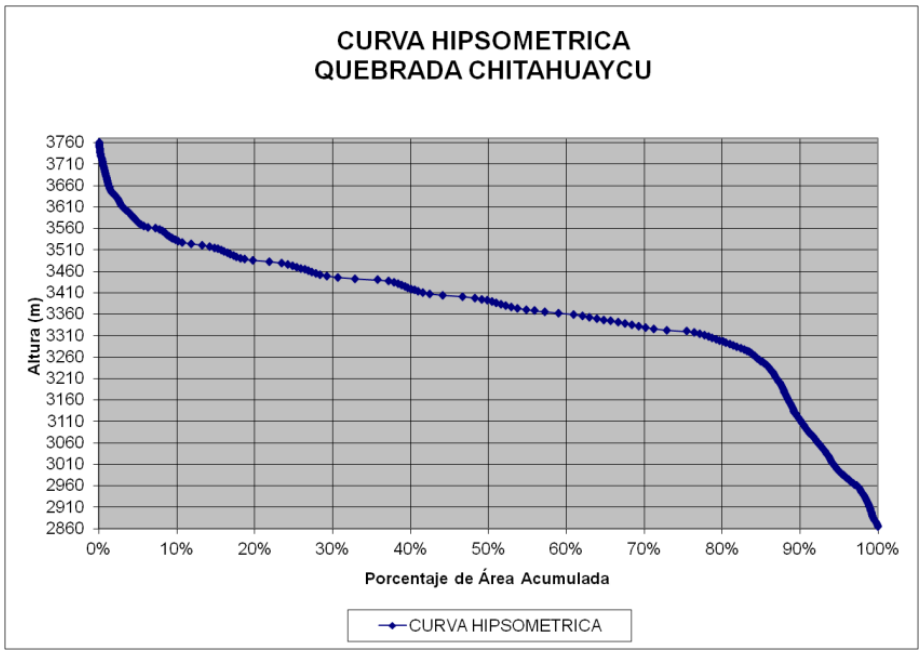

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA YATZAPUZA CHICO
Altura (m)
3950
3900
3850
3800
3750
3700
3650
3600
3550
3500
3450
3400
3350
3300
3250
3200
3150
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

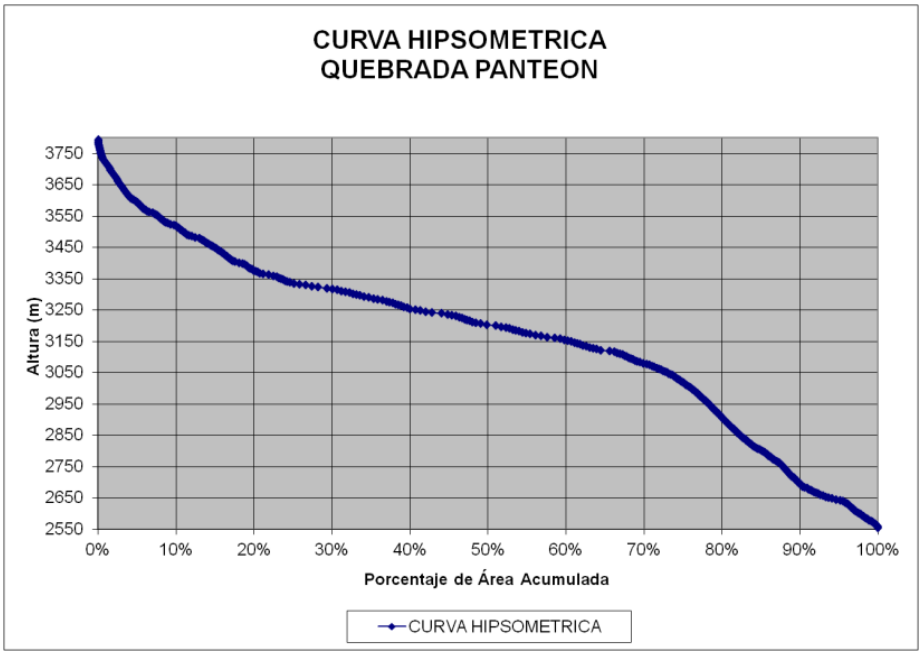

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA CUBILLIN
Altura (m)
4170
4070
3970
3870
3770
3670
3570
3470
3370
3270
3170
3070
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

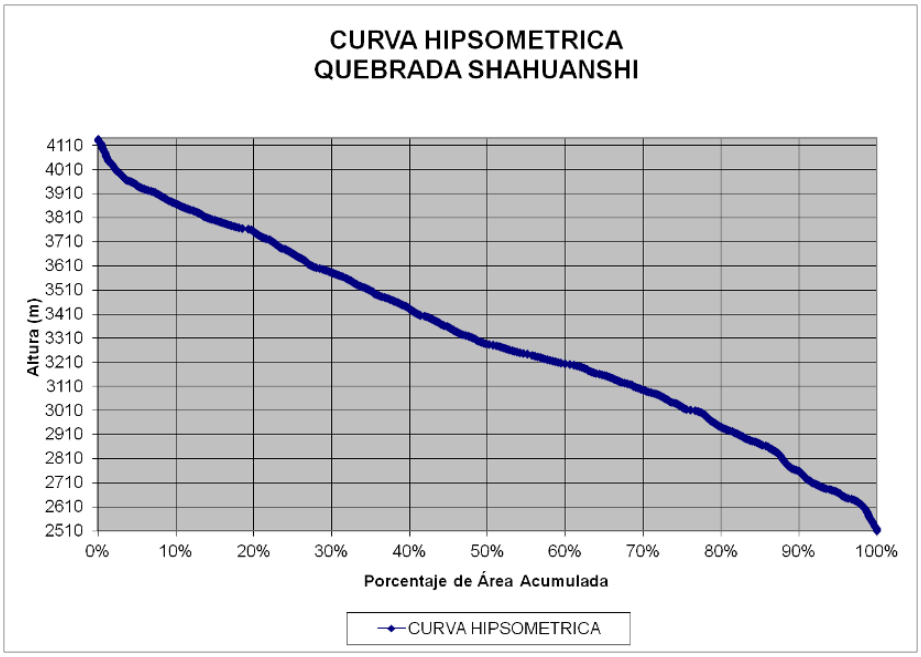

CURVA HIPSOMETRICA
MICROCUENCA S/N
Altura (m)
4070
3970
3870
3770
3670
3570
3470
3370
3270
3170
3070
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA

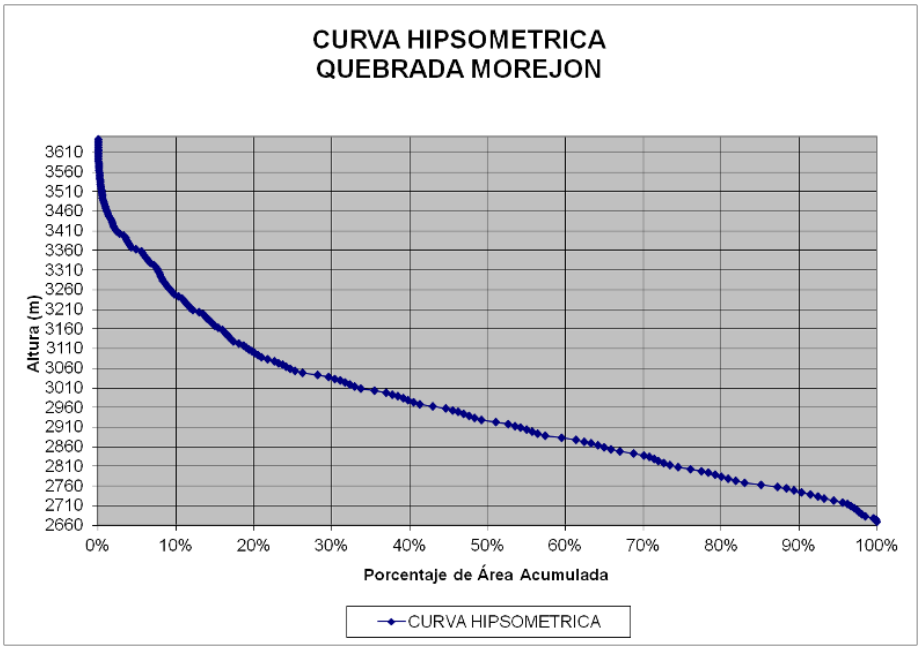

CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA LLANCHUNGA
Altura (m)
4010
3910
3810
3710
3610
3510
3410
3310
3210
3110
3010
2910
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA


CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA PURUCHACA
Altura (m)
4050
3950
3850
3750
3650
3550
3450
3350
3250
3150
3050
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA


CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA CHITAHUAYCU
Altura (m)
3760
3710
3660
3610
3560
3510
3460
3410
3360
3310
3260
3210
3160
3110
3060
3010
2960
2910
2860
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA


CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA PANTEON
Altura (m)
3750
3650
3550
3450
3350
3250
3150
3050
2950
2850
2750
2650
2550
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA


CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA SHAHUANSHI
Altura (m)
4110
4010
3910
3810
3710
3610
3510
3410
3310
3210
3110
3010
2910
2810
2710
2610
2510
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA


CURVA HIPSOMETRICA
QUEBRADA MOREJON
Altura (m)
3610
3560
3510
3460
3410
3360
3310
3260
3210
3160
3110
3060
3010
2960
2910
2860
2810
2760
2710
2660
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Porcentaje de Área Acumulada
CURVA HIPSOMETRICA