



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN,
PARA A OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM**

Conforme al Reglamento del Repositorio Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI.
Resolución del Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

1. Datos del Autor:

Apellidos y Nombres: RODRIGUEZ MINAYA YONY EDWIN

Código de alumno: 2015.3052.8.AM

Teléfono: 959169434

Correo electrónico: jhonyrm87@gmail.com

DNI o Extranjería: 44720968

2. Modalidad de trabajo de investigación:

Trabajo de investigación

Trabajo académico

Trabajo de suficiencia profesional

Tesis

3. Título profesional o grado académico:

Bachiller

Título

Segunda especialidad

Licenciado

Magister

Doctor

4. Título del trabajo de investigación:

Determinación de las Relaciones entre los Parámetros Geomorfométricos de las Subcuencas de la Cuenca Marañón Mediante GIS, 2016

5. Facultad de:.....

6. Escuela, Carrera o Programa: Maestría en Ciencias e Ingeniería con Mención en Ingeniería de Recursos Hídricos.

7. Asesor:

Apellidos y Nombres: REYES RODRIGUEZ TORIBIO MARCOS

Teléfono: 950457248

Correo electrónico: tmreyes12@gmail.com

DNI o Extranjería: 31609928

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma:

D.N.I.:

FECHA:



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO”**

ESCUELA DE POSTGRADO

**DETERMINACIÓN DE LAS RELACIONES ENTRE LOS
PARÁMETROS GEOMORFOMÉTRICOS DE LAS
SUBCUENCAS DE LA CUENCA MARAÑÓN MEDIANTE GIS,
2016**

Tesis para optar el grado de maestro
en Ciencias e Ingeniería
Mención en Ingeniería de Recursos Hídricos

YONY EDWIN RODRÍGUEZ MINAYA

Asesor: **Dr. TORIBIO MARCOS REYES RODRÍGUEZ**

Huaraz - Ancash – Perú

2018

N° de Registro: T0654

MIEMBROS DEL JURADO

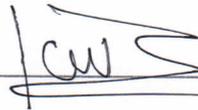
Magister Tito Moner Tinoco Meyhuay

Presidente



Magister Javier Alberto Cotos Vera

Secretario



Doctor Toribio Marcos Reyes Rodríguez

Vocal



ASESOR

Doctor **Toribio Marcos Reyes Rodríguez**

AGRADECIMIENTO

- Agradezco a Dios por la fortaleza y la sabiduría que me fue dada para poder enfrentar todas las situaciones cotidianas que se presentaron en mi día a día.
- También expreso mi agradecimiento a todas las personas que me apoyaron durante todo el proceso de la realización de la presente investigación, tanto a los docentes, a mi familia y al asesor de la presente tesis Dr. Toribio M. Reyes Rodríguez por sus valiosos aportes y apoyo incondicional.

INDICE

	Página
Resumen.....	vi
Abstract.....	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1.Objetivos	1
1.2. Hipótesis	22
1.3. Variables.....	22
II. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1.Antecedentes	3
2.2.Bases teóricas	6
2.2.1. Delimitación de cuencas con ArcGIS	6
2.2.2. Parámetros de forma	7
2.2.3. Parámetros de relieve	10
2.2.4. Parámetros de drenaje	13
2.2.5. Relaciones empíricas de los parámetros geomorfométricos.	14
2.3.Definición de términos.....	15
III. METODOLOGÍA	17
3.1.Tipo y diseño de investigación.....	17
3.2.Plan de recolección de la información y/o diseño estadístico.....	17
- Población	17
-Muestra	18
3.3.Instrumentos de recopilación de la información	18
3.4.Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información	18
3.5.Técnicas de análisis de la información.....	19
IV. RESULTADOS	35
V. DISCUSIÓN	62
VI. CONCLUSIONES	68
VII. RECOMENDACIONES	70
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
ANEXO.....	74
Anexo 01: Frecuencia de altitudes y las curvas hipsométricas de las subcuencas	
Anexo 02: Mapas temáticos	
Anexo 03: Matriz de consistencia lógica	

RESUMEN

La cuantificación de la geomorfometría de una cuenca es un elemento esencial en la hidrología de la cuenca, ya que cada uno de los elementos interviene en el comportamiento de la cuenca, por ello es de suma importancia la cuantificación siguiendo los procedimientos matemáticos, gráficos y estadísticos en cada caso.

El presente trabajo consistió en la delimitación de todas las subcuencas de la cuenca de Marañón, teniendo como objetivo principal la determinar las relaciones entre los parámetros geomorfométricos de las subcuencas de la cuenca Marañón mediante GIS. Por ello se realizó la determinación de todos los parámetros geomorfométricos empleando el software ArcGIS y Excel, y como punto final se buscó las correlaciones entre todos los parámetros determinados empleando técnicas estadísticas como es la correlación de Pearson y el análisis de componente principal para luego proponer modelos de predicción mediante la regresión lineal, logarítmica, exponencial, polinómica y potencial, para cada caso se empleó el software estadístico SPSS, que permite realizar un análisis adecuado de todos los parámetros.

Palabras claves: correlación, variables geomorfométricos, cuencas.

ABSTRACT

The quantification of the geomorphometry of a basin is an essential element in the hydrology of the basin, since each element intervenes in the behavior of the basin, therefore it is of great importance the quantification following the mathematical procedures, graphs and statistics in each case.

The present work consisted in the delimitation of all the sub basins of the Marañón basin, having as main objective the determination of the relationships among the geomorphometric parameters of the sub basins of the Marañón basin through GIS. Therefore, the determination of all the geomorphometric parameters using the ArcGIS and Excel software was carried out, and as a final point, the correlations between all the parameters determined were searched using statistical techniques such as the Pearson correlation and the main component analysis to then propose models of prediction through linear, logarithmic, exponential, polynomial and potential regression, for each case we used the statistical software SPSS, which allows an adequate analysis of all parameters.

Key words: correlation, geomorphometric variables, basins.

I. INTRODUCCIÓN

Los parámetros geomorfométricos son elementos que identifican a las cuencas hidrográficas, la cuantificación de dichos parámetros es de suma importancia ya que indican el comportamiento de la cuenca cuando se tiene las máximas avenidas, la existencia de la relación de estos parámetros permitirá la identificación y el cálculo de los parámetros de manera más rápido.

El presente trabajo consiste en la delimitación de todas las subcuencas de la cuenca de Marañón, como punto de partida, luego se realizó la determinación de todos los parámetros geomorfométricos para ello se empleó el software ArcGIS y Excel, y como punto final se buscó las relaciones entre todos los parámetros determinados empleando la técnica estadística de correlación de Pearson y el análisis de componente principal para luego proponer modelos de predicción mediante la regresión lineal, logarítmica, exponencial, polinómica y potencial, para cada caso se empleó los software estadístico SPSS, que permite realizar un análisis adecuado de todos los parámetros.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Determinar las relaciones entre los parámetros geomorfométricos de las subcuencas de la cuenca Marañón mediante GIS.

1.1.2. Objetivos específicos

- 1) Delimitar las subcuencas empleando el sistema de información geográfica.
- 2) Calcular los parámetros geomorfométricos de las subcuencas de la cuenca de Marañón mediante GIS.

3) Hallar las relaciones entre los parámetros geomorfométricos de las subcuencas de la cuenca Marañón.

1.2. Hipótesis

Existen relaciones significativas entre los parámetros geomorfométricos de las subcuencas de la Cuenca Marañón.

1.3. Variables

Se consideran los parámetros de forma, tales como coeficiente de compacidad, factor de forma, coeficiente de forma, relación de elongación, relación de circularidad, parámetros de relieve tales como altitud media, pendiente de la cuenca, pendiente del cauce principal, y parámetros de drenaje densidad de drenaje, relación de bifurcación, orden de las corrientes.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Cerignoni y Rodríguez (2005) en su investigación análisis morfométrico de la microcuenca “C” núcleo Cunha, Sao Paulo Brasil, analizo la morfometría de la microcuenca con ayuda del sistema de información geográfica (SIG), para estimar los parámetros dimensionales, la densidad de drenaje, así como analizar las características de la pendiente, a través de la caracterización de las dimensiones de datos altimétricos y coeficiente de rugosidad.

Moreno y Romero (2015) en su investigación correlación entre características de los parámetros morfométricos y parámetros del drenaje superficial de las cuencas que desembocan en la Ciénaga Grande del Magdalena, analizó la relación que existe entre los parámetros morfométricos de una cuenca y sus respectivos caudales de escorrentía, teniendo en cuenta factores como drenajes, tipos de suelo y pendientes. Para esto fue necesario delimitar las cuencas y subcuencas de los ríos Frío el cual fue dividido en 22 subcuencas, río Tucurínca con 23 subcuencas, Aracataca con 29 subcuencas y Fundación con 34 subcuencas.

Viramonte et al. (2007) en su investigación morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua analizo los parámetros morfométricos de la cuenca, y establecen el comportamiento evolutivo de la misma. Se empleó el programa model driven engineering (MDE) a una escala de 1:50,000 para el cálculo de la superficie, perímetro, forma, relieve y densidad de drenaje de la cuenca. Para la forma de la cuenca, los índices

de compacidad y elongación fueron: 2.41 y 0.56, respectivamente, indicando que la cuenca varía de oval-oblonga a rectangular, lo que influye en la actividad dinámica del drenaje y en el tiempo de concentración de las aguas de lluvia al cauce principal, aumentando la dinámica del flujo del agua y el potencial de erosión y disminuyendo el tiempo de concentración. La curva y el análisis hipsométrico generado a partir de las altitudes, mostraron una estrecha correlación indicando que la zona se encuentra en una etapa intermedia entre la fase de equilibrio relativo o de madurez y la de desequilibrio o juventud, implicando un potencial erosivo que no debe subestimarse. La densidad de drenaje, muestra que la cuenca está pobremente drenada donde la textura y la vegetación juegan un papel importante en la retención de lluvia e infiltración con un tiempo de concentración de escurrimientos de 31 d. Las características morfométricas y la red de drenaje tan solo atenúan los efectos y la vigorosidad de las crecidas importantes para estudios de eventos inesperados de precipitación en el año.

Sreedevi, Owais, Khan, y Ahmed (2009) en su trabajo de investigación análisis morfométrico de una cuenca hidrográfica del sur de la India a partir de datos SRTM y SIG para estudiar la morfometría de drenaje y su influencia en la hidrología de la cuenca Wailapalli, se realizó un estudio detallado utilizando datos del shuttle radar topographic misión (SRTM) (misión topográfica del radar shuttle) para la preparación del modelo de elevación digital (DEM), utilizando el sistema de información geográfica (SIG) en la evaluación de los límites, áreas y parámetros morfométricos.

El estudio revela que la forma alargada de la cuenca es principalmente debido al efecto guiado de empuje y fallas. Las corrientes de orden inferior están dominando la cuenca. El desarrollo de la corriente en la zona de la cuenca está más o menos afectado por la lluvia. La relación de bifurcación (R_b) medio de toda la cuenca es de 3,89 lo que indica que el patrón de drenaje no está muy influido por las estructuras geológicas. La relación de alivio indica que la capacidad de descarga de estas cuencas es muy alta y el potencial de las aguas subterráneas es escaso. Estos estudios son muy útiles para la planificación de la recolección de agua de lluvia y de la gestión de las cuencas hidrográficas.

INRENA (2007) en el trabajo de evaluación de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa – Juliaca, hizo el trabajo por intermedio de la Intendencia de los Recursos Hídricos, Administración de técnica del distrito de riego Juliaca; se realizó este trabajo con fines de aprovechamiento hídrico en las cuencas alto andinas de la región Puno.

Tarazona (2005) en la tesis generación de descargas mensuales en subcuencas de la cuenca del río Santa utilizando el método de Lutz Scholz, indica que mediante procedimientos elaborados por el experto Lutz Scholz, se puede generar y/o verificar la aplicación de los sub modelos determinísticos parciales y generar una serie de caudales confiables aplicando un modelo estocástico; para esto se realizará una revisión de la fuente bibliográfica y el análisis del modelo, tomando como base para el estudio diez subcuencas de la margen derecha del río Santa que cuenten con información de precipitación y descarga.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Delimitación de cuencas con ArcGIS

Según Puerta, Trigozo y Morales (2013) define al ArcGIS como el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los sistemas de información geográfica o SIG. Producido y comercializado por ESRI, bajo el nombre genérico ArcGIS se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. Estas aplicaciones se engloban en familias temáticas como ArcGIS server, para la publicación y gestión web, o ArcGIS móvil para la captura y gestión de información en campo.

Delimitar cuencas manualmente suele resultar un trabajo muy laborioso, sin embargo, ArcGIS cuenta con un potente conjunto de herramientas hidrológicas que permiten modelar el flujo de agua a través de una superficie de un modelo de Elevación digital (DEM), que ayudan a tomar decisiones en procesos de planificación. Para delimitar automáticamente una cuenca hidrográfica y construir la red hídrica a partir de un DEM, es necesario realizar el siguiente procedimiento:

- Obtención del DEM
- Definir Proyección del DEM
- Eliminar Imperfecciones del DEM
- Definir la dirección de la Red Hídrica
- Determinar la acumulación de la Red Hídrica.

- Delimitación de la cuenca

2.2.2. Parámetros de forma

Según Cahuana y Yugar (2009) indica la importancia de la configuración de las cuencas, se trata de cuantificar parámetros por medio de índices o coeficientes, los cuales relacionan el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento los principales parámetros son los siguientes:

a. Coeficiente de compacidad (C_c).

Según Cahuana y Yugar (2009) define como el cociente que existe entre el perímetro de la cuenca respecto al perímetro de un círculo del área de la misma cuenca, tal como expresa la siguiente formula (2.1).

$$C_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2.1)$$

Donde:

C_c : Coeficiente de compacidad.

P: Perímetro de la cuenca, en Km.

A: Área de la cuenca, en km²

Según Santos (2005) cuanto más irregular sea la cuenca mayor será su coeficiente de compacidad, un coeficiente mínimo igual a la unidad corresponde a una cuenca circular; cuando este número tiende a la unidad hay mayor tendencia a aumentar el caudal.

b. Factor de forma (Ff)

Según Mejía (2001) define como la expresión cuantitativa de la forma del contorno de una cuenca, como se expresa en la formula (2.2).

$$F_t = \frac{B}{L} = \frac{A/L}{L} = \frac{A}{L^2} \quad (2.1)$$

Donde:

F_f: Factor de forma

B: Ancho medio de la cuenca, en Km (B= A/L)

A: Área de la cuenca, en km²

L: Longitud axial de la cuenca, en km

Según Cahuana y Yugar (2009) esta ecuación muestra que las cuencas no son similares en forma. A medida que el área aumenta, su relación A/L² disminuye, lo cual indica una tendencia al alargamiento en cuencas grandes. La forma de la cuenca afecta los hidrogramas de caudales máximos, por lo que se han hecho numerosos esfuerzos para tratar de cuantificar este efecto por medio de un valor numérico.

c. Coeficiente de forma (Cf)

Según Cahuana y Yugar (2009). Define como la Relación entre la anchura media B_m de la cuenca y la longitud media (L_{mc}), como expresa la formula (2.3).

$$C_f = \frac{B_m}{L} \quad (2.2)$$

Donde:

B_m = Ancho media de la cuenca

L_{mc} = Longitud media de la cuenca (distancia entre la salida y el punto más alejado de la cuenca).

d. Relación de elongación (R_e)

Según Cahuana y Yugar (2009) definen como la relación entre el diámetro de un círculo (D) de área igual a la cuenca y la longitud de la cuenca (L_c), como expresa la formula (2.4).

$$R_e = \frac{D}{L_c} \quad (2.3)$$

Expresando el diámetro en función del área de la cuenca (A) queda:

$$R_e = 1.1284 \frac{\sqrt{A}}{L_c} \quad (2.4)$$

Si R_e varía entre 0.60 y 1.00 cuenca con amplia variedad de climas y geologías. Además, está fuertemente correlacionado con el relieve de la cuenca, de manera que valores cercanos a la unidad son típicos de regiones con relieve bajo, en cambio donde R_e que varía de 0.60 a 0.80 está asociado a fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno, relieves y pendientes pronunciadas del terreno porque está entre 0.6 y 0.8.

e. Relación de circularidad (R_c)

Según Cahuana y Yugar (2009) define como relación de circularidad, (R_c), denominado también como radio de circularidad, es el cociente entre el área de la cuenca (A) y la del

círculo cuyo perímetro (P) es igual al de la cuenca, como expresa la formula (2.6).

$$R_c = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (2.5)$$

Donde:

A=Área de la Cuenca en Km²

P=Perímetro de la cuenca en Km.

Cuando $R_c=1$, la cuenca es circular y si $R_c=0.785$, la cuenca es cuadrada.

2.2.3. Parámetros de relieve

Según Cahuana y Yugar (2009) consideran que para describir el relieve de una cuenca existen numerosos parámetros que han sido desarrollados por varios autores; entre los más utilizados son las siguientes:

a. Altitud media (Am)

Según Cahuana y Yugar (2009) define como ordenada media de la curva hipsométrica, en ella, el 50 % del área de la cuenca, está situado por encima de esa altitud y el 50 % está situado por debajo de ella.

Curva hipsométrica de una cuenca

Según Cahuana y Yugar (2009) define como la representación gráfica del relieve de una cuenca; es decir la curva hipsométrica indica el porcentaje de área de la cuenca o superficie de la cuenca en km² que existe por encima de una cota determinada, representado en coordenadas rectangulares.

La altitud media se puede calcular con la fórmula (2.6).

$$E_m = \frac{\sum a \cdot e}{A} \quad (2.6)$$

Donde:

Em: Elevación media

a: Área entre dos contornos

e: Elevación media entre dos contornos

A: Área total de la cuenca

Gráficamente la elevación mediana de la cuenca se obtiene, entrando con el 50 % del área en el eje X, trazando una perpendicular por este punto hasta interceptar a la curva hipsométrica. Luego por este punto se traza una horizontal hasta corta el eje Y.

b. Pendiente de la cuenca (S)

Según Cahuana y Yugar (2009) la pendiente media de la cuenca tiene una importante pero compleja relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo en los cauces. Es uno de los factores físicos que controlan el tiempo del flujo sobre el terreno y tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas.

Existen diversos criterios para evaluar la pendiente media de una cuenca, entre las que se destacan son:

Criterio de J.W. Alvord

Cahuana y Yugar (2009). Analiza la pendiente existente entre curvas de nivel, trabajando con la faja definida por las líneas

medias que pasan entre las curvas de nivel, Para una de ellas la pendiente es:

$$S = \frac{D \cdot L}{A} \quad (2.7)$$

$$S = \frac{D_1 l_1 + (l_2 + l_3 + \dots \dots \dots l_{n-1}) D_n l_n}{A} \quad (2.8)$$

Donde:

Sc: Pendiente de la cuenca

D: Desnivel constante entre curvas de nivel, en km

L: Longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca, en km

D1: Desnivel en la parte más baja, en km

Dn: Desnivel en la parte más alta, en km

A: Área de la cuenca, en km²

La ecuación se emplea en el caso en que “D” no sea constante (eso puede suceder en la parte más alta y la parte más baja de la cuenca).

Criterio del rectángulo equivalente

Según Santos (2005) con este criterio, para hallar la pendiente de la cuenca, se toma la pendiente media del rectángulo equivalente, como expresa la formula (2.10)

$$S = \frac{H}{L} \quad (2.9)$$

Donde:

S: Pendiente de la cuenca

H: Desnivel total (cota en la parte más alta – cota en la estación de aforo), en km.

L: Longitud mayor del rectángulo equivalente, en km.

Este criterio, no proporciona un valor significativo de la pendiente de la cuenca, pero puede tomarse como una aproximación.

c. Pendiente del cauce principal (S_c)

Según Cahuana y Morales (2009). Define como la relación entre la altura total del cauce principal (cota máxima, H_{max} menos cota mínima, H_{min}) y la longitud del mismo (L), como expresa la fórmula (2.11)

$$S_c = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \quad (2.10)$$

2.2.4. Parámetros de drenaje

a. Densidad de drenaje (D_d)

$$D_d = \frac{L}{A} \quad (2.11)$$

Donde:

Dd: Densidad de drenaje (km/km²)

L: Longitud total de corrientes (km)

A: Área de la cuenca (km²)

Según Santos (2005) la densidad de drenaje, usualmente toma valores entre 0.5 km/ km² para cuencas con drenaje pobre y hasta 3.4 km/km² para cuencas excesivamente bien drenadas.

b. Relación de bifurcación (R_b)

Según Cahuana y Morales (2009) define como la relación entre el número de cauces de orden i (N_i) y el número de cauces de orden

$i+1$ (N_{i+1}). Horton encontró que esta relación es relativamente constante de un orden a otro.

$$R_b = \frac{N_i}{N_{i+1}} \quad (2.12)$$

El valor teórico mínimo para R_b es 2 y según Strahler un valor típico se encuentra entre 3 y 5 en cuencas donde la estructura geológica no distorsiona el patrón de drenaje natural.

c. Orden de corrientes (Oc)

Según Reyes (1992) un cauce puede ser tributaria de otra mayor y así sucesivamente de manera que por esta razón se les puede asignar un orden de importancia dentro de la cuenca; una forma muy utilizada para establecer el orden de las corrientes es teniendo en cuenta su grado de bifurcación.

2.2.5. Relaciones empíricas de los parámetros geomorfométricos.

a. Ley de Hack.

Hack (1957), encontró una función que relaciona la longitud del canal principal de una cuenca con el área de la misma.

$$L = CA^h \quad (2.13)$$

Donde:

L: Longitud de cauce

A: Área de la cuenca

C, h: Parámetros de la ecuación.

2.3. Definición de términos

Acumulación de flujo

Según Ruiz y Torres (2010) la acumulación de flujo es una matriz en la cual se calcula para cada celda un valor de acumulación de peso proveniente de las celdas que fluyen hacia ella.

Cuenca hidrográfica

Según Perez (2012) define como el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal.

Delimitación de cuenca

Según Perez (2012) tradicionalmente la delimitación de cuencas, se ha realizado mediante la interpretación de los mapas cartográficos. Este proceso, ha ido evolucionando con la tecnología. Hoy día los sistemas de información geográfica SIG proporcionan una gama amplia de aplicaciones y procesos que, con entender los conceptos y teoría, se puede realizar de una forma más sencilla y rápida el análisis y delimitación de una cuenca.

Dirección de flujo

Según Ruiz y Torres (2010) la dirección de flujo está determinado por la dirección por la dirección más empinada descendiendo de cada celda o pixel.

Geomorfometría

Según Perez (2012) define como el conjunto de técnicas, procedimientos y métodos, utilizados para determinar atributos configuracionales del

relieve y, en base a ellos, conocer el sistema de relaciones espaciales que caracterizan a las formas del terreno

Modelo digital de terreno

Según Ruiz y Torres (2010) define como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua, como puede ser temperatura, la altitud o la presión atmosférica.

Sistema de información geográfica

Según Puerta, Trigozo y Morales (2013) es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

Aplicada, porque según Bunge (1971), el propósito de este tipo de investigación es dar solución a situaciones o problemas concretos e identificables

El nivel de investigación es descriptivo-correlacional, porque según Hernández (1991), describe como los estudios descriptivos miden de manera más bien independiente los conceptos o variables con las que tiene que ver, los estudios correlacionales miden las dos o más variables que se pretende ver si están o no relacionadas en los mismos sujetos y después de analizar la correlación

3.2.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental, porque según Hernández (1991), define como aquella que se realiza sin manipular deliberadamente las variables.

Transversal, porque según Hernández (1991), los diseños transversales recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables, y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.

3.2. Plan de recolección de la información y/o diseño estadístico

a) Población

Para el presente trabajo de investigación se han considerado las 52 Sub Cuencas de la Cuenca Marañón tales como Chonchon, Chocta,

Sharcote, Sioner, Capillana, Sarin, Urapayacu, Lacla, Lavasen, Gansul, El Oso, Tigo, Suchaga, Cachipampa, Otubamba, San Miguel, San Sebastian, Huayllopa, Chinchango, Casga, Rupaybamba, Vincos, Aguayacu, Mollepampa, Cajas, Atuy, Suyanba, Capillabamba, Potrero, Arancante, Challas, Repací, Anchic, Shamalmonite, Manto, Cunyac, Tangui, Huaylas, Sanachga, Tucumacay, Pauca Chunqui, Tranca, Pinra, Yupan, Panoragra, Porcato, Puchka, Cuntan, Jaupanga, Jagra, Tantamayo, Llactar, Picruj, Manish, Aco, Callo, Hambraragra, Huaspay, Matacac, Vizcarra, Tumahuain, Panavado, Callanca, San Juan, San Martin, Nupe.

b) Muestra

Para la muestra se ha tomado las 52 subcuencas que describen en la población, para obtener datos más confiables para la investigación.

3.3. Instrumentos de recopilación de la información

Los instrumentos que se utilizarán en la investigación, son la recopilación de datos y filtrado de la información necesaria que servirá dentro de la investigación, utilizando materiales y tecnología que esté a nuestro alcance.

3.4. Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información

Se aplicarán las siguientes técnicas de procesamiento de datos:

3.4.1. Ordenamiento y clasificación

Se aplicará para tratar la información cualitativa y cuantitativa sobre temas de delimitación de subcuencas, parámetros geomorfométricos, relación entre los parámetros

geomorfométricos, en forma ordenada para poder interpretar y obtener el máximo provecho.

3.4.2. Registro manual

Se aplicará para digitar la información de las diferentes fuentes sobre temas de delimitación de subcuencas, parámetros geomorfométricos, relación entre los parámetros geomorfométricos.

3.4.3. Proceso computarizado a través de generación de programas

Se elaborará rutinas de programas dentro del software tal es el caso de ModelBuilder de cómputo que se ha considerado adecuado para el trabajo de investigación, se ha previsto elaborar rutinas de programas para los siguientes procesos:

- ✓ Delimitación de las Subcuencas
- ✓ Análisis y procesamiento de los parámetros geomorfométricos

3.4.4. Proceso computarizado con un software comercial

Se aplicará un software comercial para el análisis y cálculo de todos los parámetros que intervienen dentro de la investigación.

3.5. Técnicas de análisis de la información

3.5.1. Delimitación de las subcuencas

La técnica de análisis para la delimitación de las subcuencas se realizará siguiendo el diagrama de flujo.



Figura 3.1. Diagrama de flujo de la delimitación de las subcuencas

Fuente: Elaboración propia

a. Obtención de datos SRTM y procesamiento

Los datos altimétricos de 30 metros de resolución espacial correspondiente al DEM del área de estudio, se ha realizado desde la página Web <http://earthexplorer.usgs.gov>.

El pre-procesamiento consiste en la eliminación de imperfecciones de fuente de origen presentes en el DEM, dentro de los cuales se encuentran las zonas sin datos o vacías “No Data”, que según Olaya (2011) deben corregirse aplicando métodos de interpolación. Otro factor que afecta la calidad de los datos SRTM, es la presencia de picos y sumideros, que de acuerdo a Medeiros (2009), las imperfecciones presentes en el modelo de datos ocasionan errores en el mapa de la dirección de flujo.

Una de las formas de eliminar la presencia de valores No Data en el modelo es mediante estadísticas focales, procedimiento que se efectúa a través de la herramienta *ArcToolbox>Spatial Analyst Tools>Map Algebra>Raster Calculator*. Posteriormente se corrigen los picos y sumideros a través del recurso *Spatial Analyst>Hidrology>Fill*.

b. Dirección de flujo

En esta etapa se obtiene un raster con las orientaciones de flujo de cada celda vecina, calculadas en función a las pendientes. Walchholz et al. (2013), menciona que las direcciones de flujo expresan las relaciones hidrológicas entre diferentes puntos de una cuenca hidrográfica.

Para ESRI (2013), el cálculo de dirección de flujo es un proceso que sigue la secuencia mostrada en la Figura.

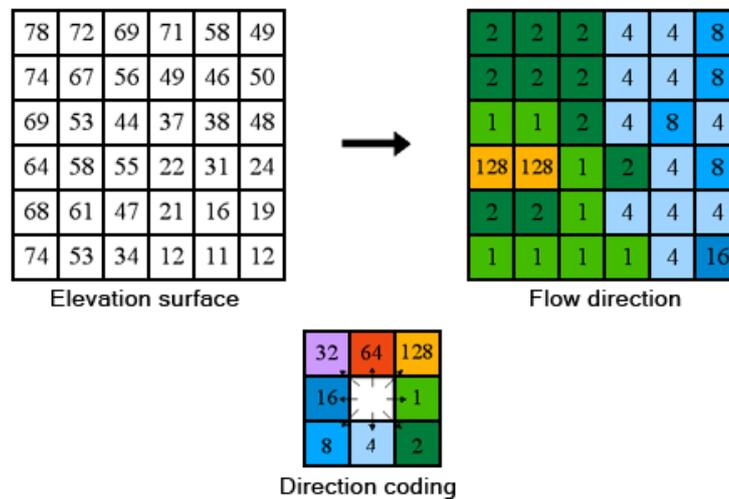


Figura 3.2. Procedimiento de cálculo de dirección de flujo
Fuente: ESRI 2013

La dirección de flujo se obtiene a través del recurso ArcToolbox>*Spatial Analyst*>*Hidrology*>*Flow Direction*.

c. Acumulación de flujo y cálculo del umbral

La acumulación de flujo determina todas las celdas que drenan a una en particular, la cual se obtiene a partir de la dirección de flujo. Según Venkatachalam et al. (2001), la acumulación de flujo en una celda se establece en función a la suma de los valores de acumulación de flujo de las celdas vecinas que desembocan en ella.

De acuerdo a ESRI (2013), la acumulación de flujo es un proceso que sigue la secuencia especificada en la Figura.

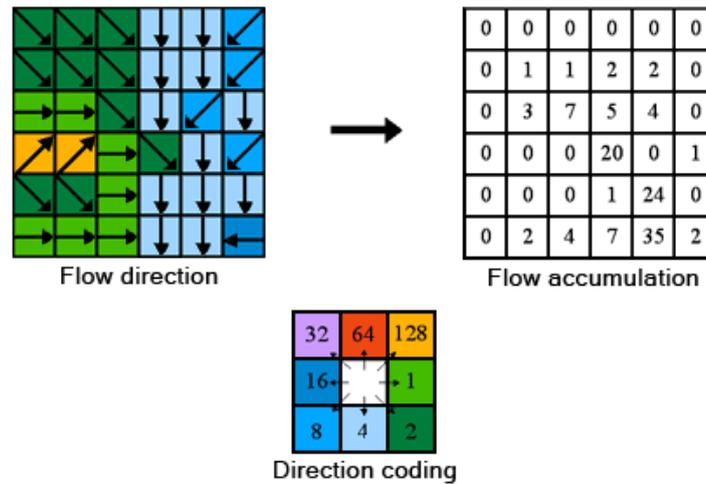


Figura 3.3. Procedimiento de cálculo de acumulación de flujo.
Fuente: ESRI 2013

La acumulación de flujo se obtiene a través del recurso *ArcToolbox>Spatial Analyst>Hidrology>Flow Accumulation*.

ESRI (2012), para el cálculo del umbral se requiere del raster de acumulación de flujo y la cantidad mínima de celdas que forman el curso de agua, las cuales corresponden al valor del umbral. De acuerdo a la UICN (2009a), se obtiene mediante un procedimiento repetitivo de ensayo y error, con el cual se determina el umbral de acumulación que permite identificar el afluente principal y cuatro aportantes. Con los resultados se determinan las 4 unidades de drenaje tipo cuenca y 5 de tipo intercuenca, correspondiéndoles a las primeras las mayores áreas de drenaje y acumulación de flujo según el método Pfafstetter.

En ArcGIS el proceso se realiza desde ventana *Layer>Properties>Symbolology>Classified>Classify*, donde se

especifica la clasificación en dos rangos o clases aplicando el método Natural Breaks - Jenks; el primero va de 1 a N valor calculado por la herramienta, mientras que el segundo del N valor al número máximo que alcanza la acumulación de flujo. El valor N es con el cual se realizan los ensayos a través de la opción *Classify>Break Value*.

El cálculo del umbral finaliza con la reclasificación de los resultados obtenidos, y se realiza por medio de la herramienta *ArcToolbox>Spatial Analyst Tools>Reclass>Reclassify*, asignándole el valor de 0 al primer rango y 1 al segundo rango, siendo el segundo rango el requerido para la siguiente etapa del proceso, ya que almacena los afluentes principales. (UICN Sur & SGCAN, 2010)

d. Red de drenajes

La generación de la red de drenajes es fundamental para la determinación de las cuencas hidrográficas, el insumo principal en esta etapa es la reclasificación de la acumulación del rango cuyo valor asignado fue 1 en la anterior fase.

El procedimiento se realiza desde la caja de herramientas *ArcToolbox>Spatial Analyst Tools>Hydrology>Stream Link*. Según criterio de Johnson (2008), Stream Link asigna valores únicos a las secciones de una red de drenajes entre las intersecciones, que para la UICN (2009), los enlaces o links son los

segmentos de una red de drenajes que conectan a dos aportantes de forma sucesiva.

e. Generación de cuencas

Según Alves et al. (2010), el proceso para la generación de las áreas de drenaje requiere del mapa de dirección y acumulación de flujo y se lo realiza mediante la herramienta *ArcToolbox>Spatial Analyst Tools>Hydrology>Watershed*.

Para UICN (2009b), Watershed establece el área aportante de la cuenca que drena dentro de ella y fluye a una determinada salida.

f. Vectorización y codificación

La vectorización consiste en convertir las cuencas de formato raster a vector. Es la etapa final de la metodología y arroja como resultado el archivo shapefile con los polígonos de las unidades hidrográficas delimitadas. De acuerdo a lo establecido por la UICN (2009) en el manual de procedimientos de delimitación y codificación de unidades hidrográficas para el Ecuador, la vectorización de las cuencas se logra a través de la siguiente herramienta *ArcToolbox>Conversion Tools>From Raster>Raster To Polygon*.

La codificación de cuencas hidrográficas basadas en el método Pfafstetter (1989), es jerárquica y utiliza 10 dígitos relacionados directamente con el área de drenaje y cursos de agua. Según Galvão & Meneses (2005), los códigos pares 2, 4, 6 y 8 se asignan a las cuatro cuencas principales a las cuales corresponden las mayores áreas de drenaje, mientras que las intercuenas identifican a las

cinco unidades de drenaje de menor tamaño y reciben los dígitos 1, 3, 5, 7 y 9. La Secretaría del Ambiente (2011), corrobora lo manifestado por los autores anteriormente, pero además manifiesta que en caso de existir intercuenas, éstas se codifican con el dígito 0, como se puede observar en la Figura.

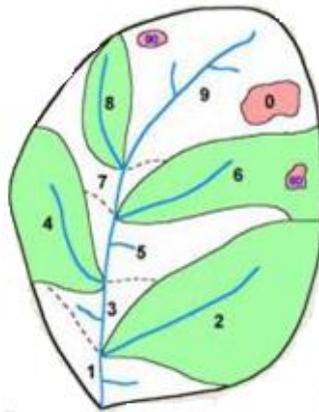


Figura 3.4. Codificación del método Pfasstetter.

Fuente: ESRI 2013

El proceso de codificación se realiza desde aguas abajo (desembocadura), hacia aguas arriba (naciente de la cuenca).

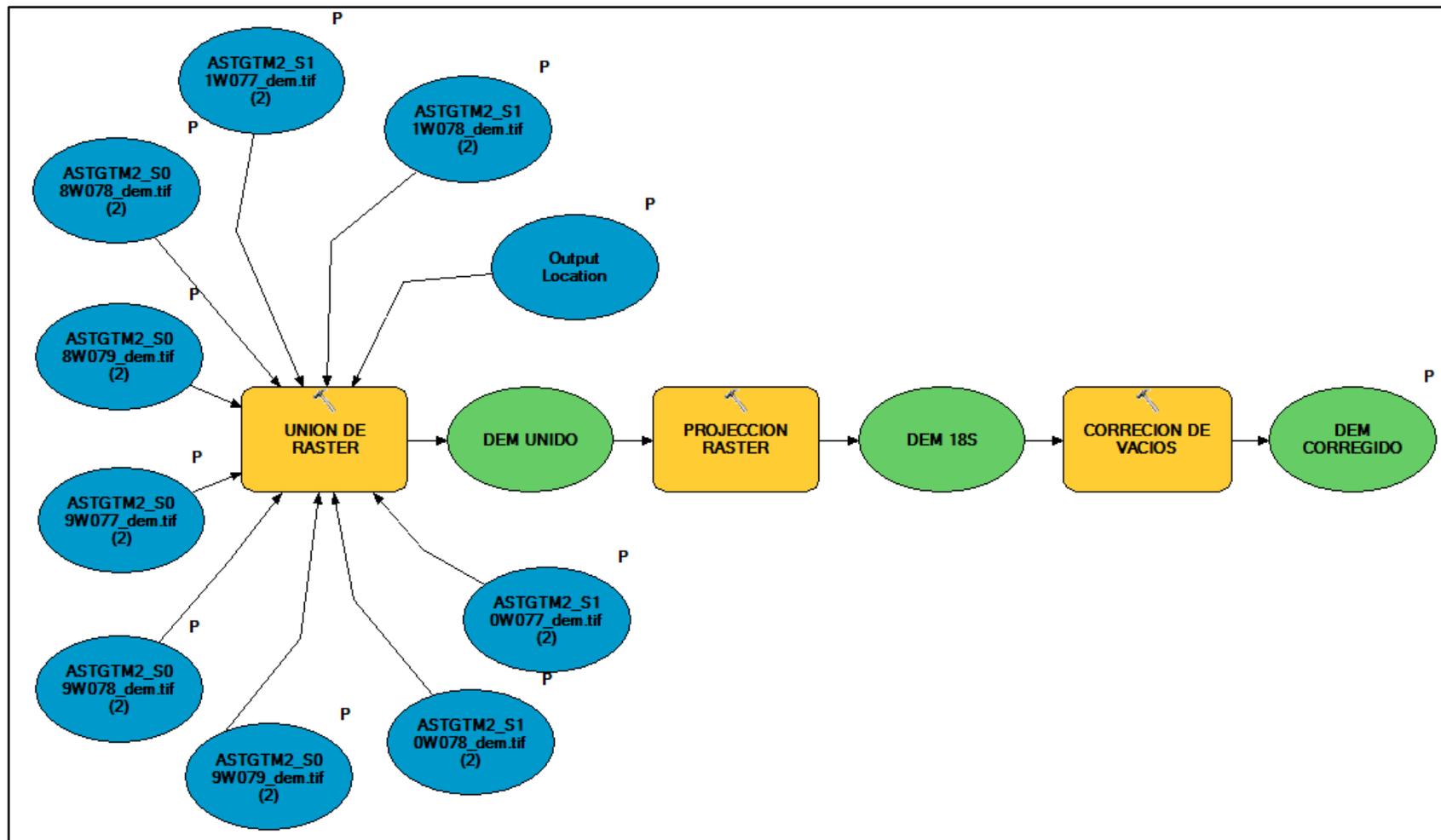


Figura 3.5. Procedimiento para la corrección de DEM de la cuenca del Marañón

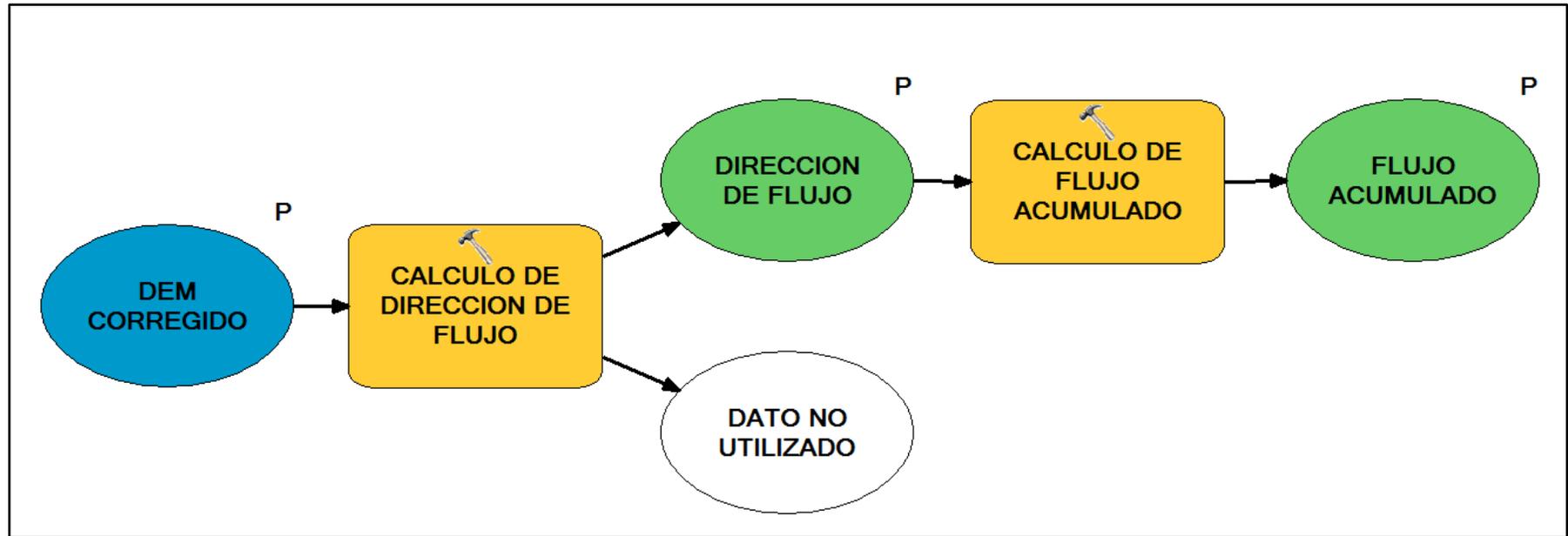


Figura 3.6. Procedimiento para el cálculo del umbral

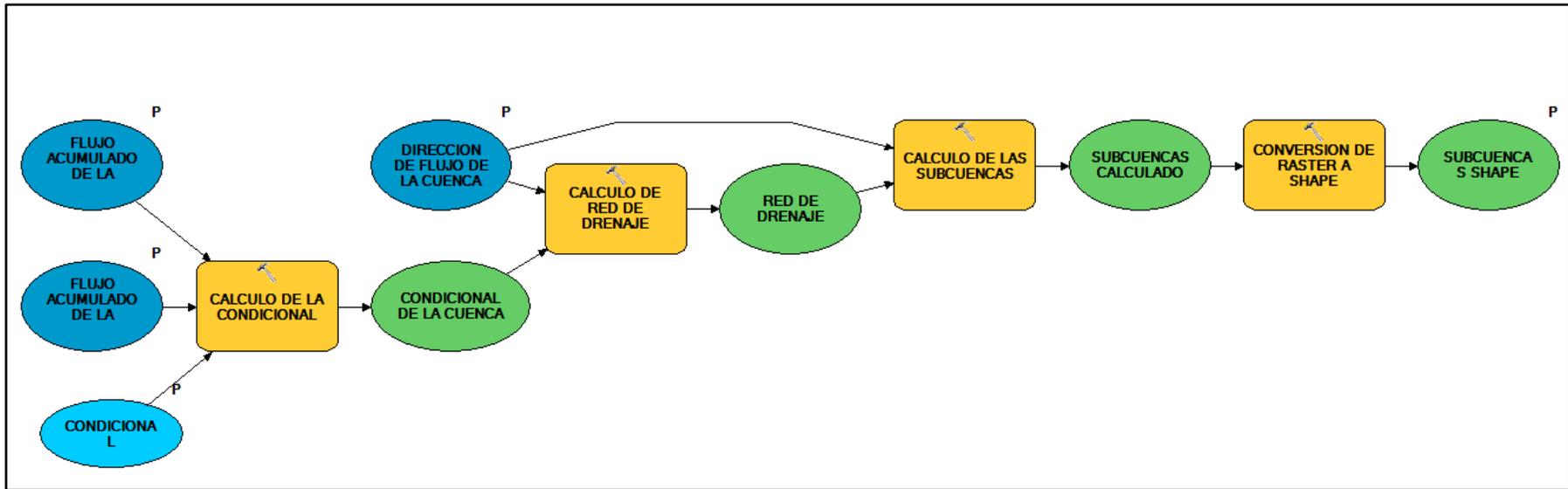


Figura 3.7. Procedimiento para la obtención de las subcuencas de la cuenca de la Marañón

3.5.2. Determinación de los parámetros geomorfométricos.

a. Parámetros de forma

Estos parámetros se determinaron aplicando las fórmulas existentes, las características de las sub cuencas tales como el área, perímetro, longitud, etc, que son insumos necesarios para el cálculo de los parámetros de forma, se determinó utilizando el software ArcGIS y para la solución de las fórmulas se empleará el software Excel.

b. Parámetros de relieve

Estos parámetros se determinaron aplicando en mayor parte el software ArcGIS ya que brinda una cantidad de herramientas útiles para procesar los datos de este tipo, se elaborará rutinas de programas dentro del software tal es el caso de ModelBuilder, obteniendo los datos primarios para que posteriormente sean procesados en el software excel para un análisis más detallado.

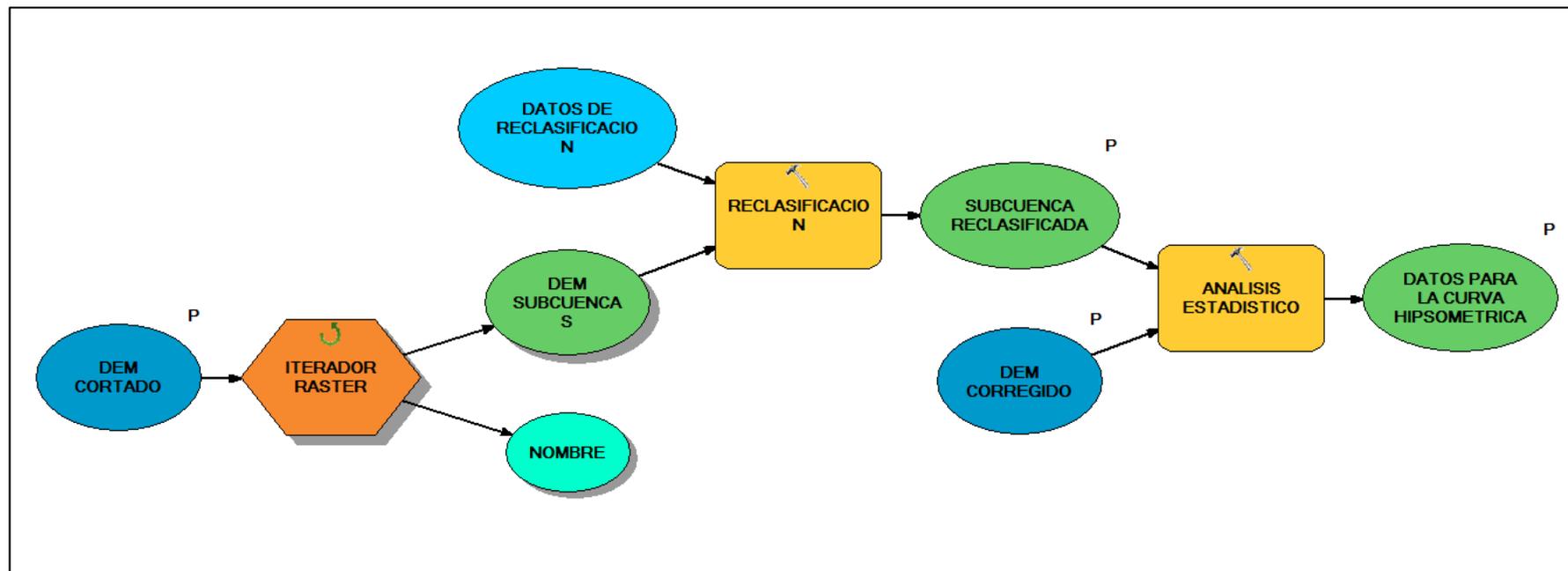


Figura 3.8. Procedimiento para la obtención de datos para las Curvas Hipsométricas de las subcuencas de la cuenca del Marañón

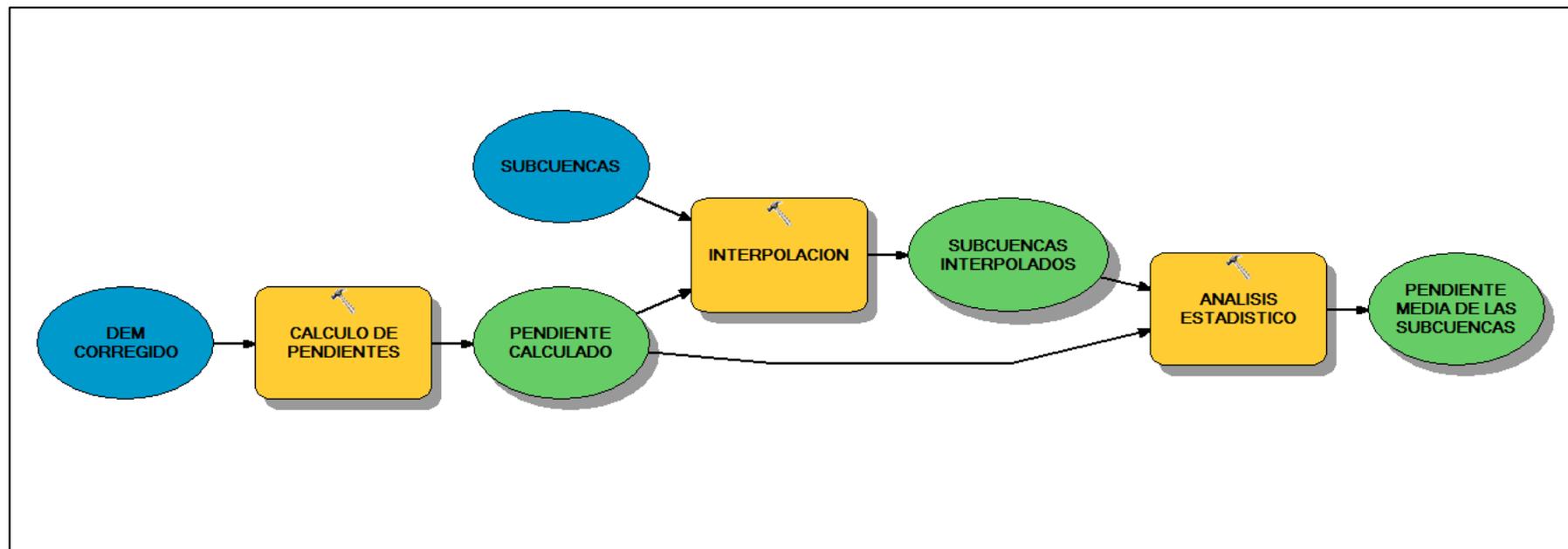


Figura 3.9. Procedimiento para la obtención de la pendiente media de la cuenca y el cauce principal de las subcuencas de la cuenca del Marañón

c. Parámetros de drenaje

Estos parámetros serán determinados aplicando el software ArcGIS y para la solución de las ecuaciones será necesario el uso del software excel.

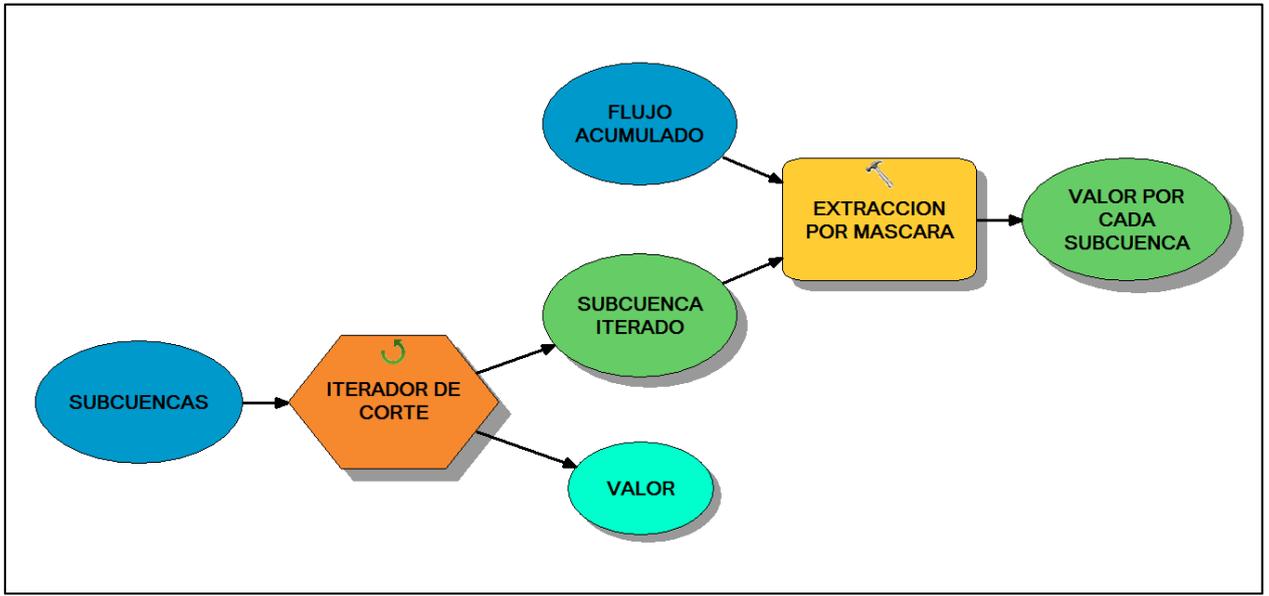


Figura 3.10. Procedimiento para extracción del flujo acumulado de las subcuencas de la cuenca del Maraón

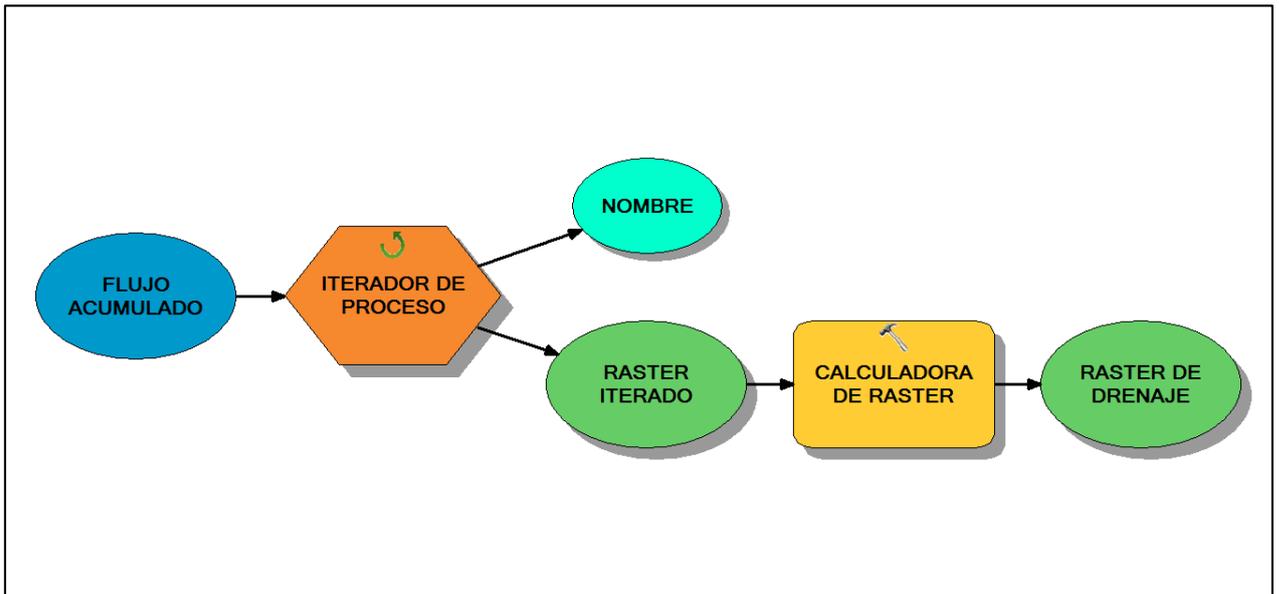


Figura 3.11. Procedimiento para el cálculo de red de drenaje de las subcuencas

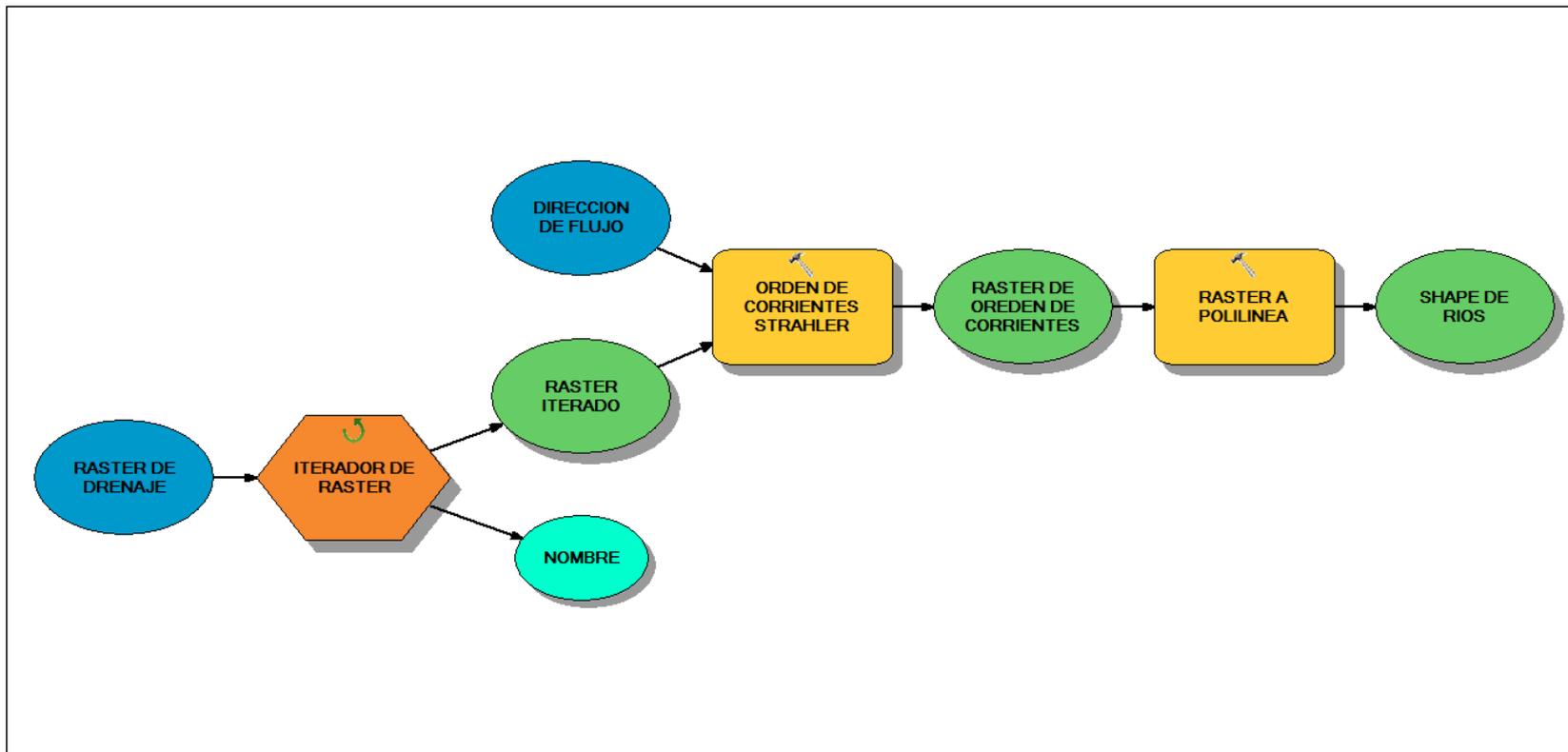


Figura 3.12. Procedimiento para el cálculo del orden de corrientes de las subcuencas de la cuenca del Marañón

3.5.2. Relación de los parámetros geomorfométricos

Se buscó la correlación entre los parámetros geomorfométricos, aplicando la correlación de Pearson y el análisis de componente principal, para lo cual en el primer paso se determinó la correlación de las parámetros, analizando que parámetros son dependientes unas de otras, después de definir la dependencia se obtuvo las diversas ecuaciones de regresión, tales como ecuación de regresión lineal, ecuación de regresión exponencial, ecuación de regresión logarítmica, ecuación potencial de regresión y ecuación polinómica de regresión, según sea el caso para, facilitar los cálculos se empleó el software SPSS.

IV. RESULTADOS

4.1. Delimitación de las subcuencas

Para la delimitación de las subcuencas de la cuenca del Marañón, se utilizó el software ArcGIS versión 10.3 en la cual se realizó los siguientes procesos:

4.1.1. Obtención de datos SRTM y procesamiento

Una vez obtenido los datos de la página web <http://earthexplorer.usgs.gov>. Se procede al procesamiento de los datos, para la cual se implementó una rutina en el ModelBuilder del software ArcGIS 10.3 para facilitar todo el proceso.

El proceso consistió en los vacíos “No Data” y los picos y sumideros que trae el DEM original.

4.1.2. Dirección de flujo

Una vez obtenido el DEM corregido, se implementó una rutina en el ModelBuilder del software ArcGIS 10.3 para el cálculo de la dirección de flujo.

4.1.3. Acumulación de flujo y cálculo del umbral

Una vez obtenido el DEM corregido, se implementó una rutina en el ModelBuilder del software ArcGIS 10.3 para el cálculo de acumulación de flujo y cálculo del umbral.

4.1.4. Red de drenajes

Una vez calculado el raster de la dirección de flujo, raster de flujo acumulado y el umbral adecuado, se implementó una rutina en el

ModelBuilder del software ArcGIS 10.3 para el cálculo red de drenajes.

4.1.5. Generación de cuencas

Con los datos obtenidos en los procesos anteriores se elaboró una rutina en el Modelbuilder para la obtención de las subcuencas, siguiendo los procedimientos necesarios para la obtención de los datos con lo cual se obtuvo 52 subcuencas de nivel 7.

4.1.6. Vectorización y codificación

En este proceso se utilizó la información generada en las etapas anteriores, es decir la cartografía validada, el modelo de elevación digital.

Para la delimitación según Pfaftetter, se subdividió las cuencas hidrográficas, identificando los cuatro mayores afluentes en términos de área y longitud al río principal luego se proyectó hasta el límite de la cuenca mayor para obtener las intercuencas.

Las codificaciones de las cuencas correspondientes a esos tributarios son enumeradas con los dígitos pares (2, 4, 6 y 8), iniciando en la desembocadura y siguiendo el río principales aguas arriba hasta la naciente del río principal. Los otros tributarios del río principal son agrupados como áreas restantes y denominadas intercuencas, cuya numeración es asignada con los dígitos impares (1, 3, 5, 7 y 9). En el caso de encontrar una cuenca que no tiene afluentes hacia el río principal se le denomina cuenca endorreica o interna y lleva por codificación cero.

Tabla 4.1. Codificación de las subcuencas de la cuenca del Marañón

Subcuenca	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Código
ACO	4	49	498	4989	49899	498997	4989976
ACTUY	4	49	498	4989	49899	498993	4989936
ANCHIC	4	49	498	4989	49899	498993	4989939
ANDACHUPA	4	49	498	4989	49899	498998	4989983
BATAN	4	49	498	4989	49899	498997	4989977
CAJAS	4	49	498	4989	49899	498993	4989934
CANCHIS	4	49	498	4989	49899	498997	4989972
CERPAQUINO	4	49	498	4989	49899	498992	4989924
CHIRIMACHAY	4	49	498	4989	49899	498993	4989931
CHOCTA	4	49	498	4989	49899	498991	498991
CHULLPA	4	49	498	4989	49899	498996	4989961
COCHABAMBA	4	49	498	4989	49899	498992	4989922
COLCA	4	49	498	4989	49899	498996	4989962
CUNYA	4	49	498	4989	49899	498994	4989946
CUNYAC	4	49	498	4989	49899	498999	4989994
HUACHIMIN	4	49	498	4989	49899	498992	4989921
HUACOTO	4	49	498	4989	49899	498998	4989984
HUACRACHUCO	4	49	498	4989	49899	498993	49899310
HUANCAS	4	49	498	4989	49899	498993	4989937
HUANGOR	4	49	498	4989	49899	498997	4989975
HUASHPAY	4	49	498	4989	49899	498997	4989978
HUAYHUASH	4	49	498	4989	49899	498999	4989997
HUINCHUS	4	49	498	4989	49899	498993	4989932
ICHICYACU	4	49	498	4989	49899	498998	4989981
LAMPAS	4	49	498	4989	49899	498998	4989985
LAURICOCHA	4	49	498	4989	49899	498999	4989998
LINDA	4	49	498	4989	49899	498999	4989999
MANISH	4	49	498	4989	49899	498997	4989974
MARANON	4	49	498	4989	49899	498993	49899311
MARIA HUAITA	4	49	498	4989	49899	498994	4989945
MATACAC	4	49	498	4989	49899	498999	4989991
MOSNA	4	49	498	4989	49899	498996	4989967
NUPE	4	49	498	4989	49899	498999	4989996
NUPE NUPE	4	49	498	4989	49899	498999	4989995
POMABAMBA	4	49	498	4989	49899	498994	4989944
PUCHCA	4	49	498	4989	49899	498996	4989963
PUCROJ	4	49	498	4989	49899	498997	4989973

Tabla 4.1. Codificación de las subcuencas de la cuenca del Marañón

Subcuenca	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Código
PURHUAY	4	49	498	4989	49899	498996	4989965
RANCASA	4	49	498	4989	49899	498997	4989971
RUNICHINCHAY	4	49	498	4989	49899	498996	4989966
RUPAC	4	49	498	4989	49899	498993	4989938
SAN JUAN	4	49	498	4989	49899	498999	4989992
SAN MARTIN	4	49	498	4989	49899	498999	4989993
SAN NICOLAS	4	49	498	4989	49899	498994	4989942
SARIN	4	49	498	4989	49899	498992	4989923
SHIUSHA	4	49	498	4989	49899	498996	4989964
SHUYANGA	4	49	498	4989	49899	498993	4989935
TAPARACO	4	49	498	4989	49899	498998	4989982
TRANCA	4	49	498	4989	49899	498995	498995
UCTUBAMBA	4	49	498	4989	49899	498993	4989933
YANAMAYO	4	49	498	4989	49899	498994	4989941
YURMA	4	49	498	4989	49899	498994	4989943

4.2. Determinación de los parámetros geomorfométricos

4.2.1 Parámetros de forma

Los parámetros de forma se han determinado de acuerdo a las fórmulas teóricas y utilizando el software ArcGIS y Excel, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.2. Parámetros de forma de las subcuencas de la cuenca de Marañón

Subcuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud del río - L _c (km)	Ancho de la cuenca - B _c (km)	Coefficiente de Compacidad (Cc)	Factor de Forma (Ff)	Coefficiente de Forma (Cf)	Relación de Elongación (Re)	Relación de Circularidad (Rc)
Aco	242.40	85.39	20.01	20.96	1.54	0.61	1.05	0.96	0.42
Actuy	460.03	118.02	35.17	20.28	1.54	0.37	0.58	0.75	0.42
Anchic	251.67	94.70	27.72	15.37	1.67	0.33	0.55	0.70	0.35
Andachupa	306.49	96.91	31.20	15.22	1.55	0.31	0.49	0.69	0.41
Batan	136.04	83.82	6.65	29.60	2.01	3.08	4.45	2.15	0.24
Cajas	752.31	197.15	59.64	24.27	2.01	0.21	0.41	0.56	0.24
Canchis	166.93	70.75	20.54	13.94	1.53	0.40	0.68	0.77	0.42
Cerpaquino	155.28	66.81	21.78	14.14	1.50	0.33	0.65	0.70	0.44
Chirimachay	1286.74	192.25	43.74	37.91	1.50	0.67	0.87	1.01	0.44
Chocta	409.95	101.53	23.83	28.11	1.40	0.72	1.18	1.04	0.50
Chullpa	727.61	134.97	29.72	32.09	1.40	0.82	1.08	1.11	0.50
Cochabamba	467.30	123.54	24.26	31.20	1.60	0.79	1.29	1.09	0.38
Colca	319.11	98.36	32.45	18.42	1.54	0.30	0.57	0.68	0.41
Cunya	577.22	111.81	21.01	30.36	1.30	1.31	1.45	1.40	0.58
Cunyac	352.51	118.71	28.75	22.62	1.77	0.43	0.79	0.80	0.31
Huachimín	531.75	118.28	35.57	23.05	1.44	0.42	0.65	0.80	0.48
Huacoto	384.53	124.50	22.35	40.25	1.78	0.77	1.80	1.08	0.31
Huacrachuco	403.40	126.78	33.77	19.72	1.77	0.35	0.58	0.73	0.32
Huancas	496.36	115.66	25.90	33.37	1.45	0.74	1.29	1.06	0.47
Huangor	270.20	89.64	26.79	16.67	1.53	0.38	0.62	0.75	0.42
Huashpay	146.15	69.76	19.94	8.52	1.62	0.37	0.43	0.74	0.38
Huayhuash	175.82	80.43	24.20	10.24	1.70	0.30	0.42	0.67	0.34

Tabla 4.2. Parámetros de forma de las subcuencas de la cuenca de Marañón

Subcuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud del río - L _c (km)	Ancho de la cuenca - B _c (km)	Coefficiente de Compacidad (C _c)	Factor de Forma (F _f)	Coefficiente de Forma (C _f)	Relación de Elongación (R _e)	Relación de Circularidad (R _c)
Huinchus	477.12	114.80	32.16	32.80	1.47	0.46	1.02	0.83	0.45
Ichicyacu	490.80	143.60	41.82	38.73	1.81	0.28	0.93	0.65	0.30
Lampas	231.96	90.55	29.34	11.97	1.66	0.27	0.41	0.64	0.36
Lauricocha	424.48	114.97	33.27	21.43	1.56	0.38	0.64	0.76	0.40
Linda	255.98	85.15	22.34	14.24	1.49	0.51	0.64	0.88	0.44
Manish	140.72	78.89	18.34	14.87	1.86	0.42	0.81	0.79	0.28
Maranon	1112.31	182.00	50.63	47.70	1.53	0.43	0.94	0.81	0.42
Maria Huaita	252.09	81.63	28.24	10.79	1.44	0.32	0.38	0.69	0.48
Matacac	516.28	138.68	25.58	33.30	1.71	0.79	1.30	1.09	0.34
Mosna	1017.80	162.20	45.30	47.41	1.42	0.50	1.05	0.87	0.49
Nupe	300.76	84.56	19.23	23.10	1.37	0.81	1.20	1.11	0.53
Nupe	316.68	103.66	23.63	28.07	1.63	0.57	1.19	0.93	0.37
Pomabamba	645.39	131.76	37.03	26.44	1.45	0.47	0.71	0.84	0.47
Puchca	226.13	74.83	17.39	16.52	1.39	0.75	0.95	1.06	0.51
Pucroj	312.85	83.22	18.47	20.50	1.32	0.92	1.11	1.18	0.57
Purhuay	149.56	64.54	17.52	15.76	1.48	0.49	0.90	0.86	0.45
Rancasa	577.27	178.29	53.83	21.39	2.08	0.20	0.40	0.55	0.23
Runichinchay	196.33	63.88	21.17	14.51	1.28	0.44	0.69	0.81	0.60
Rupac	966.80	174.12	41.82	35.03	1.57	0.55	0.84	0.91	0.40
San Juan	168.55	62.38	20.71	13.89	1.35	0.39	0.67	0.77	0.54
San Martin	294.25	104.48	17.58	31.72	1.71	0.95	1.80	1.20	0.34

Tabla 4.2. Parámetros de forma de las subcuencas de la cuenca de Marañón

Subcuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud del río - L _c (km)	Ancho de la cuenca - B _c (km)	Coefficiente de Compacidad (C _c)	Factor de Forma (F _f)	Coefficiente de Forma (C _f)	Relación de Elongación (R _e)	Relación de Circularidad (R _c)
San Nicolas	258.48	88.64	26.84	17.62	1.54	0.36	0.66	0.74	0.41
Sarin	170.61	67.31	22.57	11.06	1.44	0.33	0.49	0.71	0.47
Shiusha	156.31	62.95	20.28	10.72	1.41	0.38	0.53	0.76	0.50
Shuyanga	66.23	46.44	6.80	18.53	1.60	1.43	2.73	1.47	0.39
Taparaco	184.51	97.45	31.42	9.05	2.01	0.19	0.29	0.53	0.24
Tranca	752.81	174.25	35.57	46.90	1.78	0.59	1.32	0.95	0.31
Uctubamba	1364.34	200.14	48.54	33.30	1.52	0.58	0.69	0.93	0.43
Yanamayo	221.95	87.27	16.09	24.20	1.64	0.86	1.50	1.14	0.37
Yurma	385.73	112.44	32.72	24.62	1.60	0.36	0.75	0.74	0.38

4.2.2. Parámetros de relieve

Los parámetros de relieve se han determinado de acuerdo a las fórmulas teóricas y utilizando el software ArcGIS y excel, los resultados se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 4.3. Parámetros de relieve de las subcuencas de la cuenca de Marañón

Subcuenca	Altitud (m.s.n.m.)			Altitud más frecuente	Pendiente de cuenca (%)			Pendiente del cauce (%)
	Min.	Máx.	Medio		Min	Máx.	Medio	
Aco	2979.00	4555.00	3980.97	3962.79	0.00	82.30	33.72	33.72
Actuy	1639.00	4715.00	3762.52	4083.15	0.00	92.10	47.03	47.03
Anchic	2381.00	4504.00	3479.38	2408.87	0.00	64.23	48.77	48.77
Andachupa	3357.00	4940.00	4315.78	4347.53	0.00	72.30	41.32	41.32
Batan	2979.00	4707.00	3921.83	3925.17	0.00	345.94	36.75	36.75
Cajas	1637.00	4658.00	3674.63	4025.62	0.00	82.32	49.30	49.30
Canchis	2979.00	4568.00	4132.60	4101.57	0.00	73.20	40.07	40.07
Cerpaquino	2556.00	4637.00	3797.61	4026.28	0.00	86.14	44.85	44.85
Chirimachay	1119.00	4553.00	2939.89	3841.27	0.00	83.21	58.00	58.00
Chocta	1049.00	4247.00	2804.72	3830.20	0.00	98.12	63.62	63.62
Chullpa	2381.00	4749.00	3745.20	4423.88	0.00	87.23	44.03	44.03
Cochabamba	2005.00	4281.00	3496.36	2671.34	0.00	60.23	35.88	35.88
Colca	2429.00	5052.00	4144.75	4288.96	0.00	81.23	45.39	45.39
Cunya	2596.00	6129.00	4370.41	4498.67	0.00	95.06	53.80	53.80
Cunyac	3370.00	4429.00	3975.44	4031.72	0.00	56.23	32.72	32.72
Huachimin	1119.00	4357.00	2849.04	2604.55	0.00	97.25	54.96	54.96
Huacoto	3357.00	5272.00	4396.21	4391.71	0.00	95.95	43.60	43.60
Huacrachuco	2381.00	4693.00	3719.14	4016.30	0.00	67.06	49.87	49.87
Huancas	1639.00	4485.00	3149.29	3658.18	0.00	69.63	49.19	49.19
Huangor	2979.00	4713.00	4115.95	4352.30	0.00	73.23	42.49	42.49
Huashpay	2979.00	4763.00	4147.25	4390.27	0.00	64.03	44.69	44.69
Huayhuash	3663.00	5922.00	4545.82	4505.75	0.00	94.66	46.59	46.59

Tabla 4.3. Parámetros de relieve de las subcuencas de la cuenca de Marañón

Subcuenca	Altitud (m.s.n.m.)			Altitud más frecuente	Pendiente de cuenca (%)			Pendiente del cauce (%)
	Min.	Max.	Medio		Min.	Max.	Medio	
Huinchus	1279.00	4578.00	3526.29	3906.14	0.00	78.37	56.34	56.34
Ichicyacu	2979.00	4513.00	3862.71	3681.70	0.00	80.44	33.02	33.02
Lampas	3336.00	4856.00	4289.66	4409.37	0.00	78.20	33.80	33.80
Lauricocha	3678.00	5582.00	4434.36	4388.13	0.00	64.10	35.29	35.29
Linda	3678.00	4603.00	4234.88	4257.52	0.00	75.62	31.67	31.67
Manish	2979.00	4590.00	4048.45	4250.16	0.00	63.21	36.84	36.84
Maranon	2381.00	4643.00	3443.95	2409.00	0.00	95.35	46.59	46.59
Maria Huaita	2388.00	4761.00	3766.83	4260.97	0.00	58.33	38.03	38.03
Matacac	2979.00	4946.00	4017.42	4036.22	0.00	82.14	39.55	39.55
Mosna	2753.00	6287.00	4410.72	4390.29	0.00	50.29	46.90	46.90
Nupe	3663.00	6477.00	4571.54	4475.39	0.00	63.53	43.49	43.49
Nupe Nupe	3370.00	4680.00	4062.94	4191.63	0.00	76.35	30.32	30.32
Pomabamba	2381.00	5901.00	3880.32	3998.79	0.00	79.05	41.04	41.04
Puchca	2430.00	5055.00	3624.60	3414.51	0.00	86.64	54.78	54.78
Pucroj	2979.00	4635.00	3957.22	4290.60	0.00	66.06	41.68	41.68
Purhuay	2892.00	5548.00	4317.47	4330.50	0.00	83.23	50.65	50.65
Rancasa	2381.00	4668.00	3705.04	4178.72	0.00	92.12	49.22	49.22
Runichinchay	2753.00	6160.00	4340.35	5443.95	0.00	88.63	58.85	58.85
Rupac	2381.00	4622.00	3607.24	4153.54	0.00	62.45	42.66	42.66
San Juan	3137.00	4679.00	4113.22	4229.82	0.00	87.23	40.95	40.95
San Martin	3137.00	4372.00	3898.94	3910.22	0.00	76.14	35.92	35.92
San Nicolas	2381.00	4456.00	3684.88	4196.02	0.00	76.75	44.61	44.61

Tabla 4.3. Parámetros de relieve de las subcuencas de la cuenca de Marañón

Subcuenca	Altitud (m.s.n.m.)			Altitud más frecuente	Pendiente de cuenca (%)			Pendiente del cauce (%)
	Min.	Max.	Medio		Min.	Max.	Medio	
Sarin	2556.00	4410.00	3798.05	4169.82	0.00	70.14	38.57	38.57
Shiusha	2892.00	4599.00	4061.20	4250.08	0.00	65.28	35.21	35.21
Shuyanga	1637.00	4230.00	2825.80	1718.20	0.00	58.63	44.14	44.14
Taparaco	3295.00	4797.00	4231.11	4234.14	0.00	99.05	35.65	35.65
Tranca	2381.00	4893.00	3685.90	4165.04	0.00	48.76	46.72	46.72
Uctubamba	1279.00	4903.00	3374.30	4127.29	0.00	95.70	55.48	55.48
Yanamayo	2381.00	4358.00	3402.01	2415.41	0.00	88.95	45.46	45.46
Yurma	2381.00	6139.00	4084.03	4103.34	0.00	73.52	52.92	52.92

4.2.3. Determinación de los parámetros de drenaje

Los parámetros de drenaje se han determinado de acuerdo a las fórmulas teóricas y utilizando el software ArcGIS y Excel, los resultados se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 4.4. Parámetros de drenaje de las subcuencas de la cuenca de Marañón

Sub cuencas	Densidad de drenaje Dd (km ² /km)	Relación de bifurcación (Rb)	Orden de corrientes (Oc)
Aco	0.32	3.53	3.00
Actuy	0.28	3.93	4.00
Anchic	0.32	2.37	3.00
Andachupa	0.29	3.83	3.00
Batan	0.33	4.20	3.00
Cajas	0.28	4.20	3.00
Canchis	0.31	2.74	3.00
Cerpaquino	0.30	2.33	3.00
Chirimachay	0.31	2.25	4.00
Chocta	0.30	2.87	3.00
Chullpa	0.31	2.39	3.00
Cochabamba	0.32	3.41	4.00
Colca	0.28	3.29	3.00
Cunya	0.29	2.04	4.00
Cunyac	0.31	2.08	3.00
Huachimin	0.27	2.16	3.00
Huacoto	0.29	2.24	3.00
Huacrachuco	0.32	2.53	3.00
Huancas	0.27	3.30	3.00
Huangor	0.32	3.25	3.00
Huashpay	0.33	2.40	2.00
Huayhuash	0.30	4.00	3.00
Huinchus	0.29	2.32	3.00
Ichicyacu	0.31	2.21	4.00
Lampas	0.32	3.28	3.00
Lauricocha	0.32	2.20	3.00
Linda	0.29	3.50	3.00
Manish	0.33	2.33	3.00
Maranon	0.31	2.58	4.00
Maria Huaita	0.25	2.68	3.00
Matacac	0.25	2.68	3.00
Mosna	0.28	2.27	4.00
Nupe	0.30	2.17	3.00
Nupe Nupe	0.07	2.33	3.00
Pomabamba	0.29	2.02	4.00
Puchca	0.29	2.23	3.00
Pucroj	0.31	2.33	3.00
Purhuay	0.32	2.28	3.00
Rancasa	0.32	2.16	4.00

Tabla 4.4. Parámetros de drenaje de las subcuencas de la cuenca de Marañón

Sub cuencas	Densidad de drenaje - Dd (km²/km)	Relación de bifurcación (Rb)	Orden de corrientes (Oc)
Runichinchay	0.29	3.50	3.00
Rupac	0.06	3.50	3.00
San Juan	0.30	3.03	3.00
San Martin	0.28	2.13	3.00
San Nicolas	0.28	2.10	3.00
Sarin	0.28	2.67	2.00
Shiusha	0.27	2.25	3.00
Shuyanga	0.35	3.00	2.00
Taparaco	0.29	3.33	2.00
Tranca	0.30	2.26	4.00
Uctubamba	0.26	2.01	4.00
Yanamayo	0.31	2.52	3.00
Yurma	0.28	2.08	3.00

Tabla 4.5. Parámetros geomorfométricos de las subcuencas de la cuenca de Marañón

Subcuenca	Parámetros de forma					Parámetros de relieve			Parámetros de drenaje		
	Coefficiente de compacidad (Cc)	Factor de forma (Ff)	Coefficiente de forma (Cf)	Relación de elongación (Re)	Relación de circularidad (Rc)	Altitud media - Am (m.s.n.m.)	Pendiente de la cuenca - S (%)	Pendiente del cauce principal - Sc (%)	Densidad de drenaje - Dd (km ² /km)	Relación de bifurcación (Rb)	Orden de corrientes (Oc)
Aco	1.54	0.61	1.05	0.96	0.42	3980.97	33.72	30.35	0.32	3.53	3
Actuy	1.54	0.37	0.58	0.75	0.42	3762.52	47.03	42.33	0.28	3.93	4
Anchic	1.67	0.33	0.55	0.70	0.35	3479.38	48.77	43.89	0.32	2.37	3
Andachupa	1.55	0.31	0.49	0.69	0.41	4315.78	41.32	37.18	0.29	3.83	3
Batan	2.01	3.08	4.45	2.15	0.24	3921.83	36.75	33.07	0.33	4.20	3
Cajas	2.01	0.21	0.41	0.56	0.24	3674.63	49.30	44.37	0.28	4.20	3
Canchis	1.53	0.40	0.68	0.77	0.42	4132.60	40.07	36.06	0.31	2.74	3
Cerpaquino	1.50	0.33	0.65	0.70	0.44	3797.61	44.85	40.36	0.30	2.33	3
Chirimachay	1.50	0.67	0.87	1.01	0.44	2939.89	58.00	52.20	0.31	2.25	4
Chocta	1.40	0.72	1.18	1.04	0.50	2804.72	63.62	57.26	0.30	2.87	3
Chullpa	1.40	0.82	1.08	1.11	0.50	3745.20	44.03	39.63	0.31	2.39	3
Cochabamba	1.60	0.79	1.29	1.09	0.38	3496.36	35.88	32.29	0.32	3.41	4
Colca	1.54	0.30	0.57	0.68	0.41	4144.75	45.39	40.85	0.28	3.29	3
Cunya	1.30	1.31	1.45	1.40	0.58	4370.41	53.80	48.42	0.29	2.04	4
Cunyac	1.77	0.43	0.79	0.80	0.31	3975.44	32.72	29.45	0.31	2.08	3
Huachimin	1.44	0.42	0.65	0.80	0.48	2849.04	54.96	49.47	0.27	2.16	3
Huacoto	1.78	0.77	1.80	1.08	0.31	4396.21	43.60	39.24	0.29	2.24	3
Huacrachuco	1.77	0.35	0.58	0.73	0.32	3719.14	49.87	44.88	0.32	2.53	3
Huancas	1.45	0.74	1.29	1.06	0.47	3149.29	49.19	44.27	0.27	3.30	3
Huangor	1.53	0.38	0.62	0.75	0.42	4115.95	42.49	38.24	0.32	3.25	3

Tabla 4.5. Parámetros geomorfométricos de las subcuencas de la cuenca de Marañón

Subcuenca	Parámetros de forma					Parámetros de relieve			Parámetros de drenaje		
	Coefficiente de compacidad (Cc)	Factor de forma (Ff)	Coefficiente de forma (Cf)	Relación de elongación (Re)	Relación de circularidad (Rc)	Altitud media - Am (m.s.n.m.)	Pendiente de la cuenca - S (%)	Pendiente del cauce principal - Sc (%)	Densidad de drenaje - Dd (km ² /km)	Relación de bifurcación (Rb)	Orden de corrientes (Oc)
Huashpay	1.62	0.37	0.43	0.74	0.38	4147.25	44.69	40.22	0.33	2.40	2
Huayhuash	1.70	0.30	0.42	0.67	0.34	4545.82	46.59	41.93	0.30	4.00	3
Huinchus	1.47	0.46	1.02	0.83	0.45	3526.29	56.34	50.71	0.29	2.32	3
Ichicyacu	1.81	0.28	0.93	0.65	0.30	3862.71	33.02	29.72	0.31	2.21	4
Lampas	1.66	0.27	0.41	0.64	0.36	4289.66	33.80	30.42	0.32	3.28	3
Lauricocha	1.56	0.38	0.64	0.76	0.40	4434.36	35.29	31.77	0.32	2.20	3
Linda	1.49	0.51	0.64	0.88	0.44	4234.88	31.67	28.50	0.29	3.50	3
Manish	1.86	0.42	0.81	0.79	0.28	4048.45	36.84	33.16	0.33	2.33	3
Maranon	1.53	0.43	0.94	0.81	0.42	3443.95	46.59	41.93	0.31	2.58	4
Maria Huaita	1.44	0.32	0.38	0.69	0.48	3766.83	38.03	34.23	0.25	2.68	3
Matacac	1.71	0.79	1.30	1.09	0.34	4017.42	39.55	35.59	0.25	2.68	3
Mosna	1.42	0.50	1.05	0.87	0.49	4410.72	46.90	42.21	0.28	2.27	4
Nupe	1.37	0.81	1.20	1.11	0.53	4571.54	43.49	39.15	0.30	2.17	3
Nupe Nupe	1.63	0.57	1.19	0.93	0.37	4062.94	30.32	27.29	0.07	2.33	3
Pomabamba	1.45	0.47	0.71	0.84	0.47	3880.32	41.04	36.94	0.29	2.02	4
Puchca	1.39	0.75	0.95	1.06	0.51	3624.60	54.78	49.30	0.29	2.23	3
Pucroj	1.32	0.92	1.11	1.18	0.57	3957.22	41.68	37.51	0.31	2.33	3
Purhuay	1.48	0.49	0.90	0.86	0.45	4317.47	50.65	45.59	0.32	2.28	3
Rancasa	2.08	0.20	0.40	0.55	0.23	3705.04	49.22	44.30	0.32	2.16	4
Runichinchay	1.28	0.44	0.69	0.81	0.60	4340.35	58.85	52.97	0.29	3.50	3

Tabla 4.5. Parámetros geomorfológicos de las subcuencas de la cuenca de Marañón

Subcuenca	Parámetros de forma					Parámetros de relieve			Parámetros de drenaje		
	Coefficiente de compacidad (Cc)	Factor de forma (Ff)	Coefficiente de forma (Cf)	Relación de Elongación (Re)	Relación de circularidad (Rc)	Altitud media - Am (m.s.n.m.)	Pendiente de la cuenca - S (%)	Pendiente del cauce principal - Sc (%)	Densidad de drenaje - Dd (km ² /km)	Relación de bifurcación (Rb)	Orden de corrientes (Oc)
Rupac	1.57	0.55	0.84	0.91	0.40	3607.24	42.66	38.39	0.06	3.50	3
San Juan	1.35	0.39	0.67	0.77	0.54	4113.22	40.95	36.85	0.30	3.03	3
San Martin	1.71	0.95	1.80	1.20	0.34	3898.94	35.92	32.33	0.28	2.13	3
San Nicolas	1.54	0.36	0.66	0.74	0.41	3684.88	44.61	40.15	0.28	2.10	3
Sarin	1.44	0.33	0.49	0.71	0.47	3798.05	38.57	34.71	0.28	2.67	2
Shiusha	1.41	0.38	0.53	0.76	0.50	4061.20	35.21	31.68	0.27	2.25	3
Shuyanga	1.60	1.43	2.73	1.47	0.39	2825.80	44.14	39.72	0.35	3.00	2
Taparaco	2.01	0.19	0.29	0.53	0.24	4231.11	35.65	32.08	0.29	3.33	2
Tranca	1.78	0.59	1.32	0.95	0.31	3685.90	46.72	42.04	0.30	2.26	4
Uctubamba	1.52	0.58	0.69	0.93	0.43	3374.30	55.48	49.93	0.26	2.01	4
Yanamayo	1.64	0.86	1.50	1.14	0.37	3402.01	45.46	40.91	0.31	2.52	3
Yurma	1.60	0.36	0.75	0.74	0.38	4084.03	52.92	47.63	0.28	2.08	3

4.3. Determinación de la relación de parámetros geomorfométricos

Para el análisis de la relación de los parámetros geomorfométricos se utilizó el software SPSS, con lo cual se realizó un análisis siguiendo procedimientos estándares verificando que existe diversas relaciones entre los parámetros.

4.3.1 Correlación de Pearson

Se encontraron correlaciones altas, confirmando lo encontrado en la descripción de los parámetros geomorfométricas. Por ejemplo, se encuentran muy relacionados el coeficiente de compacidad con relación de circularidad, factor de forma con coeficiente de forma y relación de elongación, relación de circularidad con coeficiente de compacidad, relación de circularidad con pendiente de la cuenca y pendiente del cauce principal, altitud media con pendiente de la cuenca y pendiente del cauce principal, pendiente de la cuenca con la pendiente del cauce principal, con una correlación menor a 0.01 de significancia, el coeficiente de compacidad con la pendiente de la cuenca y pendiente del cauce principal con una correlación menor a 0.05 de significancia, mientras el resto de los parámetros no muestran una relación clara.

Tabla 4.6. Correlación de Pearson

Parámetro		Cc	Ff	Cf	Re	Rc	Am	S	Sc	Dd	Rb	Oc
Cc	Correlación de Pearson	1.000	0.075	0.176	-0.061	-,978**	0.030	-,293*	-,293*	0.095	0.199	-0.043
	Sig. (unilateral)		0.298	0.106	0.333	0.000	0.416	0.018	0.018	0.252	0.079	0.382
Ff	Correlación de Pearson	0.075	1.000	,950**	,971**	-0.025	-0.132	-0.030	-0.030	0.108	0.149	-0.014
	Sig. (unilateral)	0.298		0.000	0.000	0.430	0.175	0.417	0.417	0.223	0.146	0.460
Cf	Correlación de Pearson	0.176	,950**	1.000	,932**	-0.149	-0.170	-0.074	-0.074	0.100	0.110	-0.020
	Sig. (unilateral)	0.106	0.000		0.000	0.145	0.114	0.300	0.300	0.240	0.218	0.443
Re	Correlación de Pearson	-0.061	,971**	,932**	1.000	0.097	-0.178	0.015	0.015	0.068	0.050	0.020
	Sig. (unilateral)	0.333	0.000	0.000		0.247	0.103	0.459	0.459	0.315	0.361	0.443
Rc	Correlación de Pearson	-,978**	-0.025	-0.149	0.097	1.000	-0.005	,334**	,334**	-0.066	-0.184	0.054
	Sig. (unilateral)	0.000	0.430	0.145	0.247		0.486	0.008	0.008	0.321	0.096	0.351
Am	Correlación de Pearson	0.030	-0.132	-0.170	-0.178	-0.005	1.000	-,424**	-,424**	0.008	0.088	-0.093
	Sig. (unilateral)	0.416	0.175	0.114	0.103	0.486		0.001	0.001	0.478	0.267	0.255
S	Correlación de Pearson	-,293*	-0.030	-0.074	0.015	,334**	-,424**	1.000	1,000**	0.107	-0.140	0.201
	Sig. (unilateral)	0.018	0.417	0.300	0.459	0.008	0.001		0.000	0.224	0.162	0.077

Tabla 4.6. Correlación de Pearson

Parámetro		Cc	Ff	Cf	Re	Rc	Am	S	Sc	Dd	Rb	Oc
Sc	Correlación de Pearson	-,293*	-0.030	-0.074	0.015	,334**	-,424**	1,000**	1.000	0.107	-0.140	0.201
	Sig. (unilateral)	0.018	0.417	0.300	0.459	0.008	0.001	0.000		0.224	0.161	0.077
Dd	Correlación de Pearson	0.095	0.108	0.100	0.068	-0.066	0.008	0.107	0.107	1.000	-0.034	-0.004
	Sig. (unilateral)	0.252	0.223	0.240	0.315	0.321	0.478	0.224	0.224		0.405	0.488
Rb	Correlación de Pearson	0.199	0.149	0.110	0.050	-0.184	0.088	-0.140	-0.140	-0.034	1.000	-0.192
	Sig. (unilateral)	0.079	0.146	0.218	0.361	0.096	0.267	0.162	0.161	0.405		0.086
Oc	Correlación de Pearson	-0.043	-0.014	-0.020	0.020	0.054	-0.093	0.201	0.201	-0.004	-0.192	1.000
	Sig. (unilateral)	0.382	0.460	0.443	0.443	0.351	0.255	0.077	0.077	0.488	0.086	

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (unilateral).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (unilateral).

4.3.2 Análisis de componente principal (ACP)

Para poder determinar la correlación de los diferentes parámetros de ha realizado el análisis del componente principal, para los cual se aplicó la prueba de Kaiser-Meyer-Olkin y la prueba de esfericidad de Bartlett tal como se muestra en la tabla 4.7.

Tabla 4.7. Prueba de KMO y Bartlett

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		0.605
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	1174.547
	gl	55
	Sig.	0.000

En la Tabla 4.8 se muestran la desviación estándar de cada componente (valores propios) y su varianza explicada encontrada en el ACP. De ésta se puede inferir que el porcentaje de varianza explicado óptimo donde los valores propios para cada componente son mayores a 1 (Peña, 2002), se encuentran hasta el componente 5, explicando aproximadamente el 86% de la varianza en las relaciones presentadas para los valores de los parámetros geomorfométricos.

Tabla 4.8. Valores propios y su varianza explicada (ACP)

Componente	Desv. St.	% de varianza explicada	% varianza Explicada acumulado
1	3.019	27.449	27.449
2	2.833	25.751	53.199
3	1.618	14.714	67.913
4	1.069	9.721	77.634
5	1.001	9.097	86.731
6	0.808	7.346	94.077
7	0.571	5.191	99.268
8	0.048	0.438	99.706
9	0.021	0.191	99.896
10	0.011	0.104	100.000
11	0.00	0.00	100.000

En la Figura 4.1 se muestran los parámetros que se encuentran más próximos a los componentes con las que se correlacionan, se puede observar que la altitud media es el que se acerca más a los tres componentes, seguido de Coeficiente de la pendiente de la cuenca, pendiente del cauce principal y la relación de circularidad.

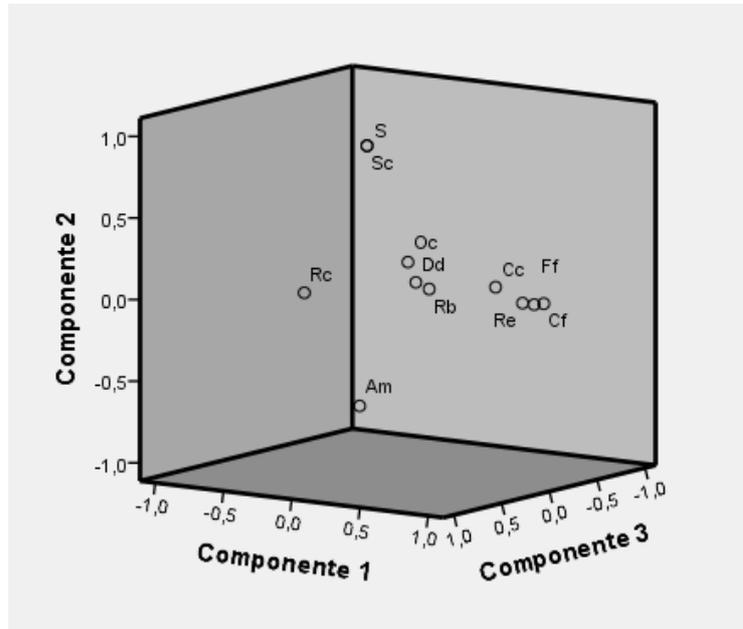


Figura 4.1. Componentes en el espacio rotado.

El componente uno separa grupos de parámetros relacionados a la a la forma de las cuencas hidrográficas, tales como factor de forma, relación de elongación coeficiente de forma, el componente dos separa los parámetros de relieve como es la altitud media, pendiente de la cuenca y pendiente del cauce principal y los parámetros de forma que interviene en los parámetros de relieve, el componente tres separa los parámetros de forma y relieve los cuales intervienen en los parámetros de drenaje.

Los componentes restantes reflejan características particulares de los parámetros a las que se asocia un poder de explicación específico menor al 5%.

Las relaciones más fuertes dadas por el ACP se presentan en relación al valor de la pendiente de la cuenca con la pendiente del cauce principal, seguido de los parámetros de forma y relieve, la separación que muestra el ACP entre características ligados a la formas y relieve de las cuencas, los cuales son utilizados para el cálculo de los parámetros de drenaje.

4.3.3 Modelos de predicción de los parámetros de forma

a. Modelo de predicción entre los parámetros Cc y Ff

$$C_c = 1.99 - 1.40F_f + 1.08F_f^2 - 0.20F_f^3 \quad (4.1)$$

$$R^2 = 0.590$$

$$1.28 \leq C_c \leq 2.08 \quad \text{y} \quad 0.19 \leq F_f \leq 3.08$$

Donde:

Cc: Coeficiente de compacidad

Ff: Factor de forma

b. Modelo de predicción entre los parámetros Cc y Re

$$C_c = 3.79 - 3.59R_e + 3.91R_e^2 - 0.83R_e^3 \quad (4.2)$$

$$R^2 = 0.690$$

$$1.28 \leq C_c \leq 2.08 \quad \text{y} \quad 0.53 \leq R_e \leq 2.15$$

Donde:

Cc: Coeficiente de compacidad

Re: Relación de elongación

c. Modelo de predicción entre los parámetros C_c y R_c

$$C_c = 0.997xe^{-0.50R_c} \quad (4.3)$$

$$R^2 = 0.998$$

$$1.28 \leq C_c \leq 2.08 \quad \text{y} \quad 0.23 \leq R_c \leq 0.60$$

Donde:

C_c : Coeficiente de compacidad

R_c : Relación de circularidad

d. Modelo de predicción entre los parámetros F_f y C_f

$$F_f = -0.056 + 0.853C_f - 0.236C_f^2 + 0.046C_f^3 \quad (4.4)$$

$$R^2 = 0.925$$

$$0.19 \leq F_f \leq 3.08 \quad \text{y} \quad 0.29 \leq C_f \leq 4.45$$

Donde:

F_f : Factor de forma

C_f : Coeficiente de forma

e. Modelo de predicción entre los parámetros F_f y R_e

$$F_f = -0.011 - 0.024R_e + 0.675R_e^2 \quad (4.5)$$

$$R^2 = 1.00$$

$$0.19 \leq F_f \leq 3.08 \quad \text{y} \quad 0.53 \leq R_e \leq 2.15$$

Donde:

F_f : Factor de forma

R_e : Relación de elongación

f. Modelo de predicción entre los parámetros F_f y R_c

$$F_f = 2.827 - 12.82R_c - 12.826R_c^2 - 7.65R_c^3 \quad (4.6)$$

$$R^2 = 0.643$$

$$0.19 \leq F_f \leq 3.08 \quad \text{y} \quad 0.23 \leq R_c \leq 0.60$$

Donde:

F_f: Factor de forma

R_c: Relación de circularidad

g. Modelo de predicción entre los parámetros C_f y R_e

$$C_f = -0.061 + 0.326R_e + 0.828R_e^2 \quad (4.7)$$

$$R^2 = 0.906$$

$$0.29 \leq C_f \leq 0.60 \quad \text{y} \quad 0.53 \leq R_e \leq 2.15$$

Donde:

C_f: Coeficiente de forma

R_e: Relación de elongación

4.3.4 Modelos de predicción de los parámetros de relieve

a. Modelo de predicción entre los parámetros A_m y S

$$A_m = 3033.502 + 61.423S - 0.939S^2 \quad (4.8)$$

$$R^2 = 0.604$$

$$2804.72 \leq A_m \leq 4571.54 \quad \text{y} \quad 30.32 \leq S \leq 63.62$$

Donde:

A_m: Altitud media de la cuenca

S: Pendiente de la cuenca

b. Modelo de predicción entre los parámetros S y S_c

$$S = 0.004 + 1.111S_c \quad (4.9)$$

$$R^2 = 1.00$$

$$30.32 \leq S \leq 63.62 \quad \text{y} \quad 27.29 \leq S_c \leq 57.26$$

Donde:

S: Pendiente de la cuenca

Sc: Pendiente del cauce principal

4.3.5 Modelos de predicción de los parámetros de drenaje

a. Modelo de predicción entre los parámetros Rb y Oc

$$R_b = 7.684 - 3.068O_c + 0.487O_c^2 \quad (4.10)$$

$$R^2 = 0.740$$

$$2.01 \leq R_b \leq 4.20 \quad \text{y} \quad 2 \leq O_c \leq 4$$

Donde:

Rb: Relación de bifurcación

Oc: Orden de las corrientes

4.3.6 Modelos de predicción de los parámetros de forma y drenaje

a. Modelo de predicción entre los parámetros Cf y Rb

$$C_f = 3.98 - 2.24R_b + 0.394R_b^2 \quad (4.11)$$

$$R^2 = 0.690$$

$$0.29 \leq C_f \leq 4.45 \quad \text{y} \quad 2.01 \leq R_b \leq 4.20$$

Donde:

Cf: Coeficiente de forma

Rb: Relación de bifurcación

4.3.7 Modelos de predicción de los parámetros de forma y relieve

a. Modelo de predicción entre los parámetros Rc y S

$$R_c = -0.205 \times \log 0.163 \times S \quad (4.12)$$

$$R^2 = 0.660$$

$$0.23 \leq R_c \leq 0.60 \quad \text{y} \quad 30.32 \leq S \leq 63.62$$

Donde:

Rc: Relación de circularidad

S: Pendiente de la cuenca

4.3.5 Calculo de los parámetros de la ley de Hack

La ley de Hack encontró una relación empírica de la longitud del canal principal de una cuenca con el área de la misma, tal como se muestra en la ecuación (14), en la cual los parámetros C y h son propios para cada cuenca.

Se ha realizado el cálculo de los parámetros de la ley de Hack para la cuenca de Marañón, utilizando los datos de las subcuencas, tal como se muestra en la siguiente ecuación.

$$L = 1.361xA^{0.508} \quad (4.13)$$

Donde:

L: Longitud de cauce

A: Área de la cuenca

V. DISCUSIÓN

5.1. Vectorización y codificación

Siguiendo la metodología Pfasftetter se realizó la vectorización y codificación de las subcuencas de la cuenca de Marañón, en la que se encontró 52 subcuencas de nivel 7 (tabla 4.1), la autoridad nacional del agua (ANA) solo tiene codificado hasta el nivel 6 de todas las subcuencas del Perú, con lo que se está realizando el aporte de los datos hasta este nivel.

5.2. Parámetros geomorfométricos

5.2.1 Parámetros de forma

Se ha realizado el análisis de los parámetros de forma (tabla 4.2), en la que se han encontrado un área mínima de 66.23 km^2 para la subcuenca Shuyanga y un área máxima de 1364.32 km^2 para la subcuenca Uctubamba.

Para la clasificación de las cuencas según el tamaño, se tiene subcuencas de tipo pequeño, intermedio-pequeño e intermedio-grande de la cuenca de Marañón.

En la tabla 4.1 se ha determinado que el coeficiente de compacidad varía de 1.28 a 2.08 para las subcuencas Runichinchay y Rancasa respectivamente, para estos valores se puede definir que se tiene subcuencas de forma alargada y redonda, el cual tiene una influencia directa en el tiempo de concentración.

El factor de forma varía de 0.19 a 3.08 para las subcuencas Taparaco y Batan respectivamente, el coeficiente de forma varía de 0.29 a 4.45

para las subcuencas Taparaco y Batan respectivamente, con esto se puede definir que las subcuencas son ligeramente a moderadamente achatadas, el cual tendrá una incidencia directa en las crecientes de cada subcuenca.

La relación de elongación varía de 0.53 a 2.15 para las subcuencas de Taparaco y Batan respectivamente, la relación de circularidad varía de 0.23 a 0.60 para las subcuencas Rancasa y Runichinchay respectivamente el cual define la forma de la cuenca si es alargada o redonda.

5.2.2 Parámetros de relieve

En la tabla 4.3, se ha determinado que la altitud varía de 2804.72 m.s.n.m. para la subcuenca Chocta a 4571.54 m.s.n.m. para la subcuenca Nupe, la pendiente de las subcuencas varía de 30.32% para Nupe Nupe hasta 63.62% para Chocta, con lo que se puede observar que las subcuencas tienen una pendiente suave a moderado.

5.2.3 Parámetros de relieve

En la tabla 4.4, se ha determinado que la densidad de drenaje varía de 0.06 km²/km a 0.35 km²/km para las subcuencas Rupac y Shuyunga respectivamente, con lo que se puede definir que las subcuencas tienen de baja a regular densidad de drenaje, la relación de bifurcación varía de 2.01 a 4.20 para las subcuencas Uctubamba y Batan respectivamente, con lo que se puede observar que tiene variaciones considerables en sus características geológicas, el

orden de las corrientes se tiene de orden 2,3 y 4, para las distintas subcuencas de la cuenca de Marañón.

5.3. Relación de parámetros geomorfométricos.

Para poder determinar la correlación de los parámetros geomorfométricos se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson en la cual se define una significancia de 0.01 y 0.05, en la tabla 4.6. se obtuvo una correlación entre el coeficiente de compacidad y relación de circularidad con coeficiente de Pearson de -0.978 y un nivel de significancia de 0.000, factor de forma y coeficiente de forma con coeficiente de Pearson de 0.950 y un nivel de significancia de 0.000, factor de forma y relación de elongación con coeficiente de Pearson de 0.971 y un nivel de significancia de 0.000, coeficiente de forma y relación de elongación con coeficiente de Pearson de 0.932 y un nivel de significancia de 0.000, relación de circularidad y pendiente de la cuenca, pendiente del cauce principal con coeficiente de Pearson de 0.334 y un nivel de significancia de 0.008, altitud media y pendiente de la cuenca, pendiente del cauce principal con coeficiente de Pearson de -0.424 y un nivel de significancia de 0.001, altitud, pendiente de la cuenca y la pendiente del cauce principal con coeficiente de Pearson de 1.000 y un nivel de significancia de 0.000 y coeficiente de compacidad con pendiente de la cuenca, pendiente del cauce principal con coeficiente de Pearson de -0.293 y un nivel de significancia de 0.018.

Los resultados obtenidos tienen un nivel de significancia menor a 0.01 en su mayoría y una parte tiene un nivel de significancia menor a 0.05, el coeficiente de Pearson varía de -0.978 a 1.00, con esto se puede describir

que existe una correlación positiva perfecta, correlación positiva y correlación negativa, ya que los valores negativos del coeficiente de Pearson representan una correlación negativo, los valores positivos representa una correlación positivo y el valor 1 representa una correlación perfecta.

En el análisis de componente principal (ACP), se ha determinado la conformación de los componentes con el criterio de la desviación estándar mayor a 1 y el porcentaje acumulado de variancia explicada que debe ser mayor a 80%, con lo que se obtuvo 6 componentes, los cuales explican la correlación de las de los parámetros de forma, parámetros de relieve y la correlación de forma, relieve y drenaje.

Una vez determinado la correlación de los distintos parámetros se ha propuesto modelos de predicción de regresión entre el coeficiente de compacidad (Cc) y factor de forma (Ff) en un 59% de nivel significancia, coeficiente de compacidad (Cc) y relación de elongación (Re) en un 69% de nivel significancia, coeficiente de compacidad (Cc) y relación de circularidad (Rc) en un 99.8% de nivel significancia, factor de forma (Ff) y coeficiente de forma (Cf) en un 92.5% de nivel significancia, factor de forma (Ff) y relación de elongación (Re) en un 100% de nivel significancia, factor de forma (Ff) y relación de circularidad (Rc) en un 64.3% de nivel significancia, coeficiente de forma (Cf) y relación de elongación (Re) en un 90.6% de nivel significancia, relación de bifurcación (Rb) y orden de las corrientes (Oc) en 74% de nivel significancia, coeficiente de forma (Cf) y relación de bifurcación (Rb) en un 69% de

nivel significancia, relación de circularidad (R_c) y pendiente de la cuenca (S) en 66% de nivel significancia, altitud media (A_m) y pendiente de la cuenca (S) en 60.4% de nivel significancia, pendiente de la cuenca (S) y pendiente de la cauce principal (S_c) en 100% de nivel significancia.

Estos modelos predictivos permitirán determinar algún parámetro a partir de los datos obtenidos para una cuenca determinada.

5.4. Calculo de los parámetros de la ley de Hack

Hack (1957), demostró la aplicabilidad de una función potencial que relaciona la longitud del canal principal de una cuenca con su área, encontrando la ecuación $L=CA^h$, la variable h varía de 0.5 a 0.6, generando un comportamiento anómalo del exponente esto debido a la característica de elongación.

El carácter fractal del canal principal y el aumento de la sinuosidad hacia aguas abajo y el valor esperado del parámetro C es de 1.40. Mantilla, Mesa y Poveda (2000), en su investigación encontraron los valores de 1.4944 y 1.7389 para el parámetro C , valores de 0.5533 y 0.5253 para el parámetro h en las cuencas de Magdalena y Atrato respectivamente que están ubicados en Colombia. Mantilla, Mesa y Poveda (2000) en su investigación analizando 1000 cuencas de Colombia encontraron el valor de 1.43 para el parámetro C y 0.56 para el parámetro h . En la investigación se ha analizado 52 subcuencas de la cuenca de Maraón, obteniendo, con lo cual se ha obtenido un valor de 1.361 para el parámetro C y 0.508 para el parámetro h de la ley de Hack, las cantidades obtenidas en la

investigación tiene valores esperados para la fórmula de Hack en las cuencas hidrográficas.

En la investigación se analizó 52 subcuencas de la cuenca de Marañón, con la cual se obtuvo un valor de 1.361 para el parámetro C y 0.508 para el parámetro h de la ley de Hack, las cantidades obtenidas en la investigación tiene valores esperados para la fórmula de Hack en las cuencas hidrográfica.

VI. CONCLUSIONES

Del trabajo de investigación realizado se concluye:

1. Se determinaron las relaciones entre los parámetros geomorfométricos de las subcuencas de la cuenca Marañón mediante GIS.
2. La cuenca de Marañón tiene 52 subcuencas de nivel 7.
3. Los parámetros geomorfométricos de las subcuencas de la cuenca de Marañón son los que indican: las áreas de las subcuencas que varían de 66.23 km² a 1364.34 km², los coeficientes de compacidad varían de 1.28 a 2.08, los factores de forma varían de 0.19 a 3.08, los coeficientes varían de forma de 0.29 a 4.45, las relaciones de elongación varían de 0.53 a 2.15, las relaciones de circularidad varían de 0.23 a 0.60, las altitudes medias varían de 2804.72 m.s.n.m. a 4571.54 m.s.n.m., las pendientes de las subcuencas varían de 30.32% a 63.62%, las pendientes de los cauces principales varían de 27.29% a 57.26%, las densidades de drenaje varían de 0.06 km²/km a 0.35 km²/km, y las relaciones de bifurcación varían de 2.01 a 4.20.
4. Entre los modelos de predicción más importantes que se encontraron son:
 - a) Modelo de predicción entre los parámetros S y Sc

$$S = 0.004 + 1.111xS_c$$

$$R^2 = 1.00$$

Donde:

S: Pendiente de la cuenca

Sc: Pendiente del cauce principal

- b) Modelo de predicción entre los parámetros Rb y Oc

$$R_b = 7.684 - 3.068O_c + 0.487O_c^2$$

$$R^2 = 0.740$$

Donde:

Rb: Relación de bifurcación

Oc: Orden de las corrientes

c) Modelo de Hack:

$$L = 1.361xA^{0.508}$$

Donde:

L: Longitud de cauce

A: Área de la cuenca

VII. RECOMENDACIONES

Del trabajo de investigación realizado se recomienda:

1. Utilizar la metodología empleada en la presente investigación para determinar los parámetros geomorfométricos en otras cuencas.
2. Aplicar los diferentes tipos de modelos encontrados y determinar los parámetros correspondientes en otras cuencas nacionales o internacionales.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APARICIO, MIJARES F.J. (1992), México D.F.: LIMUSA S.A. de C.V.
- BURBANO G., DOMÍNGUEZ Y BARÓN R. (2016). “*Aplicación de la Relación Entre Variables Morfométricas y Biofísicas en la Estimación Probabilística para la Oferta Hídrica Superficial en Colombia*” (40) recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v40n156/v40n156a13.pdf>.
- CAHUANA, ANDIA A. Y YUGAR, MORALES W. (2009). “*Material de Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de La Asignatura de Hidrología Civ-233*”. Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología. Carrera de Ingeniería Civil.
- CHÁVEZ, JIMÉNEZ. (2009). “*Aplicación del Método de Regionalización para la Determinación de Caudales en el Puente Carrasquillo*”. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.
- FATTORELLI, P. Y FERNÁNDEZ, C. (2011). “*Diseño Hidrológico*”. Colombia: Editorial Digital.
- INRENA. (1996). “*Agua Recursos para el Desarrollo del País*”. Informativo Inrena1996. Lima– Perú. Nro (9) 1-12.
- IBARRA I. Y GREGORIO I. (1990). “*Procesos de Transformación de Precipitación en Descargas Evaluación de un Modelo Matemático*”, Tesis FIA – UNALM, Lima–Perú. 270 pág.
- LINSLEY K. P. (1975). “*Hidrología para Ingenieros. Colombia*”: McGraw-Hill.
- MARTÍNEZ G. DIAZ G. Y COSÍO G (2010). “*Análisis Morfométrico en la Cuenca Hidrológica San José del Cabo, B.C.S*”. México: una Aproximación en la Identificación de Potenciales Áreas de Captura

<http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcg/v27n3/v27n3a14.pdf>

- MEJÍA M. A. (2001). *“Hidrología Aplicada Volumen I, II”*. Perú: Centro de Impresiones y Publicaciones FIA.
- MONTOYO M. Y. MONTOYO M. B. (2009). *“Caracterización Morfométrica de la Microcuenca de la Quebrada los Andes, el Carmen de Viboral”*, Antioquia-Colombia (13) recuperada de <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15/v8n15a03.pdf>.
- PÉREZ AGUIRRE M.A. (2012). *“Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca Chancay-Lambayeque”*. UCV. Escuela de Ingeniería Ambiental.
- PÉREZ, EDILBERTO G. (1991). *“Hidrología “Una Introducción a la Ciencia”*. Valencia Venezuela: EGN Comunicaciones.
- REYES, CARRASCO L. (1992). *“Hidrología Básica”*. Perú: CONCYTEC
- RUIZ, R. Y TORRES H. (2010). *“Manual de Procedimientos de Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas”*. Bolivia-La Paz: Unión internacional para la Conservación de la Naturaleza.
- SENCIALES, GONZALES J.M. (2008). *“El Análisis Morfológico de las Cuencas Fluviales Aplicado al Estudio Hidrográfico”*. Departamento de Geografía. Universidad de Málaga 155-282.
- RONALD PUERTA T, RENGIFO TRIGOZO J. Y BRAVO MORALES N. (2013). *“Manual ArcGIS 10 nivel intermedio”*. Peru: ArcGeek
- TARAZONA, SANTOS N. E. (2005). *“Generación De Descargas Mensuales En Subcuencas De La Cuenca Del Río Santa Utilizando El Método De Lutz Scholz”*. Universidad Nacional Agraria la Molina.

Facultad de Ingeniería Agrícola. Departamento de Recursos Agua y Tierra.

- WILLIAM, N. (2006). *“Estadística Para Ingenieros”*. México D.F: Editorial MacGraw-Hill.
- VILLÓN MÁXIMO B. (2002). *“Hidrología”*. Perú.
- VEN TE CHOW. (1994). Colombia. McGraw-Hill.

ANEXO

Anexo 01: Frecuencia de altitudes y las curvas hipsométricas de las subcuencas

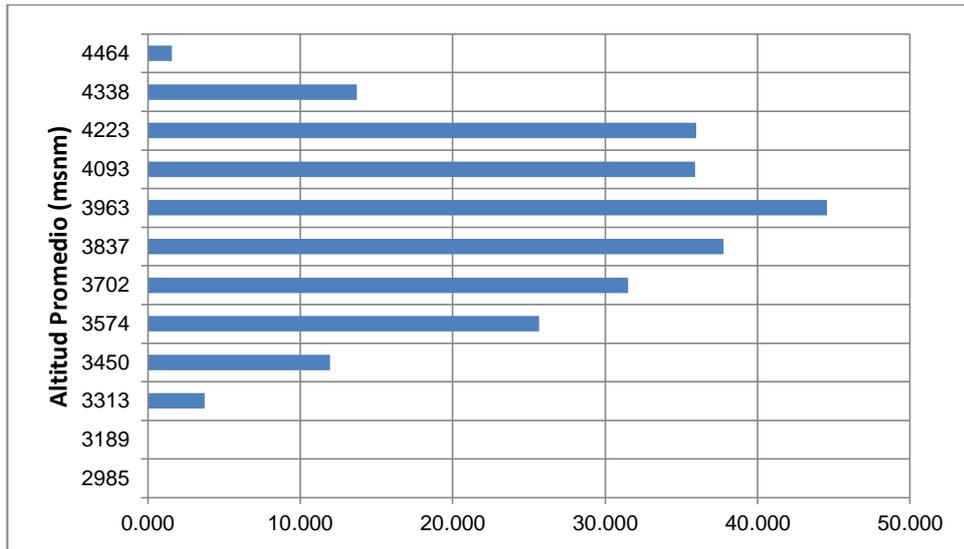


Figura 8.1. Frecuencia de altitudes de la subcuenca Aco

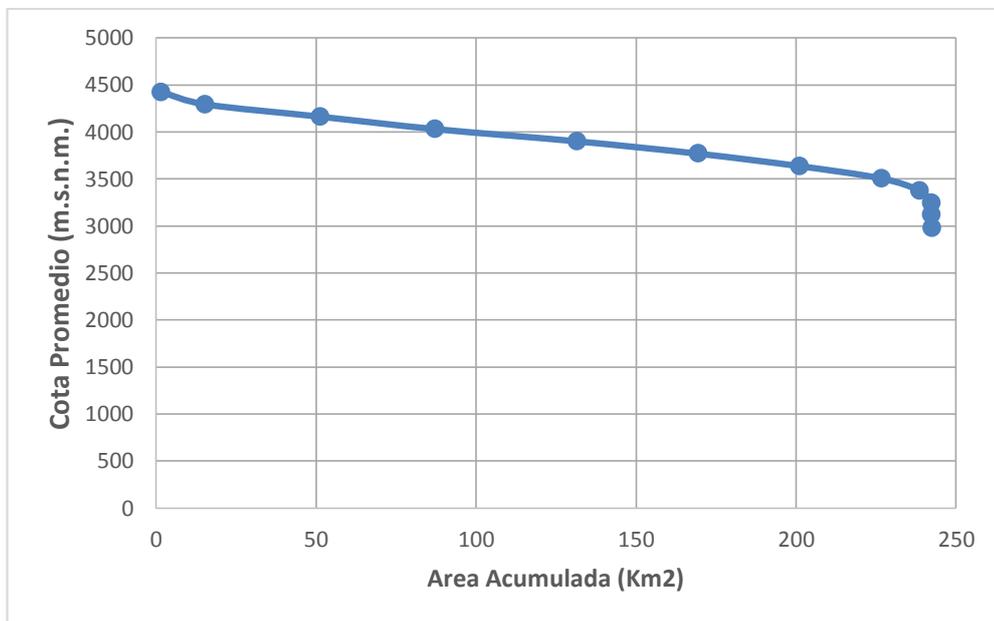


Figura 8.2. Curva hipsométrica de la subcuenca Aco

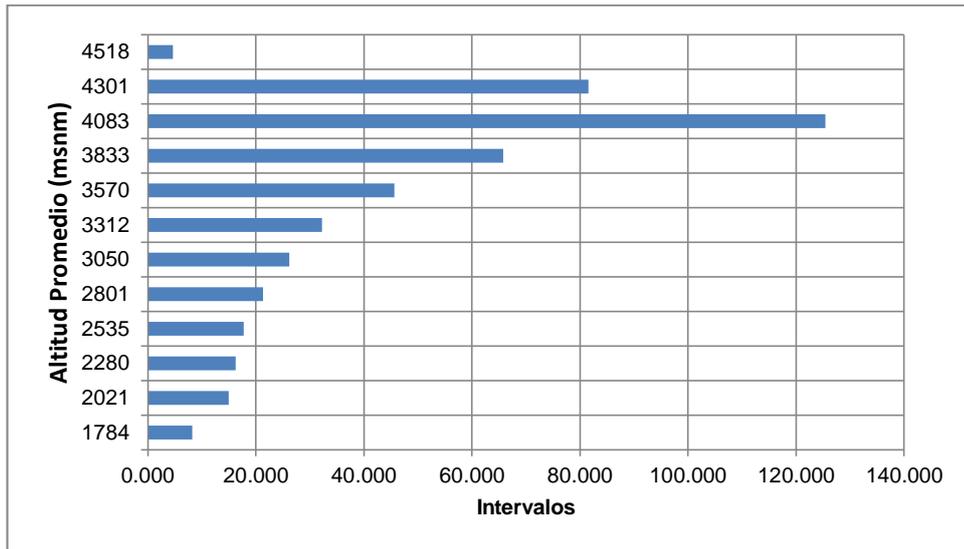


Figura 8.3. Frecuencia de altitudes de la subcuenca Actuy

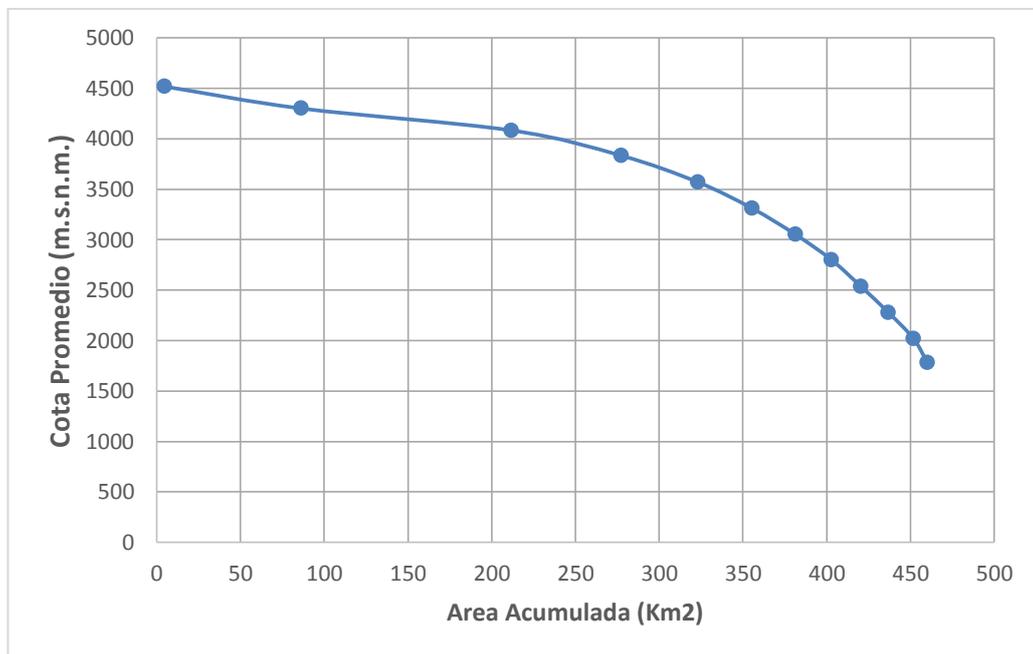


Figura 8.4. Curva hipsométrica de la subcuenca Actuy

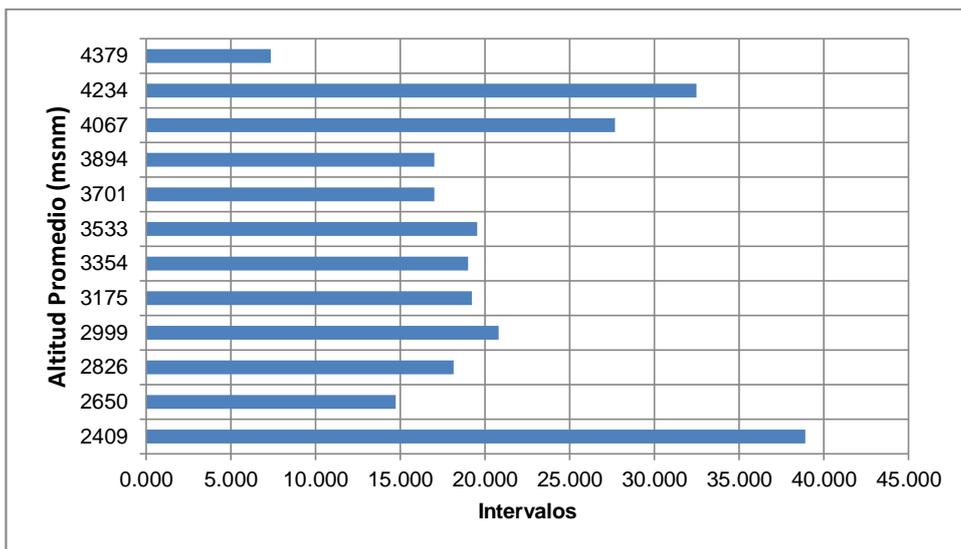


Figura 8.5. Frecuencia de altitudes de la subcuenca Anchic

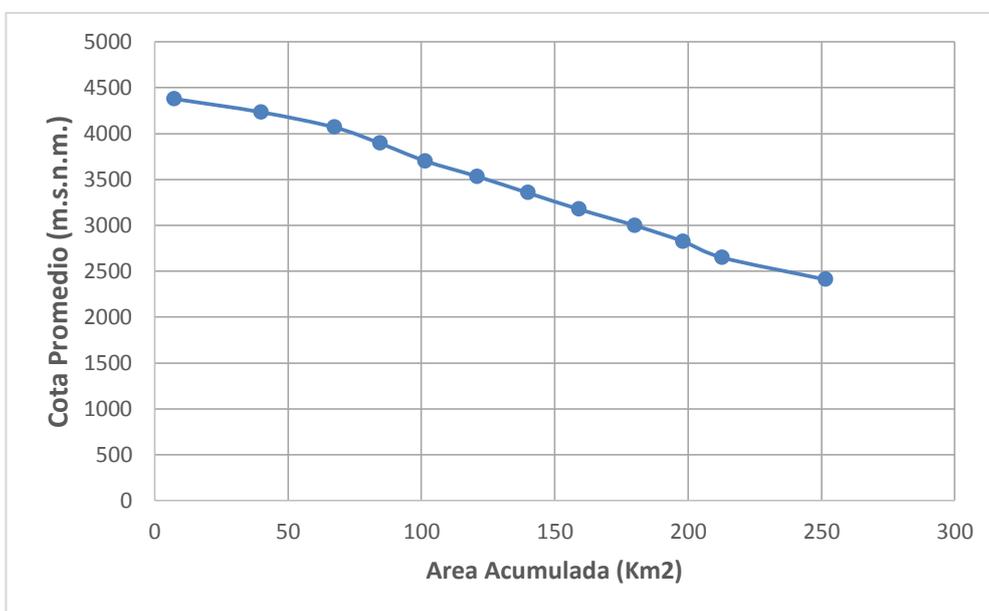


Figura 8.6. Curva hipsométrica de la subcuenca Anchic

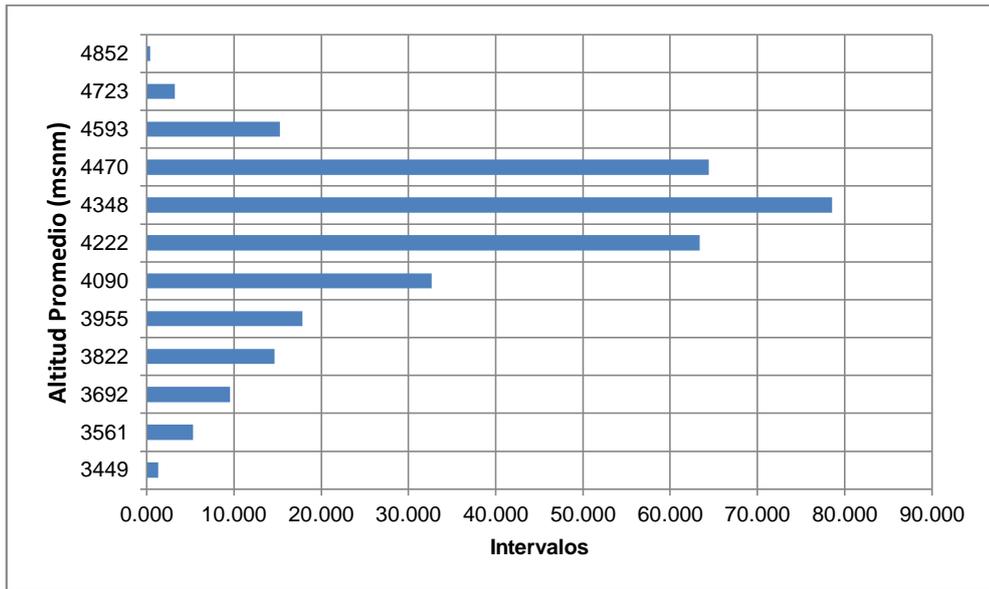


Figura 8.7. Frecuencia de altitudes de la subcuenca Andachura

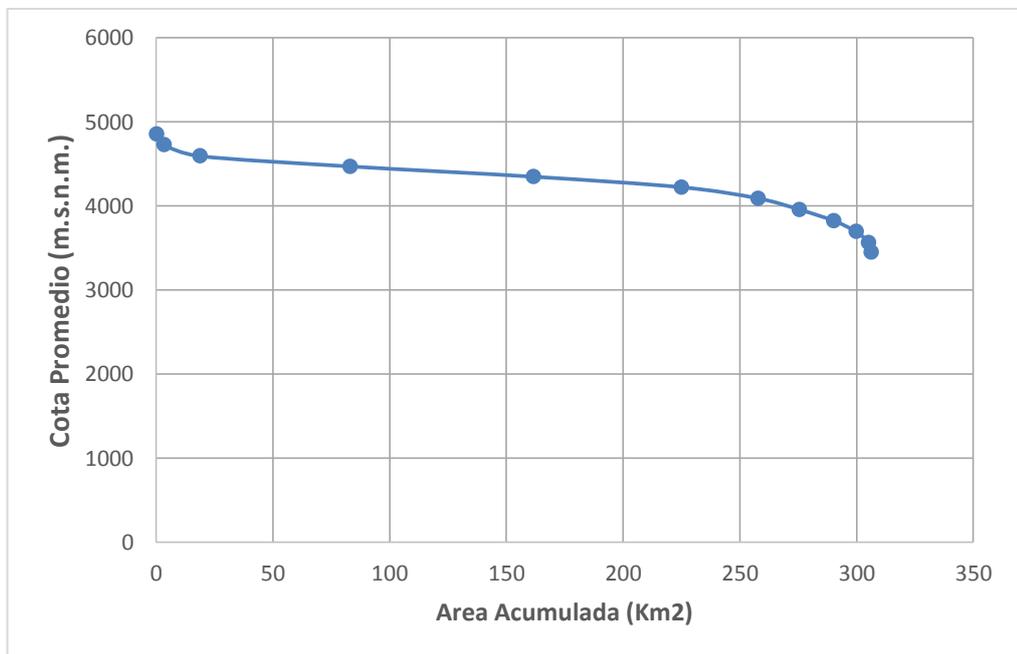


Figura 8.8. Curva hipsométrica de la subcuenca Andachura

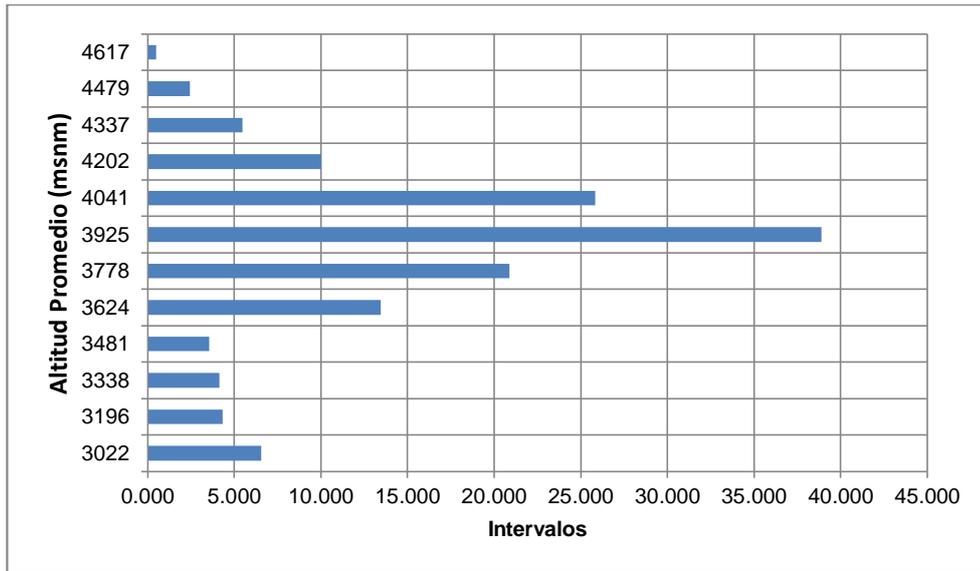


Figura 8.9. Frecuencia de altitudes de la subcuenca Batan

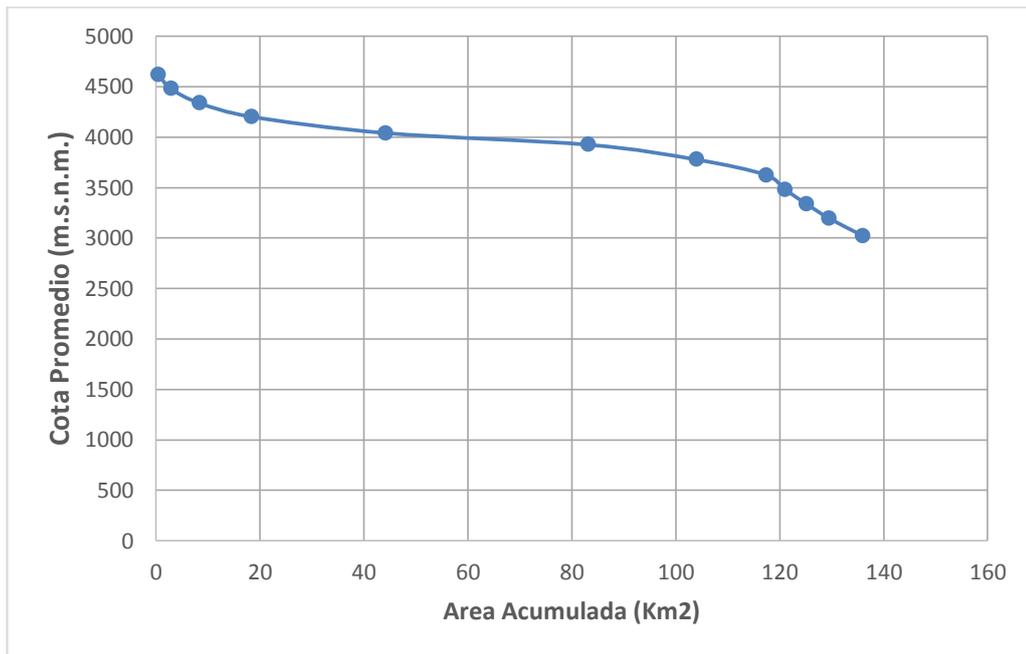


Figura 8.10. Curva hipsométrica de la subcuenca Batan

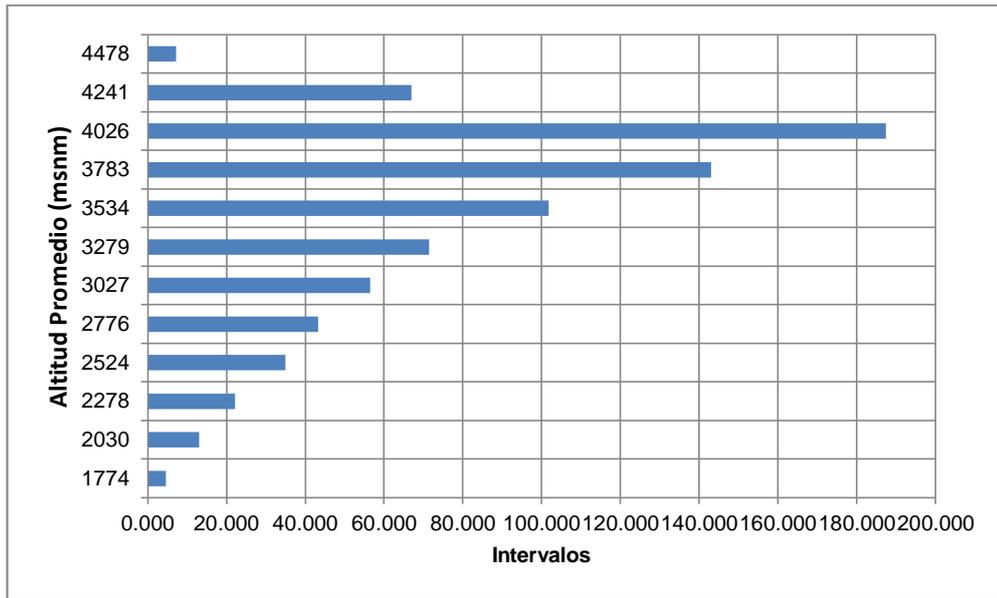


Figura 8.11. Frecuencia de altitudes de la subcuenca Cajas

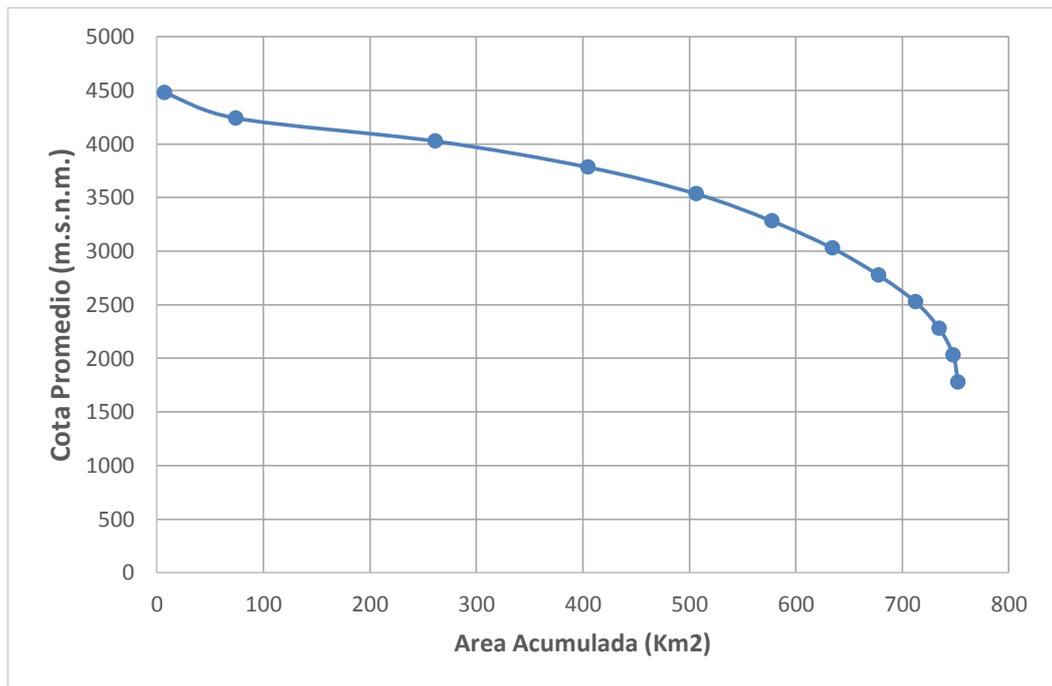


Figura 8.12. Curva hipsométrica de la subcuenca Cajas

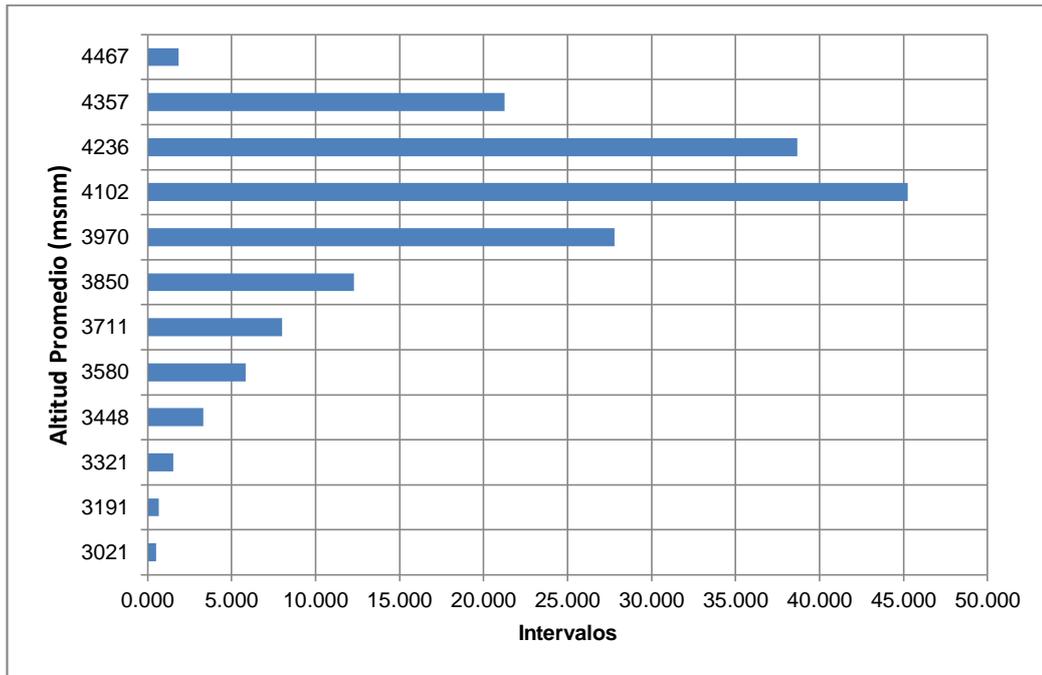


Figura 8.13. Frecuencia de altitudes de la subcuena Canchis

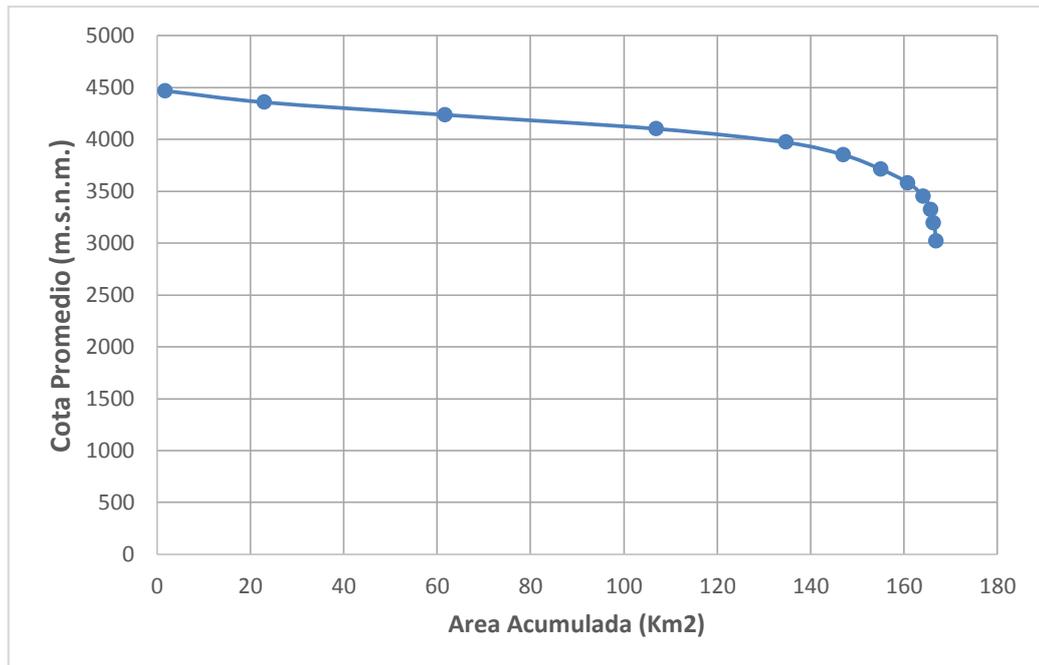


Figura 8.14. Curva hipsométrica de la subcuena Canchis

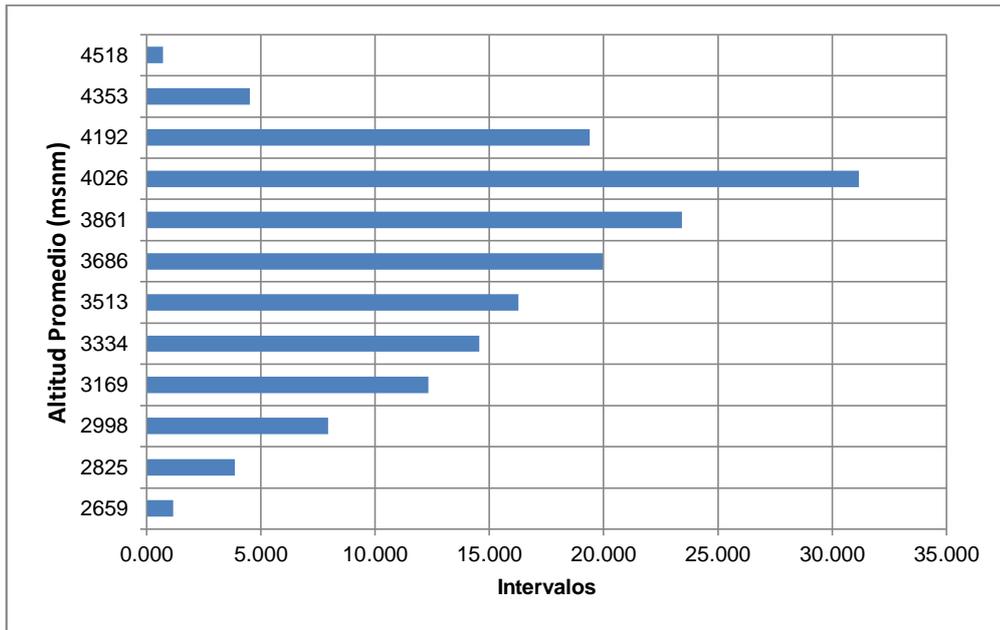


Figura 8.15. Frecuencia de altitudes de la subcuenca Cerpaquino

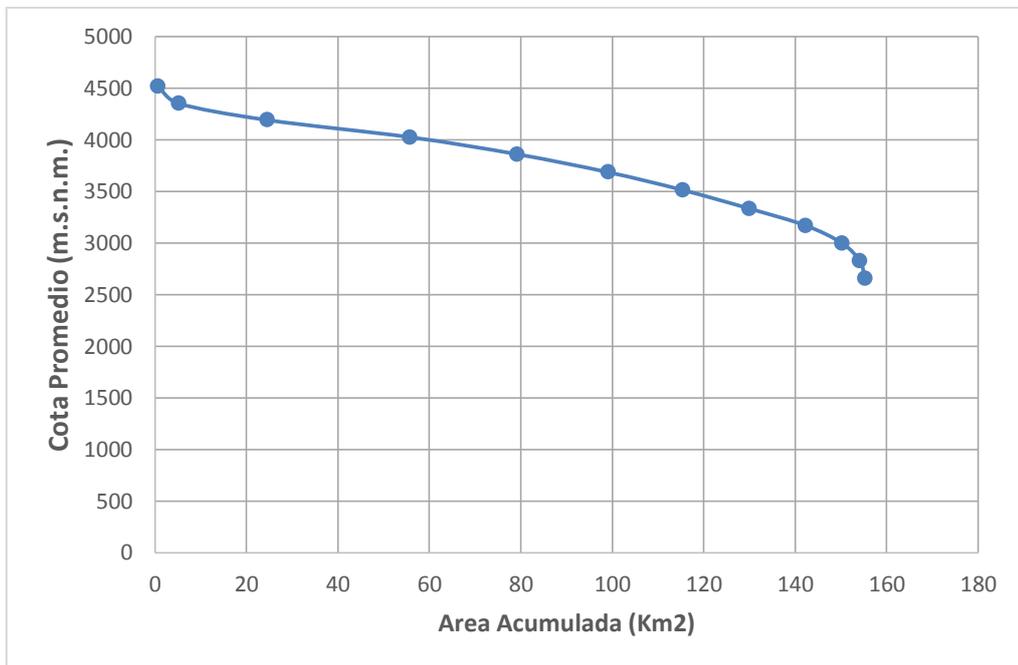


Figura 8.16. Curva hipsométrica de la subcuenca Cerpaquino

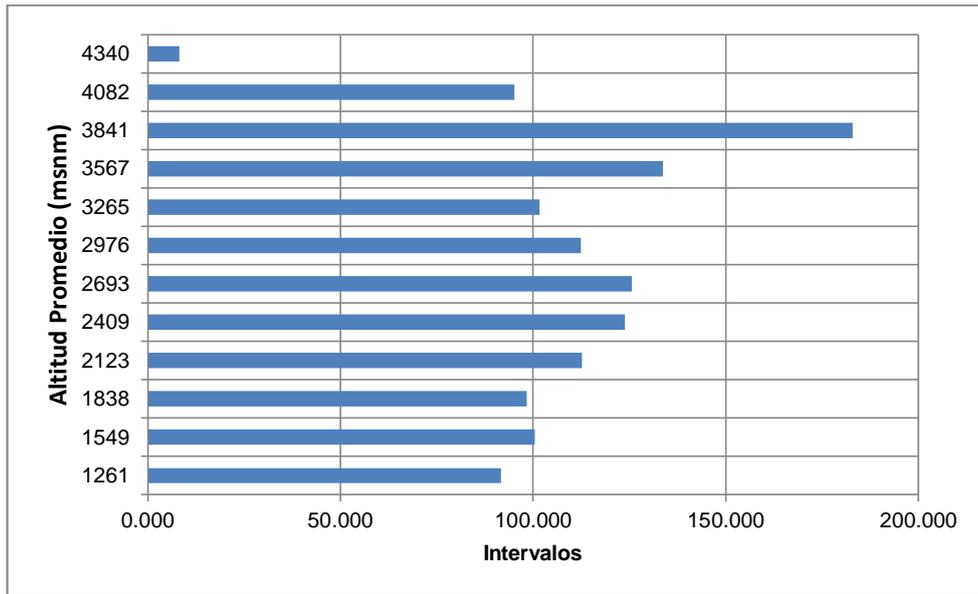


Figura 8.17. Frecuencia de altitudes de la subcuena Chirimayac

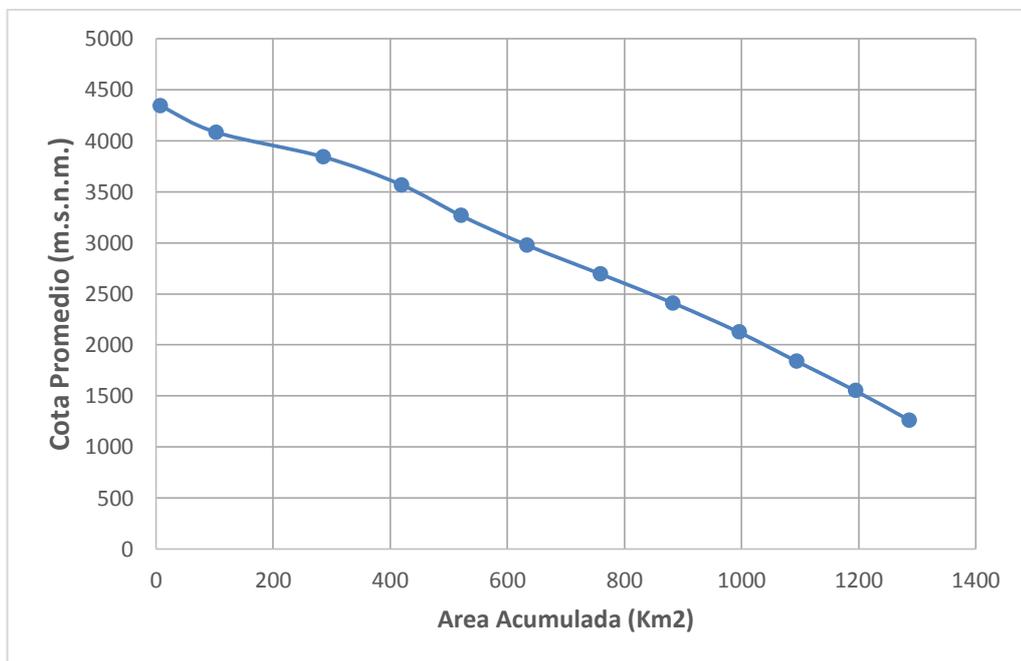


Figura 8.18. Curva hipsométrica de la subcuena Chirimachay

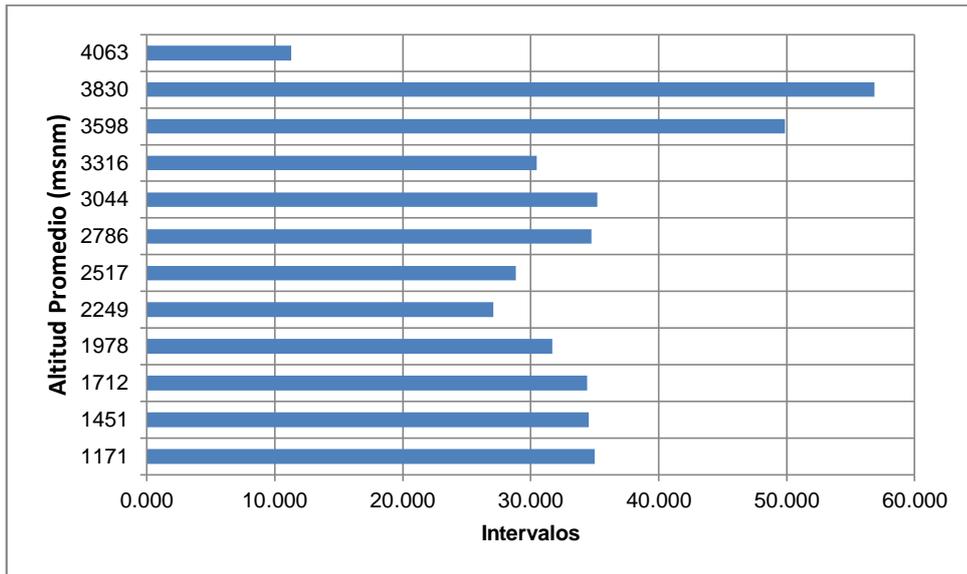


Figura 8.19. Frecuencia de altitudes de la subcuenca Chota

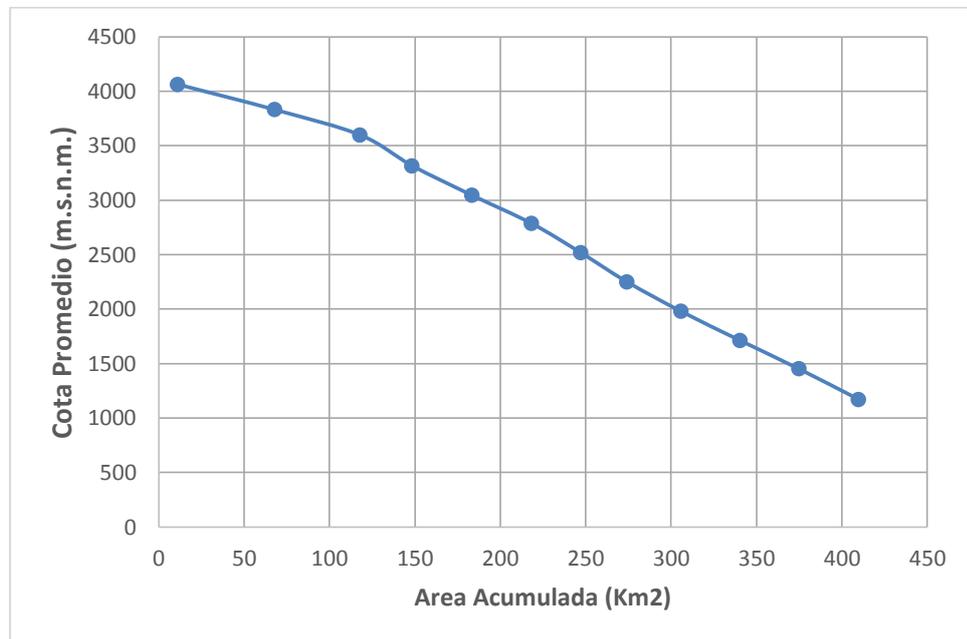


Figura 13. Curva hipsométrica de la subcuenca Chota

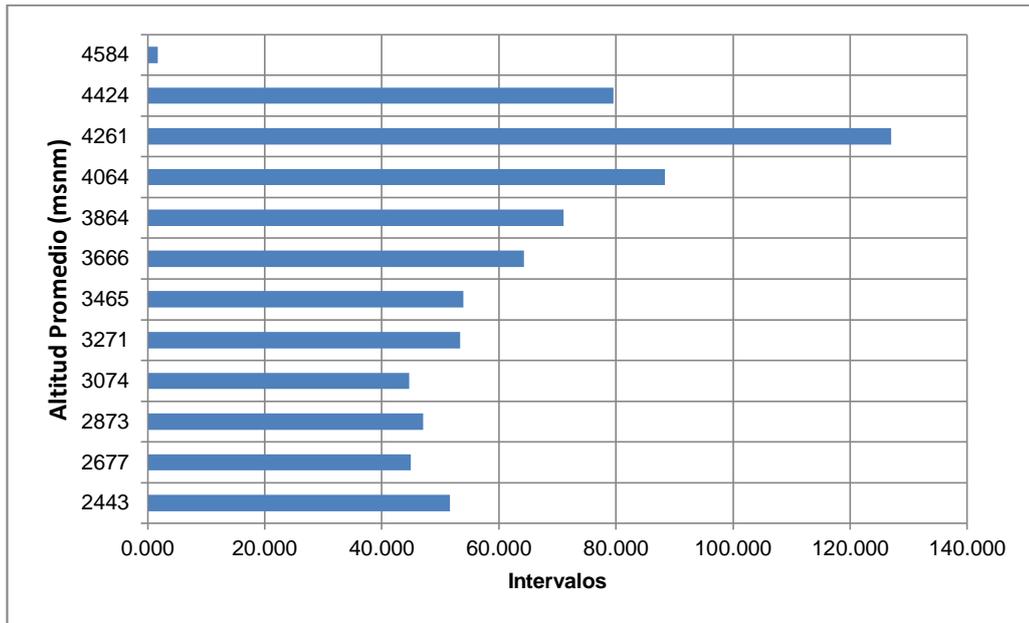


Figura 8.21. Frecuencia de altitudes de la subcuena Chullpa

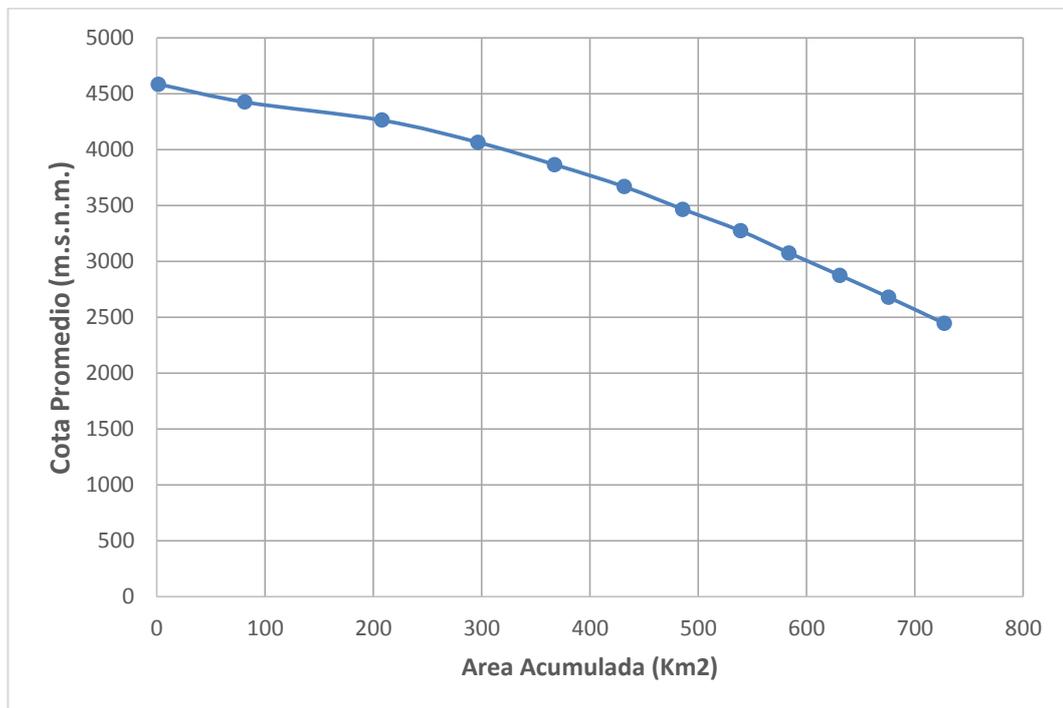


Figura 8.22. Curva hipsométrica de la subcuena Chullpa

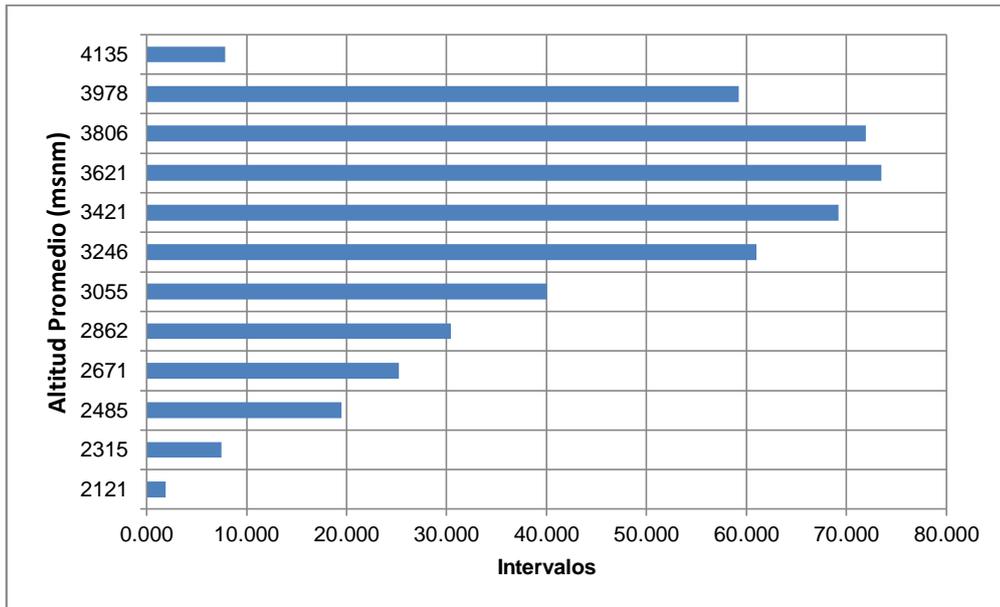


Figura 8.23. Frecuencia de altitudes de la subcuenca Cochabamba

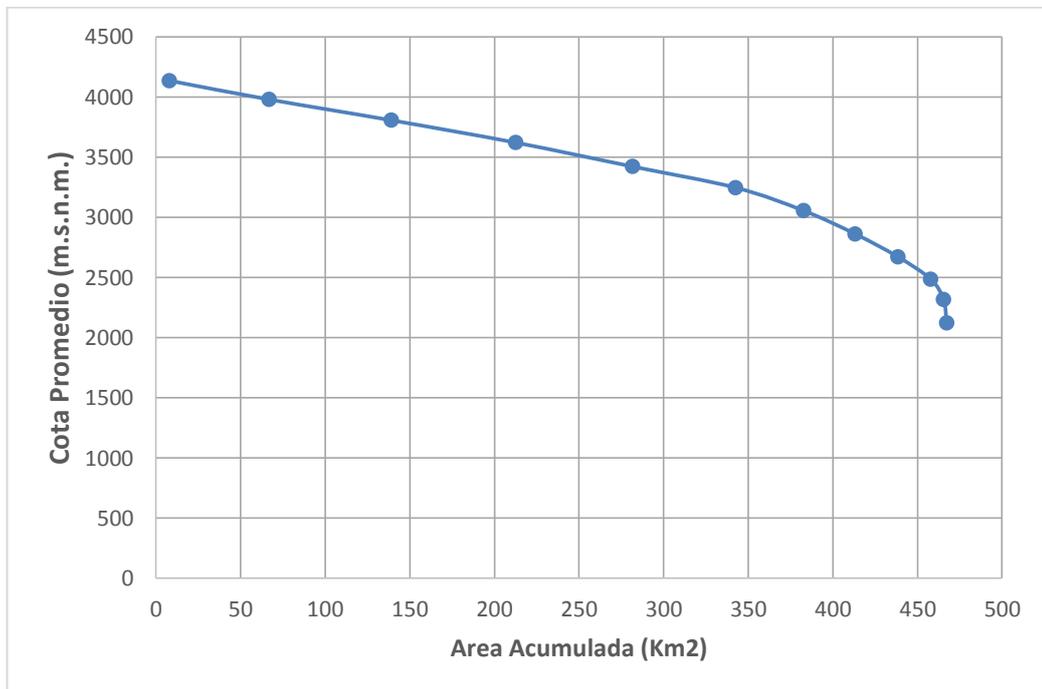


Figura 8.24. Curva hipsométrica de la subcuenca Cochabamba

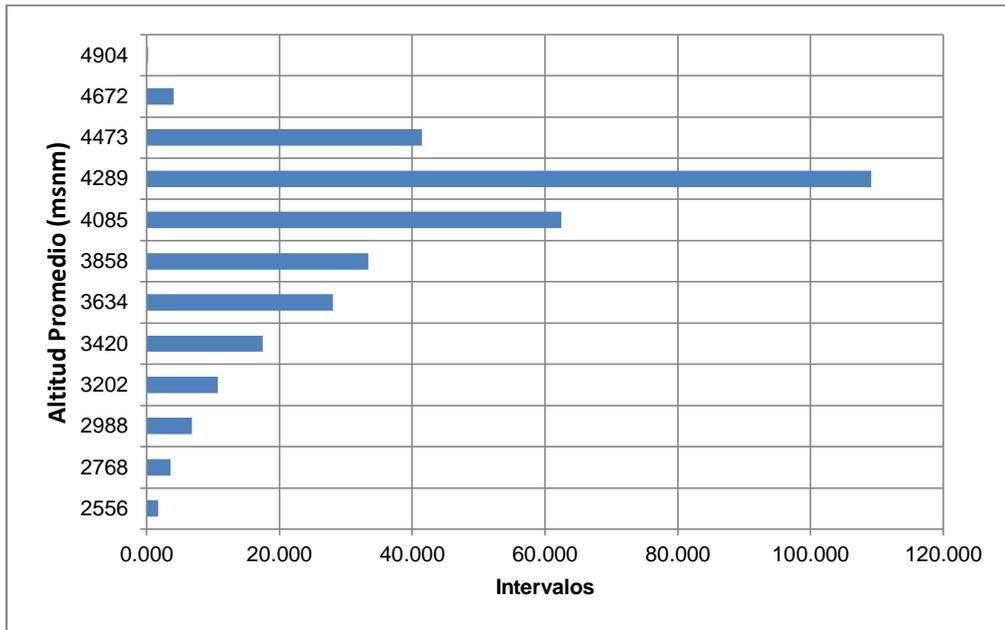


Figura 8.25. Frecuencia de altitudes de la subcuenca Colca

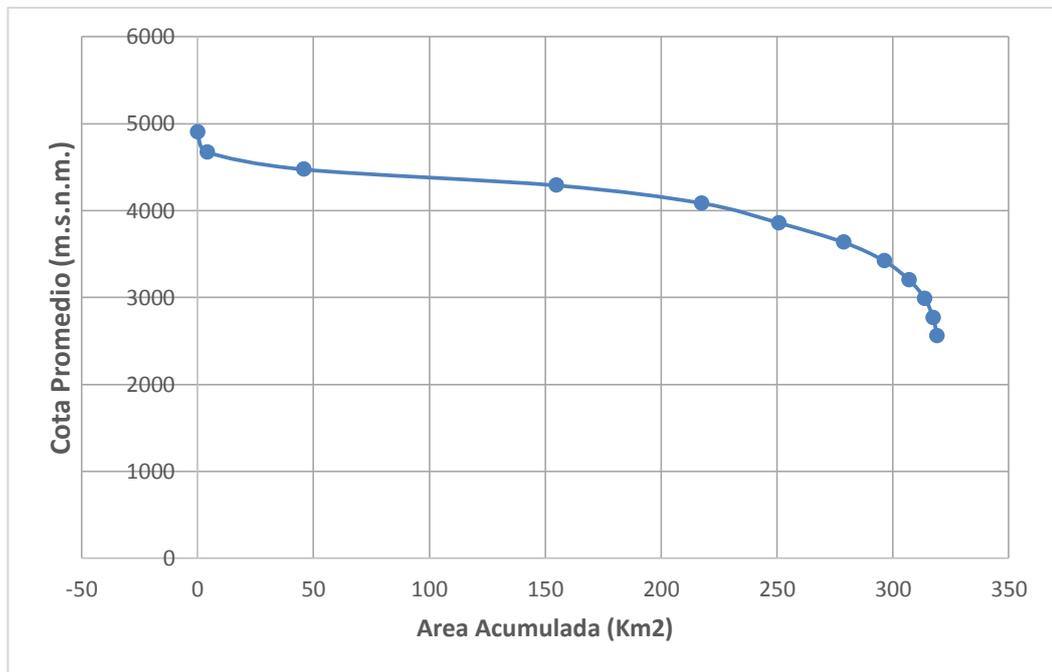


Figura 8.26. Curva hipsométrica de la subcuenca Colca

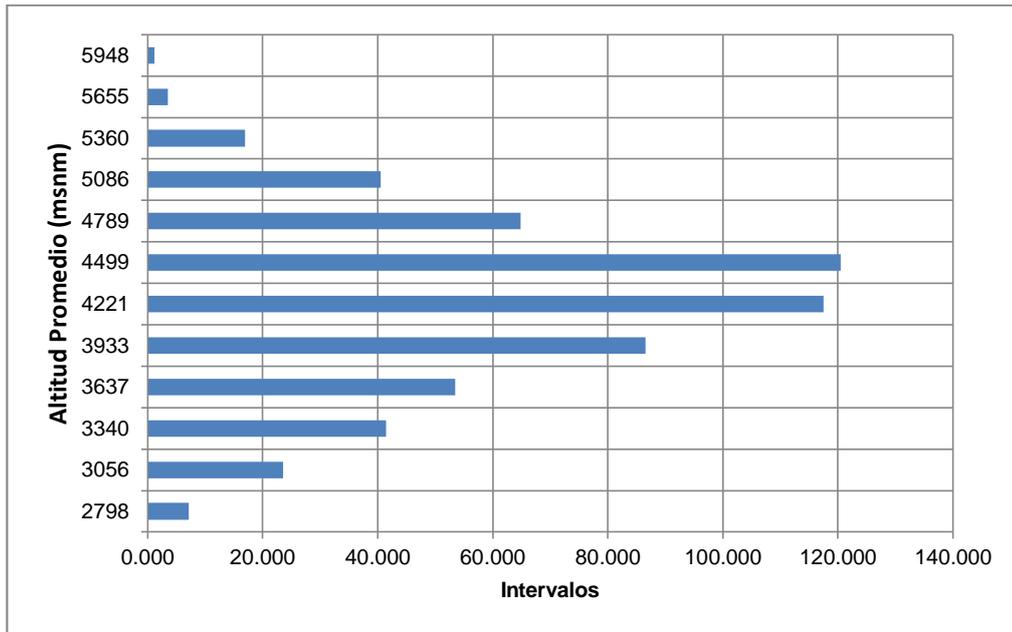


Figura 8.27. Frecuencia de altitudes de la subcuenca Cunya

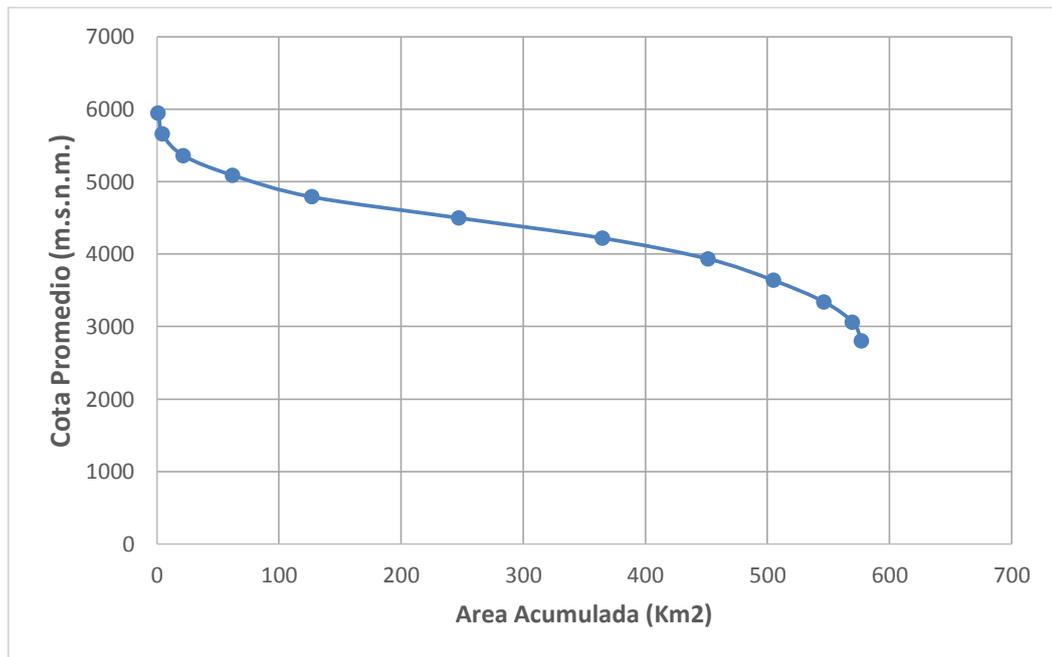


Figura 8.28. Curva hipsométrica de la subcuenca Cunya

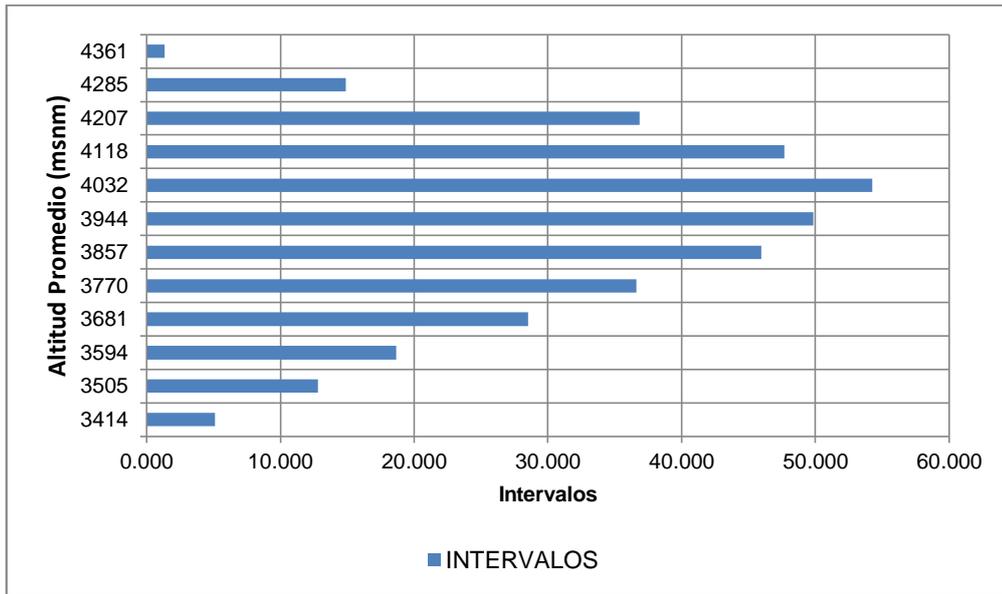


Figura 8.29. Frecuencia de altitudes de la subcuenca Cunyac

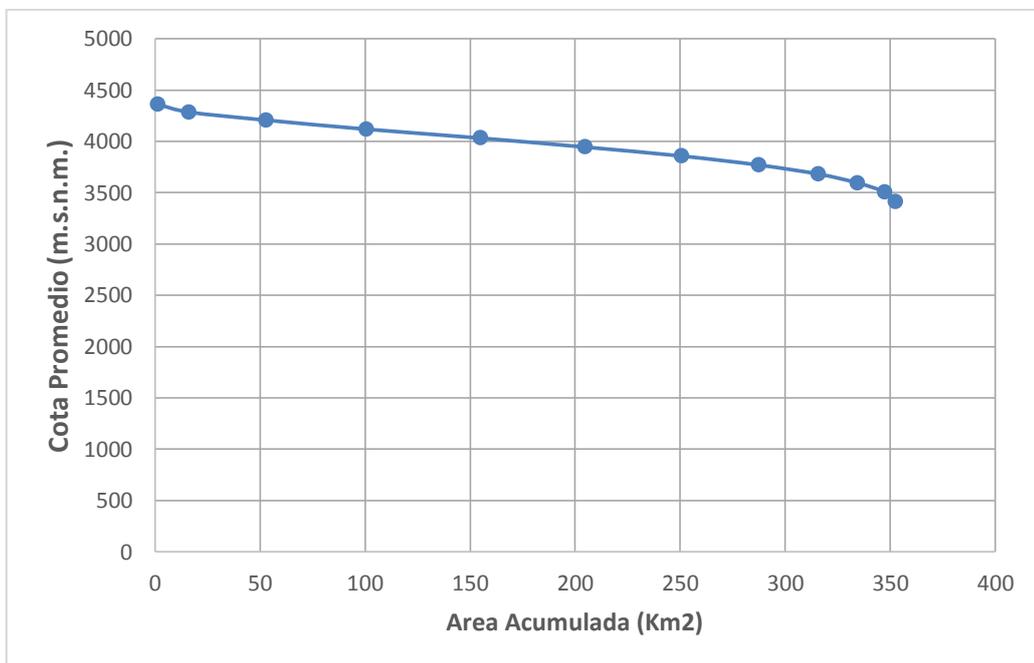


Figura 8.30. Curva hipsométrica de la subcuenca Cunyac

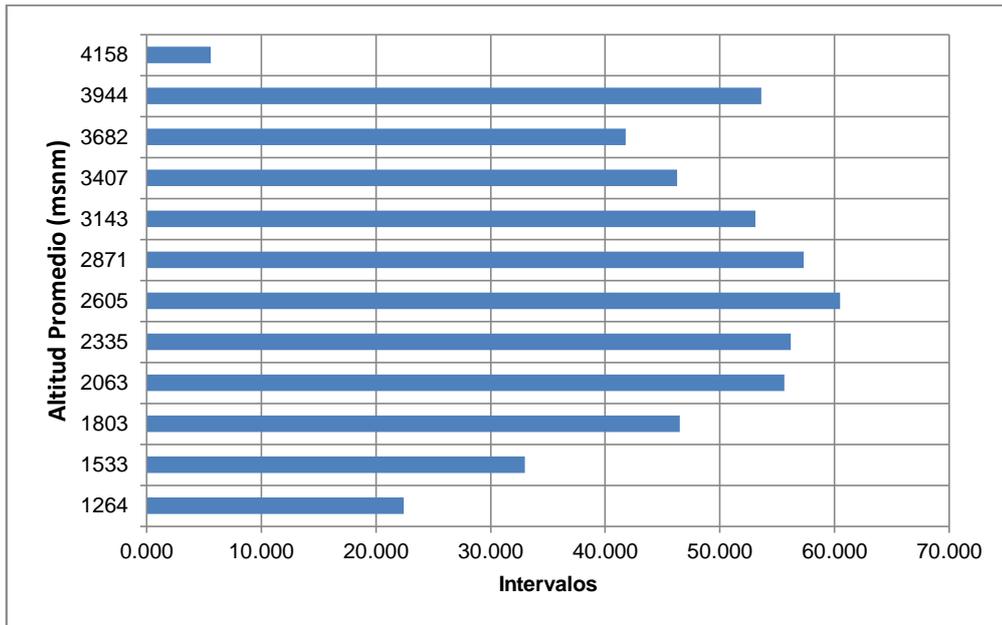


Figura 8.31. Frecuencia de altitudes de la subcuena Huachimin

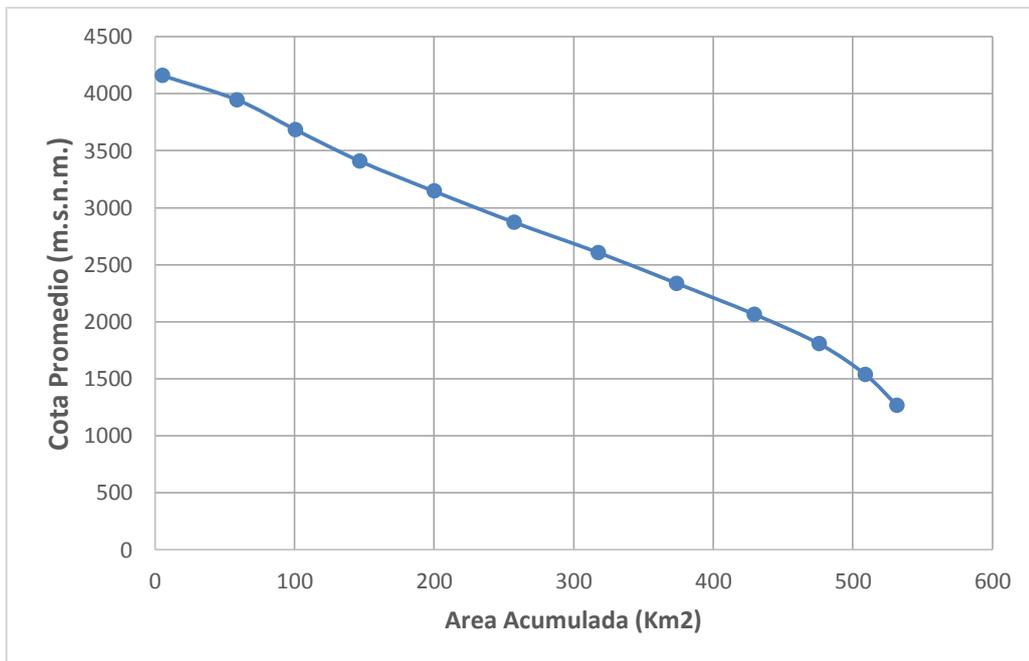


Figura 8.32. Curva hipsométrica de la subcuena Huachimin

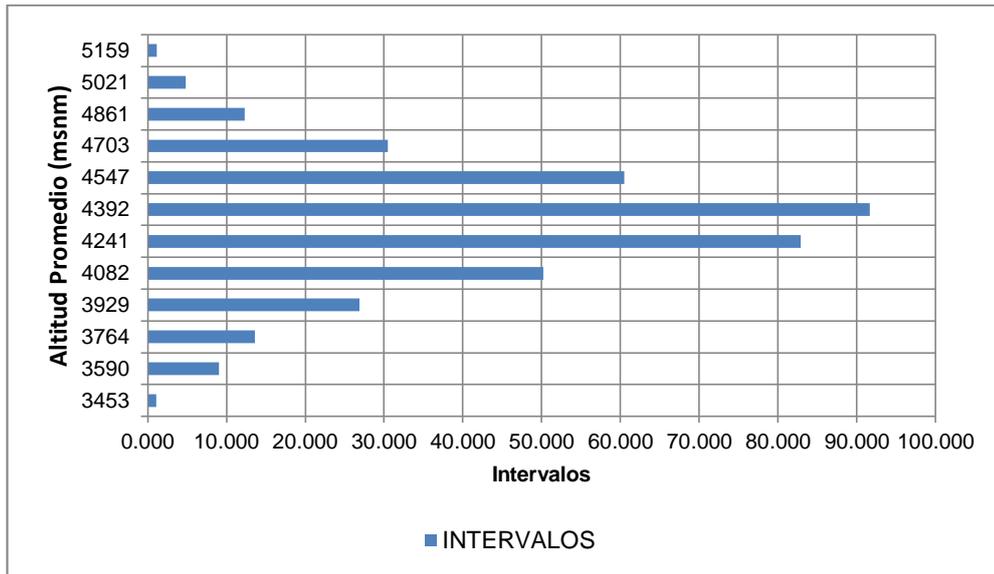


Figura 8.33. Frecuencia de altitudes de la subcuenca Huacoto

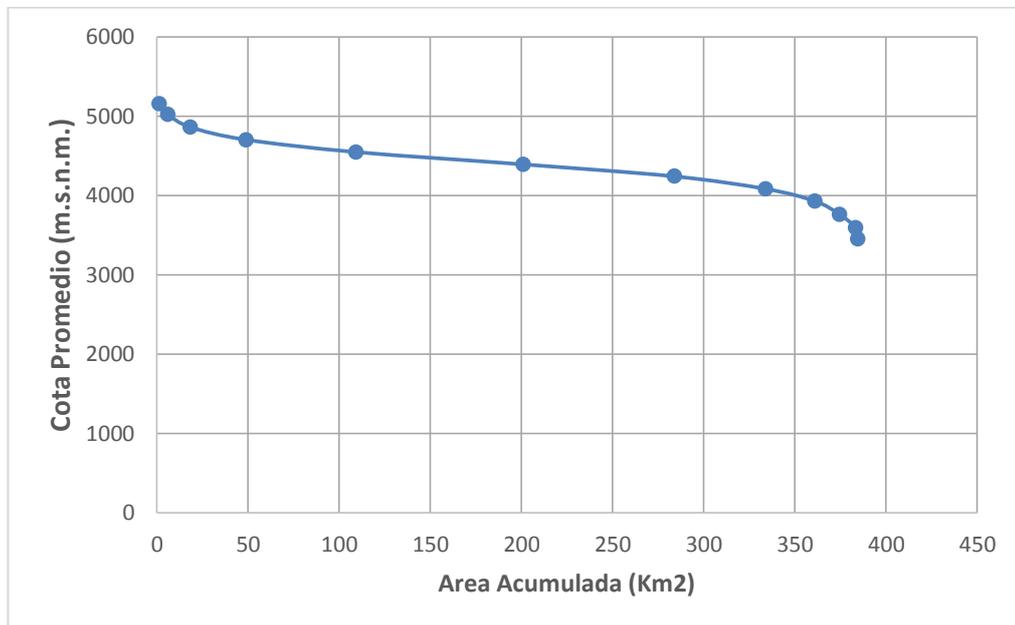


Figura 8.34. Curva hipsométrica de la subcuenca Huacoto

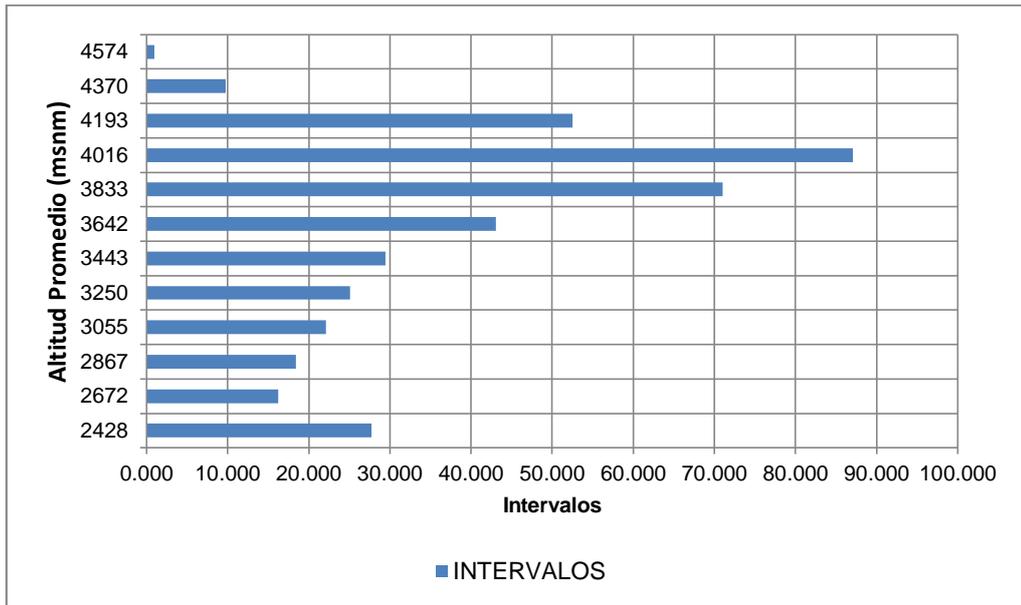


Figura 8.35. Frecuencia de altitudes de la subcuenca Huacrachuco

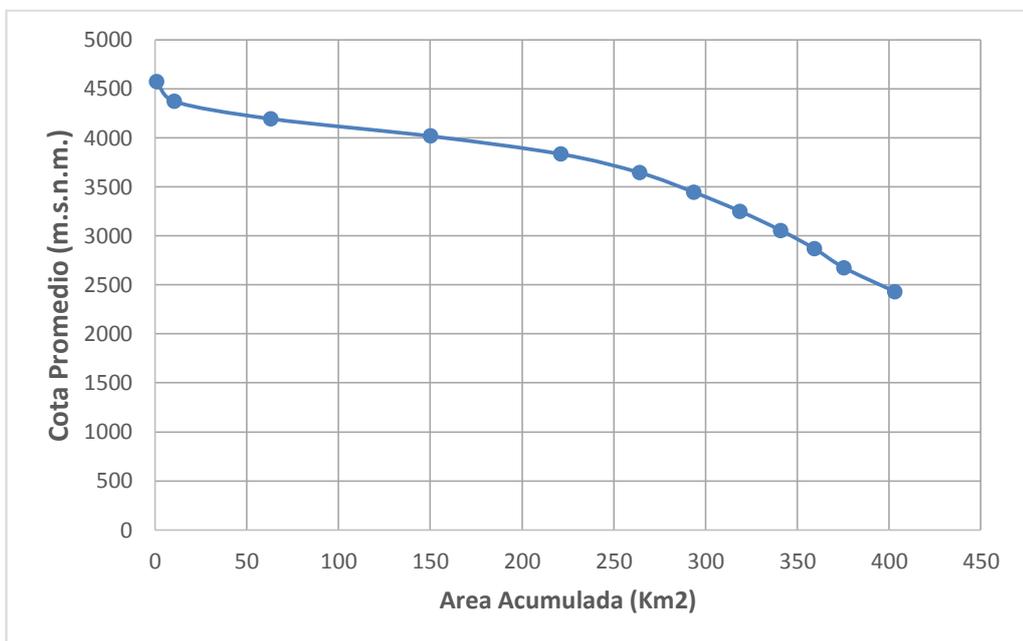


Figura 8.36. Curva hipsométrica de la subcuenca Huacrachuco

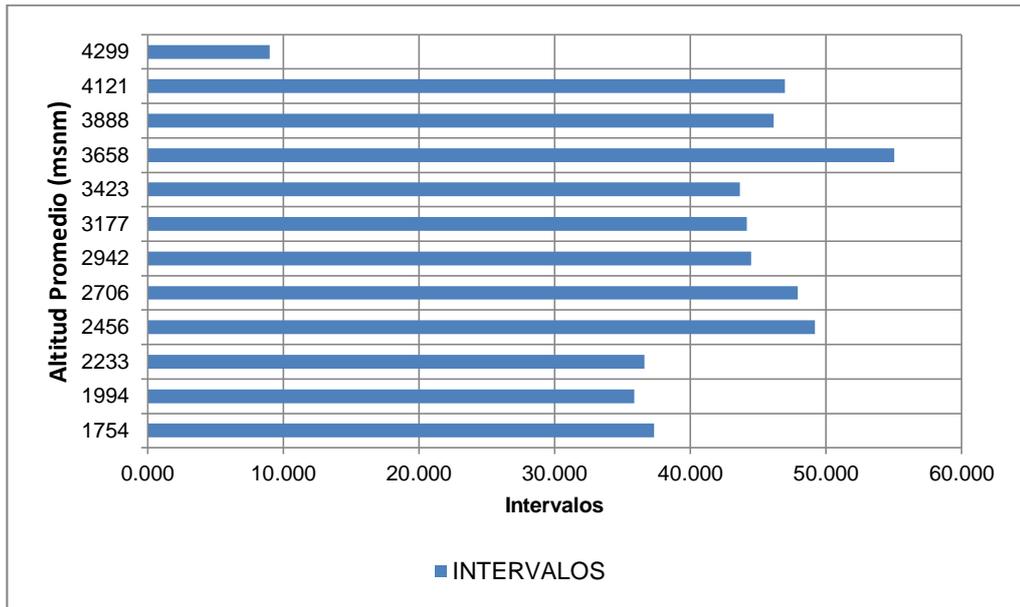


Figura 8.37. Frecuencia de altitudes de la subcuenca Huancas

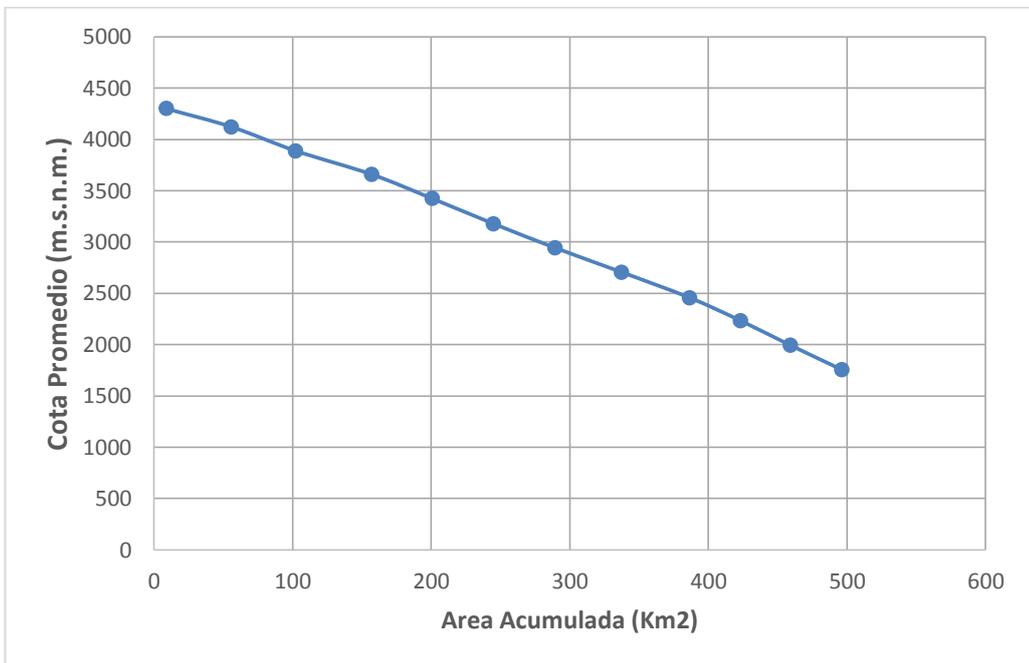


Figura 8.38. Curva hipsométrica de la subcuenca Huancas

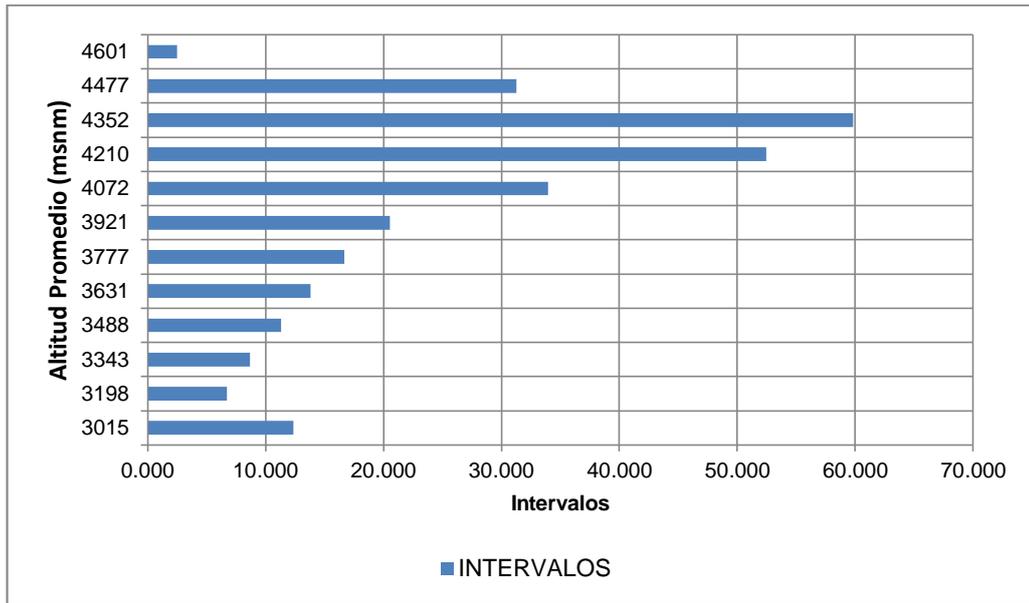


Figura 8.39. Frecuencia de altitudes de la subcuenca Huangor

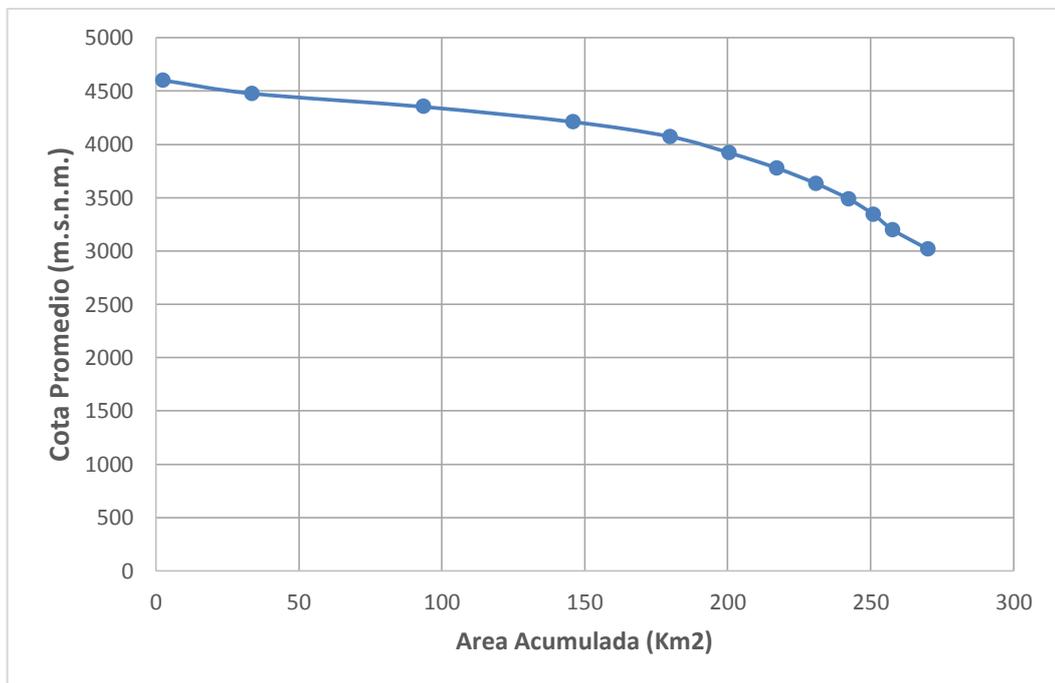


Figura 8.40. Curva hipsométrica de la subcuenca Huangor

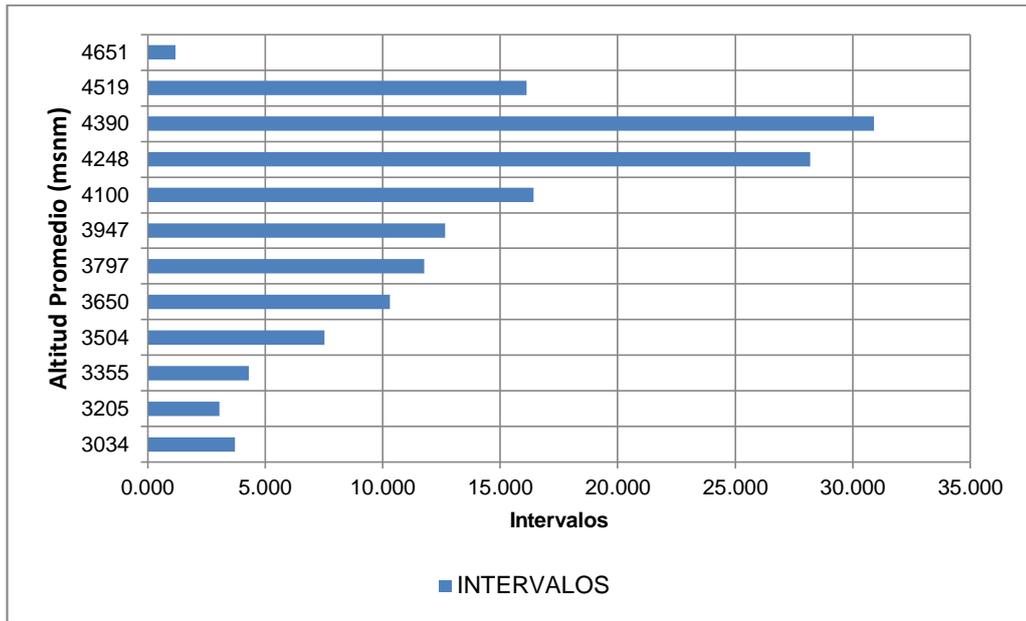


Figura 8.41. Frecuencia de altitudes de la subcuenca Huashpay

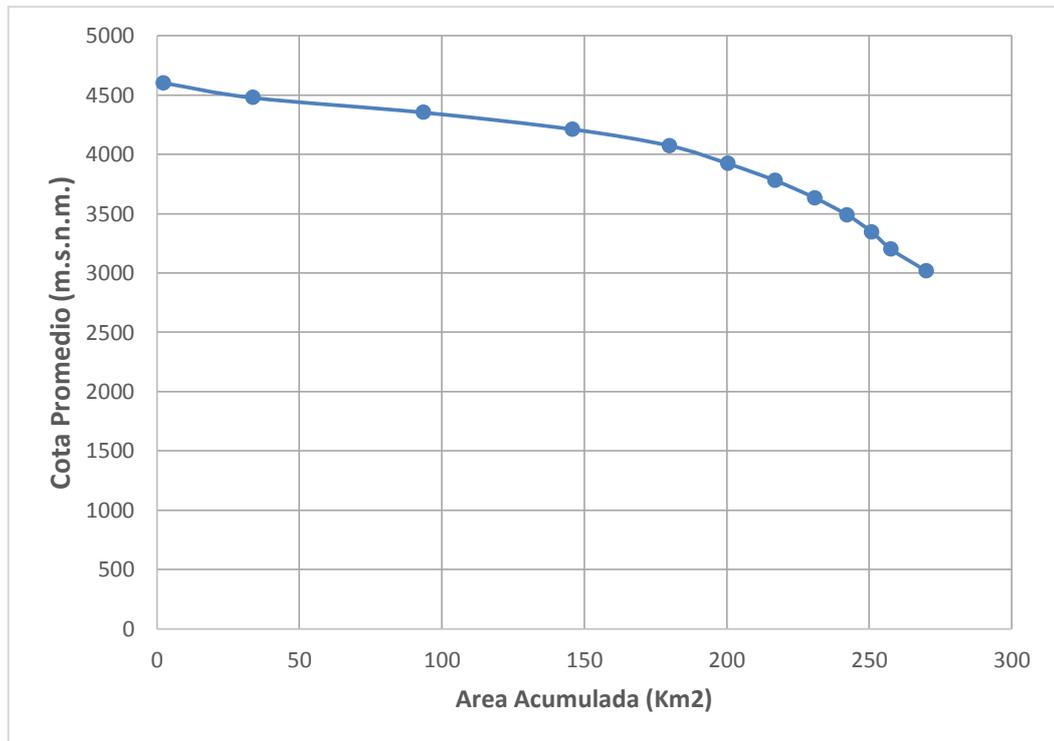


Figura 8.42. Curva hipsométrica de la subcuenca Huashpay

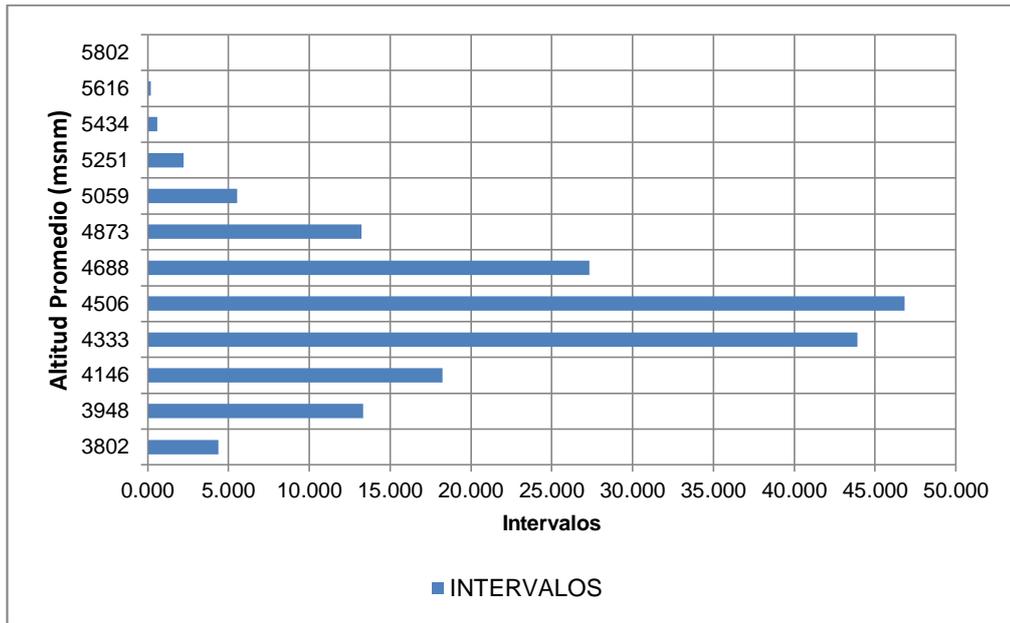


Figura 8.43. Frecuencia de altitudes de la subcuena Huayhuash

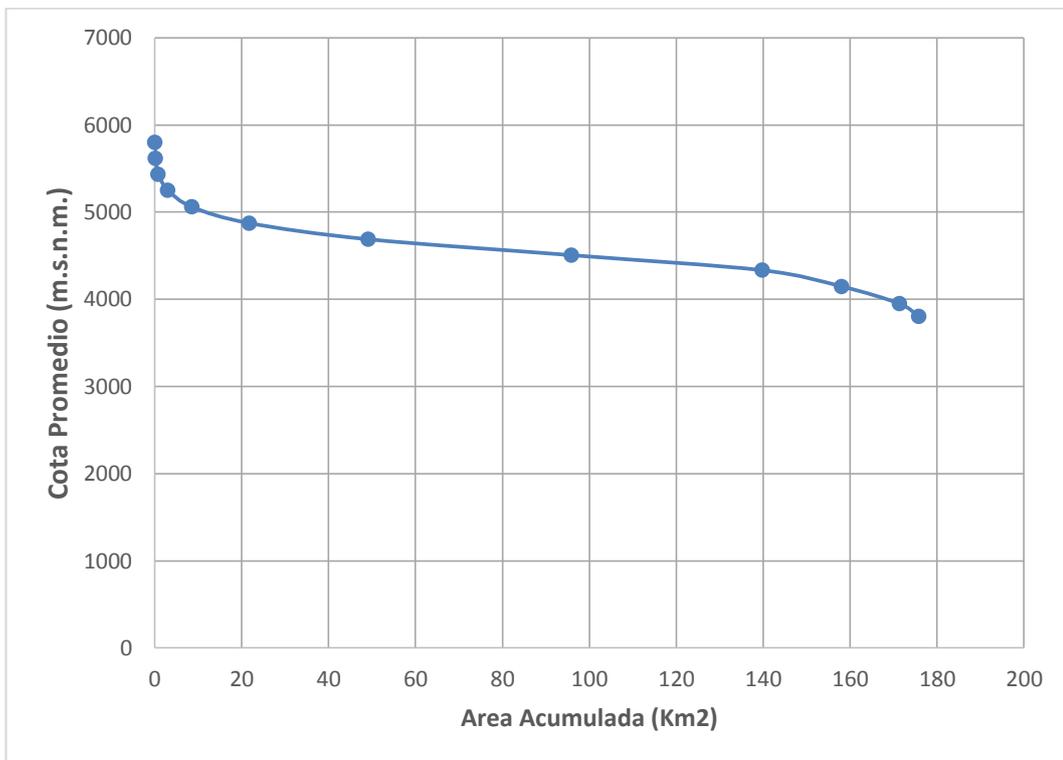


Figura 8.44. Curva hipsométrica de la subcuena Huayhuash

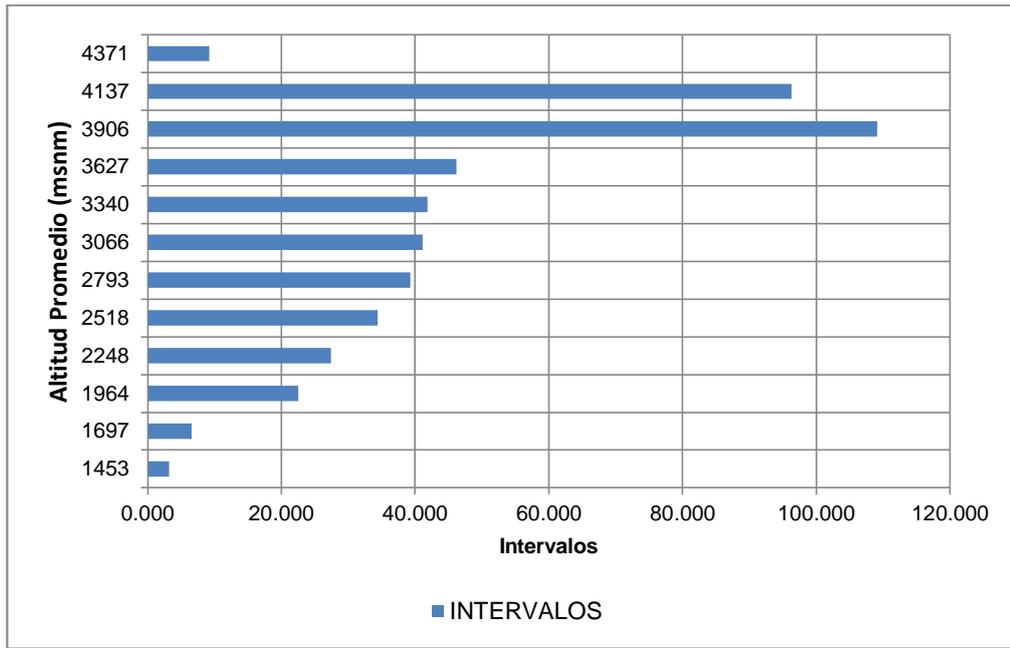


Figura 8.45. Frecuencia de altitudes de la subcuenca Huinchus

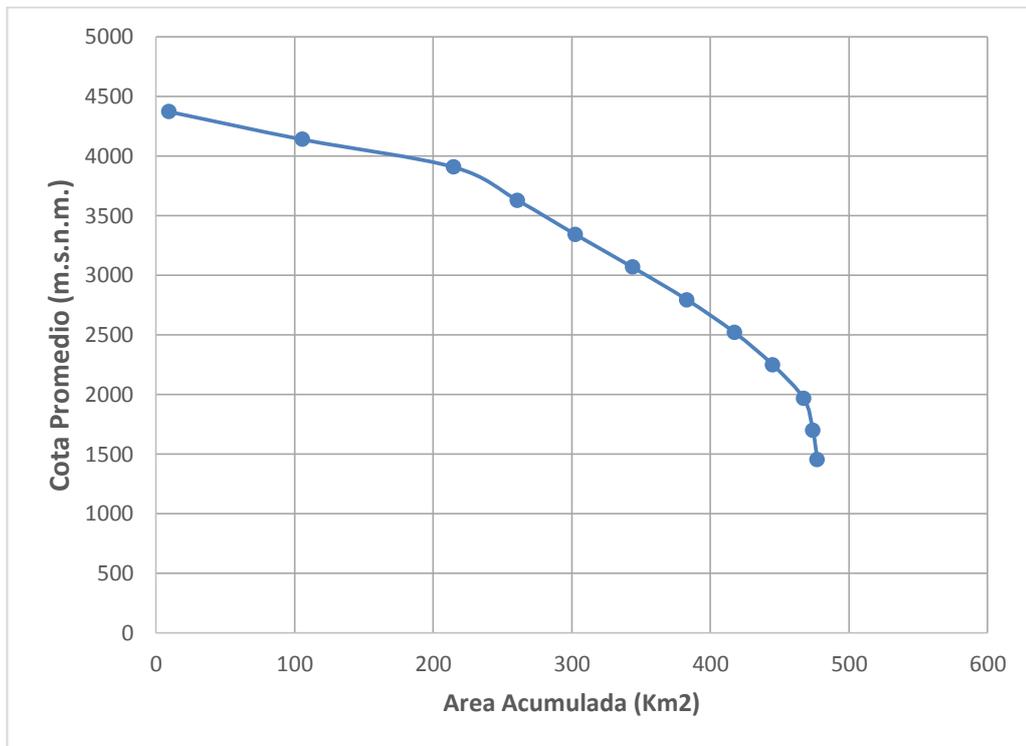


Figura 8.46. Curva hipsométrica de la subcuenca Huinchus

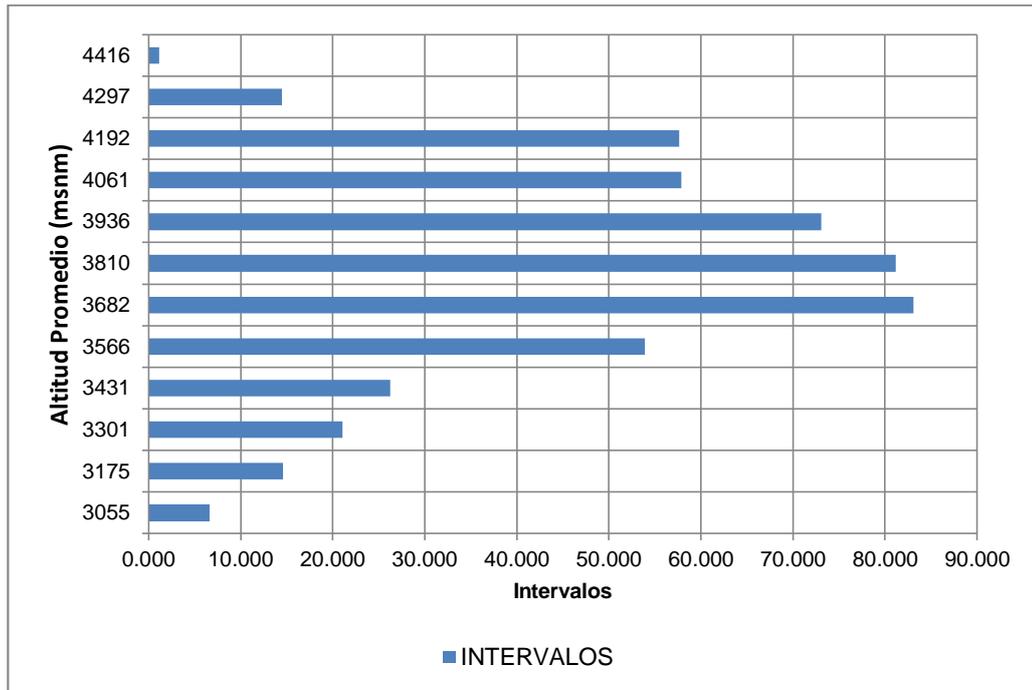


Figura 8.47. Frecuencia de altitudes de la subcuena Ichicyacu

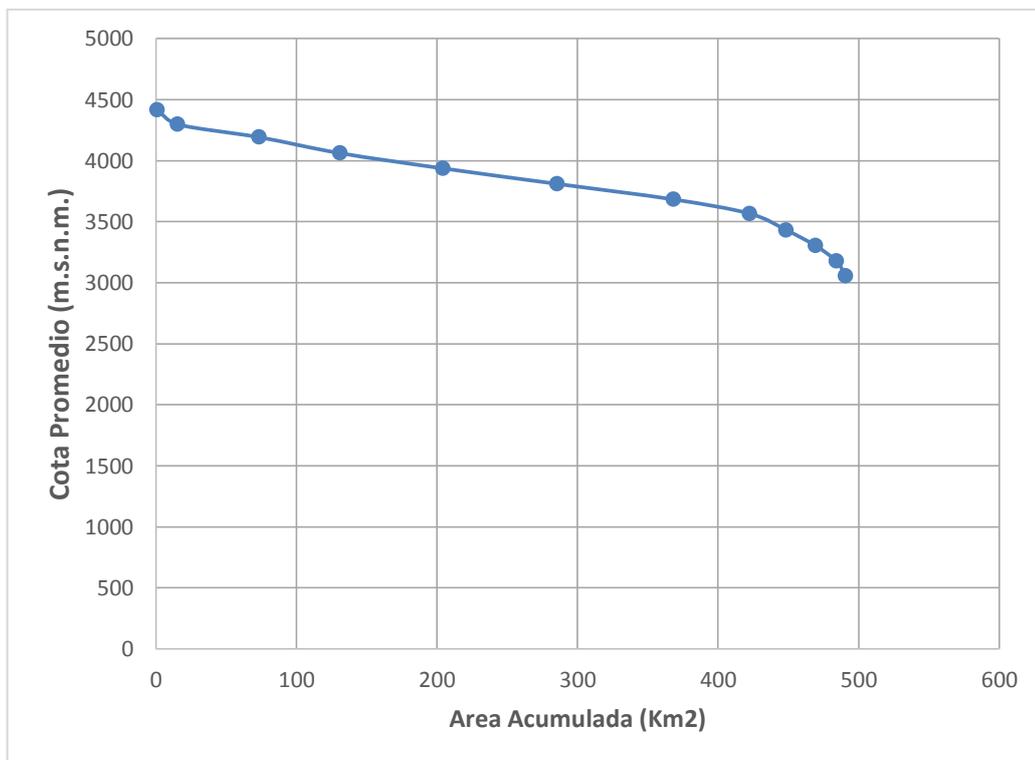
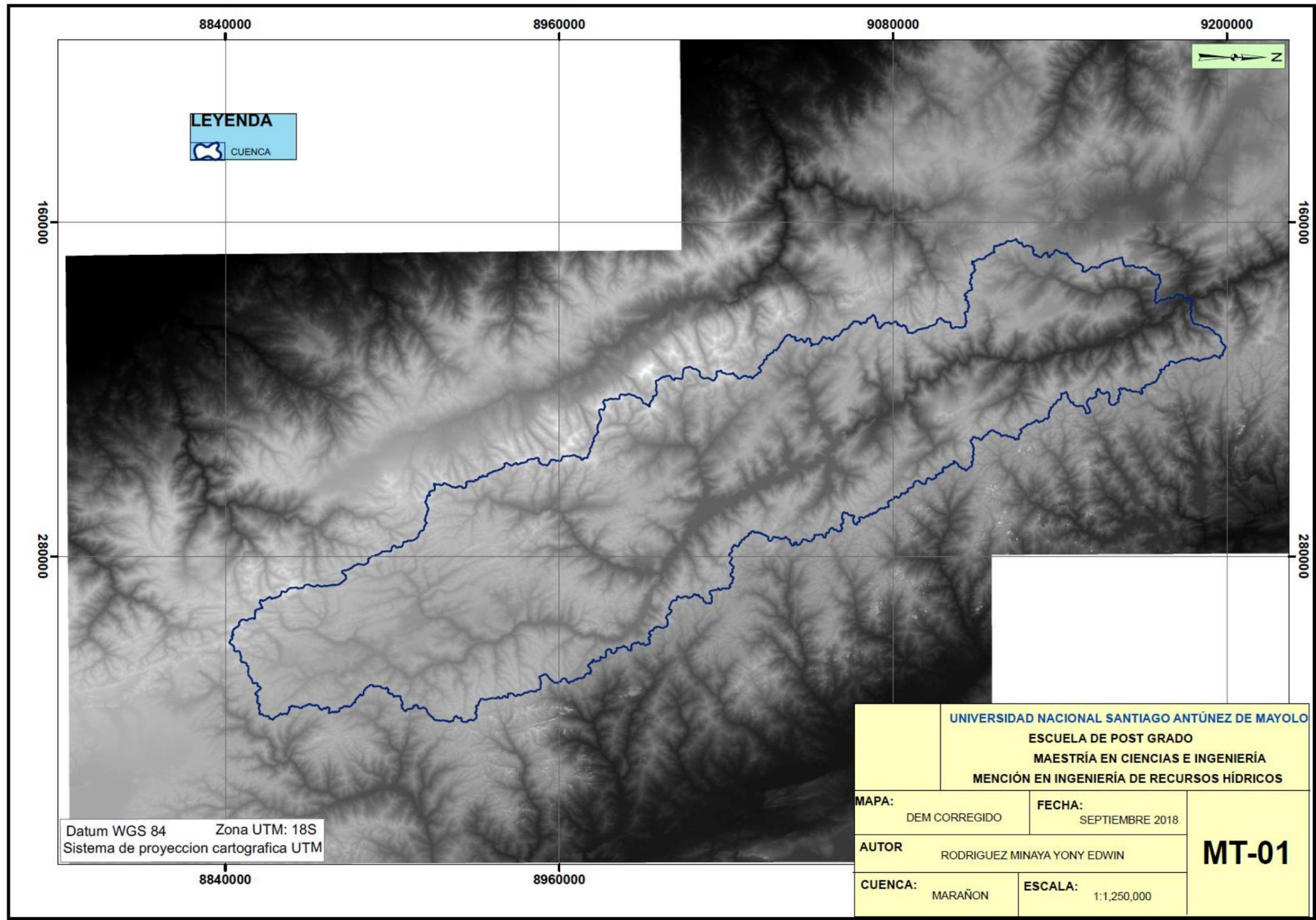
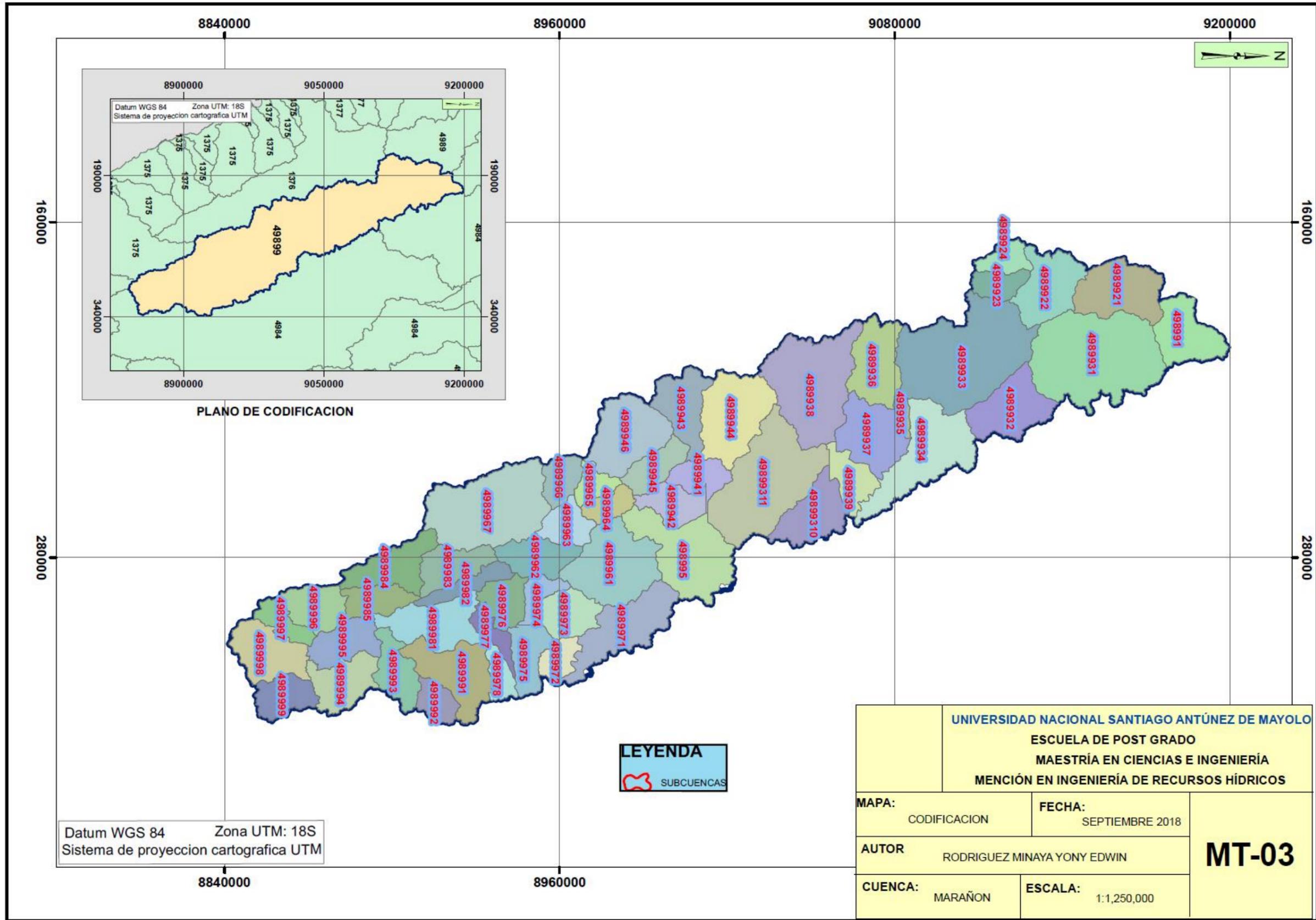
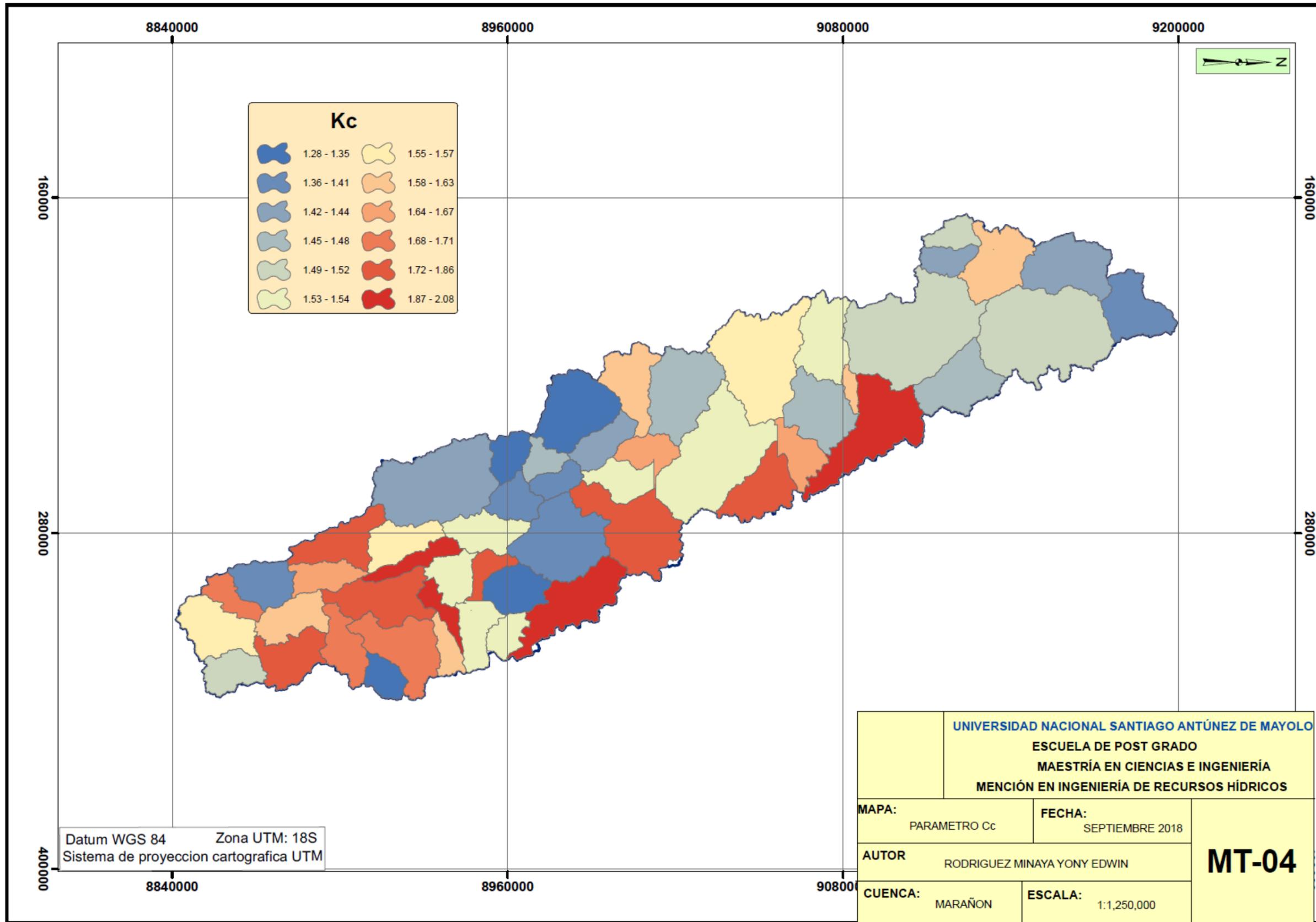


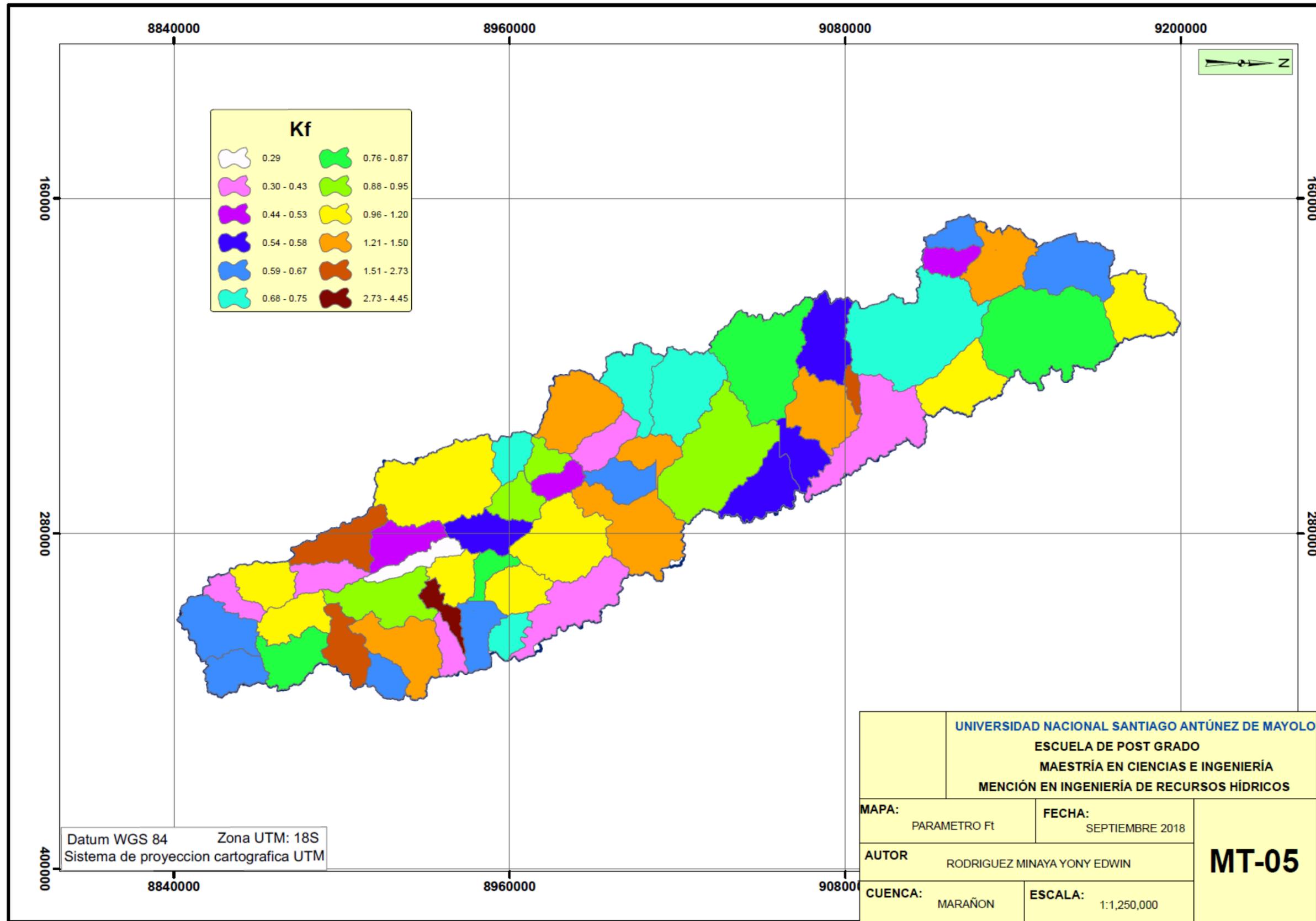
Figura 8.48. Curva hipsométrica de la subcuena Ichicyacu

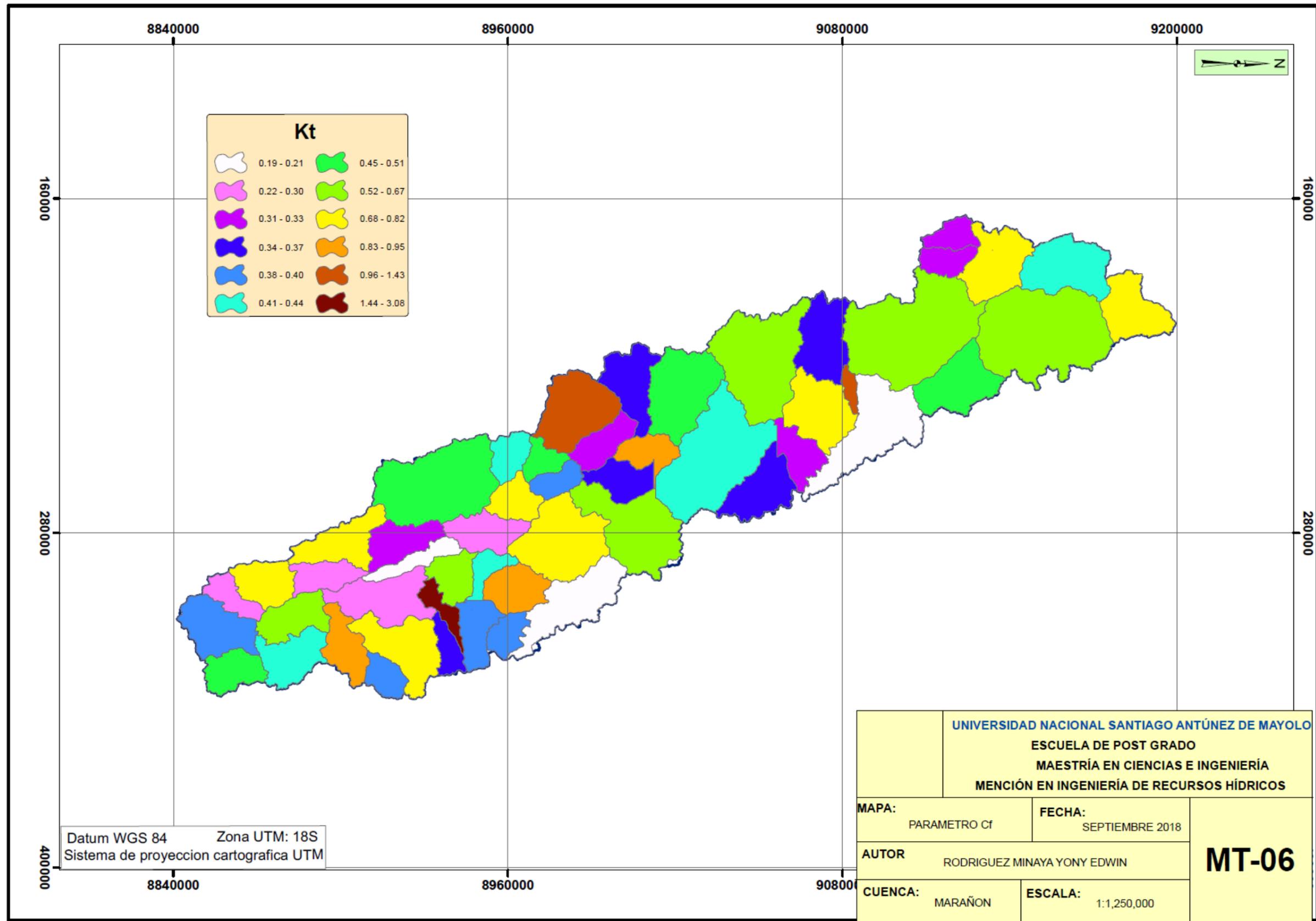
Anexo 02: Mapas temáticos

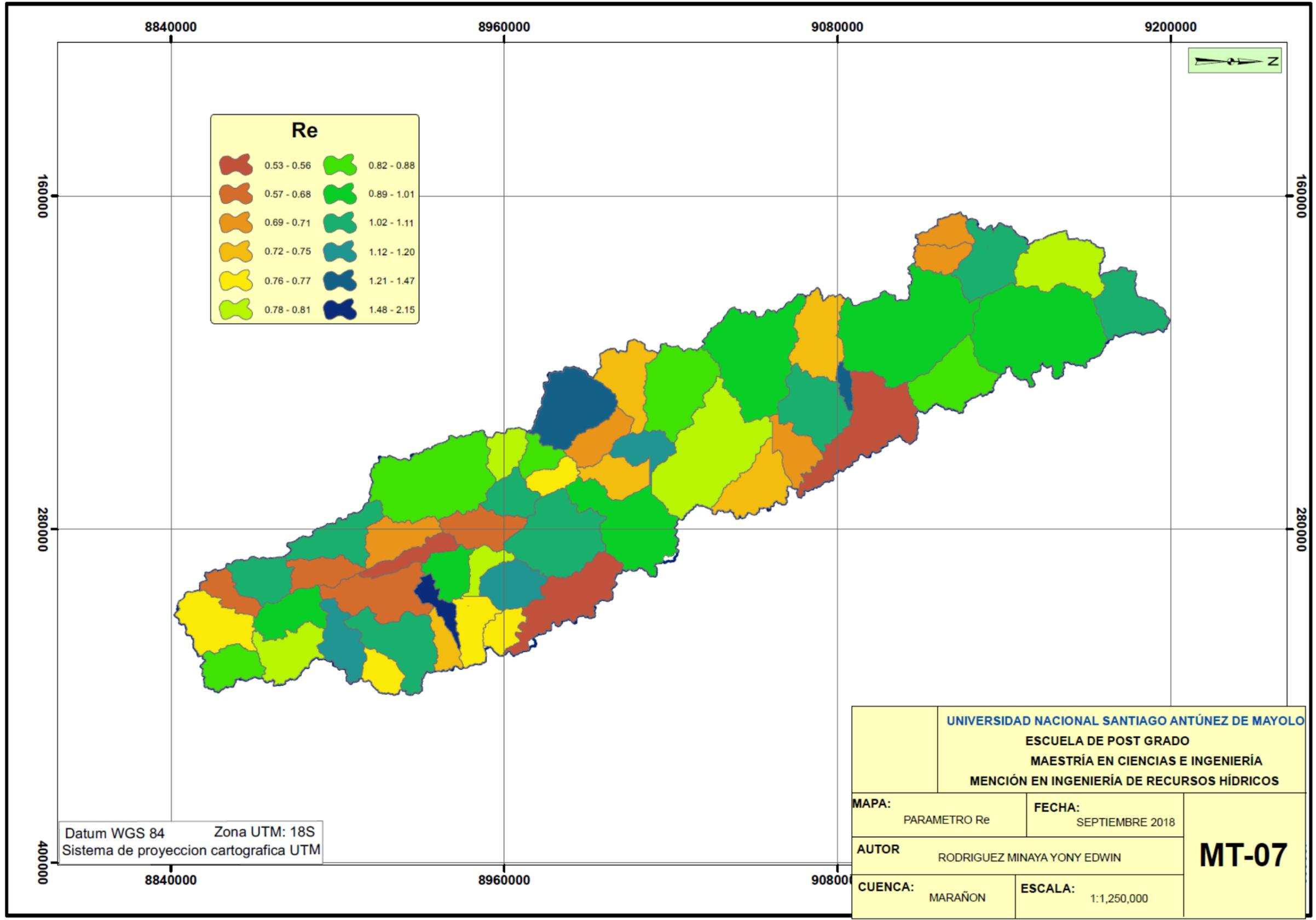


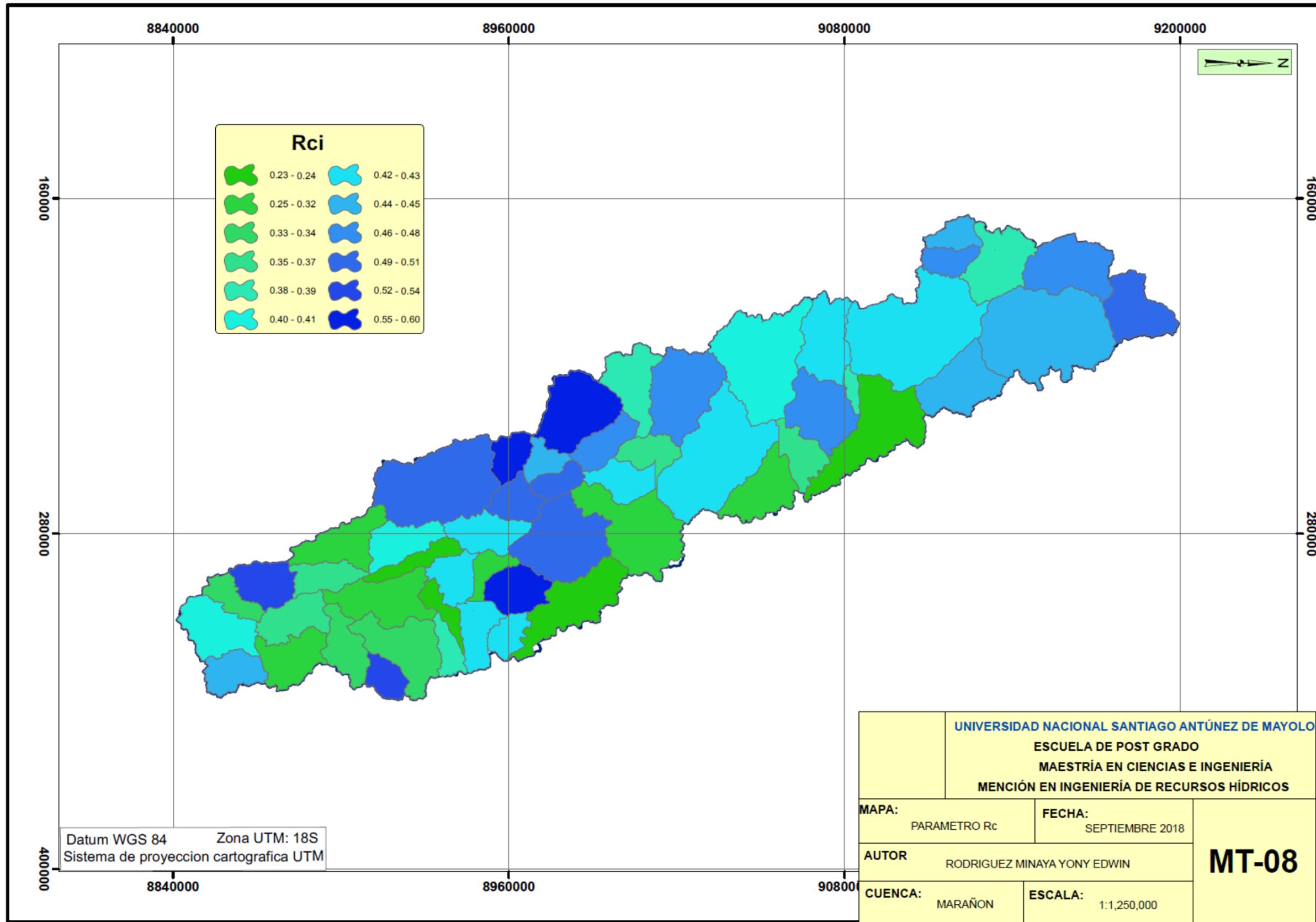


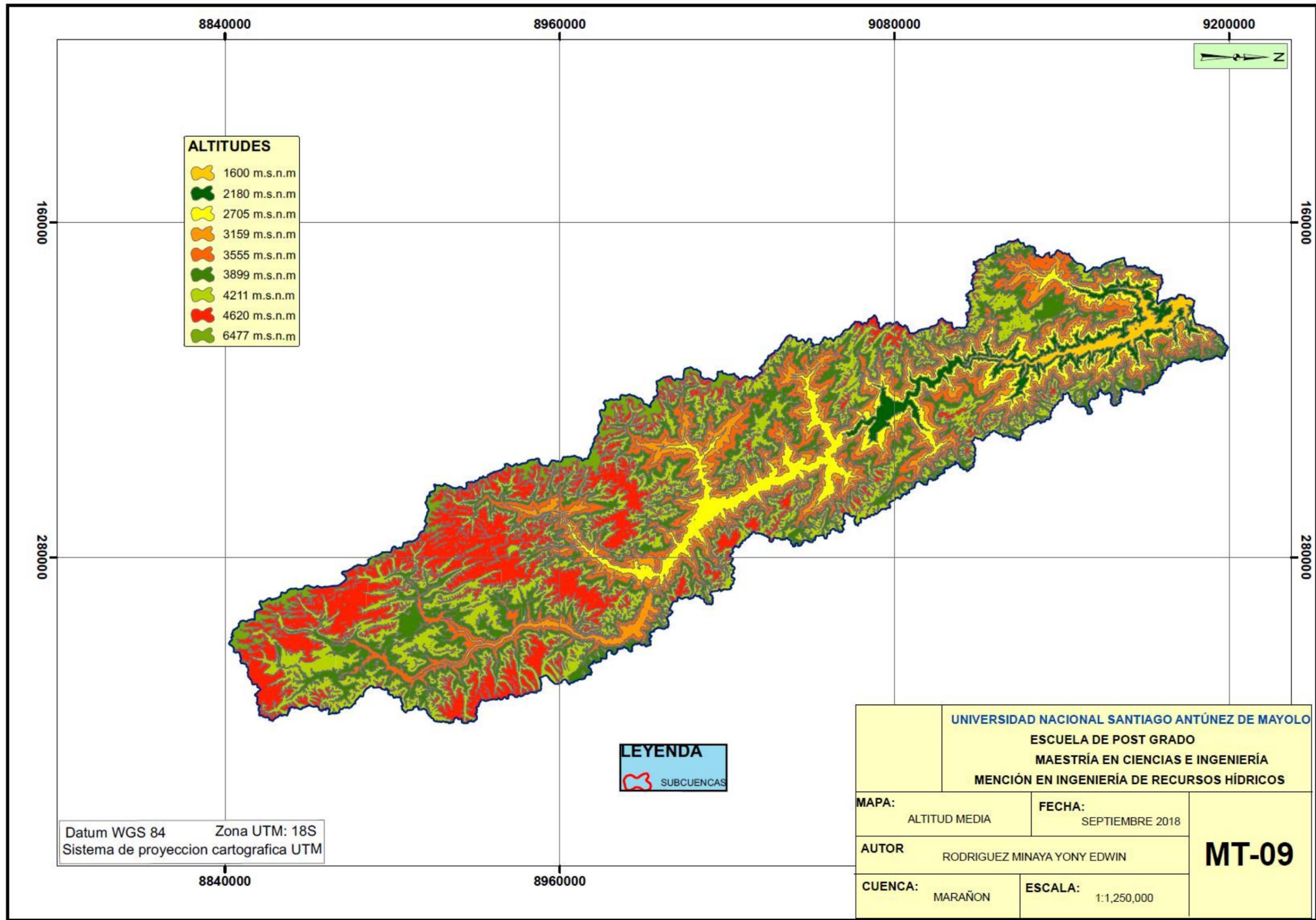


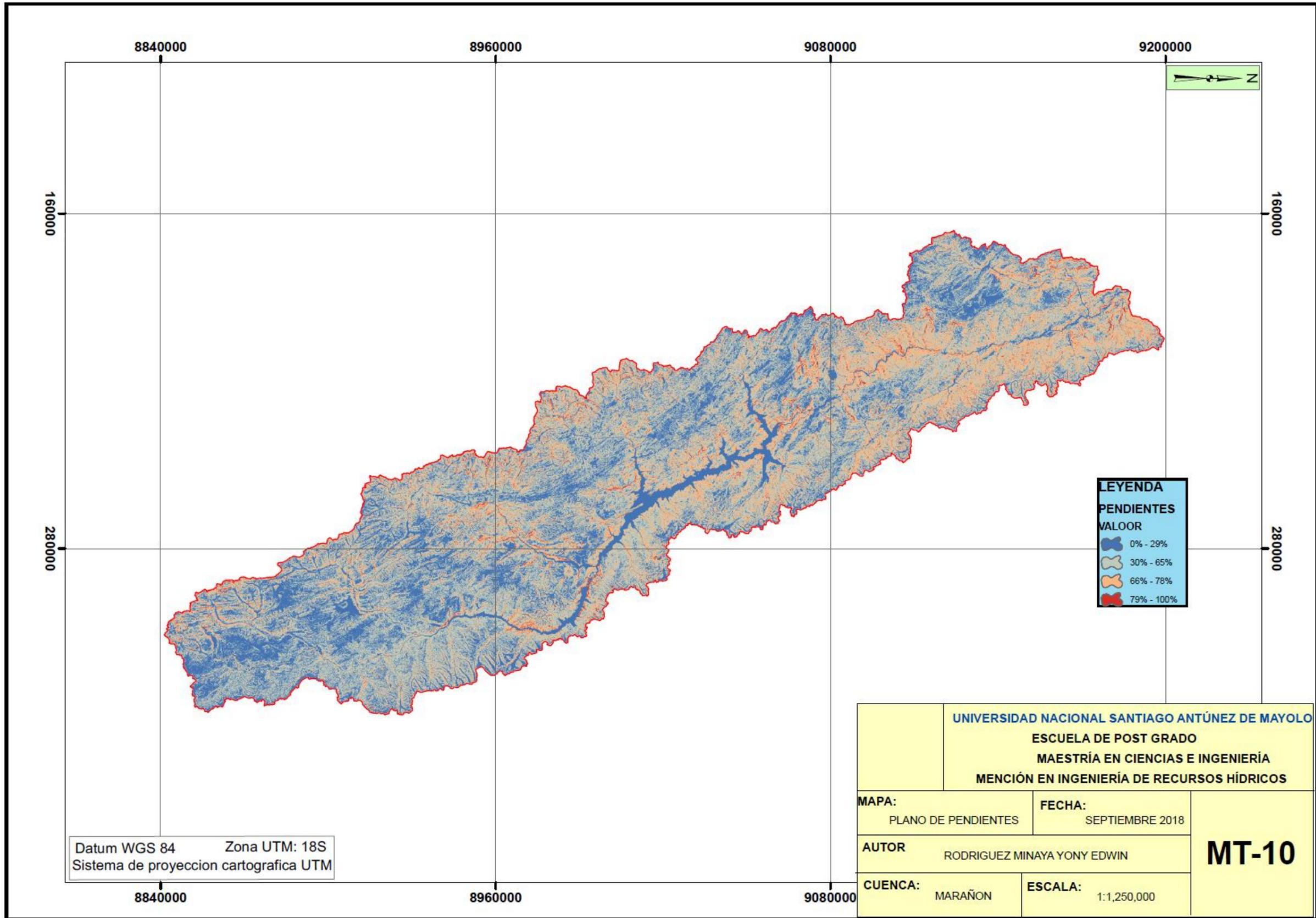


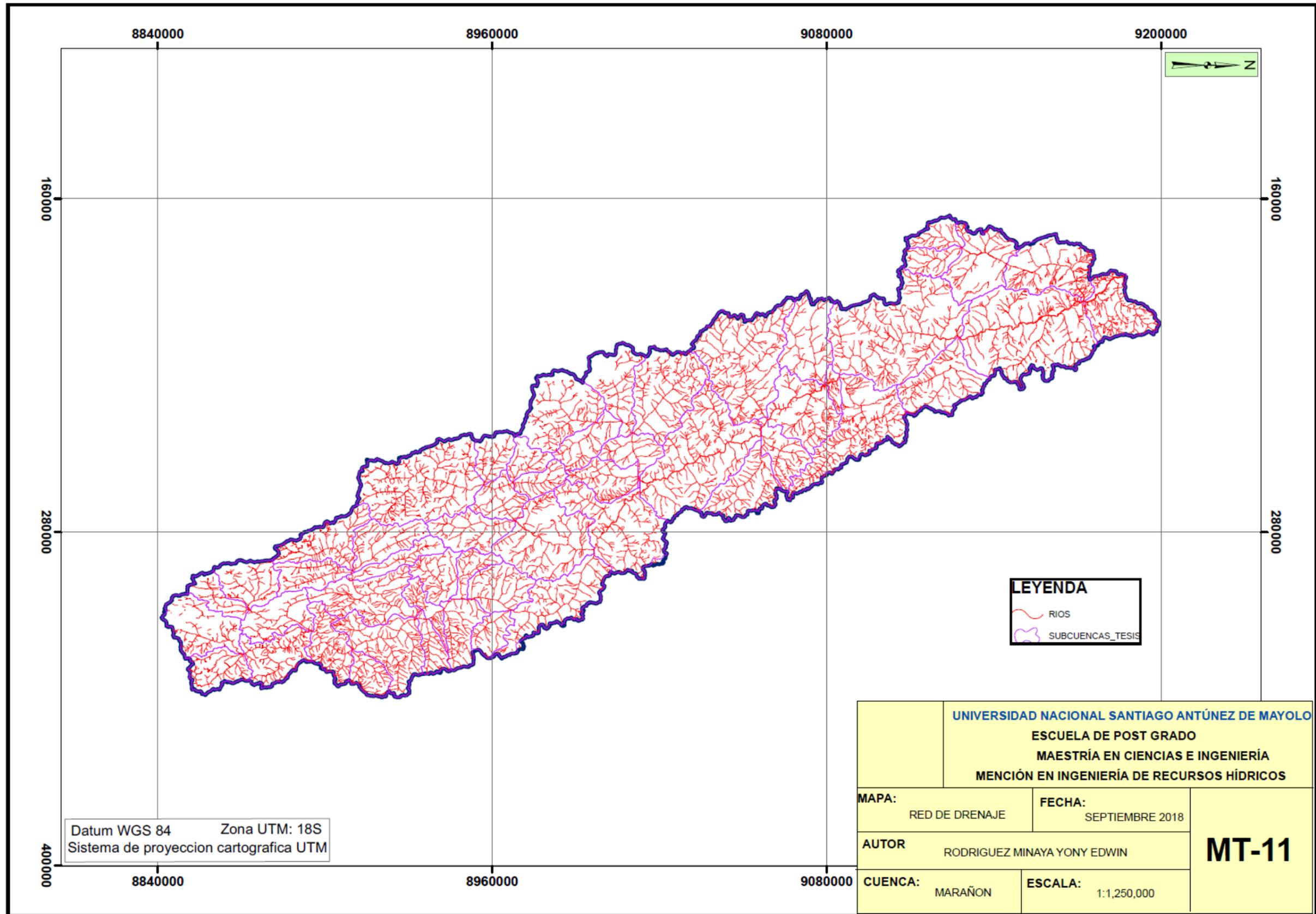


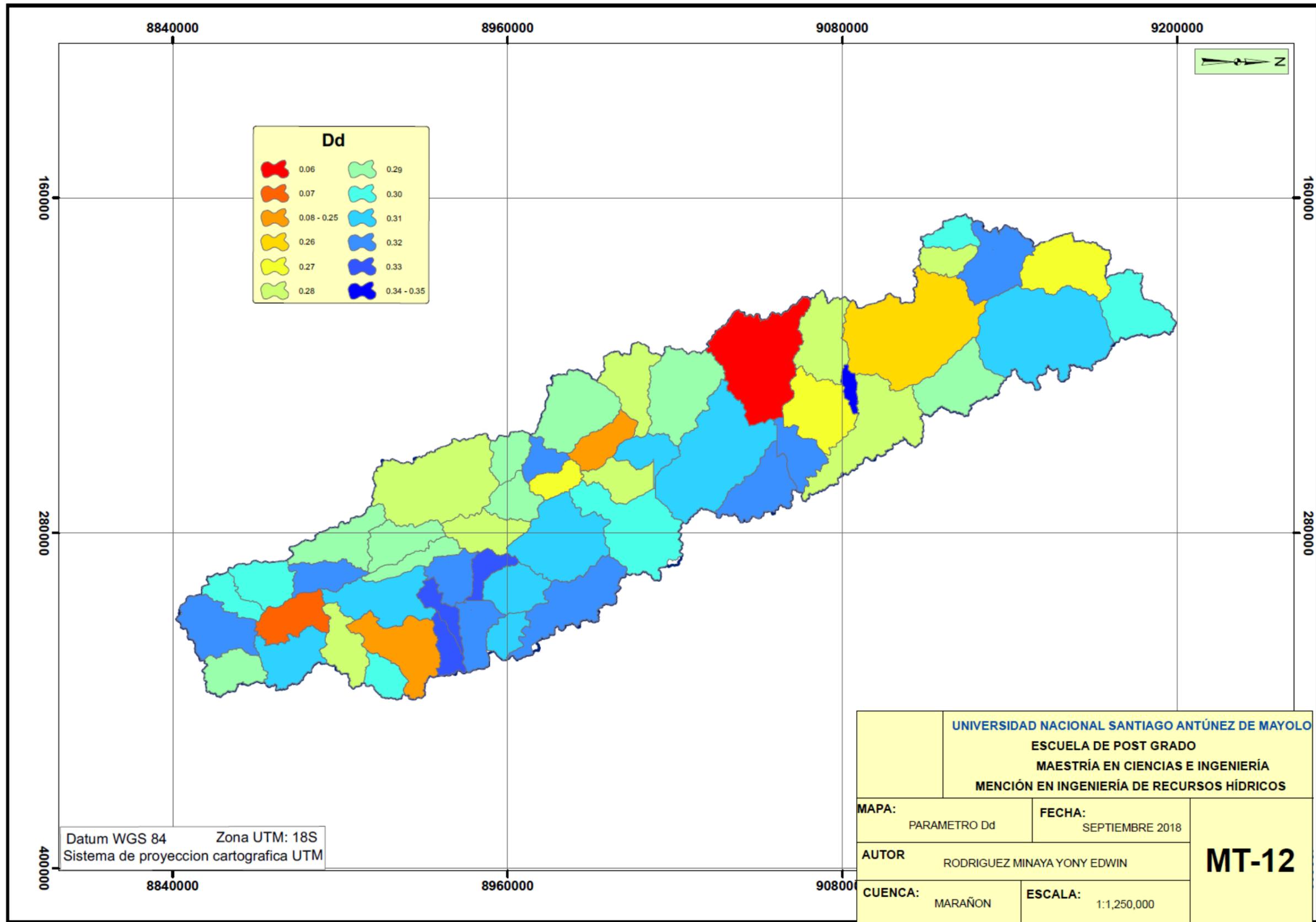


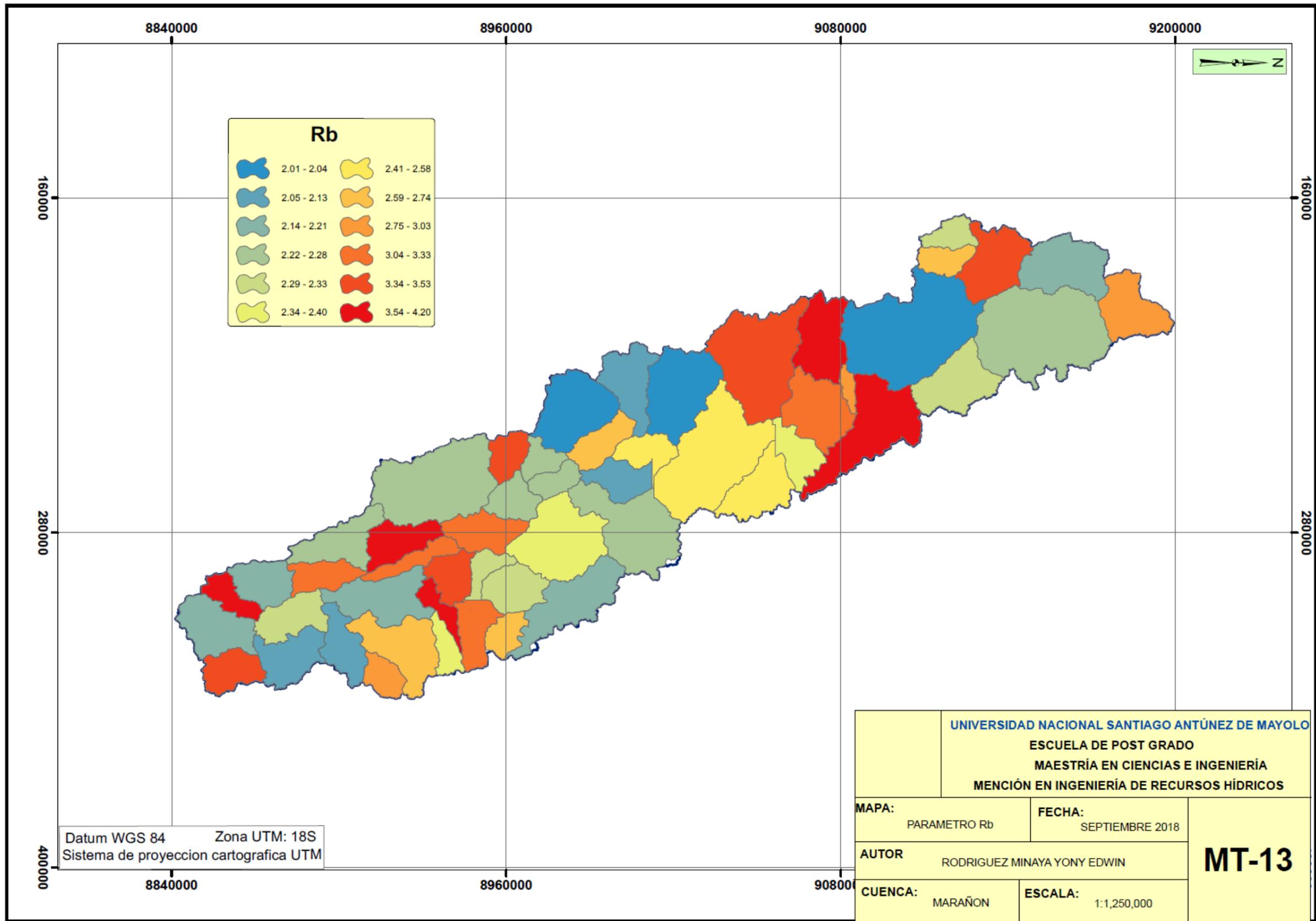






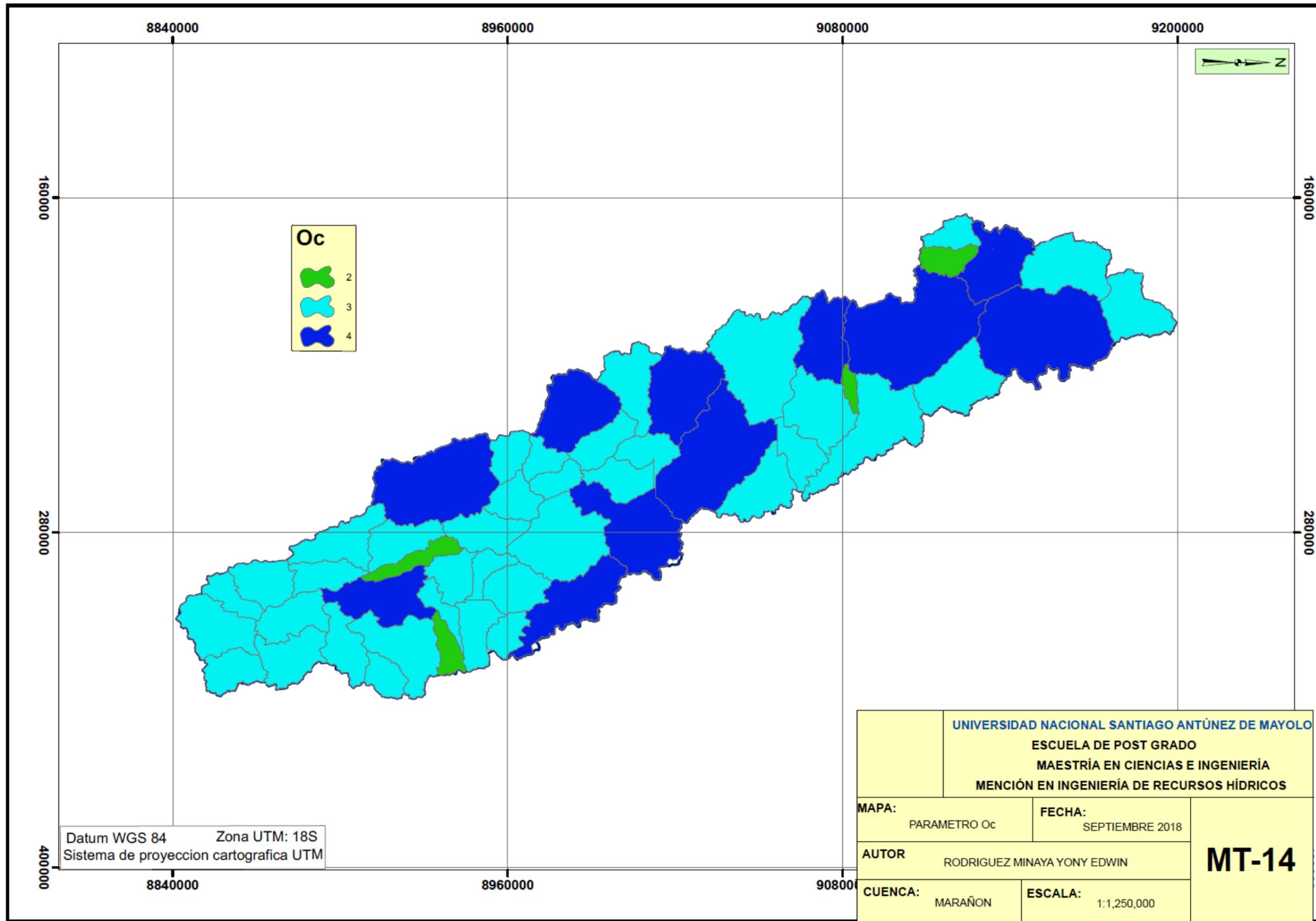






Datum WGS 84 Zona UTM: 18S
 Sistema de proyeccion cartografica UTM

UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO ESCUELA DE POST GRADO MAESTRÍA EN CIENCIAS E INGENIERÍA MENCIÓN EN INGENIERÍA DE RECURSOS HÍDRICOS		MT-13
MAPA: PARAMETRO Rb	FECHA: SEPTIEMBRE 2018	
AUTOR RODRIGUEZ MINAYA YONY EDWIN		
CUENCA: MARAÑON	ESCALA: 1:1,250,000	



Anexo 03: Matriz de consistencia lógica

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensión	Indicadores
<p><u>Problema general</u> ¿Existirán relaciones entre las variables geomorfométricas de las subcuencas de la cuenca Marañón?</p>	<p><u>Objetivo general</u> Determinar las relaciones entre los parámetros geomorfométricos de las subcuencas de la cuenca Marañón mediante GIS</p> <hr/> <p><u>Objetivos específicos</u> 1.- Delimitar las subcuencas empleando el sistema de información geográfica. 2.- Calcular los parámetros geomorfométricos de las subcuencas de la cuenca de Marañón mediante GIS. 3.- Hallar las relaciones entre los parámetros geomorfométricos de las subcuencas de la cuenca Marañón.</p>	<p><u>Hipótesis General</u> Existen relaciones significativas entre los parámetros geomorfométricos de las subcuencas de la Cuenca Marañón.</p>	<p>Se consideran los parámetros de forma, tales como coeficiente de compacidad, factor de forma, coeficiente de forma, relación de elongación, relación de circularidad, parámetros de relieve tales como altitud media, pendiente de la cuenca, pendiente del cauce principal, y parámetros de drenaje densidad de drenaje, relación de bifurcación, orden de las corrientes</p>	<p>X1: Parámetros de forma. X2: Parámetros de relieve. X3: Parámetros de drenaje.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Relación de perímetro y el área. - Relación de ancho y largo. - Relación de ancho medio y longitud. - Relación de diámetro y longitud media. - Relación de área del círculo y longitud. - m.s.n.m. - porcentaje - km/km² - Cantidad.