



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE LOS MÁRGENES DE INUNDACIÓN PARA LA CUENCA SAN  
FRANCISCO HASTA SU CONFLUENCIA CON LA CUENCA SANTA BARBARA AL SUR  
DEL ECUADOR EN LA PROVINCIA DE AZUAY**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Civil

AUTOR: JOSÉ LUIS TAPIA ZAMBRANO

TUTOR: ING. CHRISTIAN PAÚL MERA PARRA, MSc.

Cuenca - Ecuador

2023

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, José Luis Tapia Zambrano con documento de identificación N° 0104947585, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 01 de julio del 2023

Atentamente,



---

José Luis Tapia Zambrano

0104947585

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, José Luis Tapia Zambrano con documento de identificación N° 0104947585, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto de investigación: “Análisis de los márgenes de inundación para la cuenca San Francisco hasta su confluencia con la cuenca Santa Barbara al sur del Ecuador en la provincia de Azuay”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 01 de julio del 2023

Atentamente,



---

José Luis Tapia Zambrano

0104947585

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Christian Paúl Mera Parra con documento de identificación N° 1804404034, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LOS MÁRGENES DE INUNDACIÓN PARA LA CUENCA SAN FRANCISCO HASTA SU CONFLUENCIA CON LA CUENCA SANTA BARBARA AL SUR DEL ECUADOR EN LA PROVINCIA DE AZUAY, realizado por José Luis Tapia Zambrano con documento de identificación N° 0104947585, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto de investigación que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 01 de julio del 2023

Atentamente,



---

Ing. Christian Paúl Mera Parra, MSc.

1804404034

## **Dedicatoria**

El presente trabajo se lo dedico a las personas más importantes en mi vida, quienes han estado a mi lado en cada paso del camino y quienes fueron mi fuente constante de amor, apoyo y motivación.

En primer lugar, se lo dedico a mis padres por la gran lucha que han realizado al inculcarme el valor del esfuerzo, perseverancia y dedicación; y sobre todo su confianza por lo que puedo lograr cumplir mis sueños y metas a pesar de todos los percances que han surgido durante el transcurso de mi formación profesional. También quiero dedicar este trabajo a mis hermanos y hermana, quienes siempre se han encontrado a mi lado, animándome y brindándome su apoyo incondicional. Cada uno de ustedes: padre, madre, hermana, hermanos y resto de familia me han enseñado que el trabajo en equipo y la solidaridad son fundamentales para lograr alcanzar las metas y sueños que nos proponemos y que en este caso lo ha logrado mi persona.

En mi trayectoria académica he tenido la fortuna de contar con excelentes personas tanto profesionales como no profesionales, mismos que han sido mis mentores los cuales sin egoísmo me han brindado de sus conocimientos y experiencias haciendo que desafíe mis propios límites y logre perseverar. Por tanto, sus enseñanzas y consejos siempre estarán presente en mi camino tanto personal como profesional.

Por último, no puedo olvidar a mi pareja y amigos, que han sido mi compañía en esta travesía, con su apoyo incondicional, las risas compartidas, todos y cada uno de los momentos compartidos, que me han hecho creer y valorar que verdaderamente existen personas sinceras y amistades con la que se puede contar. Sin embargo, también quiero dedicar este trabajo aquellas personas que, de una u otra manera, han contribuido con mi crecimiento y formación.

## **Agradecimiento**

Quiero empezar expresando mi agradecimiento a Dios quien me dio la vida y me ha dado la dicha de tener una gran familia que me acompaña incondicionalmente; adicionalmente por que ha sido quien ha puesto a muchas personas en mi camino las mismas que han sido de mucha ayuda para salir adelante.

En primer lugar, quiero dar mi más sincero agradecimiento a mi tutor de tesis por su dedicación y orientación experta. Su apoyo constante y su compromiso con mi éxito académico que han sido fundamentales para lograr alcanzar los resultados obtenidos.

No puedo dejar de mencionar también aquellos docentes y compañeros de clases que estuvieron a lo largo de mi carrera y han contribuido a mi formación y desarrollo como estudiante.

Además, quiero agradecer a mi familia y amigos por su apoyo incondicional. Quienes han sido mi mayor fuente de motivación y fortaleza durante este proceso. Cada palabra de aliento y ánimo han sido el combustible que me ayudó a impulsarme a seguir adelante cuando las cosas se volvían difíciles.

## **Resumen**

Mediante la propuesta de este trabajo de investigación se busca identificar mediante el modelamiento realizado en un sistema de información geográfica SIG y en el software HEC-RAS (Ras Mapper) las llanuras de inundación a periodos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años sobre la cuenca del río San Francisco en el cantón Gualaceo; estableciendo cada uno de los parámetros morfológicos necesarios para dicho análisis; mediante la utilización de un modelo de elevación digital corregido mediante el método de sombreado topográfico para establecer aquellos grupo hidrológico que nos servirá para comprender la composición del uso y cobertura del suelo; adicionalmente, con datos de precipitaciones máximas en 24 horas tomado de las estaciones meteorológicas anexas a la cuenca, obtener caudales máximos mismos que seran procesados a la par con ciertos parámetros como la intensidad diaria, duración de tormenta relacionados a la cuenca para obtener de esta forma la simulación y representación sobre el alcance de la inundación, la cual pueda ser tomada por diferente tomadores de decisiones para mitigación de riesgos y la implementación de obras de construcción.

### ***Palabras claves***

*Banda espectral, depuración de datos, escorrentía, firma espectral, geoespacial, imagen satelital sentinel, interpolación, márgenes de inundación, modelo de elevación digital, morfología, número de curva, Ras Mapper, reflectividad, resolución espectral, resolución temporal, SIG, teledetección, tiempo de retorno, uso y cobertura del suelo, vulnerabilidad.*

## **Abstract**

Through the proposal of this research work, it is sought to identify, through the modeling carried out in a GIS geographic information system and in the HEC-RAS (Ras Mapper) software, the floodplains at return periods of 20, 50, 100, 200 and 500 years over the San Francisco river basin in the Gualaceo canton; establishing each of the morphological parameters necessary for said analysis; through the use of a digital elevation model corrected by the topographic shading method to establish those hydrological groups that will help us to understand the composition of land use and cover; additionally, with data of maximum rainfall in 24 hours taken from the meteorological stations attached to the basin, obtain maximum flows that will be processed along with certain parameters such as daily intensity, storm duration related to the basin to obtain in this way the simulation and representation of the scope of the flood, which can be taken by different decision makers for risk mitigation and the implementation of construction works.

### ***Keys words***

*Spectral band, data cleaning, runoff, spectral signature, geospatial, sentinel satellite imagery, interpolation, flood margins, digital elevation model, morphology, curve number, Ras Mapper, reflectivity, spectral resolution, temporal resolution, GIS, remote sensing, return time, land use and cover, vulnerability.*



## Índice de Contenido

CAPÍTULO I .....	14
INTRODUCCIÓN .....	14
CAPÍTULO II.....	16
PROBLEMA.....	16
2.1 ANTECEDENTES .....	16
2.2 IMPORTANCIA Y ALCANCES.....	17
2.3 DELIMITACIÓN .....	17
2.4 OBJETIVOS .....	19
2.4.1 OBJETIVO GENERAL .....	19
2.4.2 OBJETIVO ESPECIFICO .....	19
CAPÍTULO III.....	20
REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	20
3.1 Parámetros morfológicos: .....	20
3.1.1 Ancho de la cuenca .....	20
3.1.2 Área de la cuenca .....	20
3.1.3 Desnivel altitudinal .....	20
3.1.4 Hidrometría .....	21
3.1.5 Longitud de la cuenca .....	21
3.1.6 Parámetro de forma .....	21
3.1.7 Parámetro de relieve.....	22
3.1.8 Perímetro de la cuenca .....	22
3.1.9 Precipitación.....	22

3.1.10 Red de drenaje.....	23
3.1.11 Escorrentía.....	23
3.2 Teledetección .....	23
3.2.1 Banda espectral .....	24
3.2.2 Barrido multiespectral.....	24
3.2.3 Clasificación digital.....	24
3.2.4 Corrección por sombreado topográfico.....	25
3.2.5 Correcciones atmosféricas.....	25
3.2.6 Firma espectral .....	25
3.3 Modelo de elevación digital.....	26
3.3.1 Nivel digital.....	26
3.3.2 Reflectividad .....	27
3.3.3 Satélite sentinel 1, 2 .....	27
3.3.4 Hidrología: .....	27
3.3.5 Modelos semidistribuido.....	28
3.3.6 Hietograma de diseño.....	28
3.3.7 Periodo de retorno .....	29
3.3.8 Escorrentía superficial.....	29
3.3.9 Sistema de información geográfica.....	30
3.3.10 HEC-RAS.....	30
3.3.11 Hidrogramas sintéticos.....	30
3.3.12 Hidrogramas de respuesta .....	30
3.3.13 Precipitación máxima en 24 horas .....	31

CAPÍTULO IV.....	32
MARCO METODOLÓGICO.....	32
4.1 Geoprocesamiento.....	32
4.2 Pre procesamiento de imágenes satelitales .....	33
4.3 Post procesamiento .....	37
4.4 Depuración de datos.....	39
4.5 Precipitaciones máximas en 24 horas .....	40
4.6 Caudales para diversos periodos de retorno.....	40
4.7 Modelamiento en HEC-RAS/RAS MAPPER .....	41
4.8 Mapas de inundación .....	42
CAPÍTULO V.....	43
RESULTADOS.....	43
5.1 Geoprocesamiento.....	43
5.2 Pre procesamiento.....	45
5.3 Post procesamiento .....	48
5.4 Depuración.....	51
5.5 Caudales.....	56
5.6 Mapas de inundación .....	59
CAPÍTULO VI.....	62
CRONOGRAMA.....	62
CAPITULO VII .....	63
PRESUPUESTO.....	63
CAPITULO VIII.....	64

CONCLUSIONES .....	64
CAPITULO IX.....	67
RECOMENDACIONES.....	67
CAPITULO X.....	68
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	68
CAPITULO XI.....	74
ANEXOS .....	74

### **Índice de tablas**

Tabla 1 SENTINEL 2 .....	34
Tabla 2 Número de Curva en Base al Uso y Cobertura del Suelo.....	38
Tabla 3 Parámetros Morfológicos de la cuenca San Francisco .....	43
Tabla 4 Áreas del uso y cobertura del suelo .....	49
Tabla 5 Áreas correspondientes a cada grupo hidrológico .....	51
Tabla 6 Precipitación máxima en 24 horas .....	51
Tabla 7 Media, Desviación estándar y coeficiente de variación.....	53
Tabla 8 Límites superior e inferior .....	53
Tabla 9 Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de retorno.....	56
Tabla 10 Valores medios mediante la interpolación IDW .....	57
Tabla 11 Intensidad, precipitación y caudal para cada Tr .....	58
Tabla 12 Presupuesto referencial.....	63

## Índice de figuras

Figura 1	Ubicación Geográfica de la cuenca San Francisco.....	18
Figura 2	Modelo de Elevación Digital a la forma de la cuenca San Francisco .....	45
Figura 3	Imágenes Sentinel con bandas 2, 8A y 11 – sin procesar.....	46
Figura 4	Imágenes Sentinel con corrección por sombreado topográfico.....	47
Figura 5	Combinación de bandas/Combinación de imágenes sentinel.....	48
Figura 6	Uso y cobertura del suelo .....	49
Figura 7	Número de Curva .....	50
Figura 8	Valores máximos anuales de cada estación.....	54
Figura 9	Vector de regionalización.....	55
Figura 10	Vector de ajuste .....	55
Figura 11	Precipitaciones máximas a diversos periodos de retorno .....	56
Figura 12	Ubicación estación M0139 - Gualaceo.....	57
Figura 13	Caudales a diferentes tiempos de retorno.....	59
Figura 14	Composición de las secciones transversales.....	60
Figura 15	Datos hidráulicos de las inundaciones.....	61
Figura 16	Cronograma de actividad.....	62

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

En un escenario global las inundaciones son fenómenos que a lo largo del tiempo han provocado severos daños en sectores urbanos y rurales consolidados, ubicados en los márgenes de los ríos, generando tanto pérdidas humanas como daños materiales. Siendo este fenómeno probablemente uno de los desastres naturales que acarrea el peor daño en un marco generalizado. Sin embargo, debido a que las inundaciones son un fenómeno natural las cuales pueden llegar a concebir importante e innumerables efectos ambientales y sociales positivos, particularmente en zonas o regiones que hayan experimentado sequías prolongadas, estas no siempre vendrán demostrando impactos negativos sino también aportando grandes beneficios (Teng, y otros, 2017).

El peligro y riesgo de inundaciones en la zona de estudio no han sido evaluadas. Además, incluso en zonas donde se utilizan enfoques establecidos de hidráulica fluvial para delinear áreas con riesgo potencial de desborde, las inundaciones repentinas continúan sorprendiendo a los residentes locales (Bates, 2022). Por lo que, para determinar el alcance y efecto de las inundaciones, es crucial realizar un análisis en base a las precipitaciones de alta intensidad sobre las cuencas potencialmente vulnerables estableciendo áreas que se encuentran propensas a sufrir este tipo de riesgo o desastre, para que aquellos datos obtenidos puedan ser utilizados por parte de tomadores de decisiones para la realización de políticas de planificación territorial.

Se resalta una deliberación ante las acciones antropogénicas contribuidas a las inundaciones mediante el análisis, revisión y síntesis de la información pertinente al tema, resaltando en que existen ciertos fenómenos naturales de intensa duración los cuales no son únicamente las causas de los desastres; por lo que, también, tiene incidencia los planes de gobiernos locales y/o regionales que no han llegado a tomar en cuenta o trabajar en la prevención de riesgos

como lo son: la planificación de proyectos de reconstrucción e implementación, la construcción social del riesgo, a fin de minorizar la vulnerabilidad en el desarrollo local, priorizando de cierta forma tanto la justicia social como la protección del medio ambiente para intensificar la reducción de posibles desastre a futuro (Sedano Cruz, Carvajal Escobar, & Ávila Díaz, 2013).

## CAPÍTULO II

### PROBLEMA

#### 2.1 ANTECEDENTES

Debido a que, ciertas características climatológicas del Ecuador al igual que las de la región sur, responde a una variedad de factores que alteran su entorno natural, tales como: latitud, geografía, elevación del suelo, dirección de las cadenas montañosas, vegetación, aproximación y distanciamiento del mar, corrientes oceánicas y vientos. El Ecuador se encuentra dentro del cinturón de bajas presiones que alberga la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Debido a esto, ciertas zonas del país están expuestas a la influencia alternativa de masas de aire con características de temperatura y humedad (Equipo Consultor. PDOT LCV, 2021).

Actualmente, las bases de datos geoespaciales con Sistemas de Información Geográfica (SIG), son muy utilizados en el medio para la determinación y evaluación de los factores de distribución temporal y espacial de las cuencas hidrográficas, permitiendo así el manejo y la creación de Modelos de Elevación Digital (DEM), los cuales representan la topografía del terreno con la respectiva delimitación de sus cuencas (Zhicay Lombaida, 2020).

En un escenario global de cambio climático y degradación de las cuencas hidrográficas es imprescindible realizar análisis de los efectos de eventos de precipitaciones de alta intensidad sobre los márgenes o llanuras de inundación. Los sectores de San Francisco, Pisgaray, Zumblid, son potencialmente vulnerables; debido a que, los desbordamientos del río que han surgido a lo largo del tiempo han puesto en alerta a la gran mayoría de los cantones, como lo es en este caso en el cantón Gualaceo en donde el desbordamiento del río San Francisco ha afectado a más de 20 familias que se encuentran ubicadas en las inmediaciones del río. Por lo tanto, una de las soluciones que se plantea es el mapeo de las zonas inundables y las rutas de flujo, cuyos datos y resultados



pueden ser utilizados para que tomadores de decisiones tomen acciones a fin de aminorar los riesgos.

## **2.2 IMPORTANCIA Y ALCANCES**

Dada la escasa información entorno a las llanuras de inundación y la potencial vulnerabilidad de los sectores en las inmediaciones de la cuenca, se propone realizar un estudio hidrológico e hidráulico tomando en consideración la ocurrencia de precipitaciones a diferentes periodos de retorno que a su vez han provocado daños de socavaciones, debido a las condiciones meteorológicas extremas. Por lo tanto, se pretende realizar el estudio hidráulico fluvial con el mapeo de llanuras de inundación en una de las zonas vulnerables del cantón Gualaceo sector San Francisco con el cual se pueda brindar una solución a la problemática que se ha venido suscitando en el sector ya varios años atrás; en tanto que, esta información que se genere pueda ser utilizada para futuras acciones de planificación territorial por parte de tomadores de decisiones.

Obteniendo los mapas de inundaciones se considera el posible alcance de los niveles excesivos de agua a diferentes periodos de retorno en caso de caudales extremos, para que los técnicos responsables puedan brindar y mantener la seguridad de todos los residentes de la zona. Así, permitiendo proteger los ríos, especialmente en las llanuras aluviales, para que las inundaciones no afecten la infraestructura, las tierras agrícolas, las viviendas y la vida de las personas.

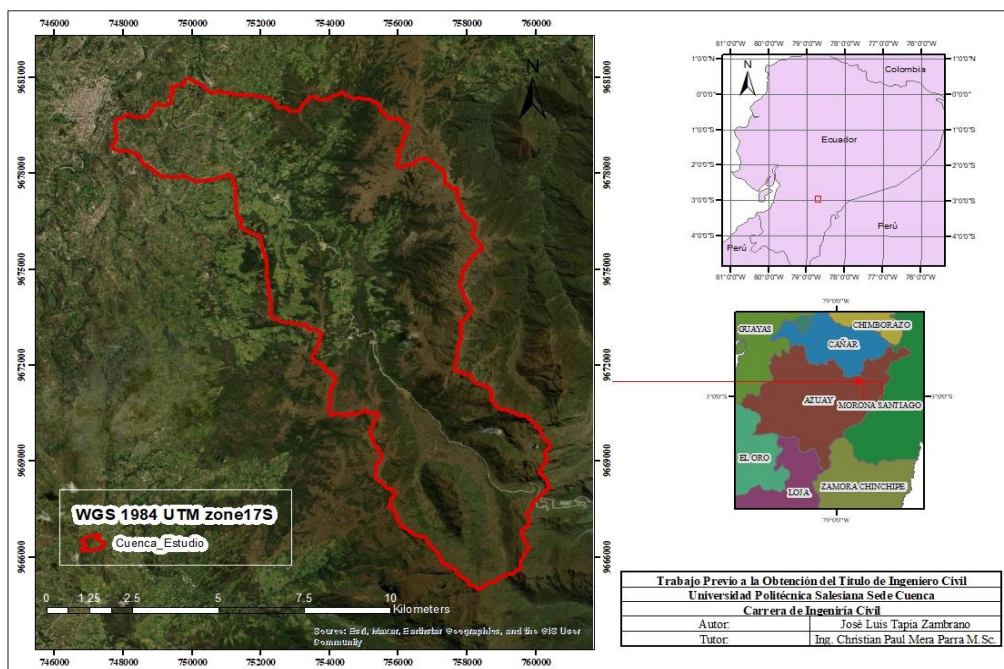
## **2.3 DELIMITACIÓN**

La cuenca del río San Francisco tomada para este análisis se encuentra localizada en el cantón Gualaceo, provincia de Azuay a 300 km al sur de Quito, capital del país “figura 1”. Este río es parte de la demarcación hidrográfica de Santiago y de la cuenca del río Amazonas, por ser

uno de los afluentes del río Paute, a través de que este drena su cauce a la subcuenca del río Santa Barbara. Esta cuenca nace en las lagunas de Maylas con coordenadas  $2^{\circ}53'44''\text{S}$  y  $78^{\circ}46'29''\text{O}$  a una altura máxima de 3319 m.s.n.m., al oriente del cantón descendiendo agua abajo hasta alcanzar una altura mínima de 2255 m.s.n.m. desarrollando una diferencia altitudinal de 1064 m.s.n.m. y una pendiente del cauce del 5.947 m/m. Esta cuenta comprende un área del cauce principal de  $80.004 \text{ km}^2$ , conformada por 16 quebradas en su extensión; en base a la ubicación política territorial de esta cuenca está correspondido en un 91.55% perteneciente al cantón de origen mientras que 8.54% corresponde al cantón vecino llamado Chordeleg.

Por lo tanto, en base a la topografía del área de análisis de esta cuenca cuenta con un perímetro de 55.276 km con una longitud del cauce principal correspondiente a 17.889 km y una longitud total de los cursos de agua en la cual se incluyen perennes e intermitentes de 39.967 km, ancho de la cuenca de 4.32km y una precipitación máxima en 24 horas en un periodo de 20 años de registro de 68.29 mm.

Figura 1 Ubicación Geográfica de la cuenca San Francisco



## **2.4 OBJETIVOS**

El presente proyecto beneficiara de forma significativa y directa a los residentes en las inmediaciones del río San Francisco en los sectores de San Francisco, Pisgaray y Zumblid y de forma indirecta a los diferentes técnicos tomadores de decisiones para futuras acciones de planificación y/o construcción.

### **2.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar los márgenes de inundación generados por crecidas del río San Francisco a través de un estudio hidrológico e hidráulico tomando en cuenta diferentes periodos de retorno, a fin de generar información de utilidad para la reducción de vulnerabilidad de infraestructura civil ante eventos meteorológicos extremos.

### **2.4.2 OBJETIVO ESPECIFICO**

- Generar un escenario de uso y cobertura del suelo para condiciones actuales a través de técnicas de teledetección, para la cuenca correspondiente a la zona de estudio.
- Obtener valores de intensidad máxima para periodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 años, considerando los registros diarios de precipitación de las estaciones con un mismo régimen, incidentes a la cuenca.
- Calcular la respuesta hidrológica de la cuenca para el escenario actual y procesar los caudales obtenidos con las rutas de flujo en el modelo hidráulico HECRAS.
- Procesar los datos de salida obtenidos en HECRAS en un sistema de información geográfica y generar mapas con las llanuras de inundación obtenidas.

## CAPÍTULO III

### REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 3.1 Parámetros morfológicos:

El drenaje de una cuenca es una manifestación de la escorrentía superficial concentrada y estratificada en los cauces, lo que implica un proceso dinámico, ya que se requiere del movimiento del agua y su concentración gradual en colectores cuyas dimensiones son proporcionales a la cantidad. Sin embargo, esta dinámica nunca se manifiesta con una intensidad constante y depende de la interacción de muchos factores (Senciales Gonzáles, 1998).

##### 3.1.1 *Ancho de la cuenca*

Es la que se define mediante una relación entre el área de la cuenca y su longitud axial (Lux Cardona, 2016). Es decir, la distancia horizontal entre los bordes opuestos de una cuenca hidrográfica, dependientes de factores, como el relieve del terreno, la erosión y la geomorfología.

##### 3.1.2 *Área de la cuenca*

Lux Cardona (2016), define al área de la cuenca, en general como “la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje del sistema de drenaje que desemboca directa o indirectamente en el mismo cauce natural y que corresponde a la superficie delimitada por la cuenca del área de estudio; sin embargo, este parámetro expresado en  $\text{km}^2$  es extremadamente importante porque el error de medición afecta directamente los resultados, por lo que se necesitan mediciones comparativas para estar completamente seguro y tener una fiel confianza de este valor”.

##### 3.1.3 *Desnivel altitudinal*

Es aquel parámetro o valor tomado resultado de aquella diferencia entre la cota más alta de la cuenca y a su vez la cota más baja de la misma.

### **3.1.4 Hidrometría**

Es aquel termino que forma parte de la hidrología diseñada para medir la cantidad de agua que pasa por un transcorre por medio de un conducto en un periodo de tiempo determinado, siendo este responsable de analizar la disposición y asignación eficientemente de los recursos hídricos (Flores Saira, 2018).

### **3.1.5 Longitud de la cuenca**

Es la única variable cuya extensión está definida de cierta manera con una medida directa. La cual se determina utilizando varios criterios que estarían directamente relacionados con las características que se desea resaltar. Por lo que, Jardi (1985) indica que “si se intenta analizar el comportamiento hidrológico de una cuenca, la medida de la longitud de la misma esta deberá coincidir con el máximo recorrido del agua; es decir, se deberá tomar la longitud del curso principal. Ahora bien, si, por el contrario, lo que se desea conocer es, únicamente, la forma geométrica de la cuenca sin más consideraciones, la longitud que deberá elegirse será la de la máxima distancia en línea recta dentro de la misma” (p. 46).

### **3.1.6 Parámetro de forma**

Según Villegas (2020) “la forma de una cuenca es determinante de su comportamiento hidrológico, es decir, cuencas de la misma área, pero con diversas formas pueden establecer diferentes respuestas hidrológicas e hidrogramas ante una lámina precipitada del mismo desarrollo y magnitud”. Por otra parte, en el mismo contexto se puede decir, que la forma de la cuenca determina la tasa de escorrentía superficial, presentando un comportamiento hidrológico diferente para cuencas hidrográficas que tengan una misma superficie, pero con formas diferentes en las cuales las mediciones del factor de forma se logran realizar utilizando métodos en los cuales se logre cubrir ambos objetivos.

### **3.1.7 *Parámetro de relieve***

Este parámetro comprende tres aspectos para su descripción, siendo el primero aspecto la pendiente media de la cuenca que contempla una relación compleja pero no importante con la infiltración, escurrimiento superficial, humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo de la corriente; siendo aquel el factor capaz de controlar la sincronización del flujo superficial con un efecto directo sobre la magnitud de la inundación. El segundo aspecto comprende a la elevación media o también denominada como la elevación promedio de una cuenca que tiene un impacto significativo correspondiente al régimen hidrológico, ya que afecta la cantidad de precipitación dentro del ciclo hidrológico de la cuenca. Y como tercer aspecto se tiene la pendiente y/o perfil del cauce principal que guardan relación a las características hidráulicas de la escorrentía, especialmente con la capacidad de propagación de la avenida y la transmisión de energía sedimentaria (Aguirre, 2007).

### **3.1.8 *Perímetro de la cuenca***

Al igual que con la superficie y todas las medidas lineales que se pueden medir en una representación en un mapa topográfico, cuando se calcula la longitud de la línea perimetral, realmente se mide la proyección en el plano horizontal, cuya medida es la que varía de la real dependiendo del terreno o pendiente de la línea. Por lo que, en cualquier caso, el error cometido es mucho menor que la propia medición y, por tanto, completamente despreciable (Jardi, 1985).

### **3.1.9 *Precipitación***

Parte desde un ciclo hidrológico en donde las gotas de agua de las nubes se vuelven suficientemente grandes como para caer bajo la influencia de la gravedad dando paso a la formación de cuencas hídricas. Según Zhicay Lombaida (2020) este término se refiere a cualquier tipo de humedad que escapa de la atmósfera y se deposita en la superficie terrestre, como lluvia,

granizo, neblina o nieve; como una fase del ciclo hidrológico que produce todos los caudales someros y profundos, cuya cuantificación y conocimiento de su distribución en el tiempo y el espacio se consideran importante en la hidrología. (p. 32)

### ***3.1.10 Red de drenaje***

Es aquel sistema desde un punto de vista ecológico como un ejemplo de autoorganización, categorizado en capas de canales que van desde pequeñas quebradas hasta ríos que confluyen entre sí para formar colectores principales de toda la cuenca; teniendo como función el transporte de materia y energía en el cauce. Por lo que, la morfología de la red, la densidad de drenaje y el orden jerárquico logran ser cruciales en el estudio de las propiedades biológicas y geomorfológicas dependientes del sistema (González de Matauco, 2004).

### ***3.1.11 Escorrentía***

Consiste en el agua que fluye sobre la superficie de la tierra luego de producirse un evento de precipitación pluvial o cualquier otro aporte de agua desplazándose a favor de las laderas hacia la cota más baja debido a la gravedad; la que permite que el agua se encuentre en la superficie del suelo sin que esta sea permeada se le denomina escorrentía superficial, mientras que la que ha sido infiltrada por el suelo y discurre por su interior se le denomina escorrentía subsuperficial (Ibáñez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, 2011).

## **3.2 Teledetección**

La teledetección espacial tiene ventajas únicas sobre otros medios de observación de la Tierra, como la teledetección desde el aire o trabajo de campo, aunque los datos satelitales en realidad no reemplazan las observaciones in situ que los complementan. En el caso de la teledetección, siempre se requieren observaciones en el lugar para calibrar los datos y, en última instancia, verificar la información obtenida (Sobrino, 2000).

### **3.2.1 Banda espectral**

Es aquella información referida la cual se muestra en un gráfico o diagrama el cual representa una distribución de energía en diferentes frecuencias o longitudes de onda en el espectro electromagnético; por lo que, puede ser descrito como una representación visual de la intensidad de la energía en función de la frecuencia o longitud de onda.

En el ámbito de la teledetección, la banda espectral se emplea para referirse a las diferentes bandas o rangos del espectro electromagnético que son utilizados para adquirir información sobre la Tierra desde los satélites. Cada banda tiene una sensibilidad específica a ciertos objetos o características de la superficie terrestre, como la vegetación, el agua o el suelo. Por ende, la combinación de diferentes bandas en una imagen permite adquirir información detallada sobre la composición y condiciones de la Tierra.

### **3.2.2 Barrido multiespectral**

Se refiere a la captura de múltiples espectros o rangos de longitud de onda de la radiación electromagnética en diferentes bandas del espectro en una sola pasada permitiendo realizar un análisis detallado facilitando la identificación y clasificación de diversos materiales y características de la superficie, mediante el uso de los sensores o cámaras que pueden recoger diferentes longitudes de onda de la radiación reflectada o emitida por la superficie de la Tierra. Por lo tanto, el barrido multiespectral es utilizado para obtener imágenes o datos satelitales que permiten identificar las diferentes características de la superficie de la Tierra, como vegetación, temperatura, humedad del suelo, calidad del agua, entre otros.

### **3.2.3 Clasificación digital**

Este término implica una clasificación multibanda (formación de varias capas con arreglos bidimensionales) en términos estadísticos, lo que implica la reducción continua de escala de



medidas de una variable, es decir, de niveles digitales a una escala categórica o nominal (Speranza & Zerda, 2005)

#### ***3.2.4 Corrección por sombreado topográfico***

Es aquel proceso en el cual es utilizado en el análisis de datos geoespaciales para correcciones de los efectos de la variación de iluminación en la superficie debido a su topografía buscando compensar estos efectos presentes en un modelo de elevación digital para producir una imagen más realista y consistente; generalmente este proceso implica el cálculo de la dirección e inclinación de la luz solar en cada punto del modelo de elevación digital generando una nueva imagen en la cual muestre la iluminación uniforme o normalizada en función de la topografía. Dicho proceso de corrección se logra mediante la simulación de la dirección e intensidad de luz solar en función de la ubicación geográfica y la hora del día.

#### ***3.2.5 Correcciones atmosféricas***

Son correcciones o ajustes que se realizan en las imágenes capturadas desde el espacio para corregir o eliminar el ruido de la señal producido por el viaje a través de la atmósfera hasta el satélite, puesto que los efectos de la distorsión de la señal provocan errores tanto en la posición como en el número de píxeles; obteniendo variaciones radiales y geométricas que no corresponden al tono, posición y tamaño del objeto (Brizuela, Aguirre, & Velasco, 2007). Por lo tanto, se determina que la atmósfera actúa como una especie de filtro por lo que distorsiona la información con respecto a la luz que se obtiene desde el espacio.

#### ***3.2.6 Firma espectral***

Cuando la energía electromagnética llega a la superficie de la Tierra, esta interactúa con cada tipo de material a través de la reflexión, la absorción o la transmisión de acuerdo con patrones de respuesta espectral específicos, brindando un comportamiento único de cada tipo de material

para que este pueda ser utilizado en los procesos de clasificación de imágenes y, a menudo, ser denominado como firma espectral (Hernández & Montaner, 2009).

Ciertas dificultades que la firma espectral arrastra para tener una determinación estable es aquel comportamiento que la vegetación tiene ante los cambios de fenómenos biológicos estacionales que ocurren con respecto al clima; otra de las dificultades presentes se basa en las condiciones de iluminación relacionadas con la topografía de la superficie es decir aquella que tiene relación con la pendiente y la orientación, la elevación y azimut relacionadas a la posición del sol durante el año y aquellas condiciones de humedad presentes en la vegetación y el suelo proporcionando variaciones considerables a este modelo de respuesta espectral.

### **3.3 Modelo de elevación digital**

Es aquella representación gráfica y matemática de los valores de elevación relativos al nivel medio del mar que puede describir el tipo de terreno y las características u objetos dentro del mismo. Por lo que, en este contexto, el termino elevación enfatiza en el concepto de medición de altura relativa a puntos de referencia y la generación de un patrón de valores de altura absolutos (Fallas, 2007).

#### **3.3.1 Nivel digital**

Este término se refiere al rango de valores que pueden adquirir los píxeles, y este rango puede variar dependiendo de la escena observada y del sensor utilizado. También se puede identificar como el número de bits que se utilizan para codificar la información de una imagen por lo que, los píxeles representan una cantidad de información que puede ser expresada en forma de valores digitales. Por lo tanto, un mayor nivel digital permite una mayor precisión en la representación de los objetos en la imagen y puede ser importante en aplicaciones donde se

requiere una alta resolución espacial o espectral; considerando que estos niveles altos pueden llegar a tener un costo de almacenamiento y procesamiento alto debido a que requieren más espacio.

### **3.3.2 Reflectividad**

Los diferentes tipos de coberturas terrestres ya sean bosque, tierra cultivada, pastizales, pajonales láminas de agua y otros tipos de coberturas son caracterizados por la energía que estos reflejan y emiten; por lo tanto, siendo estos espectros aquellos que caracterizan un tipo de cobertura obteniendo de esta forma su firma espectral (Alonso, Moreno, & Rodríguez, 1999).

### **3.3.3 Satélite sentinel 1, 2**

Sentinel 1 o radar de apertura sintético (SAR), consta de dos satélites (sentinel 1A y sentinel 1B) de órbita polar con imágenes de radar capaz de capturar datos diurnos y nocturnos para servicios terrestres y marítimos orbitando la Tierra con un desfase de 180° para tomar imágenes de la totalidad de la Tierra en un lapso de tiempo de seis días, operando con un sensor de radar de apertura con banda C (Instituto Geografico Nacional, 2023).

Sentinel 2 o imágenes multiespectrales de alta resolución, consta de dos satélites multiespectrales idénticos (sentinel 2A y sentinel 2B) en órbita polar separados 180° que monitorean la Tierra proporcionando imágenes optimas cambio tanto de vegetación, suelo y agua como tambien aquellas vías navegables internas, las zonas costeras e información sobre los servicios de emergencia (Instituto Geografico Nacional, 2023).

### **3.3.4 Hidrología:**

Según (Villón Béjar, 2004) “la hidrología es aquella ciencia natural que estudia el agua, su origen, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluido los seres vivos.”.

### **3.3.5 Modelos semidistribuido**

Son aquellos modelos que dividen una cuenca hidrográfica en subcuencas más pequeñas y consideran la repuesta individual de cada subcuenca. Estos modelos se basan en la suposición de que la precipitación y otras variables hidrológicas afectan de manera similar a todas las subcuencas dentro de un área determinada. Por lo tanto, se simplifica el análisis al tratar a cada subcuenca como una unidad homogénea y representativa de la cuenca en su conjunto.

A diferencia de los modelos completamente distribuidos, no se considera una resolución espacial detallada en cada subcuenca; por lo que, para describir los modelos semidistribuido es necesario e importante identificar ciertos aspectos como: la división de la cuenca, utiliza límites naturales como las divisorias de aguas para dividir la cuenca hidrográfica en subcuencas pequeñas; la caracterización de subcuencas, abordando cada subcuenca su propia característica mediante variables como el área, pendiente, capacidad de infiltración, vegetación y distribución espacial de los suelos contribuyendo a la determinación de la respuesta hidrológica; modelos de respuestas hidrológicas, que representan la respuesta de cada subcuenca ante la precipitación y otras variables hidrológicas mediante ecuaciones simplificadas; y la integración de subcuencas, que representan la estimación de la respuesta hidrológica de toda la cuenca considerando el área de cada una de las subcuencas.

### **3.3.6 Hietograma de diseño**

Es aquel gráfico que expresa una relación entre la precipitación en función del tiempo, tomado como la distribución de la precipitación dentro de las cinco horas más lluviosas que probablemente ocurran en un área con un periodo de retorno de 100 años. También un hietograma se puede diseñar con referencia a un día o tormenta específica, aunque en otros casos se refiere a un periodo de tiempo más largo, como meses o años; se usan registros diarios para su

representación gráfica cuando se trata de tiempos de duración en años o meses (Genovez Muñoz, 2018).

### **3.3.7 *Periodo de retorno***

Sirve para estimar la probabilidad de ocurrencia de un evento hidrológico, es decir, el tiempo promedio en el cual se espera entre la ocurrencia de un evento de determinada magnitud. En otro contexto se puede entender como el tiempo promedio que debe transcurrir para que se presente un evento igual o mayor al evento en cuestión. Por lo tanto, este término es de muy buena utilidad en la planificación y diseño de obras hidráulicas, como también en la estimación de desastres con respecto a inundaciones, ya que permite estimar la magnitud máxima que debe ser considerada para diseños e implementación de estructuras de prevención.

### **3.3.8 *Escorrentía superficial***

También conocida como escorrentía directa es la precipitación que no se infiltra fácilmente por la gravedad y no llega a la red de drenaje superficial; correspondiendo además a una precipitación que no se queda en concavidades del suelo y evita la evapotranspiración. Cuando se presenta una precipitación, el proceso que este describe del agua depende de las peculiaridades del terreno como la primera cantidad de precipitación aprovechada para llenar la capacidad de resistencia de las partes superficiales de las plantas y saturar el suelo; por otra parte, cuando la capacidad de infiltración es menor que la intensidad de una tormenta, el flujo comenzará a moverse sobre la superficie del terreno formando una fina capa de agua. No obstante, el flujo de agua dependerá de la pendiente del terreno y la influencia de la gravedad para moverse y a su vez este será frenado por toda aquella irregularidad del suelo y la vegetación presente en el mismo hasta poder ser incorporado hacia la red de drenaje en donde se une a los demás componentes que conforman una escorrentía total.

### **3.3.9 Sistema de información geográfica**

Es un sistema computarizado para adquirir, almacenar, analizar y mostrar información geográfica (García Gonzáles, 2006).

### **3.3.10 HEC-RAS**

Por sus siglas en inglés conocido como HEC centro de ingeniería hidrológica y RAS como sistema de análisis de ríos, es un sistema integrado de software, diseñado para el uso interactivo en un entorno multitarea para el análisis hidráulico y de inundaciones en ríos y canales. Es una herramienta que permite modelar y simular el flujo del agua en sistemas fluviales para estudiar los efectos de inundaciones. Además, con este software es posible analizar y predecir la propagación de inundaciones, evaluar el comportamiento de corrientes y ríos, y diseñar estructuras y medidas de control de riesgo por este fenómeno conocido como inundación.

### **3.3.11 Hidrogramas sintéticos**

Es el que retiene todas las propiedades de los hidrogramas unitarios, es decir, aquel que puede calcular la difusión de la cuenca o el almacenamiento de la misma, pero que no requiere datos de lluvia y escurrimiento. Este hidrograma se deriva de la teoría y la experiencia como objeto de estimar el retraso de la cuenca mediante una fórmula o procedimiento determinado para modelar la extensión de la cuenca.

### **3.3.12 Hidrogramas de respuesta**

Es definido como un hidrograma de escurrimiento directo el cual representa la cantidad real de lluvia o una fracción mayor de una unidad, generalmente de un milímetro de duración y distribuida uniforme en una cuenca (Vasconez, y otros, 2019).

### ***3.3.13 Precipitación máxima en 24 horas***

Es aquella cantidad total de lluvia, nieve o cualquier otro tipo de precipitación que cae en un periodo de tiempo de 24 horas. Es utilizado como un indicador de la intensidad de una precipitación y puede ser de gran importancia en áreas propensas a inundaciones o desastres naturales. Esta medida es utilizada para evaluar la capacidad de un área para lidiar con grandes cantidades de agua en un corto periodo de tiempo, por lo que, si la precipitación en 24 horas supera la capacidad de drenaje de un cauce, esta puede albergar grandes inundaciones y daños colaterales a infraestructuras en sus inmediaciones.

## CAPÍTULO IV

### MARCO METODOLÓGICO

#### 4.1 Geoprocesamiento

En este estudio hidrológico orientado a las llanuras de inundación se presenta como primer componente la determinación de los parámetros tanto físicos como morfométricos de la cuenca en estudio, ya que diversas características físicas de la misma nos brindaron el comportamiento del cauce, por lo que, se pudo corroborar los resultados obtenidos del análisis de inundación. Para la obtención de aquellos parámetros requeridos como: el perímetro, el área, la longitud total del curso de agua en el que se incluye perennes e intermitentes, la longitud del cauce principal, la pendiente, los niveles máximos y mínimos de altitud, la diferencia de nivel y el tiempo de concentración; se descargó un modelo de elevación digital (MED/DEM) correspondiente a la zona de estudio “AP\_27599\_PLR\_F7130\_RT1” desde el portal ALASKA SATELLITE FAIRBANKS ALOS PALSAR (ASF) debido a que nos proporcionó una resolución de 12x12 metros por pixel; información que se obtuvo con fecha de descarga el 7 de mayo del 2023, año presente en el que se realizó el análisis. El DEM requerido para el análisis de la cuenca San Francisco se obtuvo realizando una búsqueda en el portal ASF, el cual era un archivo que contenía un modelo ya orto rectificado, geo codificado y radiométricamente corregido en su extensión geográfica, es decir, con todas las correcciones correspondiente a la teledetección satelital “archivo post procesado” modelo que además contenía una información correspondiente a una superficie más amplia de la que se necesitaba; por lo que, en el sistema de información geográfica (SIG-ArcMap) utilizado para generar este trabajo, se realizaron ciertos recortes que para su primera instancia fue para poder optimizar los recursos del computador y posteriormente para lograr una mejor descripción de la cuenca únicamente con aquella información necesaria para el requerimiento de los parámetros



descritos anteriormente, generando la delimitación de la cuenca en base a las coordenadas desde Google Earth de la zona más alta del río San Francisco en donde nace su cauce principal y el punto de convergencia en la zona baja con el río Santa Barbara mediante el uso de las herramientas de geoprocésamiento del SIG. Finalmente, para haber obtenido el modelo de elevación digital óptimo se generó una serie de procedimientos utilizando herramientas de análisis espacial (Hydrology: Fill, Flow Direction, Flow Accumulation, Watershed, Conversion Tools: Raster to Polygon, Raster to Polyline; Map Algebra: Raster Calculator) las cuales ayudaron a: rellenar los datos vacíos como aquellos píxeles que no contenían información mediante una interpolación con los perfiles más cercanos; obtener tanto la dirección del flujo como la acumulación del mismo; generar la cuenca de estudio en formato raster “imágenes a base de píxeles” y ser transformada a un formato shapefile “formato que almacena la ubicación geométrica”; generar un raster de salida en base a la acumulación del flujo en los que cuyos píxeles tuvieron una información superior a la marcada; de esta manera, se obtuvo la delimitación real de la cuenca San Francisco la misma que se utilizó para la obtención de parámetros necesario y a su vez como guía para el post procesamiento de los demás requerimientos para este trabajo.

#### **4.2 Pre procesamiento de imágenes satelitales**

Mediante un pre procesamiento se logró realizar la descarga de las imágenes sentinel: T17MQS\_20221202T153619\_B02, T17MQS\_20221202T153619\_B8A y T17MQS\_20221202T153619\_B11 desde el SATÉLITE SENTINEL 2B que cuenta con 13 bandas para el trabajo de índices espectrales a una máxima resolución, cabe recalcar que este satélite nos permite obtener longitudes de onda para monitorizar aquellos cambios existentes en la Tierra y su composición vegetal con resoluciones de 10 metros; imágenes que se obtuvieron con fecha de descarga el 10 de mayo del 2023, año en el mismo que se desarrolló el proceso respectivo.

Tabla 1 SENTINEL 2

	<b>LONGITUD DE ONDA (mm)</b>	<b>RESOLUCIÓN (m)</b>
<b>Banda 1 - Aerosol</b>	0.43 – 0.45	60
<b>Banda 2 - Blue</b>	0.45 – 0.52	10
<b>Banda 3 - Green</b>	0.54 – 0.57	10
<b>Banda 4 - Red</b>	0.65 – 0.68	10
<b>Banda 5 – Red edge 1</b>	0.69 – 0.71	20
<b>Banda 6 - Red edge 2</b>	0.73 – 0.74	20
<b>Banda 7 - Red edge 3</b>	0.77 – 0.79	20
<b>Banda 8 – Near Infrared (NIR)1</b>	0.78 – 0.90	10
<b>Banda 8A - Near Infrared (NIR)2</b>	0.85 – 0.87	20
<b>Banda 9 – Water vapour</b>	0.93 – 0.95	60
<b>Banda 10 – Cirrus</b>	1.36 – 1.39	60
<b>Banda 11 – SWIR 1</b>	1.56 – 1.65	20
<b>Banda 12 – SWIR 2</b>	2.10 – 2.28	20

*Fuente: (Mantilla, 2020)*

Ahora bien, para la descarga de estas imágenes sentinel mencionadas anteriormente se realizó desde la plataforma de Copernicus de Europa (Serco and GAEL Systems consortium, s.f.), en la cual se tuvo que realizar como partida un registro de usuario para las descargas; una vez ya iniciada la sesión se realizó una búsqueda de la zona de interés para posteriormente delimitarla y llenar los parámetros de preferencia de descarga (fecha que fue tomada, fechas exactas, orden ascendente o descendente, entre otras), luego en el apartado de las imágenes del sensor sentinel 2 en donde optamos una descarga del producto S2MSI2A debido a que estas nos ofrecen ya imágenes con correcciones atmosféricas a nivel del suelo, siendo los niveles de radiancia lo más

parecido a la realidad; también, son imágenes ya orto rectificadas y con una calibración atmosférica que nos permite obviar algunos pasos posteriores. En el momento de la búsqueda de la información la plataforma nos brindó una lista de imágenes disponible para ser descargadas, algunas de estas con restricciones, por lo que, se realizó un análisis de aquellas imágenes que nos fueron de utilidad y aquellas que contaban con la menor cantidad de nubes posibles en la zona de interés. Ahora bien, para el acceso a las imágenes en el paquete descargado estas se ubican dentro de una carpeta específica llamada GRANULE y a su vez, en otra subcarpeta llamada LIC\_T17MQS\_A029981\_20221202T154352 y finalmente en otra subcarpeta denominada IMG\_DATA en donde se alojaron cada una de las imágenes a diferentes resoluciones y con sus respectivas bandas; luego de haber sido ya ubicadas se realizó el procedimiento de añadir estas imágenes al entorno de trabajo en ArcMap teniendo presente que estas se manejan en tres canales conocidos como RGB; por lo que, dependiendo de nuestro tipo de estudio en este caso del uso y cobertura del suelo se consideró utilizar la combinación de bandas 2, 8A y 11 para Sentinel 2.

Seleccionado y añadido las respectivas imágenes al ArcMap se procedió a realizar una corrección por sombreado topográfico el cual inicialmente constó de realizar un recorte a las imágenes con el comando image analysis en la pestaña Windows; señalando las imágenes de interés se recortaron en función de la ventana con la opción clip. Este procedimiento expresó visualmente un replanteo visual de las imágenes, haciendo que el rango del espectro en este caso sea más amplio mostrando más zonas y niveles de radianza. Posteriormente, en la carpeta de las imágenes Sentinel 2 ya descargada se ubicó un archivo llamado meta data “archivo tipo XML” en el cual se logró obtener unos datos que describen las lecturas del ángulo “zenith” y el ángulo “azimuth” ambos en una misma unidad de medida de grados.

Mediante estos datos de los ángulos, se procedió a generar la respectiva corrección de las tres imágenes de interés ya ubicadas en el ArcMap. Por lo tanto, el ángulo cenital es el que resulta del cálculo mediante la fórmula de corrección por sombreado topográfico; de modo que, gracias a los datos obtenidos de los ángulos mencionados anteriormente el ángulo cenital  $\Theta_i$  con un valor de 27.0597209159684 grados y el ángulo acimutal  $\Phi_a$  con un valor de 135.683341451673 grados son el mismo valor para la corrección de las tres imágenes; sin embargo, estos ángulos tuvieron que ser transformados a unidad de radianes para su respectivo calculo. Por otra parte, el ángulo de la gradiente de la pendiente  $\Theta_p$  y el ángulo de la orientación de la pendiente  $\Phi_o$  se obtuvieron a partir de la pendiente del DEM mediante una herramienta llamada Slope.

Consiguientemente, partiendo de todos estos ángulos solares y de pendiente ya determinados se calculó el ángulo de incidencia  $\gamma_i$  de una vertiente; obteniendo así la constante de corrección por sombreado mediante la expresión propuesta por Chuvieco (Chuvieco, Salas, & Riaño, 2000):

$$\cos \gamma_i = \cos \Theta_i * \cos \Theta_p + \sin \Theta_i * \sin \Theta_p * \cos (\Phi_a - \Phi_o)$$

La cual nos ayudó a valorar el efecto de iluminación en la vertiente y generar que la imagen se torne en un plano horizontal entendiéndolo como un aplanamiento de la imagen, siendo este equivalente al sombreado que muchos programas recogen. Este valor varía de entre -1 y +1 indicando para cada pixel del modelo de elevación digital las condiciones tanto mínimas como máximas de iluminación. Partiendo del ángulo de incidencia, se procedió a aplicar el método de la reflectividad de un pixel en un terreno horizontal  $\rho_{h,i}$  con respecto a la pendiente de la imagen  $p_i$  y sus respectivos ángulos tanto cenital solar  $\Theta$  e incidencia del pixel  $\gamma$ , propuesto por Teillet (Teillet, Guindon, & Goodenough, 1982):

$$\rho_{h,i} = \rho_i * (\cos \Theta_i / \cos \gamma)$$

Para lograr compensar la diferencia de radiación incidente entre vertientes o la reflectividad de cada imagen, es decir, sobre corregir la imagen en todas aquellas zonas donde exista muy baja iluminación. Y finalmente, luego de ya tener cada imagen corregida se procedió a realizar una composición o combinación de bandas entre estas tres imágenes previamente corregidas.

### **4.3 Post procesamiento**

Una vez ya obtenido la combinación de bandas se procedió mediante el mismo sistema de información geográfico ArcMap a realizar una clasificación supervisada de los diferentes tipos de suelo y cobertura existentes dentro de la cuenca de estudio ya que el drenaje de la misma depende de esta descripción de clasificación; para la designación del uso del suelo se consideró la herramienta Maximum Likelihood Classification en base al DEM de la combinación de bandas para lograr una buena selección del suelo, consiguientemente, con la opción de Training Sample Manager se realizaron varias iteraciones y a su vez una reclasificación seleccionando los píxeles en aquellas zonas que correspondan a cada uso del suelo determinado hasta obtener una adecuada clasificación; y finalmente para que esta clasificación nos quede registrada para los posteriores cálculos se generó una firma espectral la misma que nos genera un raster en función de la clasificación seleccionada anteriormente; por otra parte, la información que se adquirió para el uso y cobertura de suelo se rige en base al portal del Sistema Nacional de Información de Ecuador “SNI” (Secretaría Nacional de Planificación, 2014) porque ya es una información procesada y disponible con una base de datos de acceso público. Siendo así, en el portal del SNI se descargó el archivo “hidrogeología” que contenía un shapefile con la información correspondiente al tipo de suelo, condición de drenaje y la relacionada con la cobertura y uso de suelo, para el modelamiento numérico de la escorrentía superficial en base a los hidrogramas sintéticos; el archivo shapefile

denominado DA\_HIDROGEOLOGIA contiene información litológica, condiciones de permeabilidad, entre otras, para saber cómo se comportaría el suelo frente a diversas tasas de precipitación para la cual se recortó al tamaño necesario, es decir, a la forma de la cuenca en estudio para su respectivo procesamiento. Por lo que, se refirió a una fórmula proporcionada por SCS “SOIL CONSERVATION SERVICE” para la determinación de la lámina producida por la escorrentía superficial directa por medio del número de curva que concibe valores de 0 a 100 en base a la capacidad de formar escorrentía superficial. Por lo tanto, estos valores estarán dependiendo de cuatro grupos hidrológicos al que pertenezca el suelo (A = muy permeable/alta; B = permeable/media; C = muy impermeable/baja a media y D = impermeable/generalmente baja) los cuales fueron clasificados y asignados en la tabla de atributos del shapefile mencionado; teniendo en cuenta por otra parte la humedad antecedente del suelo conocida como AMC la cual en este estudio se utilizó un AMC II para suelo con una condición media que esta entre 25 mm y 50 mm. Así, para la asignación del número de curva para cada grupo hidrológico se optó por los siguientes valores:

*Tabla 2 Número de Curva en Base al Uso y Cobertura del Suelo*

	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>1</b>	Bosque	25	55	70	77
<b>2</b>	Cuerpos de Agua		100		
<b>3</b>	Cultivos	67	78	85	89
<b>4</b>	Pastizales	39	61	74	80
<b>5</b>	Pajonales		62	74	85
<b>6</b>	Nubes	39	61	74	80
<b>7</b>	Suelo desnudo	63	77	85	88

8	Urbano	68	79	86	89
9	Vegetación arbustiva	32	58	72	79

*Fuente: Autor*

Y finalmente, se realizó el cálculo del número de curva ponderado correspondiente a la fórmula: “CNpond” en relación a la sumatoria del área del grupo hidrológico por el número de curva dividida entre el área total del grupo hidrológico por medio de la extracción de todos los componentes necesarios. Y adicionalmente, se registró las estaciones que se encuentren anexas a la cuenca de estudio para luego poder obtener aquella información de utilidad como lo es la precipitación de cada una de ellas.

#### **4.4 Depuración de datos**

Para la obtención de los datos necesarios de precipitación y regionalización se procedió a extraer los máximos anuales desde los anuarios meteorológicos del INAMHI haciendo una regionalización para los datos mediante una selección de estaciones meteorológicas y/o pluviométricas cercanas a la cuenca para la distribución de precipitaciones; Consiguientemente, para este análisis se consideraron ciertos programas como: RStudio que nos ayudó a organizar e identificar los datos de precipitación para analizarlos y establecer faltantes o aquellos que necesiten un tratamiento. Ya con los datos establecidos se realizó la depuración en una hoja de Excel identificando y eliminando aquellos valores atípicos y vacíos para tener un registro coherente y confiable para el análisis de las precipitaciones máximas. El segundo programa de análisis de estos datos preprocesados se lo realizó en Acces el cual ayudó a extraer las precipitaciones máximas en base a cada año disponible; y finalmente, se usó el software Hydraces especializado para estadística en hidrología para generar el vector de regionalización para comprender de una mejor manera el comportamiento de los eventos máximos anuales de precipitación y lograr desarrollar

estrategias hacia la necesidad de la región. Sin embargo, para que los índices del vector regional sean considerables, a estos datos se les realizó una interpolación para rellenar aquellos espacios en los que no se constató un registro. Y para el análisis frecuencial, primeramente, se preparó el archivo con el vector regional para ser proyectado y poder constatar que función de distribución es la que más se ajustó a la serie de datos mediante un análisis numérico.

#### **4.5 Precipitaciones máximas en 24 horas**

Contando ya con la función de distribución de probabilidad de mejor ajuste se calculó la precipitación máxima en 24 horas para diversos periodos de retorno o recurrencia mediante la expresión matemática en la que el evento de diseño en la estación resulta del producto del promedio de las precipitaciones máximas en 24 horas de cada año y el valor del vector regional del análisis de frecuencias; dichos valores establecidos, se les procedió a ser interpolados mediante la validación cruzada con el método IDW en ArcMap para obtener un valor medio para diversos años de retorno considerándolo como el de mejor aproximación que tiene para los datos de precipitaciones descritos anteriormente el cual se lo considero en este análisis. Posteriormente, para la obtención de la precipitación máxima se calculó la intensidad de tormenta resultando de dividir la precipitación total para la duración de tormenta; y en base a las ecuaciones de intensidad, duración y frecuencia correspondiente a la estación más cercana tomada para el análisis, obteniendo así el valor de la precipitación máxima para cada periodo de retorno.

#### **4.6 Caudales para diversos periodos de retorno**

A partir de los datos de precipitación máxima obtenidos anteriormente estos fueron ingresados en los modelos de concentración para establecer diferentes caudales para diferentes periodos de retorno; mediante los hidrogramas sintéticos de diversos métodos como SCS, Snyder,



Témez y Chow, en los cuales se obtuvo el método que más se acercó a la media que es el promedio de todos estos caudales y siendo así, el valor que más consistencia tiene con respecto a la realidad.

#### **4.7 Modelamiento en HEC-RAS/RAS MAPPER**

Mediante la herramienta de Hec Ras se procedió a calcular los perfiles de la superficie de agua para las condiciones variadas con regímenes subcríticos o críticos para el cauce natural. Iniciando de esta manera con la extensión Ras Mapper para en ello establecerle el sistema de coordenadas mediante un archivo de formato “PRJ FILE” descargado del portal (Spatial Reference, 2013) y posteriormente cargamos el modelo de elevación digital con el que hemos trabajado en los apartados anteriores para la obtención de los nuevos datos de geometría a trabajar (rivers, bank lines, flow paths, cross sections) con los cuales se dispuso de la línea de flujo del cauce desde aguas arriba hasta aguas abajo; seguidamente se generaron los márgenes del cauce desde el lado derecho y luego el izquierdo; ya con estos dos parámetros establecidos se definió por donde circularía el flujo, es decir, la dirección que este tomaría y adicionalmente, este margen es aquel que representa la posible zona de inundación; “cabe recalcar que todas estas líneas deben permanecer dentro del DEM con el que se está trabajando como base”. Con estos parámetros se obtuvo las secciones transversales con sus respectivas distancias y amplitudes para ser verificadas que en ningún momento estas llegasen a cruzarse entre sí y, por lo tanto, se encuentren dentro de la zona de inundación para que el canal este bien definido. En este último procedimiento también cabe mencionar que se intervino a colocar los datos de las longitudes de alcance aguas abajo, adicionalmente los coeficientes de Manning correspondientes para el tipo de suelo mediante una tabla de coeficientes preestablecidos por el manual de referencia hidráulico (HEC-RAS Hydraulic Reference Manual, 2020). Y consiguientemente, en los datos de flujo estacionario “caudales” se ingresó aquellos datos de caudales máximos que se obtuvieron en los procesos anteriores con una

lista de cinco perfiles correspondientes a cada tiempo de retorno analizado en años (Tr20, Tr50, Tr100, Tr200 y Tr500), así mismo las condiciones de contorno aguas arriba y aguas abajo que correspondían a la pendiente del cauce; al haber ya ingresado todos estos parámetros requeridos se procedió a realizar el respectivo análisis y verificación de errores mediante el flujo constante bajo un régimen de flujo mixto ( subcrítico y supercrítico) para lograr conseguir las inundaciones en base a cada uno de los parámetros calculados desde un principio de este trabajo.

#### **4.8 Mapas de inundación**

Una vez ya preparado los caudales para cada tiempo de retorno se logró obtener los márgenes de inundación en torno a estos datos verificados durante todo el procedimiento de simulación. Por lo tanto, sin más, se procedió a exportar las inundaciones desde el Ras Mapper hacia el SIG para concluir con la elaboración de los mapas con sus respectivas identificaciones para el conocimiento y uso de tomadores de decisiones que requieran valerse de estos resultados para la implementación de obras de mitigación ambiental en las inmediaciones del río San Francisco.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS

#### 5.1 Geoprocesamiento

Partiendo del procedimiento indicado en el inciso 4.1 sobre la imagen del modelo de elevación digital se obtuvieron aquellos parámetros morfológicos en base al cálculo realizado dentro de la tabla de atributos para cada uno de los parámetros necesarios; cuyos datos se describen a continuación:

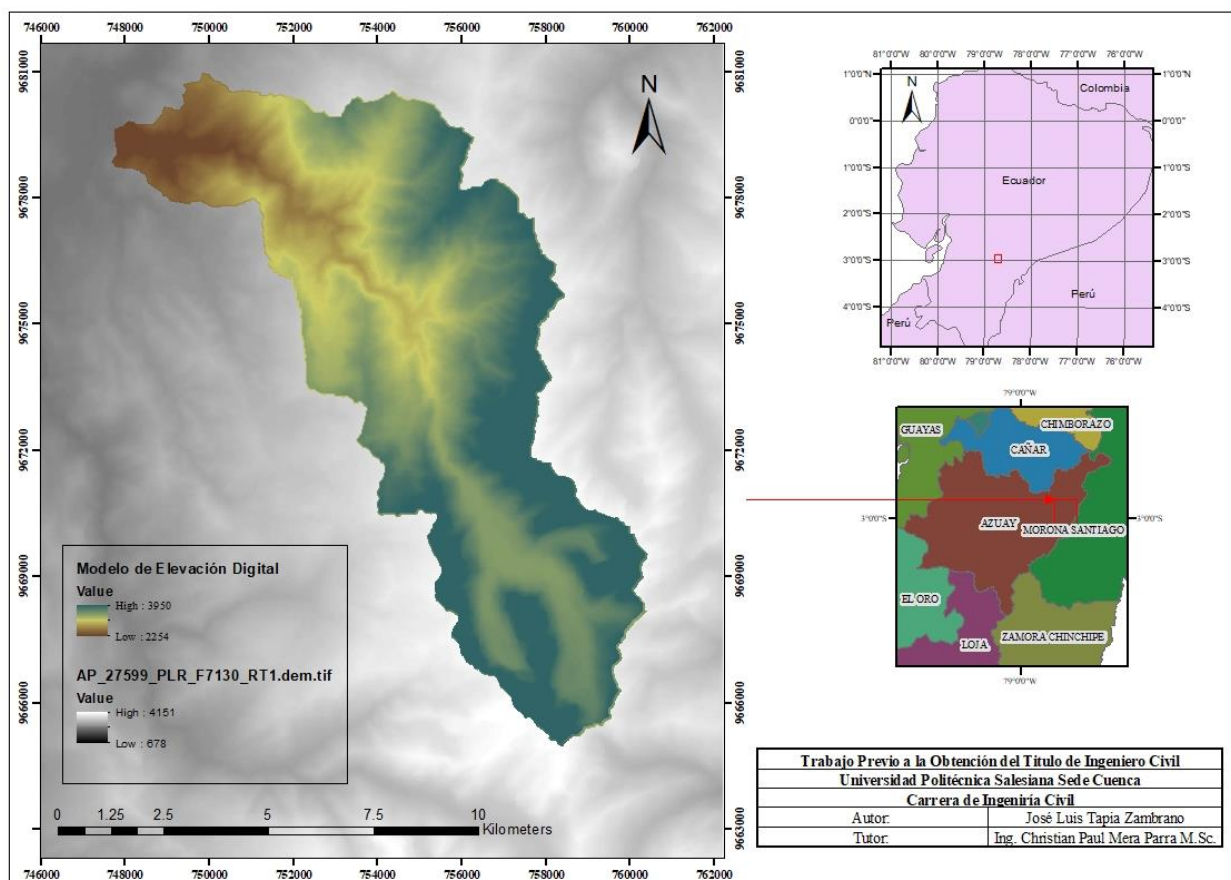
*Tabla 3 Parámetros Morfológicos de la cuenca San Francisco*

DESCRIPCIÓN	REF.	VALOR	UNIDAD
Perímetro de la cuenca	P	55.276	km
Área de la cuenca	A	80.004	km <sup>2</sup>
Longitud total de los cursos de agua incluyendo perennes e intermitentes	L	39.967	km
Longitud del cauce principal	Lc	17.889	km
Cota máxima	Cota Max	3319	msnm
Cota mínima	Cota Min	2255	msnm
Pendiente del cauce principal	S	0.0595	m/m
Diferencia de nivel	H	1064	m
Tiempo de concentración	Tc	4.591	hrs
Índice de compacidad	Kc	1.74	-
Densidad de drenaje	Dd	0.50	-

Elaborado por: Autor

Los datos descritos en la tabla 3 corresponden únicamente a la delimitación final de la cuenca San Francisco “figura 2” en la cual se puede observar que se obtuvo un área de estudio de 80.004 kilómetros cuadrados con un perímetro correspondiente de 55.276 kilómetros dados por defecto en la tabla de atributos los cuales fueron comprobados mediante el cálculo de geometría que nos brinda la misma tabla de atributos en el ArcMap. Para la longitud del cauce se procedió a determinarla mediante la selección e identificación geométrica de la red principal tal cual como se desarrolló desde un inicio para luego mediante un análisis estadístico obtener un valor de 17.889 kilómetros de distancia; mientras que, para la longitud total del cauce se consideró los perennes e intermitentes obteniendo un valor de 39.967 kilómetros. Seguidamente, para la obtención de los demás parámetros se identificó mediante el DEM la geometría de la red con una cota máxima de un valor de 3319 metros sobre el nivel del mar y aguas abajo la cota mínima de un valor de 2255 metros sobre nivel del mar, las mismas que nos sirvieron para poder calcular la pendiente de la cuenca mediante la diferencia de la cota máxima con la de la cota mínima para la longitud del cauce con la que ya contábamos anteriormente dándonos un valor de 0.0595%; por lo que, también se consiguió la diferencia de nivel siendo esta la diferencia entre ambas cotas máxima y mínima. Ahora bien, se determinó un valor de 1.74 para el índice de compacidad el mismo que nos ayudó a saber que nuestra cuenca es de una forma alargada y con un menor apego a crecidas; con una densidad de drenaje regular de 0.50 el cual cuyo valor indica que existe una tendencia de altas crecidas. Finalmente, con todos los parámetros anteriormente mencionados y completos se procedió a realizar el cálculo de del tiempo de concentración mediante las ecuaciones de: Kirpich, Clark, Temez, ASCE y California Culverts Practice; haciendo una comparación de valores del cual el que sea más sea cercano a la media de estos resultados de 3.815 horas para ser considerado el más apto que en este caso fue el de la ecuación de Temez con un valor de 4.591 horas.

Figura 2 Modelo de Elevación Digital a la forma de la cuenca San Francisco

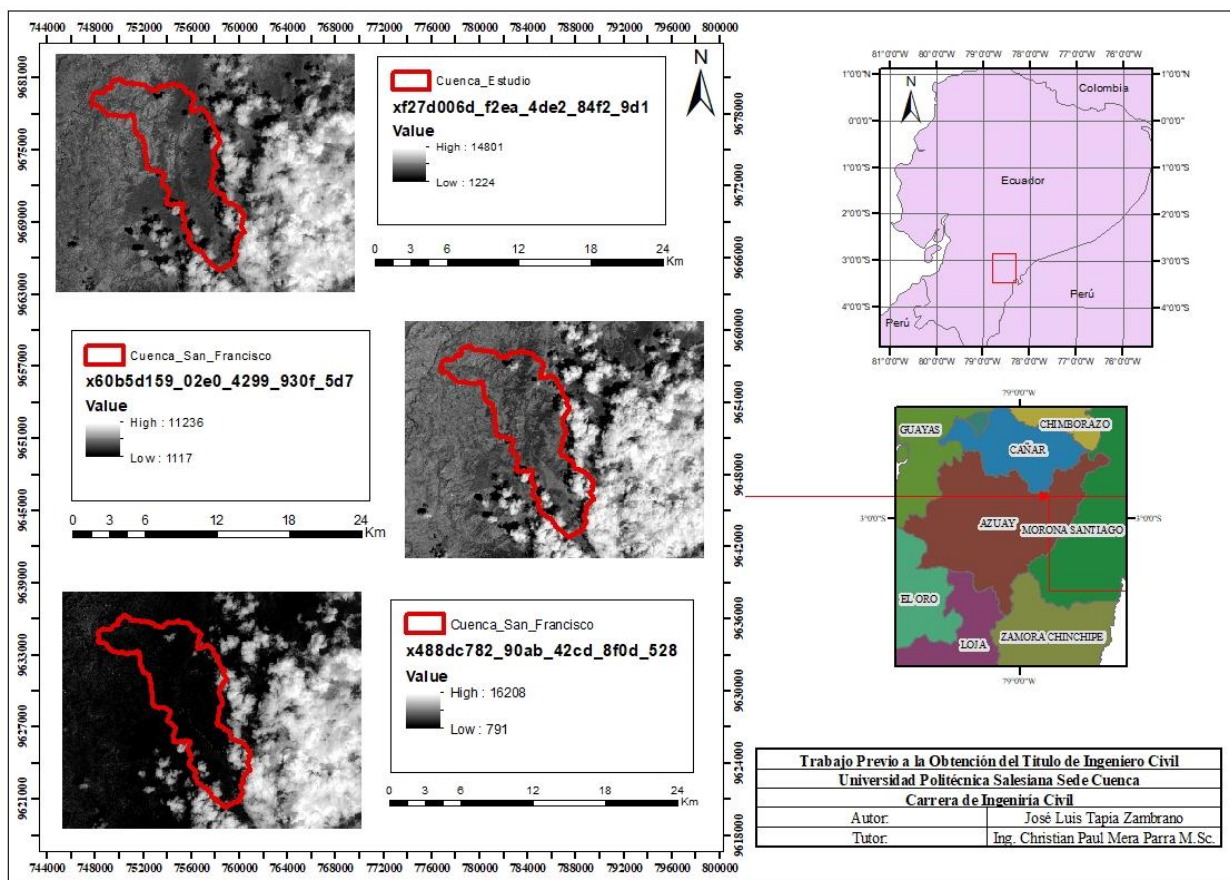


## 5.2 Pre procesamiento

Ya con las imágenes sentinel disponibles en el entorno de trabajo de ArcMap indicado en el inciso 4.2; se procedió a realizar un recorte a las mismas ajustándolas de mejor manera a la ventana de trabajo en la cual se podía visualizar la cuenca asignada para el estudio e identificar de mejor manera y a detalle aquellas zonas y niveles de radianza al momento de generar la corrección por sombreado topográfico, de tal manera que las nuevas imágenes “figura 3”:

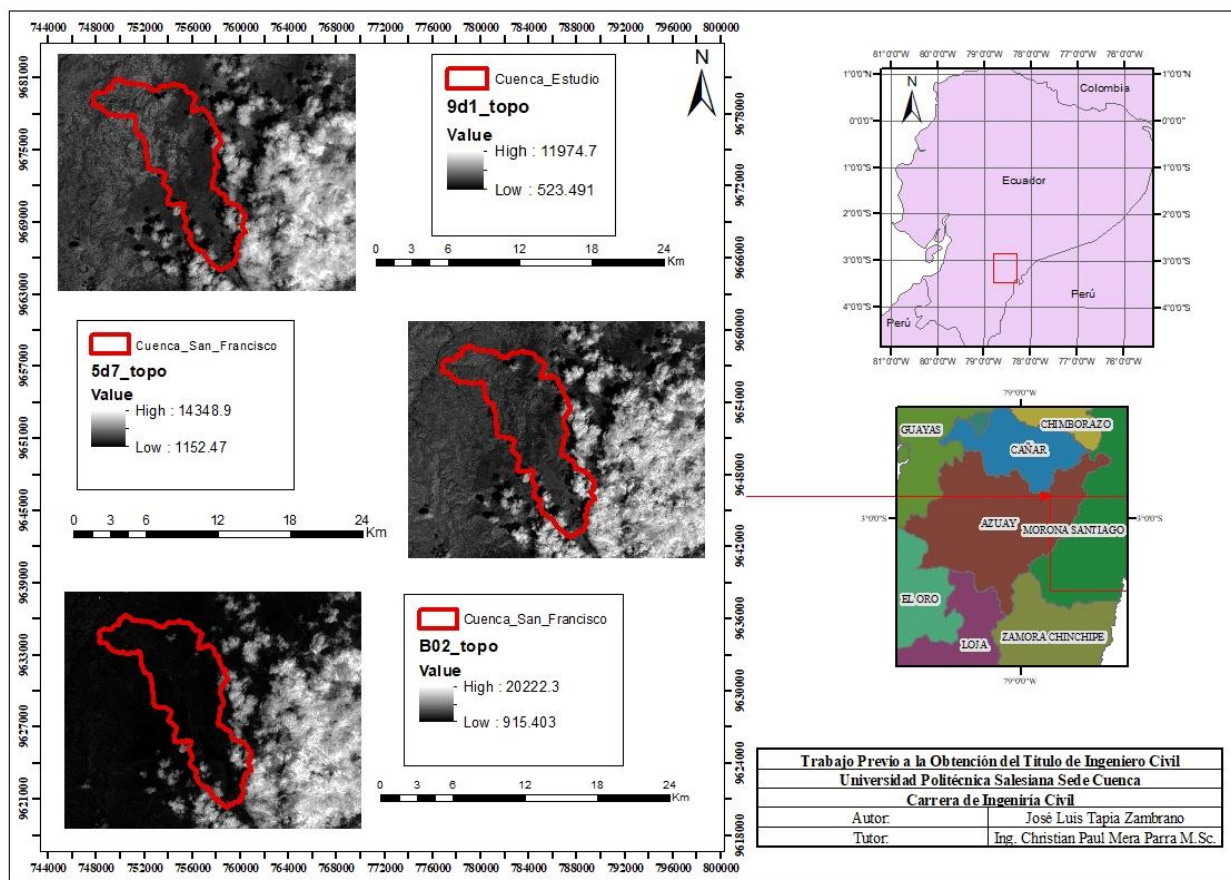
xf27d006d\_f2ea\_4de2\_84f2\_9d1, x60b5d159\_02e0\_4299\_930f\_5d7 y x488dc782\_90ab\_42cd\_8f0d\_528 correspondieron a ser las imágenes a procesar en los demás pasos.

Figura 3 Imágenes Sentinel con bandas 2, 8A y 11 – sin procesar



Con estas nuevas imágenes se generaron las debidas correcciones por sombreado topográfico mediante las ecuaciones señaladas en el inciso 4.2; obteniendo imágenes en un plano horizontal mejorando la incidencia de la radiación y corrigiendo aquellas zonas con una menor iluminación “figura 4”.

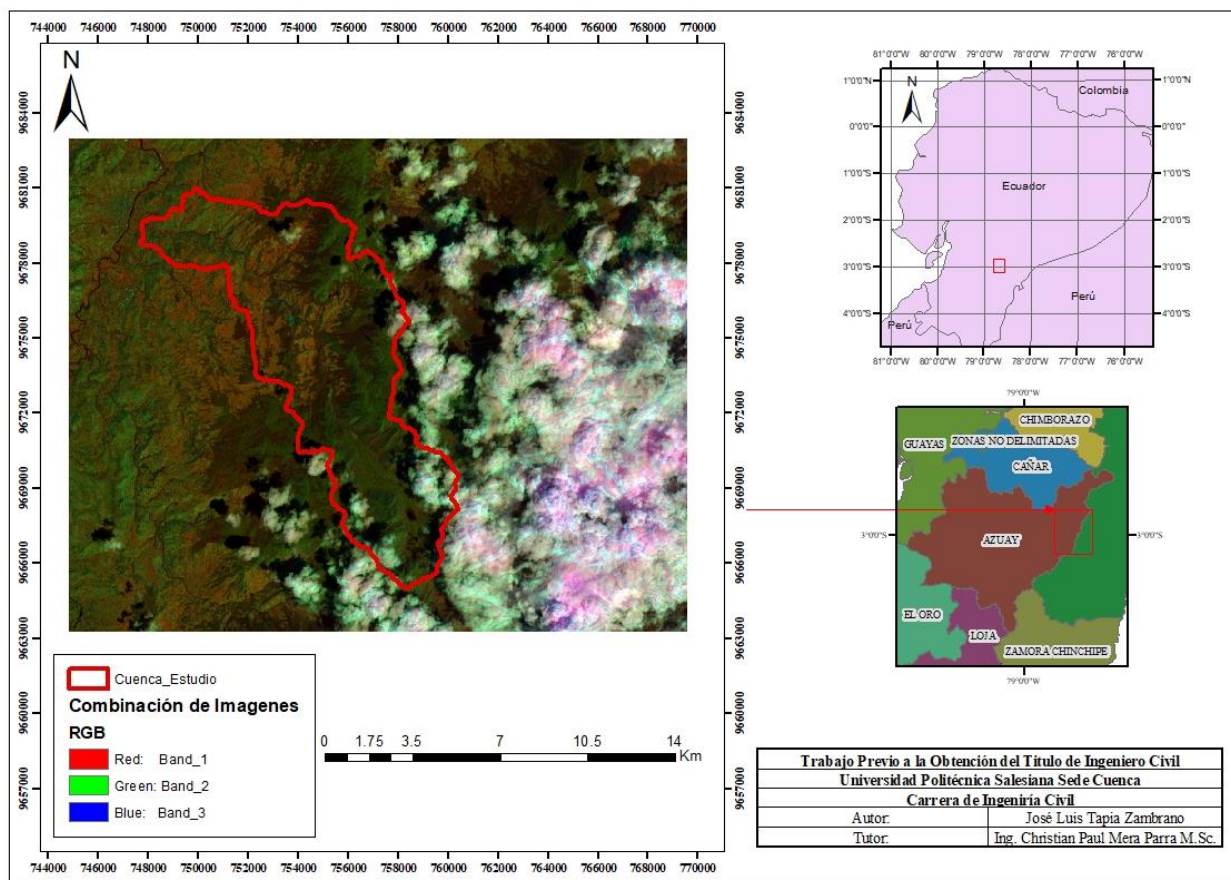
Figura 4 Imágenes Sentinel con corrección por sombreado topográfico



Finalmente, con las correcciones por sombreado topográfico se generó la composición de las 3 bandas “figura 5”, para posteriormente lograr identificar y especificar los diversos usos y coberturas que existen en el suelo de toda la zona dentro y fuera de la cuenca estudiada.



Figura 5 Combinación de bandas/Combinación de imágenes sentinel



### 5.3 Post procesamiento

Ya con la combinación de bandas se pudo identificar el uso y cobertura del suelo luego de haber asignado a cada pixel su correspondiente clasificación, definiendo de esta forma la firma espectral para obtener cada designación con su respectiva área de influencia “figura 6”, correspondiente a: pastizales, cultivos, cuerpos de agua, nubes, pajonales, vegetación arbustiva, suelo desnudo, bosque y zonas urbanas.



Figura 6 Uso y cobertura del suelo

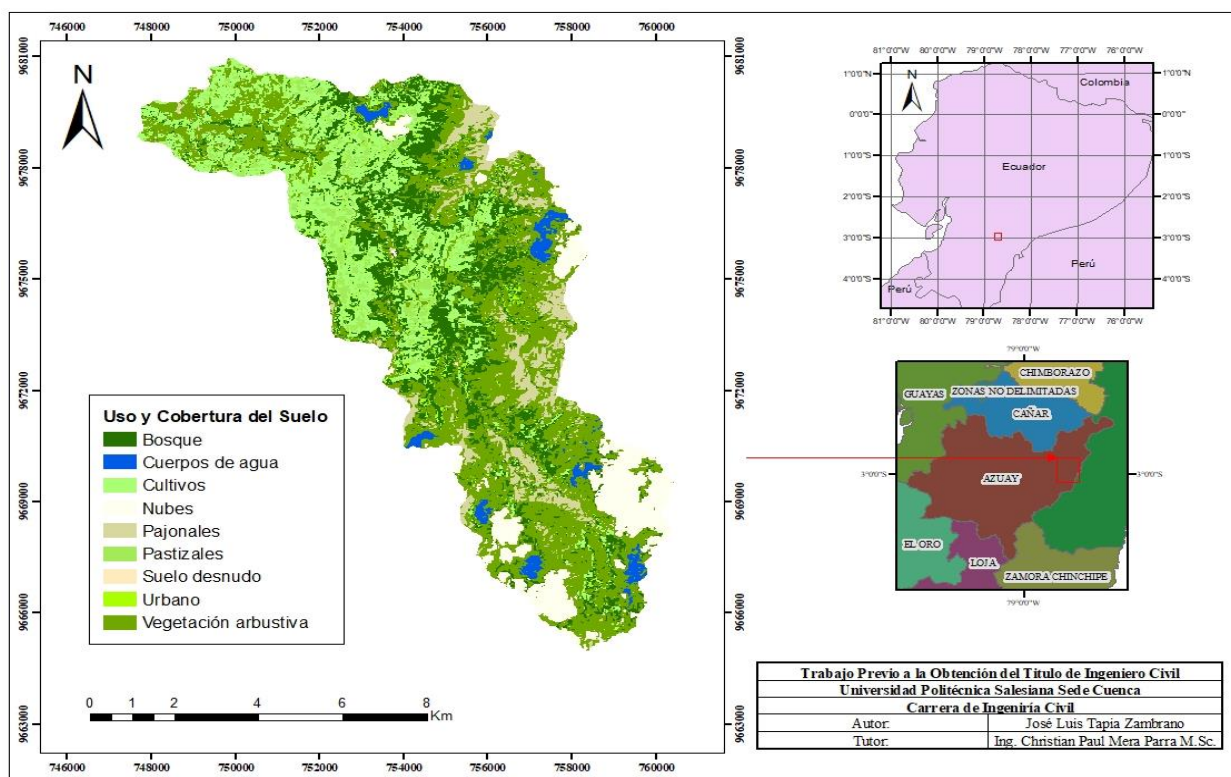


Tabla 4 Áreas del uso y cobertura del suelo

DESCRIPCIÓN	ÁREA	UNIDAD
Bosque	14.761076966212	km <sup>2</sup>
Cuerpos de agua	1.977654046279	km <sup>2</sup>
Cultivos	13.889672790606	km <sup>2</sup>
Nubes	7.073736925642	km <sup>2</sup>
Pajonales	5.8122521521	km <sup>2</sup>
Pastizales	3.160618045738	Km <sup>2</sup>
Suelo desnudo	13378.408988	m <sup>2</sup>
Zona urbana	2.242141291882	km <sup>2</sup>
Vegetación arbustiva	31.073643704499	km <sup>2</sup>

Elaborado por: Autor

En cambio, para la determinación del número de curva “figura 7” que representa las condiciones de drenaje relacionada con la cobertura y uso de suelo dentro de rangos numéricos que van de 0 hasta 100 indicando los valores más altos una mayor capacidad de infiltración; es decir, las condiciones de permeabilidad o la capacidad de infiltración y retención de agua en el suelo de la cuenca en función de nuestra cobertura vegetal; designadas en cuatro grupos hidrológicos “tabla 5” para saber cómo se comportaría el suelo frente a diversas tasas de precipitación. Por lo que, al conseguir los datos del número de curva se obtuvo un  $CN_{ponderado}$  de 78.82 con un nivel II y un  $CN_{ponderado}$  de 89.54 con un nivel III.

Figura 7 Número de Curva

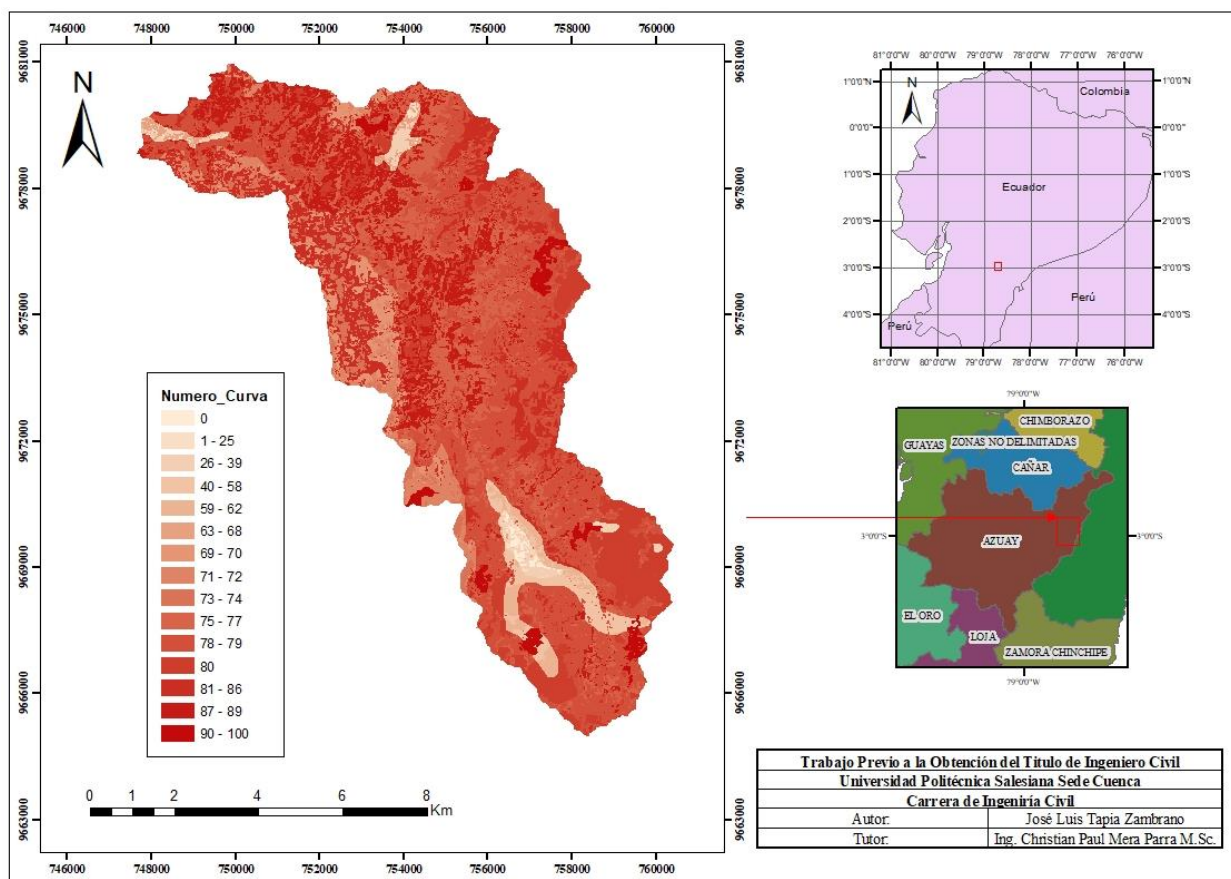


Tabla 5 Áreas correspondientes a cada grupo hidrológico

GRUPO HIDROLÓGICO	ÁREA	UNIDAD
A	2.213020701526	km <sup>2</sup>
B	3.264683686259	km <sup>2</sup>
C	12.370260841449	km <sup>2</sup>
D	62.156209212888	km <sup>2</sup>

Elaborado por: Autor

#### 5.4 Depuración

Para lograr obtener la depuración de datos primero se partió analizando cada estación con su registro meteorológico de 20 años para obtener resultados confiables; en todo este registro de las cuatro estación se pudo verificar que en realidad si existieron datos atípicos los cuales alteraban nuestro análisis por lo que se procedió a eliminarlos hasta dejarlos dentro de un rango en el cual las precipitación mostraban un comportamiento casi lineal para luego ser procesadas y extraer sus máximas precipitaciones en un lapso de 24 horas quedando este registro como se indica en la “tabla 6” a continuación:

Tabla 6 Precipitación máxima en 24 horas

AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA [MM]			
	Paute M0138	Gualaceo M0139	Sigsig M0424	Sevilla de Oro M0431
1994	69.2	73.5	X	X
1995	63	74.8	76	92.5
1996	53.5	58.7	72.5	109.2

<b>1997</b>	70.1	68.9	89	112.5
<b>1998</b>	68.5	69.1	78.5	96.9
<b>1999</b>	70.5	76.9	65.4	79.8
<b>2000</b>	70.4	X	81.8	81.7
<b>2001</b>	59.7	79.5	65.9	105.7
<b>2002</b>	63.8	78.9	82.9	112.8
<b>2003</b>	70.4	53.7	77.3	106.1
<b>2004</b>	70.6	73.6	58.2	112.1
<b>2005</b>	54.3	65.2	81.5	96.3
<b>2006</b>	64.4	44.2	64.8	108.7
<b>2007</b>	66.6	74.5	81.4	111.1
<b>2008</b>	60.4	53.8	82.4	109.1
<b>2009</b>	68.6	69.8	80.7	100.2
<b>2010</b>	47.2	79	67	111.6
<b>2011</b>	62.8	76	83.4	112.1
<b>2012</b>	56.5	72.2	80.6	114.6
<b>2013</b>	64.2	55.3	83.6	112.2

Elaborado por: Autor

Como se puede observar en este registro existen ciertos años en los cuales no proveen de información por lo que se procedió a descartar estos años, teniendo que para la estación Paute se trabajó con los 20 años, para la estación Gualaceo se descartó uno teniendo en realidad 19 años, de igual forma para la estación Sigsig y Sevilla de Oro se descartó un año quedándonos un registro

de 19 años; con todos estos registros anuales realizado la validación se procedió a obtener la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

*Tabla 7 Media, Desviación estándar y coeficiente de variación*

<b>DESCRIPCION</b>	<b>M138</b>	<b>M139</b>	<b>M424</b>	<b>M431</b>
<b>Media</b>	63.73	68.29	76.47	104.48
<b>Desviación Estándar</b>	6.71	10.31	8.37	10.50
<b>Coef. Variación</b>	0.11	0.15	0.11	0.10

Elaborado por: Autor

Una vez con estos resultados nuevamente se generó otra media y otra desviación estándar pero en este caso sobre las estaciones existentes para finalmente generar el límite superior el cual resultado de la suma de los valores descritos y el límite inferior resultando de la diferencia de los mismos “tabla 8”; estos limite nos ayudaron a tomar una decisión al comparándolos con el coeficiente de variación de cada estación para saber si se debía descartar alguna estación o no; sin embargo cada estación estaba dentro del rango por lo que no existió la necesidad de eliminar ninguna estación.

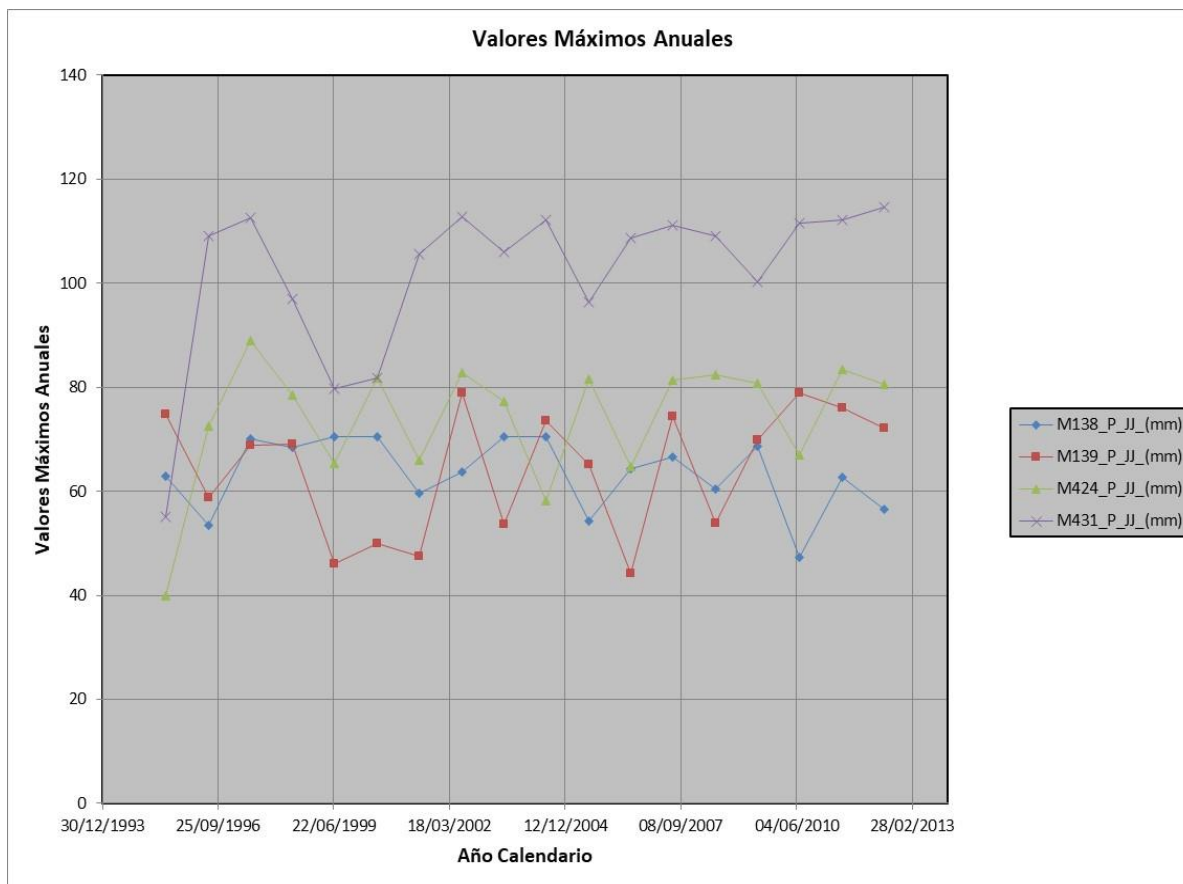
*Tabla 8 Límites superior e inferior*

<b>MEDIA</b>	<b>0.12</b>
<b>Desviación Estándar</b>	0.02
<b>Límite Superior</b>	0.14
<b>Límite inferior</b>	0.09

Elaborado por: Autor

Para la representación gráfica de las precipitaciones máximas anuales se establecieron como ya se mencionó en el inciso 4.4 en el programa de Hydracces, sin embargo, previo a ello mediante una interpolación “figura 8”, se logró realizar que aquellos años sin registro puedan seguir una secuencia sin irrumpir con los demás años.

Figura 8 Valores máximos anuales de cada estación



Y finalmente se generó el vector de regionalización y un ajuste de los mismos valores mediante varios criterios “figura 9 y 10”, para ver cuál es el comportamiento de los eventos máximos anuales de precipitación a diversos tiempos de retorno; dando un resultado que el mejor valor que se ajusta es el de Goodrich.

Figura 9 Vector de regionalización

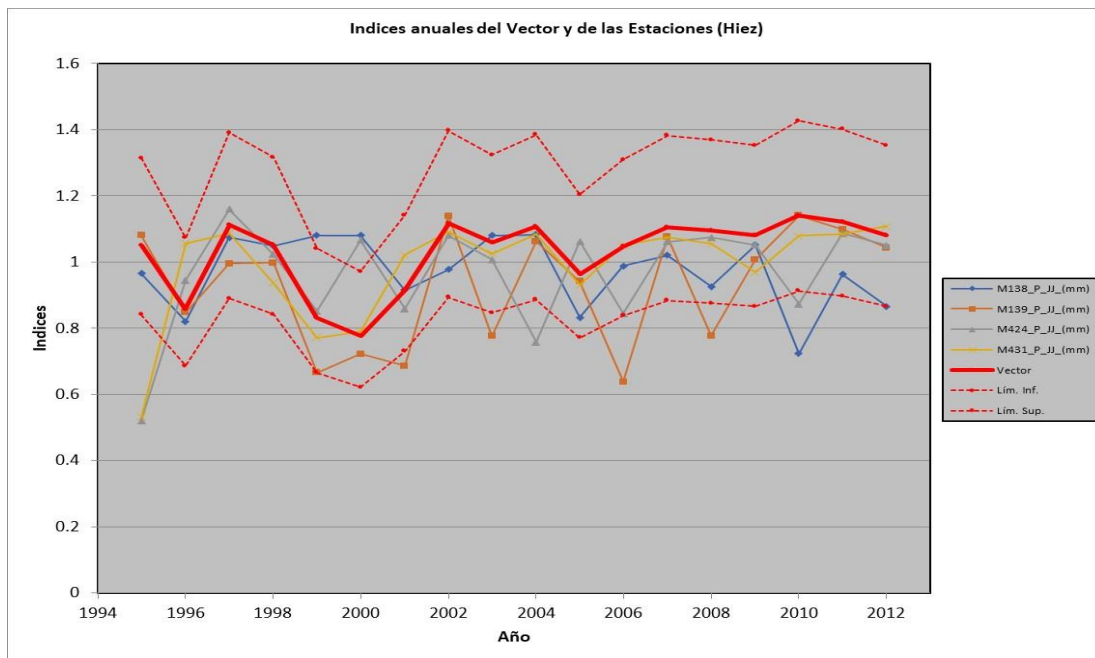
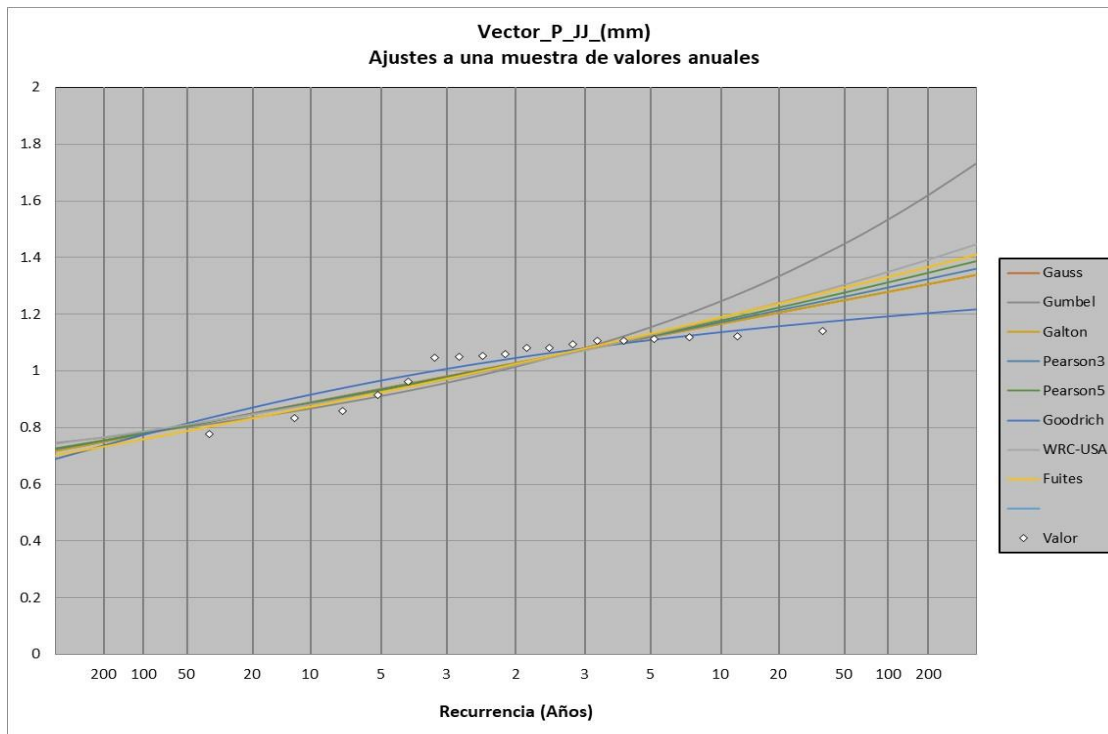


Figura 10 Vector de ajuste



## 5.5 Caudales

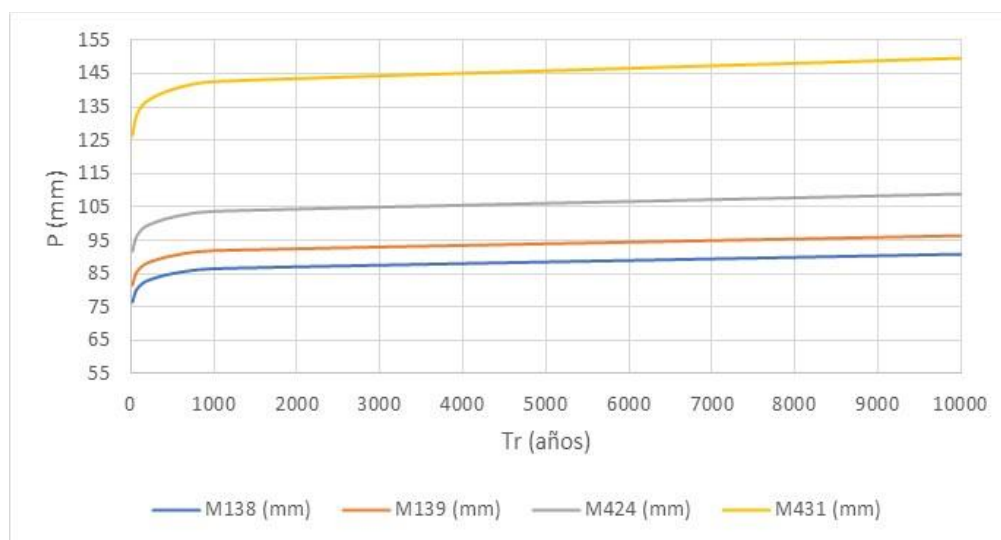
Consiguientemente, con cada valor de precipitación se proyectó las precipitaciones para los tiempos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años “tabla 9”, mediante la función de Goodrich que fue la de mejor ajuste con respecto a los estadísticos del vector regional, relacionado con los métodos de Gauss, Gumbel, Galton, Pearson3 y 5, WRC-USA y Fuites para la obtención de la precipitación para cada tiempo de retorno.

Tabla 9 Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de retorno

TR (AÑOS)	M138 (mm)	M139 (mm)	M424 (mm)	M431 (mm)
20	76.4734	81.4108	91.7639	126.3323
50	79.2679	84.3858	95.1171	130.9487
100	81.1311	86.3692	97.3528	134.0266
200	82.8359	88.1841	99.3985	136.8430
500	84.9022	90.3838	101.8779	140.2564

Elaborado por: Autor

Figura 11 Precipitaciones máximas a diversos periodos de retorno





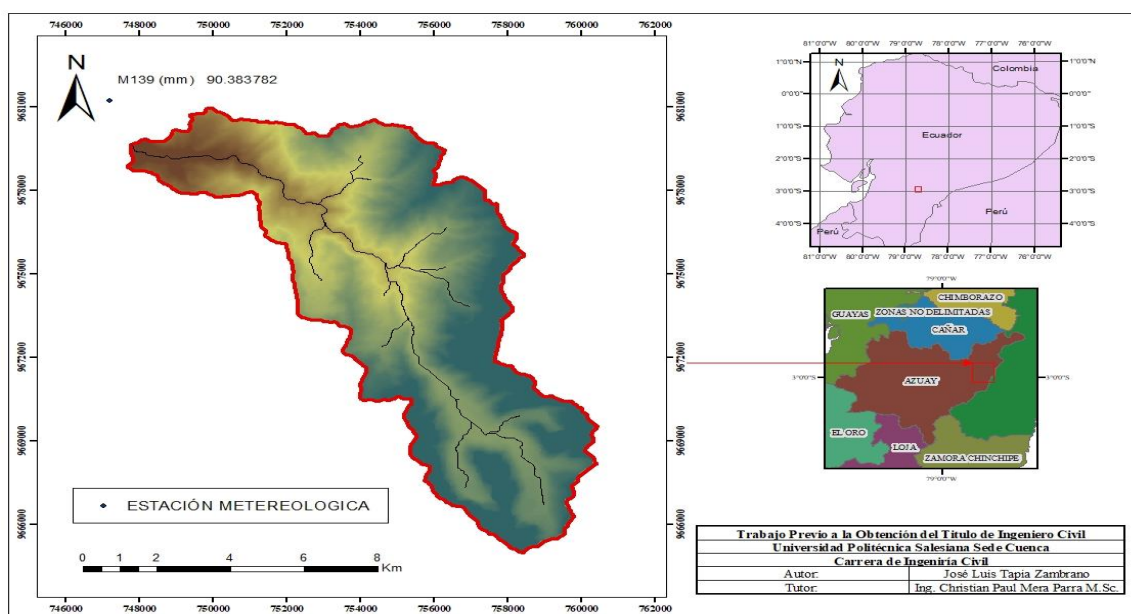
Ahora bien, se procedió a generar las interpolaciones con el método de la distancia inversa ponderada “IDW” respectivas para obtener la precipitación media “tabla 10”, representativa para la cuenca de análisis en torno a la estación más cercana que en este caso fue la M0139 y a cada tiempo de retorno mencionado anteriormente; se escogió este método de análisis debido a su versatilidad para realizar el manejo de los datos y coherencia en resultados.

Tabla 10 Valores medios mediante la interpolación IDW

PERIODO DE RETORNO [TR]	VALOR	UNIDAD
Tr20	89.842887	mm
Tr50	93.125942	mm
Tr100	95.314792	mm
Tr200	97.317698	mm
Tr500	99.745208	mm

Elaborado por: Autor

Figura 12 Ubicación estación M0139 - Gualaceo



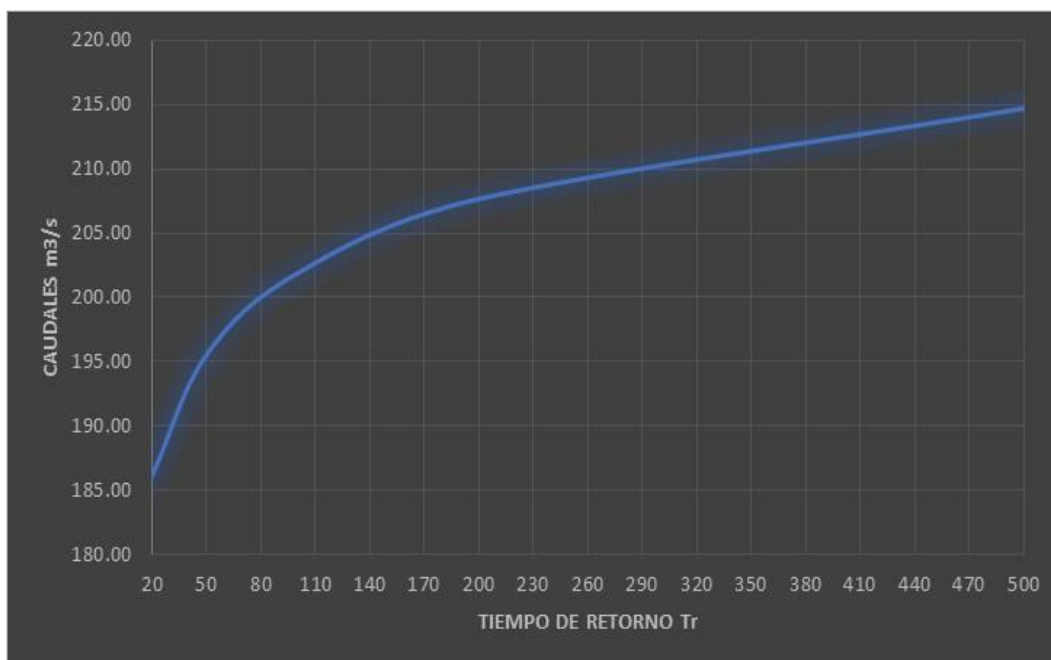
En relación al valor de la interpolación se procedió a obtener los valores de las intensidades según las ecuaciones que nos brindan en la actualización del estudio de lluvias intensas (Guachamín, García, Arteaga, & Cadena, 2019); a su vez determinar la precipitación máxima para ese periodo de retorno “tabla 11” y mediante los diferentes métodos nombrados en el inciso 4.5 estableciendo los posibles caudales a tener en ese periodo de retorno; y también realizando un breve análisis en comparación con el estudio realizados sobre la misma cuenca en donde Quito Bonilla & Picón Illescas (2022) establecen caudales máximos de 159.317 m<sup>3</sup>/s para un tiempo de retorno de 25 años y un caudal de 179.901 m<sup>3</sup>/s para un tiempo de retorno de 50 años; y los señalados por Moreno Travez & Naranjo Armijos (2012) en los hidrogramas como máximos anuales son de 170 m<sup>3</sup>/s y 110 m<sup>3</sup>/s aproximadamente; obteniendo una correlación consistente en todos los datos obtenidos.

*Tabla 11 Intensidad, precipitación y caudal para cada Tr*

<b>TIEMPO DE RETORNO</b>	<b>INTENSIDAD [mm/h]</b>	<b>PRECIPITACIÓN MAX [mm]</b>	<b>CAUDAL [m<sup>3</sup>/s]</b>
<b>Tr20</b>	17.87823341	82.08741117	186.19
<b>Tr50</b>	18.53154304	85.08706417	195.60
<b>Tr100</b>	18.96711199	87.08696685	201.90
<b>Tr200</b>	19.36567911	88.9169767	207.68
<b>Tr500</b>	19.84874006	91.13493761	214.70

Elaborado por: Autor

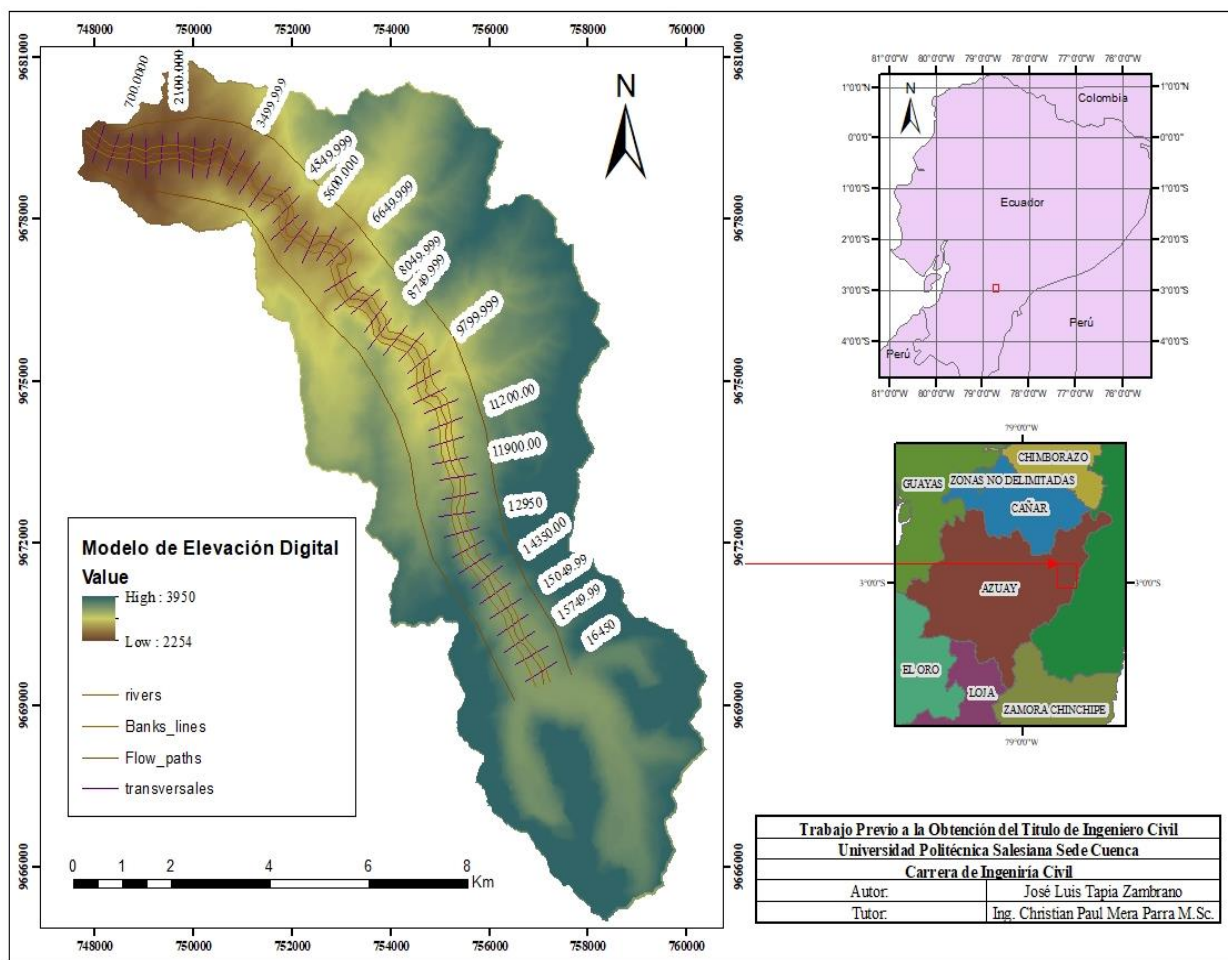
Figura 13 Caudales a diferentes tiempos de retorno



## 5.6 Mapas de inundación

En la obtención de las inundaciones se lo realizó mediante un software nombrado en el inciso 4.8; con el cual se generó la línea de flujo, la delimitación de los márgenes del cuce y su respectiva dirección de flujo “figura 14”, demostrando en que zonas se registraron las inundaciones mediante el abscisado o secciones transversales a lo largo de todo el flujo.

Figura 14 Composición de las secciones transversales



Al tener ya asignado los parámetros de la geometría ya mencionados se procede a configurar el parámetro del coeficiente de Manning que en este caso se estableció para el margen izquierdo y derecho de la cuenca de 0.04 y para el centro de 0.035; de igual forma, para las longitudes de alcance agua abajo se estableció un valor de 350 metros; consiguientemente, se ingresaron los caudales y adicionalmente la pendiente de la cuenca obtenidos en el inciso 4.1. y, por último, se verifico que no exista ningún tipo de error para poder adquirir la simulación de la inundación que se provocaría a cada tiempo de retorno, determinando así cuales son los márgenes que este fenómeno natural afectaría en la zona más baja de la cuenca. A continuación, se presenta

un resumen de las secciones transversales en el punto más bajo, con los datos hidráulico obtenidos tras la simulación de las llanuras de inundación:

Figura 15 Datos hidráulicos de las inundaciones

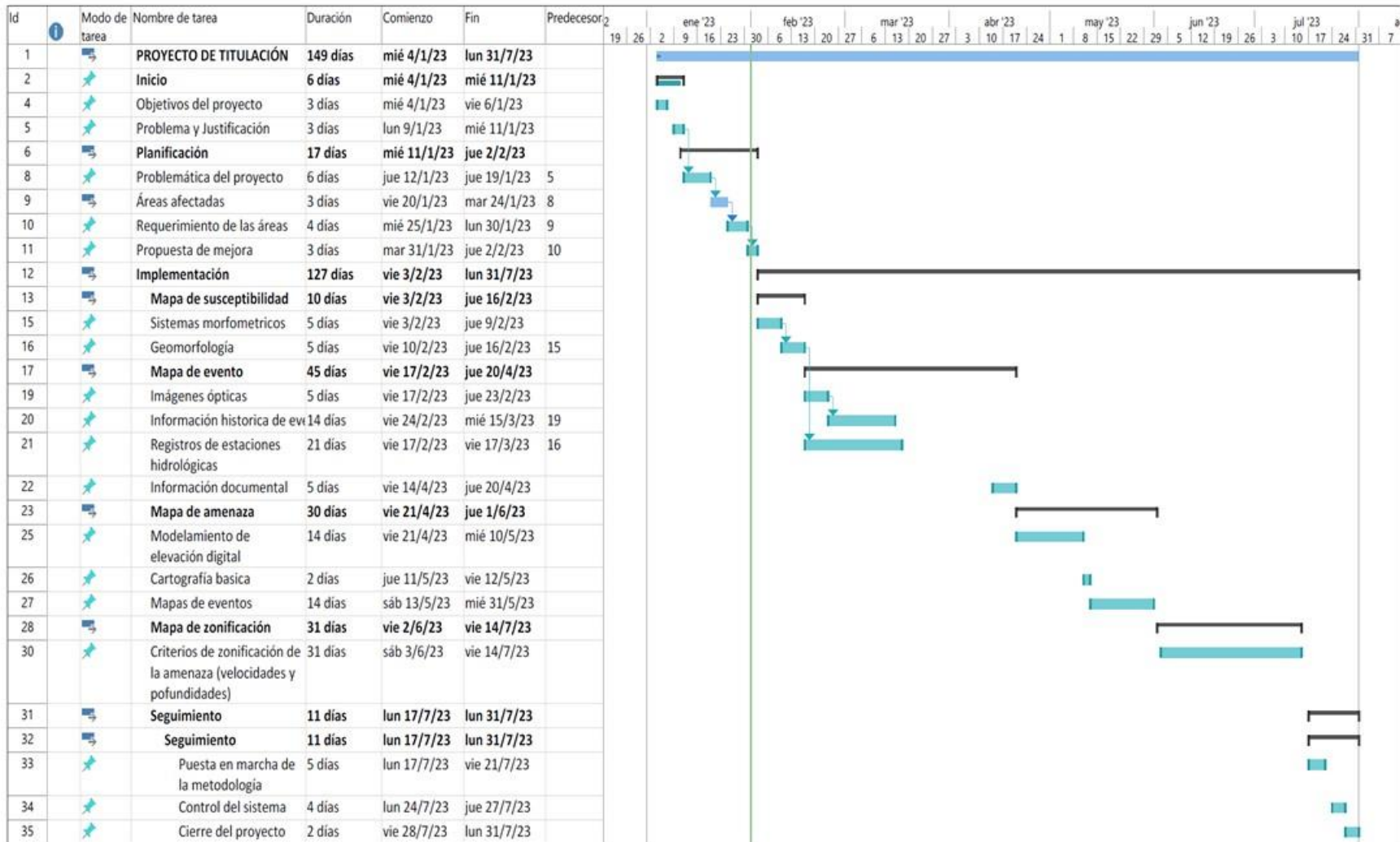
HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Rio SF Reach: Tramo 1 (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Tramo 1	2800.000	TR200	207.68	2363.07	2367.57	2365.23	2367.64	0.042872	1.22	170.87	56.94	0.22
Tramo 1	2800.000	TR500	214.70	2363.07	2367.63	2365.26	2367.71	0.042890	1.23	174.75	57.30	0.22
Tramo 1	2450.000	TR20	189.19	2323.00	2324.83	2324.83	2325.43	1.157180	3.43	55.24	46.72	1.01
Tramo 1	2450.000	TR50	195.60	2323.00	2324.86	2324.86	2325.47	1.149525	3.45	56.72	47.24	1.01
Tramo 1	2450.000	TR100	201.90	2323.00	2324.90	2324.90	2325.51	1.133417	3.46	58.33	47.81	1.00
Tramo 1	2450.000	TR200	207.68	2323.00	2324.92	2324.92	2325.54	1.130737	3.49	59.58	48.24	1.00
Tramo 1	2450.000	TR500	214.70	2323.00	2324.95	2324.95	2325.58	1.139394	3.53	60.76	48.47	1.01
Tramo 1	2100.000	TR20	189.19	2296.00	2301.07	2297.60	2301.11	0.013905	0.81	234.81	61.90	0.13
Tramo 1	2100.000	TR50	195.60	2296.00	2301.15	2297.63	2301.19	0.013976	0.82	239.79	62.27	0.13
Tramo 1	2100.000	TR100	201.90	2296.00	2301.24	2297.66	2301.27	0.013994	0.82	244.94	62.65	0.13
Tramo 1	2100.000	TR200	207.68	2296.00	2301.31	2297.68	2301.34	0.014048	0.83	249.39	62.98	0.13
Tramo 1	2100.000	TR500	214.70	2296.00	2301.40	2297.71	2301.43	0.014087	0.84	254.91	63.39	0.13
Tramo 1	1749.999	TR20	189.19	2282.07	2284.56	2284.56	2285.32	1.089646	3.85	49.13	33.03	1.01
Tramo 1	1749.999	TR50	195.60	2282.07	2284.61	2284.61	2285.37	1.065287	3.86	50.68	33.39	1.00
Tramo 1	1749.999	TR100	201.90	2282.07	2284.64	2284.64	2285.41	1.075836	3.91	51.63	33.60	1.01
Tramo 1	1749.999	TR200	207.68	2282.07	2284.68	2284.68	2285.46	1.056799	3.92	52.99	33.89	1.00
Tramo 1	1749.999	TR500	214.70	2282.07	2284.71	2284.71	2285.51	1.053375	3.95	54.29	34.17	1.00
Tramo 1	1400.000	TR20	189.19	2276.00	2281.28	2276.95	2281.28	0.002371	0.35	538.46	133.25	0.06
Tramo 1	1400.000	TR50	195.60	2276.00	2281.35	2276.96	2281.36	0.002403	0.36	548.28	133.94	0.06
Tramo 1	1400.000	TR100	201.90	2276.00	2281.42	2276.99	2281.43	0.002438	0.36	557.49	134.58	0.06
Tramo 1	1400.000	TR200	207.68	2276.00	2281.48	2277.00	2281.49	0.002467	0.37	566.04	135.18	0.06
Tramo 1	1400.000	TR500	214.70	2276.00	2281.56	2277.02	2281.57	0.002502	0.37	576.23	135.88	0.06
Tramo 1	1049.999	TR20	189.19	2276.00	2278.17	2277.73	2278.38	0.437086	2.06	91.67	80.10	0.62
Tramo 1	1049.999	TR50	195.60	2276.00	2278.21	2277.75	2278.43	0.418411	2.05	95.47	81.63	0.60
Tramo 1	1049.999	TR100	201.90	2276.00	2278.26		2278.47	0.400745	2.03	99.29	83.14	0.59
Tramo 1	1049.999	TR200	207.68	2276.00	2278.30		2278.51	0.385967	2.02	102.80	84.49	0.58
Tramo 1	1049.999	TR500	214.70	2276.00	2278.35		2278.56	0.370802	2.01	106.92	86.06	0.58
Tramo 1	700.0000	TR20	189.19	2264.00	2267.80	2265.00	2267.82	0.009939	0.61	312.39	100.01	0.11
Tramo 1	700.0000	TR50	195.60	2264.00	2267.86	2265.02	2267.88	0.009984	0.61	318.82	100.43	0.11
Tramo 1	700.0000	TR100	201.90	2264.00	2267.92	2265.04	2267.94	0.010032	0.62	325.01	100.83	0.11
Tramo 1	700.0000	TR200	207.68	2264.00	2267.98	2265.05	2268.00	0.010075	0.63	330.63	101.19	0.11
Tramo 1	700.0000	TR500	214.70	2264.00	2268.05	2265.08	2268.07	0.010120	0.64	337.44	101.63	0.11
Tramo 1	349.9999	TR20	189.19	2256.00	2256.74	2256.56	2256.89	0.595611	1.74	109.05	156.69	0.66
Tramo 1	349.9999	TR50	195.60	2256.00	2256.75	2256.58	2256.91	0.595471	1.76	111.32	156.96	0.67
Tramo 1	349.9999	TR100	201.90	2256.00	2256.77	2256.59	2256.93	0.595368	1.78	113.51	157.23	0.67
Tramo 1	349.9999	TR200	207.68	2256.00	2256.78	2256.60	2256.94	0.595352	1.80	115.50	157.47	0.67
Tramo 1	349.9999	TR500	214.70	2256.00	2256.79	2256.61	2256.96	0.595308	1.82	117.90	157.76	0.67

## CAPÍTULO VI

## CRONOGRAMA

Figura 16 Cronograma de actividad



## CAPITULO VII

## PRESUPUESTO

Tabla 12 Presupuesto referencial

NÚMERO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
1	Modelamiento SIG	1	\$ 10	\$10
2	Computadora portátil	1	\$ 80,0	\$80
3	Obtención morfométrica	1	\$15,00	\$150,00
4	Generación mapas de inundación	4	\$4,50	\$18,00
5	Evaluación del proyecto	1	\$3,50	\$3,50
6	Software	2	\$100,00	\$200,00
8	Transporte	1	\$30,00	\$30,00
9	Internet (meses)	5	\$21,00	\$105,00
10	Mano de Obra	1	\$100,00	\$100,00
11	Otros gastos	12	\$100,00	\$1200,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$816.5</b>

Elaborado por: Autor

## CAPITULO VIII

### CONCLUSIONES

Tras identificar los diferentes usos y coberturas del suelo de la cuenca San Francisco mediante las técnicas de teledetección, se ha llegado a la conclusión de que en la zona prevalece una extensión de 31.07 km<sup>2</sup> cubierta por vegetación arbustiva, la cual tiene un impacto significativo en los diversos grupos hidrológicos presentes. Además, se han determinado para bosque una extensión de 14.76 km<sup>2</sup>; para cultivos una extensión de 13.89 km<sup>2</sup>; para pajonales una extensión de 5.81 km<sup>2</sup>; para pastizales una extensión de 3.16 km<sup>2</sup>; para cuerpos de agua una extensión de 1.98 km<sup>2</sup>; para nubosidad una extensión de 7.07 km<sup>2</sup>; para zonas urbanas una extensión de 2.24 km<sup>2</sup> y para la cobertura de suelo desnudo una extensión de 13378.4 m<sup>2</sup>, siendo datos que proporcionan un panorama claro de la distribución de los diferentes tipos de cobertura de suelo dentro de la zona estudiada.

Una vez realizado un análisis detallado del tipo de infiltración y la retención del suelo, luego de haber establecido los diversos números de curva, mediante el reconocimiento de la clasificación de los usos y coberturas del suelo, se concluye que en la zona de estudio predomina el grupo hidrológico tipo D, correspondiente al suelo en estado impermeable, contemplando una extensión de 62.16 km<sup>2</sup>. Por otro lado, se ha determinado que para el grupo hidrológico tipo A con un estado del suelo muy permeable se obtuvo una extensión de 22.13 km<sup>2</sup>. Asimismo, el grupo hidrológico tipo B, que se refiere a suelo permeable, cubre una extensión de 32.65 km<sup>2</sup> y, por último, el grupo hidrológico tipo C, con un estado de suelo muy impermeable, abarca una extensión de 12.37 km<sup>2</sup>.

Al determinar los máximos caudales, se encontró que, para un tiempo de retorno de 20 años, existe un caudal de 186.13 m<sup>3</sup>/s; para un tiempo de retorno de 50 años, el caudal es de 195.60



m<sup>3</sup>/s; para un tiempo de retorno de 100 años, el caudal es de 201.90 m<sup>3</sup>/s; para un tiempo de retorno de 200 años, el caudal es de 207.68 m<sup>3</sup>/s; y para un tiempo de retorno de 500 años, el caudal es de 214.70 m<sup>3</sup>/s. Por lo que, en comparación con estudios anteriores realizados en la misma cuenca, donde se establecieron caudales máximos de 159.317 m<sup>3</sup>/s y 179.901 m<sup>3</sup>/s para tiempos de retorno de 25 y 50 años respectivamente, así como máximos anuales de 170 m<sup>3</sup>/s en 1991 y 110 m<sup>3</sup>/s en 1990, se puede concluir que los resultados obtenidos en este estudio guardan una consistencia estadística válida y pueden ser considerados en otros estudios o proyectos futuros.

Después de depurar y analizar los datos proporcionados por los anuarios del INAMHI de cada una de las estaciones anexas a la cuenca de estudio dentro del mismo régimen, se llega a la conclusión de que al aplicar el método de interpolación mediante la distancia inversa ponderada IDW se logra una regionalización efectiva, permitiendo homogeneizar y completar los datos faltantes dentro del registro. Con base en todos los registros recopilados, se han determinado los siguientes resultados: para un tiempo de retorno de 20 años, se obtiene una intensidad de 17.88 mm/h y un caudal máximo de 186.19 m<sup>3</sup>/s; para un tiempo de retorno de 50 años, la intensidad es de 18.53 mm/h y el caudal máximo de 195.60 m<sup>3</sup>/s; en cuanto a un tiempo de retorno de 100 años, la intensidad es de 18.97 mm/h y el caudal máximo alcanza los 201.9 m<sup>3</sup>/s; para un tiempo de retorno de 200 años, la intensidad es de 19.37 mm/h y el caudal máximo es de 207.68 m<sup>3</sup>/s; por último, para un tiempo de retorno de 500 años, la intensidad es de 19.85 mm/h y el caudal máximo es de 214.70 m<sup>3</sup>/s; mostrando que estos resultados tanto la intensidad como el caudal aumentan ligeramente a medida que aumenta el tiempo de retorno.

Luego de analizar los máximos caudales y la ruta de flujo, se ha identificado la respuesta hidrológica de la cuenca de estudio. Como resultado, se concluye que la zona más baja de la cuenca es la más propensa a sufrir inundaciones; obteniendo en promedio, desde el eje del río hacia el

margen izquierdo, una extensión de inundación de 38.25 m para un periodo de retorno de 20 años, 38.73 m para un periodo de retorno de 50 años, 38.91 m para un periodo de retorno de 100 años, 38.76 m para un periodo de retorno de 200 años y 38.80 m para un periodo de retorno de 500 años. Por otro lado, para el margen derecho, se ha registrado una extensión de inundación de 67.12 m para un periodo de retorno de 20 años, 67.29 m para un periodo de retorno de 50 años, 67.34 m para un periodo de retorno de 100 años, 67.24 m para un periodo de retorno de 200 años y 67.39 m para un periodo de retorno de 500 años. En particular, se destaca un valor máximo de inundación de margen a margen de 106.25 m correspondiente a un periodo de retorno de 100 años, lo que indica que en este tiempo de retorno es probable que ocurra una inundación de mayor magnitud en comparación con los demás periodos.

## CAPITULO IX

### RECOMENDACIONES

Ser muy sigiloso al momento de procesar los datos de las precipitaciones de las estaciones cercanas a la cuenca para evitar que se generen vacíos y puedan discontinuar con los procedimientos posteriores a ser tratados.

Considerar los márgenes específicos de cada pixel al momento de generar la clasificación del uso y cobertura del suelo para evitar que al momento de establecer la firma espectral como resultado el programa considere zonas que no correspondan a dicha clasificación; así también, ahorrándonos memoria computacional.

Para estudios a futuro en cuencas similares, es recomendable hacer una valoración exacta de los coeficientes de Manning para el fondo del cauce y los márgenes, acorde a metodología ya comprobada.

Verificar que al momento de generar el abscisado para los márgenes de inundación estos no se unan entre sí en ningún punto y que adicionalmente se encuentren por el margen del cauce sin salirse del modelo de elevación digital.

Aplicar esta metodología en cuencas orientales, en cuencas con un régimen más intenso, cuencas con condiciones de drenaje diferente, cuencas costeras.

## CAPITULO X

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguirre, N. (2007). *Manual para el manejo sustentable de cuencas hidrográficas*. Universidad Nacional de Loja, Loja.

Alonso, C., Moreno, V., & Rodríguez, E. (1999). Determinación experimental de la firma espectral de la vegetación. Una sencilla práctica de introducción a la teledetección. *TELEDETECCIÓN. Avances y Aplicaciones. VIII Congreso Nacional de Teledetección. Albacete*, 429-432. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Carmelo-Alonso-Jimenez/publication/237515103\\_DETERMINACION\\_EXPERIMENTAL\\_DE\\_LA\\_FIRMA\\_ESPECTRAL\\_DE\\_LA\\_VEGETACION\\_UNA\\_SENCILLA\\_PRACTICA\\_DE\\_INTRODUCCION\\_A\\_LA\\_TELEDETECCION/links/5a5b3557a6fdcc3bfb606a24/DETERMINACION-EXPER](https://www.researchgate.net/profile/Carmelo-Alonso-Jimenez/publication/237515103_DETERMINACION_EXPERIMENTAL_DE_LA_FIRMA_ESPECTRAL_DE_LA_VEGETACION_UNA_SENCILLA_PRACTICA_DE_INTRODUCCION_A_LA_TELEDETECCION/links/5a5b3557a6fdcc3bfb606a24/DETERMINACION-EXPER)

Bates, P. (2022). Flood Inundation Prediction. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 54(1), 288-289. doi:10.1146/annurev-fluid-030121-113138

Brizuela, A., Aguirre, C., & Velasco, I. (2007). Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsar 5 para análisis multitemporal. (Martin, Ed.) *TELEDETECCIÓN-Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional*, 208. Obtenido de <http://www.aet.org.es/congresos/xii/arg27.pdf>

Chuvieco, E., Salas, J., & Riaño, D. (2000). Corrección Atmosférica y Topográfica, Información Multitemporal y Auxoliar Aplicadas a la Cartografía de Modelos de Combustibles con Imágenes Landsar-Tm. *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible*, 222-239. Obtenido de

de

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/45130055/Correccion\\_Atmosfrica\\_y\\_Topogrifica\\_Inform20160427-30904-412bgs-libre.pdf?1461756379=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCorreccion\\_Atmosferica\\_y\\_Topografica\\_Inf.pdf&Expires=1689276897&Signature=](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/45130055/Correccion_Atmosfrica_y_Topogrifica_Inform20160427-30904-412bgs-libre.pdf?1461756379=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCorreccion_Atmosferica_y_Topografica_Inf.pdf&Expires=1689276897&Signature=)

Equipo Consultor. PDOT LCV. (2021). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Luis Cordero Vega*. Obtenido de [https://gpluiscorderovega.gob.ec/azuay/wp-content/uploads/2021/02/Diagnostico\\_PDOT\\_LCV.pdf](https://gpluiscorderovega.gob.ec/azuay/wp-content/uploads/2021/02/Diagnostico_PDOT_LCV.pdf)

Fallas, J. (2007). *Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones*. Universidad Nacional, Costa Rica.

Flores Saira, F. A. (2018). *Hidrometría*. Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, Perú. Obtenido de [http://3.17.44.64/bitstream/handle/20.500.12819/407/Aracely\\_Trabajo\\_de\\_suficiencia\\_titulo\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://3.17.44.64/bitstream/handle/20.500.12819/407/Aracely_Trabajo_de_suficiencia_titulo_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

García Gonzáles, E. (2006). *Corrección del sombreado topográfico en imágenes landsat etm+, aplicado al inventario de cuerpos de agua*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Genovez Muñoz, D. G. (2018). Análisis de precipitaciones y elaboración de hietogramas de diseño para la ciudad de Cuenca. *Análisis de precipitaciones y elaboración de hietogramas de diseño para la ciudad de Cuenca*. Universidad del Azuay, Cuenca, Azuay, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8278>

- González de Matauco, A. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicados a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*(38), 319.
- Guachamín, W., García, F., Arteaga, M., & Cadena, J. (2019). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*. INAMHI, Quito, Ecuador.
- HEC-RAS Hydraulic Reference Manual. (2020). *HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual*. Washington DC.
- Hernández, J., & Montaner, D. (2009). Patrones de respuesta espectral. *Lab. Geomática y Ecología del Paisaje (GEP)-Facultad de Ciencias Forestales*, 3. Obtenido de <https://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Hern%C3%A1ndez%20&%20Montaner%202009%20SAF.pdf>
- Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. M. (2011). Morfología de las cuencas hidrográficas.
- Instituto Geográfico Nacional. (08 de 07 de 2023). *ign.es*. (P. N. Teledetección, Productor) Obtenido de ign.es: <https://pnt.ign.es/satelites-sentinel>
- Jardi, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, XIX, 44.
- Lux Cardona, B. (2016). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas.
- Mantilla, H. (06 de noviembre de 2020). *Scribd*. Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/document/483092182/Combinacion-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-Landsat-y-Sentinel-pdf#>

Moreno Travez, R. R., & Naranjo Armijos, J. P. (2012). Diseño de un parque de microcentrales hidroeléctricas para la cuenca baja del río San Francisco del cantón Gualaceo provincia del Azuay. *Diseño de un parque de microcentrales hidroeléctricas para la cuenca baja de río San Francisco del cantón Gualaceo provincia del Azuay*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Azuay, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3300>

Quito Bonilla, A. E., & Picón Illescas, W. H. (2022). Evaluación hidrológica e hidráulica del río San Francisco en el cantón Gualaceo. *Evaluación hidrológica e hidráulica del río San Francisco en el cantón Gualaceo*. Universidad del Azuay, Cuenca. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/12368>

Secretaría Nacional de Planificación. (2014). *Sistema Nacional de Información*. Recuperado el mayo de 2023, de Sistema Nacional de Información: <https://sni.gob.ec/coberturas>

Sedano Cruz, K., Carvajal Escobar, Y., & Ávila Díaz, Á. (2013). ANÁLISIS DE ASPECTOS QUE INCREMENTAN EL RIESGO DE INUNDACIONES EN COLOMBIA. *Revista Luna Azul*(37), 220-221.

Senciales Gonzáles, J. M. (1998). El análisis morfológico de las cuencas fluviales aplicado al estudio hidrográfico. *Norba. Revista de Geografía*, 155-156. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10662/755>

Sercio and GAEL Systems consortium. (s.f.). *Copernicus Open Access Hub*. Obtenido de Copernicus Open Access Hub: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

Sobrino, J. A. (2000). *Teledetección*. Valencia, España: Guada Impresores S.L. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=Yb6xIldfoT0C&oi=fnd&pg=PA89&d>

q=teledetecci%C3%B3n&ots=oTEGAuFHYq&sig=nnjVOaE1mg-  
H1OhXTVAgyp6R\_DI#v=onepage&q&f=false

Spatial Reference. (2013). *Spatial Reference*. Recuperado el junio de 2023, de Spatial Reference:  
<https://spatialreference.org/>

Speranza, F., & Zerda, H. (2005). Clasificación digital de coberturas vegetales a partir de datos  
satelitales multiespectrales. *En Actas del VIII Congreso Argentino de Ingeniería Rural*, 2-  
3. Obtenido de  
[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38051466/Speranza\\_Zerda\\_2005\\_cober\\_veg\\_satel\\_multi-libre.pdf?1435693087=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCLASIFICACION\\_DIGITAL\\_DE\\_COBERTURA\\_S\\_VEGE.pdf&Expires=1688924210&Signature=AukbgWcgf-XRrFU3bMQ9](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38051466/Speranza_Zerda_2005_cober_veg_satel_multi-libre.pdf?1435693087=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCLASIFICACION_DIGITAL_DE_COBERTURA_S_VEGE.pdf&Expires=1688924210&Signature=AukbgWcgf-XRrFU3bMQ9)

Teillet, P. M., Guindon, B., & Goodenough, D. G. (1982). On the Slope-Aspect Correction of  
Multispectral Scanner Data. (T. & Francis, Ed.) *Canadian Journal of Remote Sensing*,  
8(2), 84-106. doi:10.1080/07038992.1982.10855028

Teng, J., Jakeman, A., Vaze, J., Croke, B., Dutta, D., & Kim, S. (2017). Flood inundation  
modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. *Environmental  
Modelling & Software*, 90, 201-216. doi:10.1016/j.envsoft.2017.01.006

Vasconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *Cuecnas  
Hidrográficas*. Cuenca, Azuay, Ecuador. Obtenido de  
<https://dSPACE.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuecnas%20hidrogr%C3%A1ficas.pdf>



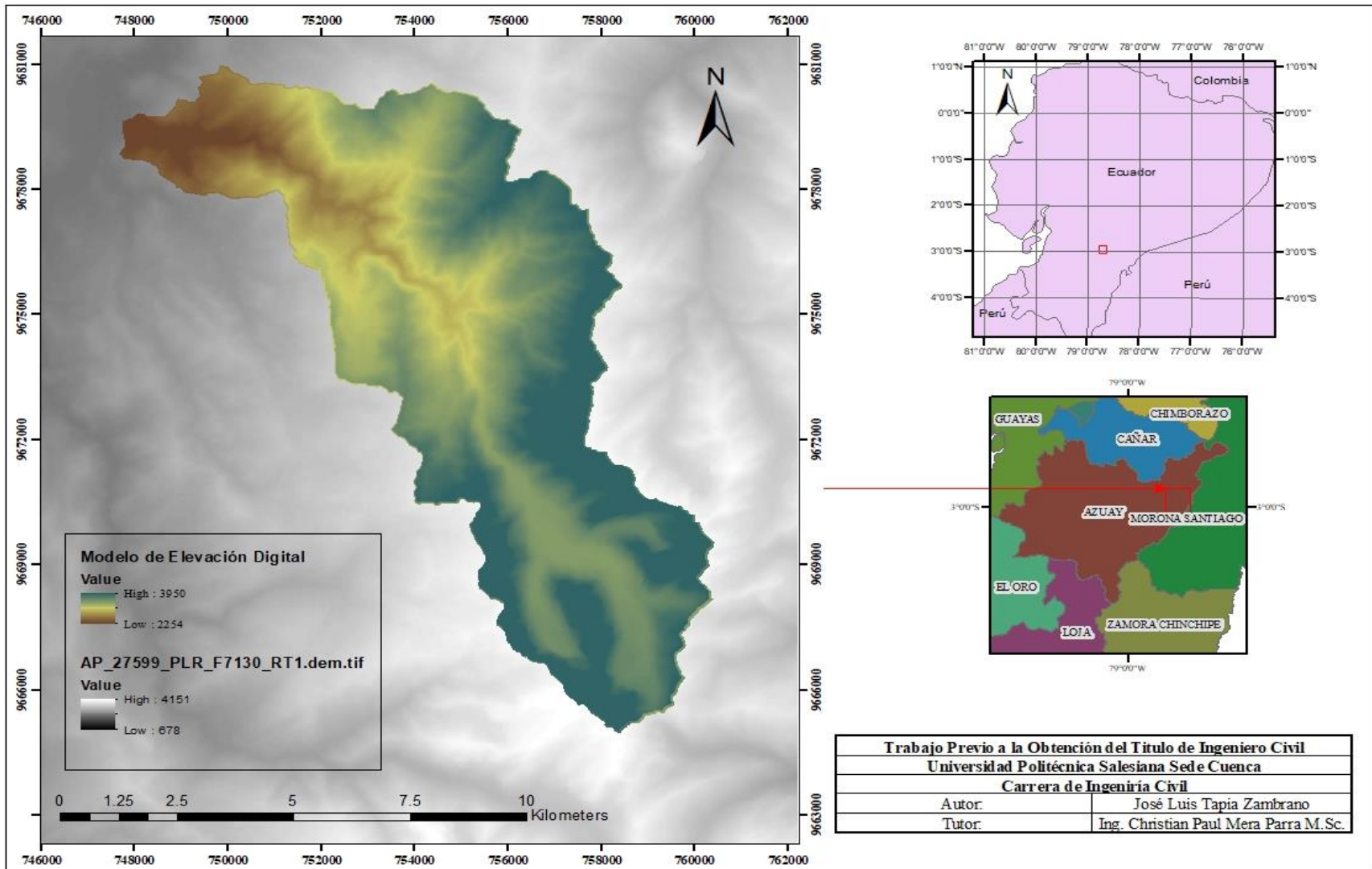
Villegas, P. (25 de febrero de 2020). *aguaysig.com*. Obtenido de *aguaysig.com*:  
<https://aguaysig.com/analisis-morfometrico-de-una-cuenca/>

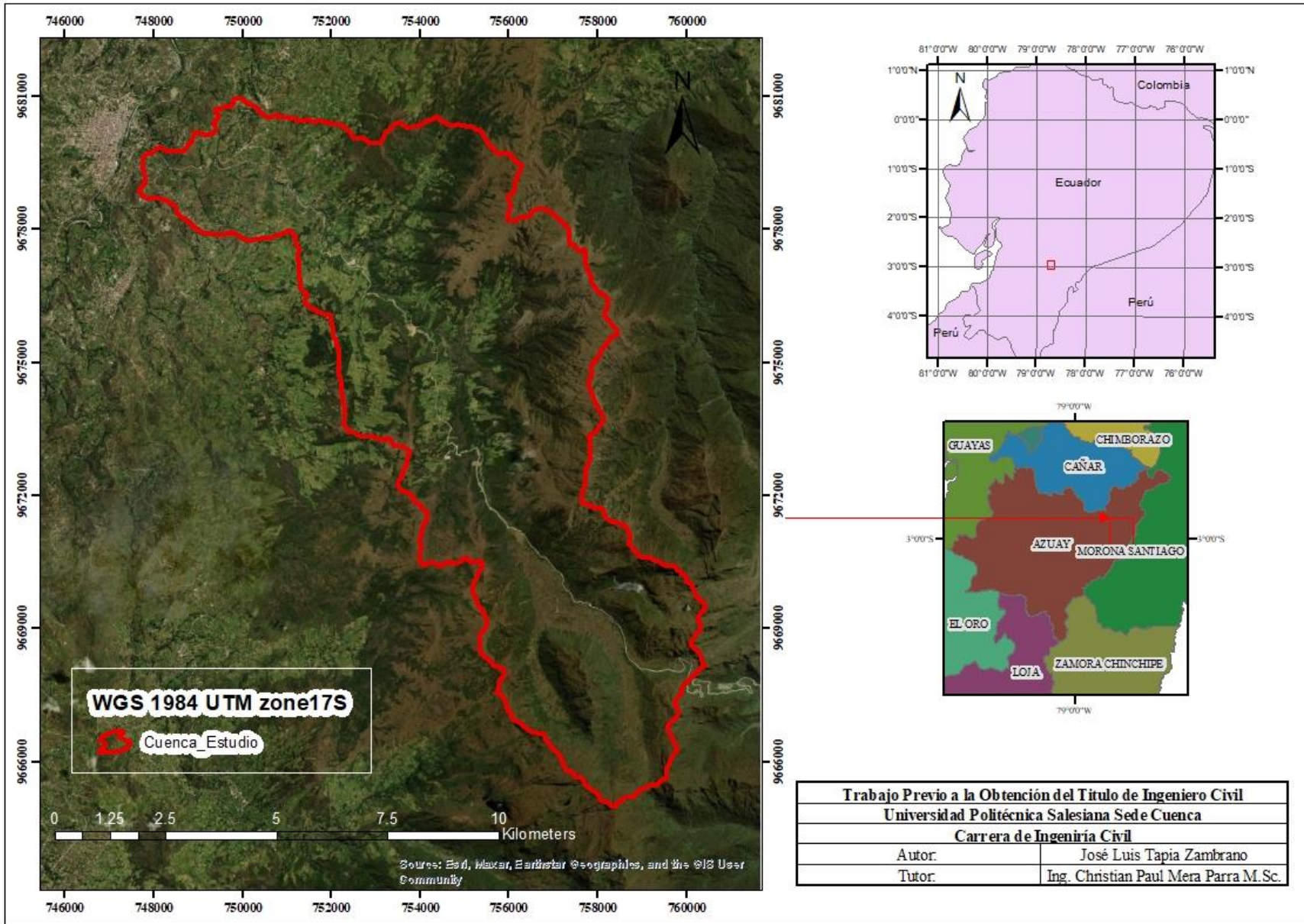
Villón Béjar, M. (2004). *Hidrología*. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Obtenido de  
<https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=-JjGDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=hidrolog%C3%ADa+forestal&ots=liKMpOo665&sig=STHufiQqQe80jYVVeeDFAJadhWU#v=onepage&q=hidrolog%C3%ADa%20forestal&f=false>

Zhicay Lombaida, J. (2020). *Caracterización morfológica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, cantón Gualaceo*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.  
Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18364>

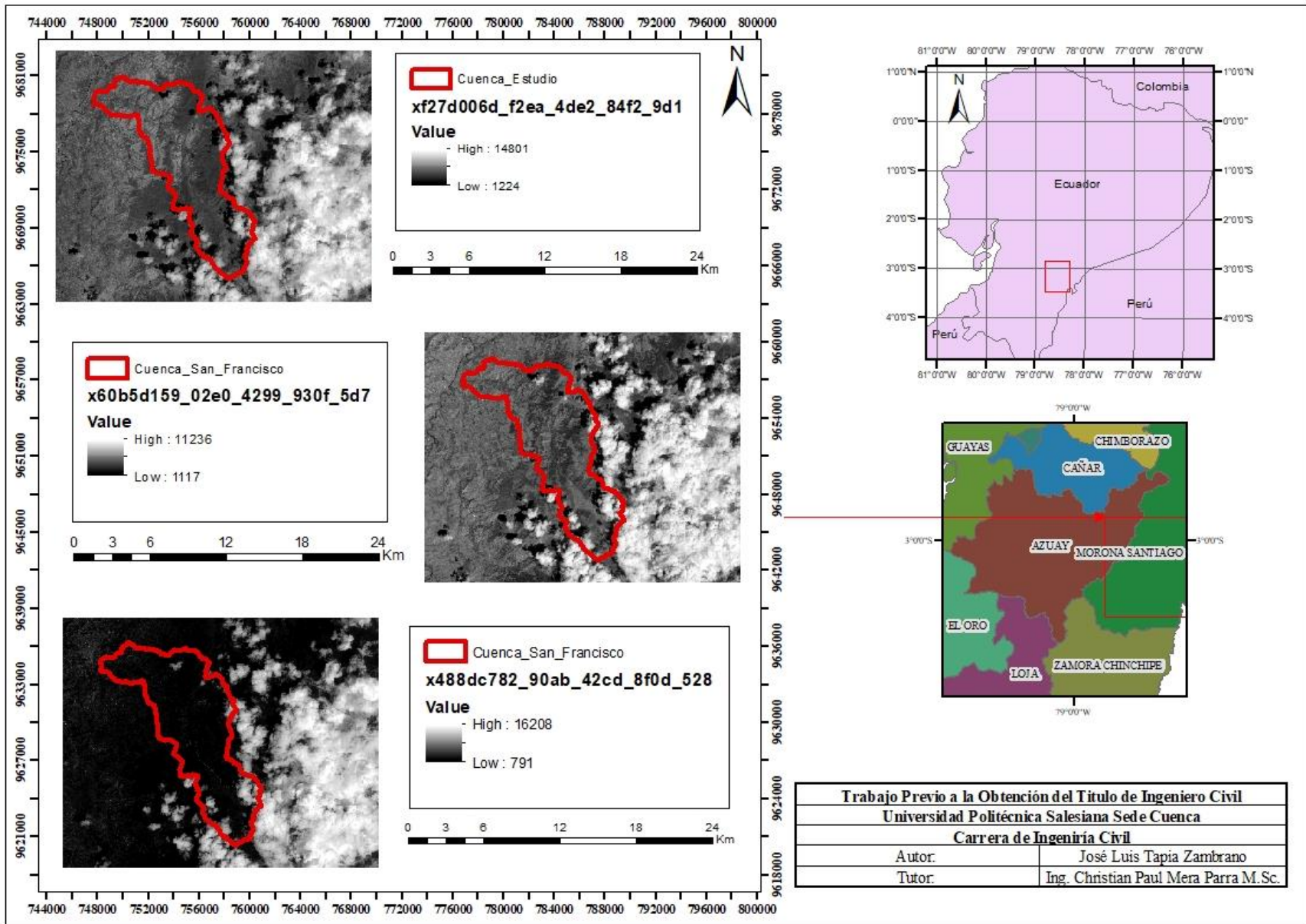
CAPITULO XI

ANEXOS

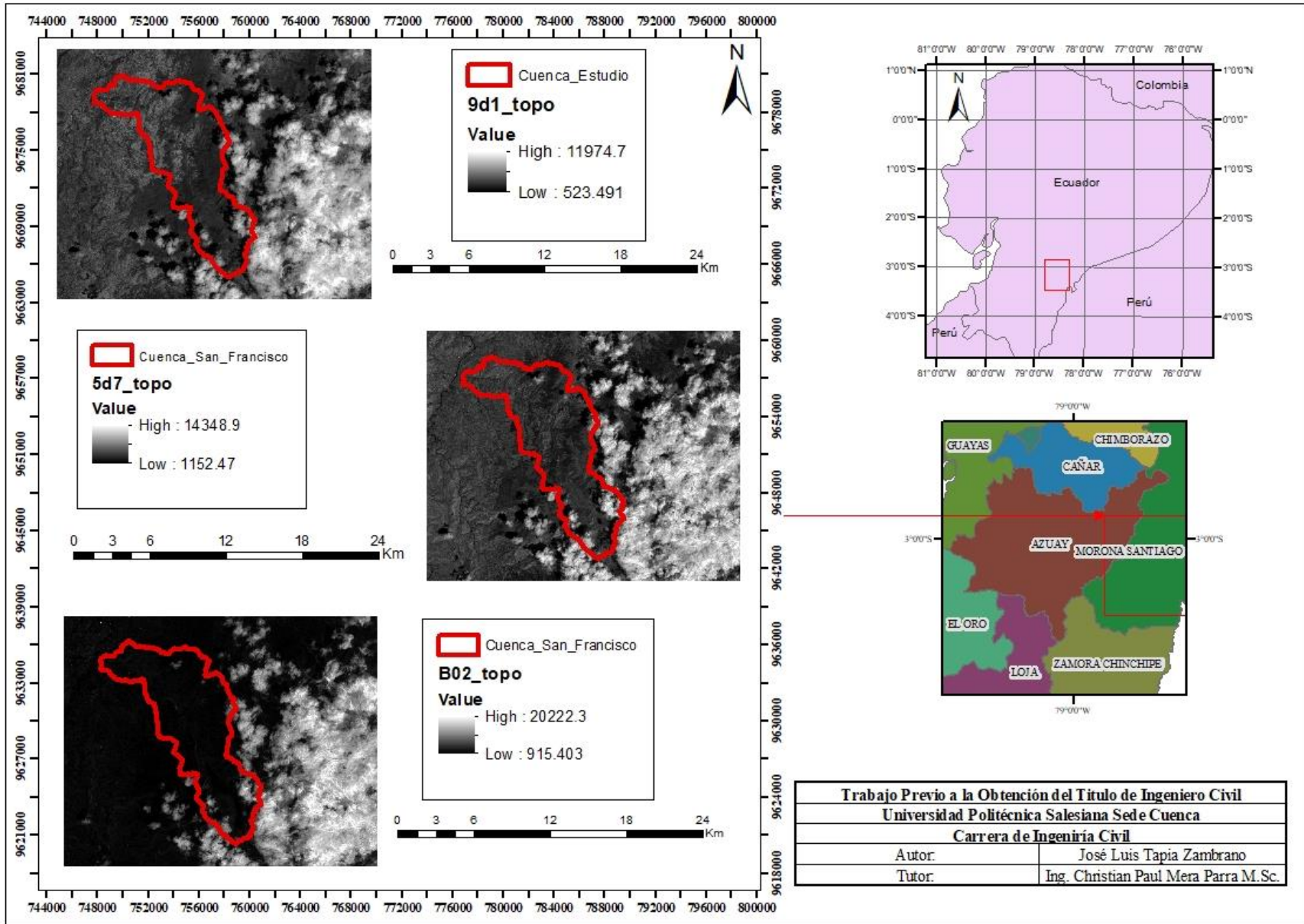




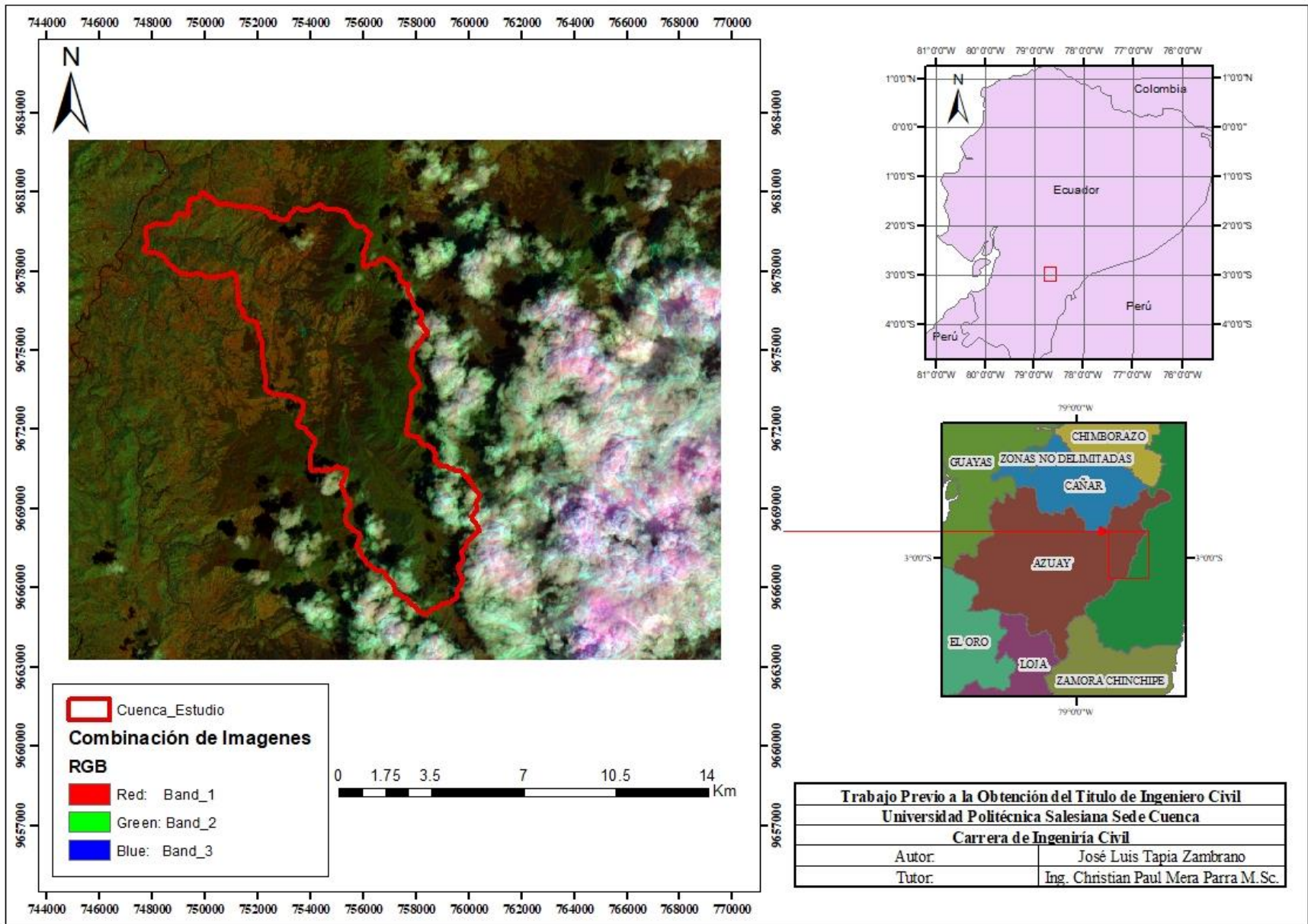


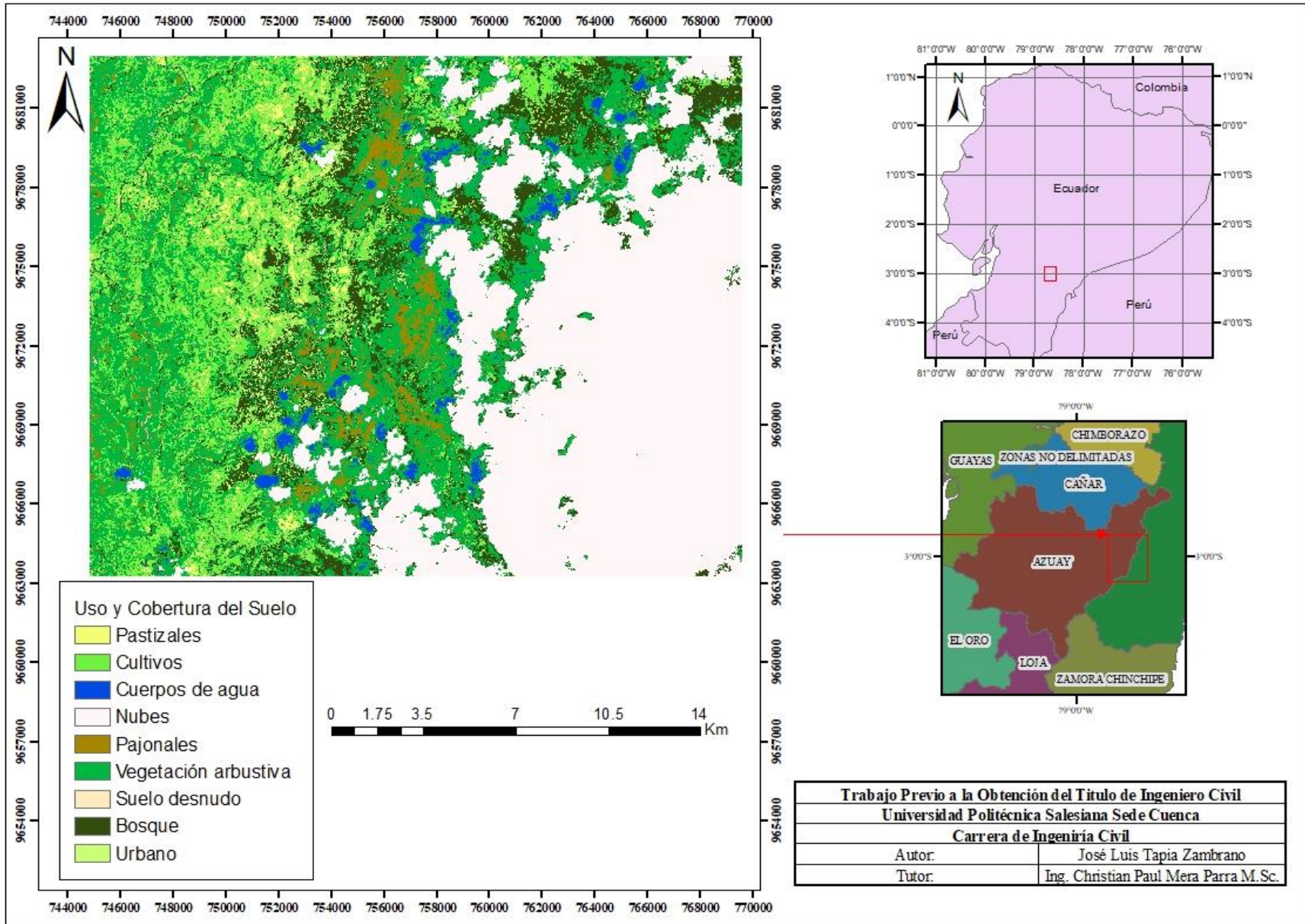


<b>Trabajo Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Civil</b>	
<b>Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca</b>	
<b>Carrera de Ingeniería Civil</b>	
Autor:	José Luis Tapia Zambrano
Tutor:	Ing. Christian Paul Mera Parra M.Sc.

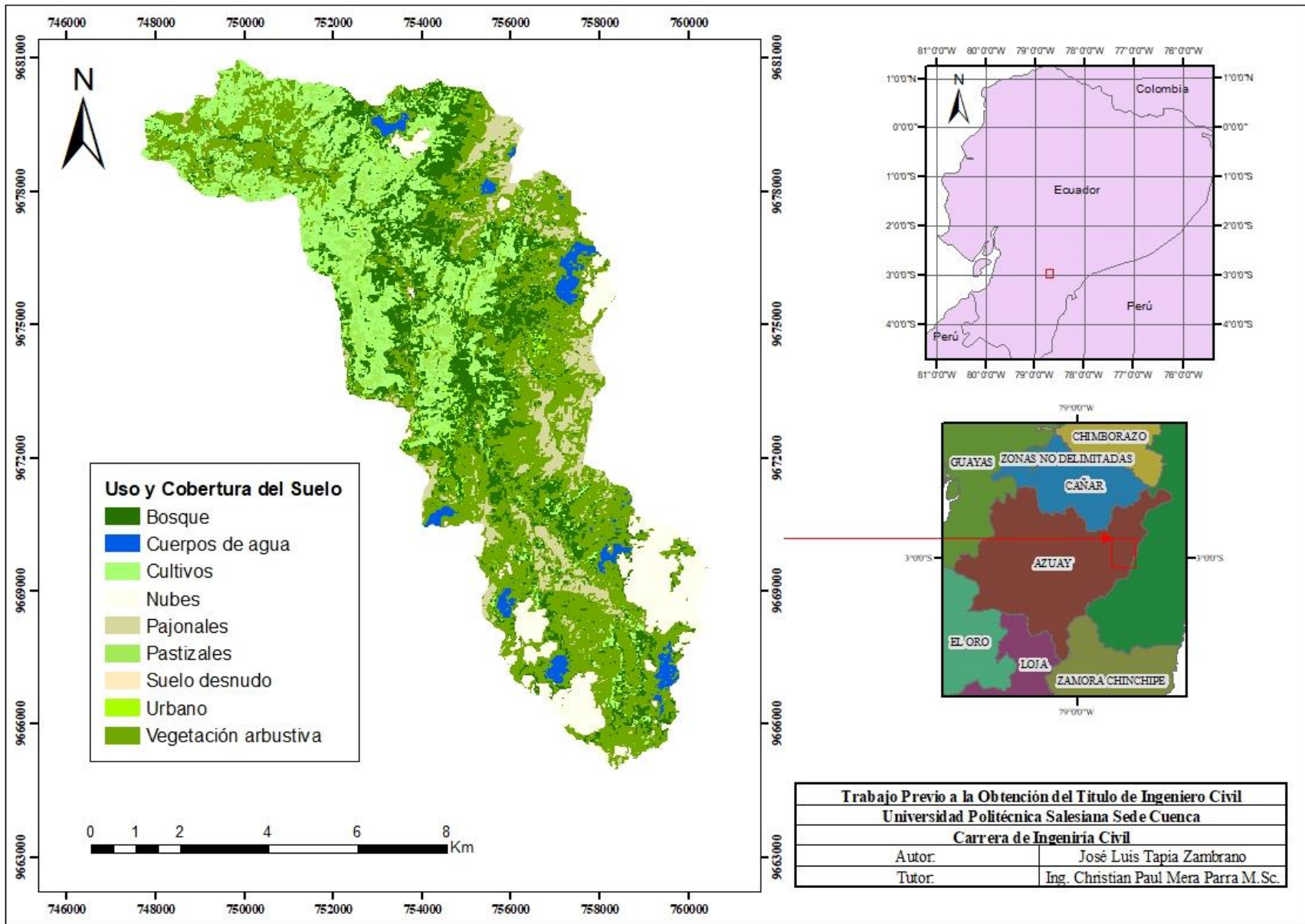




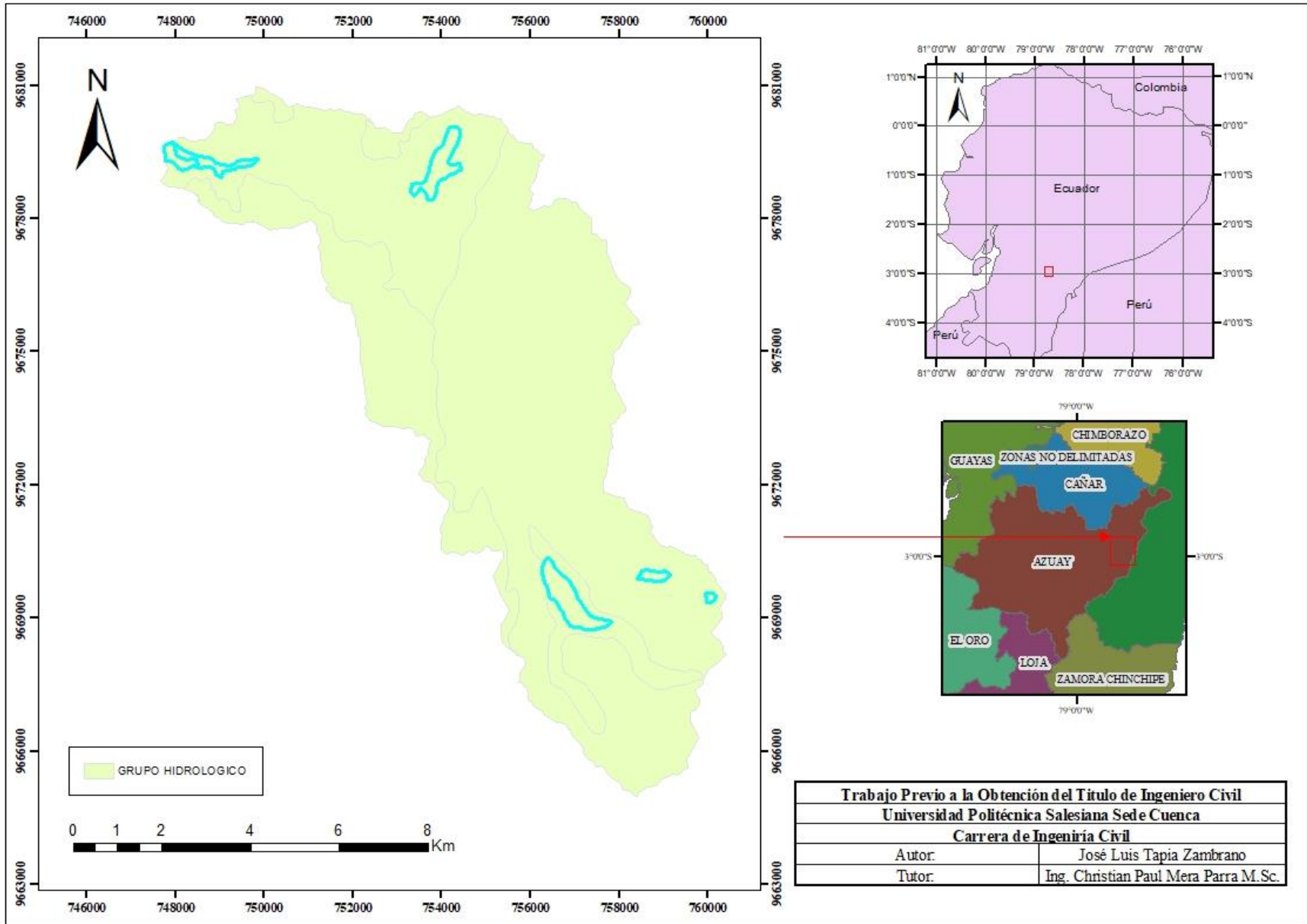


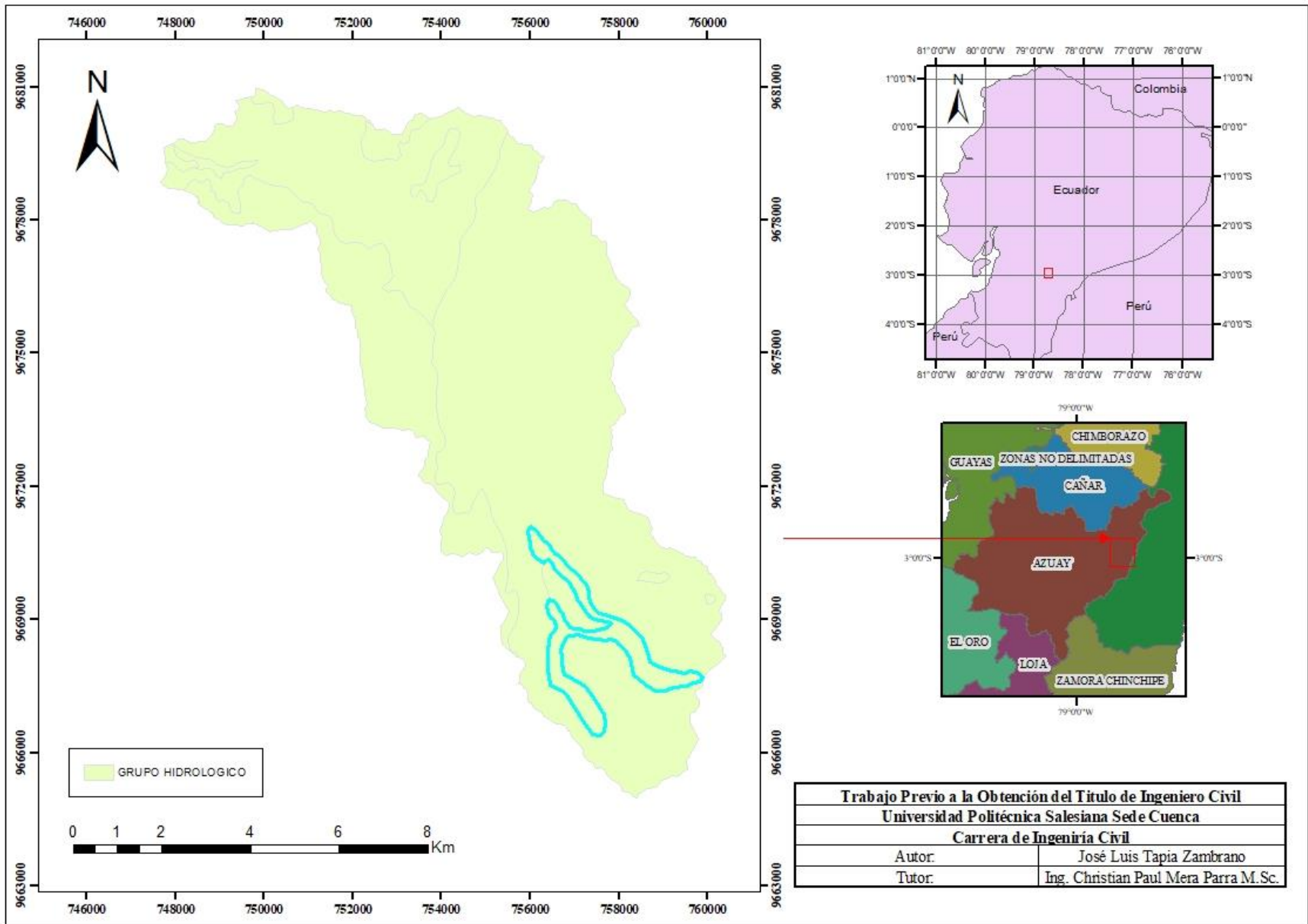


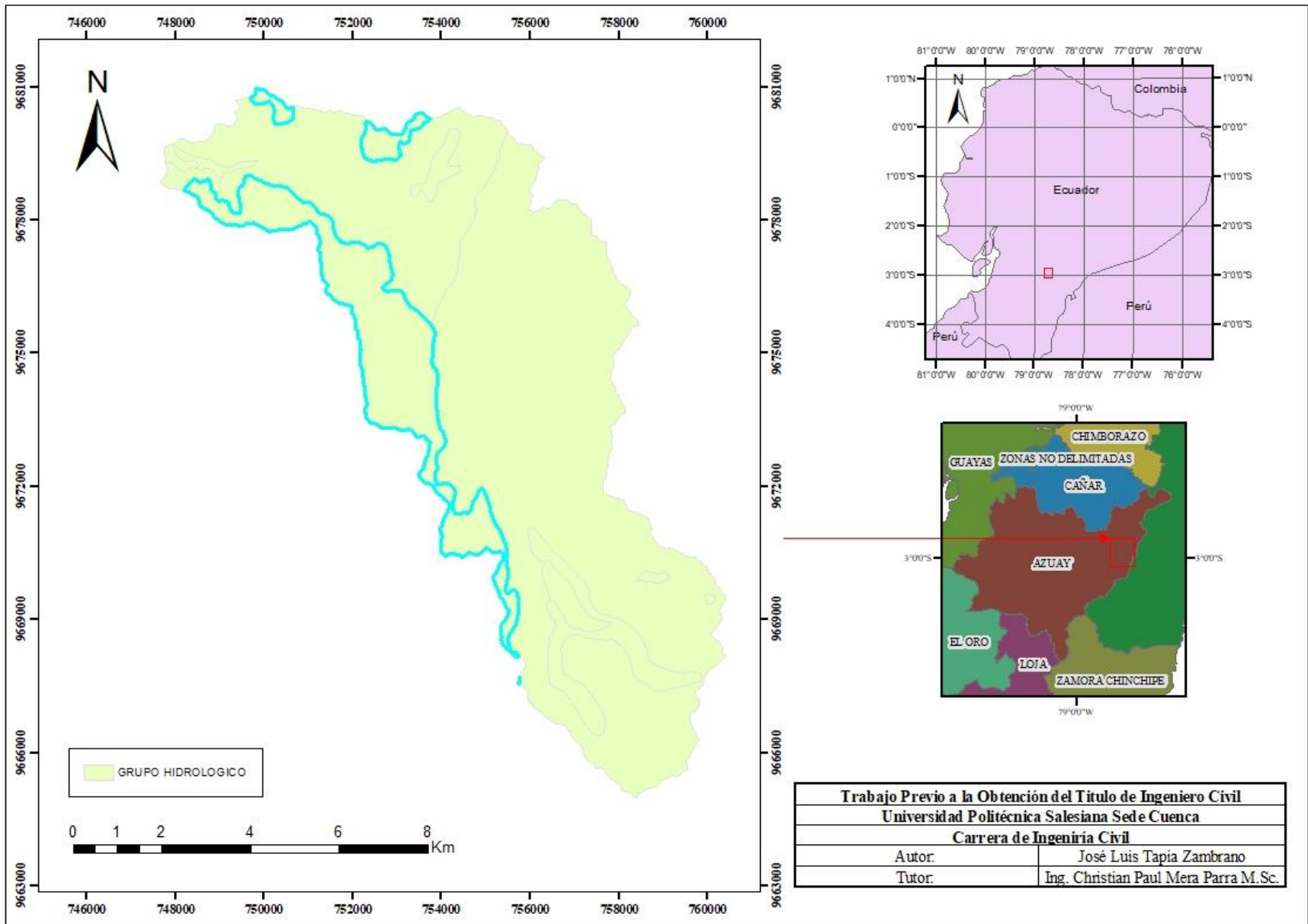


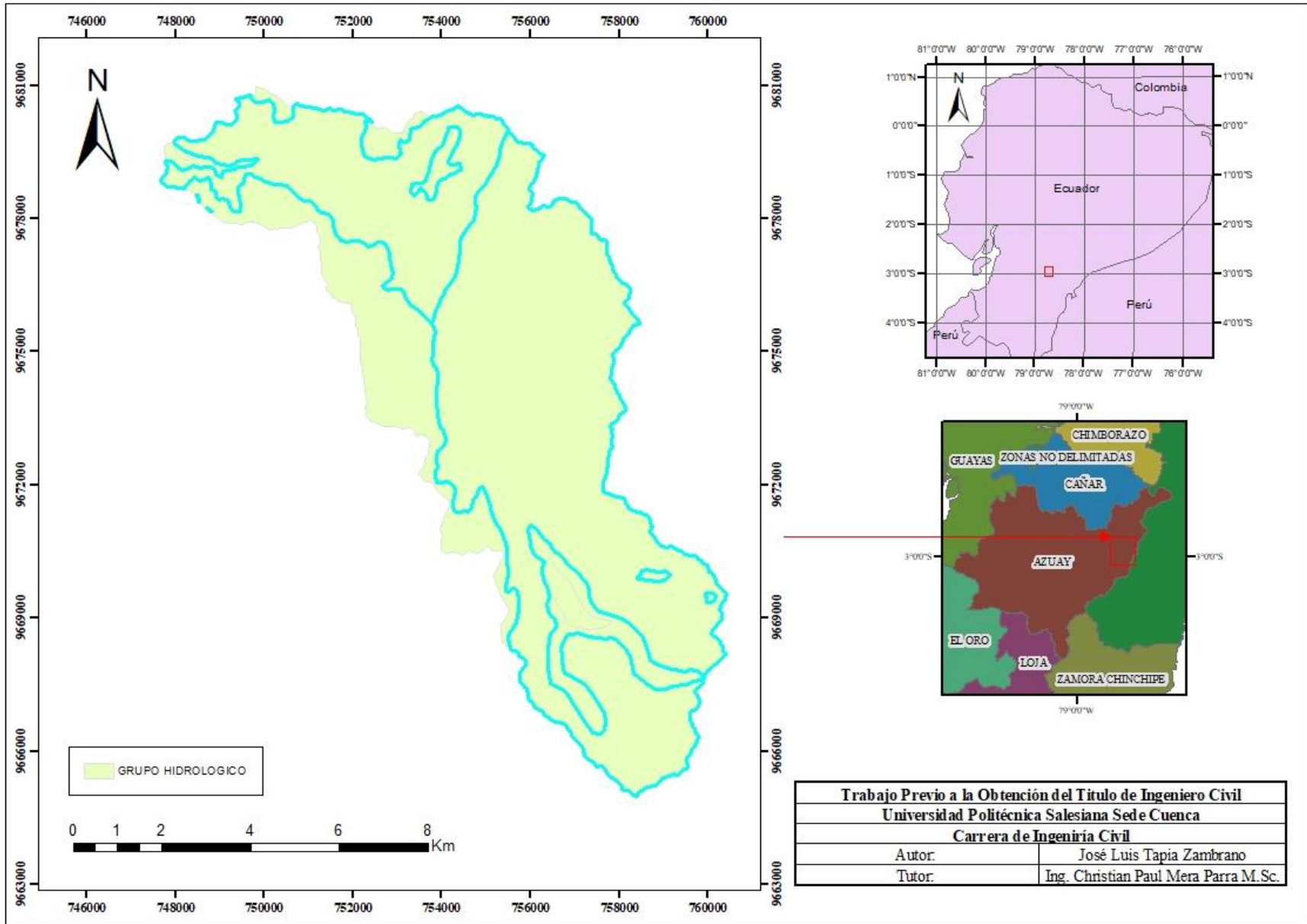




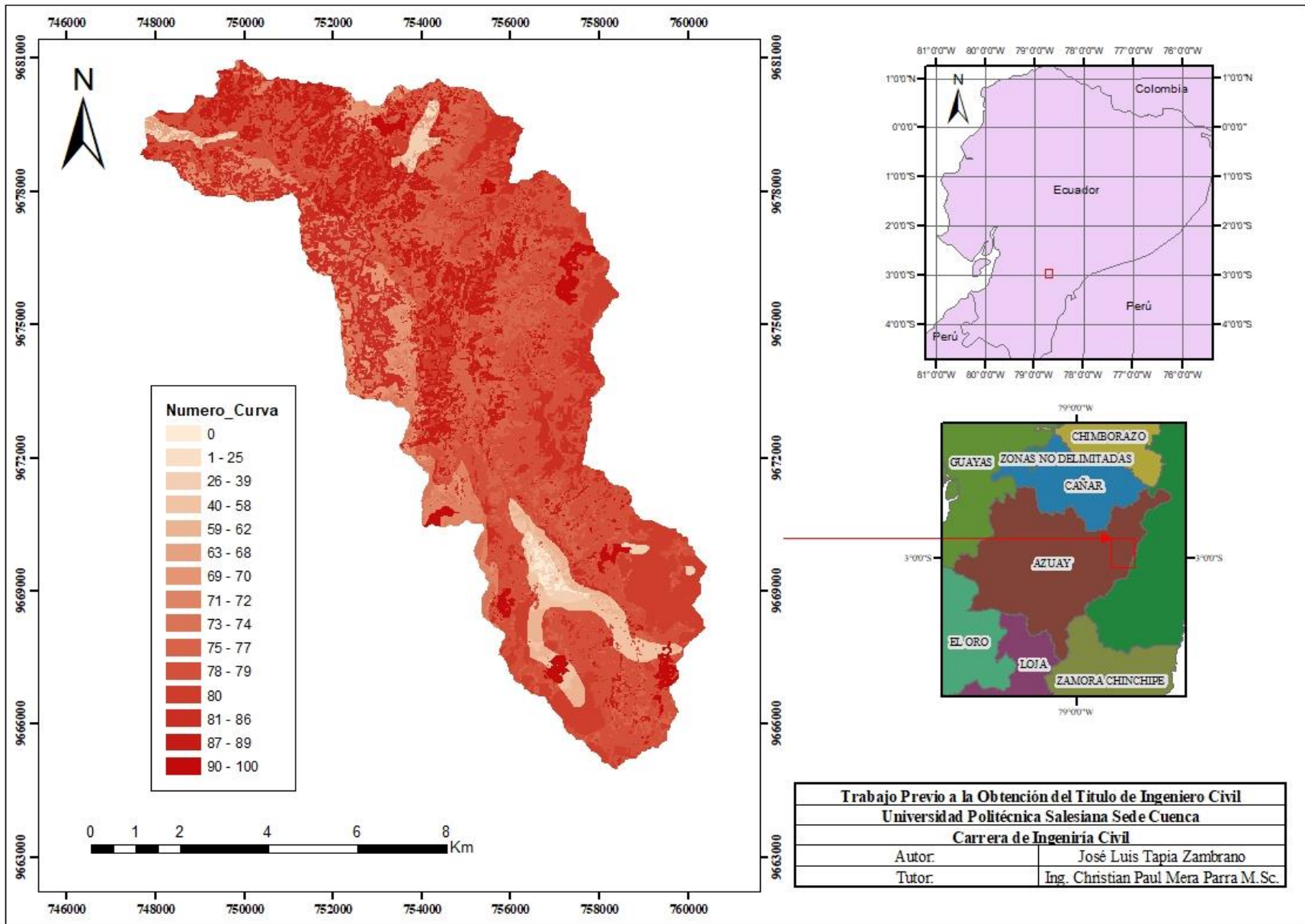


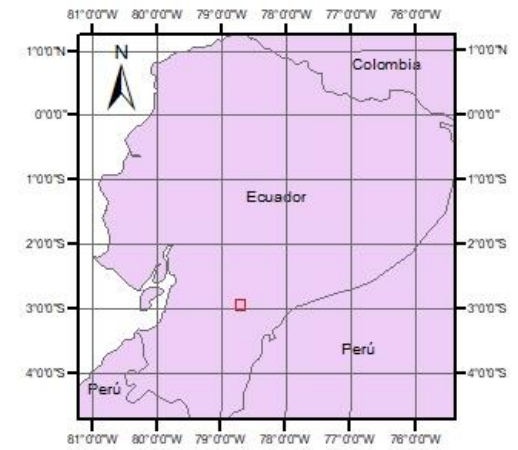
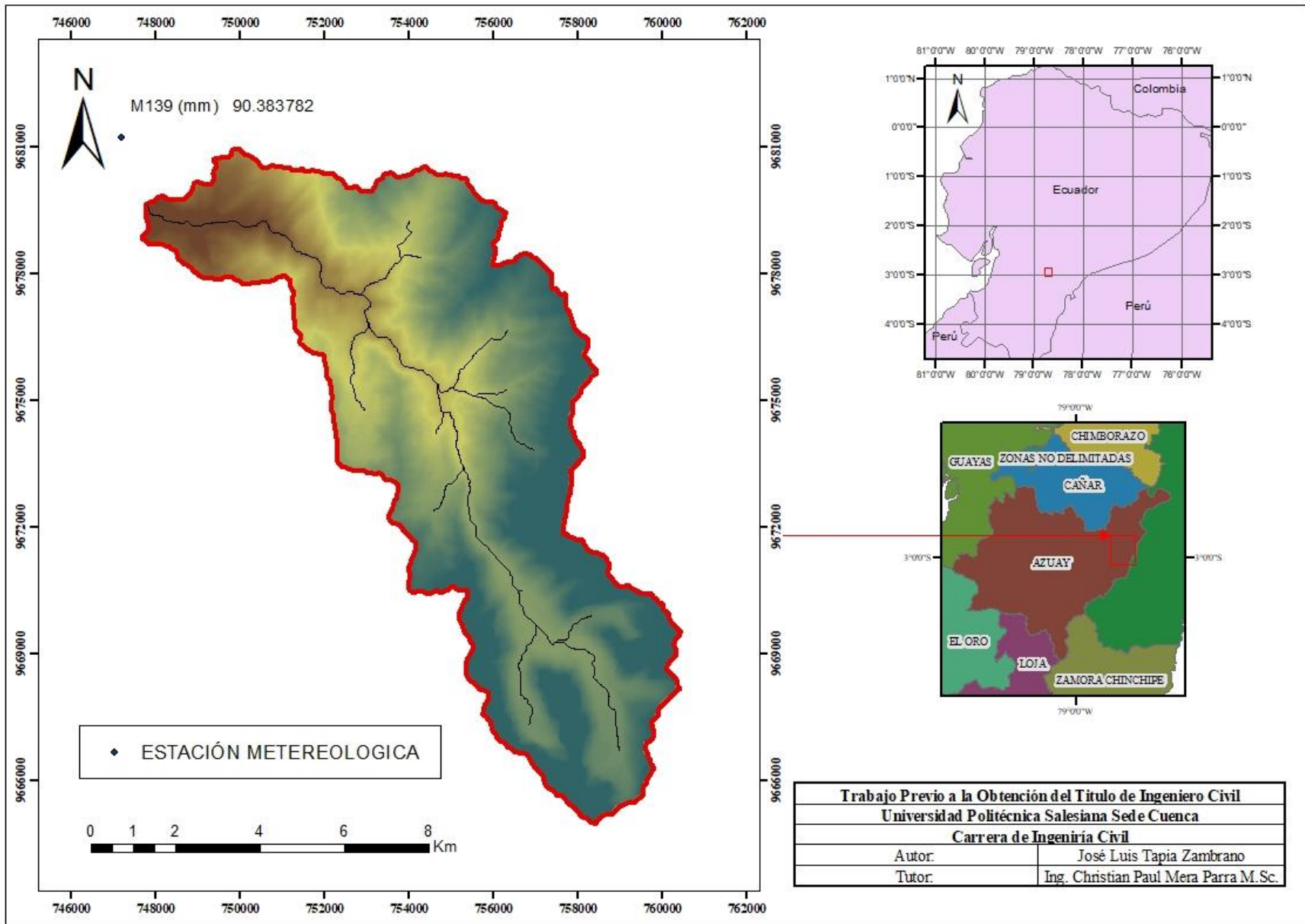




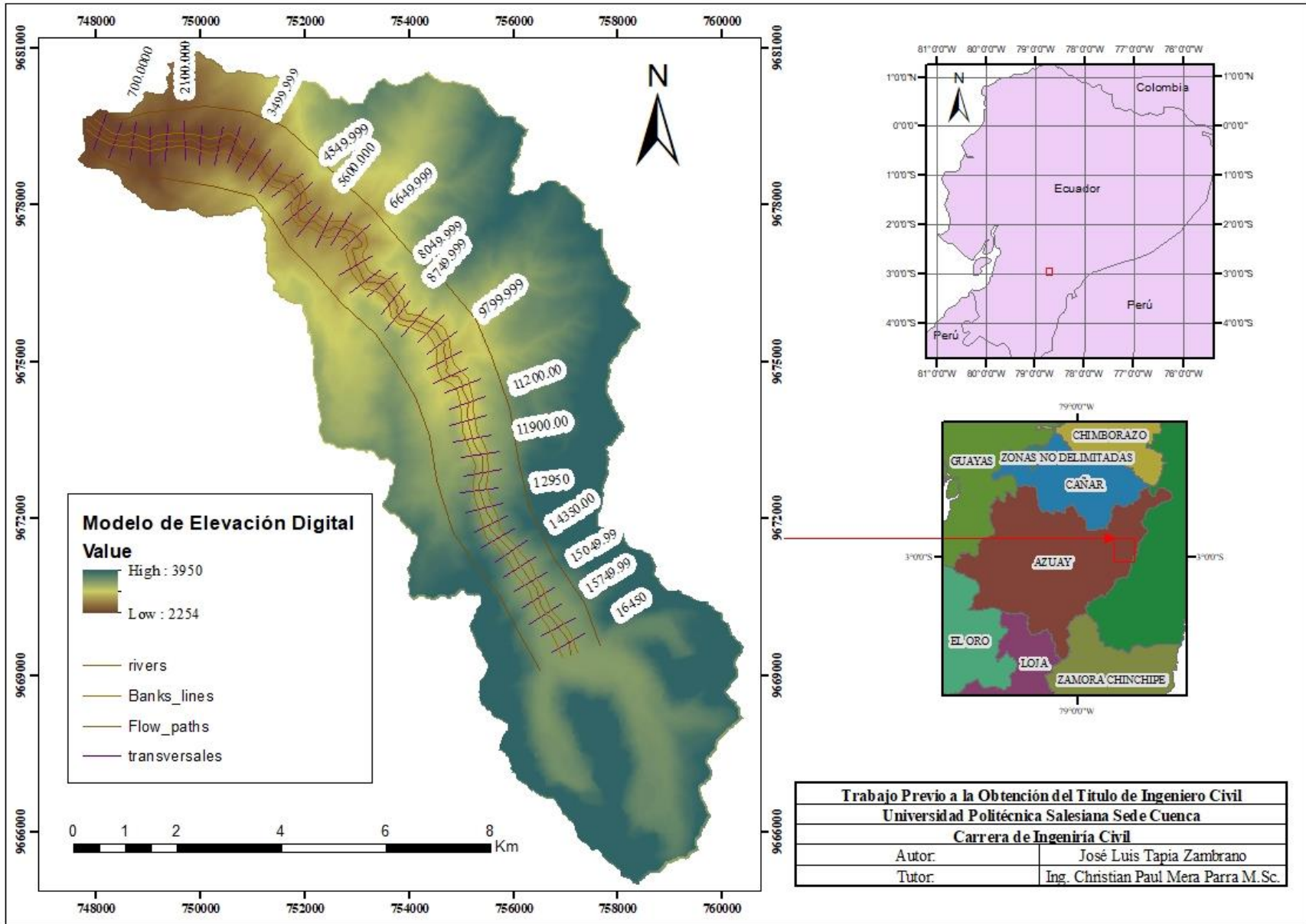




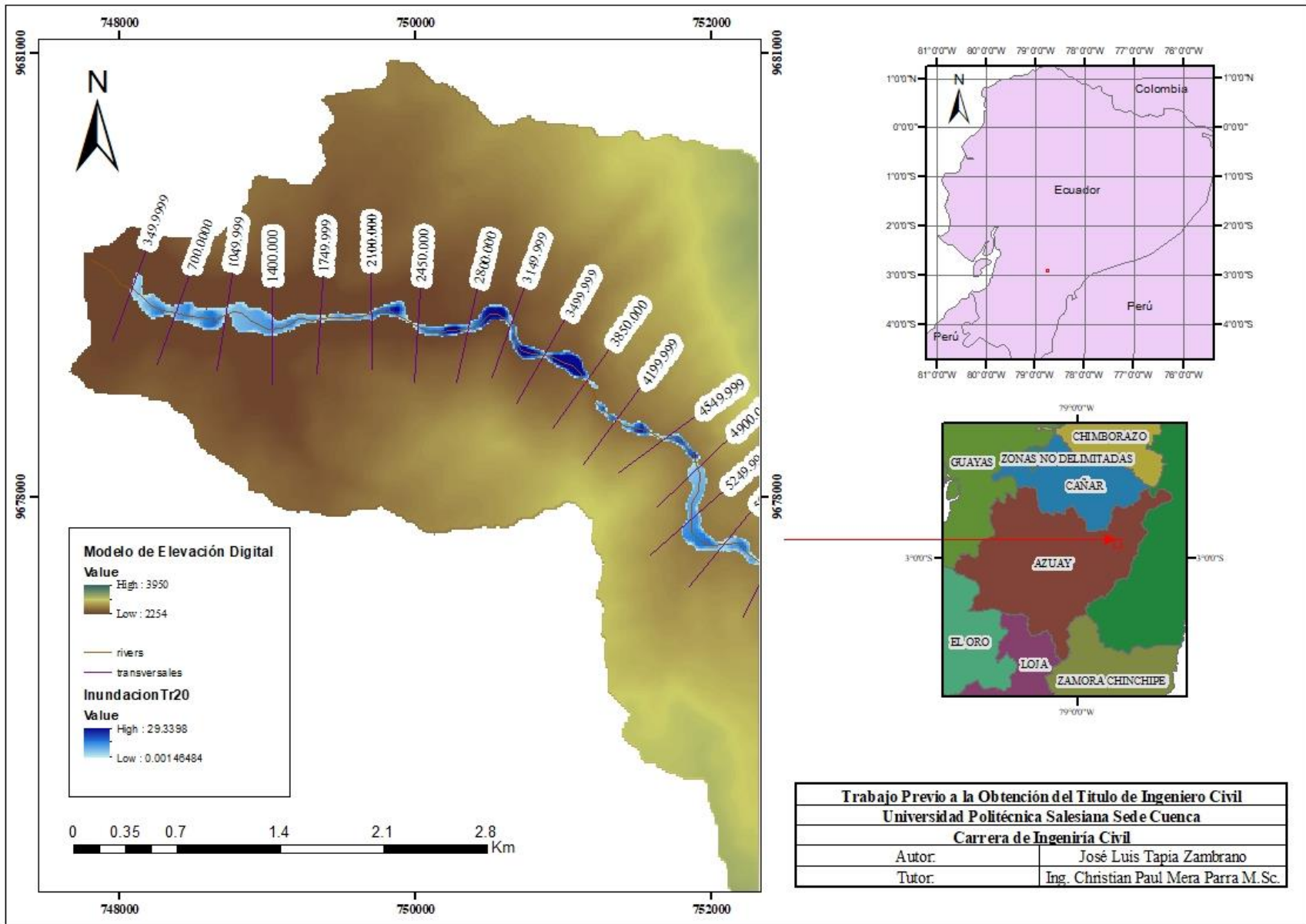




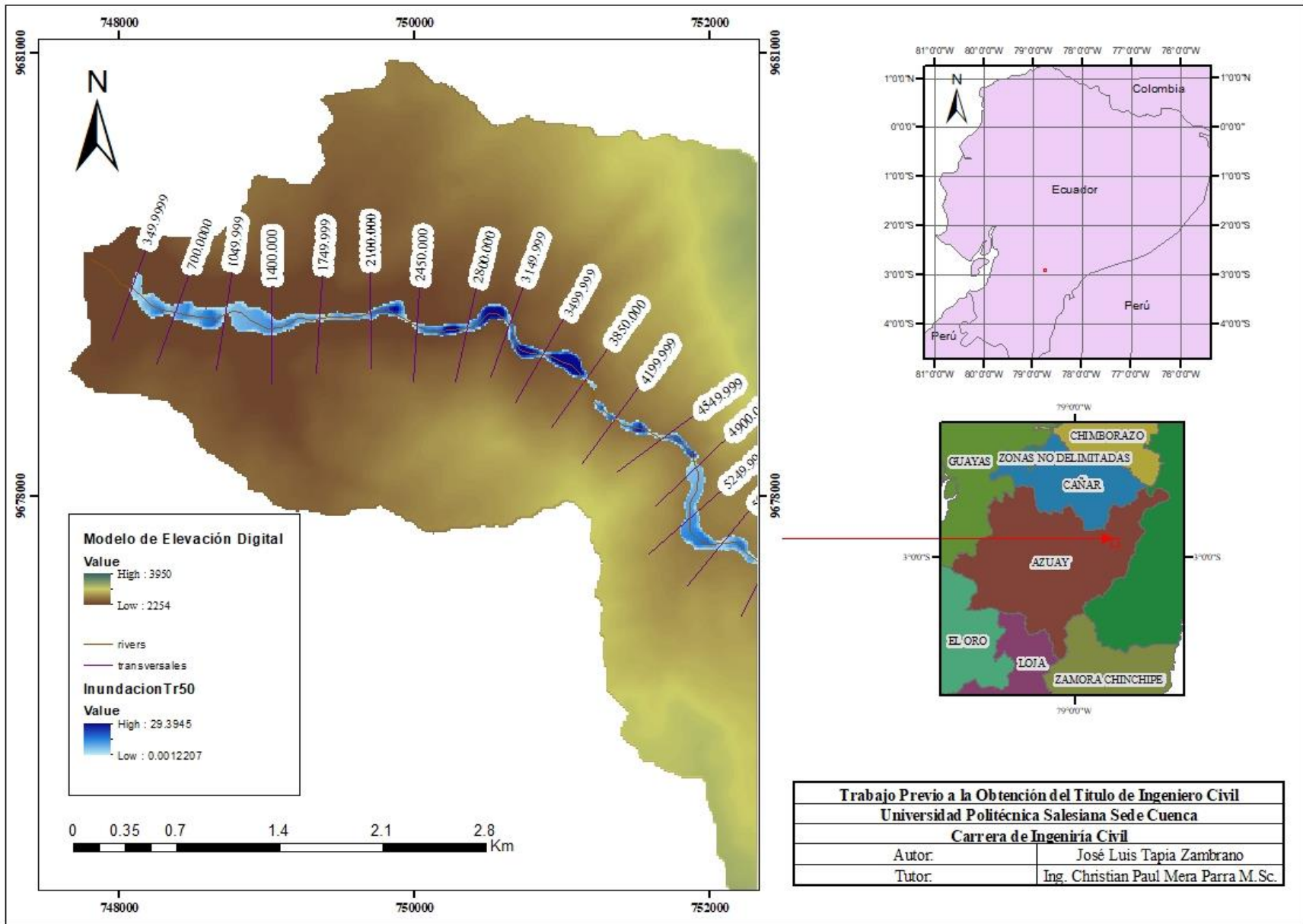
<b>Trabajo Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Civil</b>	
<b>Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca</b>	
<b>Carrera de Ingeniería Civil</b>	
Autor:	José Luis Tapia Zambrano
Tutor:	Ing. Christian Paul Mera Parra M.Sc.

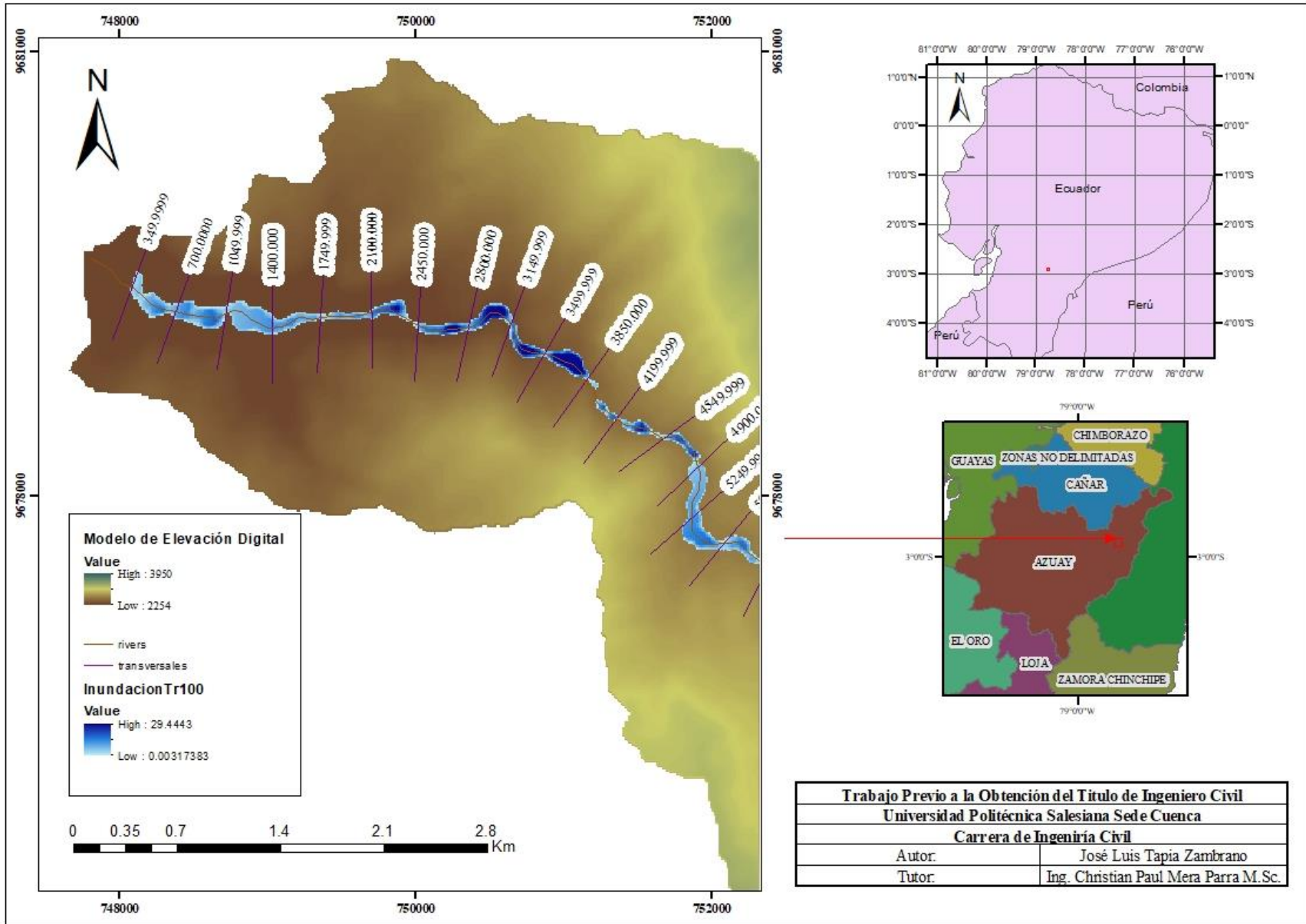


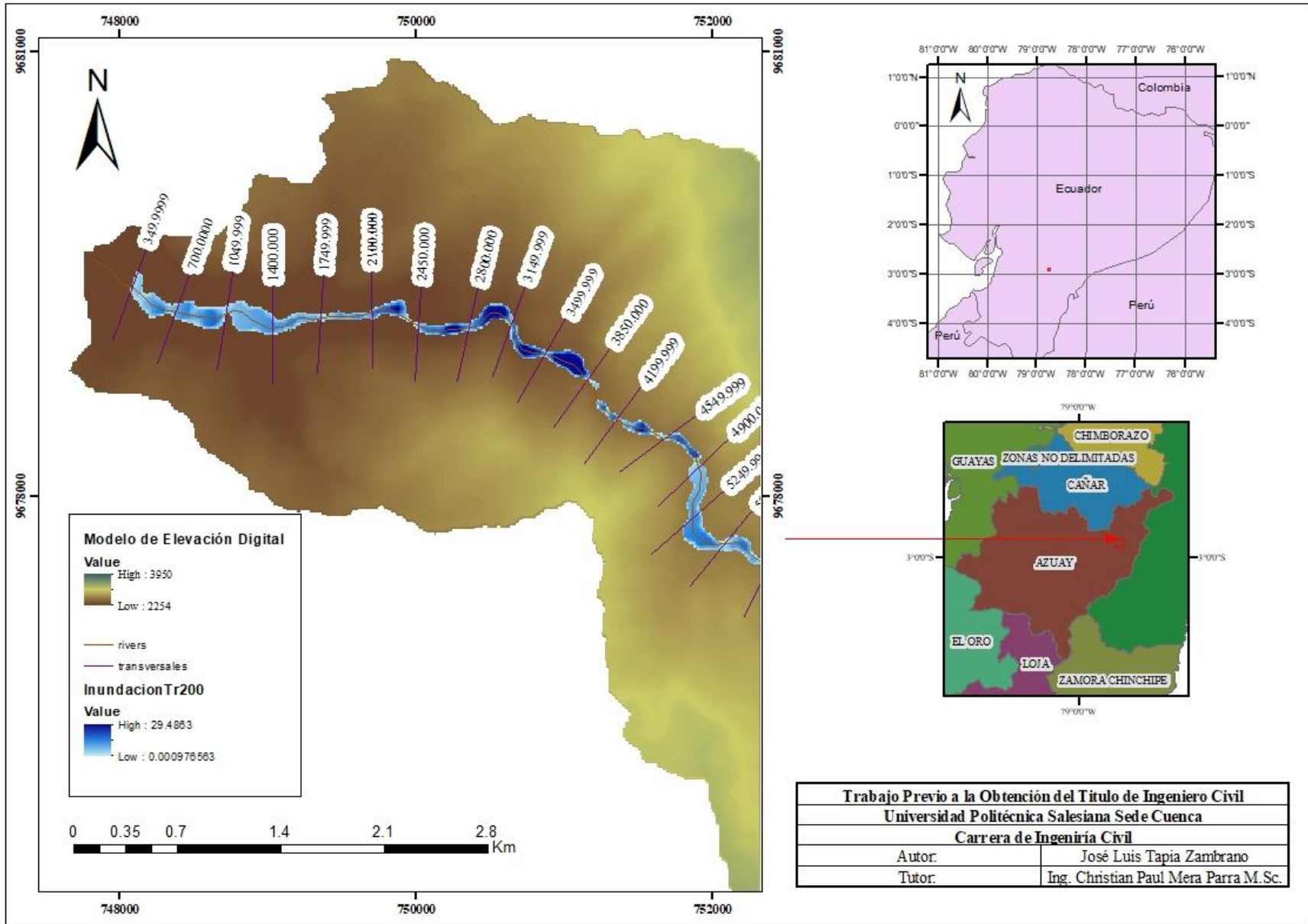


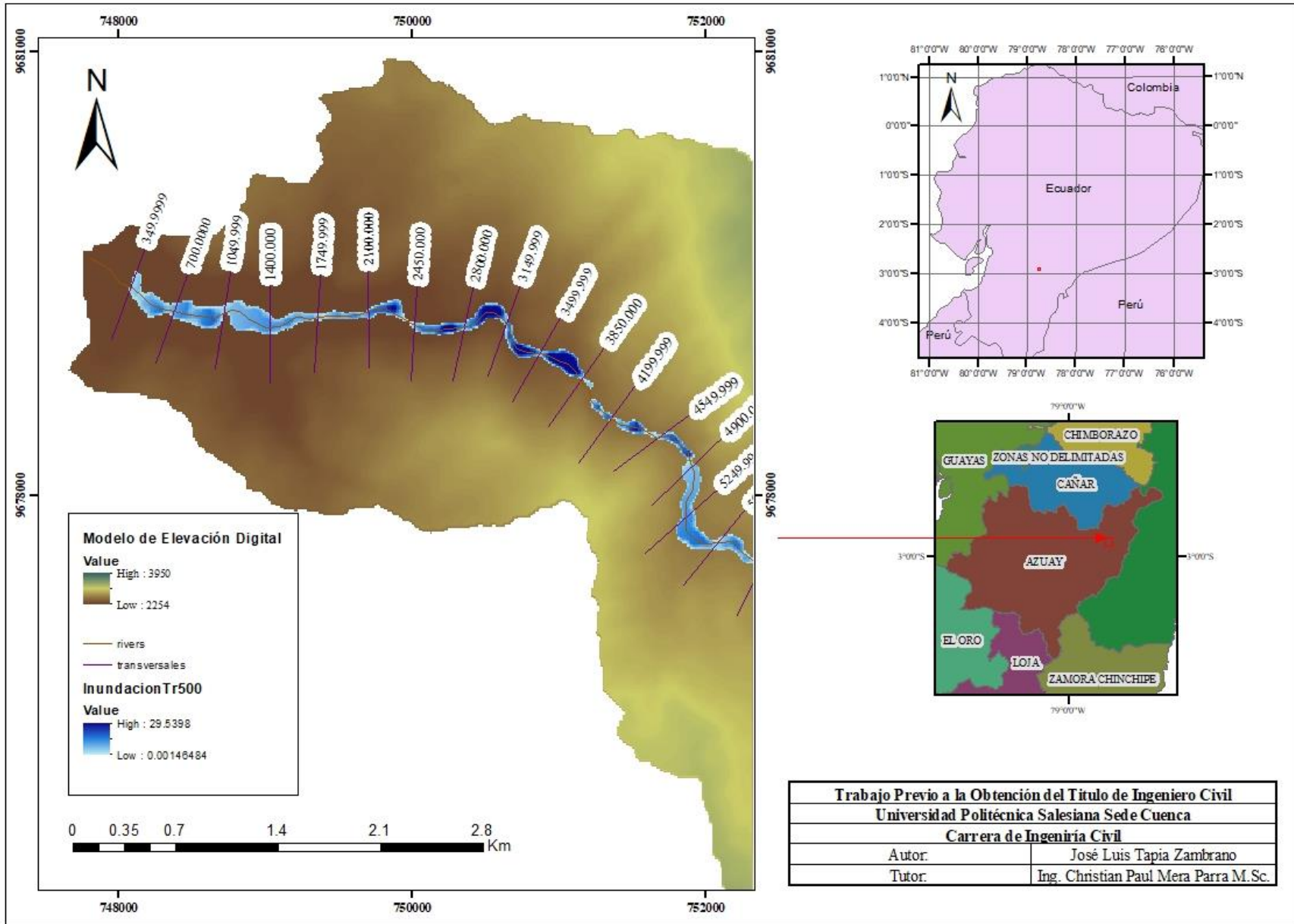












<b>Método</b>	<b>Tc (horas)</b>
Kirpich	1.8123374
Clark	9.3125453
Temez	4.5914722
ASCE	1.5472177
California Culverts Practice	1.8105472
$ \bar{x} $	3.8148239
$\sigma x$	3.3165207
$ \bar{x}  + \sigma x$	7.1313447
$ \bar{x}  - \sigma x$	0.4983032
Formulación más cercana a la media	<b>Temez</b>

Determinación del Número de la Curva CN.			
Grupo hidrológico	Estado del suelo	Textura del suelo	
A	Muy permeable	Arenas con poco limo y arcilla: Suelos muy permeables.	
B	Permeable	Arenas finas y limos.	
C	Impermeable	Arenas muy finas, limos, suelos con alto contenido de arcillas.	
D	Muy impermeable	Arcillas en grandes cantidades; suelos poco profundos con sub horizontes de roca sana.	
<b>Estado del suelo</b>		<b>Grupo hidrológico</b>	<b>Área</b>
Muy permeable	2038104.66963	A	2213020.702
Permeable	3264683.68626	B	3264683.686
Muy impermeable	12370260.84140	C	12370260.84
Impermeable	62156209.21290	D	62156209.21
Vacios	174916.03190		
<b>Cobertura</b>		<b>CN</b>	<b>Área</b>
Bosque	14761076.97	0	273768.1498
Cuerpos de agua	1977654.053	25	273745.4406
Cultivos	13889672.74	32	682343.5896
Nubes	7073737.004	39	430768.9349
Pajonales	5812252.217	55	331103.7363
Pastizales	3160618.03	58	1446197.542
Suelo desnudo	13378.40899	61	591874.359
Urbano	2242141.297	62	563446.3185
Vegetación arbustiva	31073643.72	67	469308.8236
		68	52158.08115
		70	2312071.987
		72	3158948.005
		74	1963463.257
		77	11844155.81
		78	102986.8046
		79	25792379.45
		80	7785639.207
		85	8752826.604
		86	421774.9303
		88	13378.40899
		89	10764180.95
		100	1977654.053



Precipitación máxima en 24 horas				
Año	Paute	Gualaceo	Sigsig	Sevilla de Oro
	Pmax [mm]	Pmax [mm]	Pmax [mm]	Pmax [mm]
1994	69.2	73.5	X	X
1995	63	74.8	76	92.5
1996	53.5	58.7	72.5	109.2
1997	70.1	68.9	89	112.5
1998	68.4	69.1	78.5	96.9
1999	70.5	76.9	65.4	79.8
2000	70.4	X	81.8	81.7
2001	59.7	79.5	65.9	105.7
2002	63.8	78.9	82.9	112.8
2003	70.4	53.7	77.3	106.1
2004	70.6	73.6	58.2	112.1
2005	54.3	65.2	81.5	96.3
2006	64.4	44.2	64.8	108.7
2007	66.6	74.5	81.4	111.1
2008	60.4	53.8	82.4	109.1
2009	68.6	69.8	80.7	100.2
2010	47.2	79	67	111.6
2011	62.8	76	83.4	112.1
2012	56.5	72.2	80.6	114.6
2013	64.2	55.3	83.6	112.2
Años Registrados	20	20	20	20
Años Descartados	0	1	1	1
Años Validados	20	19	19	19
Media	63.73	68.29	76.47	104.48
DESVEST	6.71	10.31	8.37	10.50
CV	0.11	0.15	0.11	0.10
Media	0.12			
DE	0.02			
Límite inferior	0.09			
Límite superior	0.14			

<b>Índices anuales</b>					
<b>Año</b>	<b>Vector (Brunet Moret)</b>	<b>M138_P_JJ _(mm)</b>	<b>M139_P_J J_(mm)</b>	<b>M424_P_J J_(mm)</b>	<b>M431_P_J J_(mm)</b>
1995	1.051	0.966	1.08	0.521	0.532
1996	0.858	0.82	0.848	0.945	1.056
1997	1.113	1.075	0.995	1.16	1.088
1998	1.052	1.049	0.998	1.023	0.937
1999	0.833	1.081	0.666	0.852	0.771
2000	0.777	1.08	0.722	1.066	0.79
2001	0.914	0.915	0.686	0.859	1.022
2002	1.118	0.978	1.139	1.08	1.091
2003	1.059	1.08	0.776	1.007	1.026
2004	1.108	1.083	1.063	0.758	1.084
2005	0.963	0.833	0.942	1.062	0.931
2006	1.047	0.988	0.638	0.845	1.051
2007	1.105	1.021	1.076	1.061	1.074
2008	1.095	0.926	0.777	1.074	1.055
2009	1.082	1.052	1.008	1.052	0.969
2010	1.142	0.724	1.141	0.873	1.079
2011	1.121	0.963	1.098	1.087	1.084
2012	1.082	0.866	1.043	1.05	1.108



<b>Funciones de distribución</b>									
<b>Frecuencia</b>	<b>Recurrencia</b>	<b>Gauss</b>	<b>Gumbel</b>	<b>Galton</b>	<b>Pearson3</b>	<b>Pearson5</b>	<b>Goodrich</b>	<b>WRC-USA</b>	<b>Fuites</b>
0.002	500	0.719	0.745	0.719	0.723	0.727	0.690	0.743	0.702
0.005	200	0.751	0.765	0.751	0.754	0.755	0.737	0.767	0.733
0.01	100	0.778	0.782	0.778	0.779	0.780	0.775	0.788	0.759
0.02	50	0.807	0.802	0.807	0.807	0.807	0.815	0.811	0.788
0.05	20	0.852	0.835	0.851	0.850	0.848	0.871	0.848	0.833
0.1	10	0.891	0.867	0.891	0.888	0.885	0.917	0.883	0.874
0.2	5	0.938	0.911	0.938	0.935	0.932	0.966	0.927	0.924
0.333333333	3	0.982	0.958	0.982	0.980	0.977	1.008	0.971	0.973
0.5	2	1.029	1.015	1.029	1.027	1.025	1.046	1.021	1.025
0.666666667	3	1.075	1.081	1.075	1.075	1.075	1.080	1.073	1.079
0.8	5	1.120	1.154	1.120	1.122	1.124	1.109	1.127	1.131
0.9	10	1.167	1.246	1.167	1.172	1.178	1.137	1.188	1.189
0.95	20	1.206	1.335	1.206	1.214	1.224	1.157	1.242	1.237
0.98	50	1.250	1.449	1.250	1.263	1.276	1.179	1.306	1.293
0.99	100	1.280	1.535	1.280	1.295	1.312	1.192	1.351	1.331
0.995	200	1.307	1.621	1.307	1.325	1.346	1.204	1.394	1.366
0.998	500	1.339	1.733	1.339	1.362	1.387	1.217	1.448	1.409
0.999	1000	1.362	1.819	1.362	1.388	1.417	1.226	1.488	1.440
0.9995	2000	1.384	1.904	1.384	1.413	1.446	1.234	1.527	1.468
0.9999	10000	1.430	2.101	1.430	1.465	1.504	1.250	1.612	1.541

Estadísticos de ajustes				
MÉTODO	ERORR TOTAL	NSE	RSME	R <sup>2</sup>
Gauss	0.806545465	0.813347943	0.052171486	0.816483920
Gumbel	1.218510741	0.870718900	0.083009001	0.672737986
Galton	0.807090824	0.812874550	0.052225375	0.816445348
Pearson3	0.842399005	0.809817184	0.054419246	0.803912958
Pearson5	0.878002444	0.809312892	0.056708496	0.791157479
Goodrich	0.579433823	0.875321818	0.038283815	0.899573419
WRC-USA	0.960824354	0.817360289	0.061918679	0.757784434
Fuities	0.904934451	0.791469458	0.060219523	0.793423103
Mejor ajuste	Goodrich	Goodrich	Goodrich	Goodrich

Xj (Promedio c/estación)					
		63.4	67.49	76.08	104.74
Tr (años)	Yt	M138 (mm)	M139 (mm)	M424 (mm)	M431 (mm)
20	1.206	76.4734258	81.4108269	91.7638547	126.33228
50	1.25	79.2679312	84.3857556	95.1171057	130.94874
100	1.28	81.1310606	86.3691754	97.3527572	134.02658
200	1.307	82.8359157	88.1841021	99.3984885	136.84296
500	1.339	84.9021894	90.383782	101.877902	140.2564
1000	1.362	86.3506358	91.9257453	103.615957	142.6492
10000	1.43	90.6311846	96.4826618	108.752377	149.72056

Determinación de la precipitación media de la cuenca para un Tr=20 años				
		Método de interpolación empleado		IDW
	Valor medio.	Pmax 24 horas	Tr 20 años	89.842887 mm
	Intensidad diaria			3.743453625 mm/h
	Duración tormenta ó tc			4.591472171 horas
				275.4883303 minutos
46	M0139	GUALACEO	5 Min < 51.88 Min	$I_{TR} = 125.44 * I_{d_{TR}} * t^{-0.434} R^2 = 0.9935$
			51.88 Min < 1440 Min	$I_{TR} = 892.87 * I_{d_{TR}} * t^{-0.931} R^2 = 0.9992$
			<b>ITR</b>	<b>17.87823341 mm/h</b>
			Pmax	82.08741117 mm

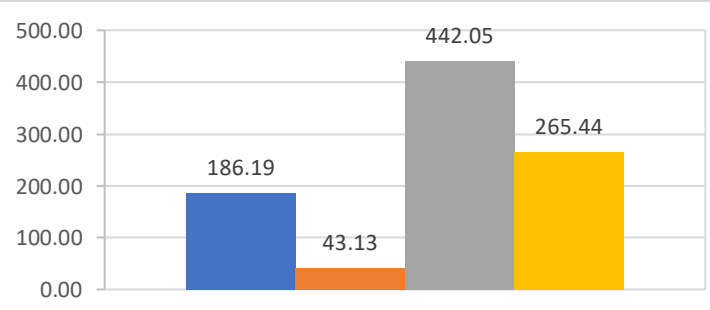
Determinación de la precipitación media de la cuenca para un Tr=50 años				
		Método de interpolación empleado		IDW
	Valor medio.	Pmax 24 horas	Tr 50 años	93.125942 mm
	Intensidad diaria			3.880247583 mm/h
	Duración tormenta ó tc			4.591472171 horas
				275.4883303 minutos
46	M0139	GUALACEO	5 Min < 51.88 Min	$I_{TR} = 125.44 * I_{d_{TR}} * t^{-0.434} R^2 = 0.9935$
			51.88 Min < 1440 Min	$I_{TR} = 892.87 * I_{d_{TR}} * t^{-0.931} R^2 = 0.9992$
			<b>ITR</b>	<b>18.53154304 mm/h</b>
			Pmax	85.08706417 mm

<b>Determinación de la precipitación media de la cuenca para un Tr=100 años</b>					
		Método de interpolación empleado		IDW	
Valor medio.	Pmax 24 horas	Tr 100 años	95.314792	mm	
Intensidad diaria			3.971449667	mm/h	
Duración tormenta ó tc			4.591472171	horas	
			275.4883303	minutos	
46	M0139	GUALACEO	5 Min < 51.88 Min	$I_{TR} = 125.44 * Id_{TR} * t^{-0.434} R^2 = 0.9935$	
			51.88 Min < 1440 Min	$I_{TR} = 892.87 * Id_{TR} * t^{-0.931} R^2 = 0.9992$	
			<b>ITR</b>	<b>18.96711199</b>	<b>mm/h</b>
			Pmax	87.08696685	mm

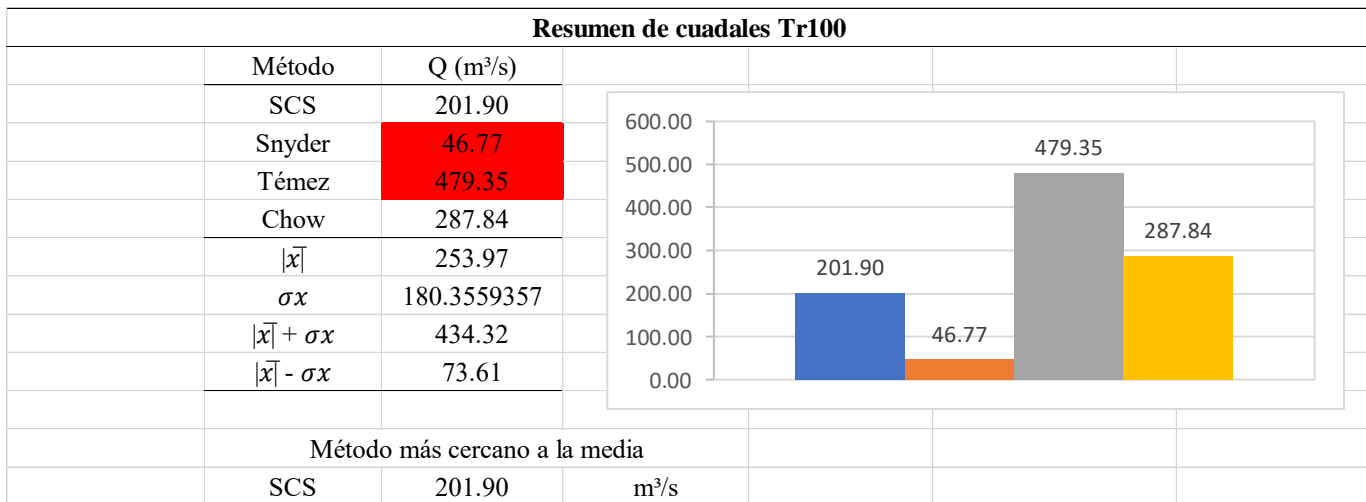
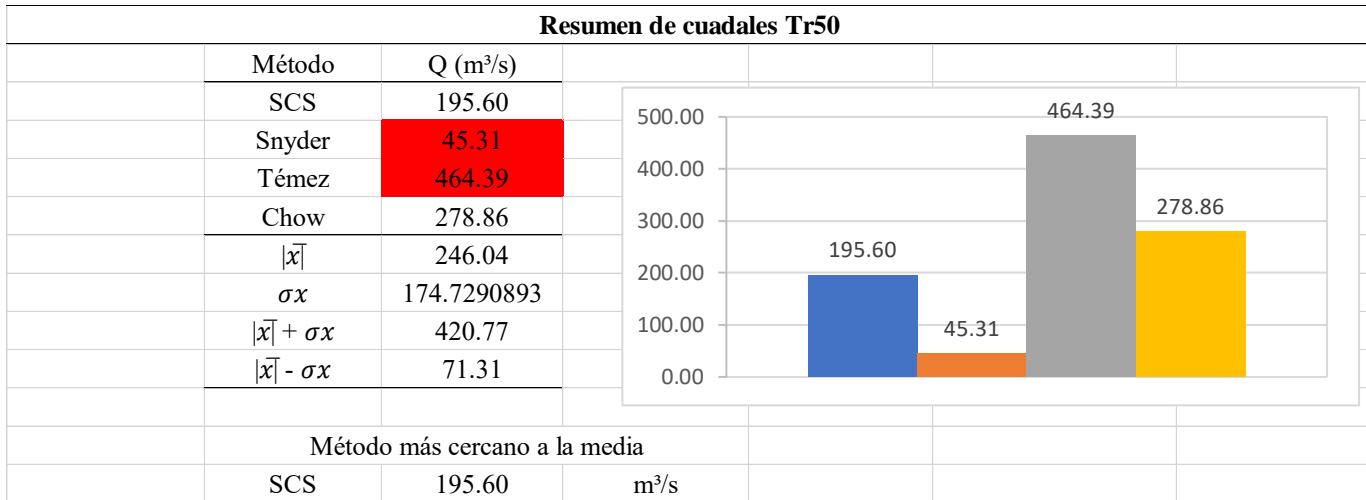
<b>Determinación de la precipitación media de la cuenca para un Tr=200 años</b>					
		Método de interpolación empleado		IDW	
Valor medio.	Pmax 24 horas	Tr 200 años	97.317698	mm	
Intensidad diaria			4.054904083	mm/h	
Duración tormenta ó tc			4.591472171	horas	
			275.4883303	minutos	
46	M0139	GUALACEO	5 Min < 51.88 Min	$I_{TR} = 125.44 * Id_{TR} * t^{-0.434} R^2 = 0.9935$	
			51.88 Min < 1440 Min	$I_{TR} = 892.87 * Id_{TR} * t^{-0.931} R^2 = 0.9992$	
			<b>ITR</b>	<b>19.36567911</b>	<b>mm/h</b>
			Pmax	88.9169767	mm

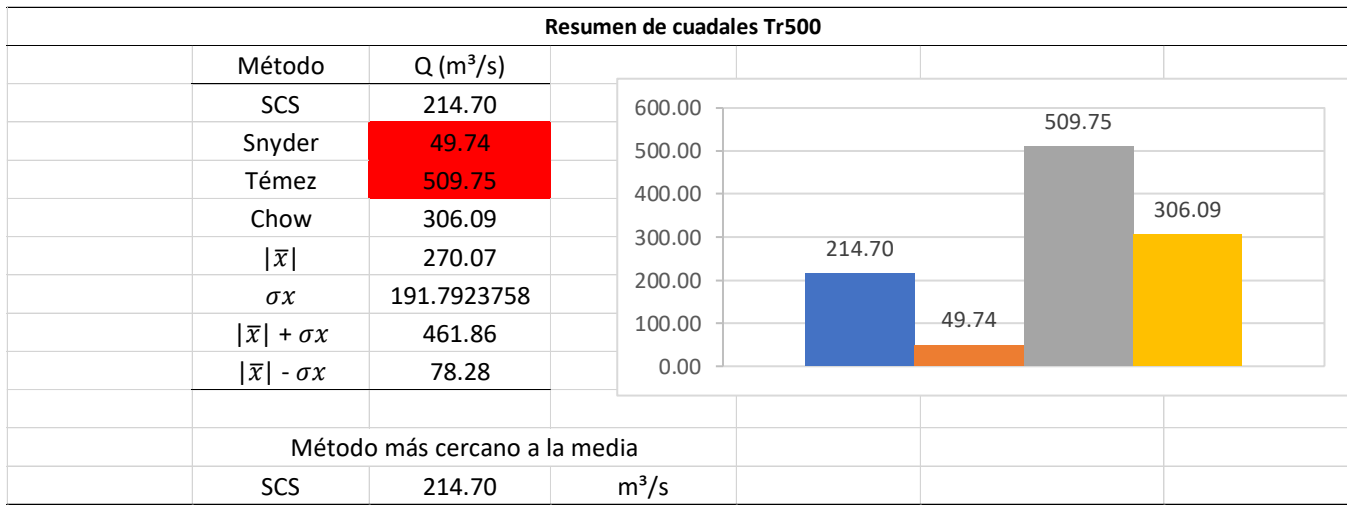
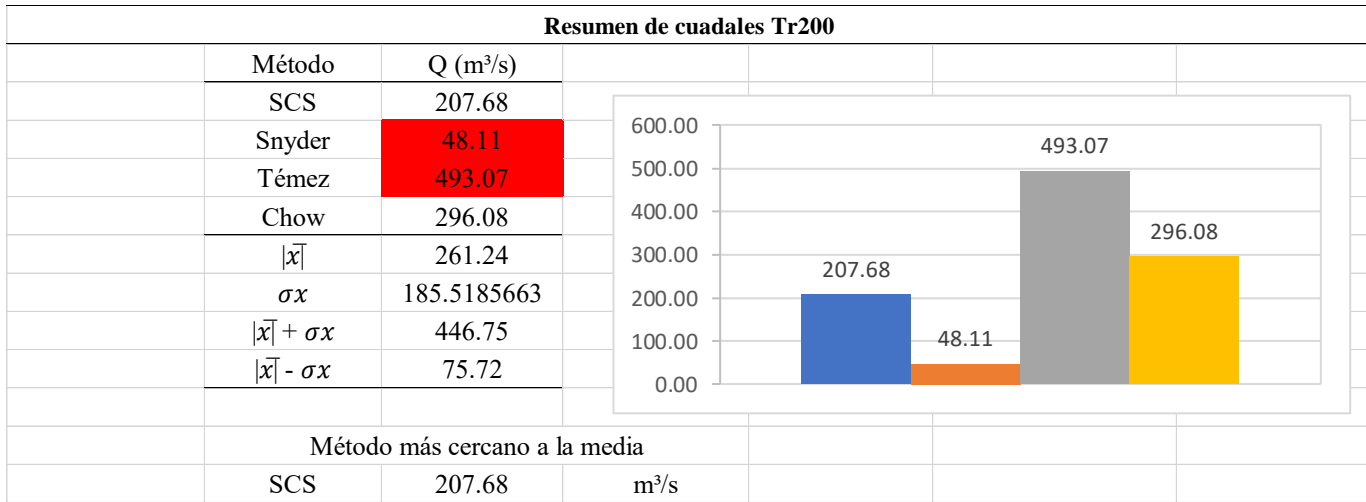
Determinación de la precipitación media de la cuenca para un Tr=500 años				
		Método de interpolación empleado		IDW
Valor medio.	Pmax 24 horas	Tr 500 años	99.745208	mm
Intensidad diaria			4.156050333	mm/h
Duración tormenta ó tc			4.591472171	horas
			275.4883303	minutos
46	M0139	GUALACEO	5 Min < 51.88 Min	$I_{TR} = 125.44 * Id_{TR} * t^{-0.434} R^2 = 0.9935$
			51.88 Min < 1440 Min	$I_{TR} = 892.87 * Id_{TR} * t^{-0.931} R^2 = 0.9992$
			<b>ITR</b>	<b>19.84874006</b>
			Pmax	91.13493761
				<b>mm/h</b>
				<b>mm</b>

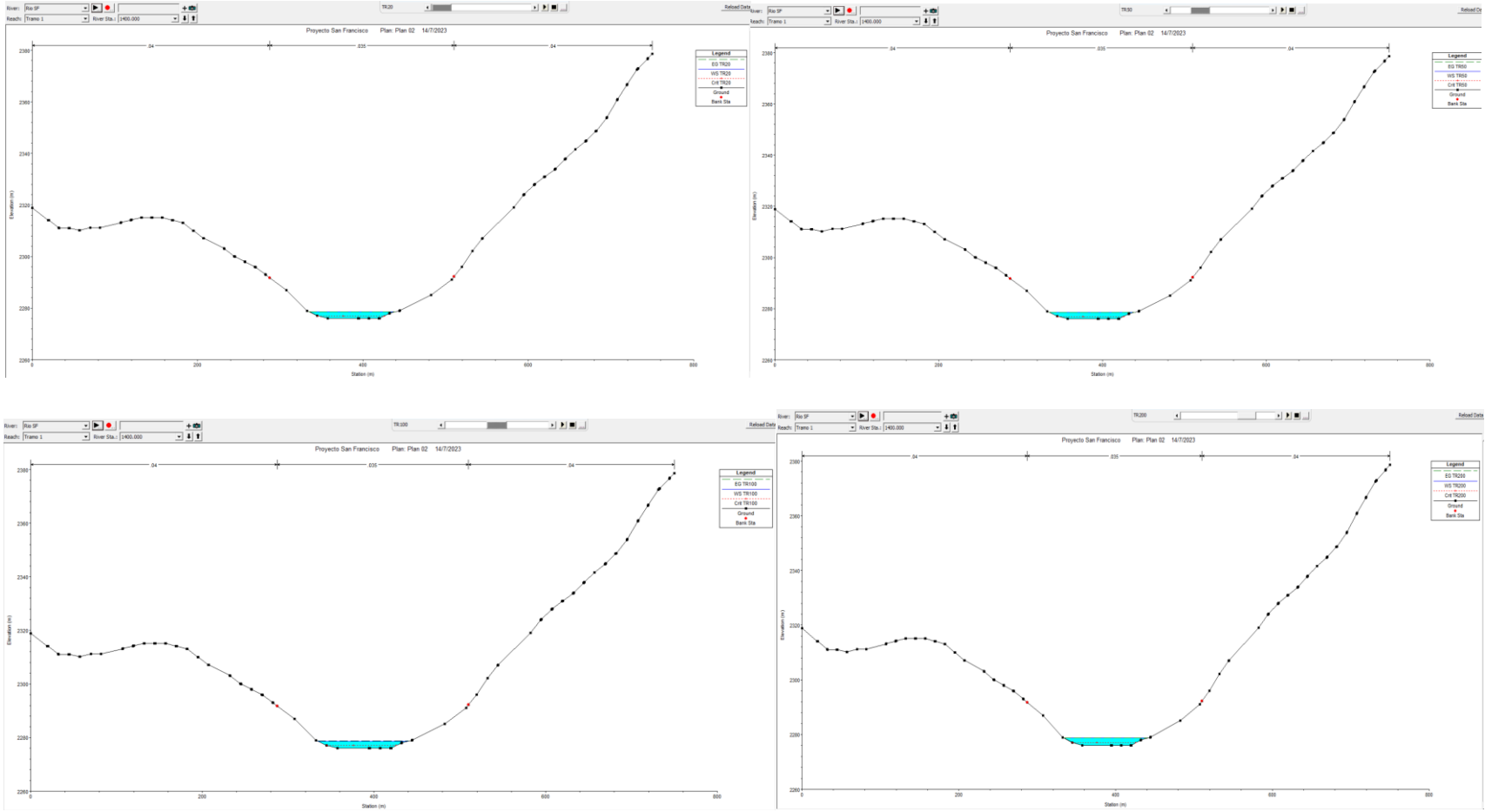
Resumen de cuadales Tr20			
Metodo	Q (m³/s)		
SCS	186.19		
Snyder	43.13		
Témez	442.05		
Chow	265.44		
$ \bar{x} $	234.20		
$\sigma x$	166.3207913		
$ \bar{x}  + \sigma x$	400.52		
$ \bar{x}  - \sigma x$	67.88		
Método más cercano a la media			
SCS	186.19	m³/s	



Metodo	Q (m³/s)
SCS	186.19
Snyder	43.13
Témez	442.05
Chow	265.44



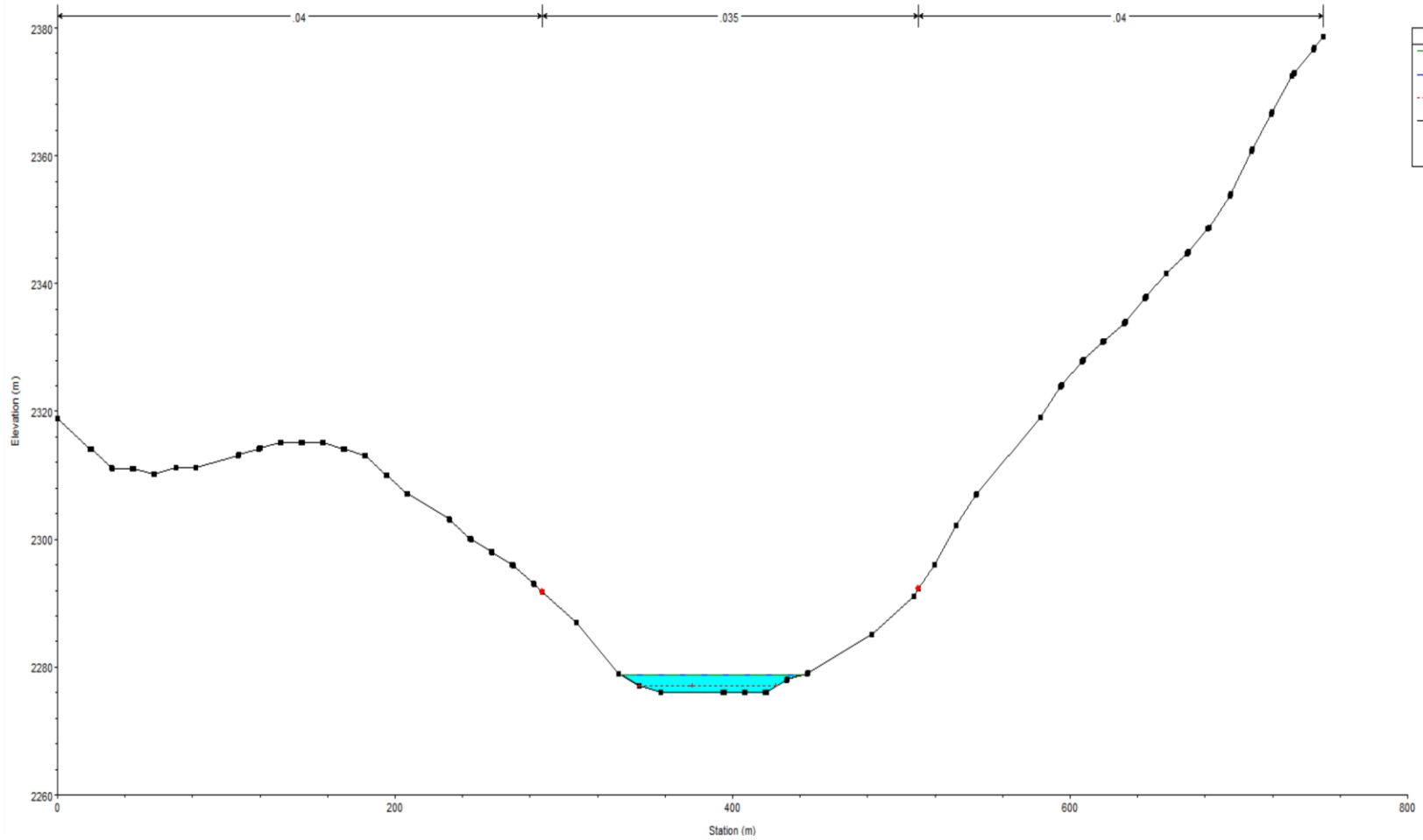






River: Rio SF 170.74, 2369.42 TR500  
Reach: Tramo 1 River Sta.: 1400.000

Proyecto San Francisco Plan: Plan 02 14/7/2023



Legend	
EG TR500	---
WS TR500	---
Crit TR500	---
Ground	■
Bank Sta	◆

