

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y  
PETRÓLEOS**

**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA GEODINÁMICA Y LOS  
IMPACTOS ANTRÓPICOS EN LA GEOMORFOLOGÍA FLUVIAL  
DEL RÍO COCA. CASO DE ESTUDIO: IMPACTOS FLUVIALES  
DEL PROYECTO COCA CODO SINCLAIR – PHCCS.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN  
GEOLOGÍA.**

**ALBA LUCÍA ANDRADE VILLAFUERTE**

lucy\_andrade90@hotmail.com

**DIRECTORA: DRA. CAROLINA BERNAL**

isabel.bernal@epn.edu.ec

**Quito, abril 2016**

## DECLARACIÓN

Yo, Alba Lucía Andrade Villafuerte, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**ALBA LUCÍA ANDRADE VILLAFUERTE**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Alba Lucía Andrade Villafuerte, bajo mi supervisión.

---

**DRA. CAROLINA BERNAL**  
**DIRECTORA DE PROYECTO**

## AGRADECIMIENTOS

A Dios y a mis padres por ser el pilar fundamental en mi vida y darme la oportunidad de poder cumplir este objetivo, por enseñarme que nada es imposible cuando se lo propone, y que con paciencia, fortaleza, serenidad, perseverancia, honestidad y responsabilidad se puede lograr cualquier objetivo.

A mis hermanos, San y Pablo, por ser un ejemplo de humildad, superación, y por ser mi apoyo incondicional. A mis abuelitos por darme siempre su bendición y quererme tanto. A todos mis familiares por demostrarme que en los peores momentos con quien se puede contar es con la familia.

A la Dra. Carolina Bernal por su dedicación, apoyo y consejos, por enseñarme que la sencillez y calidad humana son la mejor carta de presentación.

Al Dr. Pedro Reyes por aportar con sus conocimientos para el desarrollo satisfactorio de este proyecto de titulación.

A todos los integrantes del proyecto PIMI 14-09, Dr. Armando Molina, Dr. Khaled Hamad, Dr. Sebastián Páez, Ing. Guido Tamayo y Naty Horna, por compartir sus conocimientos.

A la Escuela Politécnica Nacional por brindarme los conocimientos para ser una buena profesional.

A mis profesores que con paciencia y entrega me supieron encaminar en mi vida universitaria.

Al Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y sus excelentes profesionales, Dra. Alvarado y Dr. Andrade, los mismos que me facilitaron la información necesaria y estuvieron prestos a responder mis inquietudes.

Al Instituto Geográfico Militar por colaborar con la información cartográfica y ortofotografías para el desarrollo de este proyecto de titulación.

Al Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca departamentos SIGAGRO y SIGTIERRAS por facilitarme la información cartográfica y ortofotografías para el desarrollo de este proyecto de titulación.

A Adry, Javier, Willy, Guido, Muchacho, Monito los cuales estuvieron siempre conmigo y de una u otra manera contribuyeron a la culminación de este proyecto y los puedo llamar amigos.

A Fernando gracias por los consejos que me ayudaron a crecer como persona, a valorar lo que tengo y lo que soy y por el apoyo incondicional.

## DEDICATORIA

*A mis padres Hugo y Eugenia.  
A mis hermanos Pablo y Santiago*

*Lucía*

## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
DEDICATORIA.....	VI
CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XIV
LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	XV
RESUMEN .....	XVI
ABSTRACT .....	XVIII
PRESENTACIÓN .....	XX
CAPÍTULO 1 .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	2
1.2 OBJETIVOS .....	3
1.2.1 OBJETIVO GENERAL .....	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.3 ALCANCE .....	4
1.4 ÁREA DE ESTUDIO .....	4
1.5 MARCO TEÓRICO .....	7
1.5.1 SISTEMAS FLUVIALES .....	7
1.5.2 DINÁMICA FLUVIAL.....	9
1.5.3 GEOMORFOLOGÍA FLUVIAL .....	13
1.5.4. Definiciones Fundamentales.....	17
1.5.5. Relación Entre Morfología E Hidrología.....	19
1.5.6 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS .....	21
CAPITULO 2 .....	25
CONTEXTO GENERAL .....	25
2.1 CLIMA .....	25
2.1.1 PRECIPITACIÓN .....	27
2.1.2TEMPERATURA.....	30
2.2 HIDROLOGÍA.....	32
2.3 MARCO GEOLÓGICO.....	32

2.3.1 GEOLOGÍA REGIONAL .....	32
2.3.2 GEOLOGÍA LOCAL .....	38
CAPITULO 3 .....	62
METODOLOGÍA.....	62
3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	62
3.2 DIGITALIZACIÓN.....	63
3.3 EVALUACION PRELIMINAR DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA .....	64
3.4 EVALUACION PRELIMINAR DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA .....	65
3.5 ANALISIS TECTÓNICO .....	65
3.6 CÁLCULO DE PARÁMETROS GEOMORFOLOGICOS.....	66
3.7 INTEGRACION DE RESULTADOS PARCIALES .....	67
CAPÍTULO 4 .....	68
ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COCA.....	68
4.1 PARÁMETROS BÁSICOS .....	70
4.2 PARÁMETROS DE DRENAJE .....	71
4.3 PARÁMETROS DE FORMA .....	71
4.4 PARÁMETROS DE RELIEVE .....	73
4.5 CURVA HIPSOMÉTRICAS .....	74
4.6 PORCENTAJE DE LITOLOGÍA POR SUB CUENCA .....	76
4.7 PERFILES DE LOS RÍOS .....	81
4.8 PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, CAUDAL SOLIDO Y LÍQUIDO .....	83
4.9 ACTIVIDAD VOLCÁNICA .....	85
4.10 ACTIVIDAD SISMICA .....	90
4.11 ACTIVIDAD TECTÓNICA .....	92
4.12 MODELO TECTÓNICO EN 3D .....	95
CAPÍTULO 5 .....	96
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....	96
5.1 DISCUSIÓN .....	96
5.1.1 TECTONICA Y ACTIVIDAD VOLCÁNICA .....	96
5.1.2 TECTONICA Y ACTIVIDAD SÍSMICA.....	98
5.1.3 TECTÓNICA Y GEOMORFOLOGIA.....	99
5.2 CONCLUSIONES .....	106
BIBLIOGRAFÍA .....	111
ANEXOS .....	116



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Mapa de la cuenca hidrográfica del río Coca.....	6
<b>Figura 1.2.</b> Sistema fluvial idealizado (Schumm, 1977).....	7
<b>Figura 1.3.</b> Modelos de transporte de sólidos en un río.....	9
<b>Figura 1.4</b> Suelo Baldosa, río Coca zona del puente del salado (Tomada por C. Bernal, coordenadas: 18 M 199360 9977626).....	13
<b>Figura 1.5</b> Estilos Fluviales.....	14
<b>Figura 1.6.</b> Clasificación de los ríos en función del estilo y la geomorfología fluvial de la llanura de inundación (Bernal, 2009).....	17
<b>Figura 1.7.</b> Representación de términos geográficos comunes en la llanura de inundación (Bernal, 2009).....	18
<b>Figura 1.8</b> Curva Hipsométrica (Ingeniería Civil, Blog, 2015).....	24
<b>Figura 2.1</b> Estaciones meteorológicas dentro de la cuenca hidrográfica del río Coca (Horna, 2016).....	26
<b>Figura 2.2</b> Caracterización de las precipitaciones en la cuenca hidrográfica del río Coca- Precipitaciones medias mensuales (Horna, 2016).....	28
<b>Figura 2.3</b> Distribución de la precipitación media interanual en la cuenca hidrográfica del río Coca- IDW (Horna, 2016).....	29
<b>Figura 2.4.</b> Distribución de la temperatura media interanual en la cuenca hidrográfica del río Coca (Horna, 2016).....	31
<b>Figura 2.5.</b> Cuadro geomorfológico y geológico del Ecuador, (Hall, 2000).....	33
<b>Figura 2.6</b> Mapa morfo-estructural de la Cuenca Oriente (datos SRTM, resolución 90m), y ubicación de las principales estructuras petrolíferas. (Baby, et al., 2014).....	37
<b>Figura 2.7.</b> Mapa geológico de la cuenca hidrográfica del río Coca. (Modificado de MAGAP-SIGAGRO (Sistema Información Geográfica y Agropecuaria), 2008).....	39
<b>Figura 2.8</b> Divisiones de la Cordillera Real. IF = Falla Ingapirca, BF= Falla Baños, LF = Falla Llanganates, CF = Falla Cosanga-Mendez .....	40
<b>Figura 2.9</b> División Salado (Litherland, et al., 1994).....	41

<b>Figura 2.10</b> Columna tectono-estratigráfica, y eventos geodinámicos que controlaron el desarrollo de la Cuenca Oriente y de sus sistemas petrolíferos.....	42
<b>Figura 2.11</b> Esquema paleogeográfico de los miembros (modificado de White <i>et al.</i> , 1995): (a) Basal T, prisma de alto nivel del ciclo 1, Albiano Superior; (b) T Principal, caída del nivel del mar, Albiano Superior ( $\approx$ - 98 Ma”), límite de secuencia; (e) T Principal, sistema transgresivo temprano y relleno de valles incisivos (LST) , <98 Ma; (d ) T Superior-Caliza B, para secuencia transgresiva (TST). (Baby, <i>et al.</i> , 2014).....	44
<b>Figura 2.12</b> Formaciones, miembros y ciclos sedimentarios del Cretácico de la cuenca Oriente, y sus relaciones con la curva eustática (Haq, <i>et al.</i> , 1987).....	47
<b>Figura 2.13</b> Mapa tectónico de la cuenca Oriente (Rivadeneira, <i>et al.</i> , 1999).....	52
<b>Figura 2.14</b> Mapa de sismos de la cuenca hidrográfica del río Coca. (Modificado de IGEPN).....	55
<b>Figura 2.15</b> Mapa índice del Ecuador mostrando localidades de la provincia de Napo, las montañas de los Andes, el volcán Reventador (triángulos rectos), epicentros de los terremotos de 1987 (triángulos invertidos), el oleoducto trans-ecuadoriano, pueblos y caseríos (círculos negros) que sufrieron daños estructurales por los terremotos, (Hall, 2000).....	56
<b>Figura 2.16</b> Área estudiada de los grandes deslizamientos en masa e inundaciones provocados por los terremotos de 1987, mostrando secciones del daño al oleoducto trans-ecuadoriano (Hall, 2000).....	57
<b>Figura 2.17</b> Esquema de las principales etapas de evolución del complejo volcánico Reventador. Planos de los contactos tectónicos y perfiles evolutivos (INECEL, 1988).....	59
<b>Figura 2.18</b> Mapa geológico del volcán Reventador (INECEL, 1988).....	61
<b>Figura 4.1</b> División de la Cuenca Hidrográfica del río Coca. (Modificado de Horna, 2016).....	69
<b>Figura 4.2</b> Mapa de Parámetros básicos de las 5 sub cuencas hidrográficas importantes. Los parámetros básicos calculados son: área, perímetro y longitud del cauce principal.....	70

<b>Figura 4.3</b> Mapa de los Parámetros de drenaje de las cinco cuencas importantes. Los parámetros de drenaje para cada una de las sub cuencas son: Orden de las corrientes de agua y densidad de drenaje.....	71
<b>Figura 4.4</b> Parámetros de forma. Las figuras A,B,C comprenden los parámetros de forma: índice de Gravelius, factor del forma, sinuosidad del cauce principal; para cada sub cuenca.....	72
<b>Figura 4.5</b> Mapa de los Parámetros de relieve.....	74
<b>Figura 4.6</b> Sub Cuenca con mayor influencia en la cuenca hidrográfica del río Coca.....	75
<b>Figura 4.7</b> Curva Hipsométrica.....	75
<b>Figura 4.8</b> Porcentaje de litología por sub cuenca, comprende las figuras A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K.....	76
<b>Figura 4.9</b> Perfil del río Quijos y sus tributarios.....	82
<b>Figura 4.10</b> Perfil del río Salado y sus tributarios.....	82
<b>Figura 4.11</b> Perfil del río Coca y sus tributarios.....	83
<b>Figura 4.12</b> Mapa de caudales específicos y líquidos de las sub cuenca con mayor influencia dentro de la Cuenca Hidrográfica del río Coca.....	84
<b>Figura 4.13</b> Mapa de Peligros Volcánicos Del Volcán Reventador (Tomada De Instituto Geofísico De La Escuela Politécnica Nacional-IGEPN).....	86
<b>Figura 4.14</b> Mapa de caída de ceniza VEI-3 (Modificado de IGEPN).....	87
<b>Figura 4.15</b> Mapa de Caída de ceniza – VEI 4 (Modificado de IGEPN).....	88
<b>Figura 4.16</b> Mapa De Área de Influencia De Caída De Ceniza Del Volcán Reventador – Área De Influencia (Tomado de IGEPN).....	89
<b>Figura 4.17</b> Mapa de actividad sísmica de la cuenca hidrográfica del río Coca. Diferenciando sismos con magnitudes $\geq 4^\circ$ y $< 4^\circ$ en la escala de Richter (Modificado de IGEPN).....	91
<b>Figura 4.18</b> Mapa tectónico de la cuenca hidrográfica del río Coca (Alvarado, Audin, & Eras, 2011).....	93
<b>Figura 4.19</b> Mapa de fallas tectónicas interpretadas en GOOGLE EARTH.....	94
<b>Figura 4.20</b> Modelo 3D tectónico de la zona.....	95
<b>Figura 5.1</b> Efectos de la erupción volcán Reventador 2002. Q cum = círculos; TSS cum = triángulos. (Laraque, et al., 2009).....	97

<b>Figura 5.2</b> Precipitación (barras) y caudales (línea) en diferentes estaciones andinas de la región de la Cuenca Amazónica ecuatoriana. La precipitación mensual está expresada en mm. El índice de descarga es el resultado de dividir la descarga mensual para la descarga anual. (Laraque, et al., 2007).....	101
<b>Figura 5.3</b> Cuenca hidrográfica del río Coca – Estilos fluviales.....	103
<b>Figura 5.4</b> Relación entre el perfil longitudinal del cauce principal de la Cuenca Hidrográfica y las imágenes aéreas correspondientes a cada segmento.....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.</b> Las variables Fluviales durante intervalos de tiempo de duración decreciente (Schumm & Lichty, 1965).....	8
<b>Tabla 1.2</b> Interpretación de parámetros con respecto a: $K_f$ y $K_c$ (Adaptado de (Cerignoni & Rodrigues, 2015)).....	22
<b>Tabla 1.3</b> Valores e interpretación de los resultados de la densidad de drenaje (Cerignoni & Rodrigues, 2015).....	22
<b>Tabla 2.1</b> Caracterización de los edificios volcánicos ubicados dentro de la cuenca hidrográfica.....	58
<b>Tabla 3.1</b> Información detalladas de ortofotografías e imágenes satelitales.....	62
<b>Tabla 3.2</b> Elementos morfométricos digitalizados.....	63
<b>Tabla 3.3</b> Información detallada utilizada para el Modelamiento Tectónico.....	65
<b>Tabla 3.4</b> Listado de los parámetros calculados.....	66
<b>Tabla 4.1</b> Estaciones de cierre de las sub cuencas de estudio.....	68
<b>Tabla 4.2</b> Sub cuencas influyentes en la cuenca hidrográfica del río Coca.....	70
<b>Tabla 4.3</b> Pendiente, Caudal sólido específico, Caudal líquido específico.....	83

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1.- ESTACIONES METEOROLÓGICAS (Horna, 2016).....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXO 2.- Mapa y sección estructural de la Cuenca Oriente, con sus tres corredores estructurales-petrolíferos (Tomado de Baby et al., 2014).....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXO 3.- Recopilación De Información Sobre La Actividad Volcánica Del Reventador, Periodo 2002-2012. (Modificado de IGEPN pág. Web).....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXO 4.- Recopilación De Información Sobre La Actividad Sísmica, Periodo 1955-2014 (Modificado de IGEPN pág. web).....</b>	<b>155</b>
<b>ANEXO 5.- Parámetros Geomorfológicos.....</b>	<b>172</b>
<b>ANEXO 6.- Porcentaje De Litología Por Sub cuenca.....</b>	<b>175</b>

## LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

**AJ-** Antes de la Junta.

**DJ-** Después de la Junta.

**DEM.-** Modelo Digital del Terreno.

**EPMAPS.-** Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Quito

**EPN.-** Escuela Politécnica Nacional

**IGEPN.-** Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

**IGM.-** Instituto Geográfico Militar.

**INAMHI.-** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

**INECEL.-** Instituto Nacional de

**MAGAP.-** Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.

**PHCCS.-** Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair.

**Q acum.-** Caudal acumulado.

**Qliq.-** Caudal líquido.

**Qsol.-** Caudal sólido.

**Shp.-** Shape

**SIGAGRO.-** Sistema Información Geográfica y Agropecuaria

**SIGTIERRAS.-** Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras

**Tss acum.-** Total de Sólidos en Suspensión acumulado.

**VEI.-** Índice de Explosividad Volcánica.

## RESUMEN

Este proyecto de titulación se enfoca en el análisis de la influencia de la geodinámica y las actividades antrópicas en la geomorfología fluvial de la zona de influencia directa del proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair. La geodinámica fue evaluada a través de parámetros geomorfológicos, como la sinuosidad y la densidad de drenaje; así como la actividad volcánica, actividad sísmica y actividad tectónica, entre otros. Para cumplir los objetivos se utilizaron: ortofotografías, observaciones de campo, análisis de imágenes satelitales a través de Google Earth y Sistemas de Información Geográfica, adicionalmente de la información bibliográfica recopilada.

El área de estudio corresponde a la cuenca hidrográfica del Río Coca y está localizada en una región de transición denominada Zona Subandina, en la cual existe un control tectónico evidenciado por una densa red de fallas que tienen un carácter transpresivo, lo cual genera retos importantes en el desarrollo y posterior funcionamiento de la hidroeléctrica. Este sistema de fallas fue reactivado a partir de los sismos ocurridos en 1987, lo que ocasionó uno de los deslizamientos más catastróficos del siglo XX, ya que la actividad sísmica se conjugo con las altas precipitaciones dando lugar a importantes fenómenos de remoción en masa.

Tomando en consideración que análisis anteriores revelan que la cuenca hidrográfica del río Coca es una cuenca inestable, controlada por una geodinámica activa y la amenaza latente del volcán en actividad Reventador, se dividió a esta cuenca de  $5283.74 \text{ km}^2$  en 8 subcuencas utilizando estaciones hidrológicas como punto de cierre que aporten con datos del comportamiento hidrosedimentológico de cada subcuenca. Este análisis permitió poner en evidencia que la principal subcuenca aportante tanto en caudal sólido como líquido es la sub cuenca del río Salado, donde la intervención antrópica es mínima (0.0023%). Esta sub cuenca fue el escenario donde se emplazaron los epicentros de los sismos del 87' y su comportamiento geodinámico inestable



ocasionó el desequilibrio dinámico en el río Salado provocando que este sea altamente erosivo, lo que junto a una morfología abrupta y una pluviosidad considerables son responsables del aporte de sedimentos al río. El aporte del caudal líquido se supone corresponde no únicamente a la pluviosidad de la zona, sino también a los deshielos del volcán Cayambe y a la vegetación de páramo que actúa como esponja ayudando a mantener un caudal líquido base estable.

El uso de un Sistema de Información Geográfica permitió definir los diferentes estilos fluviales que adopta el cauce principal de la cuenca hidrográfica del río Coca, diferenciando así tres estilos: recto, meándrico y trenzado. Los mismos que están controlados principalmente por la geodinámica activa lo que hace posible tener esta diferencia de estilos en cortas distancias.

Palabras clave: Río Coca, geomorfología fluvial, cuenca hidrográfica, geodinámica, parámetros geomorfológicos.

## ABSTRACT

This titling project focuses on the analysis of the influence of geodynamics and human activities in the fluvial geomorphology of the area of direct influence of Coca Codo Sinclair hydroelectric project. Geodynamics was evaluated through geomorphological parameters, such as sinuosity and drainage density; and volcanic activity, seismic activity and tectonic activity, among others. To meet the targets were used: orthophotos, field observations, analysis of satellite images through Google Earth and GIS, in addition to the bibliographic information collected.

The study area corresponds to the hydrographic basin of the Coca River and is located in a transition region called Zona Subandina, in which there is a tectonic control evidenced by a dense network of faults that have a transpressional character, which creates significant challenges the development and subsequent operation of the plant. This fault system was reactivated from the earthquakes in 1987, which caused one of the most catastrophic landslides twentieth century, since the seismic activity was combined with high rainfall giving place to important phenomena of landslides.

Considering that previous analyzes reveal that the Coca River watershed is an unstable basin, controlled by an active geodynamics and the latent threat of active volcano Reventador, this basin of  $5283.74 \text{ km}^2$ , was divided in 8 sub-basins using hydrological stations as closing point with data that provide hydrosedimentological behavior of each sub-basin. This analysis allowed to highlight the main contributor in both solid and liquid flow sub-basin is the sub basin the Salado River, where human intervention is minimal (0.0023%). This sub basin was the scene where the epicentres of the earthquakes of 87' and the unstable geodynamic behavior caused the dynamic imbalance in the Salado river, causing it to be highly erosive, which together with an abrupt morphology and considerable rainfall are responsible of the producción of sediment in the river. The contribution of the liquid flow is assumed to pertain not only to the

rainfall in the area, but also to the thaws of Cayambe volcano and moorland vegetation that acts as a sponge helping to maintain a stable liquid flow basis.

The use of a Geographic Information System allowed to define the different styles river adopting the principal channel of the Coca river watershed, differentiating three styles: straight, meandering and braided. They are mainly controlled by the active geodynamic making it possible to have this difference in styles over short distances.

Keywords: Coca River, fluvial geomorphology, watershed, geodynamic, geomorphic parameters.

## PRESENTACIÓN

Este proyecto de titulación se desarrolló como parte de un proyecto de investigación inter y multidisciplinario de la Escuela Politécnica Nacional (PIMI-14-09) titulado “ANÁLISIS HIDROSEDIMENTOLÓGICO Y MORFODINÁMICO EN EL RÍO COCA. CASO DE ESTUDIO: IMPACTOS FLUVIALES DEL PROYECTO COCA CODO SINCLAIR - PHCCS”, donde el análisis hidrosedimentológico está a cargo de la señorita Natalia Horna en el proyecto de titulación nombrado “EVALUACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA Y DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL RÍO COCA EN LA ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO COCA CODO SINCLAIR”, del cual se ha utilizado datos sobre la caracterización hidrológica de la cuenca hidrográfica del río Coca con la finalidad de conjuntamente con los análisis geomorfológicos determinar cómo afecta la geodinámica y el impacto antrópico en la geomorfología del río Coca.

En el **capítulo 1** se presenta la introducción, antecedentes, justificación, objetivos y alcance. Se describe el área de estudio y detallan conceptos que se utilizarán para el desarrollo de este proyecto de titulación, compilados dentro del marco teórico.

En el **capítulo 2** se realiza la caracterización hidrológica de la cuenca hidrográfica y se desarrolla el marco geológico detallando: geología regional, geología local, geomorfología, actividad tectónica, actividad sísmica, actividad volcánica.

En el **capítulo 3** se detalla la metodología que se utilizó para el desarrollo del proyecto de investigación.

En el **capítulo 4** se exponen los resultados y se procede con el análisis de los parámetros de la cuenca hidrográfica del río Coca.

Finalmente en el **capítulo 5** se presentan: la discusión, conclusiones y recomendaciones producto del trabajo de investigación realizado en este proyecto de titulación.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

La Amazonía Ecuatoriana posee una gran biodiversidad y riqueza en recursos naturales como son los hidrocarburos y los recursos hídricos (Baby, et al., 2014), (Asociación Amazanga, 2003); estos últimos han tomado gran importancia en los últimos años, ya que dentro del nuevo modelo de matriz productiva que ha implementado el gobierno se toma en cuenta el cambio en la matriz energética, para lo cual se están desarrollando varios proyectos hidroeléctricos que se supone minimizaran el impacto ambiental. En la actualidad el gobierno ecuatoriano está construyendo ocho proyectos hidroeléctricos a lo largo del territorio Ecuatoriano, una de estos proyectos es la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, ubicada en las provincias de Napo y Sucumbíos, y cuya construcción podría tener un impacto en nuestra área de estudio. Esta hidroeléctrica producirá 1500 MW de potencia como resultado del aprovechamiento del potencial de los ríos Quijos y Salado que posteriormente conforman el río Coca, este emblemático proyecto aportará una energía media de 8.734 GWh/año (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2012).

Sin embargo este proyecto se construye en una zona localizada al nor-occidente de la cuenca de ante-país de trasarco, la cual presenta una geodinámica compleja producto de esto se tiene una geomorfología accidentada. Esta geodinámica intensa se refleja en:

- ❖ Actividad volcánica, con la presencia de 3 volcanes, uno de ellos el volcán El Reventador, cuya última erupción ocurrió en el 2002 y dada su importancia en la generación y entrega de material en suspensión al río Coca (Laraque, et al., 2009) se detallará más adelante.
- ❖ Alta sismicidad, en la historia reciente se registran los sismos ocurridos el 5 de marzo de 1987, se trata de dos terremotos con magnitudes de 6.1 y 6.9

en la escala de Richter, con epicentro ubicado en el sector occidental del volcán Reventador (Hall, 2000).

Este estudio tiene por objetivo analizar los efectos de la geodinámica y la actividad antrópica en la geomorfología fluvial. Este análisis permitirá evaluar la construcción de la infraestructura hidráulica, ya que estas actividades rigen los FACTORES DE CONTROL de los ríos tales como el caudal sólido, caudal líquido, pendiente, entre otros.

## **1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN**

En el Ecuador las condiciones climáticas, geológicas y topográficas hacen que se convierta en un territorio vulnerable a las amenazas geodinámicas, y a su vez estos factores juegan un rol importante en la geomorfología fluvial analizada en el presente estudio (Gutiérrez, 2008).

1. En el área de estudio, uno de los factores geodinámicos que afectan directamente al río Coca es la actividad volcánica, particularmente el volcán Reventador. Este volcán empezó su último periodo eruptivo en el año 2002, presentando hasta la actualidad episodios eruptivos esporádicos (IGEPN, 2014).
2. Otro factor geodinámico destacado en la zona es la actividad sísmica, de hecho, durante el reconocimiento de la tectónica local para el proyecto Coca - Codo Sinclair realizado por el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL, 1988), se identificaron una serie de estructuras que fueron reactivadas por los sismos ocurridos en Marzo de 1987 (INECEL, ASO. Firmas Consultoras, 1988). Estos sismos asociados a factores climáticos fueron el detonante que generó uno de los deslizamientos más catastrófico del siglo XX (Laraque, et al., 2009). Estos terremotos reactivaron muchos lineamientos tectónicos y provocaron fenómenos de remoción en masa, flujos de lodo y aluviones, aportaron con gran cantidad de sedimentos al río Coca generando así un incremento en la carga de sedimento en suspensión del río (Armijos, et al., 2013).

Adicionalmente, esta zona está sometida a una importante presión antrópica que podría tener un impacto profundo en el medio ambiente. En este contexto la construcción del PHCCS tendrá un impacto (aún no dimensionado) en la dinámica fluvial del río Coca. Esta hipótesis se basa en varios estudios realizados (Scheuerlein, 1995); (Brandt, 2000), (Surian & Rinaldi, 2003), (Meade & Moody, 2010), (Arp, et al., 2007), (Schumm, 2007); señalando que la construcción de una represa altera trascendentalmente las variables que controlan la morfología del río, por consiguiente la presencia del PHCCS plantea desafíos significativos en la gestión de la cuenca hidrográfica con el fin de mantener el PHCCS y otras obras ubicadas en los tramos adyacentes al río.

En adición, estudios recientes (Laraque, et al., 2009) han demostrado que en la cuenca hidrográfica del Río Napo, cuyo afluente es el Río Coca, la combinación de fenómenos geodinámicos (tectonismo, volcanes, sismos y deslizamientos asociados) comunes en la región favorecen importantes transferencias de sedimentos, no solamente en el presente sino también en el pasado (Wittmann, et al., 2011). Esta elevada tasa de transporte de sedimentos como resultado de una geodinámica activa, hace que este tipo de estudios sean primordiales para entender los procesos de transporte de sedimentos en ríos afectados por obras hidráulicas, además son fundamentales al momento de implementar obras de infraestructura que dependen en gran parte del aporte de sedimentos para su óptimo funcionamiento.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

El presente estudio tiene por objetivo evaluar la influencia de la presencia del Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair y de los fenómenos geodinámicos del área en la geomorfología del Río Coca.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar el impacto que tiene la actividad antrópica – construcción del Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair, **PHCCS**- en la geomorfología del cauce del río.
- Estudiar la geomorfología fluvial del Río Coca mediante la utilización de imágenes satelitales y de Sistemas de Información Geográfica.
- Analizar la actividad sísmica de la zona y su correlación con la morfología del río.
- Analizar la actividad volcánica del Reventador y su correlación con la carga sedimentaria del Río Coca.

### 1.3 ALCANCE

Para el desarrollo de este proyecto de titulación se hizo uso de conocimientos adquiridos dentro de la materia de fotointerpretación para el análisis de imágenes satelitales y ortofotografías desde el año 2010 hasta el año 2012, en las cuales se realizó el análisis de los parámetros geomorfológicos del río que serán detallados posteriormente. Todos los análisis realizados mediante ortofotografías e imágenes satelitales fueron corroborados con visitas de campo. Para el análisis de los parámetros geodinámicos se incluyó una recopilación de datos tanto de actividad volcánica como de la actividad sísmica presentes en la zona.

Finalmente se hizo uso de un SIG (ArcGis 10.2) para poder facilitar la interpretación y análisis de los parámetros geomorfológicos.

### 1.4 ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca hidrográfica del río Coca está ubicada en las provincias de Napo y Sucumbíos, al Norte de la región Subandina. El río Coca se forma de la unión de los ríos Quijos y Salado.



El área de la cuenca hidrográfica es  $5283.74 \text{ km}^2$ , donde se localizan los volcanes Cayambe, Reventador y Antisana. La altitud varía desde 320 m.s.n.m. (estación hidrológica del INAMHI, Coca en San Sebastián-H1134) hasta 5790 m.s.n.m. (volcán Cayambe). La ubicación de la estación hidrológica H1134 es el punto de cierre de la cuenca (Horna, 2016).

En la figura 1.1 se ubica espacialmente la cuenca hidrográfica del río Coca resaltando:

- Vías principales.
- El río Coca y sus tributarios.
- Los edificios volcánicos.
- La localización de las obras del PHCCS (Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair).

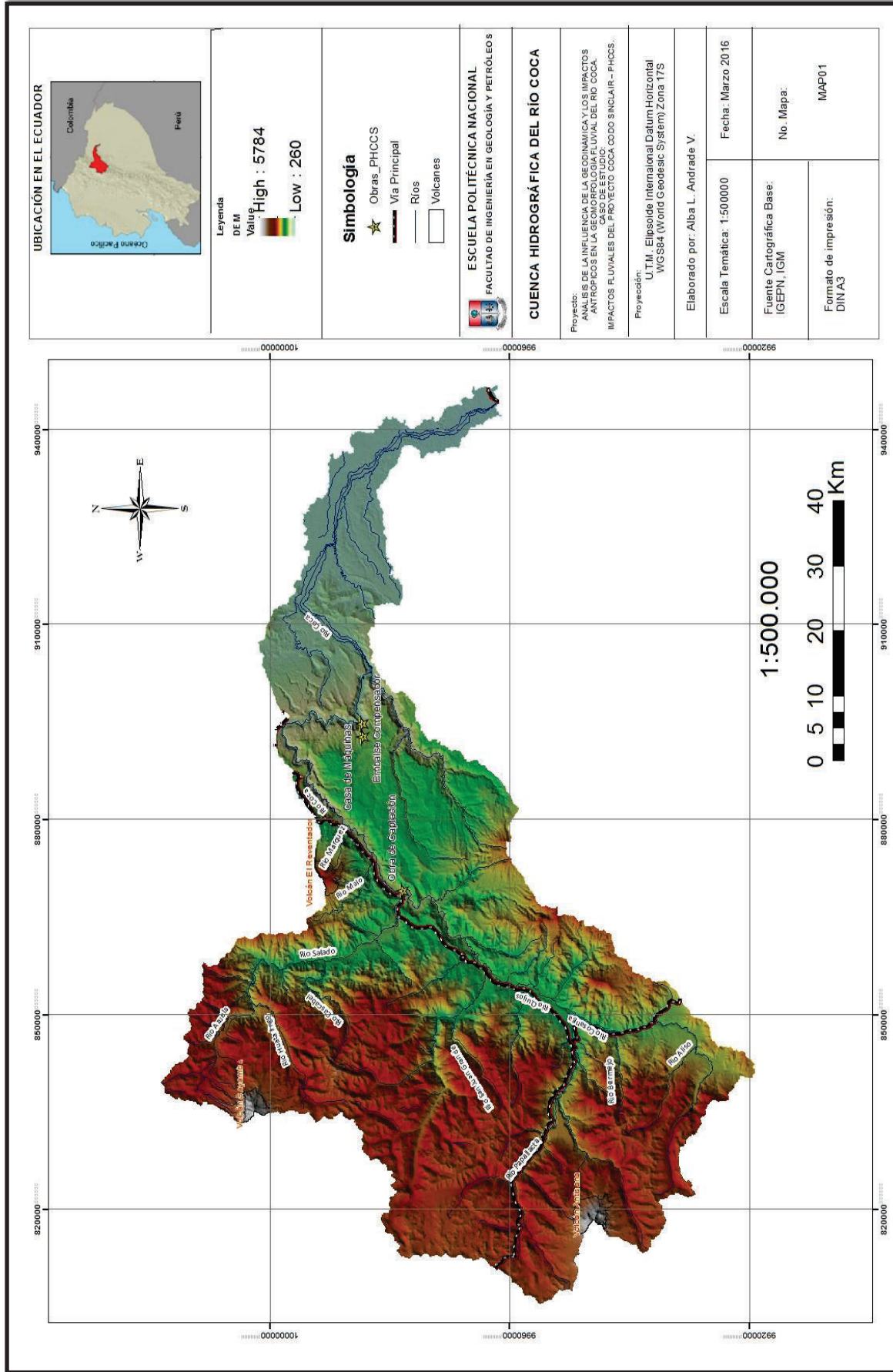


Figura 1.1. Mapa de la cuenca hidrográfica del río Coca

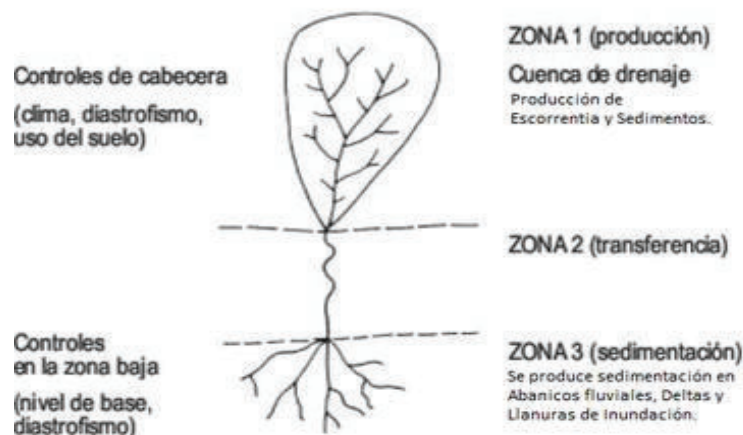
## 1.5 MARCO TEÓRICO

### 1.5.1 SISTEMAS FLUVIALES

El sistema fluvial es un sistema de proceso-respuesta, complejo y adaptativo que comprende dos componentes físicos principales, por un lado las relativas a la geomorfología (canales, llanuras aluviales, laderas, deltas, etc.) y por otra parte, las relativas a hidro-sedimentología (flujo líquido y sólido) (Bernal, 2009).

El sistema fluvial está sujeto a cambios con el transcurso del tiempo, producto de la interacción de los procesos erosivos y de sedimentación, otros factores que influyen significativamente son los cambios climáticos, modificaciones en el nivel base, tectónica cuaternaria y actividades humanas (Gutiérrez, 2008).

El sistema fluvial se divide en tres zonas, la zona 1 constituye el área de producción de sedimentos y escorrentía, la zona 2 se caracteriza por la transferencia de sedimentos que a su vez llegan a la zona 3 en la que se produce la sedimentación (formación de abanicos aluviales, deltas, llanuras de inundación). El siguiente esquema (fig. 1.2) representa un sistema idealizado de un sistema fluvial ya que se debe tomar en cuenta que en un modelo real los procesos de producción de sedimentos, transporte y sedimentación se realizan en todas las zonas, aunque siempre existe un proceso predominante en cada una de ellas (Gutiérrez, 2008)



**Figura 1.2.** Sistema fluvial idealizado (Schumm, 1977).

Para definir los componentes del sistema fluvial se necesita establecer una escala temporal, ya que el rango de las variables (dependientes e independientes) y sus interacciones cambian según la escala utilizada (Gutiérrez, 2008).

Dentro de las variables independientes encontramos al tiempo, la geología y el clima, mientras que la vegetación, el relieve, la paleohidrología y las dimensiones del valle constituyen las variables dependientes. En la tabla 1.1 se califica como variable indeterminada a las dimensiones del canal, puesto que tenemos escaso o ningún conocimiento en relación con las variables dependientes (Gutiérrez, 2008).

Variables de los ríos	Variables durante los intervalos de tiempo designados		
	Geológicas	Modernas	Actuales
1. Tiempo	Independiente	No relevante	No relevante
2. Geología (litología y estructura)	Independiente	Independiente	Independiente
3. Clima	Independiente	Independiente	Independiente
4. Vegetación (tipo y densidad)	Dependiente	Independiente	Independiente
5. Relieve	Dependiente	Independiente	Independiente
6. Paleohidrología (descarga a largo plazo de agua y sedimentos)	Dependiente	Independiente	Independiente
7. Dimensiones del valle (anchura, profundidad y pendiente)	Dependiente	Independiente	Independiente
8. Descarga media de agua y sedimentos	Indeterminado	Independiente	Independiente
9. Morfología del canal (anchura, profundidad, pendiente, forma y sistema)	Indeterminado	Dependiente	Independiente
10. Descarga observada de agua y sedimentos	Indeterminado	Indeterminado	Dependiente
11. Características del flujo observadas (profundidad, velocidad, turbulencia, etc.)	Indeterminado	Indeterminado	Dependiente

**Tabla 1.1.** Las variables Fluviales durante intervalos de tiempo de duración decreciente (Schumm & Lichty, 1965).

## **1.5.2 DINÁMICA FLUVIAL**

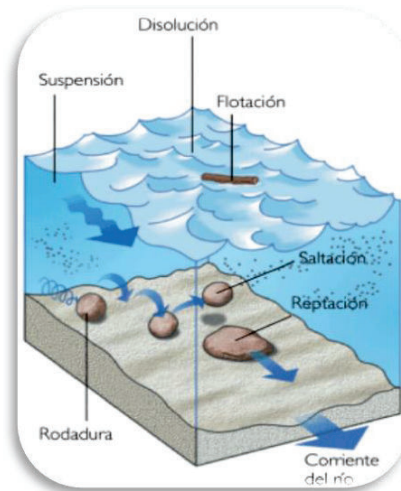
Un río puede transportar material granular proveniente de la parte alta de la cuenca de drenaje o desde los bancos de arena menores. Cualquier superficie que esté expuesta a la influencia de la lluvia, la nieve (ciclos de congelamiento y descongelamiento), la deforestación, etc. Pueden producir material de aporte para el río (Bernal, 2009).

En la cuenca hidrográfica del río Coca que puede ser definida como una cuenca de montaña, toda zona expuesta a fenómenos erosivos causados por el agua (erosión laminar, surcos y cárcavas) o debido a fenómenos de remoción en masa (deslizamientos, avalanchas, flujos de escombros) puede generar grandes cantidades de material. La erosión en las partes bajas de la cuenca podrían persistir incluso si la influencia de la lluvia ha cesado.

En el caso que la erosión de la cuenca produzca partículas finas, éstas inmediatamente pueden ser transportadas como sedimentos en suspensión y que pueden llegar a depositarse en los lechos de los ríos. Las partículas finas responsables de la turbidez de la corriente de agua, se pueden depositar en la llanura de inundación, pero rara vez en los lechos menores, a menos que se aglomeren por floculación (Bernal, 2009).

### **1.5.2.1 Transporte Fluvial**

El transporte fluvial se refiere al movimiento de agua en los cuales elementos en suspensión y elementos disueltos son transportados desde las cuencas de la cabecera hacia las planicies de inundación. Como se observa en la figura 1.3 existen tres tipos para el transporte de sedimentos:



**Figura 1.3.** Modelos de transporte de sólidos en un río.

- Transporte de la carga de fondo

Este transporte ocurre cuando se movilizan los bloques (> 200 mm), gravilla (2-20 mm), arena (0,02 a 2 mm) y cantos (20 a 200 mm) en el lecho del río. El transporte se puede dar por rodadura, arrastre o saltación, esto depende de la geometría del material y de la velocidad de la corriente.

Los granos se mueven a una velocidad menor a la del flujo del agua, estos se mueven aisladamente en cualquier dirección o bien agrupados por rodadura y deslizamiento. Los granos de mayor tamaño y las partículas redondeadas se desplazan más rápidamente que las planas (Gutiérrez, 2008).

- Transporte de elementos en disolución

La carga disuelta comprende los iones y moléculas que proceden de la meteorización química, por lo general materia inorgánica (Gutiérrez, 2008). Estos iones y moléculas producidos por la meteorización química son lixiviados a través del agua de percolación en el suelo y también son removidas por el escurrimiento superficial del agua.

- Transporte por suspensión

Los tamaños de los sedimentos que se pueden transportar por suspensión incluyen limo, arcilla (<0.02 mm) y arenas, las cuales se distribuyen heterogéneamente en las secciones de los ríos de acuerdo a los tamaños, pesos y formas de las partículas sometidas a la “ley de Stokes”, y la distribución de los vectores de velocidad en los ríos.

Los bancos de arena de un río suelen estar constituidos por sedimentos finos, tales como arena fina, limo y arcilla, mientras que el lecho está compuesto por arenas y gravas con alguna pequeña cantidad de limo y arcilla. Estos tipos de sedimentos difieren además de su tamaño, las propiedades físicas. Los más finos tienden a ser cohesivos y son difíciles de erosionar (Gutiérrez, 2008).

#### **1.5.2.2 Caudal Sólido**

El caudal sólido es definido por el volumen del material transportado por la unidad de tiempo. Se expresa en  $kg * s^{-1}$  o  $T * dia^{-1}$ .

En general la capacidad de un canal para transportar sedimentos es una función de energía de la corriente que depende principalmente de su velocidad, y de la pendiente del río. Cuando la capacidad de transporte de sedimento de la corriente es excedida, por ejemplo debido a una reducción en la pendiente del canal o debido a un aumento de la rugosidad del canal por la vegetación, entonces probablemente la deposición de sedimento ocurre. Así la deposición de sedimento es una función de la diferencia entre aporte de sedimentos al canal y a la capacidad de transporte de sedimento en el canal.

### 1.5.2.3. Granulometría

El transporte de material dentro de un río desde la cabecera hasta su desembocadura y tomando en cuenta que la pendiente va disminuyendo conforme se acerca al valle, la deposición del material se da en forma gradual, en la cabecera se deposita el material de mayor tamaño (bloques, arenas, rocas), y los elementos más finos siguen su recorrido aguas abajo.

Aguas arriba donde se clasifica al río como torrencial por su energía y pendiente, encontramos que la carga de fondo remueve las partículas finas, y deja una capa superficial de material grueso en un proceso denominado acorazamiento o pavimentación, que se convierte en la protección de los sedimentos subyacentes. Esta capa de pavimentación podría ser destruida solo con una gran inundación. Los grandes bloques en función de su tamaño y posición cumplen la función de trampas que albergan sedimentos más pequeños denominando a este proceso como enmascaramiento.

Si consideramos un escenario extremo, por ejemplo una inundación, tenemos que los grandes bloques dependiendo de su posición y tamaño desempeñan un papel estructural para los granos más pequeños reforzando de esta manera la superficie, formando así el denominado suelo baldosa. La figura 1.4 expone un ejemplo de suelo acorazado en el río Coca en la zona del puente del Salado.





**Figura 1.4** Suelo Baldosa, río Coca zona del puente del salado (Tomada por C. Bernal, coordenadas: 18 M 199360 9977626).

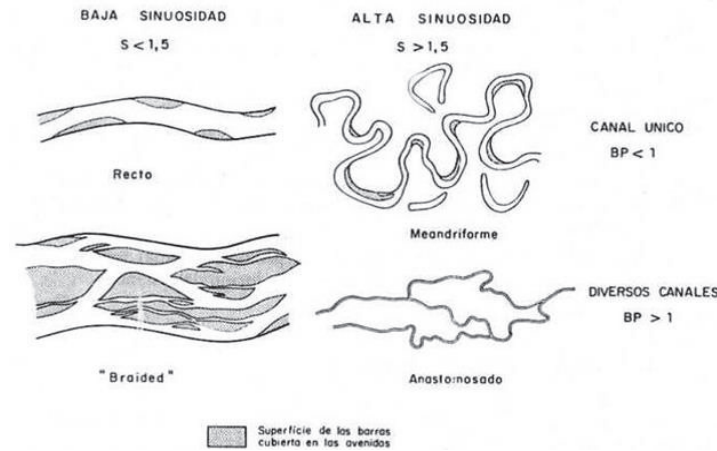
## 1.5.3 GEOMORFOLOGÍA FLUVIAL

### 1.5.3.1 Estilos Fluviales

Los sistemas fluviales están sometidos a una combinación de factores que generan diferentes tipos o formas de ríos. A pesar de que al sistema fluvial se lo precisa como un continuo morfológico, reconocemos la existencia de cuatro tipos principales: recto, meándrico, trenzado y anastomosado (Ver figura 1.5).

La ocurrencia de cada uno de los estilos fluviales se basa en los procesos erosión/sedimentación y variables como: la sinuosidad, el número de canales, el tipo de barras o bancos de arena, la pendiente, índice de trenzado y el flujo.

Sin embargo una óptima clasificación de los tipos de ríos debe considerar los factores externos, como la tectónica, el clima y el cambio del nivel de base.



**Figura 1.5** Estilos Fluviales.

Cabe recalcar que los sistemas fluviales están sujetos a cambios en la forma del río si existiera una interrupción y cambio en las variables antes mencionadas.

#### **1.5.3.1.1. Ríos Rectos**

En estos ríos el índice de sinuosidad (ver § 1.6.5.2) es inferior a 1,3. Es decir, hay una falta de erosión lateral y de deposición.

#### **1.5.3.1.2 Ríos Meándricos**

Los ríos meándricos están caracterizados por un índice de sinuosidad  $>1,3$ . Por lo general este tipo de río se desarrolla en donde la tasa de erosión es baja y la carga en suspensión es moderada. Los procesos de transporte de sedimentos que predominan en este río aguas arriba son: transporte por suspensión y transporte de carga de fondo, así cuando el río llega a la llanura el proceso de transporte dominante es por suspensión. Durante el transporte por suspensión, las partículas en movimiento son arena fina y limo.

### *1.5.3.1.3 Ríos en Trenza*

Estos tipos de ríos están caracterizados por presentar una fuerte carga aluvial, dentro de esta carga sólida el material grueso es un componente importante. En cuanto a su morfología, se observa que el lecho del río es ancho y plano. Consta de varios canales que obligatoriamente siguen la misma dirección del eje principal del valle. Dichos canales están separados por barras o bancos de arena laterales que en ocasiones presentan escasa vegetación. El grado de trenzamiento (Brice, 1964), es el porcentaje de la longitud del río dividido por la longitud de una o más barras. Es un índice variable ya que la longitud de las barras depende de la época de medida (Gutiérrez, 2008).

Este tipo de sistema fluvial puede originarse de dos formas (Chorley, et al., 1984) la primera se produce cuando existe una agradación activa, la carga de fondo se deposita formando barras de arena que generan en el cauce una división y así se forma el característico sistema trenzado. El otro tipo se relaciona con una gradiente fuerte del canal donde la potencia de la energía del flujo causa un incremento en la carga de fondo, por lo tanto para poder movilizar todo el material se necesita tener un caudal ancho y poco profundo, con pendiente acusada y con grandes fuerzas de cizalla que actúen sobre el lecho fluvial (Gutiérrez, 2008).

Las características principales que definen a este estilo de río son:

- Alta energía
- Altamente erosivos, principalmente en los bancos o barras de arena los cuales son un aporte importante de sedimentos y ayuda a la expansión de los sectores de trenzado
- Presencia de varios canales.
- Inestabilidad lateral.
- Carga de fondo abundante.
- Alta variabilidad de los caudales, ya que es durante las inundaciones que se movilizan grandes cantidades de sedimentos provenientes de los bancos o del movimiento de la carga de fondo, y por tanto están disponibles para la edificación de nuevos depósitos.

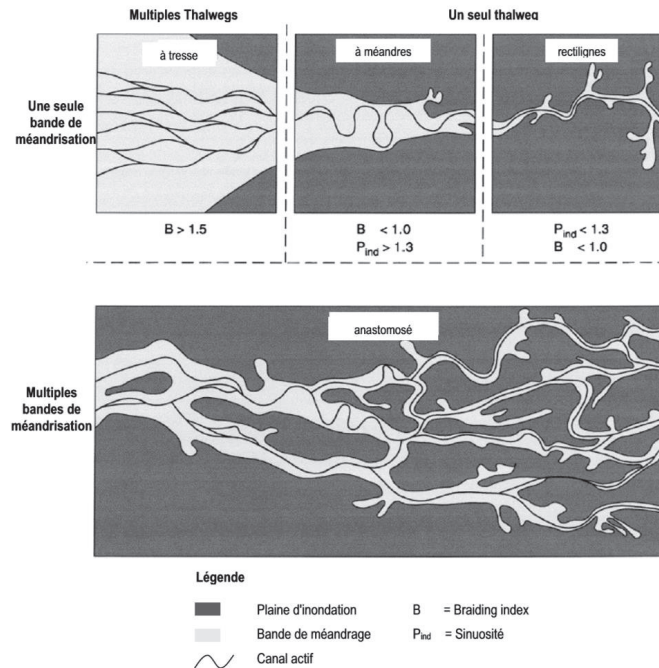
- Carga de fondo abundante.
- Alta variabilidad de los caudales, ya que es durante las inundaciones que se movilizan grandes cantidades de sedimentos provenientes de los bancos o del movimiento de la carga de fondo, y por tanto están disponibles para la edificación de nuevos depósitos (Bernal, 2009).

#### ***1.5.3.1.4. Río Anastomosado***

Estos ríos se componen de dos o más canales interconectados alrededor de la misma llanura de inundación. Los canales que forman parte de un sistema de ríos anastomosados pueden ser rectos, meandros o en trenza (Schumm, 1977). Estos canales están caracterizados por una baja pendiente ( $0.01 \text{ cm m}^{-1}$ ), un tamaño fino de partículas y materiales cohesivos, transporte de carga en suspensión y en algunos casos, una densa vegetación de ribera, esto explica la estabilidad de la llanura de inundación de este estilo río. Cabe recalcar que para mantener el carácter anastomosado se debe contar con una espesa vegetación en sus islas, generando de esta manera una estabilidad en los canales. Los ríos anastomosados se forman generalmente por procesos de avulsión.

El grado de anastomosamiento (Brice, 1964) se describe por el porcentaje de la longitud medida que está ocupada por grandes islas. Una diferencia clara entre los ríos trezadas y anastomosados la podemos encontrar en el ancho de los canales en comparación al ancho de sus barras o islas, en los ríos trezados tenemos que estas dos magnitudes son comparables entre sí, y en los ríos anastomosados la longitud de los canales es mucho más pequeña que la de las islas (Gutiérrez, 2008).

En la figura 1.6 presenta la clasificación de los ríos anastomosados teniendo en cuenta los siguientes parámetros: la energía de la corriente, tamaño de sedimentos y características morfológicas.



**Figura 1.6.** Clasificación de los ríos en función del estilo y la geomorfología fluvial de la llanura de inundación (Bernal, 2009).

#### 1.5.4. DEFINICIONES FUNDAMENTALES

- Capacidad de Transporte y Competencia.
  - La capacidad es el volumen de sedimento específico que puede transportar un río por unidad de tiempo (Bernal, 2009).
  - La competencia es la capacidad que tiene el río para transportar sedimentos de diferentes características físicas, por lo general la competencia aumenta en un valor igual al cuadrado de su velocidad, es decir, si la velocidad aumenta tres veces el valor de la competencia aumentará nueve veces (Gutiérrez, 2008).

La capacidad y competencia dependen de varios factores como son: la velocidad de la corriente, el caudal y el tamaño de las partículas. Conjuntamente la turbulencia desempeña un rol importante, puesto que mientras mayor sea la turbulencia del

flujo mayor capacidad y competencia tendrá el río para movilizar sedimentos (Gutiérrez, 2008).

- Planicie de inundación y cauce del río
  - La planicie o llanura de inundación es una superficie situada contigua al río, está expuesta a inundaciones periódicas producida por el incremento y desbordamiento del cauce. Dentro de esta área el río puede depositar, erosionar y retrabajar los sedimentos. Cuando esta zona está cubierta la altura del agua es muy baja, la velocidad del flujo es lento y el tamaño de los sedimentos presentes es muy fino (limo, arcilla). La delimitación de la llanura de inundación no se la puede hacer de manera exacta, ya que a lo largo del tiempo estos han ido cambiando dentro de la llanura aluvial (Bernal, 2009).
  - El cauce es el área ocupada por el flujo permanente del agua, puede estar compuesto de uno o más canales, la velocidad del flujo depende de la dinámica del río. En el caso de ríos compuestos por multi-canales separados por bancos de arena o islas con vegetación, el cauce está conformado por el conjunto de estos canales (Gutiérrez, 2008).
- Orilla y Margen

La orilla es el medio geográfico que divide los ambientes terrestres y acuáticos. Empieza en la parte superior del margen, como se observa en la figura 1.7, es plana y su límite no está bien definido; se mantiene bajo la influencia del ambiente acuático.



**Figura 1.7.** Representación de términos geográficos comunes en la llanura de inundación (Bernal, 2009)

- La margen es el talud inclinado que separa el lecho del río y la llanura de inundación.

### **1.5.5. RELACIÓN ENTRE MORFOLOGÍA E HIDROLOGÍA**

A continuación se explican dos teorías que pueden exponer la relación entre la morfología e hidrología en los ríos:

1. La teoría del flujo dominante o flujo morfógeno, es el caudal que se encarga de dar la geometría al cauce definiendo características morfológicas del canal como barras, meandros, curvas. El flujo empieza a actuar cuando el río presenta una crecida en el momento que el nivel del agua dentro de la sección está a punto de desbordarse hacia la planicie de inundación. Estudios realizados en Colombia establecen un periodo de retorno para este flujo de 1.4 años (Bernal, 2009).
2. La teoría de las variables de control y las variables de respuesta, la misma que sostiene que un río para evacuar el mismo flujo tiene infinitas soluciones cambiando su anchura, la profundidad y la pendiente, la solución no depende de la casualidad. Esta se fundamenta en la suposición que el río se encuentra en un equilibrio dinámico, en el cual las dimensiones permanecen estables siempre y cuando se mantenga un régimen permanente, o están sujetas a modificaciones caóticas si existiera un cambio en el régimen inicial (Bernal, 2009).

#### **1.5.5.1 Teoría del Equilibrio Dinámico**

El equilibrio dinámico es un ajuste permanente en las geometría promedio del río. Para el flujo de sólidos y líquidos un río debe adoptar una geometría que le permita la circulación de los mismos. Las variables de control están sujetas a cambios constantes a lo largo del día, la estación del año y si extendemos el análisis están sujetas a cambios a lo largo del tiempo geológico. Para adaptarse a fluctuaciones

repentinas del flujo, el río genera cambios en sus márgenes haciendo uso de mecanismos como la erosión y deposición de sedimentos, modificando el ancho, la pendiente y su profundidad para poder seguir manteniendo el flujo normal del líquido. En condiciones normales el cauce se mantiene relativamente estable, pero con una gran inundación el río opta por una ruta alternativa en la llanura de inundación o corta uno de sus meandros o simplemente recorre sus meandros.

#### **1.5.5.2. Variables de Control y Variables de Respuesta**

Las variables de control son parámetros como la geología, el clima que se asignan a los cursos de agua, mientras que las variables de respuesta tienen cierto grado de libertad y la única condición que se requiere es que el río siga cumpliendo las funciones básicas, es decir el transporte de flujo líquido y una carga sólida. Dentro de las variables de control tenemos:

- Flujo de caudal sólido.
- Flujo de caudal líquido.
- Geometría del valle (principalmente la pendiente).
- Tamaño de la partícula.
- Características mecánicas del lecho y bancos de arena
- Vegetación en la orilla.

Dentro de las variables de respuesta tenemos:

- Pendiente del fondo.
- Amplitud y longitud de onda de la sinuosidad.
- Tamaño de la carga en suspensión.
- Parámetros geométricos.
- Ancho del cauce.
- Profundidad del canal.
- Velocidad actual de la corriente.



Las variables de respuesta mencionadas con anterioridad no son independientes, así como, la sinuosidad y la pendiente son dos variables que están estrechamente ligadas. Por ejemplo, si existe un aumento en el flujo de fluidos el río se convertirá en un río netamente erosivo y como consecuencia aumentará su carga sólida. Y si, aumenta la velocidad del flujo sólido se generarán depósitos de sedimentos provocando un aumento en la pendiente aguas abajo.

## 1.5.6 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS

### 1.5.6.1 Caracterización de la Cuenca Hidrográfica

Para la caracterización de la cuenca se lleva a cabo los siguientes cálculos:

#### 1.5.6.2 Parámetros Morfométricos

- Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad ( $K_c$ ), en este se relaciona una cuenca hidrográfica teórica circular con los valores obtenidos del perímetro y área de la cuenca hidrográfica de interés

$$K_c = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1.1)$$

Donde:

$P$  = perímetro de la cuenca ( $km$ )

$A$  = área de drenaje de la cuenca ( $km^2$ )

- Factor de forma ( $K_f$ ), es la relación entre el área de la cuenca hidrográfica y el cuadrado de la longitud del cauce principal.

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (1.2)$$

Donde:

$A$  = área de la cuenca ( $km^2$ )

$L$  = Longitud axial de la cuenca (cauce principal) ( $km$ )

En la tabla 1.2 se da una clasificación de la cuenca en relación a los diferentes valores que pueden tomar parámetros definidos con anterioridad.

Kf	Kc	Formato de la cuenca	Interpretación Ambiental
1.00 – 0.75	1.00 – 1.25	Circular	Alta tendencia a inundaciones
0.75 – 0.50	1.25 – 1.50	Ovalada	Mediana tendencia a inundaciones
0.50 – 0.30	1.50 – 1.70	Oblongo	Baja tendencia a inundaciones
< 0.30	> 1.70	Largo	Cuencas propensas a la conservación

**Tabla 1.2** Interpretación de parámetros con respecto a: Kf y Kc (Adaptado de (Cerignoni & Rodrigues, 2015)).

- Densidad de drenaje, es la relación entre la longitud total de las corrientes de agua y el área total.

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (1.3)$$

Donde:

$L_t$  : Longitud total de las corrientes de agua (*km*)

$A$  : Área de la cuenca ( $Km^2$ )

En la tabla 1.3 se define los rangos de acuerdo a los valores que puede tomar el cálculo de la densidad de drenaje.

Dd (valores)	Interpretación	La interpretación ambiental de la cuenca
< 1.5	Bajo	Baja la escorrentía y aumenta la infiltración
1.5 – 2.5	Medio	Tendencia media de escorrentía
2.5 – 3.0	Alto	Alta tendencia a fluir ya las inundaciones
> 3.0	muy Alta	Alta tendencia a la escorrentía, y a la erosión

**Tabla 1.3** Valores e interpretación de los resultados de la densidad de drenaje (Cerignoni & Rodrigues, 2015).

- Orden de las corrientes de agua, refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca. Existen varios métodos utilizados para obtener el orden de la cuenca hidrográfica, el más conocido es el de Strahler en el que las

corrientes de primer orden son pequeños canales sin tributario. Las de segundo orden aparecen cuando las de primer orden se unen, las corrientes de tercer orden cuando dos corrientes de segundo orden se unen, y así sucesivamente. (Ochoa, 2011)

- Índice de sinuosidad, limitando de un tramo del río, se define al índice de sinuosidad como la relación entre la longitud del canal medido sobre el cauce y la longitud del valle medido en línea recta (Lawrence, 2009).

$$S = \frac{L}{L_v} \quad (1.4)$$

Donde:

$L$  : Es la longitud del cauce ( $km$ ).

$L_v$  : Es la longitud del valle medida en línea recta ( $km$ ).

### 1.5.6.3 Parámetro de Relieve

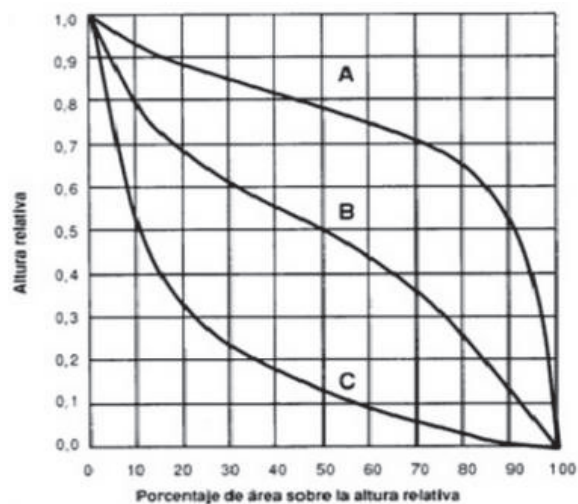
La pendiente media de la cuenca es el promedio ponderado de las pendientes que se ubican en el interior de los límites de la cuenca. Interviene en la velocidad con la que fluye la escorrentía superficial, por lo tanto afecta el tiempo de concentración del agua de la lluvia en los lechos fluviales (Monsalve, 1995)

- Pendiente media del cauce ( $S_1$ ): es la relación entre la diferencia de cotas en el punto más alto y el punto más bajo del perfil del río y la longitud del cauce (proyección en el plano horizontal de la línea que une los dos puntos extremos a lo largo del cauce) (Monsalve, 1995)

$$S_1 = \frac{h_1 - h_0}{L_1 - L_0} \quad (1.5)$$

### 1.5.6.4 Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica se determina como la relación que existe entre el porcentaje de área de la cuenca que se encuentra sobre una cota determinada. Para interpretar el resultado tenemos tres modelos de curvas expuestas en la figura 1.8



**Fig. 1.8** Curva Hipsométrica (Ingeniería Civil, Blog, 2015).

En la figura 1.8 se observan tres tipos de curva que reflejan fases de estabilidad e inestabilidad de las cuencas:

- A) Resultado de una cuenca con alto poder erosivo característico de una cuenca joven.
- B) Refleja una cuenca en equilibrio, resultado de una cuenca en etapa de madurez.
- C) La cuenca es netamente sedimentaria, característica de una etapa de vejez.

## **CAPITULO 2**

### **CONTEXTO GENERAL**

La cuenca hidrográfica del río Coca está ubicada en una zona de transición que va desde la parte Nororiental del sistema montañoso de los Andes hasta los terrenos de baja pendiente en la región Amazónica. El área que cubre esta cuenca hidrográfica es de  $5283.74 \text{ km}^2$ .

El río Coca presenta una característica importante en su rumbo, este describe una curva denominada Codo Sinclair, con un desnivel de 620 metros, descrita por el geólogo norteamericano Joseph Sinclair en 1927.

#### **2.1 CLIMA**

En términos generales se puede decir que la cuenca hidrográfica del río Coca presenta un clima cálido-húmedo con lluvias constantes todo el año.

Para el análisis climatológico se hizo uso de 32 estaciones meteorológicas de los siguientes tipos: climatológica ordinaria, climatológica principal, pluviométrica automática y pluviométrica, las mismas que están a cargo del INAMHI, PHCCS Y EPMAPS (Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Quito) (Horna, 2016). En el Anexo 1 se detallan las 32 estaciones meteorológicas. En la figura 2.1 se ubican espacialmente las estaciones.

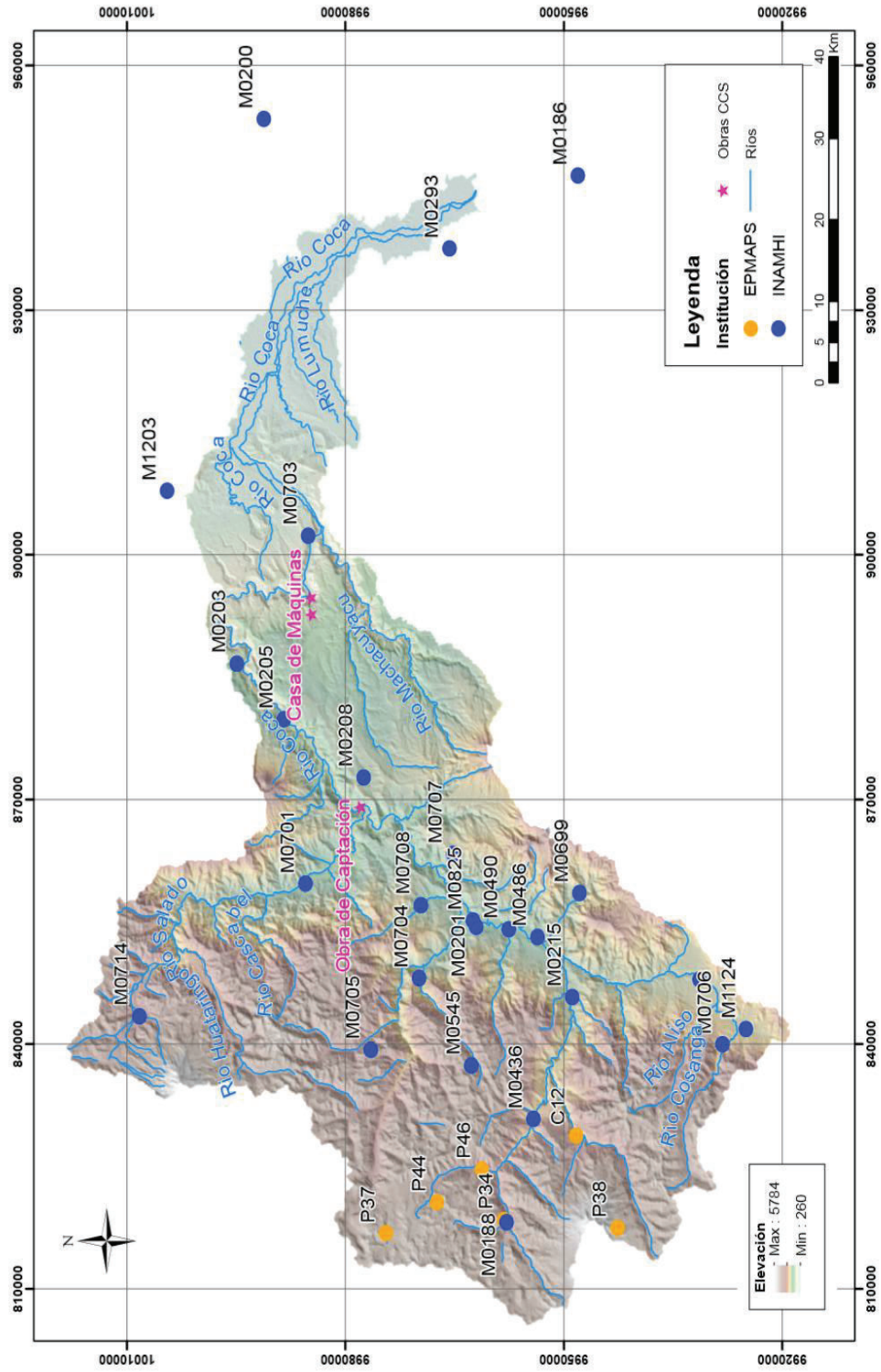


Figura 2.1 Estaciones meteorológicas dentro de la cuenca hidrográfica del río Coca (Horna, 2016).

### 2.1.1 PRECIPITACIÓN

La cuenca se localiza en una zona de transición, en las estribaciones de la Cordillera Real. Los patrones de precipitación espacial están influenciados por los vientos alisios húmedos que se originan sobre la cuenca Amazónica y del Atlántico (Vuille, et al., 2000). Adicionalmente la distribución espacial de las precipitaciones se ve afectada por las características del relieve, y la presencia de algunos edificios volcánicos, lo que hace que se distribuyan de acuerdo a la orografía, en consecuencia, en espacios relativamente cortos se tiene una gran variedad en la cantidad de precipitaciones.

De acuerdo a la caracterización de las precipitaciones realizado en la figura 2.2, se puede observar que la parte alta y media de la cuenca predomina un régimen de precipitación unimodal, mientras que en la parte baja se caracteriza por un régimen de precipitación bimodal. En las estaciones con un régimen unimodal se puede observar que los meses más lluviosos corren desde abril hasta julio, mientras que la estación seca ocurre entre los meses de diciembre a febrero. En la figura 2.2 se visualiza la precipitación media mensual por cada estación. Analizando dicha información se concluye que la fecha en las que se tomaron las imágenes satelitales con las que se desarrolla este proyecto fue en el periodo de incremento en las precipitaciones.

Los encargados del área de hidrología dentro del proyecto PIMI 14-09 en base al método de interpolación IDW (Inverse Distance Weight), se elaboró la distribución espacial de la precipitación usando la serie de datos interanuales de las 32 estaciones meteorológicas consideradas en este estudio (§ 2.1) y que se presentan en la figura 2.3 (Horna, 2016).

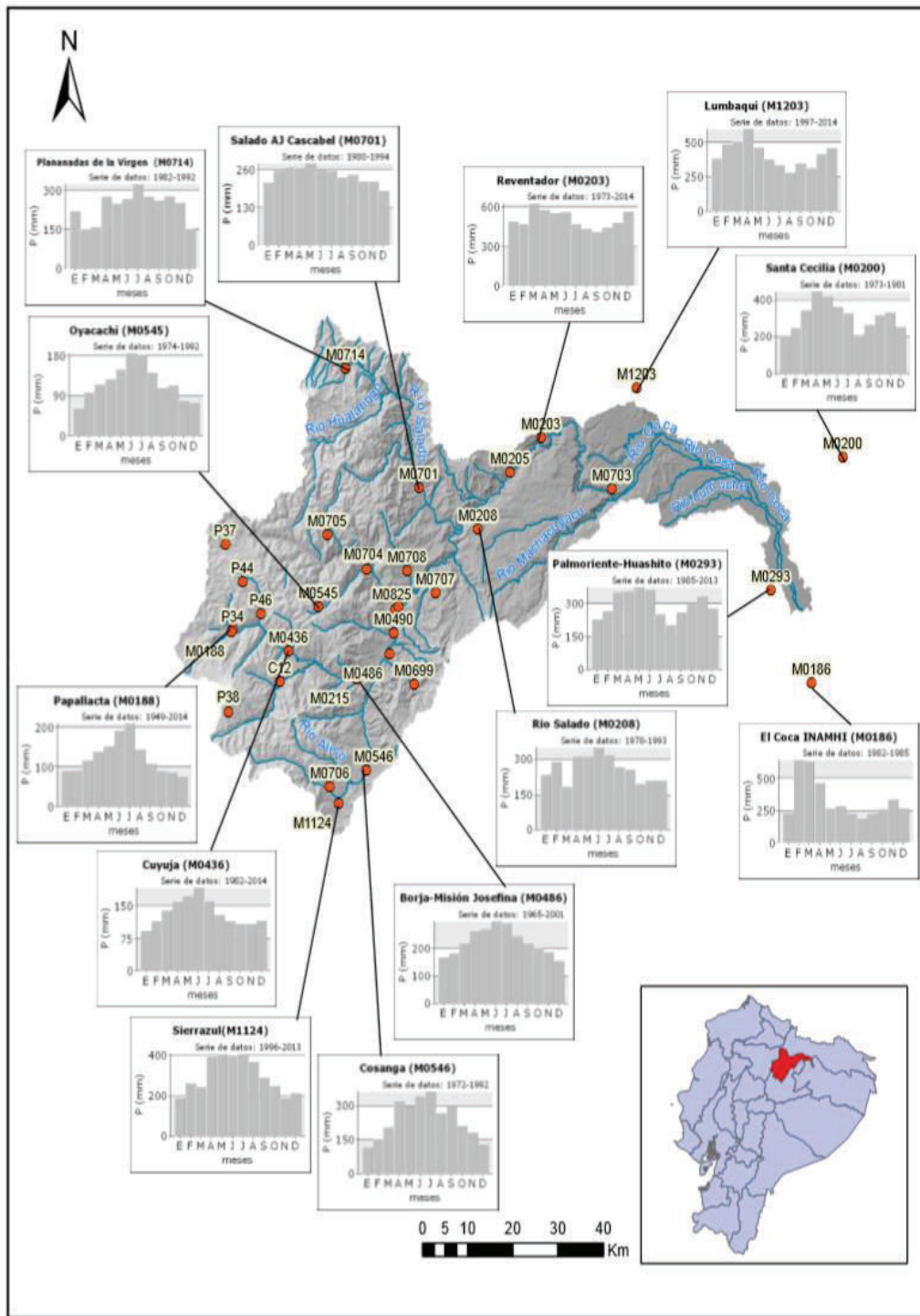


Figura 2.2 Caracterización de las precipitaciones en la cuenca hidrográfica del río Coca- Precipitaciones medias mensuales (Horna, 2016).



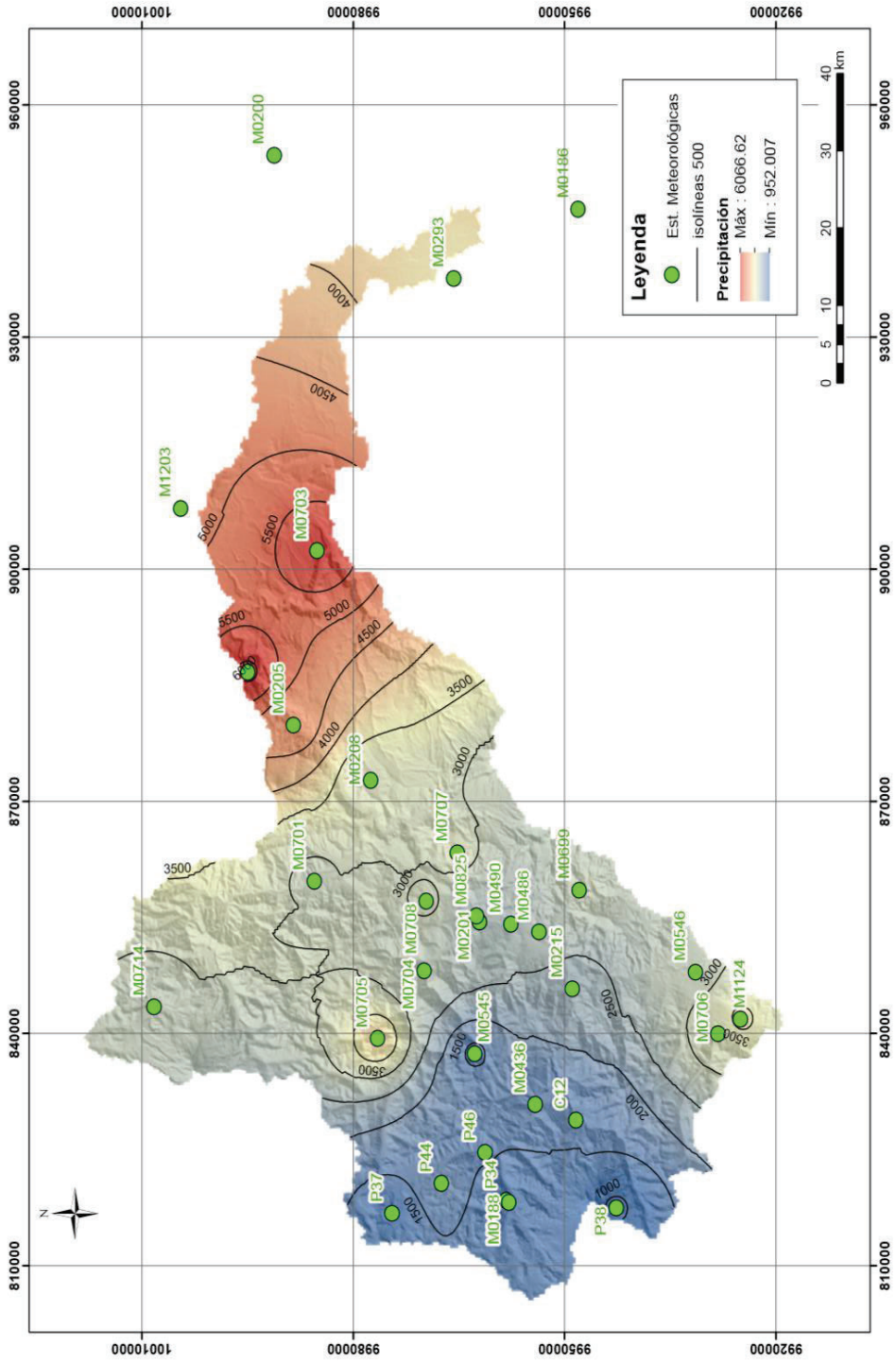


Figura 2.3 Distribución de la precipitación media interanual en la cuenca hidrográfica del río Coca- IDW (Horna, 2016).

## **2.1.2TEMPERATURA**

La temperatura es altamente variable en la cuenca, esto se debe en gran parte a las diferencias de altitud sobre el nivel del mar. La temperatura media anual oscila entre los 34°C en las partes bajas de las cuencas hasta los 11°C en las partes altas..

Utilizando datos de las estaciones meteorológicas se observa la distribución espacial de la temperatura dentro de la cuenca en la figura 2.4.

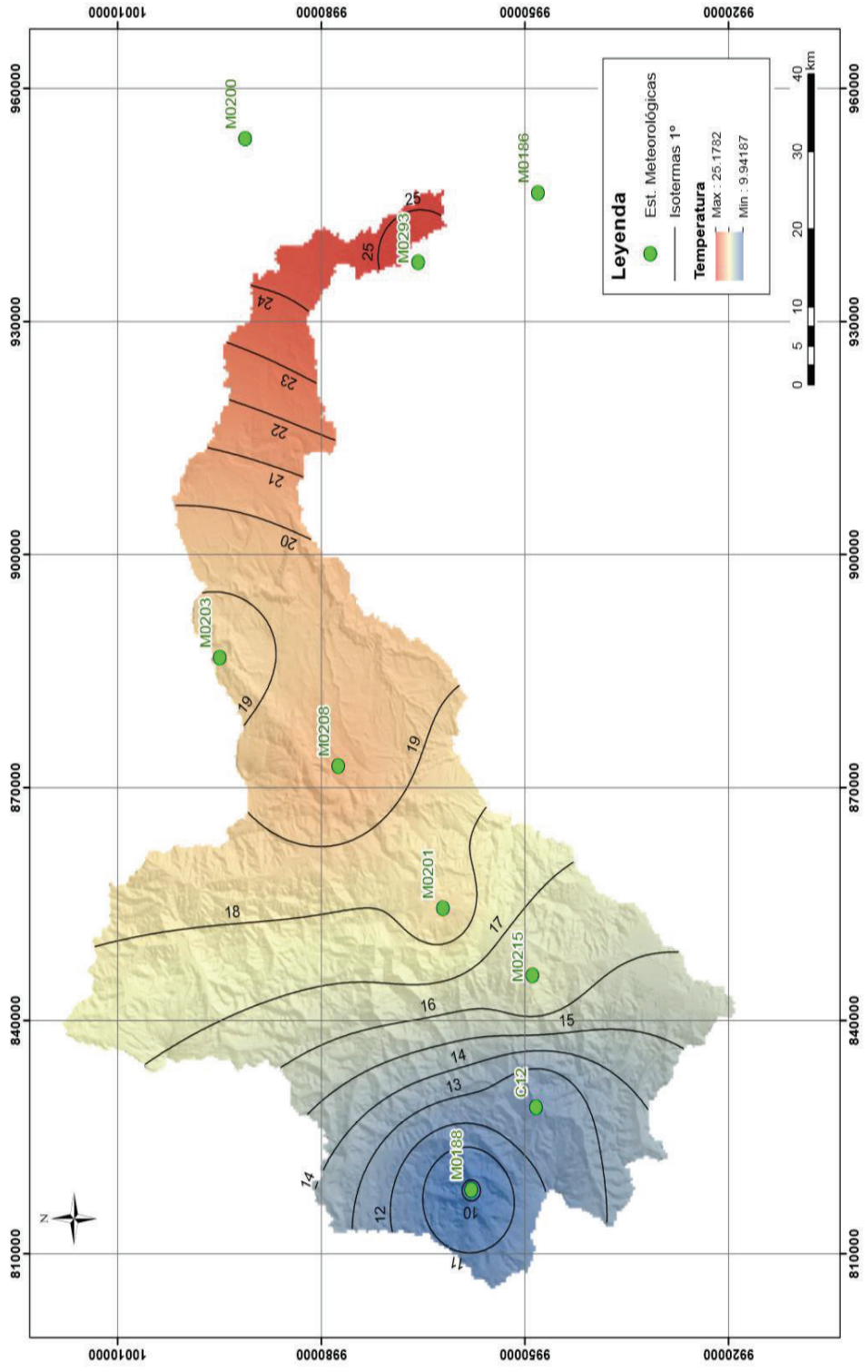


Figura 2.4. Distribución de la temperatura media interanual en la cuenca hidrográfica del río Coca (Horna, 2016).

## 2.2 HIDROLOGÍA

La red de drenaje de la cuenca hidrográfica del río Coca es del tipo dendrítico y muy densa. La cuenca del río Coca cubre las siguientes provincias con sus respectivos cantones:

- Napo: Quijos (27.49%), Archidona (2.04%), El Chaco (47.91%).
- Sucumbíos: Gonzalo Pizarro (9.58%), Lago Agrio (0.13%), Cascales (0.97%).
- Orellana: Francisco de Orellana (El Coca) (5.00%), La Joya de los Sachas (2.01%).
- Pichincha: Cayambe (4.83%).

La mayor parte del área de la cuenca está ubicada en la provincia del Napo. La cuenca hidrográfica del Río Coca forma parte de la cuenca alta del río Napo, el cual a su vez es tributario del río Amazonas. Los principales tributarios del río Coca son el río Quijos y el río Salado cuyas cuencas están situadas sobre las estribaciones orientales de la Cordillera Real.

El caudal líquido específico que produce esta cuenca está en el rango de 54.07 a 114.06  $((l/s)/km^2)$ , siendo mayores aguas abajo, en cuanto al caudal sólido específico los valores fluctúan entre 238.35 a 1087.15  $t/(km^2 * año)$ , conociendo que los valores más altos están aguas arriba.

## 2.3 MARCO GEOLÓGICO

### 2.3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El territorio ecuatoriano continental está dividido tectónicamente en 5 unidades morfotectónicas: la Costa, la Cordillera Occidental, el Valle Interandino, la Cordillera Real y la Cuenca Oriente, representados en la figura 2.5.



Chongón-Colonche y la cordillera Costera Ecuatoriana (Deniaud, 2000). Dichas cuencas han evolucionado de manera independiente junto con el Golfo de Guayaquil que inicia su apertura desde el plioceno (Witt, et al., 2006).

### **2.3.1.2. Cordillera Occidental**

Se compone de terrenos alóctonos de origen oceánico, acrecionados al margen occidental de la placa Sudamericana en el Cretácico tardío-Paleógeno (Feininger, 1987); (Aspden & Litherland, 1992); (Spikings, et al., 2001); (Hughes & Pilatasig, 2002). El desplazamiento en dirección N-S de fallas transcurrentes, ha dado origen a un complejo conjunto de unidades tectono-estratigráficas que relacionan secuencias volcano-sedimentarias caracterizadas por tener litologías similares pero diferentes edades (Vallejo, 2007). Se identifican tres bloques descritos a continuación:

- El bloque Pallatanga (Cretácico Superior) se localiza a lo largo del margen oriental de la Cordillera Occidental, está suturado al margen continental por la falla Calacalí-Pujilí-Pallatanga con una orientación aproximada de N-S, se considera la prolongación Sur del bloque Cauca (Aspden & Litherland, 1992) de la falla Patía en Colombia. Esta zona deformada limita los terrenos continentales de los oceánicos. La geoquímica revela que tiene una afinidad tipo E-MORB, lo cual indica que proviene de una pluma mantélica relacionada con el punto caliente de Galápagos ( (Hughes & Pilatasig, 2002), (Vallejo, et al., 2009).
- El bloque Macuchi (Paleoceno?-Eoceno inferior) se localiza en el límite occidental de la Cordillera occidental, la falla Toachi Chimbo limita al terreno al Este y se yuxtapone a la Depresión Interandina. El bloque Macuchi conforma un arco volcano-sedimentario con composición basáltico andesítica (Hughes & Pilatasig, 2002). Esta acreción tiene lugar en el Eoceno tardío por una colisión oblicua contra el bloque Pallatanga, continuando posteriormente con un desplazamiento dextral.

1. Depresión Interandina es una depresión topográfica orientada NNE-

SSW. acoge un conjunto de cuencas sedimentarias producto de la reordenación a gran escala que se produjo a final del Mioceno durante la formación de la cordillera de los Andes. Cada cuenca sedimentaria se llenó por depósitos continentales ya sea abanicos aluviales o lacustre y / o volcánica fluvial (Winkler, et al., 2005). La Depresión Interandina está limitada al Este por la falla Peltetec, al Oeste está limitada por la falla Pallatanga-Pujilí- Calacalí. La falla Peltetec se la interpreta se dos maneras: la primera que surge como una acumulación de sedimentos continentales provenientes de la Cordillera Real (Litherland, et al., 1994), y la segunda como una acumulación de la secuencia oceánica de la acreción del terreno Pallatanga (Spikings, et al., 2005).

#### **2.3.1.3 Cordillera Real.**

Conformada por un eje de rocas metamórficas del Paleozoico a Cretácico Inferior (Aspden & Litherland, 1992); (Litherland, et al., 1994). Existen dos teorías para el conjunto de rocas metamórficas presentes en esta cordillera: según Aspden y Litherland en 1992 consiste en una serie de acumulaciones tectónicas de edad Mesozóica que consta de 5 unidades descritas de Oeste a Este: Guamote (Serie Continental), Alao-Paute (arco de islas), Loja (serie continental), Salado (Arco de islas) y Zamora (serie continental). Según (Pratt, et al., 2005) sugiere que la cordillera constaría de elementos formados por sedimentos pertenecientes a la plataforma profunda del margen occidental del escudo Guayanés en el Cenozóico–Paleozóico.

#### **2.3.1.4 Zona Subandina**

Corresponde a las estribaciones de los Andes, es una zona de transición entre la Cordillera Real y la planicie Amazónica, presenta deformaciones por solapamiento, alta actividad sísmica y volcánica (Hall, 1977). Se divide de Norte a Sur en tres zonas morfológicas: el Levantamiento del Napo, la Depresión del Pastaza y la Cordillera Cutucú. Está conformada por formaciones sedimentarias

que van desde el Jurásico hasta el Neógeno, la base de esta zona está conformada principalmente por la formación Misahuallí y Santiago ( (Tschopp, 1953), (Rivadeneira, et al., 1999)).

#### **2.3.1.5 Cuenca Oriente**

Esta constituye una de las cuencas sedimentarias subandinas más complejas (Baby, et al., 2014). Para iniciar el proceso de exploración y explotación de hidrocarburo se realizó estudios exhaustivos para entender el marco estructural y su evolución geodinámica, por tal motivo se iniciaron los estudios con mayor detalle dentro del convenio IRD-PETROPRODUCCIÓN a partir del año 1995.

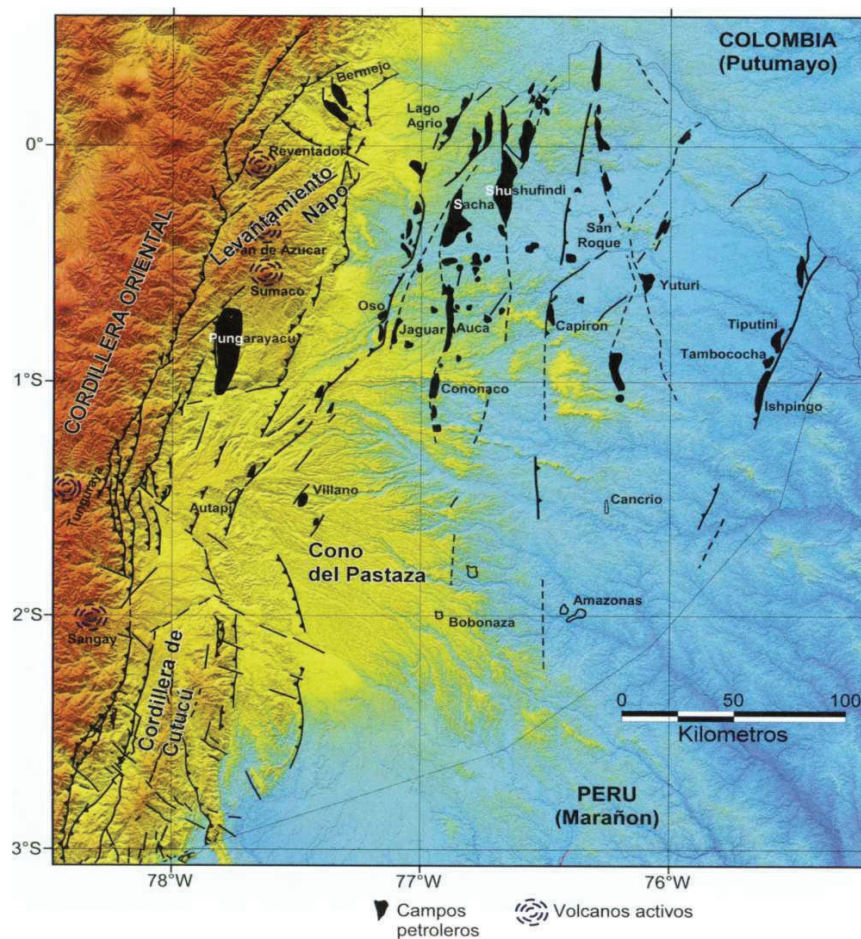
La Cuenca Oriente en la actualidad es una cuenca sedimentaria de ante-país de trasarco de los Andes ecuatorianos, justo al norte de la charnela entre los Andes Centrales y los Andes Septentrionales (Baby, et al., 2014). Los esfuerzos importantes que se generan en este ambiente sugieren que pueden ser los responsables de la actividad tectónica y sísmica característica de la zona (ver figura 2.6).

En comparación con otras cuencas sedimentarias de tipo ante-país esta presenta relieves particulares en la zona subandina como son: el Levantamiento Napo, al NO de la cuenca sedimentaria, y la Cordillera o Levantamiento del Cutucú, al SO de la cuenca sedimentaria. La depresión formada entre estos dos genera un ambiente propicio para que desemboque el megacono aluvial del Pastaza, Este cono está considerado como uno de los abanicos aluviales continentales más grandes del mundo ( (Räsänen, et al., 1992); (De Berc, et al., 2005); (Bernal, et al., 2011), (Bernal, et al., 2012), (Bernal, et al., 2013), (Baby, et al., 2014).

La Cuenca Oriente está regida por esfuerzos transpresivos, a partir del Cretácico Tardío, lo que favoreció la emersión de la Cordillera Real y la formación de la cuenca sedimentaria de ante-país de trasarco propiamente dicha (Baby, et al., 2014).



En el período triásico y/o jurásico antiguas fallas normales sufren una inversión tectónica ligada a un sistema de rift, lo que favorece la deformación de la cuenca y estructuramiento de los campos petroleros. Estas fallas, actualmente son inversas, tienen un rumbo N-S o NNE-SSW y un fuerte buzamiento, están limitando a tres corredores estructurales-petroleros: la faja Plegada y Corrida Subandina (Play Occidental), el Corredor Sacha Shushufindi (Play Central) y el sistema invertido Capirón – Tiputini (Play Oriental) (ver Anexo 2). Además se identifican tres etapas de inversión tectónica, ocurridas a partir del Turoniano, luego de la deposición de la caliza A (Baby, et al., 2014). La Cuenca Oriente está gobernada por esfuerzos transpresivos, a partir del Cretácico Final, lo que favoreció la emersión de la Cordillera Real y la formación de la cuenca sedimentaria de ante-país de trasarco propiamente dicha (Baby, et al., 2014).



**Figura 2.6** Mapa morfo-estructural de la Cuenca Oriente (datos SRTM, resolución 90m), y ubicación de las principales estructuras petrolíferas. (Baby, et al., 2014).

## **2.3.2 GEOLOGÍA LOCAL**

### **2.3.2.1 Estratigrafía De La Zona De Estudio**

Dentro de la zona de estudio tenemos dos ambientes geodinámicos bien diferenciados, desde el occidente hacia el oriente se tiene: la Cordillera Real y la Cuenca Oriente, con base en esta división se procederá a desglosar la estratigrafía por ambiente geodinámico. Adicionalmente se encuentran depósitos cuaternarios del tipo: fluvio - lacustre, aluvial, coluvial, glacial. Según estudios realizados por INECEL en 1988 se encuentran cuerpos intrusivos, que se definirán posteriormente. La litología presente en la zona está representada en la figura 2.7.

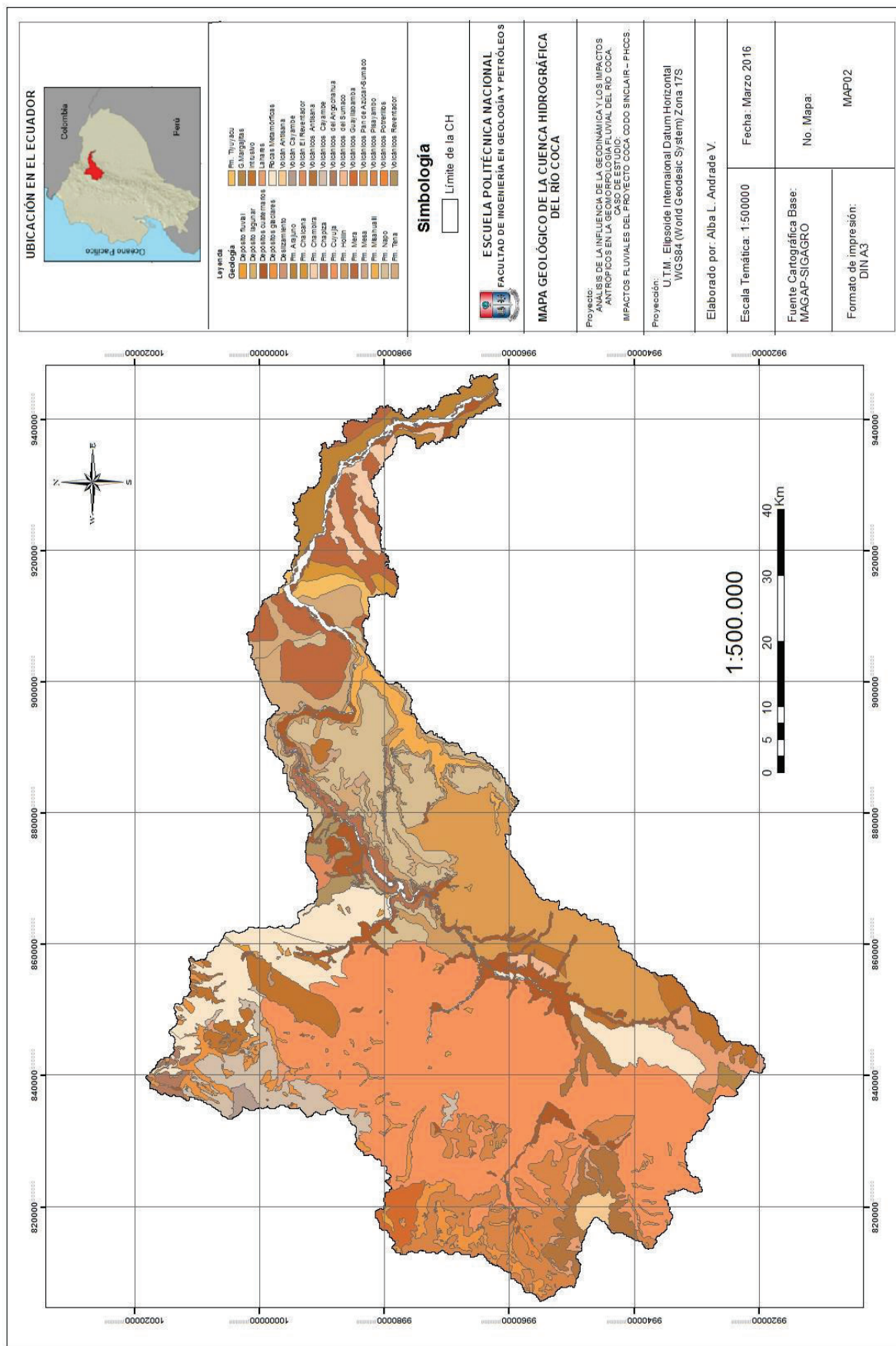
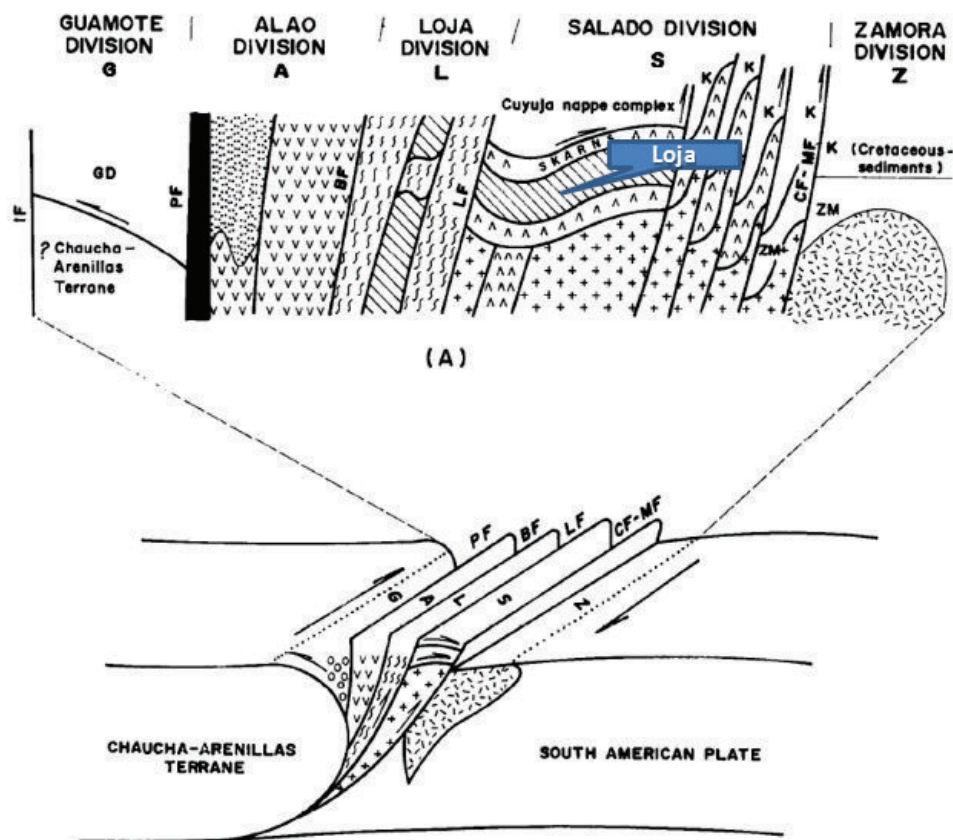


Figura 2.7. Mapa geológico de la cuenca hidrográfica del río Coca. (Modificado de MAGAP-SIGAGRO (Sistema Información Geográfica y Agropecuaria), 2008)

### 2.3.2.1.1 Cordillera Real

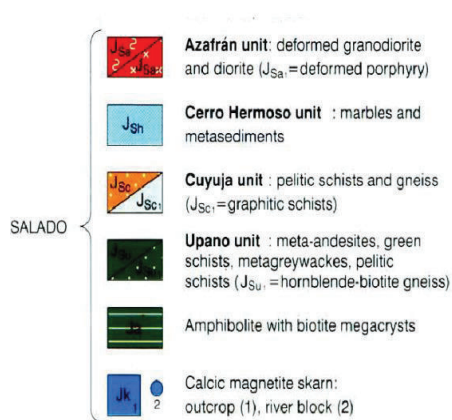
Desde el Oeste hacia el Este la Cordillera Real tiene los siguientes terrenos: Guamote (Continental), Alao-Paute (Arco de Islas), Loja (Continental), Salado (Arco de Islas) y Zamora (Continental). La fallas que dividen a estos terrenos respectivamente son: Peltetec, Baños, Llanganates y Cosanga (Aspden & Litherland, 1992). La falla de Pujilí-Cauca de edad Cretácico Tardío- Terciario Temprano, marca la unión entre el margen paleocontinental de América del Sur con el arco de islas que posteriormente representará a la Cordillera Occidental (Mégard & Lebrat, 1986). (ver figura 2.8).



**Figura 2.8** Divisiones de la Cordillera Real. IF = Falla Ingapirca, BF= Falla Baños, LF = Falla Llanganates, CF = Falla Cosanga-Mendez

**Fm. Cuyuja (jurásico - cretácico inferior).**- Esta formación aparece al Occidente de la zona de estudio, pertenece a la división Salado (ver figura 2.9).

## Division Salado

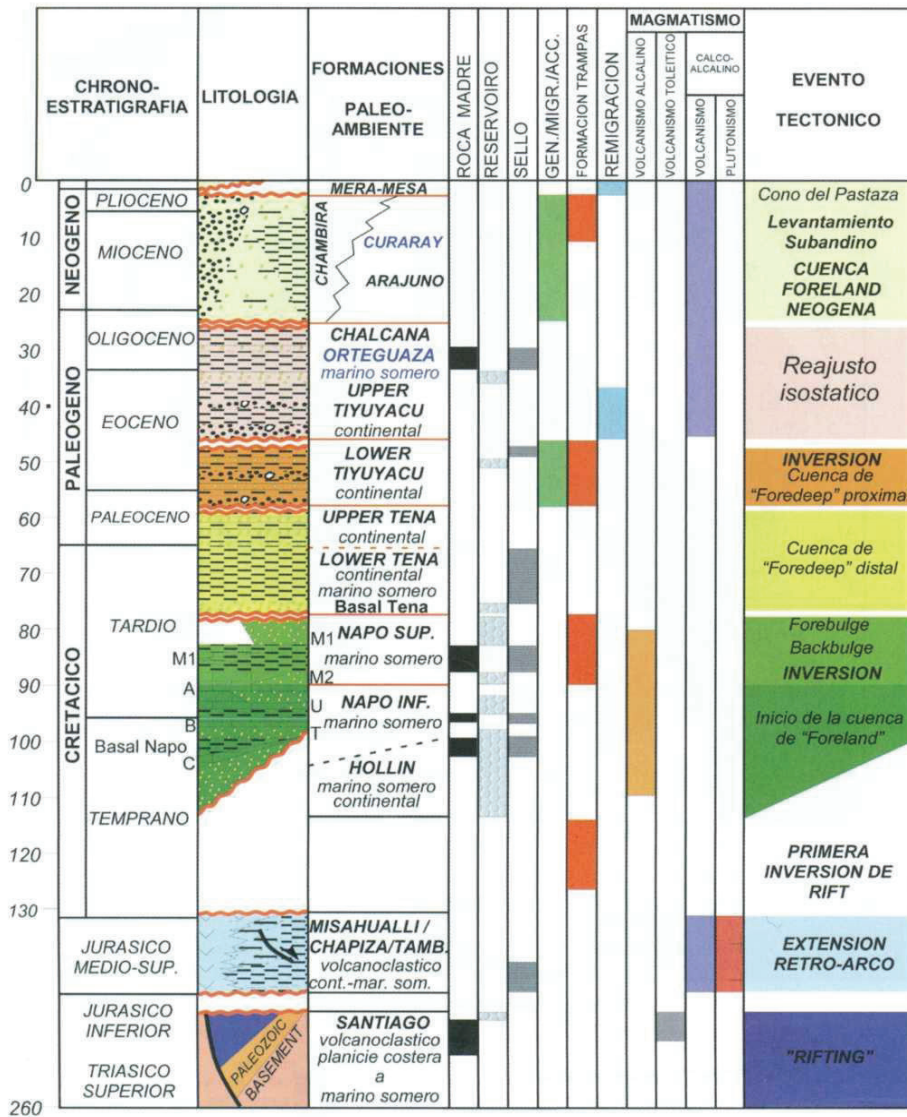


**Figura 2.9** División Salado (Litherland, et al., 1994).

La formación Cuyuja se encuentra en una zona de compresión entre la unidad Upano y Cerro Hermoso. La alineación mineral sugiere un control transpresivo oblicuo, hacia el Este presenta estructuras subhorizontales en forma de escamas sobre la formación foliada Azafrán. Esta zona fue considerada activa a lo largo del Mesozoico, siendo afectada por el fallamiento terciario. Esta formación está constituida por esquistos pelíticos y grafiticos, y gneises (Aspden & Litherland, 1992).

### 2.3.2.1.2 Cuenca Oriente

La cuenca Oriente tuvo varias etapas de sedimentación, en la zona de estudio se evidencia la existencia de la secuencia estratigráfica a partir del Jurásico medio-superior. La figura 2.10 expone la columna tectono-estratigráfica de la Cuenca Oriente mostrando los eventos geodinámicos más relevantes para la evolución de la cuenca sedimentaria.



**Figura 2.10** Columna tectono-estratigráfica, y eventos geodinámicos que controlaron el desarrollo de la Cuenca Oriente y de sus sistemas petrolíferos.

### 2.3.2.1.1 Jurásico

- Formación Misahuallí.- Es considerada por algunos autores como el equivalente de los miembros inferior y medio de la formación Chapiza (Jaillard, et al., 1997), sus afloramientos están restringidos a la Zona Subandina. Está conformada por acumulaciones volcánicas y volcano-sedimentarias dentro de las cuales se distinguen: wackes, brechas, tobas, andesitas basálticas, porfiríticas y priroxeníticas, riolitas y areniscas volcánicas (Baby, et al., 2014), todas estas

forman el potente arco magmático que va desde el Norte del Perú hasta el Norte de Colombia (Díaz, 2000). Esta formación está relacionada con la actividad tectónica suscitada en el Jurásico y se le considera la parte efusiva de la intrusión de los batolitos de Abitagua, Rosa Florida y Azafrán (Aspden & Litherland, 1992); (Egüez & Aspden, 1993).

- Grupo Margajitas (Paleozoico- Mesozoico?).- El grupo Margajitas comprende pizarras negras, filitas calcáreas y cuarcitas (sobre los 1,000 metros de espesor) expuestas únicamente a lo largo del cabalgamiento de la margen occidental de la zona subandina. En el área Baños-Puyo éstas fueron correlacionadas con la formación Pumbuiza siendo similares litológicamente.

#### *2.3.2.1.2.2 Cretácico*

Esta etapa está caracterizada por cinco ciclos de sedimentación. La progradación de facies sedimentarias clásticas fluviales y de playa, sobre facies de plataforma marina-somera, causada por las caídas del nivel del mar, son ejemplos claros de las regresiones forzadas según (Posamentier, et al., 1992). Para este acápite se utilizaron las siguientes referencias bibliográficas: (Baby, et al., 2014). (Bristow & Hoffstetter, 1977), (Díaz, 2000), (Egüez & Aspden, 1993), (Feininger, 1987), (Hughes & Pilatasig, 2002), (Haq, et al., 1987), (Jaillard, et al., 1997), (Litherland, et al., 1994), (Tschopp, 1953), (Vallejo, 2007), (Winkler, et al., 2005), (White & Barragan, 1997). Dichas regresiones forzadas presentan las siguientes características:

- La ocurrencia abrupta de ambientes tipo estuarinos/fluviales sobre facies marinas distales.
- Erosión prominente asociada a procesos de erosión del valle.
- Límites de secuencias erosivas y discordantes en áreas donde se concentró el by-pass sedimentario.

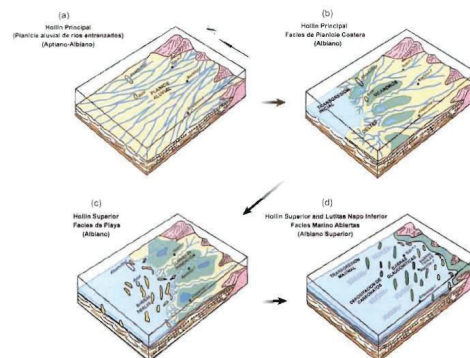
A continuación se detalla cada uno de los ciclos que describen los depósitos de

este periodo:

- **Ciclo I:** Está constituido por la secuencia sedimentaria que inicia en el Cretácico inferior, con la depositación de la formación Hollín, la cual marca el inicio de un periodo transgresivo (ver figura 2.11), evidenciado por el contraste litológico entre los miembros principal y superior.
  - Hollín principal.- Pertenece a un ambiente fluvial, conformado por sábanas de arena, bien amalgamadas, bien continuas y de un mayor espesor que la Hollín superior.
  - Hollín superior.- Presenta menor espesor, es un reservorio discontinuo, compuesta por glauconita y caliza. Pertenece a un ambiente marino.

Concordantemente dentro de este ciclo se deposita la parte basal de la formación Napo, detallada a continuación:

- Caliza C depositada durante el Albiano Medio temprano- Albiano medio tardío.
- Lutita Napo Basal depositada durante Albiano medio superior.
- La caliza T depositada durante el Albiano Superior y parte del Albiano Inferior.



**Figura 2.11** Esquema paleogeográfico de los miembros (modificado de White *et al.*, 1995): (a) Basal T, prisma de alto nivel del ciclo 1, Albiano Superior; (b) T Principal, caída del nivel del mar, Albiano Superior ( $\approx 98$  Ma), límite de secuencia; (c) T Principal, sistema transgresivo temprano y relleno de valles incisos (LST),  $<98$  Ma; (d) T Superior-Caliza B, para secuencia transgresiva (TST). (Baby, *et al.*, 2014).



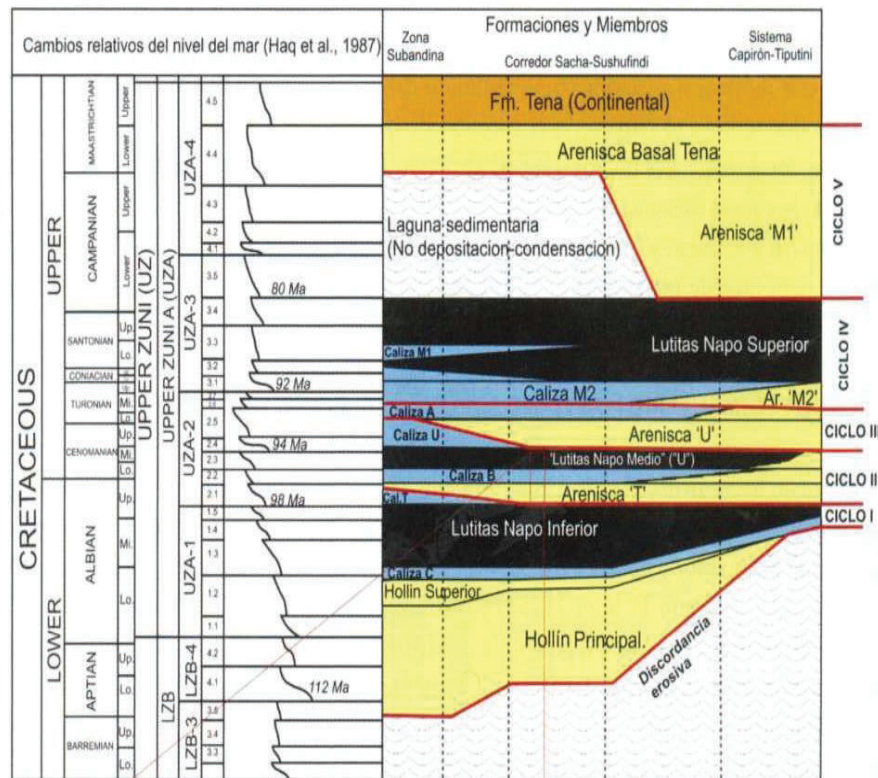
- **Ciclo II:** Se desarrolla del Albiano superior al Cenomaniano medio. Se inicia después de la etapa de regresión marina desarrollada, al final del ciclo I. Este ciclo comprende las siguientes unidades:
  - Arenisca T (Albiano Superior, parte inferior a media).- Dividida en arenisca T principal y arenisca T superior.
  - Caliza B durante el Albiano Superior, parte media.
  - Caliza U depositada en el Cenomaniano Medio.

Depósitos que representan un nuevo periodo transgresivo pasando de ambientes fluviales a marinos.

- **Ciclo III:** Caracterizado por el incremento en el nivel del mar y formación de ambientes de estuario con influencia de marea, conformado principalmente por la unidad:
  - Arenisca U (Cenomaniano Medio): Dicha unidad se encuentra subdividida en:
    - Arenisca U principal depositada durante el inicio de la subida del nivel del mar, empezando la formación de ambientes estuarinos con influencia de marea.
    - Arenisca U superior conformada por areniscas, glauconíticas calcáreas y lutitas de ambiente marino somero.
    - Caliza A con esta depositación concluye el evento transgresivo.
- **Ciclo IV:** Este ciclo se deposita en un ambiente netamente marino, caracterizado por depósitos de plataforma carbonatada y está restringido a la parte Este de la cuenca. La formación Napo empieza su depositación en este ciclo, incluye las unidades:

- Arenisca M2, Turoniano Superior?, representa los depósitos transgresivos de tipo fluvial estuarino.
  - Caliza M2, Turoniano Superior, se la interpreta como el intervalo transgresivo cabonatados principales de la plataforma marina (Baby, et al., 2014).
  - Caliza M1 Santoniano inferior, al igual que la Caliza M2 se la interpreta como el intervalo transgresivo cabonatados principales de la plataforma marina
  - Lutitas M1 o Miembro Napo Superior (¿Santoniano Superior- Campaniano Inferior?).
- **Ciclo V:** (Campaniano-Maastrichtiano Inferior) Este ciclo en semejanza al anterior está restringido a la parte Este de la cuenca y se compone de las siguientes unidades:
    - Arenisca M1 Se la considera como el prisma transgresivo de relleno de valles incisos.
    - Arenisca Basal Tena se deposita en progradación sobre la arenisca M1 en la parte Este de la Cuenca Oriente, y sobre las lutitas Napo Superior en la parte Oeste. Después de esta depositación las condiciones marinas de la cuenca fueron sustituidas por condiciones continentales (Red –Beds) de tipo ante-país, las mismas que representan la sección cenozoica de la Cuenca Oriente.

En resumen, en la figura 2.12 se exponen los cinco ciclos sedimentarios Hollín-Napo-Tena Basal.



**Figura 2.12** Formaciones, miembros y ciclos sedimentarios del Cretácico de la cuenca Oriente, y sus relaciones con la curva eustática (Haq, et al., 1987).

### 2.3.2.1.2.3 Terciario

- Formación Tiyuyacu (Eoceno).- Pertenece a un ambiente fluvial y se divide en dos miembros (Baby, et al., 2014).
  - Tiyuyacu Inferior.- Compuesta por conglomerados, lutitas y en menor cantidad areniscas.
  - Tiyuyacu Superior.- Compuesta por conglomerado, areniscas y lutitas, en el tope presenta una superficie de erosión.
- Formación Chalcana (Oligoceno superior).- Corresponde a un ambiente continental-aluvial, compuesto por areniscas de grano fino y lutitas rojas (Baby, et al., 2014).
- Formación Arajuno (Mioceno Inferior a medio).- Compuesta por areniscas de grano fino, conglomerado intercalado con limo y arcillas rojas. Corresponde a un ambiente de abanico aluvial (Baby, et al., 2014).

- Formación Chambira (Mioceno superior, Pleistoceno).- Ambiente: abanico aluvial. Compuesta por conglomerados con clastos de cuarzo lechoso con matriz arcillo-arenosa (Baby, et al., 2014)
- Formación Mera/Mesa (Pleistoceno).- Los sedimentos provienen de la Cordillera Real a causa de su levantamiento, forma abanicos aluviales (Baby, et al., 2014).

#### ***2.3.2.1.3. Intrusivos***

Estos cuerpos intrusivos fueron posibles mapearlos solo en los lechos de las quebradas. Con base en los estudios realizados por INECEL en 1988, se presume que la edad de los cuerpos intrusivos prosiguen a los batolitos de Abitagua y la Bonita, y por lo mismo, pertenecientes al Jurásico. A continuación, se describe los principales intrusivos de la zona:

- Intrusivo del Salado.- Constituye un cuerpo granodiorítico que intruye la formación Misahuallí.
- Intrusivo del Mirador.- Su composición es microcuarcítica, se presenta intruyendo a la formación Tena, con la cual en algunos casos presenta un contacto fallado.
- Intrusivo del Reventador.- Por sus características geológicas y petrológicas es similar al intrusivo del Mirador (INECEL, 1988).
- Intrusivo de Abitagua (Paleozoico-Mesozoico).- Tiene composición granítica, y presenta diques.

#### ***2.3.2.1.4. Volcánicos***

La presencia de material volcánico se debe a la existencia de edificios volcánicos que han presentado actividad histórica. A continuación se detallan la edad y los volcánicos mapeados en la zona obtenidos del mapa geológico realizado por MAGAP-SIGAGRO en el 2008:

- Volcánicos Reventador.- Cuaternario.
- Volcánicos Antisana.- Cuaternarios.
- Volcánicos Pisayambo.- Mio-Plioceno.
- Volcánicos Cayambe.- Cuaternario.
- Volcánicos Sumaco.- Cuaternario.
- Volcánicos Angochagua.- Terciario.
- Volcánicos Pan de Azúcar-Sumaco.- Terciario y Cuaternario.
- Volcánicos Guayllabamba.- Cuaternario.
- Volcánicos Potrerillos.- Cuaternario.

#### ***2.3.2.1.5 Depósitos Cuaternarios***

Son de gran importancia para el estudio porque contienen material de diferentes características y origen, su secuencia de depositación es muy compleja por lo que la descripción a continuación carece de un orden cronológico.

- Depósitos de avalancha de escombros.- Están ubicados en la parte izquierda del valle del río Coca, se depositaron recubriendo a las rocas de la formación Misahuallí. Con frecuencia esta serie se ve interrumpida por la erosión de las quebradas. La potencia del estrato es variable, puede llegar hasta máximo 50 metros. Se compone de fragmentos angulares y subredondeados de todos los tamaños, de composición volcánica, en ocasiones escoriácea, mezclados con una mínimo porcentaje de otro tipo de roca, consta de una matriz areno-limosa, de color negro a marrón, esta matriz genera un grado de consolidación tal que en ocasiones los afloramientos se presentan como paredes subverticales (INECEL, ASO. Firmas Consultoras, 1988).
- Depósitos indiferenciados.- Constituidos por una mezcla semiconsolidada que incluye material laharítico y aluvial, cementados con una matriz de lodo y arena. La granulometría varía entre arcilla, limo y arena, en ocasiones parece haber un cierto grado de estratificación (INECEL, ASO. Firmas Consultoras, 1988). Aflora en la margen derecha del valle del río Coca, sector del río Malva, y aguas arriba

de la confluencia con el río Malo. La potencia del afloramiento varía entre 15 y 20 metros. Estos depósitos también están cubriendo las rocas de la formación Misahuallí. En la margen izquierda su ubicación se restringe solo a la zona donde confluye el río Malo (INECEL, ASO. Firmas Consultoras, 1988).

- Depósitos fluvio-lacustre.- La estratigrafía de este depósito se caracteriza por presentar capas horizontales de limo, de color marrón a gris, que en ocasiones presentan intercalaciones de escasos decímetros de una arcilla muy fina de color azul, el espesor varía entre uno y ocho metros, estos depósitos se deben al represamiento o descabezamiento del río Coca o sus tributarios generado por movimientos tectónico o actividad volcánica. En la actualidad se presentan como remanentes aislados y de poca extensión, entendiéndose que deben haber sido depósitos continuos y de mayor alcance. Es común encontrar los depósitos más extensos aguas debajo de la confluencia del río Malo, mientras que los más pequeños se encuentran dispersos en toda el área (INECEL, 1988).
  
- Coluviones.- Se presentan a lo largo de los valles como material suelto, compuesto por fragmentos angulares de las rocas subyacentes y mezclados con material rocoso meteorizado, se presentan a partir de la cota de 1260 metros y es común encontrarlos a lo largo de los valles. Se destaca que los depósitos más importantes se encuentran aguas arriba de la confluencia del río Malo, en esta zona los depósitos coluviales alcanzan un espesor de 40 metros. En ocasiones estos depósitos son retrabajados y pueden presentarse como una brecha dura resistente a la erosión.
  
- Conos de deyección.- El principal es generado por el río Salado. Están compuestos por fragmentos de roca de variado tamaño cementados con una matriz limo-arenosa, se generan cuando existe un cambio en la pendiente del cauce al llegar al valle.

- Depósitos aluviales.- Se caracterizan por tener una mezcla de cantos rodados, limo, grava y arena. Se ubican a lo largo de los ríos Coca, río Salado y río Quijos, tienen un espesor superior a los 200 metros en zonas como el Salado y río Malo. El tamaño del material varía según la zona de depósito en los valles de inundación se deposita una capa de material fina.
- Depósitos de glaciar.- Localizados en las zonas cercanas a los volcanes Cayambe y Antisana, a lo largo de la parte Este de la Cordillera Real. Presenta una típica morfología de morrena, con fragmentos centimétricos y de composición volcánica.
- Depósitos Laharíficos.- Escasos depósitos ubicados en la parte occidental de la cuenca sedimentaria.

#### ***2.3.2.1.6 Rocas Metamórficas***

Se las ha dividido como una sección independiente, debido a que el estudio no ha permitido identificar a que unidad pertenecen. Las edades en las que han sido datadas estas rocas van desde el Pre-Paleozoico hasta el Mesozoico, habiendo un caso excepcional con una edad precámbrica, esta pertenece al Grupo Cofanes, conformada por esquistos verdes, anfíbolita y cuarcitas. En la mayoría de los casos las rocas metamórficas son de grado medio a bajo.

#### **2.3.2.2 Tectónica**

La cuenca hidrográfica del río Coca está ubicada al norte de la zona subandina, sobre un cinturón de cabalgamiento y plegamiento de trasarco. El elemento estructural positivo sobre la que se asienta la zona de estudio es denominado Levantamiento Napo.

El Levantamiento Napo es un enorme domo alargado con orientación NNE-SSW que compromete a las formaciones sedimentarias y volcano-sedimentarias, de edad mesozoica- cenozoica, que recubren al Escudo Guayanés (INECEL, 1992). Los límites de dicho levantamiento comprenden, al occidente una serie de cabalgamientos inclinados al ESE, que precisan el contacto con las unidades polimetamórficas de la Cordillera Real, al Este las fallas forman estructuras en flor positivas. Los edificios volcánicos ubicados dentro de la cuenca son: Reventador, Antisana y Cayambe, de los cuales el Reventador es el único que presenta actividad histórica. Lo mencionado anterior mente se encuentre representado en la figura 2.13

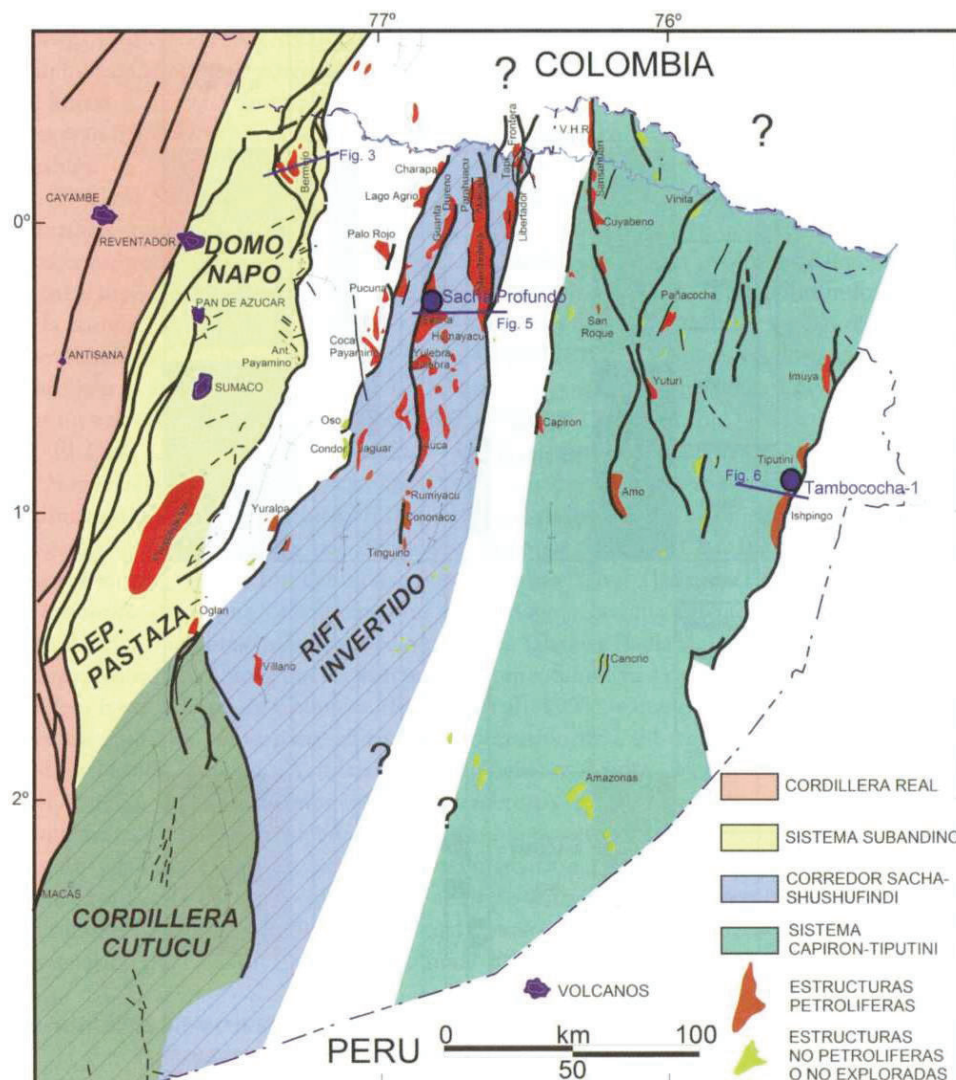


Figura 2.13 Mapa tectónico de la cuenca Oriente (Rivadeneira, et al., 1999).



### 2.3.2.3 Geomorfología

El área de estudio está localizada en una zona de transición entre la Cordillera Real y la planicie amazónica. La topografía de la zona está marcada por tres factores importantes: el carácter erosivo de los cursos de agua, la actividad volcánica cuaternaria, y el levantamiento del basamento cristalino más antiguo. La cuenca presenta distintos paisajes geomorfológicos descritos a continuación:

- La zona de cabalgamientos correspondiente a la zona subandina, presenta un basamento metamórfico, rocas intrusivas de composición granodiorítica y rocas de las formaciones jurásicas y cretácicas, las cuales forman franjas paralelas con dirección SO-NE. Otra característica predominante es la forma en V de los valles por donde drena el río Salado, lo cual es evidencia de una erosión principalmente vertical generada por el levantamiento que ha sufrido la zona, mientras que en la planicie amazónica el tipo de erosión predominante es la horizontal, formando valles más amplios.
- Las geoformas derivadas de la actividad volcánica, como la producción de lahares, coladas de lava, avalanchas han colaborado en la formación de pendientes abruptas, resultando en un relieve pronunciado en las cercanías del volcán Reventador, este consta de un drenaje que converge principalmente en los ríos Quijos-Coca.
- Las geoformas que representan el paquete de sedimentos homogéneos de edad cretácica que sobreyacen al basamento volcánico antiguo y están recubiertos por un estrato de cenizas y piroclásticos altamente meteorizados. Estas formas se ubican en el sector entre el Salado y el Codo Sinclair, sureste del volcán Reventador por donde drena el río Coca
- El paisaje fluvial del río Coca que se encuentra sobre la planicie amazónica, se identifica por una geometría amplia afectada por meandros y un estrechamiento al llegar a la cascada de San Rafael que profundiza una colada andesítica del Paleoreventador.
- Las laderas del valle principal tienen una pendiente casi vertical formada por sedimentos especialmente de la formación Hollín de edad Cretácica, en ciertas

zonas esta morfología vertical está intercalada por laderas con pendientes más suaves correspondientes a avalanchas de escombros, o en zonas más bajas rocas volcánicas de la formación Misahuallí. En estas laderas el sismo de 1987 produjo modificaciones importantes, generando deslizamientos superficiales, y la llanura del fondo del valle fue inundada por una capa de lodo y material aluvial.

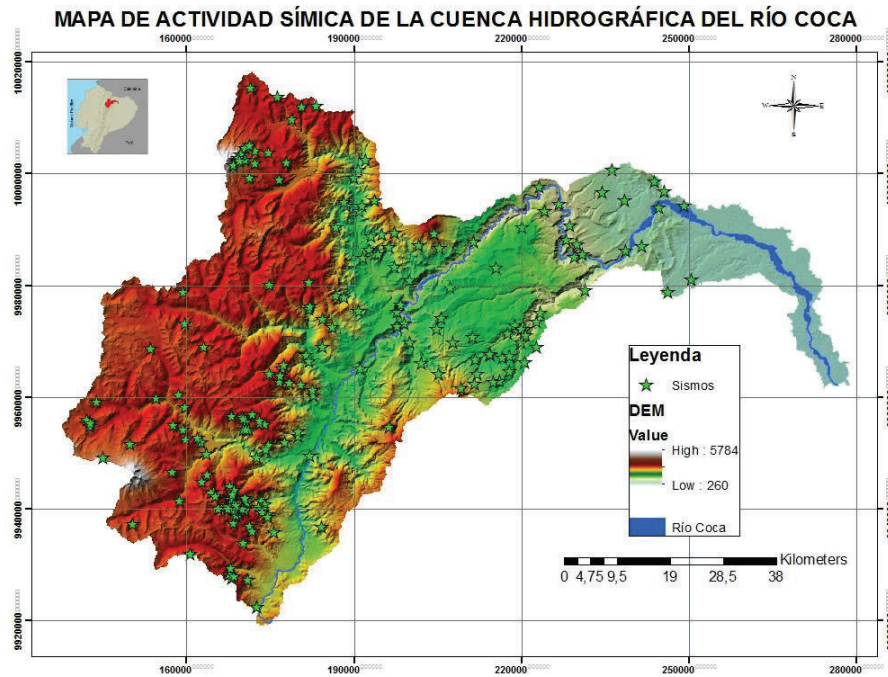
#### **2.3.2.4 Actividad Sísmica**

El Ecuador está sujeto a sufrir terremotos y otros riesgos geológicos por su ubicación en el contexto geodinámico. Existen dos orígenes para la actividad sísmica:

1.- El primero correspondiente al origen tectónico, clasificados en: sismos someros y profundos. Los sismos profundos se generan en un rango entre los 40-150 kilómetros aproximadamente, los sismos someros se originan en un rango de 0-40 kilómetros aproximadamente (Comunicación verbal Dra. Alexandra Alvarado-IGEPN).

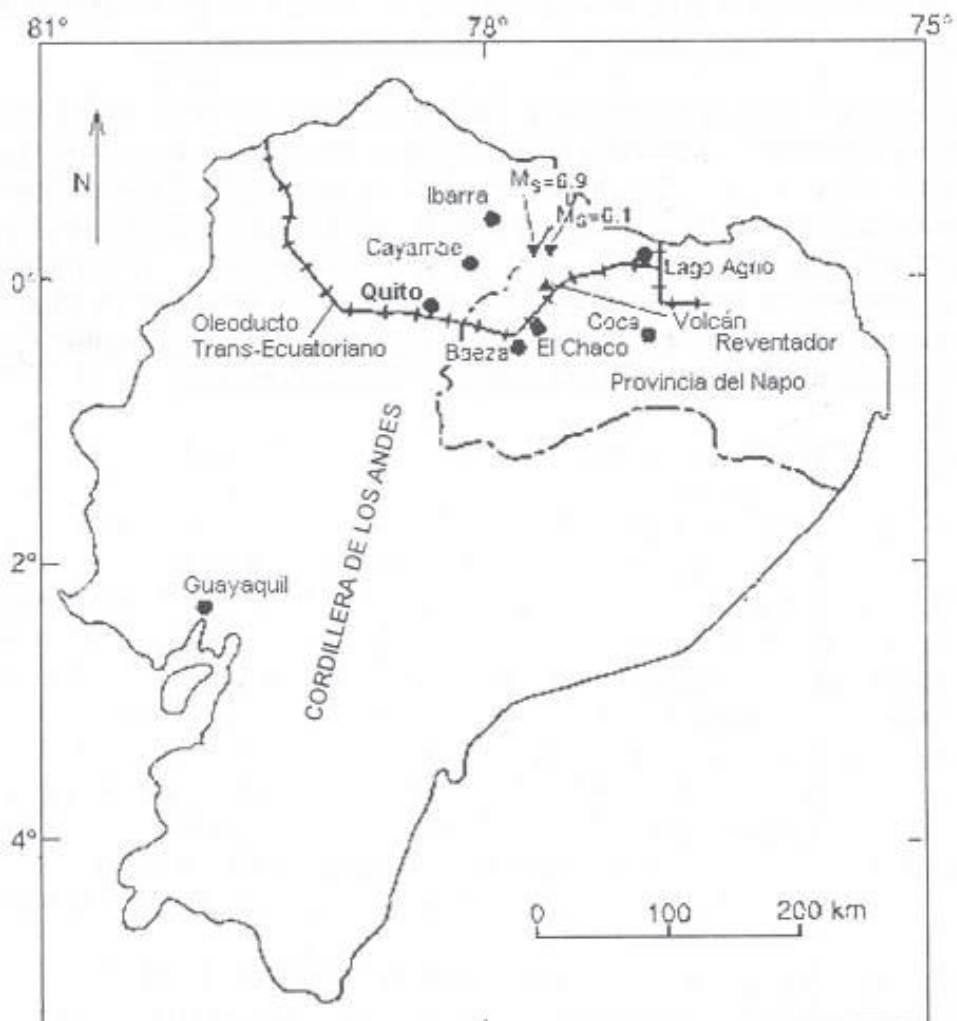
2.- El segundo es de origen volcánico, estos son conocidos como eventos intraplaca de poca profundidad. Los eventos generados a poca profundidad (sea de origen tectónico o volcánico) son los que más problemas socioeconómicos causan al país.

Los sismos ocurridos a partir del año 1955 correspondientes a la zona de estudio están representados la figura 2.14.



**Figura 2.14** Mapa de sismos de la cuenca hidrográfica del río Coca. (Modificado de IGEPN).

Estudios realizados en la Fase A para el proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair en 1986, revelan un sistema denso de fallas de edad reciente. Según este estudio, en la zona se producen principalmente sismos de origen tectónico de poca profundidad con magnitudes no mayores a los 5° en la escala de Richter, sin embargo se tuvo registro de dos sismos con magnitudes 6.1 y 6.9 ocurridos el 5 de marzo de 1987, con epicentros ubicados en la provincia del Napo, aproximadamente 100 km al ENE de Quito y 25 km al N del volcán Reventador respectivamente (Hall, 2000), y que generó graves pérdidas socioeconómicas. Estos sismos del 87' produjeron la reactivación del sistema de fallas de la zona, además las áreas más afectada dentro de la cuenca hidrográfica del río Coca fueron las laderas con pendientes pronunciadas ubicadas alrededor del volcán Reventador y en los valles principales donde las laderas tiene pendientes entre 35 a 40°, en estos sitios ocurrieron fenómenos de remoción en masa. En la figura 2.15 se observa la ubicación espacial de los epicentros.

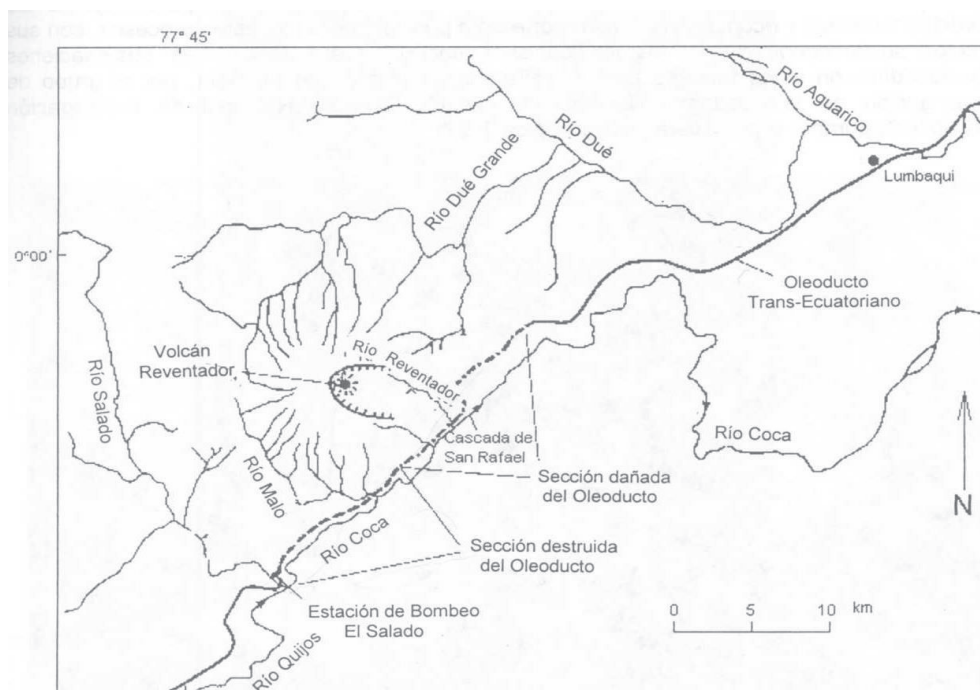


**Figura 2.15** Mapa índice del Ecuador mostrando localidades de la provincia de Napo, las montañas de los Andes, el volcán Reventador (triángulos rectos), epicentros de los terremotos de 1987 (triángulos invertidos), el oleoducto trans-ecuatoriano, pueblos y caseríos (círculos negros) que sufrieron daños estructurales por los terremotos, (Hall, 2000).

Sin embargo, las precipitaciones anómalas ocurridas entre el 3 y 20 de febrero antes del sismo generaron un incremento en el caudal del río, observados en las estaciones ubicadas aguas arriba de la Cascada de San Rafael, en donde los caudales registrados fueron de 2600 a 3400  $m^3s^{-1}$ , que equivale de 8 a 12 veces más que el caudal medio del río Coca normal (Hall, 2000); (Schuster, 1991). Este fenómeno conjugado con el sismo de 1987 provocaron la obstrucción del flujo del río Coca; según Hall en el 2000 más del 90% de los deslizamientos empezaron como deslizamientos superficiales de suelos residuales y rocas altamente meteorizadas en las laderas de los valles principales o en las laderas de los tributarios de menor orden. Los espesores promedio de los deslizamientos fueron

de 1.5 a 2 metros, con un rango de espesor de pocos decímetros hasta 5 metros. El represamiento del río se presentó en dos formas: el primero es un represamiento “hidráulico” en el cual el flujo altamente cargado con escombros es impedido de circular en las zonas más estrechas del valle y el segundo es el bloqueo de los cursos de agua por el ingreso de flujos de escombros a la corriente principal desde sus tributarios.

Además del impacto que sufrió el río Coca, la vía principal que une Lago Agrio con Quito y las tuberías del oleoducto y poliducto Trans-Ecuatorianos sufrieron daños devastadores. El oleoducto tuvo que ser reconstruido, 40 kilómetros de 498 kilómetros que es su longitud total, generando pérdidas económicas del 60% en sus ingresos por exportación a nivel nacional. En la figura 2.16 se observa la ubicación espacial de las secciones dañadas del oleoducto producto de estos sismos y como se observa en la figura estas secciones siguen la misma orientación que el curso del río Coca.



**Figura 2.16** Área estudiada de los grandes deslizamientos en masa e inundaciones provocados por los terremotos de 1987, mostrando secciones del daño al oleoducto trans-ecuadoriano (Hall, 2000).

### 2.3.2.5 Actividad Volcanica

Dentro del área de estudio se encuentran los edificios volcánicos de El Reventador, Antisana y Cayambe; sin embargo existe la influencia de otros edificios volcánicos como el Pan de Azúcar y el Sumaco cuyos productos afloran en la cuenca hidrográfica del río Coca. A continuación en la tabla 2.1 algunos datos de los volcanes presentes en el área.

<b>VOLCAN</b>	<b>TIPO</b>	<b>ULTIMA ERUPCION</b>	<b>ESTADO</b>	<b>SUPERFICIE km<sup>2</sup></b>
Cayambe	estratovolcán	1785-1786	activo	114
	compuesto			
Antisana	estratovolcán	1802	activo	169
	compuesto			
Reventador	estratovolcán	03/11/2002	en erupción	196
	compuesto			

**Tabla 2.1** Caracterización de los edificios volcánicos ubicados dentro de la cuenca hidrográfica.

De estos tres volcanes, se considera al volcán Reventador el único con registros de actividad reciente (ver Anexo 3), por lo cual se realizará un análisis general de su morfología, etapas evolutivas y aspectos que puedan ser relevantes para este estudio.

#### 2.3.2.5.1 Volcán Reventador

Este edificio volcánico (ver figura 2.17) está situado sobre las formaciones mesozoicas de la región del Napo, el complejo volcánico está constituido por una secuencia de productos efusivos y explosivos cuyos espesores alcanzan los 1000 metros aproximadamente (INECEL, 1988). Dentro del complejo volcánico se identificó 3 edificios, descritos a continuación, que representan las etapas evolutivas (Naranjo, 2013):

- El Complejo Volcánico Basal (CVB)
- El Volcán Paleoreventador (VPR)
- El Volcán Reventador (VER), o cono actual.

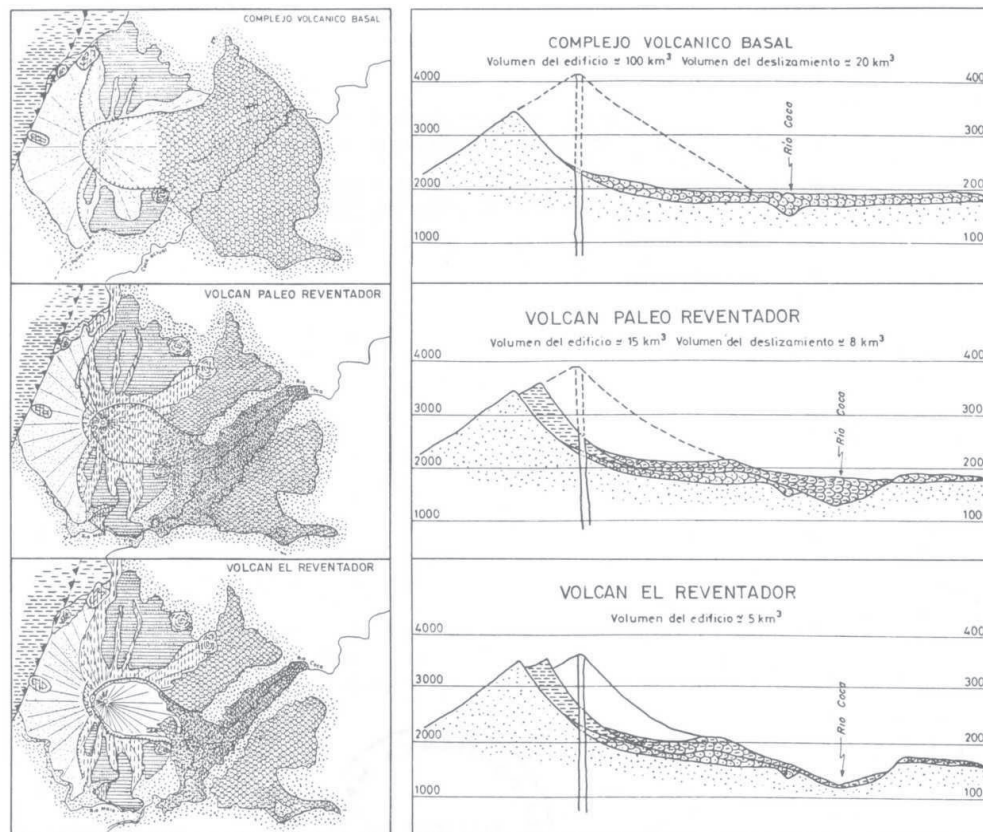


Figura 4.- Esquema de las principales etapas de evolución del complejo volcánico El Reventador. Planos de los contactos tectónicos y perfiles evolutivos.

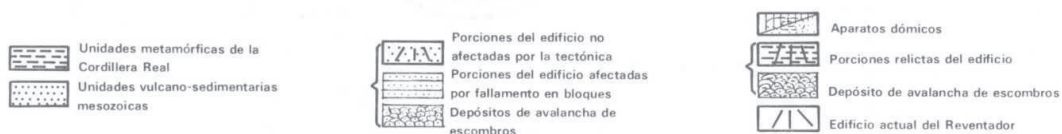


Figura 2.17 Esquema de las principales etapas de evolución del complejo volcánico Reventador. Planos de los contactos tectónicos y perfiles evolutivos (INECEL, 1988).

Complejo Volcánico Basal (CVB).- Se puede observar sus afloramientos en la parte occidental y septentrional del actual centro eruptivo. Se encuentra limitado al Este por un gran lineamiento tectónico con fallas arqueadas y alineadas en dirección N-S. La secuencia producto de sus erupciones son: piroclastos de caída, ignimbritas intercaladas con surge, lavas e intercalaciones de brechas volcánicas. En conjunto, la disposición general del CVB sugiere que lo que actualmente se observa son las porciones relictas de un gran estrato-volcán cuyo volumen se estima en alrededor de  $100 \text{ km}^3$  (INECEL, 1988). Una fracción importante del edificio volcánico CVB, se ubica

en la actualidad como un enorme depósito de avalancha de escombros de aproximadamente 20 km<sup>3</sup>, seguido al colapso que perturbo a los sectores oriental y central del antiguo volcán.

Volcán Paleoreventador (VPR).- La zona de ubicación coincide parcialmente con el cono actual, la secuencia del complejo está compuesta por productos efusivos y explosivos. El afloramiento más importante de este edificio volcánico está ubicado en la parte occidental del anfiteatro y en este se pueden diferenciar fases de actividad separadas por un paleosuelo (Naranjo, 2013).

Volcán Reventador (VER).- Reventador conforma un volcán dentro de una herradura orientada hacia el Este (Naranjo, 2013). El cono tiene una forma regular con una altura máxima de 3450 metros, el cráter ubicado en la parte central tiene un diámetro aproximado de 200 metros, este cráter fue destruido en la erupción del 3 de noviembre del 2002. El volcán ha generado numerosas coladas de lava que se han acumulado dentro de la caldera. Con base en las observaciones de la erupción ocurrida en el 2002 se dice que la actividad explosiva es calificada como pliniana, a partir del 2009 el volcán ha presentado mayor actividad explosiva que resultó en la formación de un cono interno sobre el ventó dejado por la erupción del 2002 (Naranjo, 2013).

A continuación, en la figura 2.18, se presenta el mapa geológico con las estructuras más importantes que atraviesan la zona de Reventador.



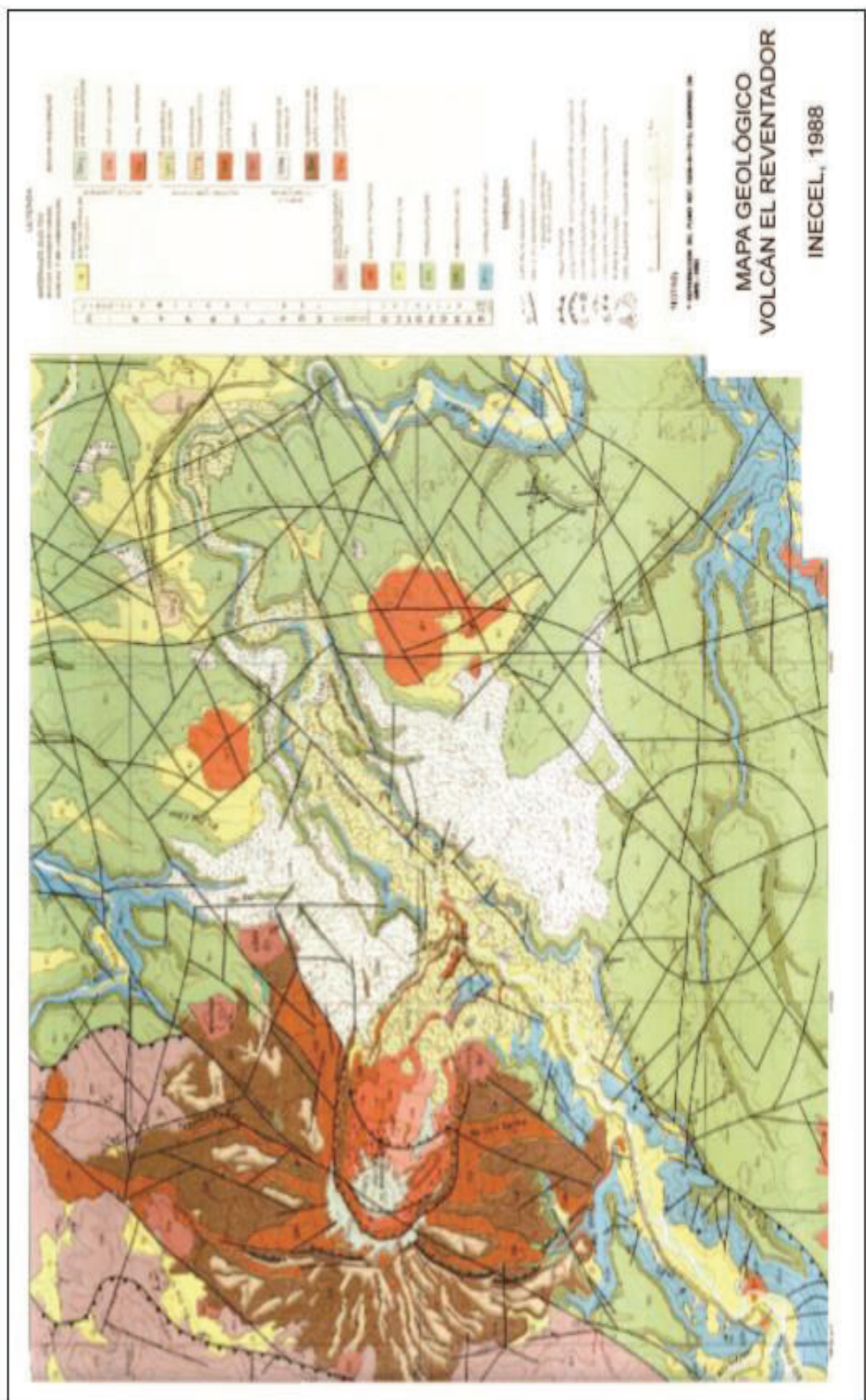


Figura 2.18 Mapa geológico del volcán Reventador ( INECEL, 1988).

## CAPITULO 3

### METODOLOGÍA

Para la elaboración de este proyecto de titulación se ha realizado en forma secuencial las siguientes actividades, haciendo uso de diferentes herramientas:

#### 3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para cumplir con los objetivos del proyecto se comenzó por recopilar información concerniente a:

- Marco Geológico Regional y Local, actividad sísmica y volcánica, cuyas fuentes bibliográficas se detallan en la sección de Bibliografía. Mapa geológico de la zona a escala 1:100000 generado por MAGAP-SIGAGRO en el 2008 en formato vector.
- Marco Conceptual referente a: geomorfología fluvial, sedimentación y transporte de sedimentos, caracterización de una cuenca hidrográfica, sistemas fluviales, hidrología y dinámica fluvial, cuyas fuentes bibliográficas se detallan en la sección de Bibliografía.
- Información histórica sobre el terremoto ocurrido el 5 de marzo de 1987, fuente citada en la sección de bibliografía.
- Adquisición de imágenes satelitales, ortofotografías, modelo digital del terreno (DEM) proporcionadas por el IGM (Instituto Geográfico Militar) y el departamento de SIGTIERRAS (Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras) perteneciente al MAGAP (MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA, ACUACULTURA Y PESCA), en la tabla 3.1 se detalla la información adicional de las imágenes.

CANTÓN	FUENTE	FECHA DE TOMA	SISTEMA DE COORDENADAS	RESOLUCIÓN	ESCALA	FORMATO
Gonzalo Pizarro	IGM	ABRIL 2012	SIRGAS_2000_UTM_zo ne_18S	5X5 cm	1:5000	TIFF

El Chaco	IGM	ABRIL 2012	SIRGAS_2000_UTM_zo ne_18S	5X5 cm	1:5000	TIFF
Archidona	IGM	ABRIL 2012	SIRGAS_2000_UTM_zo ne_18S	5X5 cm	1:5000	TIFF
Quijos	IGM	ABRIL 2012	SIRGAS_2000_UTM_zo ne_18S	5X5 cm	1:5000	TIFF
Cayambe	IGM	ABRIL 2012	SIRGAS_2000_UTM_zo ne_18S	5X5 cm	1:5000	TIFF
Cascales	IGM	ABRIL 2012	SIRGAS_2000_UTM_zo ne_18S	5X5 cm	1:5000	TIFF
Orellana	IGM	ABRIL 2012	SIRGAS_2000_UTM_zo ne_18S	5X5 cm	1:5000	TIFF
Joya de los Sachas	IGM	ABRIL 2012	SIRGAS_2000_UTM_zo ne_18S	5X5 cm	1:5000	TIFF
Lago Agrio	IGM	ABRIL 2012	SIRGAS_2000_UTM_zo ne_18S	5X5 cm.	1:5000	TIFF
Gonzalo Pizarro	MAGAP- SIGTIERR AS	2010-2011- 2012	SIRGAS_2000_UTM_zo ne_18S	5X5 cm.	1:5000	TIFF Mosaico
Quijos	MAGAP- SIGTIERR AS	2010-2011- 2012	SIRGAS_2000_UTM_zo ne_18S	5X5 cm.	1:5000	TIFF Mosaico
El Chaco	MAGAP- SIGTIERR AS	2010-2011- 2012	SIRGAS_2000_UTM_zo ne_18S	5X5 cm.	1:5000	TIFF Mosaico

**Tabla 3.1** Información detalladas de ortofotografías e imágenes satelitales.

### 3.2 DIGITALIZACIÓN

Para la digitalización de los tipos de formas fluviales en el cauce principal que atraviesa la cuenca hidrográfica del Río Coca se utilizó como herramienta un Sistema de Información Geográfica SIG (Arcgis 10.2) y ortofotografías e imágenes satelitales. Se procedió con la fotointerpretación utilizando los métodos de: análisis de elementos, análisis geomorfológico, análisis fisiográfico y análisis de patrones culminando en la creación de cuatro archivos tipo polígono y punto en formato “shape”-*shp*. En la tabla 3.2 se muestra las capas generadas.

FORMA FLUVIAL	FORMA GEOMÉTRICA
Cauce principal de la cuenca hidrográfica	Polígono (superficie cerrada)

Islas – Bancos de arena	Polígono (superficie cerrada)
Deslizamientos	Polígono (superficie cerrada)
Actividad antrópica	Punto

**Tabla 3.2** Elementos morfométricos digitalizados.

A pesar de que las imágenes con las que se trabajó tienen una buena resolución (5x5 cm), existieron problemas al momento de digitalizar zonas en las que existía vegetación próxima al cauce. En la capa de islas el criterio que se utilizó para diferenciarlas entre islas estables o inestables fue tomar las zonas vegetadas como permanentemente vegetadas y de esta manera las consideramos como estables; de igual manera para clasificar los deslizamientos ocurridos en los márgenes del cauce se tomó en cuenta la presencia o ausencia de vegetación y de esta manera se los clasificó.

Concluido el proceso de digitalización, se procedió a combinar las 4 capas para obtener el patrón del estilo fluvial del cauce principal de la cuenca hidrográfica del río Coca.

### **3.3 EVALUACION PRELIMINAR DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA**

Considerando que la actividad sísmica en la zona es un parámetro importante por tener un sistema denso de fallas activas, se recopiló información procesada por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, y se presenta en Anexo 4. Cabe destacar que el período de la información analizada esta entre 1955 - 2014 y se especifica la magnitud, la ubicación del epicentro y la profundidad, destacando alguna observación si se presentara. Con base en los datos del anexo 4 se procedió a crear una capa tipo *shp* en Arcgis 10,2 en la cual los datos fueron espacializados con el fin de identificar las zonas de mayor ocurrencia de sismos y las máximas magnitudes alcanzadas en la zona de estudio.

Adicionalmente se consultó fuentes bibliográficas relacionadas a los sismos ocurridos en Marzo de 1987, ya que Laraque (2009) considera a este evento

como el desencadenante de uno los más catastróficos deslizamientos del siglo XX, generando una gran cantidad de sedimentos que produjo un incremento en el caudal sólido después del evento.

### 3.4 EVALUACION PRELIMINAR DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA

El volcán Reventador que en la actualidad se presenta como un volcán en etapa de erupción (IGEPN, 2014)), exhibe una amenaza constante en la zona por poseer un drenaje dirigido hacia el río Coca y sus constantes emisiones de ceniza podrían influenciar negativamente de forma directa o indirecta en el funcionamiento del proyecto hidroeléctrico. Por este motivo se ha realizado una base de datos a partir de información del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, el periodo que se estableció va desde el inicio del último evento eruptivo ocurrido en el 2002 hasta el año 2012 en el cual corresponde a la fecha de toma de las imágenes satelitales y ortofotografías. (Ver anexo 3).

Con la colaboración del IG-EPN se obtuvo dos mapas en formato vector de las amenazas volcánicas correspondientes al volcán Reventador.

### 3.5 ANALISIS TECTÓNICO

Tomando en cuenta que la tectónica es un factor determinante en la producción de sedimentos se resolvió elaborar un modelo tectónico basado en la combinación de mapas, capas en formato *shp* y un modelo digital del terreno (DEM), de los cuales se detalla sus características en la tabla 3.3

MAPA	FECHA	ESCALA	FUENTE	FORMATO
Fallas Ecuador	1990	-	-	Vector
Mapa de fallas y pliegues cuaternarios, database, Instituto Geofísico - EPN.	2011	-	IG-EPN	Vector

Alvarado A; Audin L; Eras M. 2011				
DEM	2000	1:5000 (Resolución 90 m)	IUGS	Raster
Ríos	2012	1:250000	IGM	Vector

**Tabla 3.3** Información detallada utilizada para el Modelamiento Tectónico.

Para la elaboración del modelo tectónico se analizaron los siguientes criterios: rasgos geomorfológicos utilizando la herramienta GoogleEarth, perfiles de ríos obtenidos en el programa Arcgis 10.2, y ortofotografías. El programa utilizado para la realización del modelo en 3D fue BLENDER.

### 3.6 CÁLCULO DE PARÁMETROS GEOMORFOLOGICOS

Para una comprensión integral del proceso de transporte de sedimentos es primordial evaluar individualmente diferentes parámetros. En la tabla 3.4 se detalla los parámetros considerados y la forma en la que se realizó el cálculo.

PARÁMETRO	FÓRMULA
Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad	$Kc = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$
Factor de forma	$Kf = \frac{A}{L^2}$
Densidad de drenaje	$Dd = \frac{L_t}{A}$
Orden de las corrientes de agua	Método de Strahler
Índice de sinuosidad	$S = \frac{L}{L_v}$
Pendiente media de la cuenca hidrográfica	$S_1 = \frac{h_1 - h_0}{L_1 - L_0}$
Curva Hipsométrica	Calculo en Arcgis 10.2

**Tabla 3.4** Listado de los parámetros calculados

Adicionalmente a estos parámetros, el cálculo del porcentaje de litología por sub cuenca, fue determinado utilizando el mapa geológico elaborado en el 2008 por MAGAP-SIGAGRO, dentro de las cartas geológicas del Ecuador en formato

vector con una escala de 1:100000; elaboración de perfiles de los ríos realizados en el software Arcgis10.2.

### **3.7 INTEGRACION DE RESULTADOS PARCIALES**

Finalmente los resultados parciales de las diferentes capas se integraron en el SIG a fin de comprender la interacción entre los diferentes parámetros analizados (tectónica, actividad sísmica, actividad volcánica, parámetros geomorfológicos).

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COCA

La cuenca hidrográfica del río Coca con un área de aporte de 5283.74 km<sup>2</sup> está influenciada por una gran variabilidad de factores que se reflejan en diversos pisos climáticos existentes. Por tal motivo, se requiere contar con la definición de sub cuencas que permitan un estudio preciso de lo que ocurre en la cuenca principal. En consecuencia se dividió a la cuenca en 9 sub cuencas de interés, tomando en cuenta la cantidad y calidad de información de las estaciones meteorológicas e hidrológicas instaladas por INECEL, INAMHI y EPMAPS, como resultado se cuenta con 36 estaciones meteorológicas y con 13 estaciones hidrológicas. Debido a la naturaleza de esta tesis desarrollada dentro de un proyecto multidisciplinario, este acápite fue desarrollado en colaboración con la tesis que definió el tema hidrológico titulada “EVALUACION HIDROMETEOROLÓGICA Y DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL RÍO COCA EN LA ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO COCA CODO SINCLAIR” desarrollado a cargo de la señorita Natalia Horna.

En la tabla 4.1 se detallan las estaciones que se utilizaron como punto de cierre por su localización.

<b>CÓDIGO</b>	<b>ESTACIÓN</b>
H0714	COCA EN SAN RAFAEL
H0715	QUIJOS AJ BOMBON
H0718	QUIJOS EN BAEZA
H0719	QUIJO DJ OYACACHI
H0731	COSANGA AJ QUIJOS
H0733	QUIJOS AJ BORJA
H0728	SALADO AJ COCA (AJ GUAYTARINGO)
GRA	COCA DJ QUEBRADA GRANADILLAS
H1134	COCA EN SAN SEBASTIAN
-	OYACACHI AJ QUIJOS

**Tabla 4.1** Estaciones de cierre de las sub cuencas de estudio

En la figura 4.1 se exponen espacialmente la ubicación de las sub cuencas.



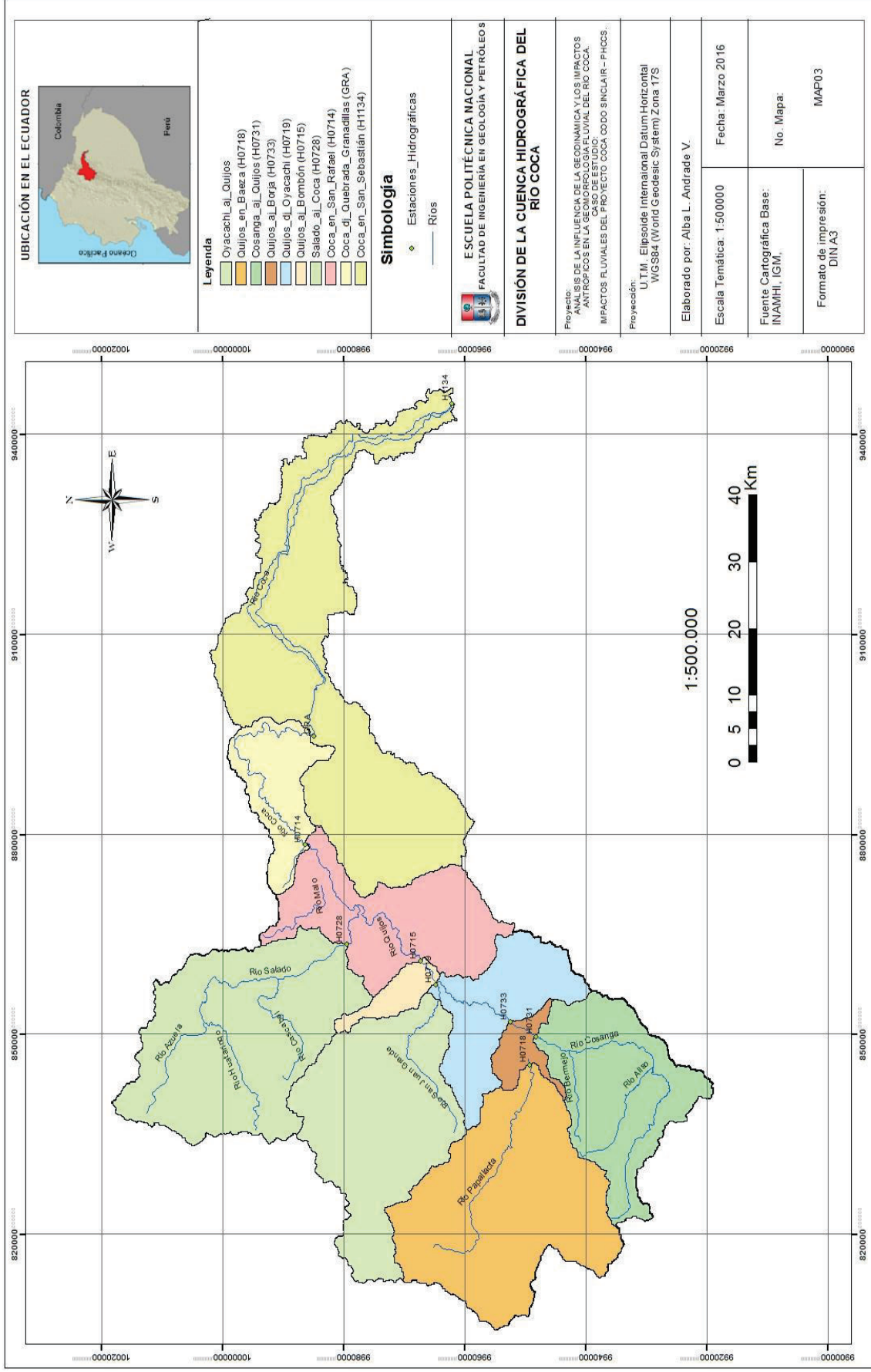


Figura 4.1 División de la cuenca hidrográfica del río Coca. (Modificado de (Horna, 2016)).

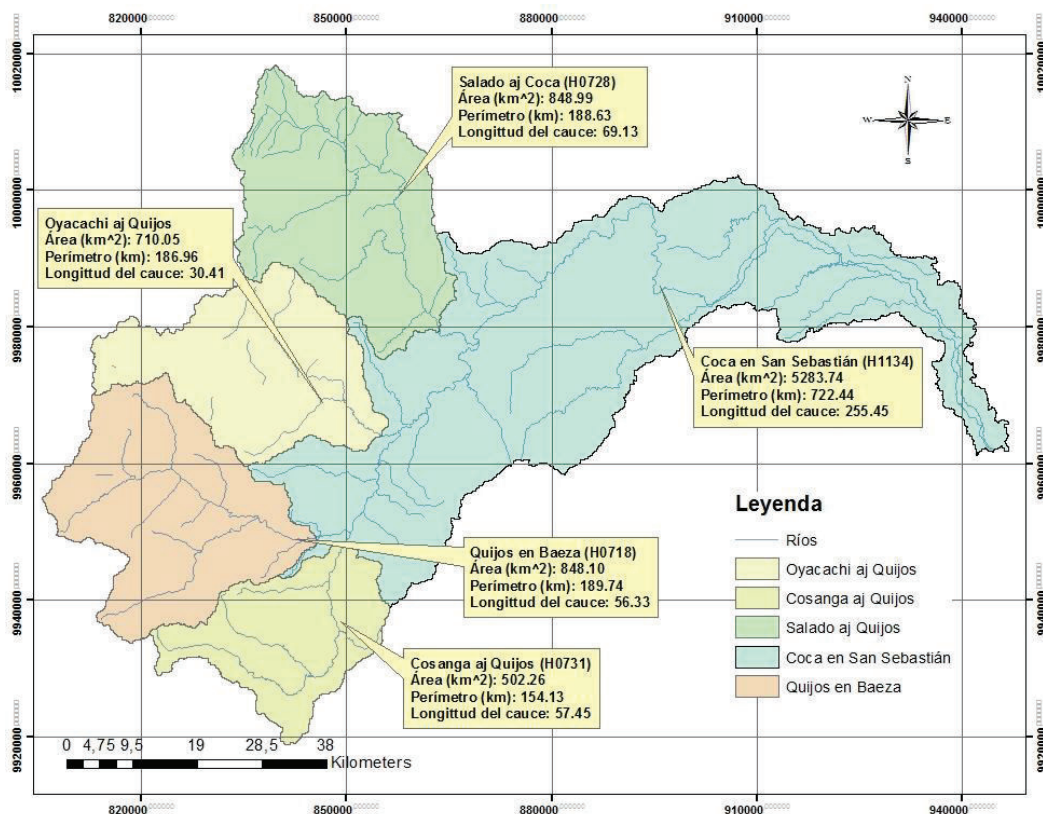
## 4.1 PARÁMETROS BÁSICOS

En la figura 4.2 se muestran los siguientes parámetros básicos: área, perímetro y longitud del cauce principal para las 4 sub cuencas hidrográficas con mayor influencia dentro de la cuenca hidrográfica del río Coca, las mismas que se encuentran detalladas en la tabla 4.2:

<b>CÓDIGO</b>	<b>NOMBRE</b>
H0718	QUIJOS EN BAEZA
H0719	QUIJO DJ OYACACHI
H0728	SALADO AJ COCA (AJ GUAYTARINGO)
H1134	COCA EN SAN SEBASTIAN
-	OYACACHI AJ QUIJOS

**Tabla 4.2** Sub cuencas influentes en la cuenca hidrográfica del río Coca.

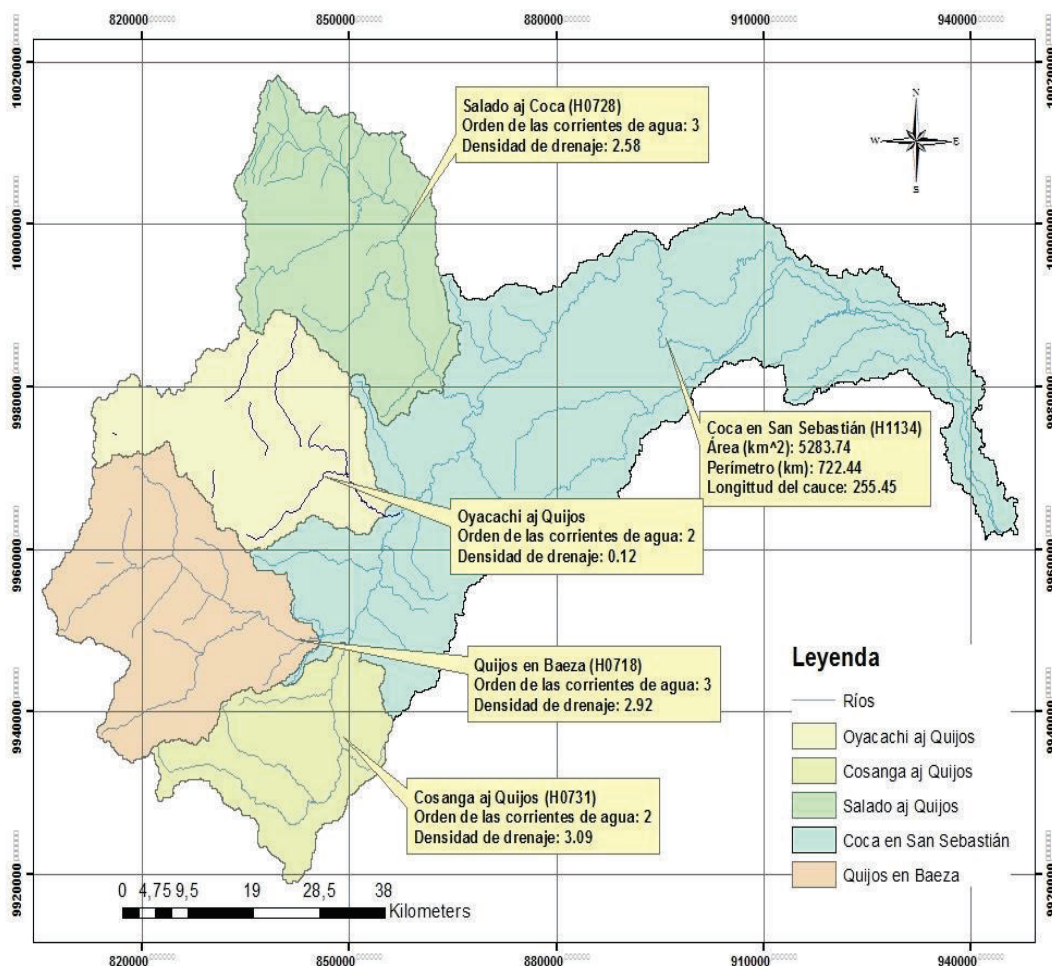
Se incluye también los parámetros de la cuenca hidrográfica base. En la tabla 1 del anexo 5 consta la tabla con la información sobre los parámetros básicos de las sub cuencas definidas en la tabla 4.1.



**Figura 4.2** Mapa de Parámetros básicos de las 5 sub cuencas hidrográficas importantes. Los parámetros básicos calculados son: área, perímetro y longitud del cauce principal.

## 4.2 PARÁMETROS DE DRENAJE

Como se observa a continuación, en la figura 4.3 se representa el orden de las corrientes de las aguas y la densidad de drenaje misma que oscila entre 2.58 a 3.09 para las cinco sub cuenca principales (Ver tabla 4.2). La información de las 9 sub cuencas y la cuenca principal se presenta en la tabla 2 del anexo 5.

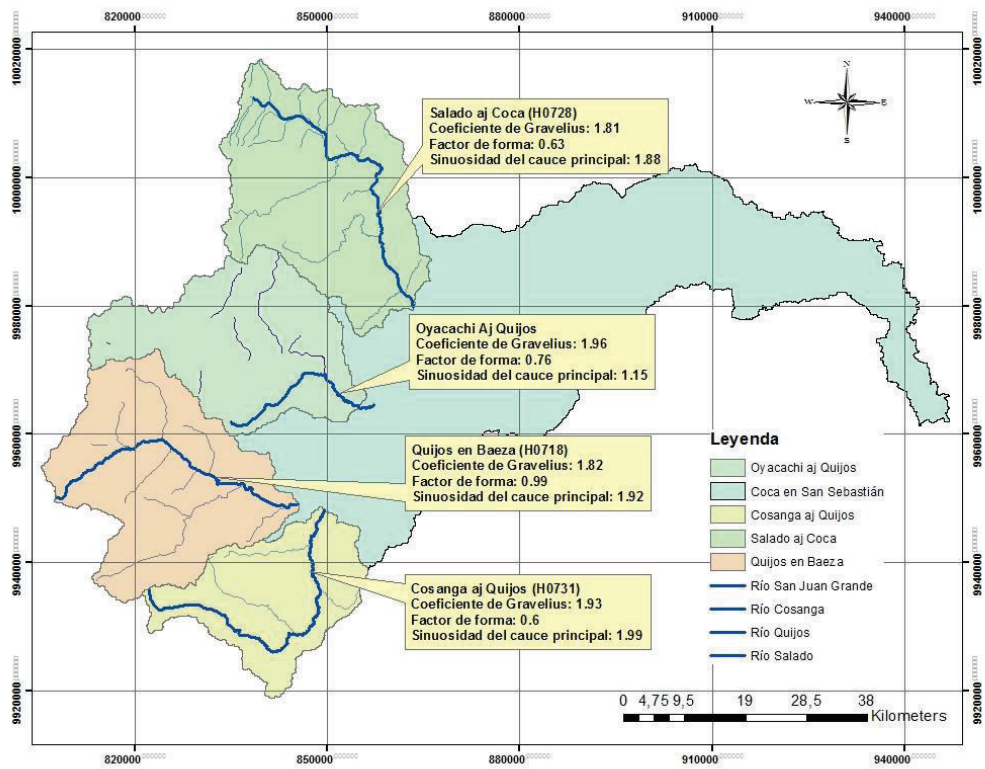


**Figura 4.3** Mapa de los Parámetros de drenaje de las cinco cuencas importantes. Los parámetros de drenaje para cada una de las sub cuencas son: Orden de las corrientes de agua y densidad de drenaje.

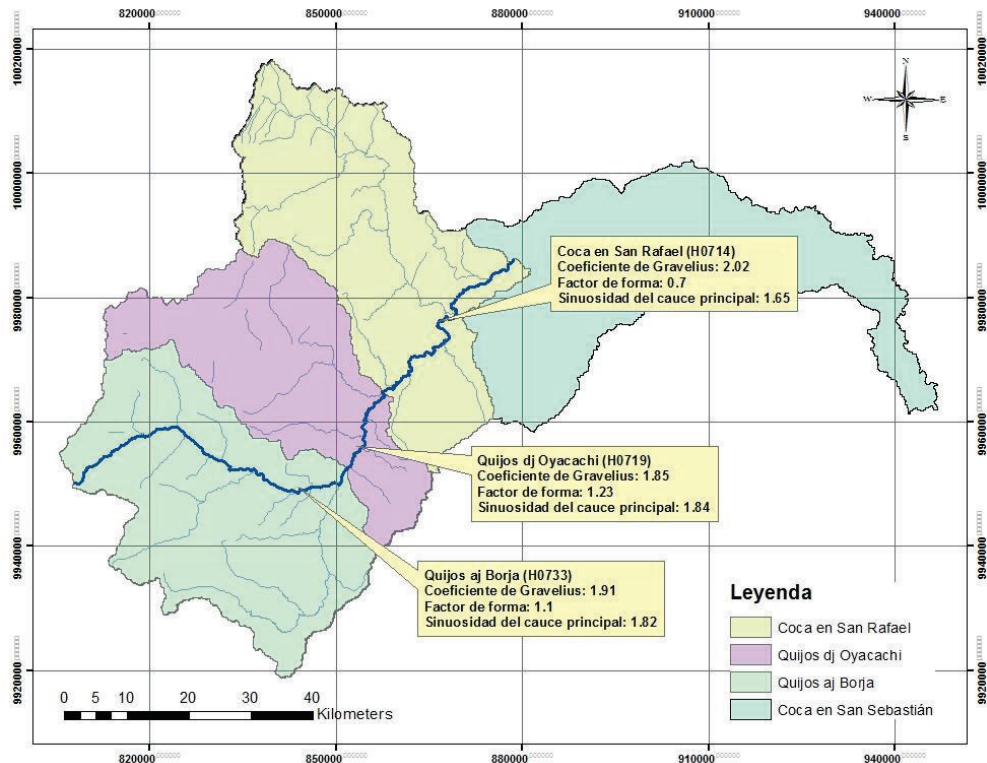
## 4.3 PARÁMETROS DE FORMA

Los parámetros a representar en la figura 4.4 son: coeficiente de compacidad o índice de Gravelius, factor de forma y sinuosidad del cauce principal, la información ampliada de esta sección se encuentra en la tabla 3 del anexo 5.

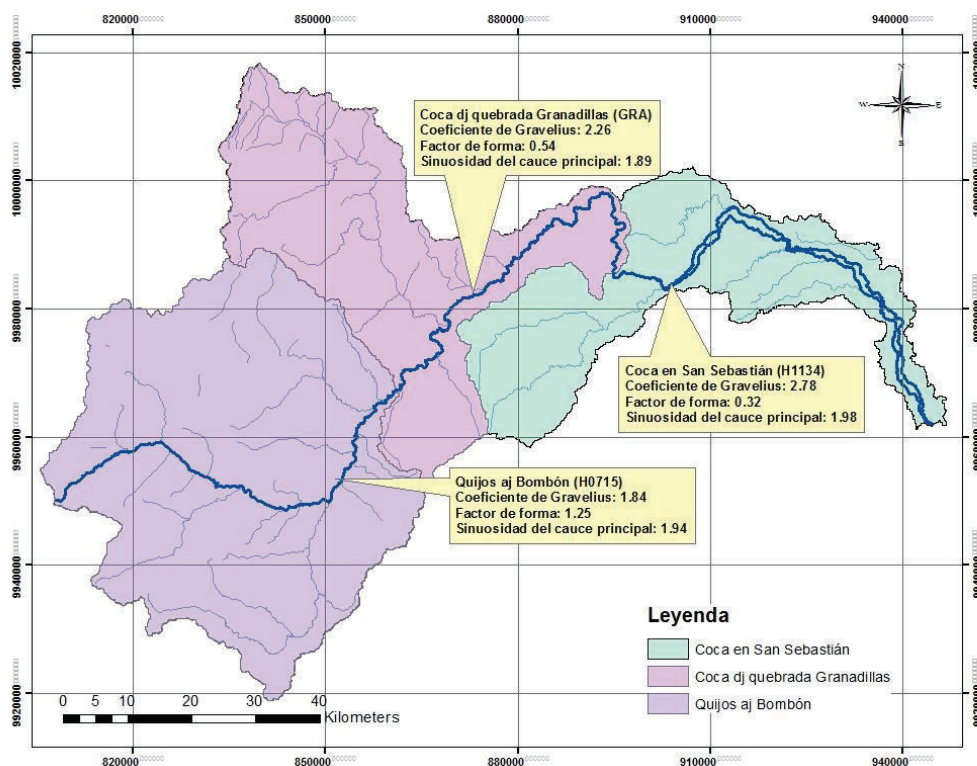
A)



B)



C)

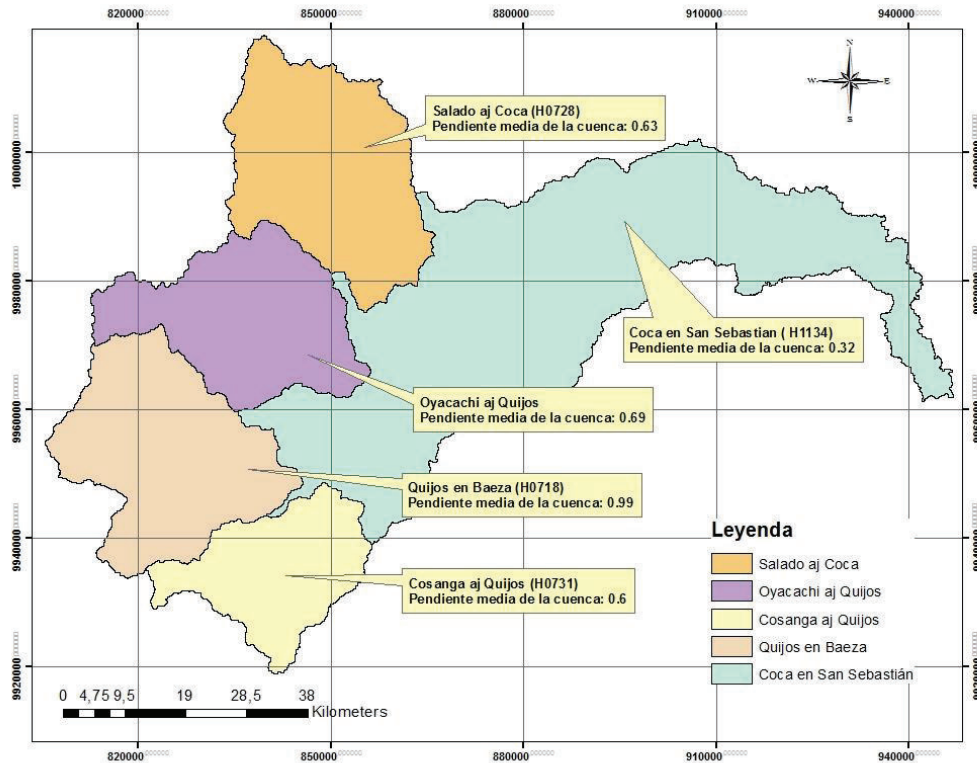


**Figura 4.4** Parámetros de forma. Las figuras A,B,C comprenden los parámetros de forma: índice de Gravelius, factor del forma, sinuosidad del cauce principal; para cada sub cuenca.

Según la figura 4.4 se puede decir que las cuencas Coca en San Rafael, Coca DJ Quebrada Granadillas y Coca en San Sebastián tienen forma oval a alargada.

#### 4.4 PARÁMETROS DE RELIEVE

Para los parámetros de relieve se tomó en cuenta la pendiente media de las sub cuencas más importantes, las mismas que están representadas en la figura 4.5. La información de las 9 sub cuencas se expone en la tabla 4 en el anexo 5.



**Figura 4.5** Mapa de los Parámetros de relieve.

Los valores más elevados de pendiente media corresponden a las sub cuencas de Quijos AJ Bombón y Quijos DJ Oyacachi, lo que significa que la respuesta a la escorrentía superficial de las cuencas será rápida en comparación al resto de las otras cuencas.

#### 4.5 CURVA HIPSOMÉTRICAS

Para este análisis se realizó una nueva división de la cuenca hidrográfica del río Coca con el fin de realizar un análisis representativo. La división se realizó en base al análisis de transporte y aporte de los sedimentos al río, concluyendo en las 4 sub cuencas dentro de la cuenca hidrográfica del río Coca ejercen la mayor influencia. La figura 4.6 muestra las sub cuencas analizadas.

### SUB CUENCAS CON MAYOR INFLUENCIA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COCA

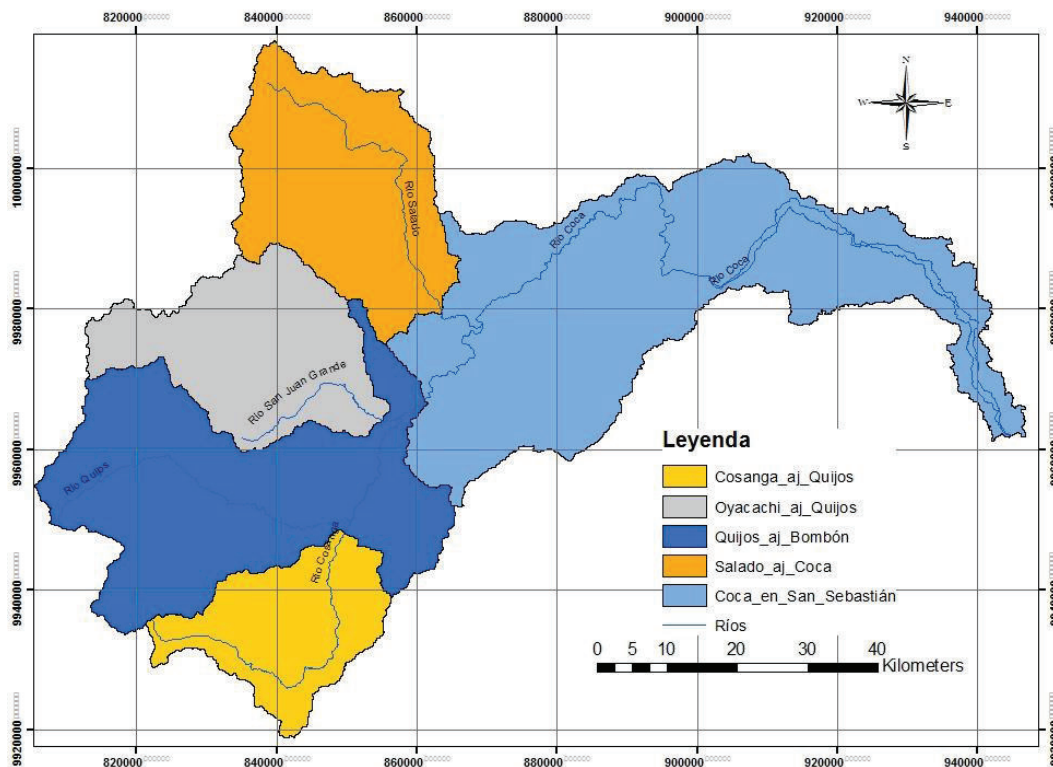


Figura 4.6 Sub Cuenca con mayor influencia en la cuenca hidrográfica del río Coca.

De las cuencas graficadas en la figura 4.6 se obtuvieron las curvas hipsométricas que se muestran en la figura 4.7.

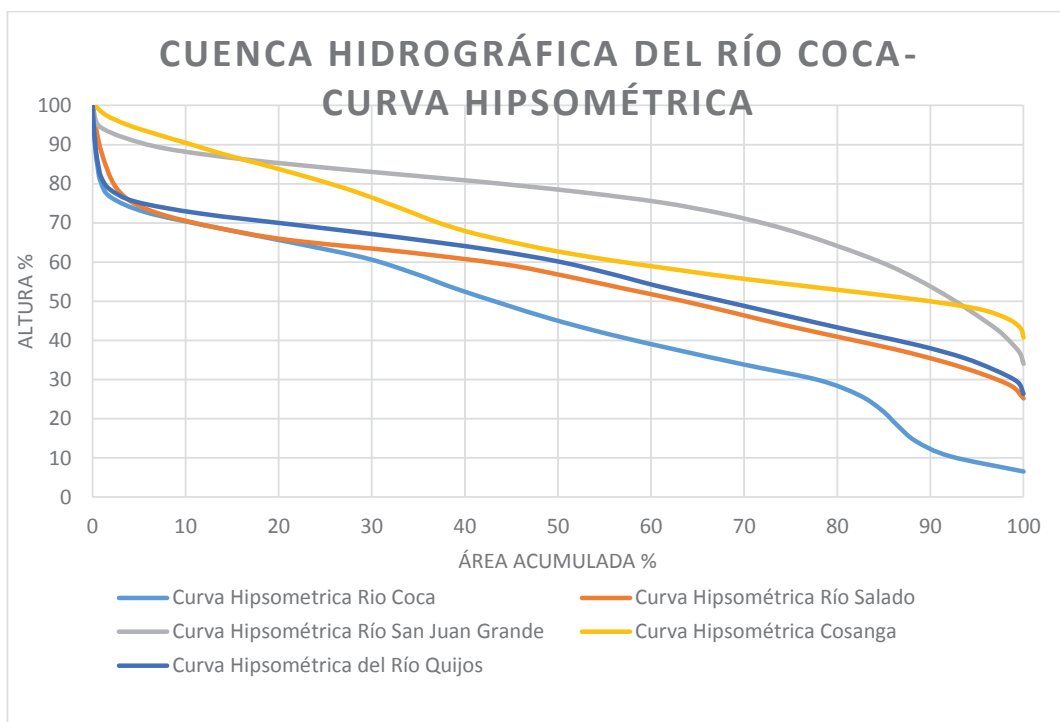
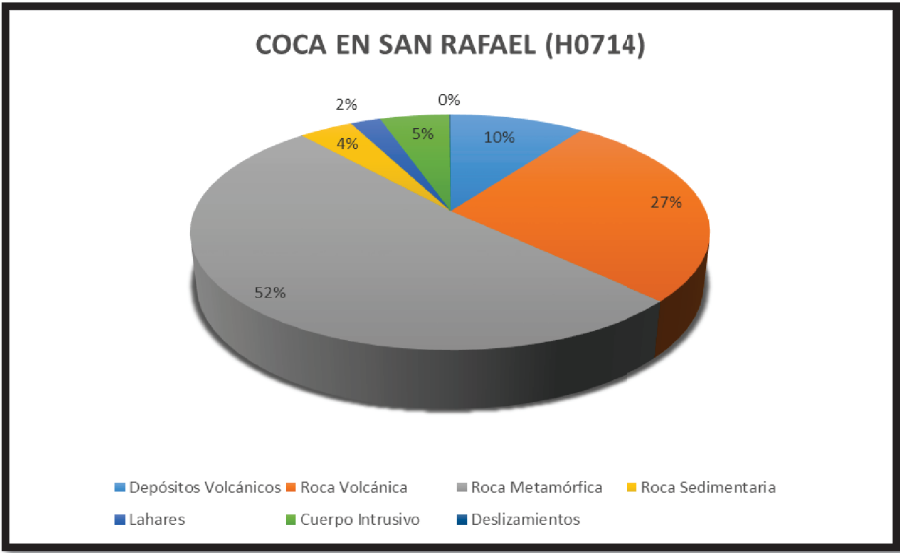


Figura 4.7 Curva Hipsométrica

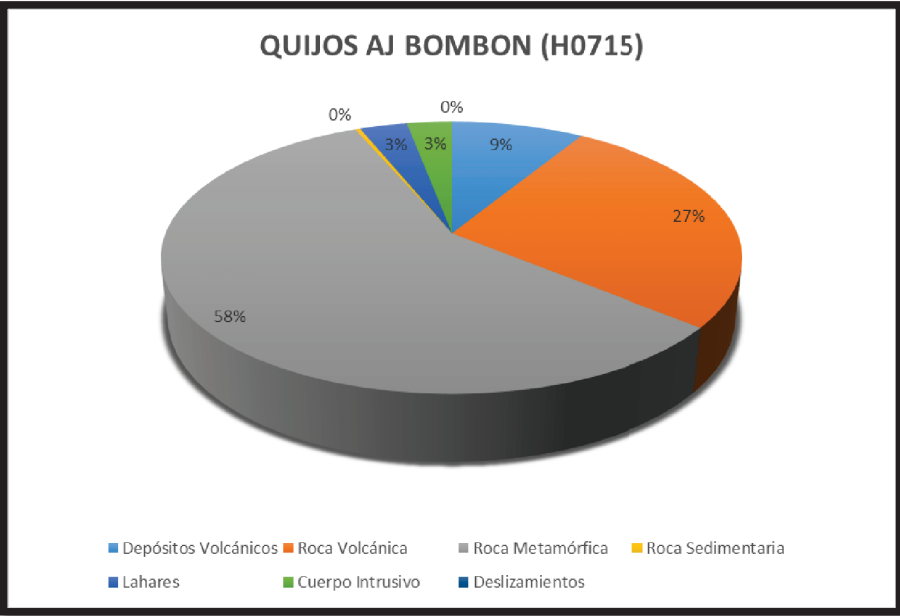
### 4.6 PORCENTAJE DE LITOLOGÍA POR SUB CUENCA

En adición a los parámetros expuestos con anterioridad se considera que el cálculo del porcentaje de litología por sub cuenca, realizado en ArcGis, es necesario para analizar la relación entre el aporte de sedimentos y la litología. Para este análisis se agrupó a las formaciones de acuerdo al ambiente de formación; los resultados se exponen en la figura 4.8. El detalle de todas las cuencas se presenta en el anexo 6 incluyendo la sub cuenca Oyacachi AJ Quijos y la parte Este de la cuenca hidrográfica del río Coca.

A)

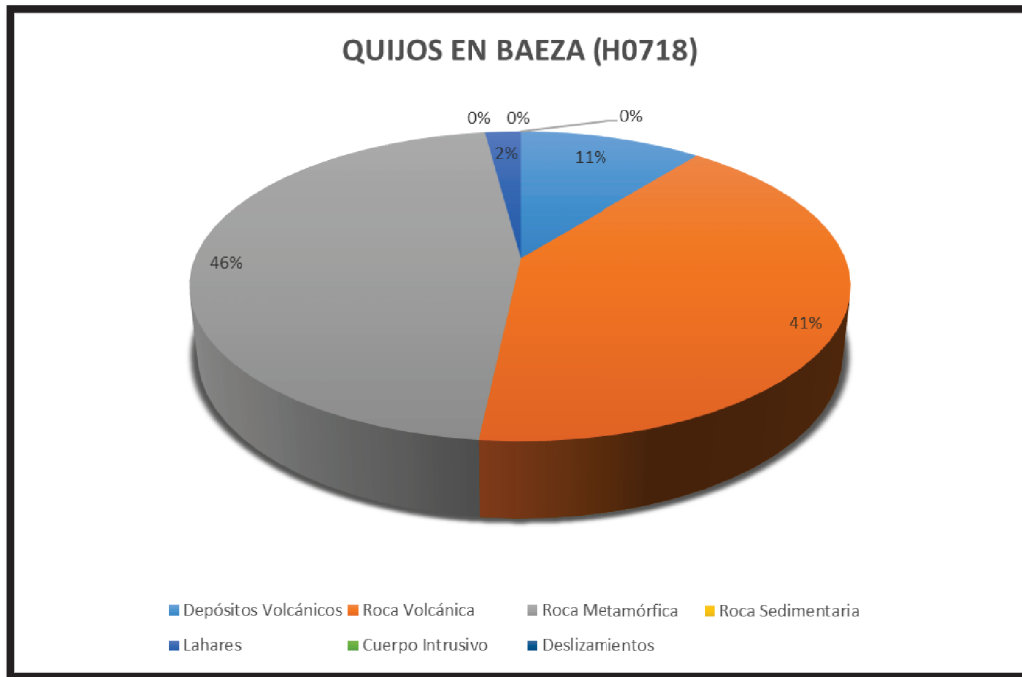


B)

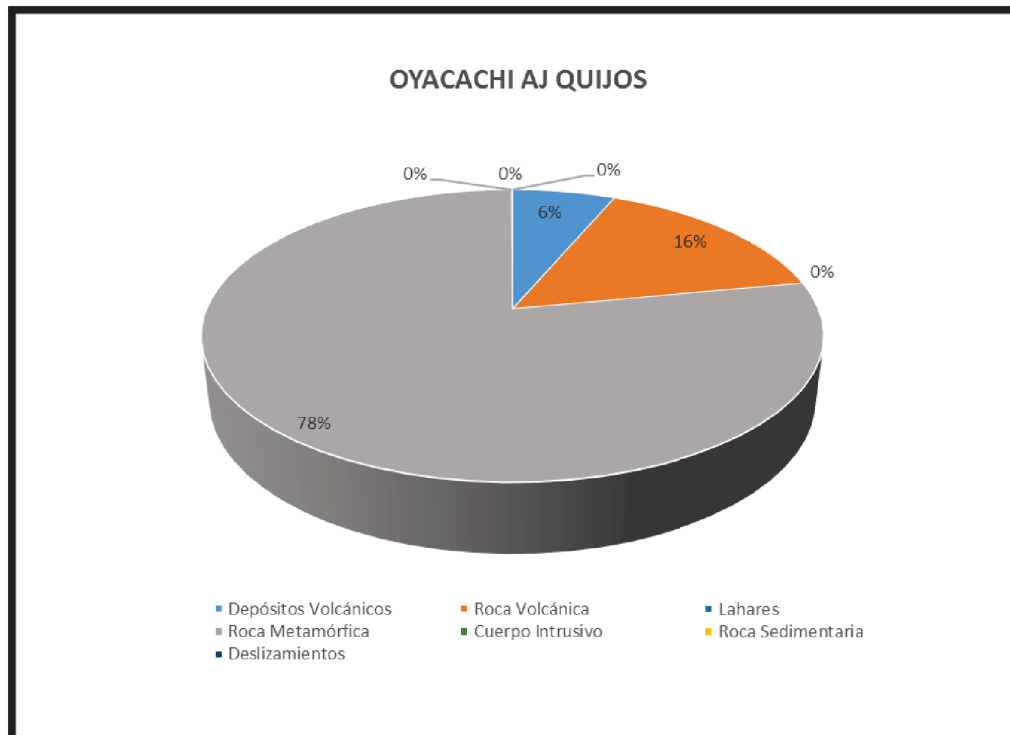




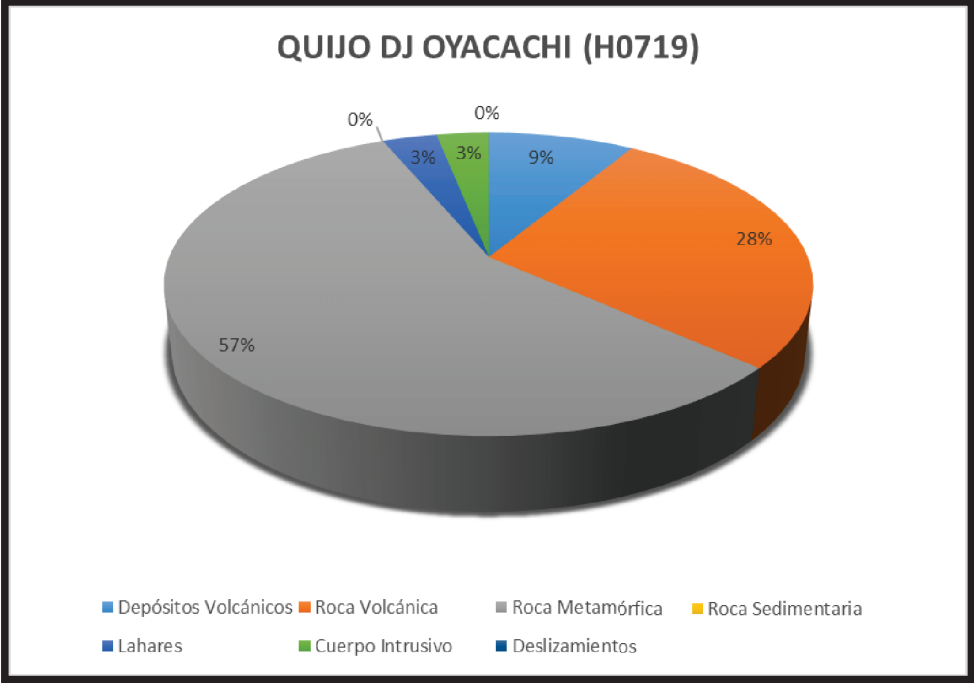
C)



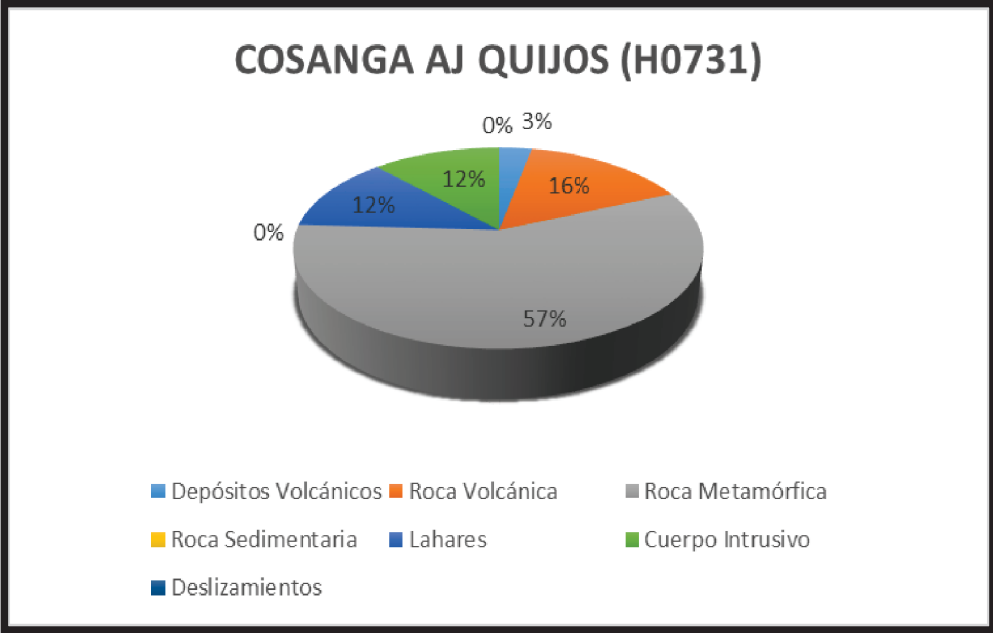
D)



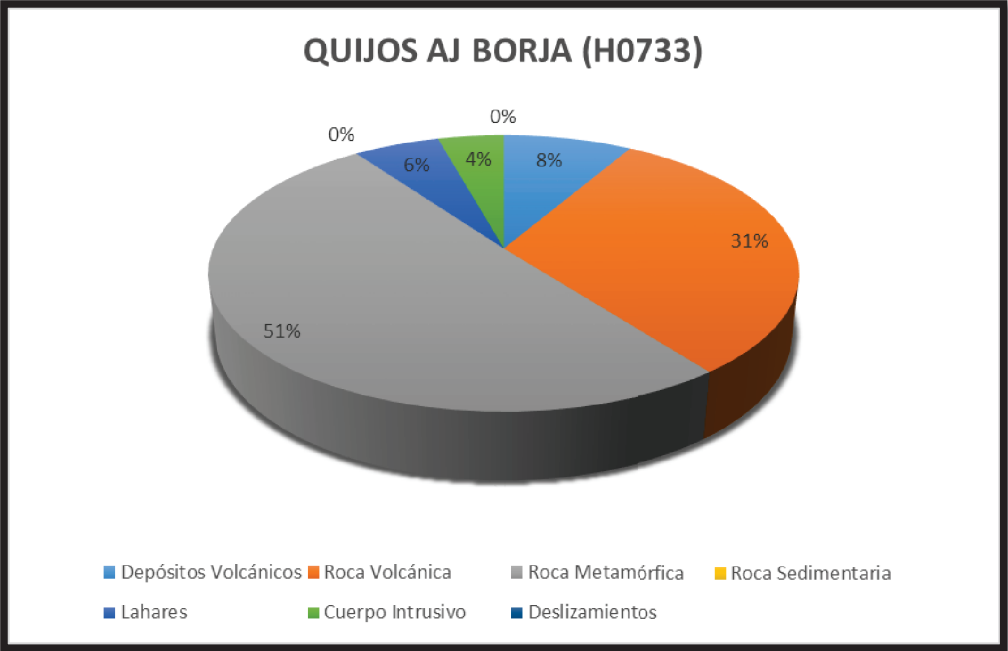
E)



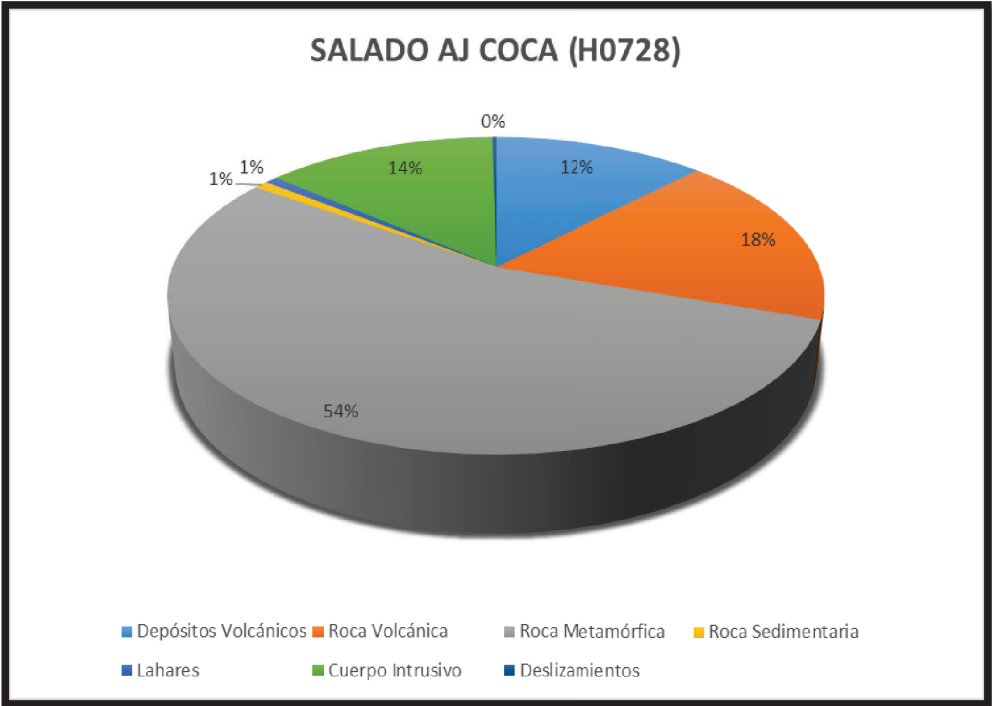
F)



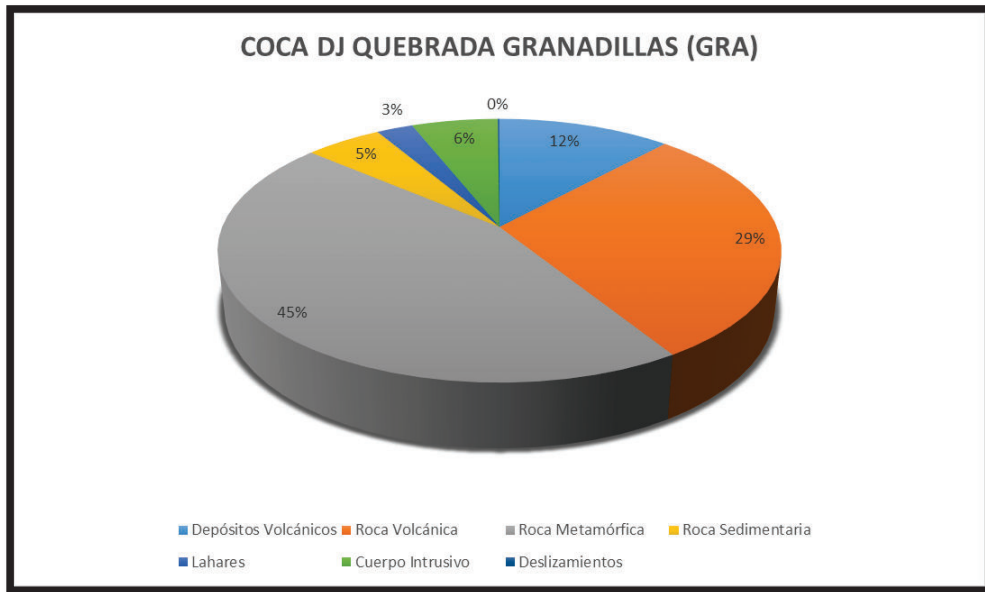
G)



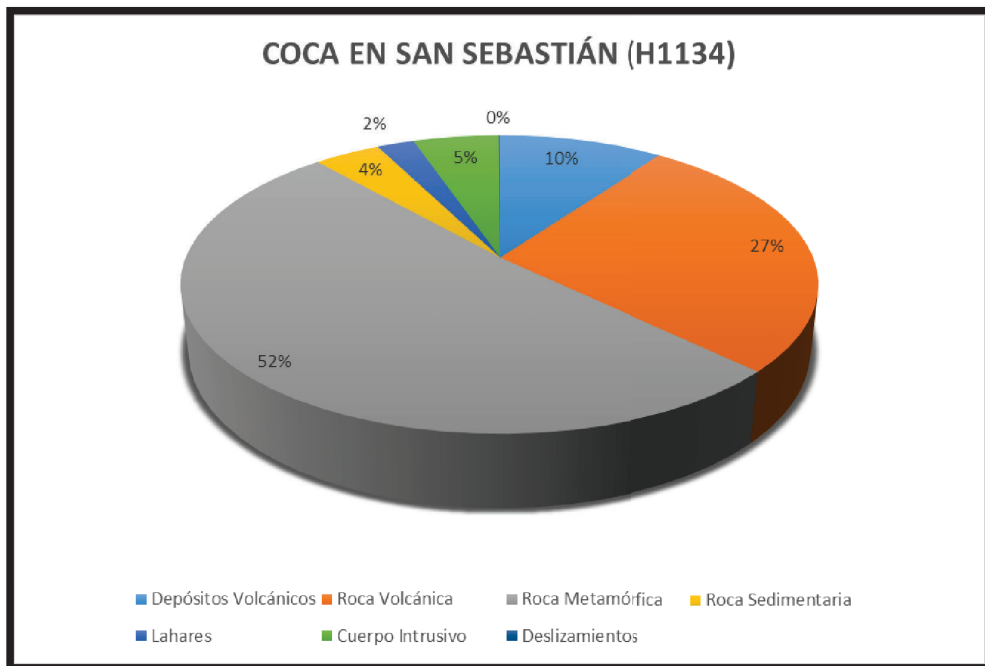
H)



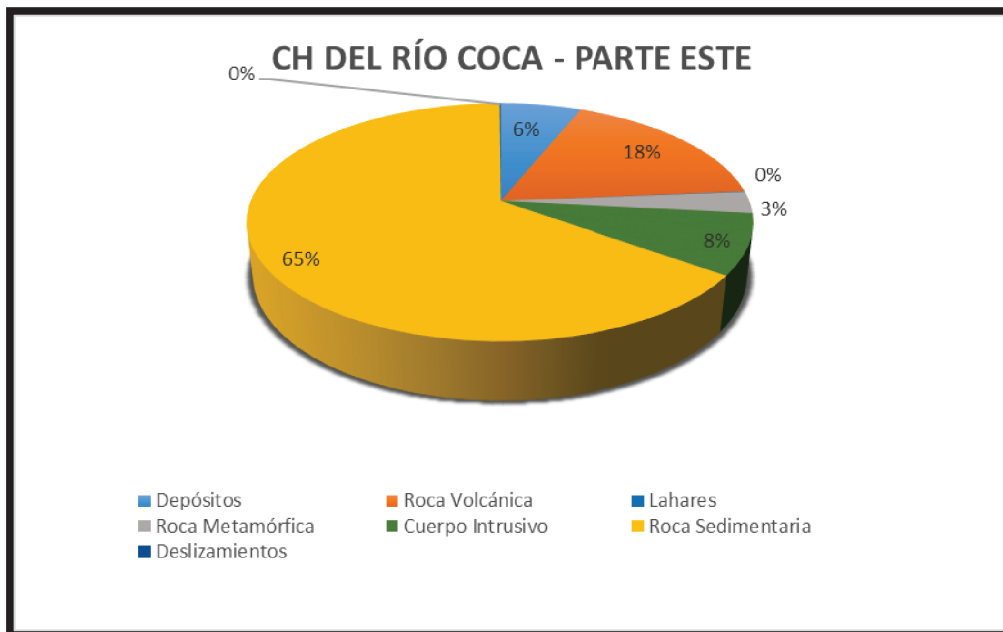
I)



J)



K)



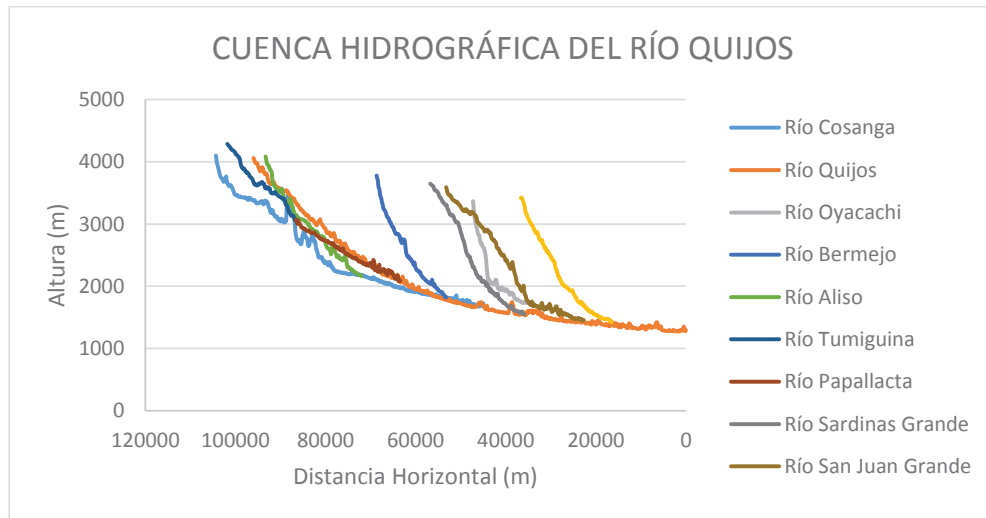
**Figura 4.8** Porcentaje de litología por sub cuenca, comprende las figuras A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K.

Los gráficos expuestos en la figura 4.8 indican que existen dos tipos de roca las cuales predominan a lo largo de la cuenca. Al pie de monte en la parte Oeste de la cuenca la litología que predomina es la roca metamórfica (esquistos pelíticos y gráficas, gneis), y en la planicie amazónica, zona Este de la cuenca, la litología predominante corresponde las rocas sedimentaria (areniscas, lutitas y calizas).

#### 4.7 PERFILES DE LOS RÍOS

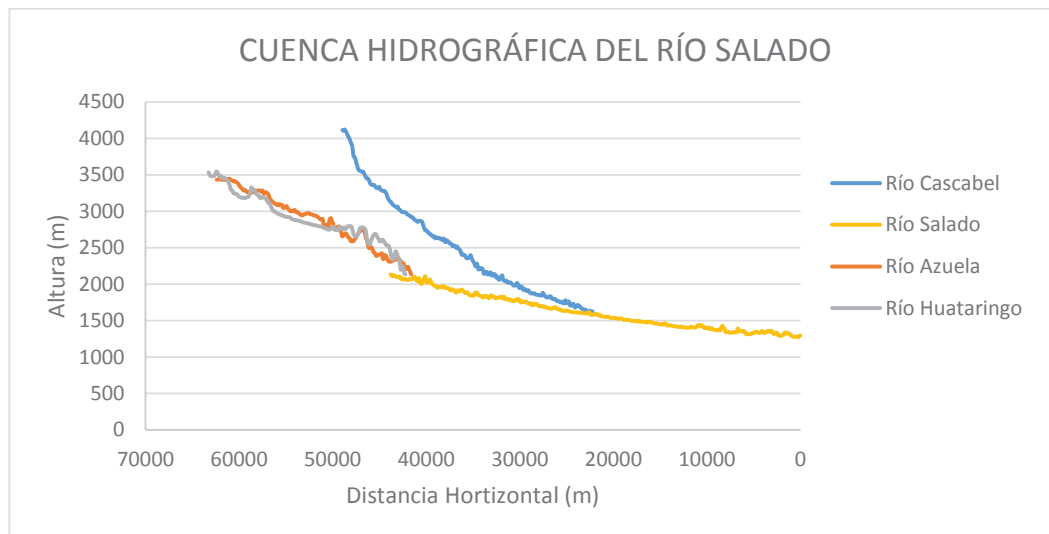
Para la realización de los perfiles se tomó en cuenta las sub cuencas correspondientes a los tributarios del río Coca con sus respectivos afluentes, y para una interpretación integral se construyó un gráfico incluyendo al río Coca y sus tributarios. A continuación se exponen los perfiles de las sub cuencas principales.

En la figura 4.9 se observa que los tributarios del río Quijos presentan perfiles accidentados producto de fallas tectónicas, también se resalta la pendiente alta con la que presentan los ríos.



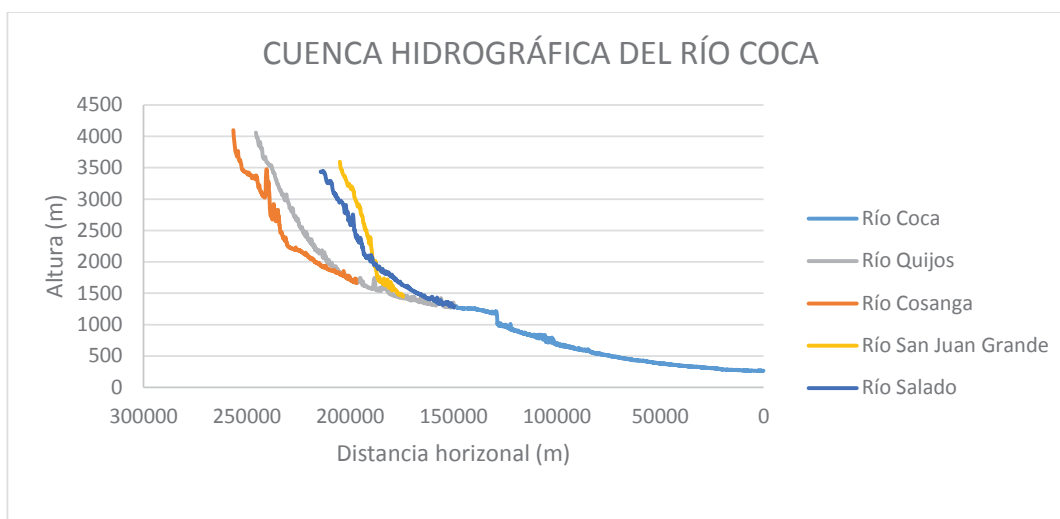
**Figura 4.9** Perfil del río Quijos y sus tributarios.

La cuenca hidrográfica del río Salado (Figura 4.10) se caracteriza por presentar perfiles de los ríos con elevadas pendientes y perfiles más regulares.



**Figura 4.10** Perfil del río Salado y sus tributarios

En la figura 4.11 se perfilan los ríos Coca y sus tributarios incluyendo al río San Juan Grande ya que se encuentra atravesando una zona afectada tectónicamente.



**Figura 4.11** Perfil del río Coca y sus tributarios

## 4.8 PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL, CAUDAL SÓLIDO Y LÍQUIDO

En la tabla 4.3 se detallan los caudales y pendiente de las 4 sub cuencas principales dentro de la cuenca hidrográfica del río Coca.

RÍO	PENDIENTE MEDIA DEL RÍO	LONGITUD (km)	ESTACIÓN HIDROLÓGICA	$Q_{liq} \text{ específico}$ $\left(\frac{l/s}{km^2}\right)$	$Q_{sol} \text{ específico}$ $\left(\frac{t}{km^2 * año}\right)$
Cosanga	4.53	59.619	COSANGA AJ QUIJOS	89.48	577.78
Quijos	3.83	96.012	QUIJOS AJ BOMBÓN	68.09	949.08
Salado	6.45	64.561	SALADO AJ COCA	114.06	1087.15
San Juan Grande	7.7	30.480	OYACACHI AJ QUIJOS	-	-
Coca	1.75	255.450	COCA EN SAN SEBASTIÁN	75.95	813.08

**Tabla 4.3** Pendiente, Caudal sólido específico, Caudal líquido específico.

La figura 4.12 expresa gráficamente los valores de caudal líquido y sólido específico de las 4 sub cuencas y la cuenca principales.





## 4.9 ACTIVIDAD VOLCÁNICA

En las últimas décadas la entrada a la zona del volcán Reventador se ha tornado más accesible, debido a la construcción de nuevas carreteras, lo que ha facilitado realizar un estudio más detallado sobre este volcán. Considerando que en las zonas aledañas existen centros poblados y obras de interés nacional como es el PHCCS, se ha realizado un mapa de riesgo volcánico.

La figura 4.13 expone los tipos de peligros que representa el volcán Reventador y las direcciones predominantes que tomarían los flujos.

En la figura 4.14 se observa el área afectada en caso de una erupción tipo VEI-3 (VEI = Índice de explosividad volcánica) del volcán Reventador.

En la figura 4.15 se observa el área afectada en caso de una erupción tipo VEI-4 del volcán Reventador.

La figura 4.16 expone el área que cubre la caída de ceniza durante un evento eruptivo.

El VEI es una escala de 8 grados con la que se mide la magnitud de una erupción volcánica. Para determinar este valor se consideran varios parámetros medibles como son: el volumen total de los productos expulsados por el volcán (lava, piroclastos, ceniza volcánica), altura alcanzada por la nube eruptiva, duración de erupción, inyección troposférica y estratosférica de productos expulsados, y algunos otros factores sintomáticos del nivel de explosividad (Newhall & Self, 1982)

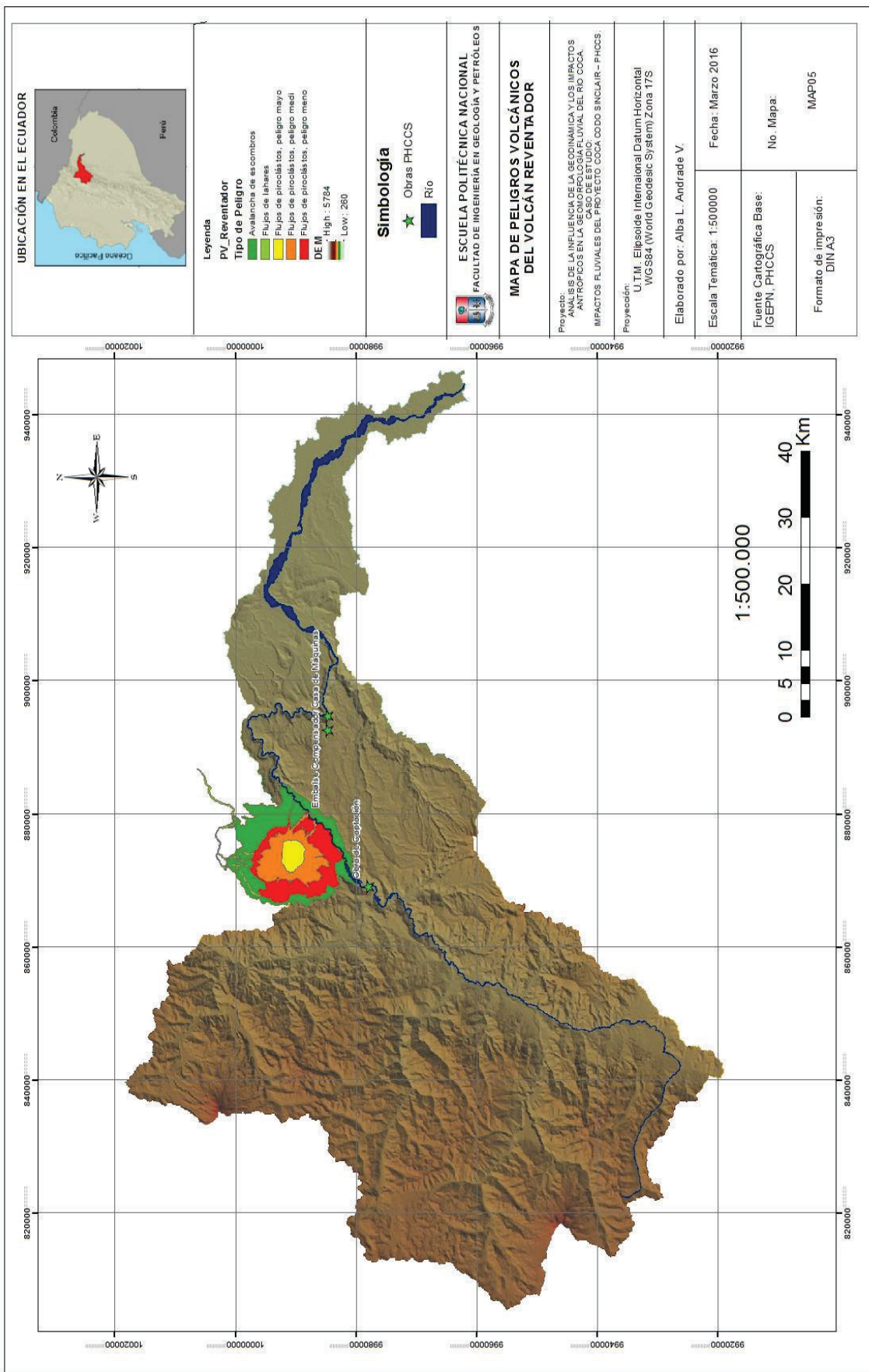


Figura 4.13 Mapa De Peligros Volcánicos Del Volcán Reventador (Tomada De Instituto Geofísico De La Escuela Politécnica Nacional-IGEPN)

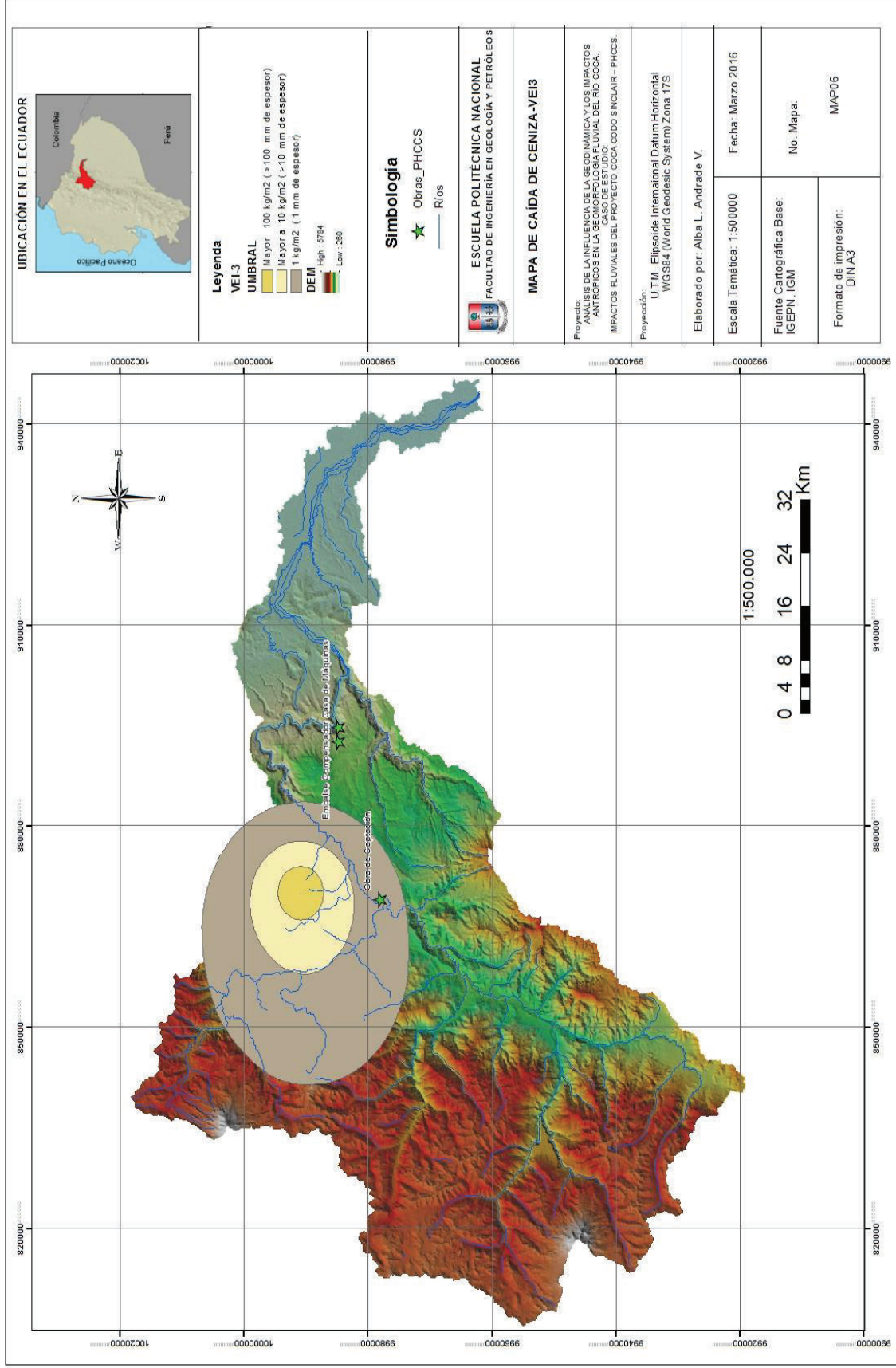


Figura 4.14 Mapa de caída de ceniza VEI-3 (Modificado de IGEPN).

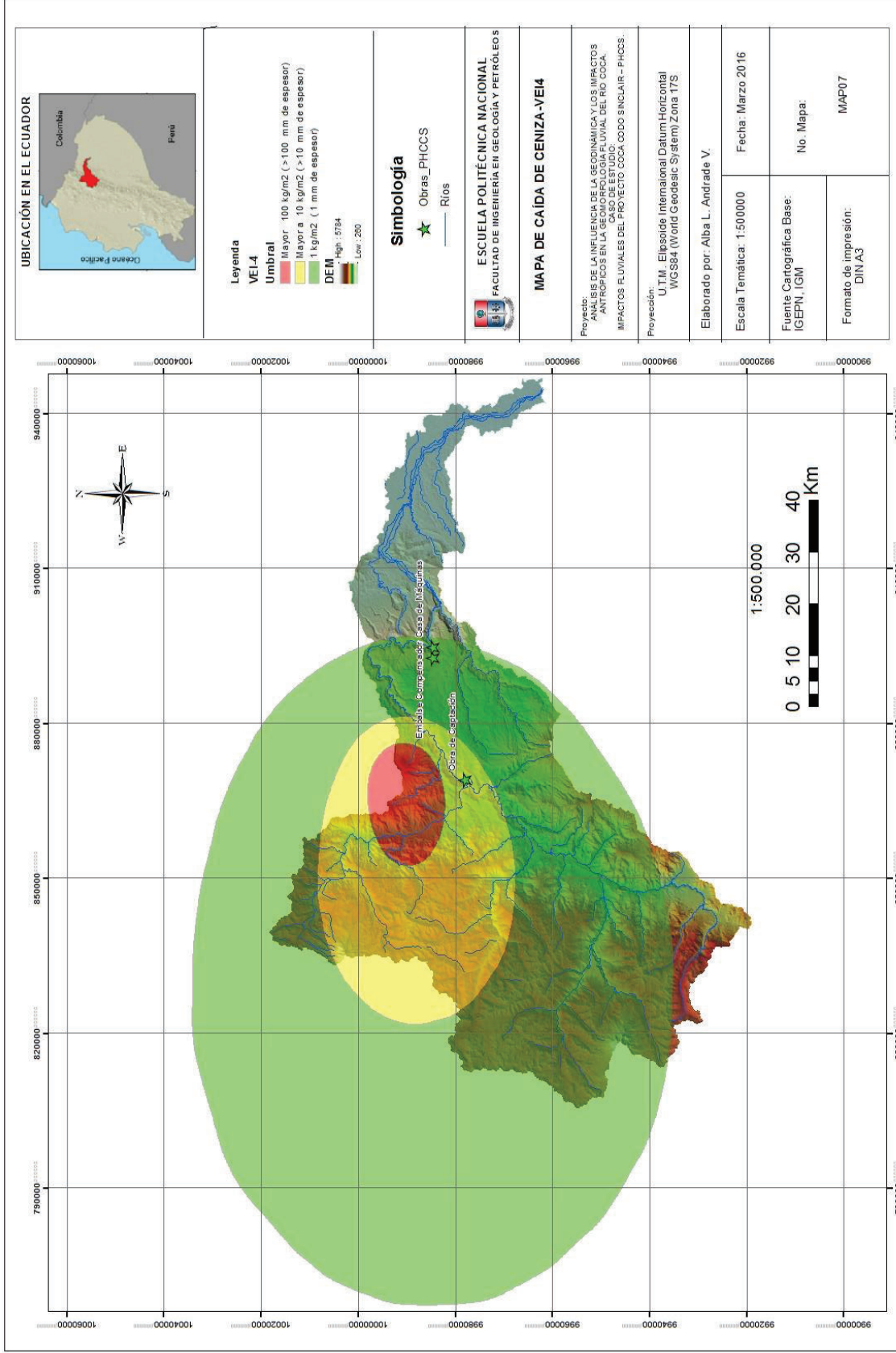


Figura 4.15 Mapa de Caída de ceniza - VEI4 (Modificado de IGEPN).

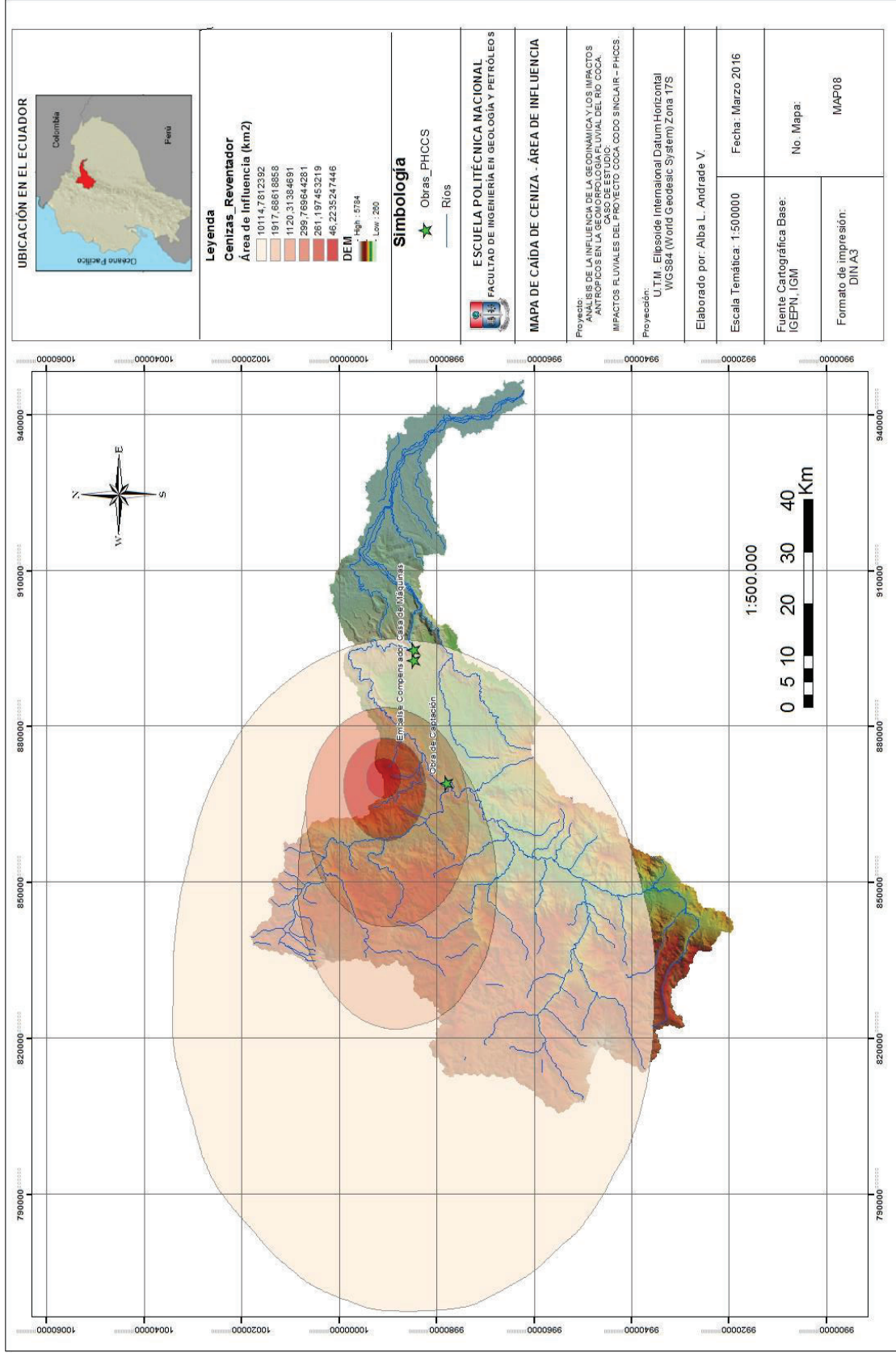


Figura 4.16 Mapa De Área de Influencia De Caída De Ceniza Del Volcán Reventador- Área De Influencia (Tomado de IGFEN)

#### **4.10 ACTIVIDAD SISMICA**

La actividad sísmica producto de la tectónica activa, genera un cambio constante en la geomorfología de la cuenca hidrográfica del río Coca, teniendo como resultado relieves relativamente jóvenes que son fácilmente erosionables.

Para poder tener una percepción aproximada de las zonas donde se producen los sismos con magnitudes mayores o iguales a 4°, los que se consideran peligrosos conjuntamente con la profundidad a la que se originó el epicentro, se elaboró el mapa expuesto en la figura 4.17.

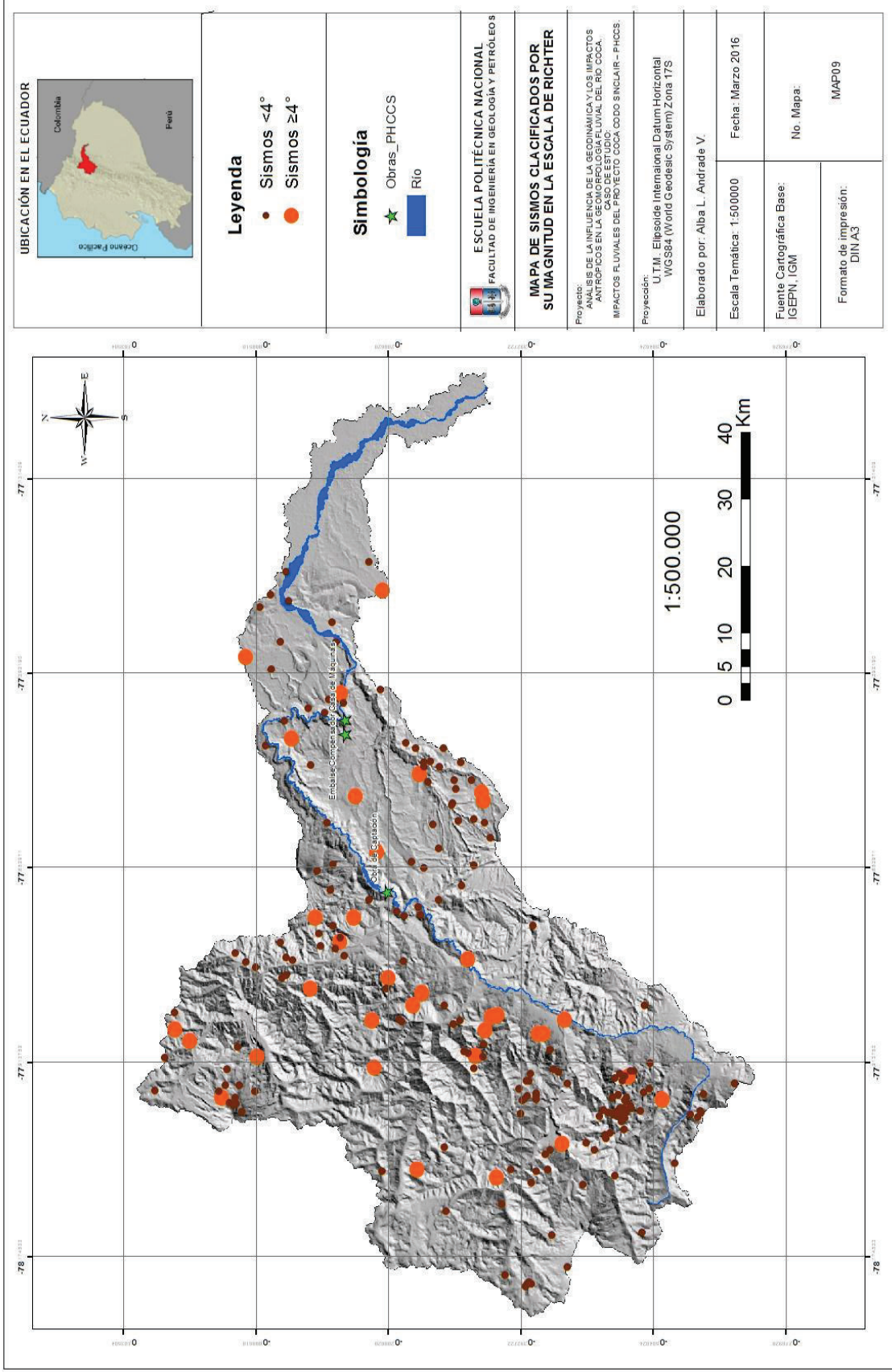


Figura 4.17 Mapa de actividad sísmica de la cuenca hidrográfica del río Coca. Diferenciando sismos con magnitudes  $\geq 4^{\circ}$  y  $< 4^{\circ}$  en la escala de Richter. (Modificado de (GEPN)

Con la finalidad de realizar un análisis temporal para determinar si la concentración de eventos sísmicos se mantiene en una zona específica a lo largo de la cuenca, y constatar la presencia de una zona de alta sismicidad se elaboró un mapa de eventos sísmicos separados por periodos definidos por la ocurrencia del sismo del 87, evento que marco la evolución de los caudales sólidos específicos en la cuenca del Río Coca (Horna, 2016) y el inicio de la construcción del PHCCS (figura 4.17). Estos eventos sísmicos están representados en el mapa tectónico de la cuenca para definir con mayor facilidad la relación entre la actividad tectónica y sísmica. Dichos periodos están detallados a continuación:

- El primero desde 1955-1987, este periodo inicia desde 1955 ya que en la base de datos de la página web del IGEPN (IGEPN, 2016) aparecen como datos más antiguos los tomados en dicho año. La fecha tope para este periodo se la tomo en base los sismos ocurridos en 1987 y que marcaron un precedente por su carácter destructivo.
- El segundo periodo comprende los años desde 1988 hasta 2007, para definir este periodo se tomó como referencia el inicio de la construcción del PHCCS.
- El tercer periodo va desde 2008 que es el inicio de la construcción del PHCCS hasta el año 2014, que es hasta el cual tenemos información en la base de datos de la página web del IGEPN.

#### **4.11 ACTIVIDAD TECTÓNICA**

Con la ayuda de imágenes satelitales, GIS y perfiles de los ríos de las cuencas más influyentes se obtuvo evidencias de que la cuenca hidrográfica del río Coca permanece en constante cambio gracias a la tectónica activa a nivel local como regional se encuentran fallas tectónicas que afectan la geomorfología de la cuenca hidrográfica. Inicialmente se tuvo acceso a información del IGEPN y la figura 4.18 muestra las fallas que atraviesan la cuenca.



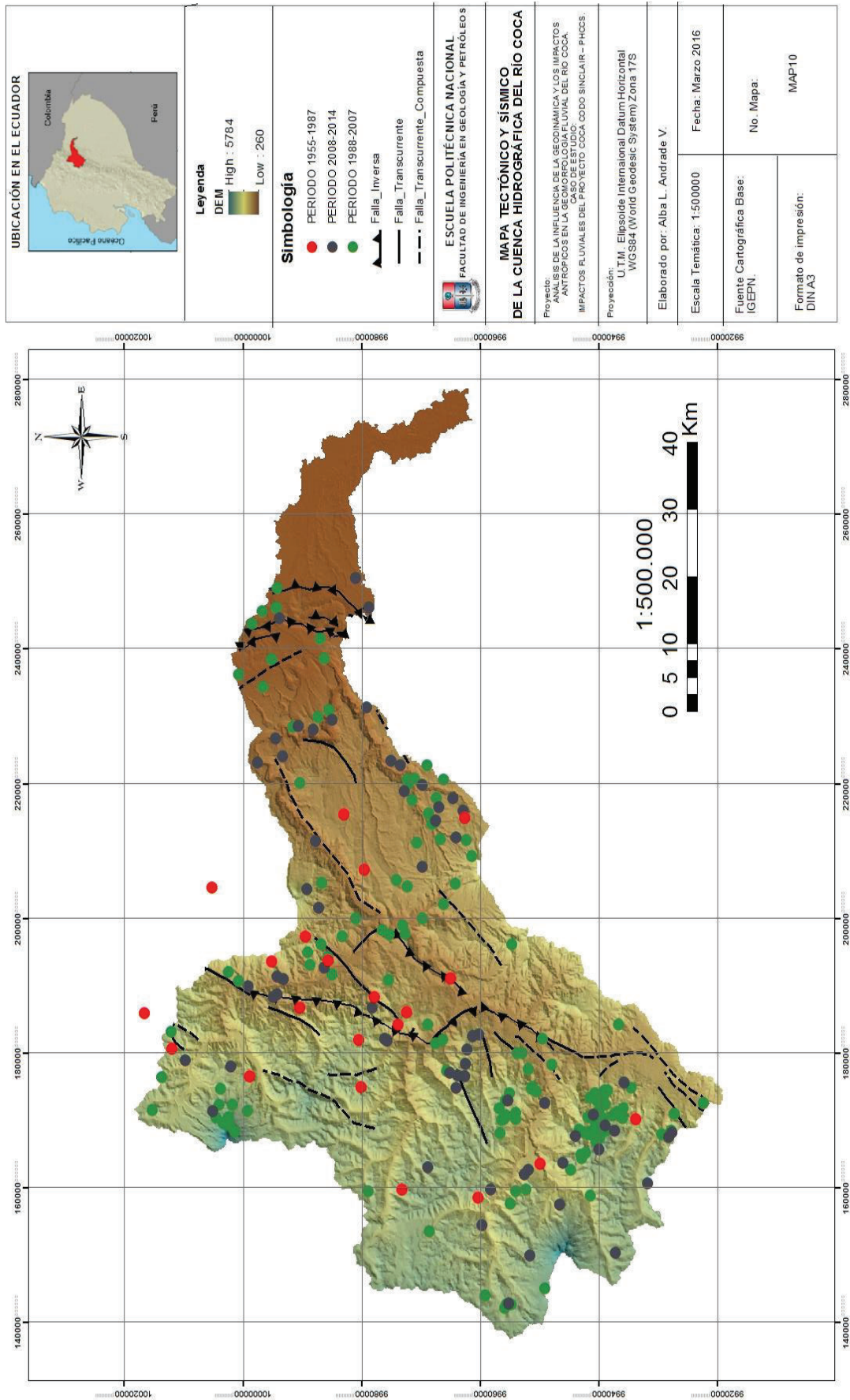


Figura 4.18 Mapa tectónico de la cuenca hidrográfica del río Coca. (Alvarado, et al., 2011).

Dentro de este estudio se utilizó la herramienta GOOGLE EARTH (satélite Landsat, 12/13/2015) con la finalidad de detectar rasgos geomorfológicos que nos ayuden a elaborar un modelo tectónico de la zona, el cual se basó tanto en la imagen satelital (resolución 5x5 cm), los perfiles de los ríos así como los resultados que se obtuvieron de los caudales sólidos específicos (ver §4.8), lo que permitió la elaboración de la figura 4.19.

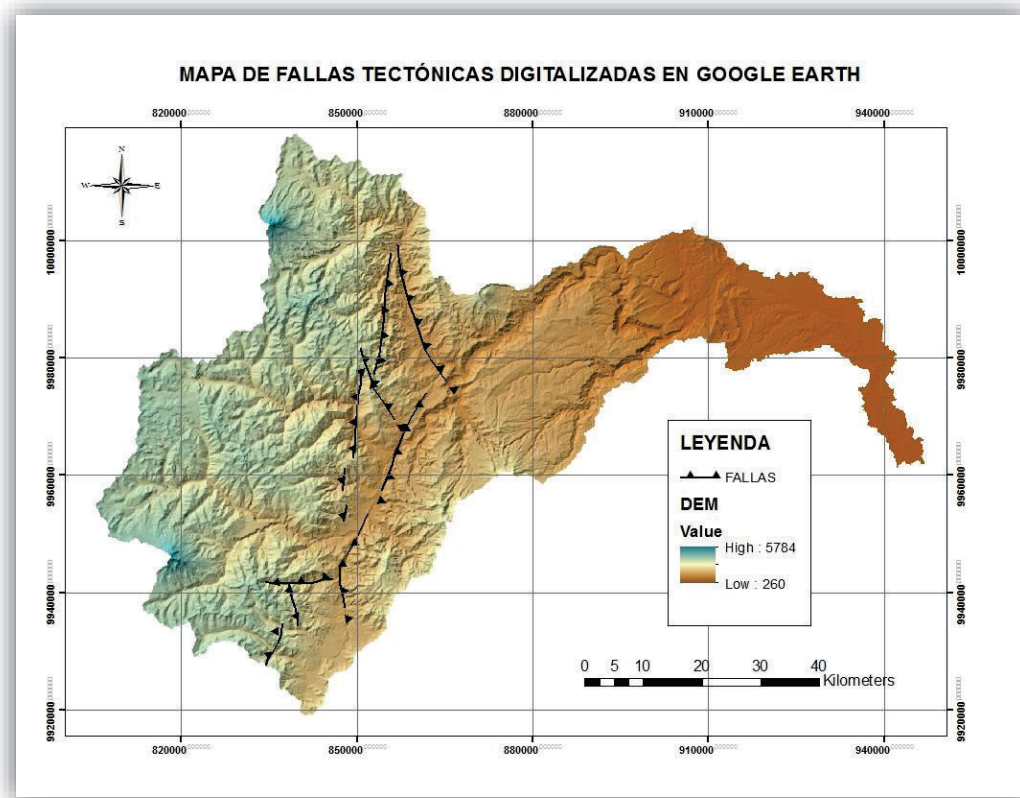


Figura 4.19 Mapa de fallas tectónicas interpretadas en GOOGLE EARTH.

En base a las fallas localizadas en la figura 4.20 se elaboró el siguiente modelo tectónico.

### 4.12 MODELO TECTÓNICO EN 3D

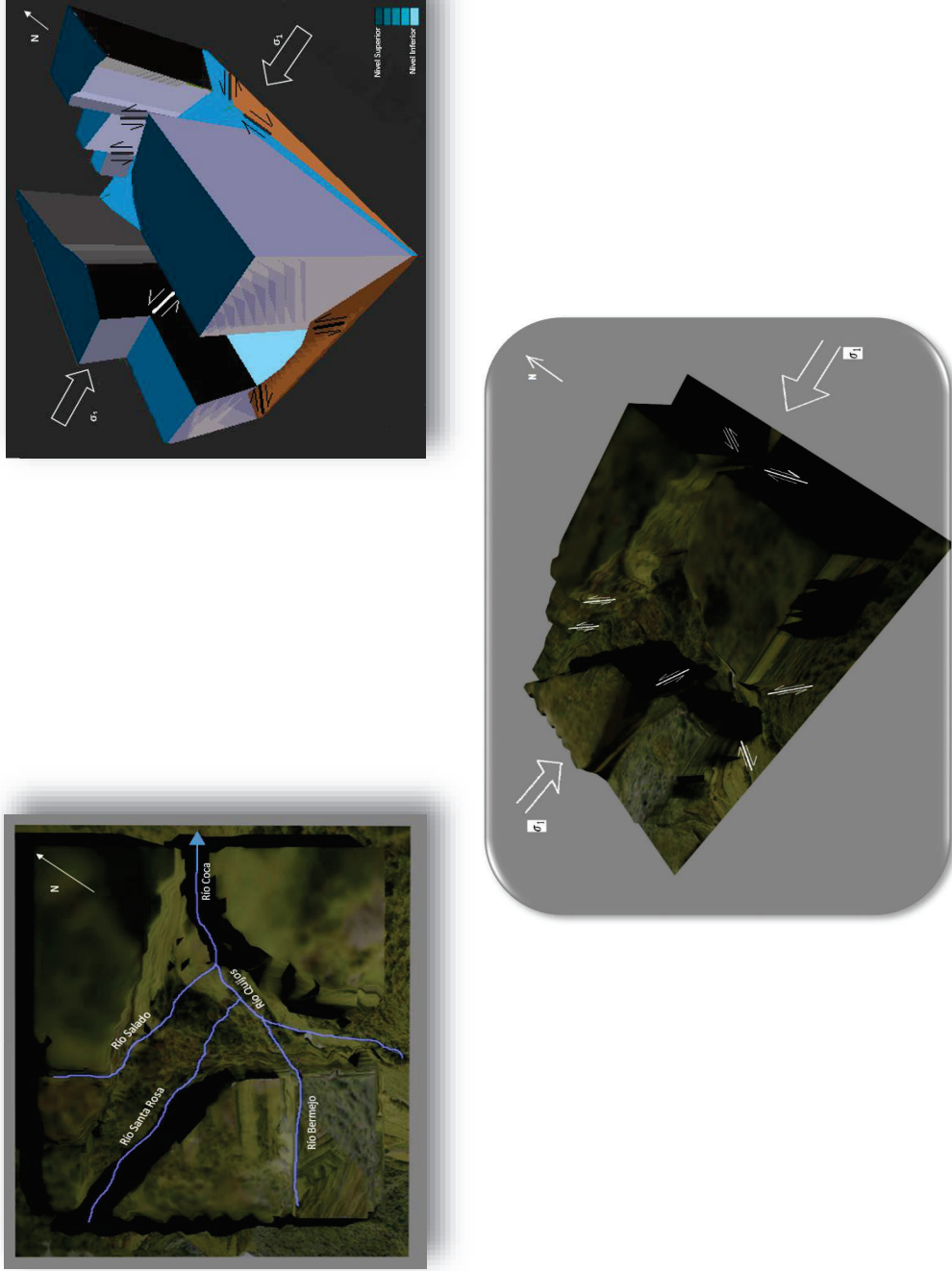


Figura 4.20 Modelo 3D tectónico de la zona.

## **CAPÍTULO 5**

### **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

La cuenca hidrográfica del río Coca presenta una morfología accidentada, producto de la combinación de diversos factores, destacándose entre estos la tectónica activa que controla tanto el aporte de sedimentos desde las pendientes o laderas hacia el cauce, como la morfología fluvial.

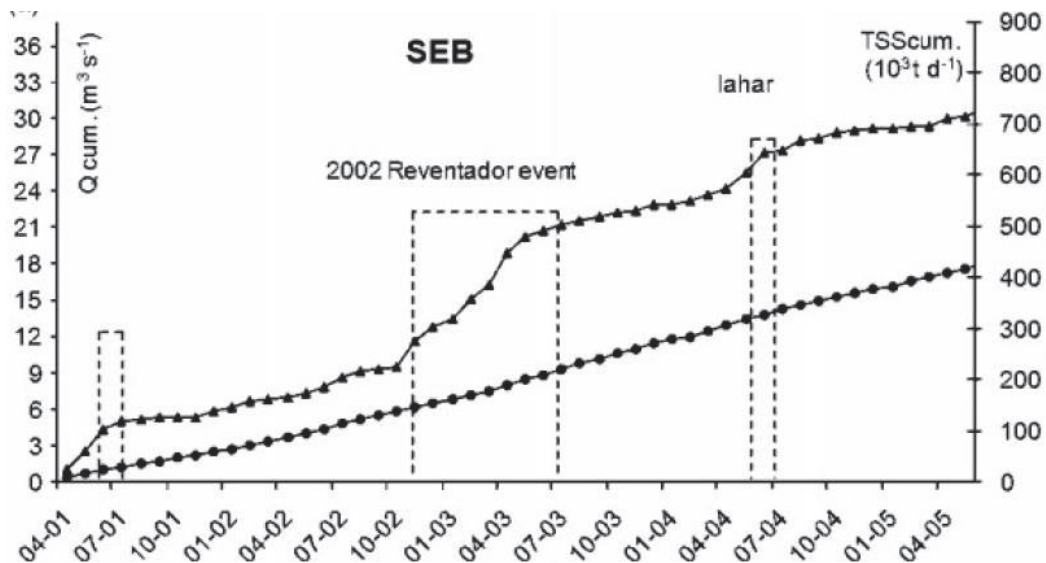
A fin de responder la hipótesis planteada en este estudio que consiste en el análisis de la influencia de la geodinámica y los impactos antrópicos en la geomorfología fluvial del Río Coca para contribuir a la evaluación de la influencia que tiene la presencia del Proyecto Coca Codo Sinclair – PHCCS y los fenómenos geodinámicos del área en la geomorfología del Río Coca, a continuación se discute de forma independiente cada uno de los aspectos que inciden de manera directa en la geomorfología del río Coca.

#### **5.1 DISCUSIÓN**

##### **5.1.1 TECTONICA Y ACTIVIDAD VOLCÁNICA**

La actividad volcánica actual representada por el volcán Reventador constituye una fuente importante de sedimentos, si se presenta una erupción, y tomando en cuenta el VEI que alcance la misma, productos volcánicos como: nubes de ceniza, flujos piroclásticos y lahares serían encauzados por el drenaje que conduce directamente al río Coca. En el caso de la presencia de nubes de ceniza, los tributarios a lo largo de la cuenca serían los encargados de transportar este material hasta el río Coca. Siendo probable la presencia de un escenario con un VEI = 4 se presentase, existe la probabilidad de que se produzca un colapso de flanco.

De hecho, en noviembre de 2002 se reinició la actividad del Reventador, presentando caídas de ceniza, lahares y flujos de lava (ver Anexo 3); Este episodio eruptivo generó un incremento en el balance mensual acumulado de TSS, que se grafica en la figura 5.1, y que muestra una falta de repetitividad interanual en la dinámica del transporte de sedimentos que es propia de una cuenca inestable (Laraque, et al., 2009).



**Figura 5.1** Efectos de la erupción volcán Reventador 2002. Q cum = círculos; TSS cum = triángulos. (Laraque, et al., 2009).

Esta gráfica muestra además que el TSS tarda un aproximado de 6 meses en retomar los niveles normales (Laraque, et al., 2009) y que probablemente se trate del tiempo que necesita el río para retomar su equilibrio dinámico.

Los datos obtenidos para la realización del gráfico pertenecen a la estación Coca en San Sebastián que forma el cierre de la cuenca de estudio y por tanto resumen la actividad hidrológica de la Cuenca en su totalidad.

Durante la realización de este proyecto de titulación el volcán continúa en actividad alta con emisiones de vapor y gas con cantidad de ceniza moderada y ya lleva 13 años presentando este escenario.

### 5.1.2 TECTÓNICA Y ACTIVIDAD SÍSMICA

La intensa actividad sísmica dentro de la cuenca es producto principalmente de la tectónica activa, dado que el sistema de fallas que atraviesa la zona genera sismos de carácter cortical-somero que en su mayoría no superan magnitudes de 4.0 en la escala de Richter. (ver anexo 4).

El análisis de la información existente, desde 1995-2014, en el área muestra que pocos sismos sobrepasan la magnitud de 4.0 y por tanto han tenido limitadas repercusiones socioeconómicas. Un ejemplo del peligro que la amenaza sísmica latente en el área representa, son los sismos ocurridos el 5 de marzo de 1987 (ver §2.3.2.4), ubicados en la sub cuenca del río Salado y que desencadenaron uno de los deslizamientos más catastróficos del siglo XX (Laraque, et al., 2009), generando un aumento importante no cuantificado de los sedimentos en el río Napo y destruyeron 70km del oleoducto transecuatoriano SOTE que en esta área corre paralelo al río Coca (ver fig.2.16) con el consiguiente efecto negativo en la economía del país.

Cabe destacar que en esa ocasión no solamente la ocurrencia de sismos fue el detonante de este macrodeslizamiento, sino que las condiciones climáticas que precedieron a estos sismos fueron poco comunes (600 mm de lluvia cayó en los meses de: enero y particularmente del 3 al 20 de febrero que precedieron a los sismos (Laraque, et al., 2009); (Schuster, 1991), produciendo la saturación del suelo y por lo tanto la pérdida de cohesividad. Esta circunstancia aunada a la topografía accidentada de la zona, con pendientes pronunciadas mayores a 35°, desencadenaron este evento.

Estudios recientes realizados por Tolorza V. en el 2015, en la cuenca en el Río Biobío ubicada en Chile, donde se produjo un terremoto de magnitud 8.8 el 27 de febrero del 2010, concluyeron que la magnitud del sismo no es el único factor determinante para generar altas tasas de movilización de sedimentos, sino que estas dependen de factores como el clima, la topografía y la vegetación. De hecho esta cuenca se caracteriza por una topografía accidentada, altitudes que

varían entre los 1525 a 3511 m.s.n.m, pendientes con una inclinación entre los 20° a 5° , y un tipo de litología variable semejante a la que tenemos en nuestra cuenca de estudio (rocas metamórficas, sedimentarias y depósitos volcánicos), y que adicionalmente se desenvuelve en un contexto geodinámico de subducción; pero que su clima predominante oscila entre mediterráneo a templado por lo que las precipitaciones fluctúan entre ~1000 mm en el norte a ~3000 mm al sur (Tolorza, 2015). Los resultados de este estudio se puede contrastar con los resultados en nuestra cuenca de estudio que se caracteriza por una topografía accidentada con relieves prominentes, pendientes pronunciadas y altos valores de pluviosidad, donde la ocurrencia del sismo del 87 asociada con un período de lluvias extraordinario desencadenó el deslizamiento más catastrófico del siglo XX.

### 5.1.3 TECTÓNICA Y GEOMORFOLOGIA

La tectónica activa dentro de la cuenca da lugar a una topografía abrupta en constante cambio, generando relieves jóvenes e inestables. Las fallas tectónicas están controlando en gran parte la morfología de los ríos, de acuerdo con los perfiles realizados de los ríos pertenecientes a las cuencas con mayor influencia (ver §4.7). Estos perfiles abruptos indican que atraviesan fallas las mismas que provocan saltos en el cauce (nickpoint).

Analizando los perfiles es notorio un levantamiento del bloque occidental de la cuenca que se va incrementando hacia el Norte, lo que se correlaciona con el Levantamiento o Domo Napo. Este levantamiento hace que los ríos de piedemonte se desestabilicen, producto de esto el río empieza a buscar su estabilidad, convirtiéndose en un río altamente erosivo, los cuales empiezan a incisar el valle erosionando su cauce y generando pendientes pronunciadas e inestables hasta retomar su nivel base. Este es el caso del río Salado, el cual se caracteriza por un caudal líquido específico significativo ( $114.06 \text{ ((l/s)/km}^2\text{))}$  y una alta pendiente (6.45%) que lo hacen altamente erosivo, y por tanto con un aporte de sedimentos importante al río Coca ( $Q_{sol \text{ específico}} = 1087.15 \text{ t/(km}^2 \cdot \text{año)}$ ) en relación a los demás tributarios. Teniendo como excluyente de esto al río Salado,

ya que la falta de rasgos tectónicos evidentes complica la detección de fallas en esta zona y esto podría ser atribuible a la alta tasa de erosión del río.

La importancia del caudal líquido en geomorfología fluvial se evidencia también en el caso del río San Juan Grande, al igual que el Salado se encuentra en desequilibrio por el levantamiento, pero no cuenta con un aporte importante caudal líquido lo que no impide hasta la actualidad que retome su nivel base y esta sub cuenca no presenta relieves tan pronunciados y tampoco pendientes inestables; esta circunstancia explicaría el bajo aporte de caudal sólido de esta zona ( $Q_{sol\ específico} = 238.35\ t/(km^2 * año)$ ).

En el caso del río Cosanga, éste presenta un escenario similar al del río Salado, pero como se mencionó este se encuentra al sur de la cuenca en donde el levantamiento es menor y por tanto la pendiente del río no es tan pronunciada, entendiendo así que el río ya ha alcanzado su estabilidad a pesar de las perturbaciones tectónicas que atraviesa. Sin embargo debido a su carácter erosivo, tiene un aporte de sedimentos ( $Q_{sol\ específico} = 577.78\ t/(km^2 * año)$ ) aunque es menor si se lo compara con el del Río Salado ( $Q_{sol\ específico} = 1087.15\ t/(km^2 * año)$ ).

El modelo tectónico de la zona central de la cuenca (ver §4.12) indica que se encuentra afectada por esfuerzos tectónicos compresivos en dirección E-O y transpresivos en dirección N-S que afectan al sistema de fallas generando un levantamiento de los bloques occidental y oriental de la cuenca, resultando en una zona central deprimida en donde se depositaría los sedimentos, que son aporte de los ríos Quijos y Cosanga junto con sus tributarios, de esta manera se explicaría la diferencia entre el caudal sólido tomado de las estaciones H0733 Y H0715.

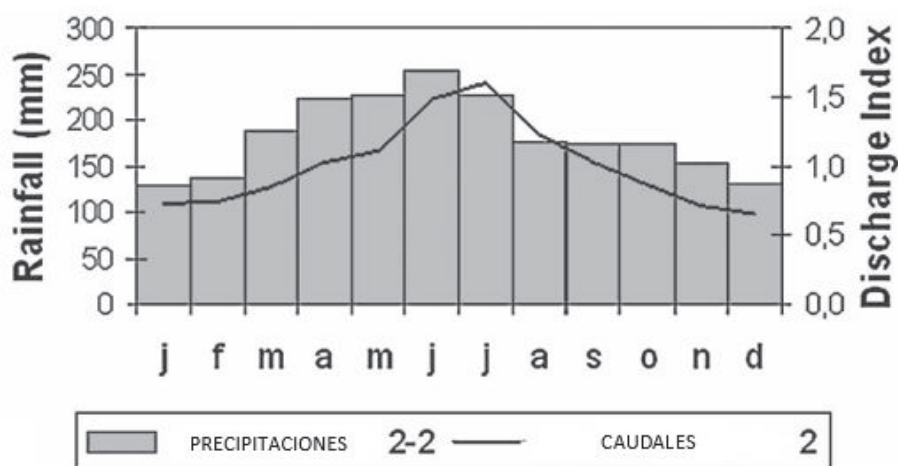
### 5.1.3.1 Parámetros Geomorfológicos y Litológicos

El área de la cuenca hidrográfica del río Coca es de  $5283.74\ km^2$ , consta de un drenaje dendrítico con valores de densidad de drenaje de  $2.74\ km/km^2$  para la



cuenca en general y con valores de hasta 3.09 en las sub cuenca ubicadas al piedemonte. La densidad de drenaje alta, refleja una cuenca muy bien drenada que refleja la respuesta lluvia - escorrentía relativamente rápido. En este sentido se ha reportado la presencia de crecidas relámpago en ríos de las cuenca orientales, específicamente Río Coca, (Laraque, et al., 2007) y esto no solo se debe a la influencia de la precipitación en los regímenes hidrológicos (ver figura 5.2) sino otros parámetros como:

- La forma de la cuenca hidrográfica, el factor de forma que se tiene para esta cuenca es de  $0,32 \text{ km/km}^2$ , que indican una cuenca irregular, alargada, con baja tendencia a inundaciones y de producirse estas serían lentas y sostenidas.
- La presencia de páramo en las partes altas de la Cuenca que estaría actuando como esponjas que regulan la disponibilidad del caudal a lo largo del año hidrológico.
- Una intensa actividad geodinámica de la zona que se traduce en pendientes pronunciadas (valores que fluctúan entre los 7.7 y 1.75), ver § 4.5, lo que conjugado con la alta pluviosidad (valores que fluctúan entre los 150-600 mm correspondientes a la precipitación media mensual) hace que la zona tenga un fuerte escurrimiento que la convierte en una zona propensa a los deslizamientos de tipo gravitacional y rotacional.



**Figura 5.2** Precipitación (barras) y caudales (línea) en diferentes estaciones andinas de la región de la Cuenca Amazónica ecuatoriana. La precipitación mensual está expresada en mm. El índice de descarga es el resultado de dividir la descarga mensual para la descarga anual. (Laraque, et al., 2007).

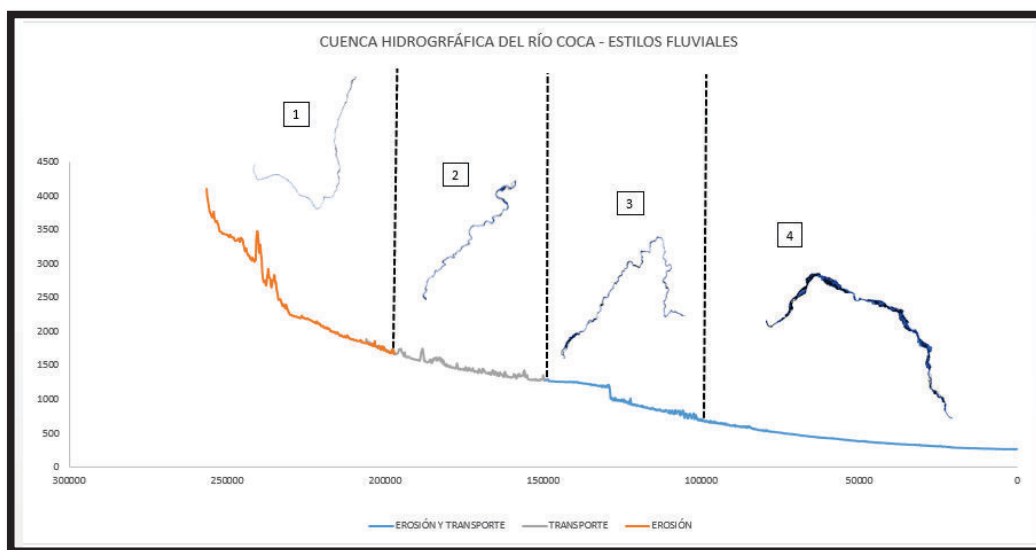
La litología es primordial en el aporte de sedimentos. Dentro de la cuenca existen dos tipos de litologías predominantes, en la parte occidental, con un porcentaje mayor al 50%, predominan las rocas metamórficas (esquistos pelíticos y grafíticos, gneis) correspondientes a las formaciones pertenecientes a la Cordillera Real, estas son resistentes a la erosión por tal motivo, la producción de sedimentos se debe a otros factores como: la actividad tectónica, fenómenos de remoción en masa y pendientes pronunciadas; y en la parte oriental de la cuenca hidrográfica está conformada por rocas sedimentarias (areniscas, lutitas y calizas) con un porcentaje igual al 65% (§4.6), en esta zona el principal aporte de sedimentos se debe a la erosión de las formaciones sedimentarias, a pesar de que el río Coca no presenta una alta pendiente y en esta área no predomina la influencia de la actividad tectónica, la carga de sedimentos incrementa debido al poder erosivo del mismo representado principalmente por su caudal líquido ( $Q_{liq} \text{ específico } (\frac{l/s}{km^2}) = 75.95$ ).

Adicionalmente el análisis de las curvas hipsométricas, destacando que las cuencas del río San Juan Grande y Cosanga son cuencas jóvenes, en consecuencia son netamente erosivas e inestables lo que coincide con lo observado en los perfiles §4.7.

En cuanto al estilo fluvial, existen cuatro tramos bien diferenciados por el cambio en su estilo (ver figura 5.3):

1. Ubicado en la cuenca alta del río Coca, en este tramo, localizado entre el nacimiento del río Cosanga y la estación H0733, el río adopta un estilo fluvial recto, porque presenta una pendiente fuerte y un carácter altamente erosivo.
2. Ubicado en la cuenca media del río Coca, entre las estaciones H0733 y H0714, en esta zona la pendiente baja su ángulo de inclinación, por ende su carácter erosivo disminuye, el río atraviesa una zona de depresión disminuyendo su capacidad de carga y convirtiéndose en un río trezado en el que predomina el transporte de sedimentos.

3. Ubicado en la zona media a baja de la cuenca hidrográfica del río Coca, empieza desde la estación H0714 hasta la ubicación del embalse compensador del PHCCS, corresponde a un río meándrico debido a la litología que atraviesa, que corresponde a lavas antiguas, y también se debe a la disminución en la pendiente del río en este tramo, los procesos que actúan predominantemente en esta sección son la erosión y el transporte.
4. Ubicado en la cuenca baja del río Coca, empezando en el embalse compensador hasta la estación H1134 cierre de la cuenca, los procesos predominantes en este tramo es la erosión y transporte, el río en esta sección adopta el estilo trezado, incrementando la cantidad de sólidos en suspensión debido a que la litología en la zona es netamente sedimentaria, esto hace que el río erosiones fácilmente su cauce.



**Figura 5.3** Cuenca hidrográfica del río Coca – Estilos fluviales.

Los diferentes estilos fluviales que se identifican a lo largo del cauce principal de la cuenca hidrográfica del río Coca están controlados por la variación de la pendiente, aporte de sedimentos e influencia del tectonismo. La sinuosidad es un parámetro que define la clasificación de los ríos, en la cuenca se observa que los valores son mayores a 1.3 lo que califica al río como meandriforme-trenzado y en las partes altas de la cuenca adoptan un estilo fluvial recto (ver §1.6.3.1), explicándose las islas vegetadas a lo largo de la cuenca hidrográfica del río Coca por condiciones climáticas de la zona que son propicias para que la vegetación

se desarrolle en poco tiempo. En la figura 5.4 se observa la imagen satelital que representa al río en cada tramo de acuerdo el perfil longitudinal del cauce principal.

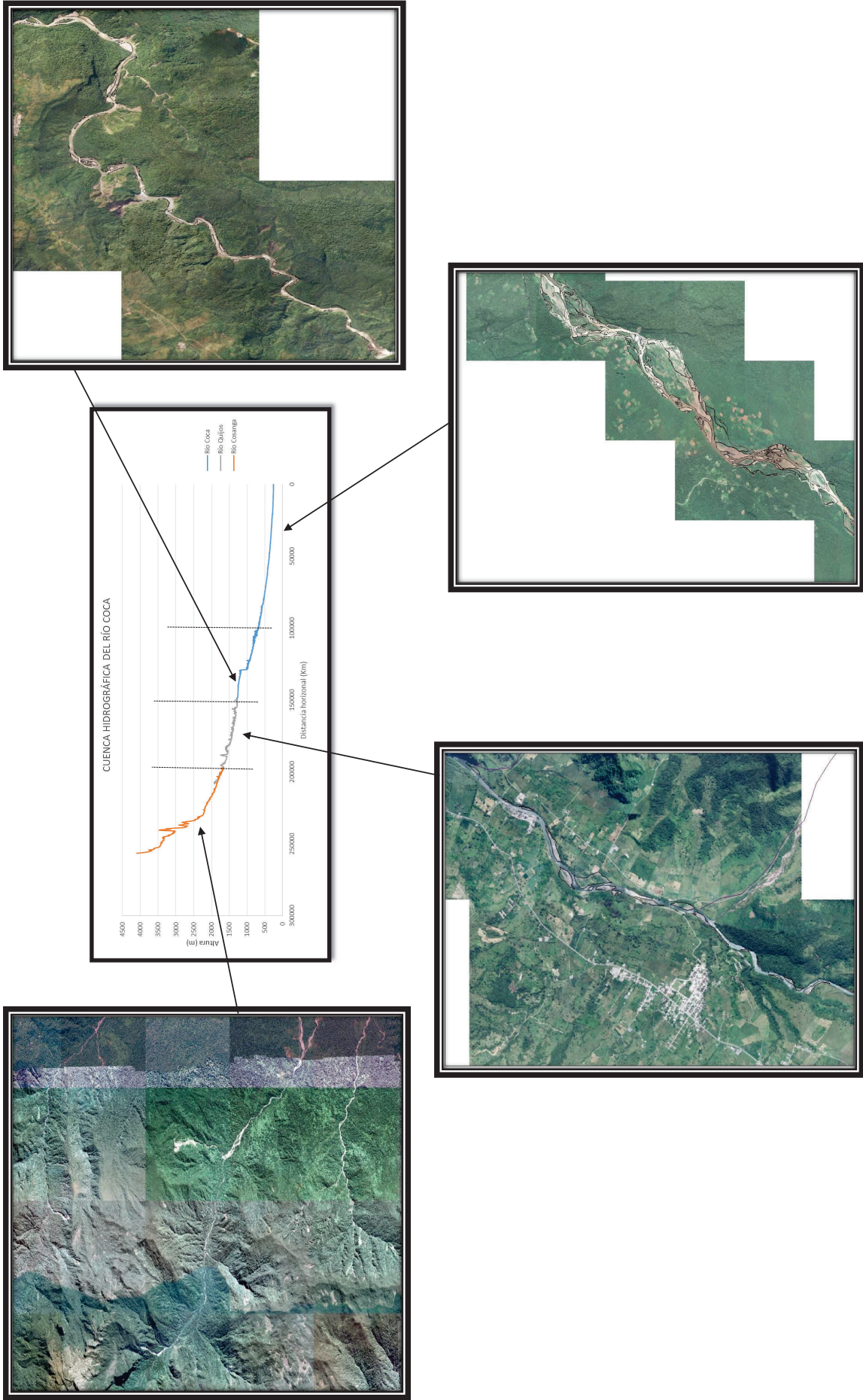


Figura 5.4 Relación entre el perfil longitudinal del cauce principal de la cuenca hidrográfica y las imágenes aéreas correspondientes a cada segmento.

## 5.2 CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en este proyecto de titulación se conoce que la cuenca hidrográfica del río Coca permanece en constante cambio, considerándose una cuenca inestable debido a la tectónica activa, misma que influye directamente en la morfología fluvial y la producción de sedimentos. La actividad sísmica derivada de la actividad tectónica cumple un rol importante en la producción de sedimentos, como lo fueron los sismos del 87' que conjugados a factores climáticos generaron una gran cantidad de sedimentos debido al mega deslizamiento producto de estos. Finalmente la actividad volcánica se presenta como una amenaza latente tanto para poblaciones cercanas como para las obras de interés económico para el país como son el SOTE y el PHCCS. A continuación se exponen conclusiones específicas concordantes con los objetivos de este proyecto de titulación:

- Cambios geomorfológicos importantes debido a la influencia del PHCCS no se pueden evidenciar dado que el tiempo que tomó la realización de este estudio coincide con la fase de construcción de las obras de la hidroeléctrica, por lo que se recomienda realizar un seguimiento durante la fase de funcionamiento de la hidroeléctrica.
- Desde mayo del 2014, fecha en la que se desvió el curso del río Coca, y considerando que la obra cumplió el pasado 16 de diciembre la primera fase de construcción, en el transcurso de aproximadamente 2 años se ha observado la formación de bancos de arena en las obras de captación, esto como producto de la alteración en el flujo ocasionando una desaceleración que desemboca en la depositación de sedimentos.
- Con base en el mapa geológico de la zona se concluye que la parte occidental de la cuenca hidrográfica está constituida en su mayoría (más del 55%) por rocas metamórficas, muy compactas, difíciles de erosionar y altamente impermeables. La parte oriental de la cuenca hidrográfica está constituida por el 65% de rocas

sedimentarias, estas son altamente permeables, fácilmente erosionables y poco compactas.

- Se ha comprobado mediante el análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales que la actividad tectónica desempeña un rol importante dentro de la cuenca, controla la morfología fluvial, es un factor importante en la producción de sedimentos y es responsable de la topografía accidentada de la parte occidental de la cuenca.
- La sub cuenca del Salado considerando que su área es 1/5 del total del área de la cuenca y que no tiene una afectación antrópica importante, es una de las principales productoras de sedimentos y aporta con un volumen de caudal líquido, que es de los más significativos dentro de la cuenca hidrográfica del río Coca. La producción de los sedimentos se debe a la significativa actividad tectónica de la zona evidenciada en la fuerte pendiente del río y sus laderas pronunciadas e inestables, estas características aunadas a una alta pluviosidad (en zonas cercanas al volcán Reventador las precipitaciones tienen valores de 6000mm mientras que en la cuenca alta toman valores de 1000 mm) generan una gran cantidad de sedimentos. El aporte del caudal líquido se supone corresponde a la pluviosidad de la zona, los deshielos del volcán Cayambe y a la vegetación de páramo que ayuda a mantener un caudal líquido base.
- Los datos de pendiente obtenidos reflejan la pendiente promedio del río, sin embargo en los gráficos de perfil de los ríos se observa variaciones bruscas de la pendiente, debido al fuerte control estructural al que están sometidos, un ejemplo de ello es el río Cosanga (ver §4.7).
- Las sub cuencas de Quijos AJ Oyacachi y Cosanga AJ Quijos, son jóvenes e inestables y presentan una curva hipsométrica fuera de los parámetros de estabilidad, esto se explica por las fallas tectónicas inversas que las atraviesan, las mismas que generan un levantamiento provocando que los ríos

pertenecientes a estas sub cuencas se desestabilicen.

- Estudios hidrológicos realizados en el área reportan CRECIDAS RELÁMPAGO, esto se debe a que se trata de una cuenca ubicada en una zona compleja tectónicamente y presenta varios pisos climáticos, por ende se debe conjugar más de un factor morfológico de la cuenca para tener una interpretación que vaya de acuerdo a las condiciones reales de misma. Es así como en nuestra cuenca se tiene un coeficiente de Gravelius (con valores de 2.78 para la cuenca en general) el cual indica que esta cuenca está sometida a CRECIDAS LENTAS Y SOSTENIDAS para la cuenca hidrográfica del Río Coca; sin embargo existen otros factores como: la densidad de drenaje (2.74 para la cuenca en general), pendientes pronunciadas (producto de la intensa actividad geodinámica la pendiente media de los ríos toman valores que van desde 1.74 hasta 7.7%); unido a la alta pluviosidad (6000-1000mm), generan una fuerte escorrentía superficial.
- Los caudales líquido y sólido son los encargados de proporcionar el estilo fluvial al río, si estos caudales son afectados ya sea naturalmente o de manera antrópica el estilo fluvial se modificaría. Esto se observa en el río Coca en el cual predominan tres estilos fluviales: recto, meándrico y trenzado (ver fig. 5.4). El tramo correspondiente al río Cosanga, desde su nacimiento hasta la estación H0731, adopta un estilo fluvial recto debido principalmente a su fuerte carácter erosivo producto de su alta pendiente. Al segmento del río comprendido entre las estaciones H0731 y H0728, que corresponde a una parte del río Quijos se le clasifica como un río trenzado, esto como resultado de la tectónica activa, esta zona se presenta como una pseudo-depresión producto de fallas inversas localizadas en los extremos del río las cuales siguen la dirección del río Quijos, generando una zona de sedimentación. El tercer segmento localizado después de la junta de los ríos Salado y Quijos, estación H0728, hasta la estación GRA, se le atribuye un estilo fluvial meándrico, esto debido a la litología que atraviesa el río, compuesta por un flujo de lava antiguo producto de la erupción del volcán



Reventador, este material volcánico es difícil de erosionar por lo que el ancho en esta zona llega a valores próximos a 1m. Finalmente, el cuarto tramo correspondiente al río Coca que empieza en la estación GRA y finaliza en la estación H1134, se lo clasifica como trezado debido a la litología (roca sedimentaria) que atraviesa, en este segmento el río mantiene un carácter erosivo por lo que el caudal sólido aumenta y por este motivo existe mayor presencia de bancos de arena en este tramo.

- La actividad volcánica además de aportar con sedimentos al río, como se observó en la erupción de noviembre del 2002 del volcán Reventador, se considera una amenaza latente para las obras del PHCCS; a pesar de que las obras de captación están localizadas previas al volcán Reventador, y el drenaje que presenta en la actualidad desemboque posterior a estas obras, existe una influencia directa por parte de las nubes de ceniza en caso de una erupción tipo VEI 3, ya que la nube de ceniza está dirigida hacia el occidente y afectaría directamente a las sub cuenca ubicadas en la parte alta de la cuenca del río Coca y por ende el material volcánico depositado en las pendientes sería removido por las precipitaciones y llevado por los tributarios hacia el río Coca. Si la erupción es de tipo VEI 4 esta afecta directamente a las obras de captación, embalse compensador y la casa de máquinas, sin contar que el material depositado en las pendientes de la cuenca alta será removilizado y llevado por los tributarios hacia el río Coca.
- La zona de la cuenca hidrográfica del río Coca es conocida por presentar una gran cantidad de sismos poco profundos y en algunas ocasiones con magnitudes mayores a 4° en la escala de Richter. En sismos con magnitudes mayores a 4°, como los ocurridos en el 87' se concluye que la generación de sedimentos no depende únicamente de la magnitud del sismo, sino también de factores como el clima, topografía y vegetación.

- De la figura 4.18 se concluye que los sismos siguen un lineamiento tectónico, dicho lineamiento controla en gran parte la morfología del cauce principal. Se observa también que existe una concentración de eventos sísmicos en la zona en donde se desarrolló el modelo tectónico y que corresponden a las fallas interpretadas en Google Earth.
- Los sismos ocurridos en el 87' fueron los causantes de la reactivación de la red de fallas en la zona y en consecuencia un incremento en el número de eventos sísmicos que se evidencia hasta la actualidad, otra consecuencia de estos sismos fue el aumento en el caudal sólido producto de la desestabilización de las laderas (§ 4.10).

Finalmente como recomendación para poder evaluar el impacto que tiene geodinámica y las actividades antrópicas se recomienda realizar análisis con el Berilio 10 para estimar las tasas de erosión a largo plazo (10000 años) y estas estimaciones contrastar con tasas de erosión actual medidas en los caudales sólidos. De esta manera se podrá evaluar el alcance de la erosión natural comparada con la erosión eontemporánea, cuyos resultados serán la línea base para elaborar programas de manejo de sedimentos sostenibles en la cuenca hidrográfica del río Coca.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, A., Audin, L. & Eras, M., 2011. *Mapa de fallas y pliegues cuaternarios, data base, IGEPN.* s.l.:s.n.
- Armijos, E. y otros, 2013. Yields of suspended sediment and dissolved solids from the Andean basins of Ecuador. *Hydrological Sciences Journal*, 58(7), pp. 1478-1494.
- Arp, C. D., Schmidt, J. C., Baker, M. A. & Myers, A. K., 2007. Stream geomorphology in a mountain lake district: hydraulic geometry, sediment sources and sinks, and downstream lake effects.. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(4), pp. 525-543.
- Asociación Amazanga, 2003. *Para saber más.* [En línea] Available at: [www.amazanga.org/amaz.html](http://www.amazanga.org/amaz.html)
- Aspden, J. & Litherland, M., 1992. The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, 205(1), pp. 187-204.
- Baby, P., Rivadeneira, M. & Barragán, R., 2014. *La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo.* Tercera ed. s.l.:s.n.
- Benitez, S., 1995. *Evolution géodynamique de la Province Cotiere Sud-équatorienne au Crétacé supérieure – Tertiaire.* Francia: s.n.
- Bernal, C., 2009. *Contrôle géodynamique des transferts de masses entre une chaîne et son piémont: exemples du mégacône du Napo-Pastaza (Equateur-Pérou).* s.l.:s.n.
- Bernal, C. y otros, 2013. Crevasse and capture by floodplain drains as a cause of partial avulsion and anastomosis (lower Rio Pastaza, Peru).. *Journal of South American Earth Sciences*, Volumen 44, pp. 63-74.
- Bernal, C. y otros, 2011. Late Glacial and Holocene avulsions of the Rio Pastaza Megafan (Ecuador–Peru): frequency and controlling factors.. *International Journal of Earth Sciences*, 100(7), pp. 1759-1782.
- Bernal, C. y otros, 2012. Gradual diversions of the Rio Pastaza in the Ecuadorian piedmont of the Andes from 1906 to 2008: role of tectonics, alluvial fan aggradation, and ENSO events.. *International Journal of Earth Sciences*, 101(7), pp. 1913-1928.
- Brandt, S. A., 2000. Classification of geomorphological effects downstream of dams. *Catena*, 40(4), pp. 375-401.
- Brice, J. C., 1964. Channel patterns and terraces of the Loup Rivers in Nebraska. *United States Geological Survey Professional Paper.*

- Bristow, C. R. & Hoffstetter, R., 1977. *Lexique stratigraphique international: Ecuador*. C.N.R.S.. Segunda ed. s.l.:s.n.
- Cerignoni, F. J. & Rodrigues, V. A., 2015. Análisis morfométrico de la microcuenca "C" núcleo Cunha, São Paulo, Brasil. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*.
- Chorley, R. J., Schumm, S. A. & Sudgen, D. E., 1984. Geomorphology. *Earth Sciences and the Past*.
- Daly, M. C., 1989. Correlations between Nazca/Farallon plate kinematics and forearc basin evolution in Ecuador.. *Tectonics*, 8(4), pp. 769-790.
- De Berc, S. B. y otros, 2005. Geomorphic evidence of active deformation and uplift in a modern continental wedge-top-foredeep transition: example of the eastern Ecuadorian Andes. *Tectonophysics*, 399(1), pp. 351-380.
- Deniaud, Y., 2000. *Enregistrements sédimentaire et structural de l'évolution géodynamique des Andes Equatoriennes au cours du Néogène : étude des bassins d'avant-arc et bilans de masse*. Géologie Alpine, Université Joseph Fourier. *Convenio con IRD*. 157p. s.l.:s.n.
- Díaz, M., 2000. *Caracterización y reconstrucción paleogeográfica de las cuencas pre-Aptense en el Oriente ecuatoriano*. Tesis de Grado.. s.l.:s.n.
- Egüez, A. & Aspden, J., 1993. The Meso-Cenozoic Evolution of the Ecuadorian Andes. *Second International Symposium Andes Geodynamics*.
- Feininger, T., 1987. Allochthonous terranes in the Andes of Ecuador and northwestern Peru.. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 24(2), pp. 266-278.
- Gutiérrez, M., 2008. *Geomorfología*. Madrid: Pearson Educación, S.A..
- Hall, M., 2000. *Los Terremotos del Ecuador del 5 de Marzo de 1987*. Primera ed. Quito: Corporación Editora Nacional.
- Hall, M. L., 1977. *El volcanismo en el Ecuador*. s.l.:s.n.
- Haq, B. U., Hardenbol, J. & Vail, P. R., 1987. Chronology of sea levels since the Triassic.. *Science*, Volumen 235, pp. 1156-1167.
- Horna, N., 2016. *EVALUACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA Y DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL RÍO COCA EN LA ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO COCA CODO SINCLAIR*. Quito: s.n.
- Hughes, R. A. & Pilatasig, L. F., 2002. Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador. *Tectonophysics*, 345(1), pp. 29-48.

IGEPN, 2014. *Informes - Instituto Geofísico - EPN*. [En línea] Available at: <http://www.igepn.edu.ec/reventador/informes-reventador> [Último acceso: 15 Mayo 2015].

IGEPN, 2016. *Informes Sísmicos - Instituto Geofísico - EPN*. [En línea] Available at: <http://www.igepn.edu.ec/informes-sismicos>

INECEL, ASO. Firmas Consultoras, 1988. *Sismología y Tectónica. Selección de Alternativas. Anexo H. Estudio de Factibilidad Fase "A". Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair. Quito, Ecuador.. s.l.:s.n.*

INECEL, 1988. *Estudio Vulvanológico de El Reventador*. Quito: s.n.

INECEL, 1992. *Carta Geológica Regional del Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair. Escala 1 : 50000*. s.l.:s.n.

Ingeniería Civil, Blog, 2015. *¿Qué es una curva hipsométrica? - IngeCiv*. [En línea] Available at: <http://www.ingeciv.com/que-es-una-curva-hipsometrica/>

Jaillard, E. y otros, 1997. *Síntesis estratigráfica y sedimentológica del Cretáceo y Paleógeno de la cuenca oriental del Ecuador. Informe final del convenio. ORSTOM-Petroproducción. ORSTOM-Petroproducción, Quito: s.n.*

Laraque, A. y otros, 2009. Sediment budget of the Napo River, Amazon basin, Ecuador and Perú. *Wiley InterScience*, 21 Octubre.

Laraque, A. y otros, 2007. Heterogeneous Distribution of Rainfall and Discharge Regimes in the Ecuadorian Amazon Basin. *JOURNAL OF HYDROMETEOROLOGY*, Volumen 8, pp. 1364-1381.

Lawrence, S., 2009. *Fluvial Hydraulics*. New York: Oxford University Press.

Litherland, M., Aspden, J. A. & Jemielita, R. A., 1994. *The metamorphic belts of Ecuador*. s.l.:s.n.

Meade, R. H. & Moody, J. A., 2010. Causes for the decline of suspended-sediment discharge in the Mississippi River system, 1940–2007. *Hydrological Processes*, 24(1), pp. 35-49.

Mégard, F. & Lebrat, M., 1986. Los terrenos exóticos del Occidente Ecuatoriano y sus relaciones con Suramérica. *Cultura: Revista del Banco Central del Ecuador*, 8(24a), pp. 161-171.

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2012. *Coca Codo Sinclair-Ministerio de Electricidad y Energía Renovable*. [En línea] Available at: <http://www.energia.gob.ec/coca-codo-sinclair/>

Monsalve, G., 1995. *Hidrología en la Ingeniería*. s.l.:s.n.

- Naranjo, F., 2013. *Estudio Petro-Geoquímico y Cronológico de los flujos de lava emitidos por el volcán El Reventador entre 2002 a 2009*. Quito: s.n.
- Newhall, C. & Self, S., 1982. The Volcanic Explosivity Index (VEI): An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism.. *Journal of Geophysical Research* , 82(C2), pp. 1231-1238.
- Ochoa, T., 2011. Hidráulica de ríos y procesos morfológicos.. *Ecoe ediciones*.
- Posamentier, H., Allen, D. & Tesson, M., 1992. Forced regressions in a sequence stratigraphic framework: concepts, examples, and exploration significance. *AAPG Bulletin*, 76(11), pp. 1687-1709.
- Pratt, W. T., Duque, P. & Ponce, M., 2005. An autochthonous geological model for the eastern Andes of Ecuador.. *Tectonophysics*, 399(1), pp. 251-278.
- Räsänen, M., Neller, R., Salo, J. & Jungner, H., 1992. Recent and ancient fluvial deposition systems in the Amazonian foreland basin, Peru.. *Geological Magazine*, 129(3), pp. 293-306.
- Rivadeneira, M., Baby, P., Dávila, C. & Christophoul, F., 1999. *La Cuenca Oriente: estilo tectónico, etapas de deformación y características geológicas de los principales campos de Petroproducción*. Quito: Petroproducción-IRD publ..
- Scheuerlein, H., 1995. *Downstream effects of dam construction and reservoir operation*.. s.l.:s.n.
- Schumm, S., 1977. *The Fluvial System*. s.l.:The Blackburn Press.
- Schumm, S. A., 2007. *River variability and complexity*.. s.l.:Cambridge University Press..
- Schumm, S. A. & Licity, R. W., 1965. Time, space, and causality in geomorphology.. *American Journal of Science*, 263(2), pp. 110-119.
- Schuster, R. L., 1991. *The March 5, 1987, Ecuador. Earthquakes: Mass Wasting and Socioeconomic Effects*. s.l.:s.n.
- Spikings, R. A., Winkler, W., Hughes, R. A. & Handler, R., 2005. Thermochronology of allochthonous terranes in Ecuador: Unravelling the accretionary and post-accretionary history of the Northern Andes.. *Tectonophysics*, 399(1), pp. 195-220.
- Spikings, R. A., Winkler, W., Seward, D. & Handler, R., 2001. Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 186(1), pp. 57-73.
- Surian, N. & Rinaldi, M., 2003. Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy.. *Geomorphology*, 50(4), pp. 307-326.

Tolorza, V., 2015. *MAGNITUD Y DINÁMICA DE LA EROSIÓN INTEGRADA DE CUENCA EN EL RÍO BIOBÍO*. Santiago de Chile: s.n.

Tschopp, H. J., 1953. Oil explorations in the Oriente of Ecuador, 1938-1950. *AAPG Bulletin*, 37(10), pp. 2303-2347.

Vallejo, C., 2007. *Evolution of the Western Cordillera in the Andes of Ecuador (Late Cretaceous-Paleogene)*. s.l.:s.n.

Vallejo, C. y otros, 2009. Mode and timing of terrane accretion in the forearc of the Andes in Ecuador.. *Geological Society of America Memoirs*, Volumen 204, pp. 197-216.

Vuille, M., Bradley, R. S. & Keimig, F., 2000. Climate variability in the Andes of Ecuador and its relation to tropical Pacific and Atlantic sea surface temperature anomalies. *Journal of Climate*, 13(14), pp. 2520-2535.

White, H. & Barragan, R., 1997. *Reservoir characterization of the Napo Formation, Oriente basin, Ecuador. Part II: Napo T sandstone*. s.l.:s.n.

Winkler, W. y otros, 2005. The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador.. *Journal of South American Earth Sciences*, 19(1), pp. 5-19.

Witt, C. y otros, 2006. Development of the Golfo de Guayaquil (Ecuador) as an effect of the North Andean block tectonic escape since the Lower Pleistocene. *Tectonics*, Volumen 25.

Wittmann, H. y otros, 2011. Recycling of Amazon floodplain sediment quantified by cosmogenic  $^{26}\text{Al}$  and  $^{10}\text{Be}$ .. *Geology*, 39(5), pp. 467-470.

## **ANEXOS**

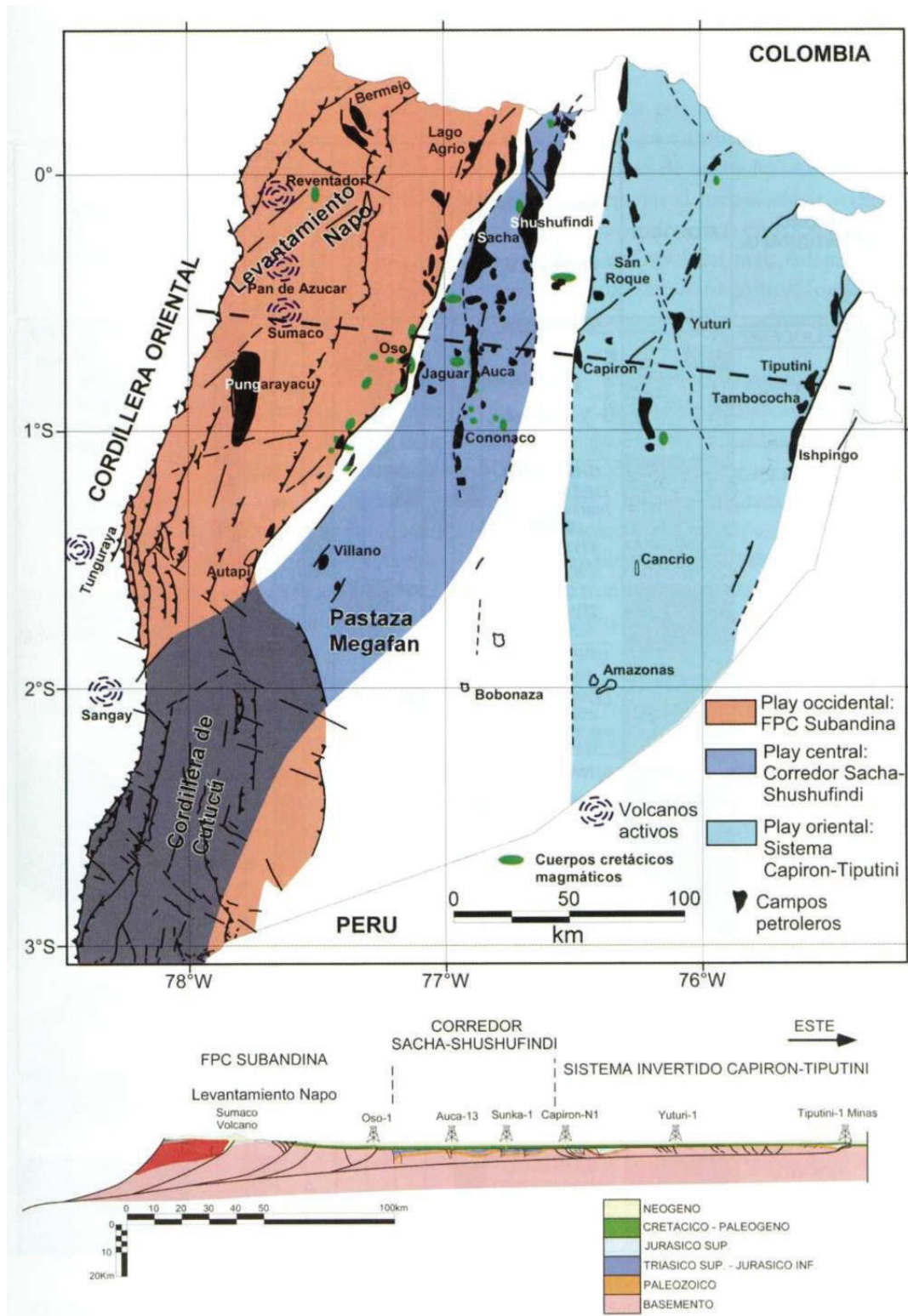


**ANEXO 1**  
**ESTACIONES METEOROLÓGICAS (Horna, 2016)**

Código	Nombre	Tipo	Entidad	WGS84-17S			Período de registro		
				N	E	H	Precipitación	Temperatura	H. Rel
M0186	El Coca Inamhi	CO	INAMHI	9948078	946549	290	1966-1985	1982-1985	1982-1985
M0188	Papallacta	CO	INAMHI	9957879	818211	3150	1949-2014	-	1963-2014
M0200	Santa Cecilia	CP	INAMHI	9991198	953505	298	1973-1981	1982-1991	1982-1991
M0201	El Chaco Incecel	CP	INAMHI	9962059	854443	1570	1976-1993	1982-1993	1982-1993
M0203	Reventador	AUTO, PV	INAMHI	9994944	886728	1145	1973-2014	-	-
M0205	San Rafael-Napo	AUTO	INAMHI	9988441	879887	1353	1975-2000	-	1982-1993
M0208	Rio Salado-Incecel	CP	INAMHI	9977488	872747	1310	1978-1993	1982-1993	1982-1993
M0215	Baeza	CP	INAMHI	9948858	845820	1960	1974-1993	1982-1993	-
M0293	Palmoriente-Huashito	CP	INAMHI	9965717	937603	288	1985-2013	-	1985-2010
M0436	Cuyuja	AUTO, PV	INAMHI	9954166	830859	2380	1982-2014	-	-
M0486	Borja-Mision Josefina	PV	INAMHI	9953599	853173	1500	1965-2001	-	-
M0490	Sardinas	AUTO	INAMHI	9957616	854143	1573	1972-2009	-	-
M0545	Oyacachi	PV	INAMHI	9962737	837451	3130	1974-1992	-	-
M0546	Cosanga	PV	INAMHI	9931370	847992	1930	1972-1992	-	-
M0699	Borja Sur	PV	INAMHI	9947753	861839	2038	1979-1993	-	-
M0701	Salado Aj Cascabel	PV	INAMHI	9990408	840737	1540	1980-1994	-	-
M0703	Codo Sinclair Inferior	PV	INAMHI	9997786	908055	875	1980-1994	-	-
M0704	San Juan Grande	PV	INAMHI	9966703	838721	2167	1980-1993	-	-
M0705	Sarahurco Sur	PV	INAMHI	9977710	840395	2880	1980-1994	-	-
M0706	Cosanga Superior	PV	INAMHI	9927838	841149	2304	1980-1993	-	-
M0707	Murallas Del Medio	PV	INAMHI	9960453	861999	2260	1980-1993	-	-
M0708	Cabeceras Santa Rosa	PV	INAMHI	9974664	849960	1628	1980-1993	-	-
M0714	Planada Virgen	PV	INAMHI	10001478	848601	3095	1982-1993	-	-
M0825	El Chaco Inamhi	PV	INAMHI	9962533	855215	1593	1972-1981	-	-
M1124	Sierrazul	CO	INAMHI	9925039	841890	2240	1996-2013	-	-
M1203	Lumbaqui	AUTO, CP	INAMHI	10004477	907887	580	1997-2014	-	-
C12	Quijos Campamento	PV	EPMAPS	9948347	828843	2705	2010-2015	-	-
P34	Papallacta	PV	EPMAPS	9958251	818480	3140	2003-2015	-	-
P37	Salve Faccha	PV	EPMAPS	9974475	816830	3849	2004-2015	-	-
P38	San Simón	PV	EPMAPS	9942660	817489	4320	2004-2015	-	-
P44	Guaytaloma	PV	EPMAPS	9967445	820654	3747	2004-2015	-	-
P46	Chalpi Grande	PV	EPMAPS	9961270	824699	2820	2007-2015	-	-

## **ANEXO 2**

**Mapa y sección estructural de la Cuenca Oriente, con sus tres corredores estructurales-petrolíferos (Tomado de Baby et al., 2014).**



### **ANEXO 3**

**Recopilación De Información Sobre La Actividad Volcánica Del Reventador, Periodo 2002-2012. (Modificado de IGEPN pág. web)**

<b>Sismos debido a fallas tectónicas cercanas al volcán Reventador</b>
<b>Actividad q afecta directamente al Río Coca</b>
<b>Periodo de actividad eruptiva</b>

### AÑO 2002

FECHA	ACTIVIDAD (VT/LP)	CENIZA	LAVA	LAHARES	PRECIPITACIONES	OBSERVACIONES
Noviembre 3	x	x	x	-	-	Flujos piroclásticos, los cuales llegaron hasta la carretera Baeza-Lumbaqui, cerrando el paso a la altura de la cascada de San Rafael
Noviembre 4	x	x	x	-	-	La zona de mayor afectación comprende el valle del río Quijos, entre la población de Manuel Galindo y la población de El Reventador. Flujos piroclásticos por las quebradas Marquer y Montana
Noviembre 5	x	x	x	-	-	Flujos piroclásticos pequeños que descendían por la quebrada Montana
Noviembre 6	x	x	-	-	-	Caída de ceniza en El Chaco
Noviembre 7	x	x	-	-	-	Volúmenes bajos de ceniza.
Noviembre 8	x	x	-	-	-	Bajos contenidos de ceniza. Sin embargo en un sobrevuelo se observó que en días anteriores los flujos piroclásticos descendieron, principalmente, por la quebrada Montana y, una parte muy pequeña, se encausó por la quebrada Marker.
Noviembre 9	x	-	x	-	-	-
Noviembre 10	x	x	x	x	x	Caída de ceniza en las poblaciones de El Salado y El Reventador.

									Flujos de lodo ocasionaron el cierre de la carretera Chaco- El Reventador en la zona de la quebrada Marquer.
Noviembre 11	x	x	-	x	x	x	x	x	Flujos de lodo los cuales cubrieron la vía Quito-Lago Agrio.
Noviembre 12	x	x	x	x	-	-	-	-	Caída de ceniza en Papallacta
Noviembre 14	x	x	x	x	-	-	x	-	
Noviembre 15	x	-	x	x	x	x	x	x	Flujos de lodo cubrieron nuevamente la carretera Quito-Lago Agrio.
Noviembre 16	X	-	X	X	-	-	-	-	Incandescencia en el flanco nor-oriental del cono volcánico.
Noviembre 17	X	-	X	X	x	x	x	x	Incandescencia en el flanco nor-oriental del cono volcánico. Lahar baja por las quebradas Marquer y Montana, comunicando temporalmente a la vía Chaco-Reventador.
Noviembre 18	X	x	X	X	-	-	-	-	Columna de ceniza alcanza 2km sobre el cono.
Noviembre 19	x	-	-	-	x	x	x	x	Olor a azufre en Quito, descenso de lahares por la quebrada Marquer y Montana
Noviembre 20	-	-	X	X	x	x	x	x	Lahar arrasó con el puente provisional en el río Montana
Noviembre 21	-	x	-	-	x	x	x	x	Lahares descienden por las quebradas Marquer y Montana. Olor a azufre en Quito
Noviembre 22	-	-	X	X	-	-	-	-	Disminución en la actividad
Noviembre 23	-	-	x	x	-	-	-	-	Disminución en la actividad

Noviembre 24	x	x	x	x	-	-	-	Incremento de actividad
Noviembre 25	-	x	x	x	-	-	-	Nube con poco contenido de ceniza incandescencia en el cráter.
Noviembre 26	-	x	x	x	-	-	-	-
Noviembre 27	-	-	x	x	-	-	-	-
Noviembre 28	x	-	-	-	-	-	-	Ligero incremento en la amplitud del tremor
Diciembre 1	-	x	-	-	-	-	-	Pocas concentraciones de ceniza.
Diciembre 2	x	-	x	x	x	x	x	Remoción de material piroclástico pre-existente que bajo por los cauces de los ríos Montana y Marquer, lo cual provocó la generación de nubes de vapor con ceniza en el sector. Se reportó la generación de flujos de lodo que bajaron por el río Montana y ocasionaron ciertos problemas en la carretera.
Diciembre 3	-	-	-	-	-	-	x	-
Diciembre 4	-	-	-	-	-	-	x	-
Diciembre 9	-	-	-	x	x	x	x	Flujo de lodo que bajo por el cauce del río Reventador y provocó importantes daños al puente localizado en ésta zona y a la carretera, lo que causo como consecuencia el cierre de la vía Lago Agrio -Quito
Diciembre 10	-	-	-	x	x	x	x	Flujo de lodo que bajo por el cauce del río Reventador y provocó importantes daños al puente localizado en ésta zona y a la carretera, lo que causo como consecuencia el cierre de la vía Lago Agrio -Quito



Diciembre 17	-	-	-	-	x	x	Lahares que al momento continúan descendiendo por las quebradas Marquer y Montana.
Diciembre 27	-	-	-	-	-	x	-
Diciembre 28	-	-	-	-	-	x	-

### Año 2003

FECHA	ACTIVIDAD (VT/LP)	CENIZA	LAVA	LAHARES	PRECIPITACIONES	OBSERVACIONES
Enero 6	-	-	-	-	x	Lluvias sin lahar
Enero 7	-	-	x	-	-	Flujo de lava se movilizó de forma muy lenta
Enero 11	-	-	x	-	-	Parte frontal del flujo está congelado impidiendo el avance
Enero 12	-	-	x	-	-	Flujo de lava sigue avanzando lentamente
Enero 29	-	-	-	-	x	Lluvias en el sector
Febrero 1	x	-	x	-	-	Tremor de muy baja intensidad, emisión de lava y avance de los dos flujos de lava, debe mantenerse, aunque muy lentamente. No se observa por alta nubosidad
Febrero 2	x	-	x	-	-	Tremor de muy baja intensidad, emisión de lava y avance de los dos flujos de lava, debe



Febrero 20	-	-	-	-	x (material fino)	x	Desemboca en quebrada Río Montana, obstrucción de carretera
Febrero 21	-	-	-	-	x (material fino)	X	Desemboca en quebrada Río Montana, obstrucción de carretera
Febrero 23	-	-	-	-	-	X (lluvia intensa)	Crecida de agua y lodo en quebrada Márker, obstaculiza vía.
Febrero 24	-	-	-	-	x	X (lluvia intensa)	Descendió por quebrada Márker y Reventador
Febrero 28	-	-	-	-	-	X (lluvia moderada)	Genera crecidas poco significativas en las quebradas Márker, Reventador y Montana, pero sin consecuencias importantes sobre la vía.
Marzo 02	-	-	-	-	-	x	Crecida en la quebrada Márker que fue suficiente para obstaculizar la vía.
Marzo 03	-	-	-	-	X	X (lluvias intensas)	Agua lodosa descendió por las quebradas Márker y El Reventador
Marzo 04	-	-	-	-	x	x	Ocurrieron crecidas. En el cerro El Copete se registran descenso de lahares.
Marzo 11	-	-	-	-	-	X (15 y 30mm)	Incremento del caudal de los ríos Reventador y Márker
Marzo 12	X	-	-	-	-	X (15 y 30mm)	Incremento del caudal de los ríos Reventador y Márker
Marzo 16 (incremento VT, híbridos)	X	-	-	-	x	X (lluvias importantes 9-14mm en menos de 20 min.)	Se tuvo un incremento leve a moderado de los caudales de los ríos Marquer y Reventador.
Marzo 20	X	-	-	-	x	X (lluvias importantes 9-14mm en menos de 20 min.)	Se tuvo un incremento leve a moderado de los caudales de los ríos Marquer y Reventador.

Marzo 24	-	-	-	-	-	X(Lluvias intensas, 10mm/60min))	Crecidas moderadas o leves, tanto en los ríos Marker y Montana, como en el río Reventador.
Marzo 27	-	-	-	-	-	X (48 mm/8h)	Crecidas moderadas o leves, tanto en los ríos Marker y Montana, como en el río Reventador.
Marzo 28	-	-	-	-	-	X (48 mm/8h)	Crecidas moderadas o leves, tanto en los ríos Marker y Montana, como en el río Reventador.
Abril 6	x	-	-	-	-	x	Crecidas moderadas o leves, tanto en los ríos Marker y Montana, como en el río Reventador.
Abril 7	x	-	-	-	-	X (duración 1a3h)	Crecida de agua y lodo que bloqueó la vía en los cruces con los ríos Reventador y Marker.
Abril 8	X	-	-	-	-	x	Crecida de agua y lodo que bloqueó la vía en los cruces con los ríos Reventador y Marker.
Abril 9	X	-	-	-	-	X(20mm/80min)	Generó una nueva crecida en las quebradas
Abril 10	X	-	-	-	-	X(lluvias moderadas)	Han generado mayor turbiedad en el agua pero sin aumentos significativos en los caudales.
Abril 11	x	-	-	-	-	X (lluvias moderadas)	Han generado mayor turbiedad en el agua pero sin aumentos significativos en los caudales.
Abril 12	x	-	-	-	-	X (lluvias moderadas)	Han generado mayor turbiedad en el agua pero sin aumentos significativos en los caudales.
Abril 14	-	-	-	-	-	-	Sismo magnitud 3,6 a 28 km al SE del volcán.
Abril 18	-	-	-	-	-	-	Sismo magnitud 4,1 a 15 km al ESE de Lumbaquí y a 40km al ENE del volcán.
Abril 19	-	-	-	-	-	X(11mm en Montana y 12mm en reventador y 30 OVR)	Crecida leve en el Río Reventador
Abril 20	-	-	-	-	X(a la madrugada)	X (37 mm en el OVR, 71 mm en Montana y Reventador, y 5 mm en Copete)	Dos crecidas importantes en el Río Reventador y Menos importantes en el Río Marker

Mayo 5	X(tremor continuo, emisiones de gases)	-	-	-	X (caudal pico mayor a 400 m3/seg)	X lluvia intensa ((alrededor de 200 mm en menos de 24 horas)	Lahar descendiende por las quebradas de Márker y Reventador afectando la vía y la estructura tanto del oleoducto (SOTE) como del Poliducto.
Mayo 8	x	-	-	-	-	-	Pluma de vapor que se extendía unos 50 Km hacia el NW del volcán.
Mayo 22	X(registro de bandas de tremor continuo)	-	-	-	x	x	Aumento de caudal de los ríos y/o flujos de lodo
Mayo 24	X(registro de bandas de tremor continuo)	-	-	-	x	x	Aumento de caudal de los ríos y/o flujos de lodo
Mayo 27	X(registro de bandas de tremor continuo)	-	-	-	x	x	Aumento de caudal de los ríos y/o flujos de lodo, dos veces al día.
Junio 01	X(registro de bandas de tremor continuo)	-	-	-	x	x	Aumento de caudal de los ríos y/o flujos de lodo
Junio 07	-	-	-	-	X (bajo volumen)	x	Desde las 5h con duración de aproximadamente 2 h.
Junio 19	X (VT)	-	-	-	-	-	Columna de vapor con altura de 300m
Junio 20	X (VT)	-	-	-	X(en el río Reventador)	x	Crecida en el Río Reventador y Montana
Junio 22	X (VT)	-	-	-	-	x	Crecida que cortó la carretera en el sector del río Reventador.
Junio 23	x	-	-	-	-	-	Sismicidad menor a 3.4 grados.

Junio 25	X	-	-	-	-	-	Sismicidad menor a 3.4 grados.
Junio 26	-	-	-	X (En el Río Reventador y Río Marker)	X	Río Marker en el cual se cerró el tráfico debido al flujo sostenido que se registró.	
Junio 29	-	-	-	-	X	Crecidas en el río Reventador y Montana, en el segundo se cerró la vía.	
Junio 30	X	-	-	X	X	Pequeños flujos de lodo en el río Montana.	
Julio 3	X	-	-	X	X	Pequeños flujos de lodo en el río Montana.	
Julio 7	-	-	-	X	X ( Genera crecida en Río Montana y Reventador)	Lahar que descendió por el Río Montana, llegando a interrumpir la carretera Baeza – Lago Agrio.	
Julio 11	-	-	-	-	X	Genera crecida en Río Montana y Reventador)	
Julio 28	X	-	-	-	-	Pequeño evento tectónico a 16 km al oeste del Reventador, con una profundidad de 12 km	
Julio 30	X(actividad tremórica)	-	-	X	-	Pequeño lahar que descendió por el Río Montana.	
Agosto 4	-	-	X	-	-	Descendió un poco de lava por el Río Montana. No confirmado.	
Agosto 9	-	-	-	X ( de máxima intensidad)	X	Se registró en Montana Alto, Montana Bajo y Reventador Bajo. Personal de la estación Chaco-Santa Rosa confirmó que descendió una avalancha de rocas y lodo	

Septiembre 22	X	-	-	-	X	X	-
Septiembre 28	x	-	-	-	X	x	-
Septiembre 30	X	-	-	-	x	X	Lluvia moderada, duración 4h
Octubre 1	x	-	-	-	X	-	Duración 4h.
Octubre 19	x	-	-	-	x	X (lluvia intensa)	Causó inconvenientes en la vía por lo que el tráfico fue cerrado.
Octubre 20	x	-	-	-	x	X (lluvia intensa)	No causó inconvenientes.
Octubre 29	X	-	-	-	x	x	Presencia de 2 lahares, el primero cerró la vía por algunas horas.
Noviembre 2	x	-	-	-	x	x	-
Noviembre 7	x	-	-	-	x	x	Presencia de 2 lahares, lluvia intensa en la zona de El Reventador
Noviembre 9	x	-	-	-	x	x	Reportes de lluvia en la zona del Reventador con aumento de intensidad hacia la tarde.
Noviembre 11	X	-	-	-	x	X	Presencia de dos eventos. Se reportan lluvias en la zona del y alrededor del volcán
Noviembre 12	X	-	-	-	X	X	Se reportan lluvias en la zona del y alrededor del volcán.
Noviembre 14	X	-	-	-	X	x	-
Noviembre 26	x	-	-	-	x	X	Duración de 1 h.
Diciembre 30	x	-	-	-	x	X	Se desbordó el río Reventador y flujos de lodo ocasionaron el cierre de la vía.
Diciembre 31	x	-	-	-	x	X	Se desbordó el río Reventador y flujos de lodo ocasionaron el cierre de la vía.

## AÑO 2004

FECHA	ACTIVIDAD (VT/LP)	CENIZA	LAVA	LAHARES	PRECIPITACIONES	OBSERVACIONES
Febrero 21	X (incremento al doble en relación de las semanas pasadas)	-	-	-	-	Se observó una pluma que salía del Reventador con dirección al NNE.
Marzo 9	x	-	-	x	-	Ocasión que la vía en el sector del Reventador, permaneciera cerrada hasta el mediodía.
Marzo 10	x	-	-	x	X	-
Marzo 11	x	-	-	x	X	-
Marzo 15	-	-	-	x	X	-
Marzo 16	-	-	-	x	X	-
Marzo 19	-	-	-	x	X	-
Marzo 23	-	-	-	x	X	-
Marzo 26	-	-	-	x	X	-
Marzo 29	-	-	-	x	X	-
Abril 03	-	-	-	x	X	-
Abril 08	-	-	-	x	X	Flujo importante de lodo.
Abril 13	-	-	-	x	X	-
Abril 20	-	-	-	x	X	Lluvias ligeras en la zona del volcán según información reportada desde el Sote-Reventador.
Mayo 2	-	-	-	x	X (lluvias intensas)	Se registran 3 eventos.
Mayo 7	-	-	-	x	x	Primer pulso duró 2h30, segundo pulso duró 3h00 y fue más intenso. Personal del SOTE indicó que el río Reventador estaba crecido desde la



									noche del día 7 de mayo, y que se formó una gran zanja que cerró el paso por la vía El Chaco – Lumbaquí.
Mayo 8	-	-	-	-	-	x	X (durante todo el día)	x	Primer pulso duró 2h, segundo pulso duró 1h y fue de menor intensidad.
Mayo 9	-	-	-	-	-	-			Los lahares de los días anteriores estaban acompañados por una crecida en los ríos que descienden del volcán
Mayo 15	-	-	-	-	-	x	x	x	Existieron dos pulsos.
Mayo 16	-	-	-	-	-	x	x	x	Se presentó un pulso en horas de la madrugada.
Mayo 17	-	-	-	-	-	x	x	x	Se presentó un pequeño lahar.
Mayo 26	-	-	-	-	-	x	x	x	-
Junio 01	-	-	-	-	-	x	X (lluvia intensa)	x	-
Junio 03	-	-	-	-	-	x	X (lluvia durante todo el día)	x	Caudal normal de los ríos pero el agua tenía alto contenido de sedimento.
Junio 04	-	-	-	-	-	x	x	x	-
Junio 05	-	-	-	-	-	x	x	x	Reportan lluvias durante toda la noche y mañana de este día
Junio 07	-	-	-	-	-	x	x	x	-
Junio 08	-	-	-	-	-	x	x	x	Alta nubosidad en la zona del volcán.
Junio 30	-	-	-	-	-	x	x	x	-
Julio 11	-	-	-	-	-	x	x	x	Aumento en el caudal de las quebradas o la generación de flujos de lodo.
Julio 23	X	-	-	-	-	-	-	-	Incremento importante en la sismicidad del volcán.
Julio 26	-	-	-	-	-	x	x	x	Posibles crecidas de agua y lodo. Leve.
Julio 30	-	-	-	-	-	x	x	x	Dos pulsos moderados y uno leve.
Julio 31	-	-	-	-	-	x	x	x	Dos pulsos moderados y uno más intenso.
Agosto 8	-	-	-	-	-	x	x	x	3 señales relacionadas con lahares o crecidas de agua en la zona del volcán.
Agosto 19	-	-	-	-	-	x	x	x	Aumento del caudal de los ríos de la zona.

Agosto 25	-	-	-	-	-	X	-
Agosto 31	-	-	-	-	X	X	-
Septiembre 9	-	-	-	-	-	X	Aumento del caudal en los ríos de la zona.
Septiembre 25	X	-	-	-	-	-	Se registraron 3 enjambres con un total de 160 eventos muy pequeños.
Octubre 1	X	-	-	-	X	X	Relacionadas con lahares o crecidas de agua y lodo
Octubre 4	X	-	-	-	X	X	Enjambre sísmico con magnitudes menores a 2
Octubre 6	-	-	-	-	X	X	Relacionados con flujos de lodo o crecidas de agua lodosa
Octubre 8	X	-	-	-	-	-	Se registró un tremor espasmódico (constituido por VTs)
Octubre 11	X	-	-	-	-	-	Tremor espasmódico constituido principalmente por VTs.
Octubre 12	-	-	-	-	X	X	Relacionada con flujo de lodo o crecida de agua lodosa.
Octubre 18	X	-	-	-	-	-	Enjambre sísmico conformado por 36 eventos volcano-tectónicos (relacionados con fracturas de rocas).
Octubre 19	-	-	-	-	X	X	Relacionada con un flujo de lodo y/o crecida de agua lodosa.
Octubre 27	X	-	-	-	-	-	Enjambre sísmico conformado por aproximadamente 47 eventos volcano-tectónicos (relacionados con fracturas de rocas).
Noviembre 5	X	X	-	-	-	-	Nube de gases y ceniza que alcanzó 100m de altura.
Noviembre 6	X	-	X	-	-	-	Flujo de lava deslizándose por el flanco sur oriental. Sin datos de magnitud. Adicionalmente presencia de emisiones de gases saliendo de los flancos del volcán.

Noviembre 7	x	-	x	x	X (lluvias intensas)	Varias señales laháricas.
Noviembre 9	x	-	x	-	-	Material descendiendo por el flanco sur oriental.
Noviembre 13	x	x	-	-	x	Emisión de gases y posiblemente ceniza.
Noviembre 27	x	-	x	-	-	Material lávico que está rellenando el cráter, es probable que se haya generado un flujo de lava en dirección al borde sur del volcán.
Noviembre 28	x	-	x	-	-	Material lávico que está rellenando el cráter, es probable que se haya generado un flujo de lava en dirección al borde sur del volcán.
Diciembre 2	x	x	-	-	-	Columna de gas con dirección sur oeste de aproximadamente 30 km de longitud.
Diciembre 3	x	-	X	-	-	Se observa actividad stromboliana, emisión de lava sin presencia de ceniza.
Diciembre 5	x	-	x	x	X (lluvia intensa)	Flujo de lodo que desciende por el río Reventador, duró 9h.
Diciembre 11	x	-	X	x	-	Nuevo material había desbordado por el lado Sur del cráter y un flujo de lava descendía hacia la cabecera del río Marker.
Diciembre 12	x	-	x	-	-	Flujo de lava descendiende por la zona del cauce del Río Montana. El frente llego a una cota 2595msnm con espesor de 15 a 20m
Diciembre 17	-	-	-	x	X	Duración promedio de 100min.
Diciembre 19	-	-	-	x	x	Dos pulsos relacionados con flujos de lodo o crecidas.

## Año 2005

FECHA	ACTIVIDAD (VT/LP)	CENIZA	LAVA	LAHARES	PRECIPITACIONES	OBSERVACIONES
Enero 04	-	-	-	X	X	Se registraron dos eventos al interior de la caldera.
Enero 06	-	-	-	X	X	Se registraron 3 eventos al interior de la caldera.
Enero 11	-	-	-	X	X	-
Enero 15	-	-	X	X	X	EL flujo se mueve alrededor de 30m/día.
Enero 18	-	-	-	X	X	Sin problemas en la zona.
Enero 19	-	-	-	X	X	Sin problemas en la zona.
Enero 31	-	-	-	X	X	-
Febrero 2	-	-	-	-	X	-
Febrero 7	-	-	-	X	X	Pequeño
Febrero 8	-	-	-	X	X	Pequeño
Febrero 10	-	-	-	X	X	Carácter moderado.
Febrero 14	X	-	-	X	X	-
Febrero 17	X	-	-	X	X	-
Febrero 18	X	-	-	X	X	-
Febrero 19	X	-	-	X	X	-
Febrero 21	X	-	-	X	X	La señal sísmica relacionada con flujos de lodo o aumento del caudal de las quebradas.
Marzo 02	X	-	-	X	X	Se registraron 2 pulsos.
Marzo 04	X	-	-	X	X	-
Marzo 07	X	-	-	X	X	-
Marzo 13	X	-	-	X	X	-
Marzo 15	X	-	-	X	X	-
Marzo 29	-	-	-	X	X	-
Abril 06	X	-	X	-	-	Material incandescente desciende.

Abril 08	x	X	X	(dirección W-NW)	-	-	Actividad estromoliana, lava emitida desde el cráter.
Abril 11	x	X	-	x	-	-	La columna alcanzaba solo 100m de altura y no salía del cráter.
Abril 12	x	-	-	x	-	-	Nuevo flujo que toma la misma dirección que el flujo de noviembre del 2004.
Abril 13	x	-	-	X	x	x	Pequeño lahar.
Abril 23	x	-	-	x	x	x	La señal duró 2 h.
Abril 24	x	-	-	X	-	-	El flujo de lava se encuentra entre 1-2km para llegar a la serie de cascadas que termina en el río Coca
Abril 26	x	-	-	x	x	X (lluvia intensa)	-
Mayo 01	x	-	-	X	-	-	El flujo presenta 3 lóbulos: 1) restringido al cauce del río Marker, se encuentra sobre una cascada de 20m. de caída. 2) Sigue la ruta de 11/2002 y no está restringido a un valle. 3) Se encuentra al Oeste.
Mayo 06	x	-	-	x	x	x	Flujo de lava avanza alrededor de 200m., continua avanzando por el cauce del río Marker.
Mayo 15	x	X	X	X	-	-	Presencia de columna de gas y ceniza de 3km de altura con poco contenido de ceniza.
Mayo 16	X	X	X	X	-	-	Presencia de columna de gas y ceniza de 3km de altura con poco contenido de ceniza.
Mayo 18	x	-	-	X	x	x	Duración del flujo de lodo 50min.
Mayo 19	x	-	-	x	x	x	Se reporta agua lodosa en la cascada de San Rafael. Esto se mantiene hasta el mediodía.

Mayo 23	x	-	X	-	-	-	El flujo de lava continúa moviéndose encausado en la quebrada del río Márker.
Mayo 25	x	-	x	-	-	X	-
Mayo 26	x	-	X	x	X (lluvia intensa)	-	-
Mayo 27	x	-	x	x	X (lluvia moderada)	-	-
Junio 2	x	X	X	-	-	-	Se incrementa la actividad sísmica y existe emisión de ceniza esporádicamente.
Junio 04	x	-	X	x	-	X	-
Junio 05	x	X	X	-	-	-	El flujo está descendiendo por el cauce del río Márker y se encuentra cerca de la confluencia del río Montana. Emisión esporádica de ceniza.
Junio 06	x	X	X	-	-	-	-
Junio 08	x	X	X	-	-	-	La pluma de vapor y ceniza se dirige hacia el Sur oeste del volcán.
Junio 17	x	X	X	-	-	-	Nubes de gases y cenizas fueron más constantes
Junio 19	x	X	X	x	x	x	Inició en la parte alta del volcán.
Junio 20	x	X	X	x	x	x	-
Junio 21	x	X	X	-	-	-	Carga media a baja en ceniza.
Junio 22	x	X	X	x	x	x	-
Junio 26	x	X	X	-	-	-	Se observó un hongo de 2 a 3 km de altura con una carga media de ceniza. Y Se observó material incandescente arrojado hacia el flanco Norte y Noreste del cono.

Junio 29	x	X	X	-	-	-	Se observó un hongo de 2 a 3 km de altura con una carga media de ceniza.
Julio 04	x	X	X	-	-	-	Reportes indican que se observa actividad estromboliana con columna de aproximadamente 2km.
Julio 06	X	-	-	X	X	X	El lahar provocó la crecida del río Marker y Montana, sin provocar problemas en la zona. La actividad sísmica disminuye.
Julio 17	X	X	X	X	X	X	Columna de ceniza rumbo al sur occidente.
Julio 19	X	X	X	X	X	X	Incremento en el caudal (agua turbia) en las quebradas Márker, Montana y Reventador.
Julio 21	X	X	X	-	-	-	El contenido de ceniza es poca dentro de la columna de gases.
Julio 27	x	X	X	X	X	X	-
Agosto 05	x	X	X	-	-	-	Generación de evento explosivo que provocó la salida de material incandescente en forma de bloques.
Agosto 18	x	x	x	-	-	X	Concentración media de ceniza, en dirección SW.
Septiembre 01	X	-	-	X	X	X	No tuvo reportes visuales.
Septiembre 02	x	-	-	X	X	X	Se correlaciona con las lluvias en la zona.
Septiembre 08	x	-	-	-	-	X	-
Septiembre 12	x	X	X	-	-	X	Se formó una nube de gas y ceniza de 4-5km de alto, se observa gran cantidad

Septiembre 15	x	X	-	-	-	x	de fragmentos de roca incandescente que descendían por los flancos.
Septiembre 18	x	x	-	-	-	x	Se genera una explosión que emite una pequeña cantidad de ceniza.
Septiembre 20	x	X	-	-	-	-	Se produjo una ligera caída de ceniza en El Chaco, San Francisco de Borja y Baeza.
Septiembre 21	x	-	-	-	-	-	-
Septiembre 22	x	-	-	-	-	x	Posible crecida en el río Reventador, pero no se reporta ninguna novedad.
Septiembre 23	x	x	-	-	-	x	El Chaco reporta una "nube blanca" acercándose desde El Reventador.
Septiembre 24	x	X	-	-	-	-	Se observó una pluma con ceniza que alcanzó una altura de unos 5 km y se dirigió al Noroccidente
Octubre 01	x	X	-	-	-	x	Se pudo observar algo de ceniza.
Octubre 03	x	x	-	-	-	-	Baja carga de ceniza.
Octubre 06	x	X	-	-	x	x	-
Octubre 07	x	x	-	-	X	X (lluvia intensa)	Bajo contenido de ceniza.
Octubre 10	x	X	-	-	-	-	-
Octubre 13	x	x	-	-	-	-	Bajo contenido de ceniza.
Octubre 14	x	X	-	-	-	-	Moderada a baja carga de ceniza.
Octubre 15	x	-	-	-	-	-	Explosión genera vibración en Hostería El Reventador.
Octubre 17	x	x	-	-	-	-	Concentración media de ceniza.
Octubre 23	x	-	-	-	x	X (lluvias intensas)	Se formó en la parte alta de la caldera del volcán.
Octubre 24	x	-	-	-	-	-	Sismo fuertemente sentido cerca de El chaco magnitud 4.7



Octubre 27	x	-	-	-	-	X (lluvia intensa)	-
Noviembre 01	x	-	-	x	x		Posibles crecidas.
Noviembre 02	x	-	-	x	x		Posibles crecidas.
Noviembre 13	x	-	-	x	x		Posible aumento de caudal o lahar.
Noviembre 14	x	-	-	x	x		-
Noviembre 15	x	X (N-NE)	-	-	-		Presencia de ceniza entre los 20000 y 30000 pies snm.
Noviembre 20	x	X (N-NE)	-	-	-		Columna de vapor y ceniza con una altura de 100m. aprox.
Noviembre 25	x	X (Caída de ceniza en la Hostería El Reventador)	-	-	-		Columna de vapor y ceniza con una altura de 2 km de altura con dirección al sur-este y una concentración alta de ceniza.
Noviembre 26	x	x	-	-	-		Presencia de ceniza en el ambiente.
Noviembre 27	x	x	-	-	-		Contenido de ceniza variable, se dirige hacia el Oriente.
Noviembre 30	x	x	-	-	-		Ceniza en dirección NW-SW
Diciembre 01	x	x	-	-	-		Emisión de vapor con ceniza poco energética.
Diciembre 07	x	-	-	x	x		Posibles crecidas en los drenajes del volcán. Lluvias toda la noche.
Diciembre 08	x	-	-	x	x		Posibles crecidas en los drenajes del volcán. Lluvias toda la noche.
Diciembre 12	x	-	-	-	x		-

Diciembre 16	x	-	-	-	x	x	Esta señal sísmica puede estar asociada con flujos de lodo o aumento del caudal de las quebradas.
Diciembre 20	-	-	-	-	-	x	-
Diciembre 22	-	-	-	-	-	x	-
Diciembre 24	-	-	-	-	-	x	-
Diciembre 25	-	-	-	-	-	x	Sector del volcán nublado; fuertes lluvias en la zona.

### AÑO 2006

FECHA	ACTIVIDAD (VT/LP)	CENIZA	LAVA	LAHARES	PRECIPITACIONES	OBSERVACIONES
Enero 01	-	-	-	x	x	-
Enero 05	-	-	-	-	x	-
Enero 06	-	-	-	x	X (fuertes lluvias)	-
Enero 15	-	-	-	x	x	-
Febrero 25	-	-	-	x	x	Movilización de un flujo de lodo en el lado sur de la caldera.
Febrero 26	x	x	-	-	-	La columna de vapor, gas y ceniza alcanzo una altura de 500m aprox. de altura y se dirigió hacia el sur-occidente.
Marzo 08	-	-	-	x	x	-
Marzo 18	-	-	-	x	x	-
Abril 20	-	-	-	x	x	-
Abril 23	-	-	-	x	x	-
Mayo 01	-	-	-	x	X (lluvia intensa)	-
Mayo 08	-	-	-	x	x	-

Junio 01	-	-	-	-	-	X	X	-
Junio 06	-	-	-	-	-	X	X	-
Junio 22	-	-	-	-	-	X	X	-
Junio 23	-	-	-	-	-	X	X	-
Junio 27	-	-	-	-	-	X	X	-
Julio 01	-	-	-	-	-	X	X	-
Julio 02	-	-	-	-	-	X	X	-
Julio 14	-	-	-	-	-	X	X	-
Julio 23	-	-	-	-	-	X	X	Calificada como moderada.
Julio 24	-	-	-	-	-	X	X	-
Julio 25	-	-	-	-	-	X	X	-
Julio 28	-	-	-	-	-	X	X	-
Agosto 02	-	-	-	-	-	X	X	Se restringe solo al interior de la caldera.
Agosto 10	-	-	-	-	-	X	X	-
Agosto 16	-	-	-	-	-	X	X	-
Agosto 19	-	-	-	-	-	X	X	-
Agosto 27	-	-	-	-	-	X	X	-
Agosto 30	-	-	-	-	-	-	-	Eventos tectónicos cercanos al Reventador localizados en la parte Occidental y Sur oriental del volcán.
Septiembre 04	-	-	-	-	-	X	X	-
Septiembre 10	-	-	-	-	-	X	X	-
Septiembre 11	-	-	-	-	-	X	X	-
Septiembre 13	-	-	-	-	-	X	X	-
Septiembre 14	-	-	-	-	-	X	X	-
Septiembre 16	-	-	-	-	-	X	X	-

Septiembre 22	-	-	-	-	-	-	X	-
Septiembre 26	-	-	-	-	-	-	X	-
Octubre 02	-	-	-	-	-	-	X	-
Octubre 06	-	-	-	-	-	-	X	-
Octubre 07	-	-	-	-	-	-	X	-
Octubre 10	-	-	-	-	-	-	X	-
Octubre 14	-	-	-	-	-	-	X	-
Octubre 15	-	-	-	-	-	-	X	-
Octubre 26	-	-	-	-	-	-	X	-
Octubre 30	-	-	-	-	-	-	X	-
Noviembre 03	-	-	-	-	-	-	X	X (lluvia intensa)
Noviembre 07	-	-	-	-	-	-	X	-
Noviembre 13	-	-	-	-	-	-	X	-
Noviembre 20	-	-	-	-	-	-	X	-
Diciembre 05	-	-	-	-	-	-	X	-
Diciembre 12	-	-	-	-	-	-	X	-
Diciembre 26	-	-	-	-	-	-	X	-
Diciembre 27	-	-	-	-	-	-	X	-
Diciembre 28	-	-	-	-	-	-	X	-

## AÑO 2007

FECHA	ACTIVIDAD (VT/LP)	CENIZA	LAVA	LAHARES	PRECIPITACIONES	OBSERVACIONES
Enero 01	-	-	-	X	X	-
Enero 08	-	-	-	X	X	-
Enero 12	-	-	-	X	X (lluvias moderadas)	-
Enero 16	-	-	-	X	X	-
Enero 17	-	-	-	X	X	-
Enero 19	-	-	-	X	X	-
Enero 22	-	-	-	X	X	Se registraron 3 señales de lahares durante toda la tarde.
Enero 25	-	-	-	X	X	Se registraron 3 señales de lahares durante la tarde y noche.
Enero 27	-	-	-	X	X	-
Febrero 14	-	-	-	X	X	-
Febrero 19	-	-	-	X	X	-
Febrero 20	-	-	-	X	X	-
Febrero 22	-	-	-	X	X	-
Febrero 26	-	-	-	X	X	-
Marzo 01	-	-	-	X	X	-
Marzo 04	-	-	-	X	X	-
Marzo 05	-	-	-	X	X	-
Marzo 07	-	-	-	X	X	-
Marzo 10	-	-	-	X	X	-
Marzo 11	-	-	-	X	X	-
Marzo 16	-	-	-	X	X	-
Marzo 19	X	-	-	X	X (lluvia moderada)	Desciende por el lado norte del volcán.
Marzo 20	X	-	-	X	X	Desciende por el lado sur del volcán.
Marzo 21	X	X	-	-	X	La cantidad de ceniza es muy baja y se dirige hacia el occidente.

Marzo 24	x	x	x	x	-	-	La cantidad de ceniza fue moderada se dirigió hacia el occidente y se reportó incandescencia en el cráter.
Marzo 26	x	x	x	x	-	-	Se reporta material incandescente en el cráter y un penacho que se dirige al occidente
Marzo 27	x	x	x	x	-	-	La columna se dirige hacia el occidente.
Marzo 28	x	-	x	x	-	-	Salida de un flujo de lava por el lado sur del cráter que avanza entre 100 y 200 metros de su origen.
Marzo 29	x	x	x	x	-	-	Contenido moderado de ceniza.
Marzo 30	x	x	x	x	x	X (fuertes lluvias)	El lahar desciende por el lado norte de la caldera. El penacho tiene un contenido moderado de ceniza que se dirige hacia el occidente.
Marzo 31	x	x	x	x	-	-	Contenido moderado de ceniza y material incandescente que desciende por el lado sur del volcán.
Abril 03	x	x	x	x	-	-	Poca cantidad de ceniza y en dirección al Occidente.
Abril 04	x	-	x	x	-	-	Bloque s incandescentes ruedan por el flanco sur del volcán (zona de río Marker)
Abril 08	x	x	x	x	-	-	Poca cantidad de ceniza en dirección Nor-occidente.
Abril 13	x	x	x	x	x	x	El flujo de lava avanza por el flanco sur del cono
Abril 21	x	x	x	x	-	-	Ligero contenido de ceniza.
Abril 23	x	x	x	-	-	x	Pequeña cantidad de ceniza.
Abril 25	x	-	-	-	x	x	-
Abril 30	x	-	-	-	-	x	-

Mayo 02	x	-	-	-	-	-	X (lluvias intensas)	-
Mayo 05	x	-	-	-	-	-	X (lluvias intensas)	-
Mayo 06	x	-	-	-	-	-	X (lluvias intensas)	-
Mayo 09	x	-	-	-	-	x	x	-
Mayo 15	x	-	-	-	-	x	x	-
Mayo 18	x	-	-	-	-	x	x	-
Mayo 22	-	-	-	-	-	x	x	-
Mayo 25	-	-	-	-	-	x	x	-
Junio 07	-	-	-	-	-	x	x	-
Junio 08	-	-	-	-	-	x	x	-
Junio 11	-	-	-	-	-	x	x	-
Junio 12	-	-	-	-	-	x	x	-
Junio 15	-	-	-	-	-	x	X (lluvias intensas)	-
Junio 19	-	-	-	-	-	x	x	Lahar en la parte alta del volcán.
Junio 20	-	-	-	-	-	x	x	Lahar en la parte alta del volcán.
Junio 21	-	-	-	-	-	x	x	Lahar en la parte alta del volcán.
Julio 08	-	-	-	-	-	x	X (lluvias intensas)	-
Julio 13	-	-	-	-	-	x	x	Posible lahar o crecida al interior de la caldera.
Julio 15	-	-	-	-	-	x	X (lluvias intensas)	-
Agosto 28	-	-	-	-	-	x	x	-
Agosto 29	-	-	-	-	-	x	x	-
Septiembre 04	x	x	-	-	-	x	x	Bajo contenido de ceniza.
Septiembre 09	x	x	-	-	-	-	X (lluvias moderadas)	Bajo contenido de ceniza.

Septiembre 13	-	-	-	-	-	X	-	-
Septiembre 18	X	X	-	-	-	-	Bajo contenido de ceniza. Con dirección al Nor-occidente.	-
Septiembre 28	-	-	-	-	-	X	-	-
Octubre 09	-	-	-	-	-	X	-	-
Octubre 30	-	-	-	-	-	X	-	-
Octubre 31	-	-	-	-	-	X	-	-
Noviembre 03	-	-	-	-	-	X	-	-
Noviembre 04	-	-	-	-	-	X	-	-
Noviembre 06	-	-	-	-	-	X	-	-
Noviembre 10	-	-	-	-	-	X	-	-
Noviembre 14	-	-	-	-	-	X	-	-
Noviembre 15	-	-	-	-	-	X	-	-
Noviembre 16	-	-	-	-	-	X	-	-
Noviembre 30	-	-	-	-	-	X	-	-
Diciembre 08	-	-	-	-	-	X	-	-
Diciembre 16	-	-	-	-	-	X	-	-
Diciembre 19	-	-	-	-	-	X	-	-
Diciembre 24	-	-	-	-	-	X	-	-



Diciembre 25	-	-	-	-	-	X	-
Diciembre 26	-	-	-	-	-	X	-
Diciembre 27	-	-	-	-	-	X	-
Diciembre 28	-	-	-	-	-	X	-

### AÑO 2008

FECHA	ACTIVIDAD (VT/LP)	CENIZA	LAVA	LAHARES	PRECIPITACIONES	OBSERVACIONES
Enero 05	-	-	-	X	X	-
Enero 24	-	-	-	X	X	-
Enero 27	-	-	-	X	X	-
Enero 29	-	-	-	X	X	-
Febrero 10	-	-	-	X	X	-
Febrero 11	-	-	-	X	X	-
Febrero 12	-	-	-	X	X	-
Febrero 13	-	-	-	X	X	4 lahares
Febrero 14	-	-	-	X	X	-
Febrero 16	-	-	-	X	X	-
Febrero 22	-	-	-	X	X(lluvias intensas)	-
Marzo 05	-	-	-	X	X	-
Marzo 07	-	-	-	X	X (lluvias intensas)	-
Abril 04	-	-	-	X	X	-
Abril 09	-	-	-	X	X	-
Abril 11	-	-	-	X	X	-
Abril 16	-	-	-	X	X	-
Abril 20	-	-	-	X	X	-

Mayo 22	-	-	-	-	-	X	-	-
Julio 02	-	-	-	-	-	X	-	-
Julio 08	-	-	-	-	-	X	-	-
Julio 09	-	-	-	-	-	X	-	-
Julio 27	X	X	X	-	-	-	-	Presencia de un flujo de lava que descendió hacia el lado sur de la caldera. Bajo contenido de ceniza. Caída de ceniza en la parte nor-occidental de la caldera.
Agosto 18	X	-	-	-	-	X	-	-
Septiembre 09	-	-	-	-	-	X	-	-
Septiembre 16	-	-	-	-	-	X	-	-
Septiembre 22	-	-	-	-	-	X	-	-
Septiembre 29	-	-	-	-	-	X	X (lluvia intensa)	Crecida en el río Márker
Noviembre 09	-	X	-	-	-	-	-	Contenido de ceniza de moderado a bajo y se dirige hacia el Occidente.
Noviembre 10	X	X	X	-	-	-	-	Bajo a moderado contenido de ceniza dirigiéndose hacia el occidente
Noviembre 11	X	-	X	-	-	-	-	Desciende material incandescente por los flancos norte y sur.
Noviembre 12	X	-	X	-	-	-	-	Material incandescente en la parte baja del volcán.

## AÑO 2009

FECHA	ACTIVIDAD (VT/LP)	CENIZA	LAVA	LAHARES	PRECIPITACIONES	OBSERVACIONES
Enero 26	-	-	-	X	X	-

Febrero 27	-	-	-	-	-	X	-	-
Marzo 01	-	-	-	-	X	X	-	-
Marzo 18	-	-	-	-	X	X	-	-
Marzo 26	X	X	-	-	-	-	-	-
Abril 23	X	-	X	-	-	-	-	Material incandescente descendiente por el flanco sur-occidental
Junio 27	-	-	-	-	X	X	-	-
Julio 18	-	-	-	-	X	X	-	Se registran dos pequeños lahares.
Agosto 15	-	X	-	-	-	-	-	Nube de ceniza en dirección Oeste.
Octubre 05	X	-	X	-	-	-	-	Posible descenso de lava.
Octubre 16	X	-	X	-	-	-	-	Material incandescente descendiente por el flanco sur del volcán.
Octubre 18	X	-	X	-	-	-	-	Presencia de incandescencia en el flanco sur del volcán.
Octubre 22	X	-	X	-	-	-	-	Se confirma el avance del flujo en dirección oriental y sur-oriental dentro de la caldera.
Octubre 28	X	X	X	-	-	-	-	Cantidad moderada de ceniza.
Octubre 31	X	X	X	-	-	-	-	Emisión de ceniza en una cantidad moderada a alta, con una altura de hasta 1,5 km. Y que se dirigía hacia el Oeste.

## Año 2010

FECHA	ACTIVIDAD (VT/LP)	CENIZA	LAVA	LAHARES	PRECIPITACIONES	OBSERVACIONES
Enero 11	-	-	-	X	X	-
Febrero 23	-	-	-	X	X	-
Marzo 22	X	X	-	-	-	Tres emisiones de ceniza vista desde el campamento situado en PHCCS.
Marzo 30	-	-	-	X	X	-

Abril 14	x	x	-	-	-	-	Vista desde Lago Agrio. Poco contenido de ceniza.
Abril 20	x	x	-	-	-	-	Columnas de emisión con poco contenido de ceniza y flujos piroclásticos pequeños por el flanco sur
Abril 26	x	x	-	-	-	-	Cantidad moderada de ceniza que alcanza una altura de 500m sobre la cumbre
Mayo 08	-	-	-	x	-	X	-
Mayo 25	-	-	-	x	X (lluvia intensa)	-	Fuertes lluvias que generan un lahar grande que causa la destrucción sobre el río Marker, inhabilitando la vía.
Junio 25	-	-	-	x	-	X	-
Julio 23	x	x	-	-	-	-	Se observaron dos explosiones, con contenido medio a bajo de ceniza y dirección al NW.
Septiembre 28	x	x	-	-	-	-	La nube de ceniza con contenido leve se eleva unos 400 a 500m sobre la cumbre con dirección al norte. Desde el campamento ubicado en PHCCS se reporta otra emisión de ceniza con una altura de 1km y contenido moderado.
Septiembre 29	x	x	-	-	-	-	Bajo contenido de ceniza
Octubre 06	x	x	-	-	-	-	Posible contenido de ceniza con 1km de altura.

## Año 2011

FECHA	ACTIVIDAD (VT/LP)	CENIZA	LAVA	LAHARES	PRECIPITACIONES	OBSERVACIONES
Enero 09	-	-	-	-	X (lluvia intensa)	Crecida en el río Reventador.
Enero 27	X	-	-	-	-	Relacionados a movimientos de fluidos
Febrero 06	-	-	-	X	X	Flujos de lodo por los drenajes norte y sur de la caldera, de aproximadamente 1 hora de duración.
Febrero 07	-	-	-	X	X	Flujos de lodo por los drenajes norte y sur de la caldera, de aproximadamente 1 hora de duración.
Marzo 24	-	-	-	X	X (lluvia Intensa)	La señal dura 2 h.
Marzo 25	-	-	-	X	X (lluvia intensa)	El lahar afectó la vía Quito- Lago Agrio.
Agosto 21	-	-	-	X	X (lluvia intensa)	-
Octubre 29	-	X	-	-	-	Cayó en las cercanías del cráter.

## AÑO 2012

FECHA	ACTIVIDAD (VT/LP)	CENIZA	LAVA	LAHARES	PRECIPITACIONES	OBSERVACIONES
Febrero 09	X	-	X	-	-	Flujo de lava tomó dirección al NE.
Febrero 10	X	X	-	-	-	Pluma de ceniza con dirección NW.
Febrero 11	X	X	X	-	-	Emisiones de ceniza con leve contenido de ceniza. Incandescencia y flujo de lava en dirección del sector de Azuela. Ligeras lluvias
Abril 12	X	X	X	-	-	Baja cantidad de ceniza.
Noviembre 16	X	X	-	-	-	Cantidad importante de ceniza. La columna alcanzó los 4km.
Noviembre 17	X	X	-	-	-	Se reporta que hubo una leve caída de ceniza entre los sectores del

							Reventador hasta el Chaco. Ligera lluvia en la tarde
Noviembre 21	x		x	-	-	-	En la mañana se observó emisiones de vapor con bajo contenido de ceniza y en algunos instantes pulsos caracterizados por un aumento en el contenido de ceniza. Las emisiones alcanzaron una altura de 2 km snc y se dirigieron hacia el occidente
Noviembre 24	x		x	-	-	-	La mayor parte del tiempo el volcán ha permanecido nublado. Durante la tarde de hoy se observó una columna de emisión de vapor con contenido bajo de ceniza de aproximadamente 1.5 km snc y con dirección hacia el nor-occidente.

## **ANEXO 4**

**Recopilación De Información Sobre La Actividad Sísmica, Periodo  
1955-2014 (Modificado de IGEPN pág. web)**

## AÑO 1955

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Mayo 11	6.8	DESCONOCIDA	-0,200000	-77,800003	-

## AÑO 1964

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Enero 31	4.6	33	-0,180000	-77,919998	-

## AÑO 1973

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Enero 13	4.4	34,5	-0,453000	-78,022003	-

## AÑO 1975

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Octubre 29	4.1	71	-0,010000	-77,904999	-



## AÑO 1982

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Noviembre 26	4.5	108.09	-0,176000	-77,857002	-

## AÑO 1983

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Junio 04	4.3	33	-0,358000	-78,067001	-

## AÑO 1986

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Julio 13	4.8	0.7	-0,598000	-77,962997	-

## AÑO 1987

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Marzo 05	6,1	14	0,048000	-77,653000	Desencadenó el deslizamiento más catastrófico del siglo XX. Destruyó 70 km del SOTE. Hubo

Marzo 05	6,9	10	0,151000	-77,821000	varias pérdidas humanas.
Marzo 6	7,1	12,000000	-0,087000	-77,814003	Desencadenó el deslizamiento más catastrófico del siglo XX. Destruyó 70 km del SOTE. Hubo varias pérdidas humanas.
Marzo 6	5,5	10,000000	-0,338000	-77,560997	-
Marzo 6	4,7	33	-0,242000	-78,056000	-
Marzo 6	6,0	6	0,109000	-77,869003	-
Marzo 6	4,9	56,90	-0,184000	-77,629997	-
Marzo 7	4,3	33	-0,249000	-77,820000	-
Marzo 7	4,7	59.4	-0,153000	-77,556000	-
Marzo 10	4,7	78.69	-0,130000	-77,750999	-
Marzo 10	4,5	33	-0,236000	-77,835999	-
Marzo 10	4,6	35	-0,316000	-77,775002	-
Marzo 16	4,3	34.59	-0,095000	-77,719002	-
Marzo 24	3,7	10	-0,043000	-77,751999	-

## AÑO 1988

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Junio 16	4.8	36.9	-0,151000	-77,719000	-

## AÑO 1990

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Septiembre 24	4.1	1.6	0,041000	-77,960000	-

## AÑO 1991

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Mayo 11	4.0	67	0,007000	-77,369000	-

## AÑO 1997

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Abril 06	3,0	2,70	-0,570000	-77,953000	-
Abril 23	3,0	2,62	-0,284000	-78,112000	-
Mayo 21	3,1	6,10	-0,013000	-77,302000	-
Junio 17	4,2	16,30	-0,131000	-77,417000	-
Julio 10	3,0	13,26	-0,529000	-78,065000	-
Julio 11	3,0	7,33	-0,460000	-78,188000	-
Julio 15	3,1	7,00	-0,006000	-77,952000	-
Agosto 30	3,4	2,20	-0,243000	-77,704000	-
Septiembre 29	3,7	2,15	-0,222000	-77,777000	-
Diciembre 03	3,6	-1,20	-0,294000	-77,862000	-
Diciembre 27	3,1	0,30	-0,304000	-77,857000	-

## AÑO 1998

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Junio 08	3,0	2,50	-0,172000	-77,695000	-
Junio 17	3,4	0,30	-0,407000	-78,075000	-
Septiembre 27	3,0	4,40	-0,052000	-77,254000	-
Octubre 08	3,2	4,00	-0,120000	-77,647000	-
Diciembre 02	3,3	10,00	-0,191000	-78,059000	-
Diciembre 18	3,0	0,90	-0,099000	-77,740000	-

## AÑO 1999

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Enero 14	3,2	5,70	-0,529000	-77,934000	-
Enero 27	3,1	8,80	-0,273000	-77,695000	-
Marzo 10	3,2	2,40	-0,265000	-77,594000	-
Marzo 15	3,3	3,05	0,037000	-77,944000	-
Octubre 07	4,2	DESCONOCIDA	-0,425000	-77,874000	-
Octubre 21	3,0	6,97	-0,369000	-78,198000	-

## AÑO 2000

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Enero 16	3,2	7,73	-0,415000	-78,059000	-
Marzo 12	3,0	1,30	0,031000	-77,967000	-
Marzo 17	3,0	7,60	-0,087000	-77,514000	-

Noviembre 02	3,2	1,10	-0,512000	-77,977000	-
Noviembre 06	3,5	0,90	-0,533000	-77,957000	-
Noviembre 06	3,3	3,90	-0,551000	-77,924000	-
Noviembre 29	3,0	20,00	-0,292000	-77,567000	-
Diciembre 07	3,1	0,10	-0,102000	-77,757000	-

## AÑO 2001

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Enero 24	3,7	1,40	-0,119000	-77,729000	-
Marzo 18	3,0	-1,50	0,034000	-77,922000	-
Abril 06	3,5	1,80	-0,431000	-78,056000	-
Julio 24	3,1	12,00	0,110000	-77,846000	-
Agosto 21	3,3	37,40	-0,348000	-77,612000	-
Octubre 01	3,4	3,00	0,139000	-77,951000	-
Noviembre 29	3,3	5,10	-0,301000	-77,589000	-

## AÑO 2002

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Enero 01	3,6	14,50	-0,281000	-77,836000	-
Febrero 15	3,2	14,00	-0,652000	-77,978000	-
Marzo 01	3,2	2,00	0,025000	-77,970000	-
Marzo 01	3,4	1,10	0,013000	-77,979000	-
Marzo 19	3,1	4,10	-0,657000	-77,955000	-
Abril 30	3,1	-1,20	0,022000	-77,960000	-
Junio 15	3,2	5,50	-0,029000	-77,285000	-
Junio 21	3,2	14,90	-0,702000	-77,941000	-

Junio 21	3,2	14,90	-0,702000	-77,941000	-
Diciembre 04	3,8	7,70	-0,408000	-78,210000	-
Diciembre 04	3,8	5,50	-0,401000	-78,210000	-
Diciembre 27	3.0	4.20	-0,399000	-78,214000	-

## AÑO 2003

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Febrero 08	3.1	8.70	-0,114000	-77,426000	-
Febrero 10	3.4	1.10	-0,251000	-77,652000	-
Febrero 24	4.0	238.50	1.31S	77.40W	-
Febrero 26	3.0	17.40	-0,247000	-77,715000	-
Abril 14	3.2	16.50	-0,280000	-77,491000	-
Abril 17	4.0	33.3	0.81N	76.78W	-
Abril 18	4.1	14.9	0.05S	77.28W	-
Junio 11	4.2	12.1	1.16S	77.79W	-
Julio 15	4.4	12.4	1.30S	77.63W	-
Septiembre 22	3.0	15.20	-0,572000	-77,837000	-
Noviembre 07	4.1	14.3	0.21S	77.10W	-
Diciembre 10	3.1	3.40	-0,136000	-77,770000	-
Diciembre 16	4.4	11.5	0.38S	77.54W	-
Diciembre 30	4.0	12.4	0.72S	77.97W	-

## AÑO 2004

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Enero 08	4.5	8.6	0.44S	77.92W	Fue sentido con fuerza y causó alarma en la zona. Este evento causó además cuarteamiento de pocas paredes en



Marzo 06	3.0	30.98	-0,295000	-77,534000	-
Junio 03	3.0	18.50	-0,305000	-77,510000	-
Junio 10	3.1	17.70	-0,223000	-77,716000	-
Junio 28	3.2	8.0	-0,439000	-77,922000	-
Agosto 07	4.1	12.2	1.02S	78.02W	-
Agosto 24	3.0	2.90	-0,435000	-77,896000	-
Agosto 31	4.0	35.0	1.27S	77.36W	-
Septiembre 19	4.2	14.8	1.04S	78.22W	-
Octubre 11	4.0	245.0	1.33S	77.57W	-
Octubre 24	4.8	12.0	0.47S	77.89W	-
					INTENSIDAD (describe como fue sentido en cada lugar o los efectos) Baeza: V-VI grados Mercalli. Se reportó ruptura de ventanales en el Colegio Fiscal Técnico Baeza, 4 personas heridas por cortaduras de vidrios y el cuarteamiento de las paredes en la planta baja. Escuela Fermín Inca en el coliseo se cayó una pared de bloque. 2 casas presentan paredes cuarteadas. En las casas se cayeron objetos y se abrieron las puertas, gran parte de las casas de bloque presenta vidrios rotos. El hospital reportó cuarteamiento de paredes, ruptura de vidrios y caída de objetos. (Fuente Bomberos del cantón Quijos, Hospital Estatal de Baeza) El Chaco: V grados Mercalli. Colegio Técnico Quijos se reportaron vidrios rotos, dos paredes con fisuras y desplazamiento de las planchas de eternit. En el sector de Chontaloma se reportan dos casas particulares cuarteadas y la casa parroquial. (Fuente Cuerpo de Bomberos del El Chaco) Sardinas: V grados Mercalli. Sentido muy fuerte, susto en la población y caída de objetos. Tres Cruces, Borja, Papallacta: IV grados Mercalli. Sentido fuerte. Quito, Valle de los Chillos, Tumbaco y Cumbayá: II grados Mercalli. Se sintió principalmente en edificios altos y las personas que se encontraban en reposo. EFECTOS SOBRE LOS OLEODUCTOS OCP: Se realiza inspección visual entre Baeza



							Y El Salado (Fuente OCP). SOTE: En la estación del SOTE en Sardinas se cayeron lámparas, focos y lámparas de emergencia. (Fuente SOTE) EFECTOS SOBRE LAS CARRETERAS Caída de piedras en el tramo de la carretera entre Baeza y Papallacta. No hay reporte de deslizamientos. <b>FUENTE SISMOGENICA:</b> El sismo es de origen tectónico relacionado con el sistema de fallas Traspresivas de Baeza, específicamente con la falla San José. Hay que indicar que este evento no tiene relación con el proceso eruptivo del volcán El Reventador.
Noviembre 09	5.3	276.7	1.11S	77.30W	-		
Diciembre 22	3.1	0.10	-0,410000	-77,729000	-		
Diciembre 31	4.3	6.5	0.90S	77.52W	-		

## AÑO 2006

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Enero 06	4.0	12.0	1.016S	78.087W	-
Enero 28	3.00	3.00	0,016000	-77,944000	-
Junio 12	3.3	10.70	-0,390000	-77,948000	-
Junio 18	3.1	12	-0,400000	-77,937000	-
Julio 28	4.5	3.3	0.683S	76.985W	-
Agosto 23	3,0	5,80	-0,638000	-77,983000	-
Octubre 27	3,7	2,10	0,021000	-77,969000	-

Noviembre 09	4,3	19,8	0,076S	77,439W	-
Noviembre 26	3,1	13,50	-0,306000	-77,676000	-
Noviembre 28	3,0	8,68	-0,130000	-77,746000	-

## AÑO 2007

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Enero 07	3,0	4,10	0,007000	-77,778000	-
Enero 23	4,5	12,0	0,591S	77,921W	-
Febrero 03	3,3	0,10	0,124000	-77,907000	-
Marzo 30	4,0	14,4	0,977S	77,802W	-
Abril 02	4,2	16,8	1,027S	77,478W	-
Julio 06	4,0	8,0	0,287S	77,569W	-
Julio 08	4,0	8,1	0,283S	77,555W	-
Julio 09	3,6	14,30	-0,252000	-77,516000	-
Julio 09	3,1	12,60	-0,261000	-77,509000	-
Octubre 26	4,3	7,5	0,552S	77,944W	-
Octubre 26	4,2	10,1	0,537S	77,971W	-
Octubre 26	4,0	11,1	0,542S	77,951W	-
Octubre 27	4,7	11,0	0,564S	77,958W	-
Octubre 27	4,2	10,7	0,548S	77,961W	-
Octubre 27	3,0	8,70	-0,529000	-77,983000	-
Octubre 27	3,0	1,00	-0,543000	-77,932000	-
Octubre 27	3,4	7,40	-0,542000	-77,981000	-
Octubre 27	3,0	7,20	-0,525000	-77,960000	-
Octubre 27	4,8	1,60	-0,549000	-77,932000	-
Octubre 27	3,7	8,80	-0,531000	-77,982000	-

Octubre 27	3,2	2,20	-0,546000	-77,960000	-
Octubre 27	3,3	17,20	-0,538000	-77,992000	-
Octubre 27	3,0	7,70	-0,546000	-77,966000	-
Octubre 27	3,2	8,90	-0,553000	-77,975000	-
Octubre 27	3,0	7,40	-0,526000	-77,983000	-
Octubre 27	3,2	7,90	-0,535000	-77,985000	-
Octubre 27	3,0	10,50	-0,515000	-78,010000	-
Octubre 27	3,2	0,40	-0,556000	-77,924000	-
Octubre 28	4,1	12,0	0,552S	77,978W	-
Octubre 28	3,3	2,80	-0,543000	-77,964000	-
Octubre 28	3,2	3,30	-0,541000	-77,974000	-
Octubre 28	3,0	2,90	-0,538000	-77,987000	-
Octubre 28	3,6	4,20	-0,536000	-77,978000	-
Octubre 29	3,4	9,00	-0,546000	-77,977000	-
Octubre 29	3,3	12,30	-0,516000	-78,015000	-
Octubre 29	3,2	20,00	-0,234000	-77,644000	-
Octubre 29	3,2	8,10	-0,544000	-77,980000	-
Octubre 29	3,2	4,10	-0,536000	-77,974000	-
Octubre 30	4,0	8,9	0,578S	77,961W	-
Noviembre 01	3,3	15,40	-0,124000	-77,348000	-
Noviembre 07	3,1	13,20	-0,522000	-78,008000	-
Noviembre 16	3,1	10,10	-0,519000	-77,980000	-
Noviembre 23	4,2	20,3	0,983S	77,788W	-
Noviembre 24	3,2	15,80	-0,212000	-77,710000	-
Diciembre 05	3,1	6,03	-0,324000	-77,649000	-
Diciembre 06	3,0	9,60	-0,340000	-77,591000	-

## AÑO 2008

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Enero 12	3,3	7,29	-0,197000	-77,814000	-
Marzo 06	3,2	19,02	-0,049000	-77,455000	-
Junio 09	3,3	10,30	-0,654000	-77,981000	-
Junio 16	3,1	12,63	-0,649000	-77,986000	-
Julio 19	3,0	13,37	-0,616000	-78,048000	-
Julio 31	3,1	8,66	-0,052000	-77,796000	-
Septiembre 16	3,3	8,95	0,046000	-77,952000	-

## AÑO 2009

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Enero 01	3,5	12,00	-0,404000	-78,208000	-
Enro 15	3,0	7,00	-0,273000	-77,626000	-
Marzo 01	3,0	12,74	-0,046000	-77,800000	-
Marzo 16	3,6	16,94	-0,320000	-77,534000	-
Noviembre 30	3,0	24,23	-0,097000	-77,656000	-

## AÑO 2010

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	



Enero 05	3.5	23	-0,123000	-77,760000	-
Febrero 11	3.0	4.30	-0,324000	-77,921400	-
Febrero 13	3.6	11	-0,215500	-77,855600	-
Marzo 20	4.1	7.10	-0,358800	-77,849800	-
Marzo 20	4.0	7.50	-0,350000	-77,851400	-
Marzo 22	4.0	12	-0,341000	-77,869900	-
Mayo 05	3.0	21.30	-0,083800	-77,437700	-
Mayo 05	3.0	12	-0,021775	-77,487300	-
Junio 22	3.3	30.93	-0,135309	-77,430500	-

## AÑO 2012

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Enero 3	3.1	12	-0,239341	-77,491000	-
Enero 22	3.2	4.20	-0,107257	-77,443400	-
Mayo 20	4.1	12	-0,245534	-77,525500	-
Junio 04	3.3	12	0,018293	-77,892500	-
Julio 24	4.0	12	-0,335792	-77,551100	-
Septiembre 01	3.0	12	-0,273619	-77,516300	-

## AÑO 2013

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Noviembre 21	4.0	6,74	-0,060480	-77,478500	-
Noviembre 22	3.0	5,18	-0,171273	-77,241400	-

Diciembre 03	3.0	2,46	-0,315514	-77,901000	-
Diciembre 14	3.1	10,00	-0,580286	-77,913700	-

## AÑO 2014

FECHA	MAGNITUD	PROFUNDIDAD (km.)	COORD. GEOGRÁFICAS.		OBSERVACIONES
			Lat.	Long.	
Enero 07	3,3	2,56	-0,061129	-77,776200	-
Enero 07	3,0	2,86	-0,551288	-77,970400	-
Febrero 06	4,5	11,23	-0,192261	-77,279700	-
Febrero 11	3,1	2,57	-0,460114	-77,941200	-
Febrero 17	3,0	2,66	-0,225596	-77,484700	-
Mayo 18	3,4	7,64	-0,115352	-77,681200	-
Julio 03	3,3	5,00	-0,110587	-77,591900	-
Noviembre 15	3.3	5	-0,324415	-77,586300	-
Diciembre 21	3,1	10,00	-0,281090	-78,026400	-
Diciembre 21	3,3	4,00	-0,337607	-77,904900	-
Diciembre 21	4,9	10,00	-0,326467	-77,903800	-
Diciembre 21	3,8	6,00	-0,338406	-77,889200	-

**ANEXO 5**  
**Parámetros Geomorfológicos**



**TABLA 1.- PARÁMETROS BASICOS**

<b>CÓDIGO</b>	<b>ESTACIÓN</b>	<b>ÁREA (km<sup>2</sup>)</b>	<b>PERÍMETRO (km)</b>	<b>LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (km)</b>
H0714	COCA EN SAN RAFAEL	3848.61	448.30	122.18
H0715	QUIJOS AJ BOMBON	2519.66	329.22	86.75
H0718	QUIJOS EN BAEZA	848.10	189.74	56.33
H0719	QUIJO DJ OYACACHI	2450.44	326.44	81.91
H0731	COSANGA AJ QUIJOS	502.26	154.13	57.45
H0733	QUIJOS AJ BORJA	1422.98	257.82	65.44
H0728	SALADO AJ COCA (AJ GUAYTARINGO)	848.99	188.63	69.13
GRA	COCA DJ QUEBRADA GRANADILLAS	4077.66	515.26	164.26
H1134	COCA EN SAN SEBASTIÁN	5283.74	722.44	255.45

**TABLA 2.- PARAMETROS DE DRENAJE**

<b>CÓDIGO</b>	<b>ESTACIÓN</b>	<b>ORDEN DE LAS CORRIENTES DE AGUA</b>	<b>DENSIDAD DE DRENAJE</b>
H0714	COCA EN SAN RAFAEL	4	2.85
H0715	QUIJOS AJ BOMBON	3	2.97
H0718	QUIJOS EN BAEZA	3	2.92
H0719	QUIJO DJ OYACACHI	3	2.97
H0731	COSANGA AJ QUIJOS	2	3.09
H0733	QUIJOS AJ BORJA	3	2.94
H0728	SALADO AJ COCA (AJ GUAYTARINGO)	3	2.58
GRA	COCA DJ QUEBRADA GRANADILLAS	4	2.83
H1134	COCA EN SAN SEBASTIÁN	4	2.74

**TABLA 3.- PARAMETROS DE FORMA**

<b>CÓDIGO</b>	<b>ESTACIÓN</b>	<b>COEFICIENTE DE GRAVELIUS</b>	<b>FACTOR DE FORMA</b>	<b>CAUCE PRINCIPAL</b>	<b>SINUSIDAD DEL CAUCE PRINCIPAL</b>
H0714	COCA EN SAN RAFAEL	2.02	0.7	Coca	1.65
H0715	QUIJOS AJ BOMBON	1.84	1.25	Quijos	1.94
H0718	QUIJOS EN BAEZA	1.82	0.99	Quijos	1.92
H0719	QUIJO DJ OYACACHI	1.85	1.23	Quijos	1.84
H0731	COSANGA AJ QUIJOS	1.93	0.6	Cosanga	1.99
H0733	QUIJOS AJ BORJA	1.91	1.1	Quijos	1.82
H0728	SALADO AJ COCA (AJ GUAYTARINGO)	1.81	0.63	Salado	1.88
GRA	COCA DJ QUEBRADA GRANADILLAS	2.26	0.54	Coca	1.89
H1134	COCA EN SAN SEBASTIÁN	2.78	0.32	Coca	1.98

**TABLA 4.- PARAMETROS DE RELIEVE**

<b>CÓDIGO</b>	<b>ESTACIÓN</b>	<b>PENDIENTE MEDIA DE LA SUB CUENCA</b>
H0714	COCA EN SAN RAFAEL	0.7
H0715	QUIJOS AJ BOMBON	1.25
H0718	QUIJOS EN BAEZA	0.99
H0719	QUIJO DJ OYACACHI	1.23
H0731	COSANGA AJ QUIJOS	0.6
H0733	QUIJOS AJ BORJA	1.1
H0728	SALADO AJ COCA (AJ GUAYTARINGO)	0.63
GRA	COCA DJ QUEBRADA GRANADILLAS	0.54
H1134	COCA EN SAN SEBASTIÁN	0.32

**ANEXO 6**  
**Porcentaje De Litología Por Sub CH**

CÓDIGO	ESTACIÓN	% litología									
		Depósitos Volcánicos	Roca Volcánica	Roca Metamórfica	Roca Sedimentaria	Lahares	Cuerpo Intrusivo	Deslizamientos			
H0714	COCA EN SAN RAFAEL	10	27	51	4	2	5	0,09			
H0715	QUIJOS AJ BOMBON	9	27	57	0	3	3	0,00			
H0718	QUIJOS EN BAEZA	10	40	45	0	2	0	0,00			
H0719	QUIJOS DJ OYACACHI	9	28	57	0	3	3	0,01			
H0731	COSANGA AJ QUIJOS	3	15	57	0	12	12	0,00			
H0733	QUIJOS AJ BORJA	8	31	50	0	5	4	0,00			
H0728	SALADO AJ COCA (AJ GUAYTARINGO)	12	18	54	1	1	13	0,25			
GRA	COCA DJ QUEBRADA GRANADILLAS	10	25	38	4	2	5	0,11			
H1134	COCA EN SAN SEBASTIÁN	8	23	37	25	2	4	0,08			
	OYACACHI AJ QUIJOS	6	16	78	0	0	0	0,5			
	PARTE ESTE DE LA CH DEL RÍO COCA	7	19	0	3	1	70	0,09			