



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DE DOCTORADO EN GEOGRAFÍA

ESTUDIO DE LA AMENAZA DE INUNDACIÓN EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO
ESMERALDAS A PARTIR DE GEOTECNOLOGÍAS. ECUADOR

JUAN PABLO GÓMEZ ESPINOZA

BAHIA BLANCA

ARGENTINA

2022

PREFACIO

Esta tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Geografía, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Geografía y Turismo durante el período comprendido entre el 11 de febrero 2015 y el 01 de agosto de 2022, bajo la dirección de la Dra. Alejandra Geraldi de la Universidad Nacional del Sur.

Ing. Juan Pablo Gómez Espinoza

Departamento de Geografía y Turismo

Universidad Nacional del Sur

Baía Blanca - Argentina



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el/...../..... , mereciendo la calificación de (.....)

AGRADECIMIENTOS

Quiero realizar un extensivo agradecimiento a la Universidad Nacional del Sur por permitirme iniciar en el mundo de la investigación y a todas las instituciones que proporcionaron su información para finalizar el presente tema de investigación.

Un especial agradecimiento a la Dra. Alejandra Geraldi – Directora de tesis por sus enseñanzas, tiempo, dedicación y paciencia en este largo camino. A mi esposa Patricia, mis hijos Pablito, Rafa y MaAngel por su constante apoyo y fortaleza durante todo este tiempo.

A mis padres Thelmo y María por su apoyo inquebrantable, consejos y aliento para finalizar lo iniciado. A los Ing. Rafael Santos, Daniel Padilla y Xavier Vivas por su apoyo profesional incondicional y desinteresado que facilitaron avanzar en la investigación.

Al Msc. Wilmer Guachamin del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) a los Ing. Daniel Reyes y Ing. Lizbeth Betancourt, geólogos del proyecto de acogida de suelos del Instituto Geográfico Militar (IGM) por sus valiosos aportes y cooperación en la presente investigación.

RESUMEN

La presente tesis doctoral tiene como objetivo general analizar el grado de impacto de las inundaciones provocadas por el desbordamiento de los ríos Esmeraldas y Teaone en la cuenca baja del río Esmeraldas en la Unidad Hidrográfica 1521 derivados del exceso de precipitación en las épocas invernales y durante la presencia del fenómeno del El Niño, partiendo del estudio morfológico y climatológico. El área de estudio se encuentra ubicada en la parte Norte-Oeste del Ecuador en la Provincia de Esmeraldas en los cantones Esmeraldas y Quininde.

El estudio de los parámetros morfométricos tiene como base inicial y fundamental la elaboración de un modelo digital del terreno (DTM) a escala grande 1:10000 empleando medios fotogramétricos mediante el uso de un laboratorio aéreo. La dificultad de las condiciones climatológicas y topográficas de los cantones Esmeraldas y Teaone provocaron que se ejecute diferentes misiones de vuelos sumando un total de 60,11 horas, ejecutando 316 líneas de vuelo y capturando un total de 3735 fotografías aéreas; para el enlace entre bloques y ajuste del mosaico fotogramétrico se utilizó 119 puntos geodésicos soportadas por la Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador (REGME) obteniendo un DTM local a la escala deseada.

Se realiza el estudio morfométrico partiendo del DTM local mediante la aplicación de varios índices; este análisis determina que la cuenca se encuentra en el rango altitudinal de 0 a 708,13 m.s.n.m, con una predominancia del rango entre los 0 a 300 m.s.n.m en un 70,84% del área total. Las pendientes varían entre los 0% y 208% (0° a 65°), el río Esmeraldas al ser el afluente principal tiene una pendiente media de 3,11%; en base al análisis sobre las características físicas se tiene que la cuenca tiene un tamaño catalogado entre intermedia a grande con un área de 2064,71 Km² que les permite una mayor captación de aguas.

La red de drenaje materializada es tipo déntrica de orden 7 con 1216 cursos de aguas entre perennes e intermitentes, su relación de bifurcación indica que la cuenca es susceptible a la ocurrencia de inundaciones provocadas por las crecidas bruscas, concentración de agua y descarga

de afluentes externos. La textura de suelo tiene una predominancia arcillosa y francosa con una permeabilidad media a baja, la aptitud de suelo está destinado para actividades de conservación-protección, agrícola y pecuario.

La investigación climatológica permitió identificar una estrecha correlación entre las anomalías de precipitación y las anomalías de temperatura superficial del mar cuando ocurre el fenómeno de El Niño, causante de varias inundaciones en la cuenca. Los vientos tienen una predominancia en el sentido Sur-Este y Oeste debido a la influencia de los vientos Alisios del Sur, la temperatura media anual es de 26,1°C característico de los climas húmedos y subhúmedos. Las precipitaciones alcanzan valores extremos anuales hasta los 3784,65 mm y mensuales de 683,3 mm catalogados como factores iniciadores para la determinación de la amenaza de inundación.

Por último, se aplicó un modelo modificado AHP (Analytic Hierarchy Process) para la determinación de la amenaza de inundación en función de los factores iniciador (precipitación) y de áreas susceptibles a inundación. Se establece por primera vez el análisis de amenaza por zonas de influencia debido a la particularidad que tiene la zona en relación a los valores de precipitación en los cuales se producen inundaciones; mediante el análisis histórico de las imágenes en diferentes épocas se establece como una de las causales de agravamiento de la amenaza por la expansión descontrolada de las fronteras urbanas.

ABSTRACT

The general objective of this doctoral thesis is to analyze the degree of impact of the floods caused by the overflow of the Esmeraldas and Teaone rivers in the Hydrographic Unit 1521 derived from excess precipitation in winter times and during the presence of the El Niño phenomenon, starting from the morphological and climatological study. The study area is located in the North-West part of Ecuador in the Province of Esmeraldas in the cantons of Esmeraldas and Quininde.

The study of the morphometric parameters has as its initial and fundamental basis the development of a digital terrain model (DTM) on a large scale of 1:10000 using photogrammetric means through the use of an aerial laboratory. The difficulty of the weather and topographic conditions of the Esmeraldas and Teaone cantons caused different flight missions to be executed, totaling 60,11 hours, executing 106 flight lines and capturing a total of 3735 aerial photographs; for the link between blocks and adjustment of the photogrammetric mosaic, 119 geodetic points supported by the Continuous Monitoring GNSS Network of Ecuador (REGME) were used, obtaining a local DTM at the desired scale.

The morphometric study is carried out starting from the local DTM by applying various indices; this analysis determines that the basin is in the altitude range of 0 to 708.13 meters above sea level, with a predominance of the range between 0 to 300 meters above sea level in 70,84% of the total area. The slopes vary between 0% and 208% (0° to 65°), the Esmeraldas River being the main tributary has an average slope of 3,11%; Based on the analysis of the physical characteristics, the basin has a size cataloged between intermediate and large, with an area of 2064,71 km², which allows for greater water collection.

The materialized drainage network is dendritic type of order 7 with 1216 water courses between perennial and intermittent, its bifurcation relationship indicates that the basin is susceptible to the occurrence of floods caused by sudden floods, concentration of water and discharge of external tributaries. The texture of the soil has a predominance of clay and loam with a medium to low permeability, the suitability of the soil is intended for conservation-protection, agricultural and livestock activities.

The climatological investigation made it possible to identify a close correlation between precipitation anomalies and sea surface temperature anomalies when the El Niño phenomenon occurs, causing several floods in the basin. The winds have a predominance in the South-East and West direction due to the influence of the Trade winds from the South, the average annual temperature is 26,1°C, characteristic of humid and sub-humid climates. Precipitation reaches extreme annual values of up to 3784,65 mm and monthly values of 683,3 mm, cataloged as initiating factors for determining the threat of flooding.

Finally, a modified AHP (Analytic Hierarchy Process) model was applied to determine the threat of flooding based on the initiating factors (precipitation) and areas susceptible to flooding. For the first time, the analysis of hazard by areas of influence is established due to the particularity that the area has in relation to the precipitation values in which floods occur; through the historical analysis of the images in different times, it is established as one of the causes of aggravation of the threat due to the uncontrolled expansion of urban borders.

ÍNDICE GENERAL

<i>AGRADECIMIENTOS</i>	<i>III</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>IV</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>VI</i>
<i>ÍNDICE GENERAL</i>	<i>VIII</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	<i>XIII</i>
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i>	<i>XXX</i>
<i>CAPÍTULO I</i>	<i>1</i>
<i>1 Introducción</i>	<i>1</i>
<i>2 Ubicación geográfica del área de estudio</i>	<i>5</i>
2.1 Localización	<i>5</i>
2.2 Descripción del área de estudio.....	<i>7</i>
2.2.1 Caracterización climática variada como resultado de una topografía diversa y compleja	<i>8</i>
2.2.2 Topografía	<i>10</i>
2.2.3 Cobertura y uso de suelo	<i>11</i>
2.3 Composición socio demográfica	<i>15</i>
<i>3 Antecedentes y justificación de la investigación</i>	<i>17</i>
<i>4 Hipótesis</i>	<i>28</i>
<i>5 Objetivo general</i>	<i>28</i>
<i>6 Objetivos específicos</i>	<i>29</i>
<i>CAPÍTULO II</i>	<i>30</i>
<i>1 Introducción</i>	<i>30</i>
<i>2 Materiales y métodos</i>	<i>31</i>

2.1	Laboratorios aéreos para la captura de geoinformación.....	31
2.2	Aspectos técnicos del área de toma (deseada)	33
2.3	Planificación, operación, datos de enlace GNSS y procesamiento de la información del vuelo fotogramétrico	34
2.3.1	Planificación del vuelo fotogramétrico	34
2.3.2	Operación del vuelo fotogramétrico.....	37
2.3.3	Datos geodésicos de enlace	39
2.3.4	Procesamiento de la información	41
2.4	Enlace de bloques de escala pequeña en áreas consideradas lagunas (GAPs).....	42
2.5	Puntos geodésicos históricos.....	43
2.6	Restitución.....	44
3	<i>Resultados y análisis</i>	44
<i>CAPITULO III</i>		52
1	<i>Introducción</i>	52
2	<i>Materiales y métodos</i>	53
2.1	Clasificación de la Unidad Hidrográfica 1521	53
2.2	Parámetros e índices morfométricos	59
2.3	Parámetros e índices de forma	60
2.4	Parámetros de relieve	61
2.5	Parámetros e índices de drenaje	62
2.6	Temática de suelo, uso y cobertura de suelo.....	64
2.6.1	Geopedología	64
2.6.2	Uso y cobertura del suelo	67
3	<i>Resultados</i>	69
3.1	Parámetros de forma.....	71
3.2	Parámetros de relieve	72

3.3	Parámetros de drenaje	84
3.4	El suelo su uso y cobertura como aspectos principales del comportamiento hidrológico	90
3.4.1	Geopedología	90
3.4.2	Cobertura y uso del suelo, sistemas productivos.....	105
<i>CAPÍTULO IV.....</i>		<i>109</i>
<i>1</i>	<i>Introducción</i>	<i>109</i>
<i>2</i>	<i>Materiales y métodos</i>	<i>110</i>
2.1	Análisis de estadístico de precipitación de las estaciones meteorológicas	112
2.2	Análisis de los vientos.....	114
2.3	Análisis de temperatura.....	114
2.4	Análisis de precipitación	115
<i>3</i>	<i>Resultados</i>	<i>118</i>
3.1	Análisis estadístico de la precipitación	118
3.2	Vientos	123
3.3	La temperatura como elemento climático de influencia directa en la cuenca.....	130
3.4	Precipitación: Componente principal del ciclo hidrológico	139
<i>CAPÍTULO V.....</i>		<i>175</i>
<i>1</i>	<i>Introducción</i>	<i>175</i>
<i>2</i>	<i>Materiales y métodos</i>	<i>176</i>
2.1	Metodología para la determinación de la amenaza de inundación.....	176
2.1.1	Análisis del comportamiento cuantitativo.....	177
2.1.2	Comportamiento de las precipitaciones acumuladas por periodo de retorno... 182	
2.1.2.1	Determinación de los rangos de precipitación	184
2.1.3	Análisis histórico cualitativo de inundaciones	185
2.2	Definición de áreas susceptibles a inundación	186

2.3	Determinación de la amenaza por inundación	192
2.4	Cálculo de intensidades de precipitación de 24 horas y menores	195
3	<i>Resultados</i>	197
3.1	Comportamiento cuantitativo de las precipitaciones de las estaciones en la Unidad Hidrográfica 1521	197
3.1.1	Definición de áreas de influencia de acuerdo a la ubicación de las estaciones meteorológicas	197
3.1.2	Comportamiento de las precipitaciones por periodos de retorno	205
3.1.3	Análisis cualitativo histórico	209
3.1.4	Establecimiento de los rangos de precipitación	212
3.2	Áreas susceptibles a inundación.....	216
3.3	Amenaza por inundación.....	225
	Intensidades.....	228
3.4	de precipitación de 24 horas y menores	228
	<i>CONCLUSIONES</i>	232
	<i>PROPUESTAS</i>	237
	<i>Bibliografía</i>	239
	<i>ANEXOS</i>	254
1	<i>Anexo 1: Tabla de altura absoluta de vuelo por cada línea de vuelo (se coloca una muestra en vista de que son 316 líneas de vuelo).</i>	254
2	<i>Anexo 2: Centro de exposición de cada fotografía captura (se coloca una muestra en vista de que son 3735 fotografías aéreas capturadas).</i>	257
3	<i>Anexo 3: Fotoíndices del área de toma.</i>	259
4	<i>Anexo 4: Coordenadas procesadas - monografías de PAFs en la zona de estudio.</i>	260
5	<i>Anexo 5: Comportamiento cronológico cualitativo de las inundaciones en el área de estudio.</i>	265

6	<i>Anexo 5: Fotografías de campañas de campo realizadas.....</i>	272
1	<i>Siglas y acrónimos</i>	282

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Ubicación del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base cartográfica 1: 50000 oficial del Instituto Geográfico Militar (IGM – ECUADOR).	6
Fig. 2: Ubicación de volcanes en la Cuenca del Río Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del mapa físico 1: 50000 oficial del IGM y la base geográfica del Instituto Geofísico Nacional del Ecuador (IG).	7
Fig. 3: Climas del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base cartográfica oficial 1:50.000 del IGM – ECUADOR, mapa oficial de climas del Ecuador 1:100.000 del INAMHI – Ecuador.....	9
Fig. 4: Pendientes del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base cartográfica oficial 1:50.000 del IGM – ECUADOR y el mapa oficial de suelos (variable pendiente) del ECUADOR Continental 1:250.000 del MAGAP, 2002.	10
Fig. 5: Cobertura de suelo del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base cartográfica oficial 1:50000 del IGM – ECUADOR y el mapa oficial de uso y cobertura del suelo del ECUADOR 1:250000, MAGAP 2011.	13
Fig. 6: Uso del suelo del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base cartográfica oficial 1:50000 del IGM – ECUADOR y el mapa oficial de uso y cobertura del suelo del ECUADOR 1:250000, MAGAP 2011.	14
Fig. 7: Actividad ocupacional de la población en el cantón Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia en base a la información estadística oficial del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) – Ecuador.....	16
Fig. 8: Actividad ocupacional de la población en el cantón Quininde. Fuente: Elaboración propia, sobre la de la información estadística oficial del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) – Ecuador.....	16
Fig. 9: Servicios básicos en el cantón de Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información estadística oficial del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) – Ecuador, 2010, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Esmeraldas, 2012 y Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Esmeraldas, 2012.....	17
Fig. 10: Servicios básicos en el cantón de Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información estadística oficial del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) – Ecuador, 2010, y Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Esmeraldas, 2012. ...	17

Fig. 11: Principales desastres ocurridos en el Ecuador (1900 a 2015) con relación al número de personas muertas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de la CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - CRED, s.f.).21

Fig. 12: Principales desastres ocurridos en el Ecuador (1900 a 2015) con relación al número de personas afectadas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de la CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - CRED, s.f.).22

Fig. 13: Principales desastres ocurridos en el Ecuador (1900 a 2015) con relación a los daños económicos. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de la CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - CRED, s.f.).22

Fig. 14: Inundaciones ocurridas en la Provincia de Esmeraldas desde 1970-2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos Desinventar.24

Fig. 15: Modelamiento de inundaciones en la ciudad de Esmeraldas generadas por un Tsunami de magnitud $M_w=8,4$ (tomando como referencia tsunamis sucedidos en 1906, 1942, 1958 y 1979). Fuente: Elaborado por el INOCAR, caso ciudad de Esmeraldas.....26

Fig. 16: Laboratorio aéreo IGM-628. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los equipos del IGM.31

Fig. 17: Interior del laboratorio aéreo IGM-628. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los equipos del IGM.31

Fig. 18: Base giroestabilizada ULTRAMOUNT GSM3000. Fuente: Elaboración propia, sobre la de los equipos del IGM.....32

Fig. 19: Sistema de cámara métrica digital ULTRACAMP XP del IGM. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los equipos del IGM.33

Fig. 20: Sistema de cámara métrica digital ULTRACAMP XP. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de base del manual de Vexcel Imaging GmbH (Vexcel Imaging GmbH, 2009).33

Fig. 21: Parámetros técnicos de vuelo del área de estudio en la extensión snapSHOT. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la planificación de vuelo.38

Fig. 22: Parámetros técnicos del sensor del área de estudio en la extensión snapSHOT. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la planificación de vuelo.....39

Fig. 23: Distribución de las estaciones GNSS de monitoreo continuo del Ecuador. Fuente: Elaborado por el área de Geodesia del IGM, sobre la base de la ubicación de las estaciones de monitoreo continuo.40

Fig. 24: Perfiles de las áreas de toma de fotografía aérea con zonas muertas (línea roja). Fuente: Elaborado propia, sobre la base de la información analizada en la planificación de vuelo.	42
Fig. 25: Distribución de puntos geodésicos en la zona de estudio para el procesamiento del DTM. Fuente: Elaborado propias, sobre la base de la información del Departamento de Geodesia del IGM.	43
Fig. 26: Pantalla donde se controla el plan de vuelo a ejecutarse sobre la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de las fotografías tomadas durante la ejecución del vuelo fotogramétrico.	45
Fig. 27: Control de la toma de imágenes fotogramétricas por línea de vuelo. Fuente. Elaboración propia, sobre la base de las fotografías tomadas durante la ejecución del vuelo fotogramétrico.	45
Fig. 28: Correcciones radiométricas a las imágenes fotogramétricas del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de las correcciones (manual) realizadas en el software Radiometry.	48
Fig. 29: Áreas de influencia de los ríos Esmeraldas y Teaone. Fuente: Elaboración propia, sobre la base cartográfica del DTM local generado para la Unidad Hidrográfica 1521.	54
Fig. 30: Mapa de los 5 niveles de clasificación Pfafstetter. Fuente: Elaboración propia, sobre la base cartográfica 1:50000 del IGM y al mapa base oficial de clasificación Pfafstetter 1: 250000 de SENAGUA.	58
Fig. 31: Geopedológico de la Unidad Hidrográfica 1521. Fuente: Elaboración propia, sobre el estudio geodepológico del Ecuador – IEE.	66
Fig. 32: Uso y cobertura de suelo de la Unidad Hidrográfica 1521. Fuente: Elaboración propia, sobre el estudio geodepológico del Ecuador – IEE.	68
Fig. 33: Perfil de la Cuenca del Río Esmeraldas y ubicación altitudinal de la Unidad Hidrográfica 1521 (línea entrecortada). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los valores altitudinales del DTM y curvas de nivel del IGM.	69
Fig. 34: División de la Cuenca Río Esmeraldas y ubicación de la Unidad Hidrográfica 1521. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los valores altitudinales del DTM y delimitación de las cuencas hidrográficas.	70

Fig. 35: Clasificación de altura por rangos, área y porcentaje por rango altitudinal. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la clasificación de alturas del modelo digital del terreno. ...	73
Fig. 36: Distribución de pendientes (%) por ubicación geográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis de las pendientes generada a partir de cartografía digital.....	77
Fig. 37: Distribución de pendientes (°) por ubicación geográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis de las pendientes generada a partir de cartografía digital.....	78
Fig. 38: Clasificación de pendientes (°) de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la clasificación de (Ortiz Vera, 2004) para el análisis de pendientes en región costa del Ecuador.	79
Fig. 39: Diagramación de ejes principales y secundarios de la unidad hidrográfica sobre las pendientes del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis hidrográfico del área de estudio a partir de cartografía digital	80
Fig. 40: Orientación de las pendientes Norte-Sur. Fuente: Elaboración propia, empleando el módulo Hydrology sobre la base cartográfica digital y DTM.	82
Fig. 41: Orientación de las pendientes Este-Oeste. Fuente: Elaboración propia, empleando el módulo Hydrology sobre la base cartográfica digital y DTM.	83
Fig. 42: Esquema de jerarquización de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base metodológica de Strahler.	84
Fig. 43: Orden de la red de drenaje de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, empleando el módulo Hydrology sobre la base cartográfica digital y DTM.	86
Fig. 44: Permeabilidad de suelos en la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) – Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) y base cartográfica digital del IGM (1:250000).	89
Fig. 45: Formaciones geológicas de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, en base la información digital del MAGAP – IEE, sobre la base cartográfica digital IGM.....	92
Fig. 46: Categorías de pendientes de los relieves de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información digital del MAGAP - IEE, sobre base cartográfica digital IGM.....	93
Fig. 47: Distancia entre los drenajes de la red de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información digital del MAGAP - IEE, sobre base cartográfica digital IGM.	94

Fig. 48: Taxonomía de los suelos de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información temática del MAGAP.	96
Fig. 49: Taxonomía de los suelos de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, en base la información digital del MAGAP, sobre la base cartográfica digital IGM.	97
Fig. 50: Textura del suelo superficial de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información digital del MAGAP – IEE, sobre la base cartográfica digital del IGM.	100
Fig. 51: Textura del suelo a profundidad de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información digital del MAGAP - IEE, sobre base cartográfica digital IGM.	101
Fig. 52: Drenaje natural de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información digital del MAGAP - IEE, sobre base cartográfica digital IGM.	102
Fig. 53: Profundidad efectiva de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información digital del MAGAP - IEE, sobre base cartográfica digital IGM.	103
Fig. 54: Fertilidad de los suelos de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información digital del MAGAP - IEE, sobre base cartográfica digital IGM.	104
Fig. 55: Sistemas productivos, en función de las formaciones geológicas de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información digital del MAGAP - IEE, sobre base cartográfica digital IGM.	108
Fig. 56: Estaciones meteorológicas dentro del área de estudio y cercanas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base cartográfica oficial 1:50000 del IGM – ECUADOR y al mapa oficial de la red meteorológica del ECUADOR del INAMHI 2013.	111
Fig. 57: Diagramas de caja de los datos pluviométricos de las estaciones en el periodo de 1980 a 2015. Fuente: Elaboración propia, en base a los datos de las estaciones de Esmeraldas, Tachina, Teaone, Sague y Quinindé.	120
Fig. 58: Diagramas de caja de los datos pluviométricos mensuales de las estaciones en el periodo de 1980 a 2015. Fuente: Elaboración propia, en base a los datos de las estaciones de Esmeraldas, Tachina, Teaone, Sague y Quinindé.	123
Fig. 59: Frecuencia de dirección de los vientos (%) (1), velocidad media de vientos (Km × h-1) (2), estación meteorológica Tachina. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la	

información histórica proporciona por la DAC en el aeropuerto de Tachina, periodo 1980-2015.	125
Fig. 60: Frecuencia de dirección de los vientos (%) (1), velocidad media de vientos (Km × h-1) (2), estación meteorológica Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica proporciona por el INOCAR, periodo 1981-2015.	126
Fig. 61: Velocidad media mensual de vientos (Km × h-1), aumento de velocidad media de viento entre los meses de julio a diciembre. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de la estación Tachina (DAC), periodo 1981-2015.	126
Fig. 62: Velocidad media mensual de vientos (Km × h-1), aumento de velocidad media entre los meses de julio a diciembre. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de la estación Esmeraldas (INOCAR), periodo 1981-2015.	127
Fig. 63: Frecuencia de dirección de los vientos (%) (1), velocidad de vientos (Km × h-1) (2), estaciones meteorológicas de Tachina (1,2) y Esmeraldas (3, 4); época lluviosa diciembre a junio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica proporciona por la DAC (1980-2015) e INOCAR (1981-2015).	128
Fig. 64: Frecuencia de dirección de los vientos (%) 1, velocidad de vientos (Km × h-1) (2), estaciones meteorológicas de Tachina (1,2) y Esmeraldas (3, 4); época relativamente seca julio a noviembre. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica proporciona por la DAC (1980-2015) e INOCAR (1981-2015).	129
Fig. 65: Isotermas de temperaturas medias de Unidad Hidrográfica 1521. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los datos meteorológicos de las estaciones: M058 - Tachina (DAC), M269 - Esmeraldas (INOCAR) y M156 - Quinde (INAMHI) e INOCAR, periodo 1980-2015.	131
Fig. 66: Distribución de la temperatura media mensual, media mensual máxima y mínima (°C) de la estación meteorológica de Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporciona por INOCAR (1981-2015).	132
Fig. 67: Anomalías de temperaturas medias (°C) de la estación meteorológica de Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporciona por INOCAR (1981-2015).	133

Fig. 68: Distribución de la temperatura media anual, media anual máxima y mínima (°C) de la estación meteorológica de Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por INOCAR (1981-2015). 133

Fig. 69: Distribución de la temperatura media mensual, media mensual máxima y mínima (°C) de la estación meteorológica de Tachina. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por la DAC (1980-2015). 134

Fig. 70: Distribución de la temperatura media anual, media anual máxima y mínima (°C) de la estación meteorológica de Tachina. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por la DAC (1980-2015). 134

Fig. 71: Anomalías de temperaturas medias (°C) de la estación meteorológica de Tachina. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por la DAC (1980-2015). 135

Fig. 72: Distribución de la temperatura media anual, media anual máxima y mínima (°C) de la estación meteorológica de Quinindé. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por el INAMHI (1978-2015). 136

Fig. 73: Distribución de la temperatura media mensual, media mensual máxima y mínima (°C) de la estación meteorológica de Quinindé. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por el INAMHI (1978-2015). 136

Fig. 74: Anomalías de temperaturas medias (°C) de la estación meteorológica de Quinindé. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por el INAMHI (1978-2015). 136

Fig. 75: Variación de temperaturas medias mensuales máximas (°C). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por la DAC (1980-2015), INOCAR (1981-2015) y INAMHI (1978-2015). 137

Fig. 76: Variación de temperaturas medias mensuales mínimas (°C). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por la DAC (1980-2015), INOCAR (1981-2015) y INAMHI (1978-2015). 137

Fig. 77: Variación de temperaturas medias anuales máximas (°C). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por la DAC (1980-2015), INOCAR (1981-2015) y INAMHI (1978-2015). 138

Fig. 78: Variación de temperaturas medias anuales mínimas (°C). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por la DAC (1980-2015), INOCAR (1981-2015) y INAMHI (1978-2015). 138

Fig. 79: Áreas geográficas de influencia mediante el método de Thiessen. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por: estación Esmeraldas (INOCAR), estación Tachina (DAC), estación Sague, estación Teaone y estación Quininde (INAMHI). 141

Fig. 80: Distribución de precipitaciones medias mensuales (mm) en el periodo de 1980 a 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por: estación Esmeraldas (INOCAR), estación Tachina (DAC), estación Sague, estación Teaone, estación Quininde, estación San Lorenzo y estación Muisne (INAMHI). 143

Fig. 81: Comportamiento de precipitaciones medias mensuales (mm) del periodo de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por: (a): INOCAR - Estación Esmeraldas (1981-2015); (b): DAC - Estación Tachina (1980-2015); (c): INAMHI - Estación Sague (1950-2015); (d): INAMHI - Estación Teaone (1964-2015); (e): INAMHI - Estación Quininde (1958-2015). 145

Fig. 82: Comportamiento de precipitaciones acumuladas mensuales (mm) del periodo de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por: (a): INOCAR - Estación Esmeraldas (1981-2015); (b): DAC - Estación Tachina (1980-2015); (c): INAMHI - Estación Sague (1950-2015); (d): INAMHI - Estación Teaone (1964-2015); (e): INAMHI - Estación Quininde (1958-2015). 146

Fig. 83: Variaciones de precipitaciones acumuladas (mm) de los años de inicio de monitoreo y 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por: INOCAR - Estación Esmeraldas (1981-2015), DAC - Estación Tachina (1980-2015), INAMHI - Estación Sague (1950-2015), Estación Teaone (1964-2015) y Estación Quininde (1958-2015). 147

Fig. 84: Variaciones de precipitaciones acumuladas (mm) de los años de inicio de monitoreo y 2015, con respecto a la media del periodo correspondiente. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por: INOCAR - Estación Esmeraldas (1981-2015), DAC - Estación Tachina (1980-2015), INAMHI - Estación Sague (1950-2015), Estación Teaone (1964-2015) y Estación Quininde (1958-2015). 147

Fig. 85: Precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la estación Esmeraldas (1981-2015); degradado rojo: exceso de precipitación, degradado tomate: déficit de precipitación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INOCAR.....148

Fig. 86: Precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la estación Tachina (1980-2015); degradado rojo: exceso de precipitación, degradado tomate: déficit de precipitación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por la DAC.....148

Fig. 87: Precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la estación Sague (1950-2015); degradado rojo: exceso de precipitación, degradado tomate: déficit de precipitación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI.149

Fig. 88: Precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la estación Teaone (1964-2015); degradado rojo: exceso de precipitación, degradado tomate: déficit de precipitación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI.149

Fig. 89: Precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la estación Quininde (1958-2015); degradado rojo: exceso de precipitación, degradado tomate: déficit de precipitación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI.149

Fig. 90: Precipitaciones extremas acumuladas de los años de 1997 – 1998. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INOCAR - Estación Esmeraldas, DAC - Estación Tachina, INAMHI – Estaciones Sague, Teaone y Quininde.150

Fig. 91: Déficit de precipitaciones extremas acumuladas en el 2011. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INOCAR - Estación Esmeraldas, DAC - Estación Tachina, INAMHI – Estaciones Sague, Teaone y Quininde.150

Fig. 92: Índice del Niño Oceánico mensuales, en los periodos de 1953-1954, 1964-1965, 1966-1967, 1972-1973, 1982-1983 y 1997-1998. Fuente: Elaboración propia, en base a la

información histórica de anomalías de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).....	151
Fig. 93: Anomalías de precipitación de la estación Esmeraldas en el periodo de 1981 a 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INOCAR.	152
Fig. 94: Anomalías de precipitación de la estación Tachina en el periodo de 1980 a 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por la DAC.	152
Fig. 95: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INOCAR en los años de 1997 y 1998.	152
Fig. 96: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Tachina. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por la DAC en los años de 1997 y 1998.	153
Fig. 97: Anomalías precipitación de la estación Sague en el periodo de 1950 a 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI.	153
Fig. 98: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1997 y 1998.....	153
Fig. 99: Anomalías de precipitación de la estación Teaone en el periodo de 1964 a 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI.....	154
Fig. 100: Anomalías de precipitación de la estación Quinde en el periodo de 1958 a 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI.....	154
Fig. 101: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Teaone. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1997 y 1998.	155

Fig. 102: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Quininde. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1997 y 1998.155

Fig. 103: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INOCAR en los años de 1982, 1983.155

Fig. 104: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Tachina. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por la DAC en los años de 1982, 1983.156

Fig. 105: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1982 y 1983.156

Fig. 106: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Quininde. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1982 y 1983.156

Fig. 107: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1972 y 1973.157

Fig. 108: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Teaone. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1972 y 1973.157

Fig. 109: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Quininde. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1972 y 1973.158

Fig. 110: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1965 y 1966.158

Fig. 111: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Teaone. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1965 y 1966.158

Fig. 112: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Quininde. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1964 y 1965.	159
Fig. 113: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en el año de 1953.	159
Fig. 114: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por el INOCAR en los años de 1982, 1983, 1997 y 1998.	160
Fig. 115: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Tachina. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por la DAC en los años de 1982, 1983, 1997 y 1998.....	160
Fig. 116: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1953, 1954, 1966, 1966, 1972, 1973, 1997 y 1998.....	160
Fig. 117: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Teaone. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1965, 1966, 1972, 1973, 1997 y 1998.	161
Fig. 118: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Quininde. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1964, 1965, 1972, 1973, 1982, 1983, 1997 y 1998.	161
Fig. 119: Índice del Niño Oceánico mensuales, en los periodos de 1950, 1985, 2011. Fuente: Elaboración propia, en base a la información histórica de anomalías de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).	162
Fig. 120: Anomalías de precipitación 2011. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INOCAR (Estación Esmeraldas) y INAMHI (Estación Quinindé).....	162
Fig. 121: Precipitaciones medias acumuladas mensuales (2011) de las estaciones meteorológicas del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INOCAR - Estación Esmeraldas, DAC - Estación Tachina, INAMHI – Estaciones Sague, Teaone y Quinindé.....	163

Fig. 122: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INOCAR en el periodo de estudio.	163
Fig. 123: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Tachina. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por la DAC en el periodo de estudio.....	164
Fig. 124: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en el periodo de estudio.	164
Fig. 125: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Teaone. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en el periodo de estudio.....	164
Fig. 126: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Quinindé. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en el periodo de estudio.....	165
Fig. 127: Precipitaciones medias acumuladas mensuales (1985) de las estaciones meteorológicas del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INOCAR - Estación Esmeraldas, DAC - Estación Tachina, INAMHI – Estaciones Sague, Teaone y Quinindé.....	165
Fig. 128: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por el INOCAR en el periodo de estudio.....	166
Fig. 129: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Tachina. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por la DAC en el periodo de estudio.	166
Fig. 130: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por el INAMHI en el periodo de estudio.....	166
Fig. 131: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Teaone. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por el INAMHI en el periodo de estudio.	167

Fig. 132: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Quinindé. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por el INAMHI en el periodo de estudio.	167
Fig. 133: Precipitaciones medias acumuladas mensuales (1950) de las estaciones meteorológicas del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI (Estación Sague).	168
Fig. 134: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en el periodo de estudio.	168
Fig. 135: Tendencias de las anomalías de precipitaciones en el periodo de registro de las estaciones meteorológicas del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INOCAR – Estación Esmeraldas, DAC – Estación Tachina, INAMHI – Estaciones Sague, Teane y Quininde.	169
Fig. 136: Anomalías de precipitación de la estación Quinindé en el periodo de 1958 a 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI.	170
Fig. 137: Anomalías de precipitación 1990, 1991, 1995 y 1996. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el DAC (Estación Tachina) y INAMHI (Estación Teane).	170
Fig. 138: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INOCAR en los años de 1985 y 2011.	171
Fig. 139: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Tachina. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por la DAC en los años de 1985 y 2011.	171
Fig. 140: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1950, 1985 y 2011.	171
Fig. 141: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Teane. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1985 y 2011.	172

Fig. 142: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Quininde. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1985 y 2011.	172
Fig. 143: Diagrama ombrotérmico de la estación Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INOCAR en el periodo de 1981 – 2015..	172
Fig. 144: Diagrama ombrotérmico de la estación Tachina. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por la DAC, en el periodo de 1980 – 2015.	173
Fig. 145: Diagrama ombrotérmico de la estación Quinindé. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI, en el periodo de 1978 – 2015.....	174
Fig. 146: Esquema metodológico para definición de la amenaza por inundación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información cuantitativa y cualitativa analizada en el capítulo III, IV y V.....	177
Fig. 147: Esquema metodológico para definición de precipitaciones moderadamente altas, altas y máximas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información cuantitativa y cualitativa analizada en el capítulo V.....	178
Fig. 148: Esquema metodológico para el análisis del comportamiento de las precipitaciones a menor escala. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información cuantitativa y cualitativa analizada en el capítulo V.....	182
Fig. 149: Esquema metodológico para la definición de precipitaciones altas y extremas a través de los periodos de retorno y anomalías de precipitación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información cuantitativa de las estaciones Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone y Quininde.....	185
Fig. 150: Esquema metodológico para la determinación de áreas susceptibles a inundación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información del Capítulo IV.....	186
Fig. 151: Esquema metodológico para la determinación de áreas susceptibles a inundación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información del Capítulo IV.....	194
Fig. 152: Áreas de Influencia a partir de las ubicaciones de las estaciones Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone y Quininde en el área de estudio para el análisis zonificado de las precipitaciones en el periodo de estudio (1980 - 2015). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información obtenida mediante los polígonos de Thiessen sobre las Isoyetas.....	198

Fig. 153: Relación entre anomalías de precipitación de las estaciones del área de estudio y el Índice del Niño Oceánico anual del periodo de estudio (1980-2015). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de anomalías de precipitación – Capítulo V y anomalías históricas de la temperatura superficial del mar de la NOAA.....200

Fig. 154: Relación entre anomalías de precipitación mensual de las estaciones del área de estudio y el Índice del Niño Oceánico mensual de los años de 1982 y 1983. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de anomalías de precipitación – Capítulo V y anomalías históricas de la temperatura superficial del mar de la NOAA.....201

Fig. 155: Relación entre anomalías de precipitación mensual de las estaciones del área de estudio y el Índice del Niño Oceánico mensual de los años de 1997 y 1998. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de anomalías de precipitación – Capítulo V y anomalías históricas de la temperatura superficial del mar de la NOAA.....201

Fig. 156: Anomalías de precipitación anuales de las estaciones del área de estudio en los años donde no existe una relación directa con Índice del Niño Oceánico mensual de los años de 1987, 1992, 1999, 2002, 2010 y 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de anomalías de precipitación – Capítulo V.204

Fig. 157: Tiempo de retorno de las precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la Estación Esmeraldas (1981-2015). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por INOCAR - Estación Esmeraldas (1981-2015).205

Fig. 158: Tiempo de retorno de las precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la Estación Tachina (1980-2015). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por la DAC - Estación Tachina (1980-2015).....205

Fig. 159: Tiempo de retorno de las precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la Estación Sague (1980-2015). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI - Estación Sague (1980-2015).....206

Fig. 160: Tiempo de retorno de las precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la Estación Teaone (1980-2015). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI - Estación Teaone (1980-2015).....206

Fig. 161: Tiempo de retorno de las precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la Estación Quinindé (1980-2015). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI - Estación Quininde (1980-2015).....206

Fig. 162: Eventos históricos registrados en el área de estudio de 1870 a 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de DesIventar, fuentes comunicacionales y científicos del área de estudio.209

Fig. 163: Rangos de precipitación mínimos y máximos en cada una de las áreas de influencia. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de anomalías de precipitación, tiempos de retorno y distribución de precipitaciones (1980-2015).215

Fig. 164: Áreas susceptibles a inundación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis de la variables y subvariables físicas del área de estudio.....221

Fig. 165: Análisis espacial de las áreas susceptibles en diferentes zonas del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis geográfico realizado sobre la ortofoto generada del área de estudio.....223

Fig. 166: Análisis espacial de las áreas susceptibles en diferentes zonas y épocas del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis geográfico realizado sobre ortofoto actual (2015) y mosaico generado a partir de fotografías aéreas de 1980 (IGM).224

Fig. 167: Amenaza de inundación por áreas de influencia. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis del factor iniciador (precipitaciones) y áreas susceptibles.226

Fig. 168: Amenaza de inundación por áreas de influencia. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis geográfico realizado sobre la ortofoto actual del área de estudio.230

Fig. 169: Amenaza de inundación por áreas de influencia. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis geográfico realizado sobre el mosaico generado a partir de fotografías aéreas de 1980 (IGM).....231

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Climas en el área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la publicación de Climas del ECUADOR, INAMHI 2006.	9
Tabla 2: Cobertura y uso de suelo del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la geoinformación oficial del SINAGAP del MAGAP 2014.	12
Tabla 3: Desastres ocurridos en el Ecuador desde 1900 a 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de la CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - CRED, s.f.).....	21
Tabla 4: Parámetros fotogramétricos para la planificación de vuelo sobre el área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la planificación de vuelos ejecutadas (Bredd, 2015, pág. 3) (Falcon & Morgan, pág. 3)(Moffitt & Mikhail, 1980, pág. 11) (Neumann, 2005, pág. 3) (Falcon & Morgan, pág. 6)(Graham & Read , pág. 211) (Lincango, 2016) (Moffitt & Mikhail, 1980, pág. 154) (Neumann, 2005, pág. 3) (Bredd, 2015, pág. 3).....	37
Tabla 5: Parámetros de procesamiento de bloques fotogramétricos. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los parámetros de vuelo del Departamento de Fotografía Aérea del IGM (Lincango, Jiménez, Valdiviezo, & Freire, 2016) (Soria Molina & Gómez Molina, 2014) (Sánchez & Hothem, 2002) (Tanathong & Lee, 2014).....	41
Tabla 6: Planificación de vuelo para Escala: 1:10000. Fuente: Elaboración, sobre la base de los resultados de la planificación.	45
Tabla 7: Fecha de toma, número de líneas de vuelo e imágenes fotogramétricas tomadas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los reportes de vuelo del Departamento de Fotografía Aérea del IGM.....	46
Tabla 8: Evaluación geométrica ejecutada los diferentes bloques fotogramétricos del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los resultados estadísticos obtenidos.	47
Tabla 9: Resultados de la evaluación radiométrica manual realizado a los 4 bloques fotogramétricos. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis realizado a cada imagen.	48
Tabla 10: Precisiones obtenidas de aerotriangulación de cada uno de los bloques. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los resultados finales de aerotriangulación.....	49

Tabla 11: Clasificación por niveles de las unidades hidrográficas del ECUADOR por la metodología Pfafstetter. Fuente: Elaboración propia, en base al manual de delimitación y codificación de unidades hidrográficas del ECUADOR, SENAGUA, CAN y UICN, 2009.	57
Tabla 12: Parámetros y índices morfométricos de forma, relieve y drenaje calculados en la Cuenca del Río Esmeraldas (Unidad hidrográfica 15219. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de: (Allende, Teodoro, & Mendoza, 2007) (Aumassanne, Gaspari, Bege, Oricchio, & Di Bella, 2018) (Bredd, 2015) (Camino, y otros, 2018) (Campo, Aldabur, & Fernández, 2012) (Crevenna Recaséns, Sorani, Torres, & Frame, 2005) (Cuasapaz Chamorro, 2018) (Geraldí, 2009) (Felicísimo, 1994), a)h = altura, b) Ic= Intervalo de curva, Lcv= Líneas curvas de nivel.....	60
Tabla 13: Parámetros analizados de: (A), (P), (L), (Ap). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los cálculos realizados sobre la base cartográfica del IGM, Esc: 1:50000.....	71
Tabla 14: Valores calculados de (IF), (Re) y (Kc) de la unidad hidrográfica 1521. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los cálculos obtenidos de (A), (P) y (L).	72
Tabla 15: Parámetros de relieve. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis cartográfico del IGM e hidrográfico realizado en la zona de estudio.	74
Tabla 16: Clasificación altitudinal por rangos. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis cartográfico realizado de la Unidad Hidrográfica 1521.	74
Tabla 17: Variedad climática por efecto de la altitud en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis del mapa climático del INAMHI y de la base cartográfica generada.	75
Tabla 18: Clasificación de relieve en (%). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la clasificación de (CLIRSEN - SIGAGRO - MAGAP, 2011) adaptada para el análisis de pendientes en región costa del Ecuador.	76
Tabla 19: Clasificación de relieve en (°). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la clasificación de (Ortiz Vera, 2004) adaptada para el análisis de pendientes en región costa del Ecuador.....	76
Tabla 20: Clasificación de orientación de la cuenca. Fuente: Elaboración propia, clasificación propia sobre la base de los análisis de orientación de ArcGis 10,3.	81
Tabla 21: Longitud (Km) de los ríos y quebradas de la unidad hidrográfica 1521. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis de la red hidrográfica digitalizada de la cuenca. ...	85

Tabla 22: Número de drenajes por cada orden (inferior – superior). Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis de la red de drenaje de la unidad hidrográfica 1521.....87

Tabla 23: Clasificación de usos de suelo de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información temática digital levantada en base los datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP) e IEE.90

Tabla 24: Formaciones geológicas de extensión menor dentro de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información del MAGAP – IEE – IGM.95

Tabla 25: Sistemas productivos mínimos de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información del MAGAP – IEE - IGM. 107

Tabla 26: Medidas de tendencia central y de dispersión para el análisis de datos pluviométricos. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de (Chow, Maidment, & Mays, 1994) (Spiegel, 1997) (Monsalve Sáenz, 1999) (Lind, Marchal, & Mason, 2004) (Fattorelli & Fernández, 2011) (Gentili & Gil, 2013)..... 113

Tabla 27; Resultados de las medidas de tendencia central y de dispersión de los datos pluviométricos en el periodo de 1980 a 2015. Fuente: Elaboración propia, en base a los datos de las estaciones de Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone y Quinindé. 118

Tabla 28: Resultados mensuales de las medidas de tendencia central y de dispersión de los datos pluviométricos en el periodo de 1980 a 2015. Fuente: Elaboración propia, en base a los datos mensuales de las estaciones de Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone y Quinindé. 122

Tabla 29: Comportamiento general de las estaciones (promedio, tendencias positivas y negativas) con relación a las precipitaciones acumuladas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de las estaciones de: Esmeraldas (INOCAR), Tachina (DAC), Sague, Quininde y Teaone (INAMHI)..... 140

Tabla 30: Precipitación media de la cuenca en base al método de Isoyetas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de las estaciones de: Esmeraldas (INOCAR), Tachina (DAC), Sague, Quininde y Teaone (INAMHI)..... 142

Tabla 31: Metodología de Thiessen para la determinación de precipitación media ponderada de la Unidad Hidrográfica 1521. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la fundamentación matemática de diferentes autores. 180

Tabla 32: Ecuaciones para determinar probabilidades de presentar mayor o menor precipitación con respecto a x , determinación de periodos de retorno y valores de precipitación en

función del periodo de retorno, derivados de la distribución de Gumbel. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del planteamiento matemático de (Pizarro, Cornejo, González, Macaya, & Morales, 2008) (Ramírez, Ghanem, & Lárez, 2006) (Universidad de Salamanca, s.f.) (Rojas Morales, 2011, págs. 8,21) (García Conde, 2013, pág. 39) (Guachamin, García, Arteaga, & Jorge, 2015)..... 183

Tabla 33: Tabla para de definir la importancia de las variables y su ubicación en la matriz de comparación pareada. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del establecimiento de un AHP modificado..... 187

Tabla 34: Escala fundamental de comparación por pares. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la fundamentación teórica de varios actores (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012) (Tascón González, 2017) (Ávila Mogollón, 2000) (Celemín, 2014) (Luna Loayza, Almanza Ascue, & Mamani, 2020) (Mastrandrea & Angeles, 2020). 188

Tabla 35: Matriz de comparación de pares. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la fundamentación teórica del método AHP (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012) (Tascón González, 2017) (Ávila Mogollón, 2000) (Celemín, 2014) (Luna Loayza, Almanza Ascue, & Mamani, 2020) (Mastrandrea & Angeles, 2020). 189

Tabla 36: Procedimiento inicial para la normalización de la matriz de comparación pareada. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la fundamentación teórica del método AHP. 190

Tabla 37: Normalización de la matriz de comparación pareada. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la fundamentación teórica de varios actores del método AHP (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012) (Tascón González, 2017) (Ávila Mogollón, 2000) (Celemín, 2014) (Luna Loayza, Almanza Ascue, & Mamani, 2020) (Mastrandrea & Angeles, 2020). 190

Tabla 38: Valores de consistencia aleatoria en función de la dimensión d la matriz. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la fundamentación teórica de varios actores del método AHP (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012) (Tascón González, 2017) (Ávila Mogollón, 2000) (Celemín, 2014) (Luna Loayza, Almanza Ascue, & Mamani, 2020) (Mastrandrea & Angeles, 2020)..... 191

Tabla 39: Porcentajes máximos permitidos para la proporción de consistencia de acuerdo al tamaño de la matriz. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la fundamentación teórica de varios actores del método AHP (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012) (Tascón González,

2017) (Ávila Mogollón, 2000) (Celemín, 2014) (Luna Loayza, Almanza Ascue, & Mamani, 2020) (Mastrandrea & Angeles, 2020).....	191
Tabla 40: Clasificación de las variables y sus criterios de acuerdo a los rangos de ponderación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis de las variables consideradas en la Tabla 31.	192
Tabla 41: Relación del grado de vulnerabilidad entre dos variable. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del autor (Aguiló Alonso, y otros, 1996).....	193
Tabla 42: Calificación de los grados para la determinación de la amenaza por inundación en la matriz de doble entrada. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de (Ministerio del Ambiente, MINAN 2009, 2010) (Acuña, 2012) (IEE, MAGAP, 2012) (Olivares Mendoza, Koh Romero, Prezas Hernández, & Pereira Corona, 2016) (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2018).	195
Tabla 43: Ecuaciones para la determinación de las intensidades máximas en diferentes periodos de retorno y duración. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del estudio de las intensidades máximas de precipitación INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2019) (Monsalve Sáenz, 1999) (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015) (Chow, Maidment, & Mays, 1994) (Fattorelli & Fernández, 2011) (García Conde, 2013).	196
Tabla 44: Clasificación de precipitaciones medias ponderadas y volúmenes de precipitación de los años con precipitaciones extremas, altas y del periodo correspondiente extremas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información obtenida del análisis de por Métodos de Thiessen de las estaciones Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone, Quinindé.	199
Tabla 45: Porcentaje de crecimiento de las precipitaciones medias ponderadas y volúmenes de precipitación de los años con precipitaciones altas y extremas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información obtenida del análisis de por Métodos de Thiessen de las estaciones Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone, Quininde.	199
Tabla 46: Resultados del coeficiente de correlación de Pearson y estadístico de prueba. Fuente: Elaboración propia, en base a los datos mensuales de precipitación de las estaciones de Esmeraldas, Tachina, Teaone, Sague y Quinindé de los años de 1982, 1983, 1997 y 1998.....	203
Tabla 47: Comportamiento extremo de las precipitaciones, anomalías e Índice del Niño Oceánico anual de los años de 1982, 1983, 1997 y 1998. Fuente: Elaboración propia, sobre la base	

de la información de las estaciones de Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone, Quinindé y del ONI de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).203

Tabla 48: Precipitaciones altas, anomalías e Índice del Niño Oceánico anual de los años de 1987, 1992, 1999, 2002, 2010, 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de las estaciones de Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone, Quininde y del ONI de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).204

Tabla 49: Comportamiento de las precipitaciones del área de influencia Norte en sus diferentes periodos de retorno (Tr). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de la estación Esmeraldas, Tachina y aplicación de la Distribución de Gumbel; rango de clasificación, rojo: alto-extremo, naranja: moderadamente alto, amarillo: medio, verde claro: bajo.207

Tabla 50: Comportamiento de las precipitaciones del área de influencia Central (Centro Norte) en sus diferentes periodos de retorno (Tr). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de la estación Sague y aplicación de la Distribución de Gumbel; rango de clasificación rojo: alto-extremo, naranja: moderadamente alto, verde oscuro: moderadamente bajo, verde claro: bajo.207

Tabla 51: Comportamiento de las precipitaciones del área de influencia Central (Centro Sur) en sus diferentes periodos de retorno (Tr). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de la estación Teaone y aplicación de la Distribución de Gumbel; rango de clasificación rojo: alto-extremo, naranja: moderadamente alto, verde oscuro: moderadamente bajo, verde claro: bajo.208

Tabla 52: Comportamiento de las precipitaciones del área de influencia Sur en sus diferentes periodos de retorno (Tr). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de la estación Quininde y aplicación de la Distribución de Gumbel; rango de clasificación, rojo: alto-extremo, amarillo: medio, verde claro: bajo.208

Tabla 53: Análisis cronológico de los años con precipitaciones extremas (1982, 1983, 1997 y 1998). Fuente: Elaboración propia, en base a la información obtenida del análisis de por Métodos de Thiessen de las estaciones Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone, Quininde, base de datos DesInventar y fuentes comunicacionales y de comunicación.210

Tabla 54: Análisis cronológico de los años con precipitaciones altas (1987, 1992, 1999, 2002, 2010, 2012 y 2015). Fuente: Elaboración propia, en base a la información obtenida del análisis de

por Métodos de Thiessen de las estaciones Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone, Quininde, base de datos DesInventar y fuentes comunicacionales y de comunicación.....211

Tabla 55: Clasificación de precipitaciones extremas y altas en el periodo de estudio (1980-2015) que provocan inundaciones. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de las anomalías de las estaciones de Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone, Quininde.212

Tabla 56: Rango de precipitación de las áreas de influencia por comportamiento de anomalías. Fuente: Elaboración propias, sobre la base de la información de los rangos de precipitación de las estaciones.213

Tabla 58: Rango de precipitaciones de la Área de Influencia 1 (zona Norte) para el análisis de la amenaza. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de los rangos de precipitación de las estaciones Esmeraldas, Tachina (1980-2015).213

Tabla 59: Rango de precipitaciones de la Área de Influencia 2 (zona Centro-Norte) para el análisis de la amenaza. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de los rangos de precipitación de las estaciones Esmeraldas, Tachina (1980-2015).213

Tabla 60: Rango de precipitaciones de la Área de Influencia 3 (zona Centro-Sur) para el análisis de la amenaza. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de los rangos de precipitación de la Teaone (1980-2015).....214

Tabla 61: Rango de precipitaciones de la Área de Influencia 4 (zona Sur) para el análisis de la amenaza. Fuente: Elaboración propia, en base a la información de los rangos de precipitación de la estación Quininde (1980-2015).214

Tabla 62: Rango de precipitaciones de cada área de influencia Fuente: Elaboración propia, en base a la información de anomalías de precipitación, tiempos de retorno y distribución de precipitaciones (1980-2015).....214

Tabla 63: Variables consideradas para la definición de áreas susceptibles a inundación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información del Capítulo IV.....217

Tabla 64: Matriz de comparación pareada entre las diferentes variables tomando en consideración la escala de Saaty. Fuente: Elaboración propia, en base a las variables morfológicas analizadas en el Capítulo V (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012) (Tascón González, 2017) (Ávila Mogollón, 2000) (Celemín, 2014) (Luna Loayza, Almanza Ascue, & Mamani, 2020) (Mastrandrea & Angeles, 2020).217

Tabla 65: Matriz normalizada de las variables en la construcción de las áreas susceptibles. Fuente: Elaboración propia, en base a la metodología de Saaty (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012).....218

Tabla 66: Vector de pesos establecidos para cada variable analizada; vectores para el cálculo de la proporción de consistencia de la matriz. Fuente: Elaboración propia, en base a los valores de consistencia aleatoria (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012).218

Tabla 67: Vector de pesos de cada variable. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis de la metodología AHP (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012) (Tascón González, 2017).....219

Tabla 68: Descripción de las subvariables perteneciente a cada una de las variables utilizada en la construcción de las áreas susceptibles. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información del Capítulo IV.219

Tabla 69: Ponderación y normalización de las subvariables. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información metodológica de ordenamiento simple y clasificación geopedológica (CLIRSEN, SENPLADES, MAGAP, 2012).220

Tabla 70: Construcción de las áreas susceptibles a inundación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información obtenida a partir del producto de los pesos de la variables y subvariables.220

Tabla 71: Grado de amenaza de las diferentes áreas de influencia. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la metodología de la matriz de doble entrada.225

Tabla 72: Intensidades máximas (mm/h) de la estación Tachina. Fuente: Elaboración propia, en base a las ecuaciones de intensidades máximas desarrolladas por el INAMHI para diferentes tiempos de duración (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2019).....228

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

1 Introducción

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) define a la inundación como el aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce en donde el nivel normal se entiende como la superficie de agua que no causa daños, afectaciones y no genera ningún tipo de pérdidas. (OMM y UNESCO, 1974).

De acuerdo a la Agencia Federal de Administración de Emergencias de los Estados Unidos (FEMA, 2010), se identifican como factores de riesgo y causas para las inundaciones a:

- Lluvias estacionales.
- Lluvias de alta intensidad y corta duración especialmente en cuencas altas.
- Fenómenos climáticos globales.
- Rompimiento de represas (naturales o artificiales).
- Grandes aportes de aguas subterráneas.
- Deslizamientos, avalanchas y lahares.
- Penetraciones marinas por oleajes, tormentas o tsunamis.
- Deshielos.

En el Ecuador, las inundaciones se concentran en las cuencas bajas del Litoral ecuatoriano, cuencas de la Amazonía y en algunas cuencas de la Región Andina. Las causas por las cuales se originan las inundaciones, entre las más importantes se tiene a las precipitaciones estacionales, el fenómeno de la Oscilación del Sur - El Niño (ENSO), sobrepasamiento de la capacidad de evacuación de los sistemas de drenaje en las urbes, represamiento de ríos y penetraciones marinas.

La provincia de Esmeraldas ha sufrido graves estragos durante los últimos años, producto de las penetraciones marinas causadas por Tsunamis, que de acuerdo a la Acta Oceanográfica del Pacífico Vol. II, N-1 (2002) en el Análisis de Riesgo por Inundación por Tsunamis en el Golfo de Guayaquil (Arreaga y Ortíz, 2002), se tiene el siguiente registro histórico producto de las acciones de los tsunamis:

- **Tsunami, 31 de enero de 1906:** Terremoto de magnitud $M_s = 8,8$ (según catálogo CERESIS, 1985) con una profundidad de 25 km; el área estremecida tuvo una dirección Norte-Sur en una extensión de 1200 km limitada entre Guayaquil y Medellín hacia el interior del continente, el ancho del área fue de 350 km en la latitud de Bogotá. La superficie total del área estremecida fue estimada en unos 300000 Km² aproximadamente. Aun cuando la marea se encontraba en su nivel más bajo al momento del terremoto, las olas del tsunami fueron muy destructivas en las costas bajas y planas existentes desde río Verde hacia el Norte de la Provincia de Esmeraldas donde las viviendas asentadas cerca de la playa o en la zona estuarina formada por los ríos Santiago y Mataje fueron destruidas; alrededor de unas 1000 a 1500 personas murieron.
- **Tsunami, 4 de mayo de 1942:** Terremoto ocurrido en la costa Norte ecuatoriana en las localidades de Atacames y Esmeraldas, con una magnitud de $M_s = 7,8$ (catálogo CERECIS, 1985), no se tiene registros de las ondas provocadas por el tsunami.
- **Tsunami, 19 de enero de 1958:** El sismo ocurrió en la región fronteriza de Ecuador-Colombia con magnitud de $M_s = 7,9$ (catálogo CERECIS, 1985) produciendo marejadas en las costas de Esmeraldas.
- **Tsunami, 12 de diciembre de 1979:** El terremoto de magnitud 7,9 se localizó en la zona fronteriza de Ecuador - Colombia, con una profundidad de 33 km. Este sismo produjo un tsunami que ocasionó daños graves en el territorio colombiano. De acuerdo a información de los principales diarios de esa época, se conoce que en Ecuador los daños materiales fueron leves y no se produjeron víctimas. Información histórica de mareas en la ciudad de Esmeraldas registran la presencia de 3 a 4 olas, minutos después del sismo cuando la marea se encontraba en su nivel más bajo.

De la misma manera, otro factor que influye mayoritariamente en las inundaciones es el cambio brusco de las anomalías de temperatura superficial del mar debido a las variaciones de los factores oceanográficos, meteorológicos, atmosféricos, entre otros, con efectos negativos en el medio físico y social. Los fenómenos de El Niño que mayor impacto han tenido sobre el área de estudio (en orden de magnitud descendente) son los ocurridos en los años de 1997, 1982-1983, 1957-1958 y 1972-1973, trayendo como consecuencias innumerables pérdidas humanas y económicas. De acuerdo a los registros históricos se tiene que en el año de 1997 se reportaron 286

víctimas mortales, 30000 damnificados, 2446 personas afectadas y cerca de 1136 viviendas afectadas (Organización Panamericana de Salud, 2000, pág. 182).

Así también, se debe considerar las fuertes precipitaciones que se generan por las corrientes cálidas del Océano Pacífico y frías de los Andes que generan precipitaciones extremas en pequeños periodos de tiempo ocasionando que los afluentes de la unidad hidrográfica se desborden de sus causes provocando inundaciones centralizadas en áreas relativamente bajas. El cantón Esmeraldas por su ubicación geográfica y colindancia con el Océano Pacífico, constantemente ha sufrido los efectos de las precipitaciones extremas producto de la época invernal o por la presencia del fenómeno de El Niño que se han agravado por los asentamientos informales en las riberas de los principales afluentes como son el río Esmeraldas y Teaone; a continuación se detallan algunos de los eventos registrados en el Proyecto de Análisis y Vulnerabilidades a nivel municipal, perfil territorial Cantón Esmeraldas (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, Comisión Europea, PNUD, 2013, págs. 43, 44):

- **13 de enero de 1983:** Marejada causó daños en 50 viviendas dejando 250 damnificados.
- **14 de febrero de 1991:** Desborde del río Teaone afectando al Barrio la Tolita.
- **05 de enero de 1995:** Afectación en la localidad de Achilube, fuertes olas destruyen 7 viviendas.
- **23 de enero de 1996:** Fuertes precipitaciones provocan inundaciones en la ciudad de Esmeraldas.
- **12 de marzo de 1997:** Las localidades de Achilube, Sua, Rocafuerte y Limones, se ven afectadas por las marejadas con un impacto directo a las viviendas y población.
- **07 de febrero de 1997:** Presencia del fenómeno de El Niño provoca el desbordamiento del río Teaone y Esmeraldas, inundando parte de la ciudad Esmeraldas.
- **19 de febrero de 2000:** Las fuertes lluvias en el sector de Vuelta Larga, provoca el desborde de los canales que comunican el área de céntrica con las piscinas y los desfuegos de la Refinería Estatal de Esmeraldas.
- **10 de octubre de 2006:** Marejadas afectan el Norte de la ciudad de Esmeraldas, en el sector de Palma Real.

- **20 de marzo de 2007:** Lluvias intensas de 7 horas de duración provoca que el lodo de las laderas cause la interrupción de sumideros y sistema de alcantarillado de la zona urbana de la ciudad de Esmeraldas.
- **01 de enero de 2009:** Lluvias intensas causan inundaciones debido al deficiente sistema de alcantarillado es los sectores de las Palmas, Potosí, Santa Martha 2 y la Tolita.

La falta de previsión, control en la expansión de las fronteras urbanas – rurales y establecimiento de planes de mitigación han provocado serios daños materiales, sociales y económicos en diversos periodos donde se registran inundaciones recurrentes. Actualmente, la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo (SNGR) ha realizado diversos esfuerzos para la prevención de los daños ocasionados por los efectos de las inundaciones, promoviendo planes de evacuación y mapas preliminares de zonas propensas a inundación con información básica de escalas pequeñas. Si bien estas iniciativas son de gran valor, las mismas no han tomado en consideración las particularidades que tiene cada sector en el área de estudio lo que imposibilita realizar un estudio detallado de las condiciones físicas de la cuenca.

Las inundaciones constituyen procesos complejos dentro de la dinámica fluvial. Los ríos son entidades dinámicas con comportamientos particulares según los factores hidrológicos, meteorológicos y geomorfológicos que la forman. Por esta razón, el conocimiento de la dinámica de la cuenca es vital en la generación de productos de pronta respuesta ante eventos de inundación. Las geotecnologías son hoy en día metodologías imprescindibles no solo para la captura de información básica esencial, sino para el estudio morfológico detallado, en especial en aquellas áreas de difícil acceso o que cubren grandes extensiones. La conformación de modelos de la realidad en entornos SIG (Sistemas de Información Geográfica) y la teledetección como fuente de información facilita la comprensión de la dinámica de la cuenca a estudiar permitiendo un análisis más exhaustivo del territorio y los fenómenos que en el ocurren.

La generación de productos informativos multitemporales para el análisis de la amenaza, basado en áreas de influencia, permitirá hacer un importante aporte para la toma de decisiones de las autoridades locales y nacionales ante emergencias producidas por las inundaciones de los ríos Esmeraldas y Teaone.

2 Ubicación geográfica del área de estudio

2.1 Localización

Los ríos Esmeraldas y Teaone se encuentran ubicados en la Provincia de Esmeraldas al Nor - Oeste del Ecuador, en las latitudes $0^{\circ}20'00''$ N - $1^{\circ}00'00''$ N y las longitudes $78^{\circ}15'00''$ W - $78^{\circ}50'00''$ W. Los cursos de agua cruzan parte de los cantones de Esmeraldas y Quininde que poseen un área de $1342,32 \text{ Km}^2$ y $3544,07 \text{ Km}^2$ respectivamente; en el caso del río Teaone alimenta las aguas del río Esmeraldas previo a desembocar en el estuario del mismo nombre y posteriormente al Océano Pacífico (Fig. 1).

La presencia de los afluentes ha permitido el desarrollo social, económico local y nacional; a las orillas del río Esmeraldas, en su desembocadura se encuentra la ciudad portuaria y petrolera de Esmeraldas, capital de la provincia de Esmeraldas, por la cual ingresa la mayoría de los productos importados del país y es el punto geográfico que permite la exportación petrolera ecuatoriana. El río Teaone a pesar de ser un afluente principal del río Esmeraldas alberga en sus orillas a la Refinería Estatal Petrolera “Esmeraldas”, la más importante del país y al igual que el río Esmeraldas, ha sido un foco de desarrollo social local ya que a lo largo de su afluente se encuentra la parte Sur de la ciudad de Esmeraldas.

Los cantones de Esmeraldas y Quininde tienen un movimiento comercial basada en la actividad pecuaria y agrícola de importancia local y nacional, sus productos derivados de estas actividades se distribuyen en la Sierra - Centro y Oriente ecuatoriano, por lo que las aguas de los ríos Teaone y Esmeraldas desempeñan un papel importante para su cadena productiva. El río Esmeraldas es considerado como uno de los más importante del Ecuador, su caudal es producto de la precipitaciones y descargas de los diferentes ríos que nacen en los volcanes Cotopaxi, Pichincha, Sincholagua, entre otros, ubicados en la Sierra ecuatoriana; históricamente el río Esmeraldas registra un caudal medio mensual en el periodo de 1950 a 2015 de hasta los $2887,33 \text{ m}^3 * \text{s}^{-1}$, mientras que el río Teaone registra caudales hasta los $65,69 \text{ m}^3 * \text{s}^{-1}$.

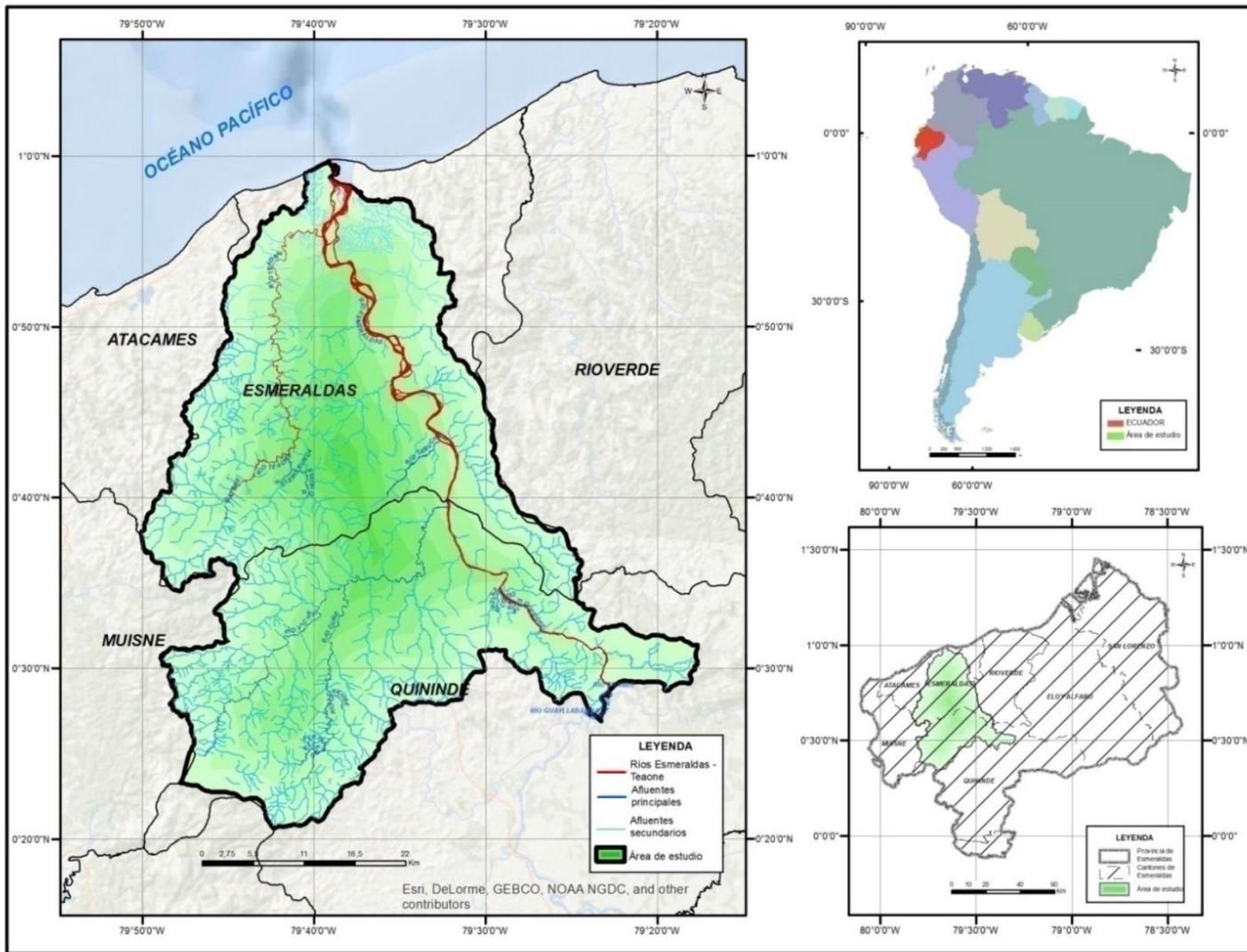


Fig. 1: Ubicación del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base cartográfica 1: 50000 oficial del Instituto Geográfico Militar (IGM – ECUADOR).

2.2 Descripción del área de estudio

Los ríos Esmeraldas y Teaone materializan la Unidad Hidrográfica 1521, por su ubicación geográfica y altitudinal forman la parte baja de la cuenca del río Esmeraldas y cumplen un desempeño importante dentro de la cuenca debido a que reciben las aguas de los afluentes de las cuencas medias y altas previo a la descarga de sus aguas en el Océano Pacífico. La presencia de los ríos Esmeraldas y Teaone permite a la Unidad Hidrográfica 1521 dividirse en 9 unidades hidrográficas de acuerdo a la metodología Pfafstter.

Es importante destacar que la provincia de Esmeraldas, dentro de la cual se encuentra el área de estudio, presenta en la zona de la Cordillera de los Andes 7 volcanes (Fig. 2) que actúan de manera directa en la divisoria de dos grandes regiones hidrográficas. El área de estudio pertenece a la región hidrográfica del Pacífico que recibe aguas de los afluentes que se originan en los volcanes: Cayambe, Cotacachi, Cotopaxi, Ninahuica, Pichincha, Pululahua y Quilotoa.

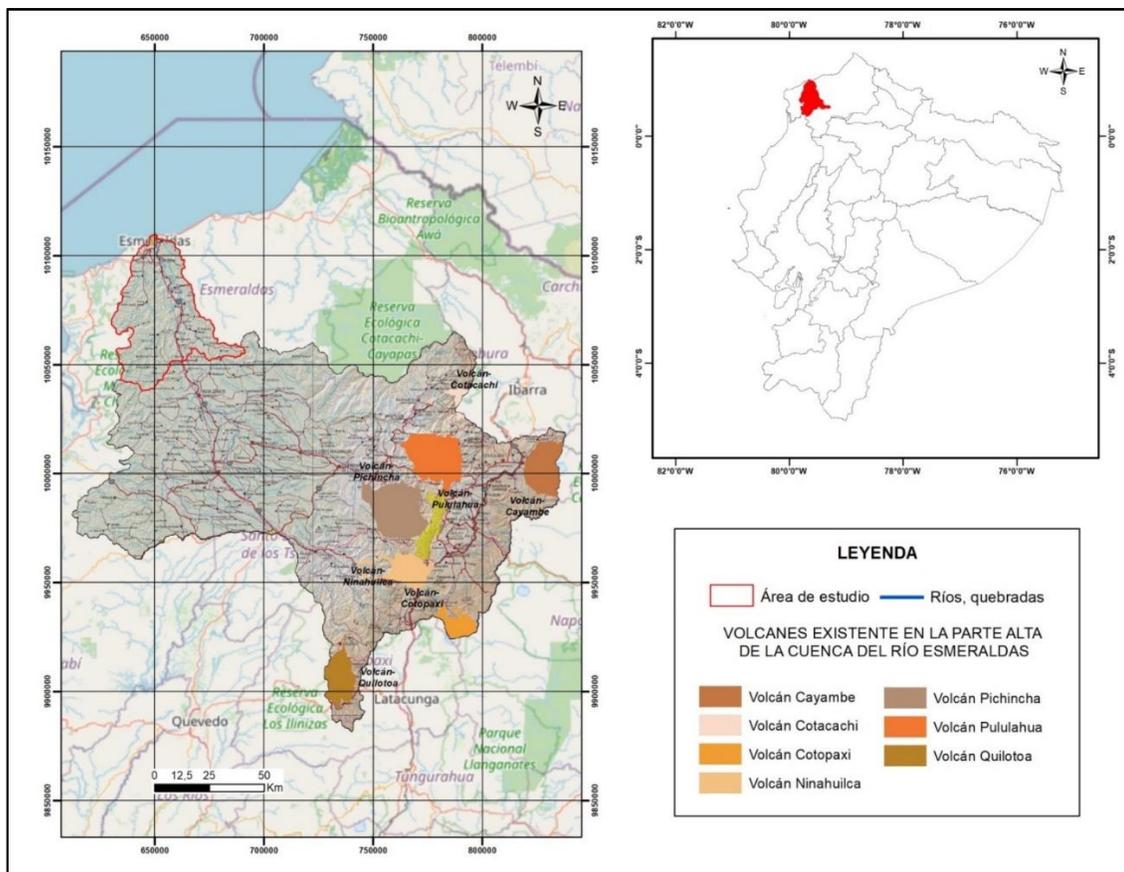


Fig. 2: Ubicación de volcanes en la Cuenca del Río Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del mapa físico 1: 50000 oficial del IGM y la base geográfica del Instituto Geofísico Nacional del Ecuador (IG).

El área de estudio comprende 7 de las 9 parroquias del Cantón Esmeraldas y 4 de las 6 parroquias del Cantón Quininde, considerando que el nivel de parroquia es la mínima unidad de la división política en el Ecuador. Al estar ubicada geográficamente en el perfil costanero, es constantemente amenazada por las inundaciones provocadas por el exceso de precipitación en las épocas de invierno y en los periodos donde se presenta el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENSO).

Sus características físicas, describen morfológicamente al área de estudio en una cuenca de tamaño intermedio a grande con una forma ovalada y alargada permitiendo el desarrollo de un complejo drenaje que alimenta el afluente principal. Geológicamente se encuentra sobre las formaciones Viche, Onzole, Angostura, entre las principales (Instituto Espacial Ecuatoriano, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2015, págs. 35, 37, 59, 62, 64), con propiedades físicas y químicas que permiten el desarrollo la actividad agropecuaria en el sector.

2.2.1 Caracterización climática variada como resultado de una topografía diversa y compleja

La clasificación climática del Ecuador y del área de estudio está basada en la metodología de Thorthwaite aplicada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI), la misma que tiene su origen en la clasificación de köppen (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2006, págs. 2,6). La metodología de Thorthwaite centra su modelo climático en: “...*el potencial de la evapotranspiración potencial, que mide la eficiencia térmica del medio analizado, y el índice hídrico, que mide la eficiencia pluvial de dicho medio...*” (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2006, pág. 3).

Dentro del área de estudio existe una variedad climática propia o característica de la región Litoral o Costa del Ecuador que oscila desde un clima húmedo a subhúmedo; la temperatura media anual más alta que se ha registrado es de 26,2°C y su temperatura media mensual es de 25°C. De acuerdo a la clasificación climática del INAMHI en la zona Norte el clima es subhúmedo con pequeño exceso de agua, megatérmico o cálido, en la zona Centro es subhúmedo con moderado déficit de agua en época seca, megatérmico o cálido y en la zona Sur el clima es húmedo sin déficit de agua, megatérmico o cálido (Tabla 1 y Fig. 3):

ÍNDICE HÍDRICO	VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA HUMEDAD	RÉGIMEN TÉRMICO	TIPO DE CLIMA
B3	R	A`	Clima húmedo sin déficit de agua, Megatérmico o cálido
C2	S	A`	Clima subhúmedo con moderado déficit de agua en época seca, Megatérmico o cálido
C2	D	A`	Clima subhúmedo con pequeño exceso de agua, Megatérmico o cálido

Tabla 1: Climas en el área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la publicación de Climas del ECUADOR, INAMHI 2006.

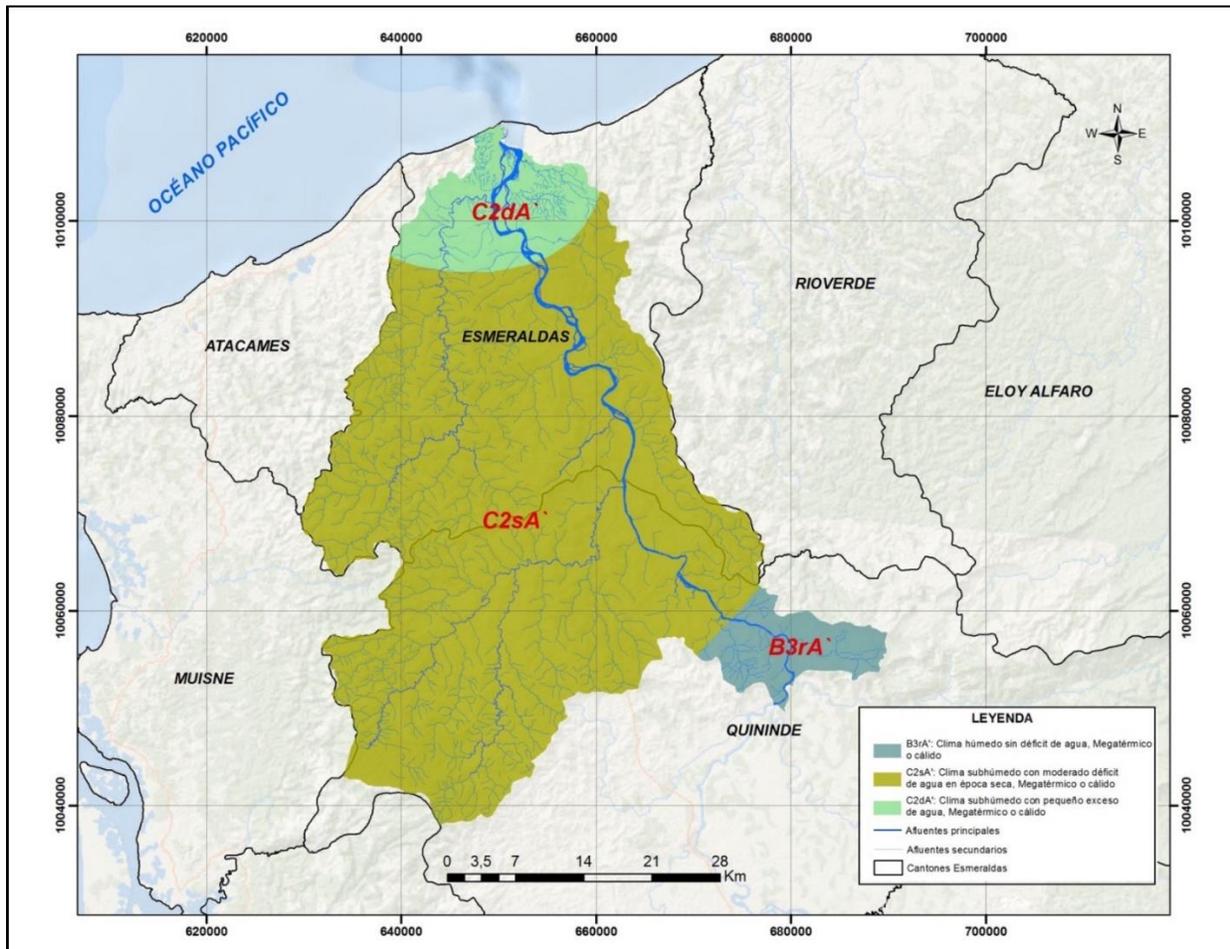


Fig. 3: Climas del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base cartográfica oficial 1:50.000 del IGM – ECUADOR, mapa oficial de climas del Ecuador 1:100.000 del INAMHI – Ecuador.

2.2.2 Topografía

La presencia de climas diferentes en la cuenca está en relación a la variada topografía que posee el área de estudio. La misma se encuentra en el inicio de la plataforma continental con pendientes que oscilan entre 0% a 208%, clasificados de manera general por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) en pendientes de tipo débil, irregular, fuerte, muy fuerte y abrupta (Fig. 4) (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2015).

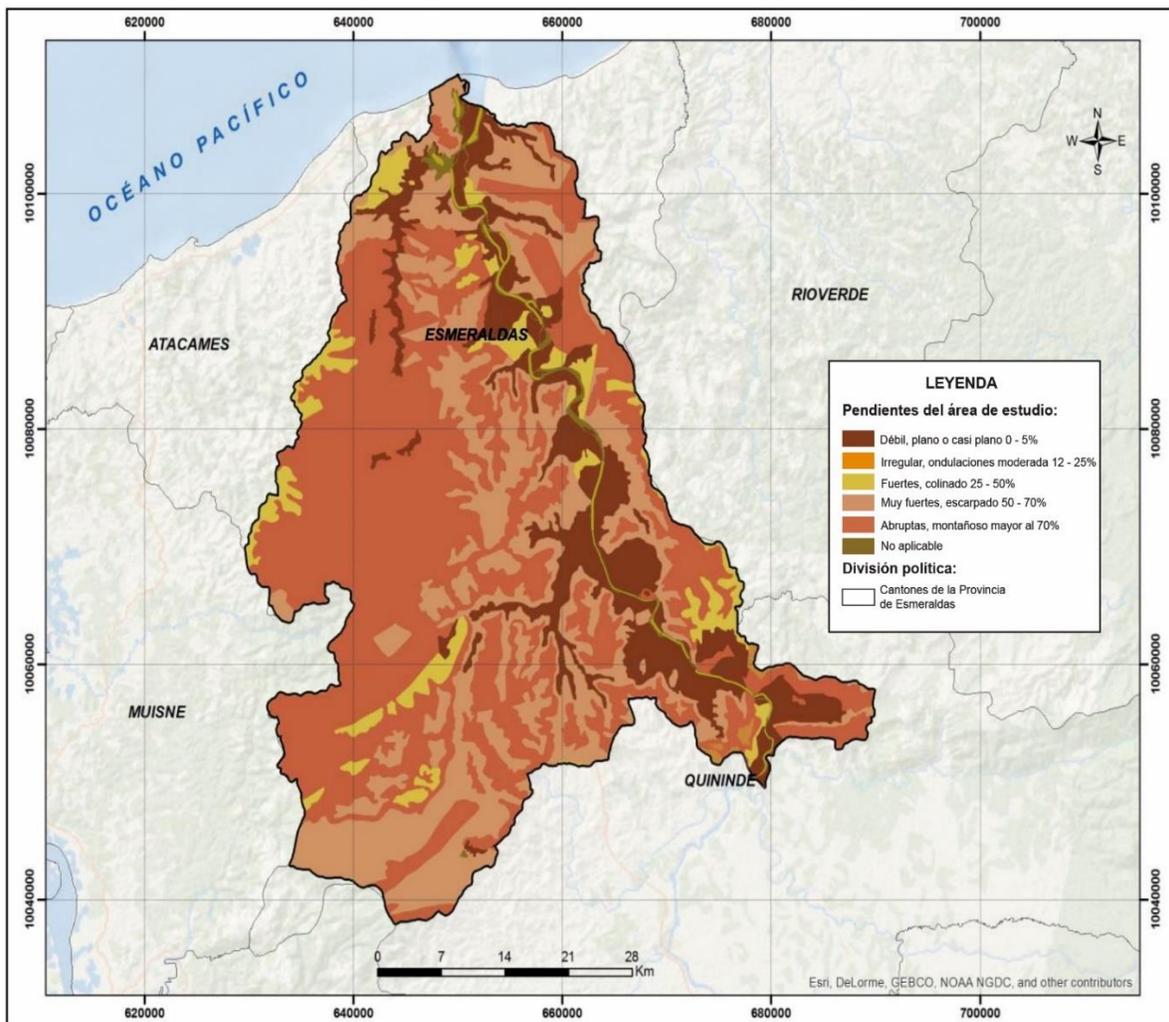


Fig. 4: Pendientes del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base cartográfica oficial 1:50.000 del IGM – ECUADOR y el mapa oficial de suelos (variable pendiente) del ECUADOR Continental 1:250.000 del MAGAP, 2002.

Los valores de altura se encuentran referidos al valor de 0 metros sobre el nivel medio del mar (m.s.n.m) del mareógrafo de la Libertad que es el punto de partida de todas las medidas de altura del componente vertical (z) del país. La altura mínima en el área de estudio es de 0 m.s.n.m y la máxima de 708,13 m.s.n.m obtenido del análisis de los puntos acotados de elevación que se encuentra en la base cartográfica oficial del Instituto Geográfico Militar (IGM) escala 1:50000.

2.2.3 Cobertura y uso de suelo

El manejo de cuencas hidrográficas a fin de garantizar su buen uso y disponibilidad de agua para las futuras generaciones requieren de un conocimiento exhaustivo sobre la ocupación y uso del suelo; incluso la protección del medio ambiente en muchos casos depende de este conocimiento. En este sentido la cobertura en el área de estudio se encuentra clasificada en agropecuaria, antrópica, bosques, vegetación arbustiva – herbácea y cuerpos de agua, de acuerdo a la tabla 2 y la figura 5. El uso de suelo está clasificado en: Pecuario, agropecuario forestal, conservación y protección, agrícola, agropecuario mixto, agrícola conservación y protección, pecuario conservación y protección, antrópico y cuerpos de agua (Tabla 2, Figs. 5 y 6).

Nro.	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN CÓDIGO	COBERTURA	USO DE SUELO
1	Bi-Pc	50% bosque intervenido - 50% pasto cultivado	Asociación agropecuaria	Pecuario - conservación y protección
2	Bi/C7	70% bosque intervenido / 30% palmito	Bosques (tierra forestal)	Agropecuario forestal
3	Bi/Cc	70% bosque intervenido / 30% cultivos de ciclo corto	Bosques (tierra forestal)	Agropecuario forestal
4	Bi/Cx	70% bosque intervenido / 30% arboricultura tropical	Bosques (tierra forestal)	Agropecuario forestal
5	Bi/Pc	70% bosque intervenido / 30% pasto cultivado	Bosques (tierra forestal)	Agropecuario forestal
6	Bn	Bosque natural	Bosques (tierra forestal)	Conservación y protección
7	Cc	Cultivos de ciclo corto	Agropecuarias	Agrícola
8	Cc-Pc	50% cultivos de ciclo corto - 50% pasto cultivado	Agropecuarias	Agropecuario mixto
9	Cc/Cx	70% cultivos de ciclo corto / 30% arboricultura tropical	Agropecuarias	Agrícola
10	Cl	Palma africana	Agropecuarias	Agrícola

11	Cn	Banano	Agropecuarias	Agrícola
12	Cx	Arboricultura tropical	Agropecuarias	Agrícola
13	Cx-Pc	50% arboricultura tropical - 50% pasto cultivado	Agropecuarias	Agropecuario mixto
14	Pc	Pasto cultivado	Agropecuarias	Pecuario
15	Pc-Pn	50% pasto cultivado - 50% pasto natural	Agropecuarias	Pecuario
16	Pc-Va	50% pasto cultivado - 50% vegetación arbustiva	Agropecuarias	Agrícola - conservación y protección
17	Pc/Bi	70% pasto cultivado / 30% bosque intervenido	Agropecuarias	Pecuario - conservación y protección
18	Pc/Cc	70 % pasto cultivado / 30% cultivos de ciclo corto	Agropecuarias	Agropecuario mixto
19	Pc/Cr	70% pasto cultivado / 30% frutales	Agropecuarias	Agropecuario mixto
20	Pc/Cx	70% pasto cultivado / 30% arboricultura tropical	Agropecuarias	Agropecuario mixto
21	Pc/Pn	70% pasto cultivado / 30% pasto natural	Agropecuarias	Pecuario
22	Pc/Va	70% pasto cultivado / 30% vegetación arbustiva	Agropecuarias	Pecuario - conservación y protección
23	Pn	Pasto natural	Agropecuarias	Pecuario
24	Pn/Ae	Pasto natural en áreas erosionadas	Agropecuarias	Pecuario
25	U	Área urbana	Antrópicos	Antrópico
26	Va	Vegetación arbustiva	Vegetación arbustiva y herbácea	Conservación y protección
27	Va/Pn	70% vegetación arbustiva / 30% pasto natural	Vegetación arbustiva y herbácea	Conservación y protección
28	Wn	Cuerpo de agua natural	Cuerpos de agua	Cuerpo de agua

Tabla 2: Cobertura y uso de suelo del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la geoinformación oficial del SINAGAP del MAGAP 2014.

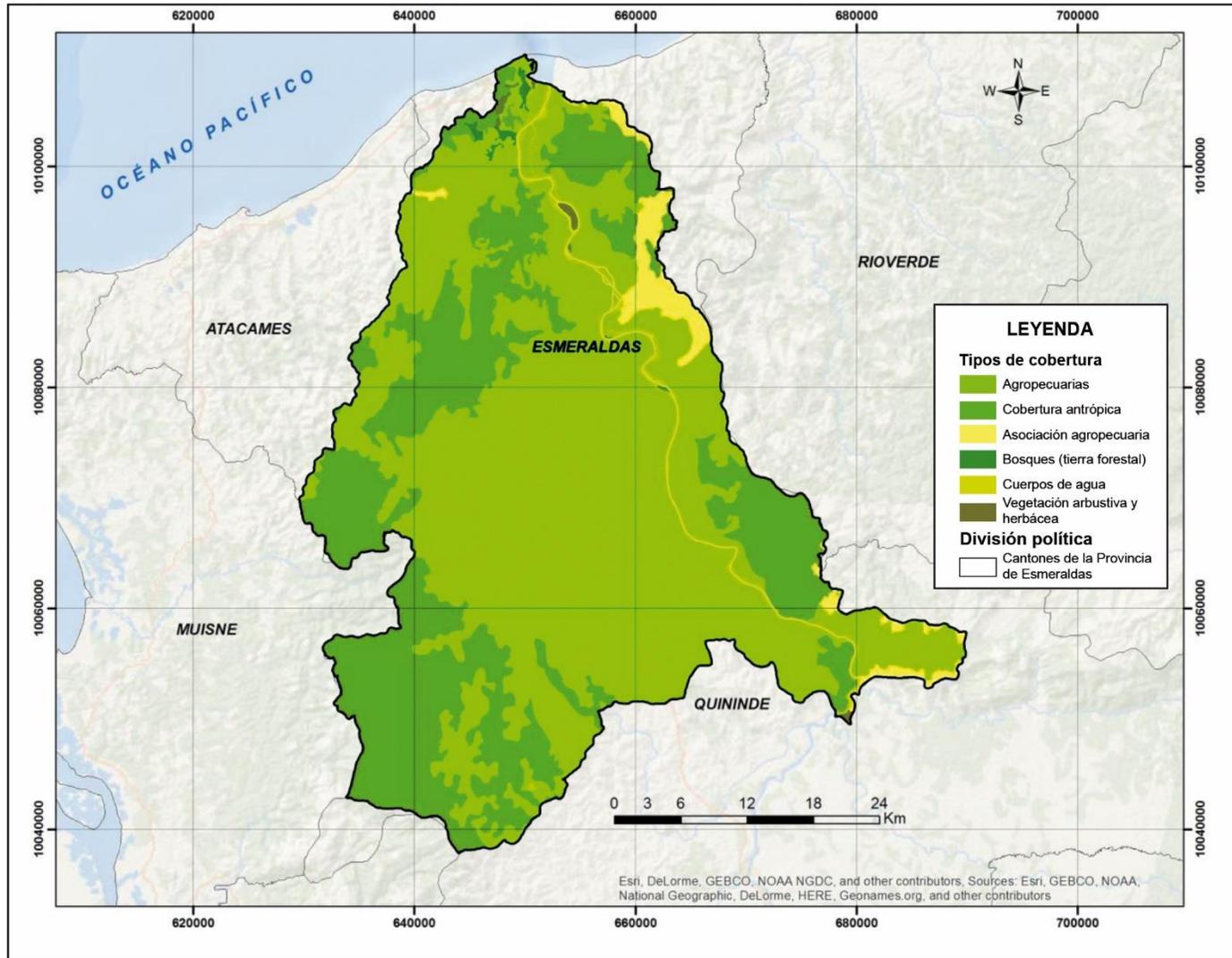


Fig. 5: Cobertura de suelo del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base cartográfica oficial 1:50000 del IGM – ECUADOR y el mapa oficial de uso y cobertura del suelo del ECUADOR 1:250000, MAGAP 2011.

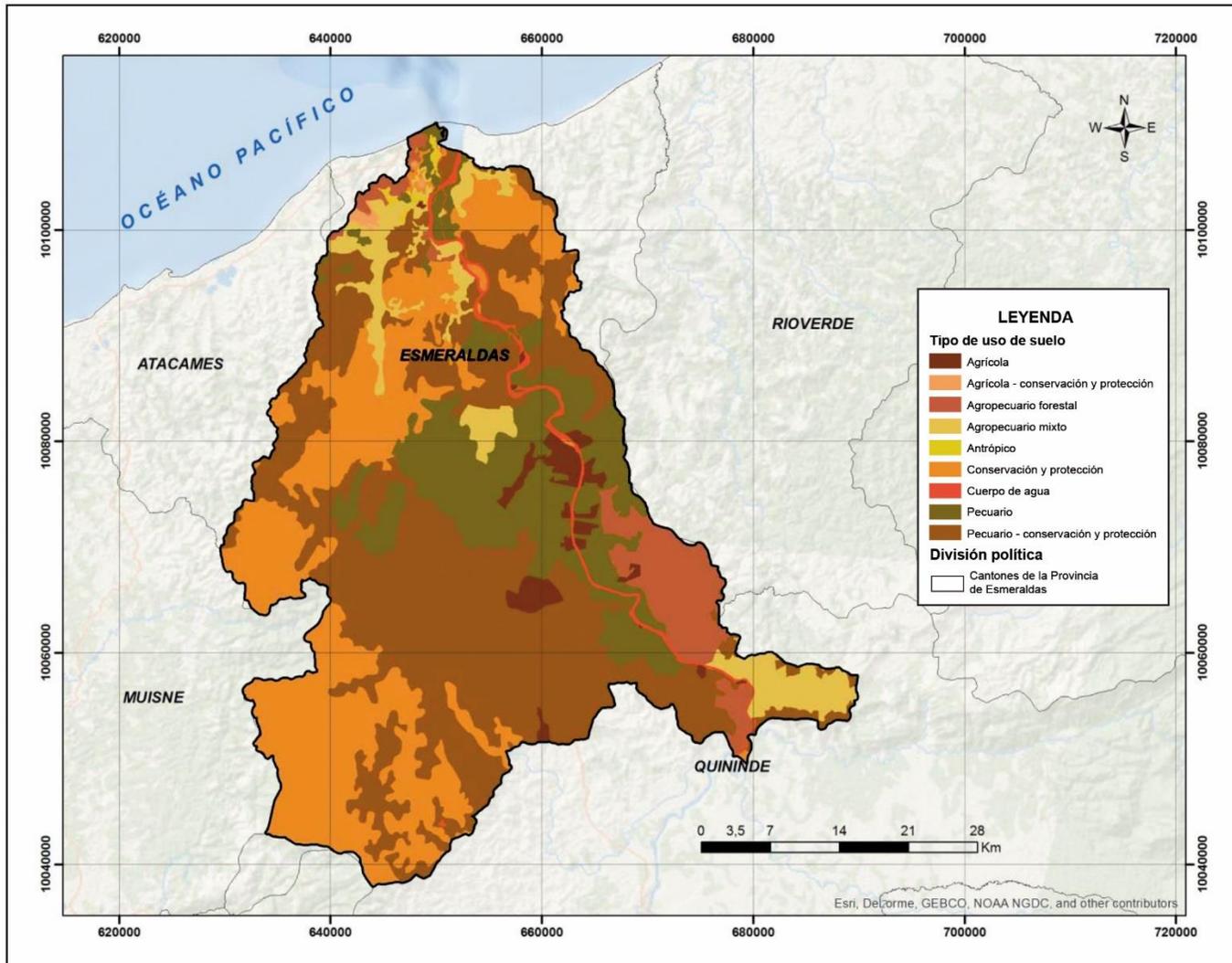


Fig. 6: Uso del suelo del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base cartográfica oficial 1:50000 del IGM – ECUADOR y el mapa oficial de uso y cobertura del suelo del ECUADOR 1:250000, MAGAP 2011.

2.3 Composición socio demográfica

El Ecuador para el análisis socio demográfico divide administrativamente al país en Provincias, Cantones y Parroquias, sin embargo, en base a la actualización estadística de la población combinada con la generación de cartografía de escalas grandes, se ha llegado en algunos sectores hasta el nivel de manzana. Como se expresó anteriormente el área de estudio se localiza geográficamente en los cantones de Esmeraldas y Quininde de la provincia de Esmeraldas que poseen una población de 312074 habitantes, divididos entre la parte urbana y rural.

El cantón Esmeraldas tiene una población de 189504 habitantes, el 81,28% corresponde a la población urbana y el 18,71% a la rural (Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2010). En el cantón existe infraestructura esencial del Ecuador como la refinería estatal de petróleo “Esmeraldas”, puerto de exportación de crudo pesado “Balao” y un puerto de comercio exterior que dinamiza la economía interna y externa del país. (ENTRIX, 2001, págs. RE-8, RE-18) (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2018, págs. 28,29) (Alencastro Guerrero, Calderón Bastidas, Intriago Ferrin, & Quiñónez Cabeza, 2019, págs. 63, 64, 65).

El cantón Quininde es el segundo más grande de la provincia de Esmeraldas con una población de 122570 habitantes, distribuidos mayoritariamente en la parte rural en un 76,25% y un 23,74% que corresponde a la población urbana. Las actividades principales de ocupación de los pobladores de los cantones de Esmeraldas y Quininde están relacionadas con el comercio de materias primas y productos de primera necesidad, la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, entre los principales (Figs. 7 y 8).

En la actualidad, estos cantones brindan servicios básicos para los habitantes relacionados con la provisión de agua potable, alcantarillado, energía eléctrica y recolección de desechos sólidos. El cantón de Esmeraldas tiene una mayor cobertura de servicios básicos, mientras que, el cantón Quininde tiene una limitada provisión de estos servicios considerando que la mayor parte de la población se concentra en la parte rural (Figs. 9 y 10) en zonas geográficas de difícil acceso.

En el área de estudio existen zonas propensas a inundaciones debido a los efectos del desbordamiento de los ríos producto de las fuertes precipitaciones derivadas de la época invernal o de la presencia del fenómeno de El Niño. El desarrollo social del área de estudio tiene como punto principal el aprovechamiento de los recursos hídricos de los diversos afluentes, lo que ha

provocado una amenaza constante a la población ubicada a las orillas de los ríos principales, como el Esmeraldas y Teaone, que en la actualidad no han sido reubicados, como es el caso de las poblaciones de: Isla Verde, Tachina, Vuelta Larga, San Mateo, Usanque, entre otras.

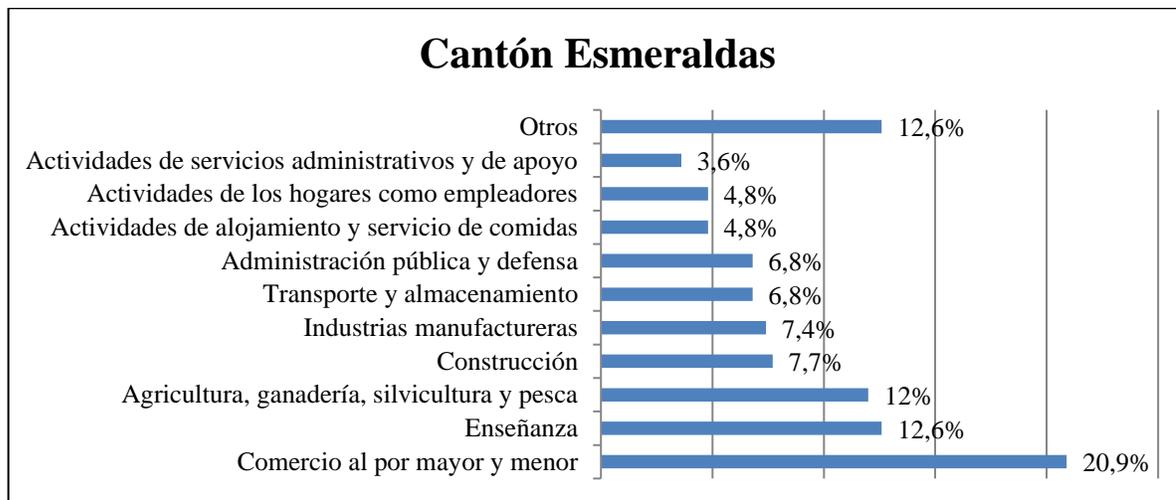


Fig. 7: Actividad ocupacional de la población en el cantón Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia en base a la información estadística oficial del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) – Ecuador.

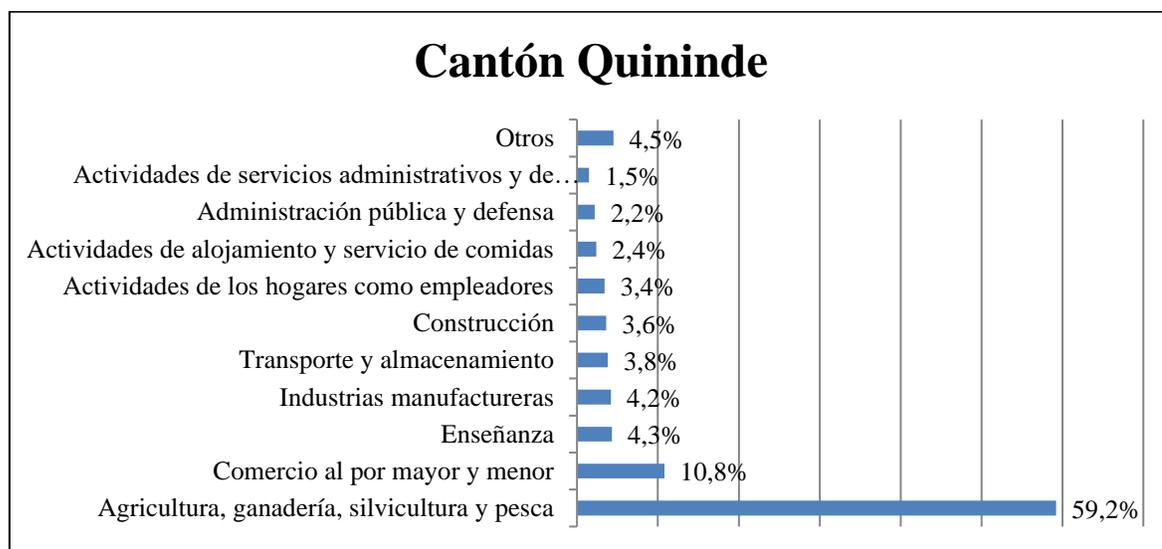


Fig. 8: Actividad ocupacional de la población en el cantón Quininde. Fuente: Elaboración propia, sobre la de la información estadística oficial del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) – Ecuador.

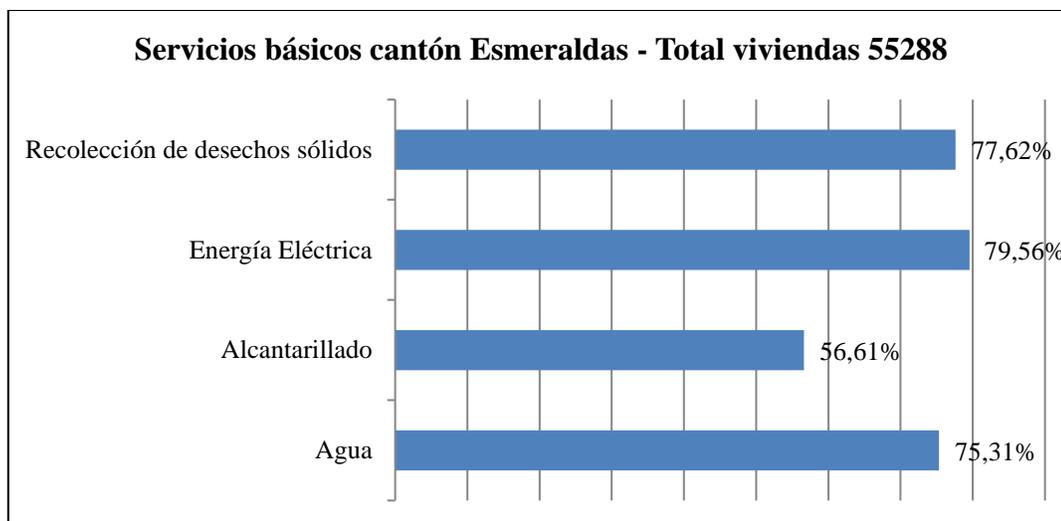


Fig. 9: Servicios básicos en el cantón de Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información estadística oficial del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) – Ecuador, 2010, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Esmeraldas, 2012 y Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Esmeraldas, 2012.

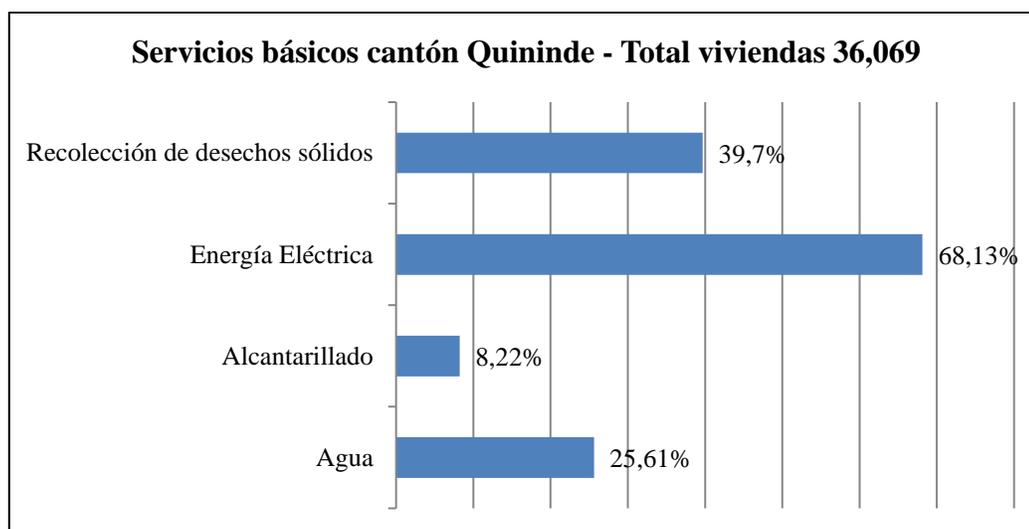


Fig. 10: Servicios básicos en el cantón de Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información estadística oficial del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) – Ecuador, 2010, y Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Esmeraldas, 2012.

3 Antecedentes y justificación de la investigación

El 22 de diciembre de 1989 en la 85a sesión plenaria de la Organización de la Naciones Unidas (ONU) da la importancia a los efectos ocasionados por los desastres naturales y en su declaración 44/236 en unos de sus considerandos indica que: “...*los desastres naturales han*

afectado negativamente la existencia de muchas personas y han ocasionado considerables daños a la infraestructura y a la propiedad en el mundo entero, en especial a los países en desarrollo...”. Producto del consenso de los países miembros de la ONU, se establece un objetivo del decenio internacional para reducir por medio de una acción de carácter global concertada: “...*los impactos generados por fenómenos naturales, especialmente en los países en desarrollo, la pérdida de vidas, los daños materiales y los trastornos sociales y económicos causados por desastres naturales como terremotos, vendavales, maremotos, inundaciones, desprendimientos de tierra, erupciones volcánicas, incendios, plagas de acrídicos, sequía y desertificación y otras calamidades de origen natural...*” (Organización de las Naciones Unidas, 1989, pág. 171).

En los últimos decenios, el mundo ha sido testigo del impacto de diferentes desastres que ha producido innumerables pérdidas humanas y una afectación directamente a las economías de los países y regiones. A nivel mundial, en el continente asiático las inundaciones han dejado incalculables pérdidas humanas y económicas por la influencia del río Amarillo, ubicada al Norte de China, cuyas aguas nacen en la meseta Qingahi – Tibet y son descargadas en el mar de Bohai, que alberga en sus riberas a más de 120 millones de habitantes y que de acuerdo a los diferentes estudios registrados provocan una afectación del 80% de la población cuando se produce inundaciones debido del desbordamiento de su cauce producto del incremento de las precipitaciones en las épocas de invierno (Casafont Berga, 1988, págs. 656, 657).

Los mayores efectos de las inundaciones se producen en la cuenca baja del río Amarillo, datos históricos registran la muerte de 18000 personas, 3800000 habitantes afectados y un área inundada de 12000 km^2 , en 1933. En la actualidad, en el 2016, el desbordamiento del río Amarillo ha ocasionado pérdidas económicas que ascienden a los 20 mil millones de dólares y un severo impacto en el desplazamiento de la población, agravando los problemas sociales en el área de la cuenca del río Amarillo por las concentraciones informales de la población (Chen, P. M. Syvitski, Gao, Overeem, & Kettner, 2012, págs. 684, 685, 686).

En el 2006, Europa Central fue testigo de las mayores inundaciones registradas en los últimos 20 años, las intensas precipitaciones ocurridas en los meses de julio y agosto sobre las cuencas del río Elba y Danubio generaron inundaciones en varios países de la Unión Europea (UE), concentrando un mayor impacto en Alemania. El resultado de las inundaciones en la UE fueron

calculadas en daños materiales sobre los 18 mil millones de euros, 10000 desplazados y más de 200 víctimas mortales.

Estudios concluyen que el aumento de los impactos de las inundaciones en la UE fue producto de problemas sociales relacionados con el cambio de uso de suelo, mala gestión hídrica de los afluentes, aumento de población en las cercanías de los ríos y mala planificación territorial que tuvo consecuencias al momento de mitigar esta amenaza (Di Baldassarre, Castellarin, & Brath, 2010, págs. 1007, 1011). A nivel Sudamericano, en 2014, Paraguay es afectado por las inundaciones provocados por el río Paraguay que alcanza históricamente altura de sus caudales hasta los 9 m, afectando a más de 17000 personas y un impacto en la economía de aproximadamente de 24 mil millones de dólares (Centro Regional, Cambio Climático y Toma de Decisiones; Universidad Católica; Fundación Moises Bertoni, 2014, págs. 12,13,14).

De acuerdo a la base de datos sobre Eventos de Emergencia (EM-DAT), del Centro para la Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres de la Universidad de Lovaina – Bruselas (CRED), en donde reposa información de los diferentes fenómenos naturales sucedidos desde el año de 1900 al 2015 (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - CRED, s.f.)¹, el continente Sudamericano ha sufrido un total de 1067 desastres, ocasionado 263724 personas fallecidas, 157455795 personas afectadas y un alto impacto a la economía de la región. De los aproximadamente 1067 desastres ocurridos en la región Sudamericana de acuerdo a la EM-DAT, 461 pertenecen a inundaciones (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - CRED,

¹ EM-DAT, Emergency Events Database: Desde 1988 el Centro para la Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres (CRED) ha mantenido una base de datos de eventos de emergencia EM-DAT. EM-DAT se creó con el apoyo inicial de la OMS y el Gobierno belga. El objetivo principal de la base de datos es servir a los propósitos de la acción humanitaria en los planos nacional e internacional. Es una iniciativa destinada a racionalizar lo que para la preparación para desastres, así como proporcionar una base objetiva para la evaluación de la vulnerabilidad y el establecimiento de prioridades decisión. EM-DAT contiene datos básicos esenciales sobre la presencia y los efectos de más de 18000 desastres masivos en el mundo desde 1900 hasta el presente. La base de datos se compiló a partir de varias fuentes, incluyendo agencias de la ONU, organizaciones no gubernamentales, compañías de seguros, institutos de investigación y agencias de prensa. En esa base se toman en consideración los eventos cuyo saldo es de por lo 10 menos y/o 100 siniestrados y/o aquellos que han provocado un llamado de asistencia a nivel nacional o internacional.

s.f.) concluyendo que muchos de los países de la región se encuentran en constante amenaza por efectos de este fenómeno natural.

El Ecuador por su condición geográfica es susceptible a la ocurrencia de fenómenos naturales al estar dentro del cinturón de fuego del pacífico causante de innumerables actividades volcánicas y sísmicas a nivel mundial. Frente a la costa ecuatoriana existe una gran depresión en el lecho marino, denominada la fosa oceánica, lugar de convergencia de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana que actualmente se la cataloga como una de las principales fuentes sismogénicas más activa e importante del país (MAC, Acosta, & Squez, 2008, pág. 1).

Estas características físicas a las que se encuentra expuesta el territorio sumado a los diferentes desastres como: inundaciones, sequías, maremotos, entre otros, ha producido inconvenientes en el desarrollo sostenible social y económico del Ecuador. De acuerdo con la EM-DAT en el periodo comprendido entre 1900 hasta el 2015, ha sucedido 92 ocurrencias de fenómenos naturales (consideradas de impacto medio y alto), provocando la pérdida de 14471 personas y un total de 3933549 personas afectadas.

De los diferentes tipos de desastres (Tabla 3) se identifica que las de mayor ocurrencia e impacto son las inundaciones con 29 eventos registrados provocando 976 personas fallecidas, 1986173 personas afectadas y un daño económico al país que supera el 1 billón de dólares en el periodo de 1900 a 2015.

TIPO DE DESASTRE	OCURRENCIAS	PERSONAS FALLECIDAS	PERSONAS AFECTADAS	DAÑOS ECONÓMICOS ('000 \$)
Sequía	4	0	744665	1700
Terremoto	17	11339	398321	1535000
Epidemia	13	1015	170656	0
Inundaciones	29	976	1986173	1561570
Deslizamientos	14	1070	81606	500000
Movimiento de masa (seco)	1	60	0	0
Actividad volcánica	11	6	549383	160975

Incendios forestales	3	5	2745	0
----------------------	---	---	------	---

Tabla 3: Desastres ocurridos en el Ecuador desde 1900 a 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de la CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - CRED, s.f.).

Las figuras 11, 12 y 13, exponen los principales desastres ocurridos en los diferentes años en el periodo comprendido entre 1900 y 2015 con relación al número de personas fallecidas, afectadas y al total de los daños económicos, basados en la base de datos de la EM-DAT.

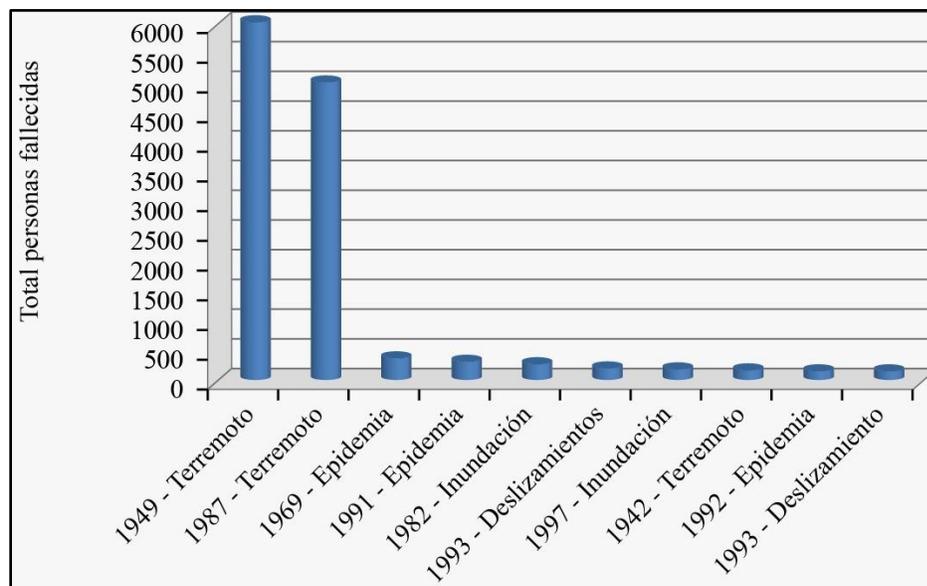


Fig. 11: Principales desastres ocurridos en el Ecuador (1900 a 2015) con relación al número de personas muertas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de la CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - CRED, s.f.).

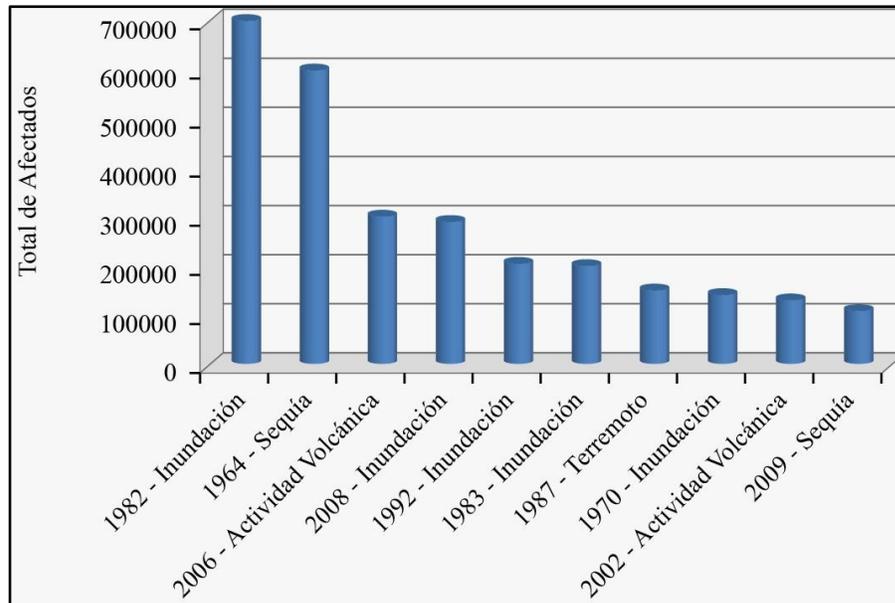


Fig. 12: Principales desastres ocurridos en el Ecuador (1900 a 2015) con relación al número de personas afectadas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de la CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - CRED, s.f.).

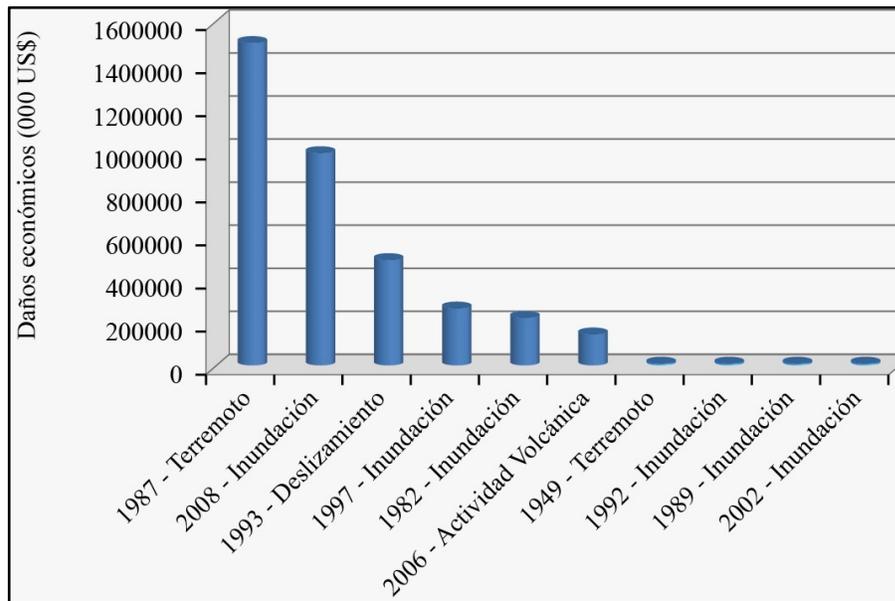


Fig. 13: Principales desastres ocurridos en el Ecuador (1900 a 2015) con relación a los daños económicos. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de la CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - CRED, s.f.).

En las gráficas anteriores (Figs. 11, 12 y 13) se cuantifica el impacto social y económico que producen las inundaciones en el Ecuador, estas consecuencias generan la necesidad de realizar

investigaciones para mitigar los efectos de las amenazas de inundación a través de estudios geográficos que faciliten la toma de decisiones de las autoridades locales y nacionales. Diferentes estudios realizados en el Ecuador, focalizan la mayoría de las inundaciones en la parte baja de la región litoral sobre áreas geográficas de las cuencas de los ríos Guayas y Esmeraldas, de la misma manera, se evidencia inundaciones en las partes bajas de las cuencas de la región Amazónica y Andina. Entre las principales causas que generan las inundaciones se pueden mencionar el cambio climático, deslizamientos de masas de tierra, exceso de precipitaciones, fenómeno de El Niño, maremotos, oleajes, pésimo sistema de drenaje en las urbes, tsunamis, terremotos, entre otros. La inundación se puede definir como el aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce (referido a la cantidad normal de agua en la cuenca que no afecta ni causa daño) (OMM/UNESCO, 1974) que afecta no solamente a las poblaciones ubicadas en las riberas de los afluentes sino a la infraestructura y economía local.

De acuerdo a la Agencia Federal de Administración de Emergencias de los Estados Unidos (FEMA), se identifican como factores de riesgo y causas para las inundaciones a las lluvias estacionales, lluvias de alta intensidad y corta duración especialmente en cuencas altas, fenómenos climáticos globales, rompimiento de represas (naturales o artificiales), grandes aportes de aguas subterráneas, deslizamientos, avalanchas y lahares, penetraciones marinas por oleajes, tormentas o tsunamis y deshielos. Análisis históricos indican que la provincia de Esmeraldas ha sido vulnerable a diversas inundaciones producidas a lo largo de la historia; de acuerdo a la base de datos Desinventar (OSSO, RED, & UNISDR, s.f.)² desde el año de 1970 hasta el 2015, se ha producido 346 inundaciones mayores y menores, producto de factores relacionados con el fenómeno de El Niño, condiciones meteorológicas, lluvias, desbordamiento y otras causas desconocidas no

² Desinventar: A partir de 1994 se empieza construir un marco conceptual y metodológico común por parte de grupos de investigadores, académicos y actores institucionales, agrupados en la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED), que concibieron un sistema de adquisición, consulta y despliegue de información sobre desastres de pequeños, medianos y grandes impactos, con base en datos preexistentes, fuentes hemerográficas y reportes de instituciones en nueve países de América Latina. Esta concepción, metodología y herramienta de software desarrolladas se denominan Sistema de Inventario de Desastres, cabe mencionar que esta base datos recopila información a nivel de provincia, cantón y parroquia de todos los eventos que se reportan como inundación.

registradas y que se relacionan con el comportamiento hidrológico de las cuencas hidrográficas de las zonas altas, medias y bajas (Fig.14).

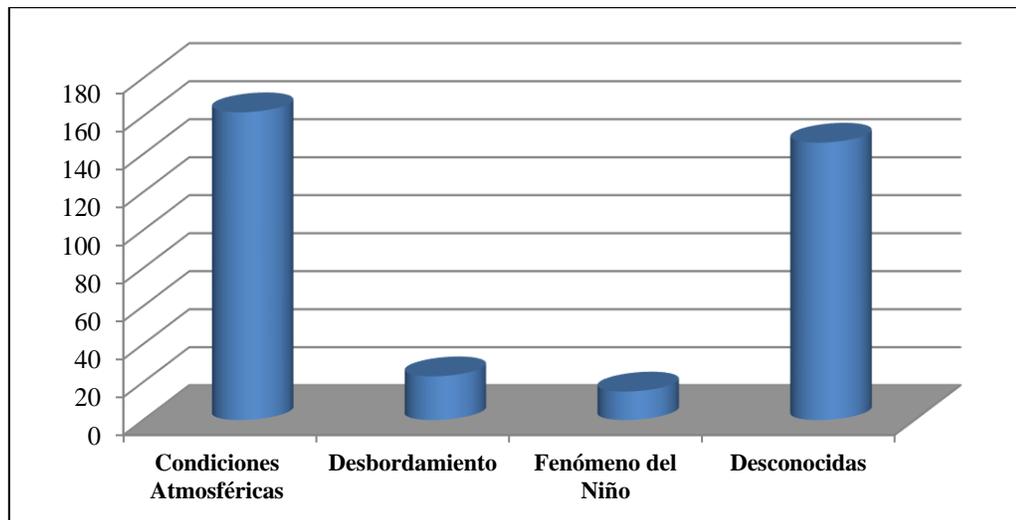


Fig. 14: Inundaciones ocurridas en la Provincia de Esmeraldas desde 1970-2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos Desinventar.

La provincia de Esmeraldas históricamente ha sido expuesta a la amenaza de inundaciones extremas derivadas de la acción de tsunamis, maremotos y del fenómeno de El Niño, cuyos efectos no han podido ser mitigados por la falta de estudios climatológicos de la cuenca del río Esmeraldas y al desorganizado crecimiento de la población en las riberas de los ríos Esmeraldas y Teaone, causando innumerables pérdidas humanas y económicas.

De acuerdo a los estudios realizados por los investigadores Robert D'Ercole y Mónica Trujillo en su libro *Amenazas, Vulnerabilidad, Capacidad y Riesgo en el Ecuador* (R, Trujillo, & Portaluppi, 2003), destacan que la mayor parte de las inundaciones se concentran en la región Costa con una afectación directa a las provincias de Guayas, Manabí, Los Ríos y Esmeraldas, por acción de factores naturales como el fenómeno de El Niño, precipitaciones extremas, desbordamiento de ríos y taponamiento de los sistemas de drenaje; la concentración de las inundaciones se desarrollan en las cuencas hidrográficas de Guayas y Esmeraldas. Dentro de su estudio genera un mapa de inundaciones potenciales a nivel país tomando como base las áreas de las inundaciones pasadas y establece la necesidad que las instituciones del estado trabajen con cartografía de la misma escala para evitar un sesgo en los estudios relacionados con las inundaciones por la poca precisión al

momento de definir las áreas afectadas o que pueden ser afectadas al momento de producirse una inundación (R, Trujillo, & Portaluppi, 2003, págs. 6,12,111).

En el 2005, Robert D'Ercole, presenta su trabajo para la definición de los Criterios de Reflexión por la Determinación de Prioridades para la reducción de los Riesgos en el Ecuador, durante el Seminario Nacional DIPECHO, en donde concluye que los desastres relacionados con inundaciones, erupciones volcánicas y sequías han tenido grave impacto en el desarrollo social, económico y cultural (D'Ercole, 2005, pág. 11). Estos estudios incentivan a que el Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR) en el 2010, elabore un Plan de Contingencia para Tsunamis de la Ciudad de Esmeraldas.

El plan plantea como antecedente que el Ecuador ha sido afectado por seis tsunamis en los años de: 1906, 1933, 1942, 1953, 1958 y 1979, lastimosamente no existe información con que se pueda cuantificar las consecuencias y efectos que tuvieron estos tsunamis sobre las crecidas de los ríos Esmeraldas y Teaone, solo se conoce de manera informativa que el río Esmeraldas se salió de su cauce (Instituto Oceanográfico de la Armada, 2010). Debido a la ausencia en la información histórica, el INOCAR realiza una modelación de los Tsunamis (ocurridos en los años de 1906, 1942, 1958 y 1979) obteniendo como resultado que las olas de entrada al río Esmeraldas fueron de aproximadamente 5,5 m después de 20 minutos de ocurrido el sismo, lo que provocó que el cantón Esmeraldas sufra graves inundaciones por el desbordamiento de los ríos Esmeraldas y por consecuencia el río Teaone.

Adicional al primer modelamiento, se genera una segunda corrida tomando como dato de entrada un sismo máximo de magnitud de $M_w = 8,8$ el cual genera una altura de inundación de 8 a 10 m; con estos antecedentes la institución oceanográfica genera mapas de posibles zonas de inundación en la ciudad de Esmeraldas por el desbordamiento de sus principales afluentes, tomando como referencia un tsunami de magnitud $M_w = 8,4$ y con una amplitud de marea de 3,3 m lo que proyecta un severo impacto sobre la población, viviendas e infraestructura (Fig. 15). En el 2007, la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) realiza un estudio sobre la influencia del cambio climático en las diferentes cuencas hidrográficas en el Ecuador.

Jubones, Pastaza y Paute. Dentro de las estrategias para la cuenca del río Esmeraldas es la modelación del balance hídrico en la subcuenca del río Guayllabamba y el análisis estadístico (base de datos Desinventar) en la que se reafirma que la influencia de las inundaciones son determinantes en el grado de intensidad de los desastres de orden local y nacional (Secretaría Nacional del Agua y DED, 2009, pág. RE 2).

El Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de la provincia de Esmeraldas elabora el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) 2012-2022, identificando como principales amenazas las: hidrometeorológicas, oceanográficas y geológicas. En lo que respecta al comportamiento de la amenaza hidrometeorológica, se establece que la acción de las precipitaciones extremas y las anomalías de la superficie del mar por la presencia del fenómeno de El Niño ocasionan inundaciones de manera constante en los ríos Mataje, Cayapas, Verde y Esmeraldas.

Los ríos afectados se consideran de mayor grado de amenaza y peligrosidad ante las inundaciones que se empeoran por las insuficientes políticas de prevención que aumentan los impactos socio-económicos y ambientales en la provincia (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Esmeraldas, 2012, págs. 29, 136). De la misma manera, el GAD Municipal del Cantón Esmeraldas elabora el PDOT 2012-2022, menciona que aproximadamente el 30% de la población urbana se encuentra expuesta a la amenaza hidrometeorológica por los efectos de las inundaciones con un mayor impacto en aquellas zonas geográficas que se encuentran a las riberas de los ríos Esmeraldas y Teane (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Esmeraldas, 2012, págs. 34, 38, 159).

En la actualidad el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo (SNGR), llevan a cabo un proyecto denominado Sistema de Alerta Temprana Hidrometeorológico del Ecuador (SAT), que consiste en la incorporación de estaciones hidrometeorológicas que transmitan información en tiempo real para la generación de mapas temáticos que identifiquen posibles áreas de afectación. Actualmente se está llevando a cabo pruebas en las cuencas de los ríos: Coca, Cañar y binacional Zarumilla. En el año de 2014, durante la Décimo Segunda Reunión del Grupo de Trabajo sobre Hidrología y Recursos Hídricos, por parte de Ecuador, concluye que para la implementación de SAT se requiere como línea base un estudio de riesgo hidrometeorológico de las cuencas y que la calidad de la información procesada va a

depender de la calidad de los datos que se ingresan para el proceso de modelación, sin embargo, dentro de las recomendaciones se destaca la importancia de obtener una información topográfica más precisa en especial un Modelo Digital del Terreno (DTM) de mayor escala en la zonas de estudio (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2014, págs. 39, 40).

Los estudios realizados sobre las cuencas hidrográficas en el país y en especial sobre la cuenca del río Esmeraldas han sido a escalas menores que no permiten analizar detalladamente las características y problemáticas de cada una de las cuencas. Todos los trabajos desarrollados han enfocado sus estudios directamente a la influencia del fenómeno de El Niño y a posibles Tsunamis frente a las costa de la provincia de Esmeraldas, centrando sus estudios en el nivel de afectación sobre la zona urbana, dejando a un lado el estudio de las inundaciones sobre todo el río Esmeraldas y Teaone en cuyas riberas en la actualidad existen poblaciones expuestas a eventos de inundación por la informalidad en la expansión de las fronteras urbanas y rurales.

El estudio de inundaciones para la generación de geoinformación temática de pronta respuesta es fundamental para la toma de decisiones ante eventos de inundación y para la disminución de la vulnerabilidad de las zonas afectas. Para ello, es de fundamental importancia contar con información geográfica e investigaciones sobre los aspectos que llevan a la definición de la problemática. El desarrollo de la presente investigación se centrará en analizar la Unidad Hidrográfica 1521 que pertenece a la cuenca baja del río Esmeraldas ante eventos de inundación por el desbordamiento de los ríos Esmeraldas y Teaone causada por el exceso de precipitación.

4 Hipótesis

La aplicación de técnicas de teledetección y la generación de geoinformación de pronta respuesta permitirá contrarrestar los efectos de las inundaciones y generar planes de mitigación.

La aplicación de técnicas específicas como sensores remotos, permite determinar el comportamiento de las cuencas hidrográficas y los efectos de la crecida de los ríos Esmeraldas y Teaone.

5 Objetivo general

Estudiar, evaluar y establecer las áreas geográficas expuesta a la amenaza por inundación ocasionadas por los ríos Esmeraldas y Teaone en las épocas de invierno o por influencia de

fenómenos naturales en los cantones de Esmeraldas, Quininde y generar geoinformación temática para el desarrollo futuro de planes de mitigación para prevenir posibles afectaciones a la población e infraestructura de interés nacional.

6 Objetivos específicos

- 1) Generar geoinformación local para la delimitación precisa de las áreas susceptibles a inundación.
- 2) Determinar las características físicas y de uso de suelo de las cuencas.
- 3) Realizar el análisis morfométrico de las cuencas y subcuencas.
- 4) Determinar las condiciones climatológicas que condicionan el funcionamiento de las cuencas.
- 5) Identificar los efectos que han provocado las crecidas de los ríos Esmeraldas y Teaone en la población, mediante el estudio de datos históricos.
- 6) Zonificar y localizar las áreas susceptibles a inundación producto de la interacción de parámetros morfológicos, climatológico, cualitativos y cuantitativos históricos.
- 7) Realizar análisis multitemporales del crecimiento poblacional, mediante el empleo de imágenes satelitales y de ortofoto de los cantones Esmeraldas y Quininde.

CAPÍTULO II. APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS EN LA OBTENCIÓN DE UN MODELO DIGITAL DEL TERRENO

CAPÍTULO II

APLICACIÓN DE LAS GEOTECNOLOGÍAS EN LA OBTENCIÓN DE UN MODELO DIGITAL DEL TERRENO

1 Introducción

El estudio del comportamiento hidrológico a los que está sujeto una determinada área geográfica se relaciona directamente con la variación topográfica en horizontal (X, Y) y vertical (Z). La variación topográfica es el resultado de un proceso geológico que influye en las diferentes variables que forman parte de los estudios hidrológicos y de su comportamiento en los diferentes periodos de tiempo (Pacheco Gil, 2012, pág. 53).

La modelización topográfica tomando como referencia los puntos de posicionamiento geodésico, curvas de nivel, cotas de elevaciones, entre otros aspectos, dan como resultado un modelo numérico de elevaciones que se asemeja a la realidad de la superficie terrestre. Los modelos numéricos de elevaciones denominados en la actualidad Modelos Digitales del Terreno (DTM) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y cualitativa que constituye la altitud de la superficie terrestre (Felicísimo, 1994).

Los DTM facilitan el estudio de la morfología del terreno en todos sus campos para la simulación de procesos hidrográficos en las áreas de estudio con la capacidad de definir en una primera instancia la red de drenaje superficial y demás variables morfométricas que definen el comportamiento físico de una cuenca hidrográfica. En el área de estudio se tiene un DTM con precisiones verticales de 30 m, generando la necesidad de mejorar la precisión vertical mediante técnicas de restitución fotogramétrica.

Un DTM local permite analizar con mayor exactitud los parámetros de forma, relieve y drenaje para identificar la relación entre la dinámica de los recursos hídricos superficiales, usos y cobertura de suelo y cobertura vegetal. Para la obtención de información base del área de estudio (generación de un DTM), se emplea el laboratorio aéreo fotogramétrico en la captación de la información fotogramétrica y posteriormente mediante restitución fotogramétrica general un DTM local.

2 Materiales y métodos

2.1 Laboratorios aéreos para la captura de geoinformación

Para la captura de información cartográfica en el área de estudio se utilizó el laboratorio aéreo fotogramétrico IGM – 628 (Fig. 16), constituido por:

- Plataforma aérea: Avión Cessna Citation (Figs. 16).
- Sensor: Cámara métrica digital ULTRACAM XP – gran formato (Figs. 17, 19 y 20).



Fig. 16: Laboratorio aéreo IGM-628. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los equipos del IGM.



Fig. 17: Interior del laboratorio aéreo IGM-628. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los equipos del IGM.

El avión JET presenta una autonomía de vuelo de 3 horas y 40 minutos, tiene una modificación en el fuselaje que permite el acoplamiento de la base giroestabilizadora (Fig. 18) para compensar los giros del avión (aleo, cabeceo, deriva) durante el vuelo. Las principales características de la aeronave para la captura de la información son las siguientes:

- Velocidad crucero: 350 nudos.

- Techo máximo vuelo: 43000 pies.
- Equipos de navegación: TCAS, GPWS, FMS, RVSM, EFIS.



Fig. 18: Base giroestabilizada ULTRAMOUNT GSM3000. Fuente: Elaboración propia, sobre la de los equipos del IGM.

El sensor que permite la captura de información terrestre es una cámara métrica digital ULTRACAMP XP (Fig. 19 y 20) que tiene la capacidad de captura de 704700 m^2 de superficie terrestre por imagen con un GSD de 6. Dichas características del instrumental permite el registro de información en el área de estudio, dada su singularidad, el sensor presenta las siguientes características:

- Distancia focal: 100,5 mm.
- Formato de la imagen: Gran formato (17310 x 11310 pixeles).
- Tamaño digital de imagen: 196 Megapixeles.
- Sistema de navegación inercial:
 - Unidad de medida inercial (IMU 31 – EEUU).
 - Sistema de posicionamiento global (GPS): Receptor GNSS (Sistema satelital de navegación global) incorporado en el avión que recepta señal GPS (L1/L2/L2C) y Glonass (L1/L2).
- Conversión analógica/digital de 14bits, lo que da por resultado un rango dinámico superior a 12 bits por canal.

- Captura información simultánea de bandas pancromáticas (blanco y negro) y multiespectrales en el espectro visible (rojo, verde, azul) y en el invisible (infrarrojo cercano).
- Velocidad mínima de disparo: 2 seg.
- Almacenamiento directo de datos de imágenes digitales en disco duro de respaldo.



Fig. 19: Sistema de cámara métrica digital ULTRACAMP XP del IGM. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los equipos del IGM.



Fig. 20: Sistema de cámara métrica digital ULTRACAMP XP. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de base del manual de Vexcel Imaging GmbH (Vexcel Imaging GmbH, 2009).

En los últimos años se ha experimentado un avance significativo en la producción de cartografía; la aparición de nuevos sensores y plataformas permitieron aumentar la cantidad y calidad de la información geográfica. En este sentido, en toda misión fotogramétrica es necesario una planificación segura y correcta con el menor error posible que permita la obtención de material de calidad.

2.2 Aspectos técnicos del área de toma (deseada)

La planificación y ejecución de vuelo para la captura de la información en el área de estudio, tiene los siguientes parámetros técnicos cartográficos:

- Escala de la información a obtenerse: 1:10000.
- Precisión horizontal: $0,3 \text{ mm} \times \text{Escala} = 3 \text{ m}$.
- Precisión vertical: $\frac{1}{4} \times \text{IC (intervalo de curva)} = 2,5 \text{ m}$.

2.3 Planificación, operación, datos de enlace GNSS y procesamiento de la información del vuelo fotogramétrico

Tanto la planificación, operación como los datos de enlace y procesamiento son realizados mediante el uso de software específicos que aseguran la disminución del error. Se utilizó el software Track Air de VexcelImaging (Tracker32) las extensiones: snapXYZ, snapSHOT y el software Applanix con la extensión PosPac, para cumplir con el proceso de toma de fotografía aérea en el área de estudio. Cada extensión es exclusiva para las actividades de planificación (snapXYZ), operación (snapSHOT) y procesamiento (PosPac), garantizando que la toma de fotografía aérea se encuentre dentro de los parámetros técnicos planteados.

2.3.1 Planificación del vuelo fotogramétrico

La ejecución de vuelos fotogramétricos está sujeta a las condiciones meteorológicas variables de la zona que en muchas ocasiones impide la captura de la información fotogramétrica durante años³. La variación topográfica es otro factor que obstaculiza la captura de información cartográfica a grandes escalas ya que la diferencia de altitud del terreno provoca la ruptura de las líneas de vuelo.

Para la planificación de vuelo se emplea la extensión snapXYZ que utiliza un DTM basado en información satelital Aster para el cálculo de las líneas de vuelo. Se consideraron los siguientes parámetros fotogramétricos (Tabla 4):

³ En la zona de estudio existen zonas nubladas permanentemente que han impedido la captura de información denominados GAPS.

PARÀMETRO	FORMULA		UNIDADES	DESCRIPCIÓN
Distancia de muestreo en el terreno (GSD)	$GSD = \frac{Tf \times Zm}{f}$	<p>Tf: Tamaño físico del pixel.</p> <p>Zm: Altura de vuelo.</p> <p>f: Distancia focal de la cámara.</p>	Centímetros o píxeles	Determina la escala de obtención del área de toma; relación entre la distancia de la superficie terrestre con un pixel en la imagen (Bredd, 2015, pág. 3).
Escala referencial (E)	$E = \frac{Tf}{GSD}$	<p>Tf: Tamaño físico del pixel.</p> <p>GSD: Distancia de muestreo en el terreno.</p>	Milímetros/metros	Es una escala inicial sobre la cual se planifica el vuelo en gabinete pudiendo variar sus resultados durante su ejecución, resulta de la división entre el tamaño físico del pixel sobre la distancia de muestreo en el terreno (Falcon & Morgan, pág. 3) (Moffitt & Mikhail, 1980, pág. 11) (Neumann, 2005, pág. 3).
Traslado longitudinal (p%)	$p\% = \frac{(F1 \times a) \times 100}{F1}$	<p>F1: Área de recubrimiento estereoscópico.</p> <p>a: Área de la imagen.</p>	Porcentaje	Asegura la estereoscopía entre las imágenes fotogramétricas de cada línea de vuelo y evita el rompimiento por efectos de la inclinación del eje vertical de la cámara, topografía y variación en la altura del vuelo (Falcon & Morgan, pág. 6)(Graham & Read , pág. 211).
Traslado lateral (q%)	$q\% = \frac{(F2 \times D) \times 100}{F2}$	<p>F2: área de recubrimiento.</p> <p>a: Área de la imagen.</p>	Porcentaje	Asegura la estereoscopía entre las líneas de vuelo de manera lateral y evita el rompimiento por efectos de la inclinación del eje lateral de la cámara, topografía, dirección de vuelo, variación en la altura de vuelo y deriva (Falcon & Morgan, pág. 7) (Graham & Read, pág. 212).
Linea de vuelo (lv)	$D = Tt \times (1 - tl)$ $Tt = GSD \times Ff$ $Lv = \left(\frac{At \times Tl}{D} \right) + 1,4$	<p>At: Área total de toma (separación entre cada línea de vuelo).</p> <p>Tl: Largo del área de toma.</p> <p>D: Ancho del terreno.</p>	Número de líneas	Relación entre el ancho de la zona de estudio sobre la separación entre cada línea de vuelo de la zona de toma (Chueca Pazos, pág. 708) (Graham & Read , pág. 212).

Distancia total fotografiada (Dtf)	-			Distancia lineal de cada línea de vuelo que depende de la longitud del área de toma, la suma de cada distancia lineal nos da la distancia total fotografiada.
Total de fotos (CT)	$a = Tl \times (1 - To)$	Tl: Largo del área de toma. To: Distancia del centro de exposición entre fotos.	Número de fotos	Cantidad de fotos en base al número de líneas de vuelo planificadas. Relación entre el largo del área de toma y la distancia entre foto y foto (Chueca Pazos, 1982, pág. 708).
Tiempo total de vuelo (Ttv)	$Tob = \frac{Dt}{V}$ $Tv = ((Lv - 1) \times 0,05) \times 1,2$ $R = (Tob + Tv) \times 0,2$ $Nv = \left(\frac{Tob + Tv + R}{3} \right)$ $Tp = (Nv * 0,85)$ $I(\text{Imprevistos}) = 25\%$ $Ttv = (Tob + Tv + R + Tp) * 0.25$	Dt: Distancia de cada línea de vuelo. V: Velocidad. Lv: Líneas de vuelo. Tv: Tiempo de vuelo. R: Tiempo de retorno a la base (aeropuerto). Nv: Número de veces de navegación sobre la toma. Tob: Tiempo de toma sobre el objetivo. Tp: Tiempo promedio.	Horas, minutos	Tiempo que emplea la plataforma aérea para la toma total del mosaico fotogramétrico en la zona de estudio; horas efectivas de toma sobre el objetivo (Lincango, 2016).
Altura absoluta de vuelo para cada línea de vuelo (Zo)	$Zm = \frac{(GSD \times f)}{Tf}$ $Hm = \left(\frac{h1 + h2 + \dots}{n} \right)$ $Zo = Zm + Hm$	Zm: Altura de vuelo. Hm: Altura del terreno sobre el nivel del mar.	Metros	Relación entre la altura de vuelo planificada y la altura promedio del terreno por cada línea de vuelo (Moffitt & Mikhail, 1980, pág. 154) (Neumann, 2005, pág. 3) (Bredd, 2015, pág. 3).
Velocidad del avión (V)	$V = \left(\frac{a}{Ie} \right) \times 3600$	V: Velocidad del avión con respecto al suelo.	Nudos	Capacidad de velocidad que emplean las plataformas en función del GSD planificado.

		<p>a: Distancia con respecto al suelo cubierta entre exposiciones a lo largo de la línea de vuelo.</p> <p>Ie: Intervalo de exposición.</p>		
Intervalo de exposición (Ie)	$Ie = \left(\frac{a}{V}\right) \times 3600$	<p>Ie: Intervalo de exposición.</p> <p>a: Distancia con respecto al suelo cubierta entre exposiciones a lo largo de la línea de vuelo.</p> <p>V: Velocidad del avión con respecto al suelo.</p>	Segundos	Tiempo que demora en capturar una fotografía aérea en el centro de exposición y su consecutiva. Resulta de dividir el tramo longitudinal de la imagen y el traslapo longitudinal sobre la velocidad del avión

Tabla 4: Parámetros fotogramétricos para la planificación de vuelo sobre el área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la planificación de vuelos ejecutadas (Bredd, 2015, pág. 3) (Falcon & Morgan, pág. 3)(Moffitt & Mikhail, 1980, pág. 11) (Neumann, 2005, pág. 3) (Falcon & Morgan, pág. 6)(Graham & Read , pág. 211) (Lincango, 2016) (Moffitt & Mikhail, 1980, pág. 154) (Neumann, 2005, pág. 3) (Bredd, 2015, pág. 3).

2.3.2 Operación del vuelo fotogramétrico

El sistema de coordenadas es uno de los factores geográficos más importantes en la planificación del vuelo. La operación se la realizó en el siguiente sistema de coordenadas:

- **Zona:** 17 S.
- **Sistema de coordenadas:** Universal Transversal de Mercator – UTM.
- **Datum:** World Geodetic System - WG—84.

Se utilizó la extensión snapSHOT y el plan de vuelo planificado para el inicio de las diferentes misiones de vuelo fotogramétrico sobre el área de toma (área de estudio) incluyendo como base los elencos de coordenadas de los centros de exposición planificados. El plan de vuelo contiene parámetros técnicos de vuelo para el avión (Fig. 21) y parámetros fotogramétricos para

que el sensor pueda capturar la información a 6 GSD de cada línea de vuelo del área de toma (Fig. 22).

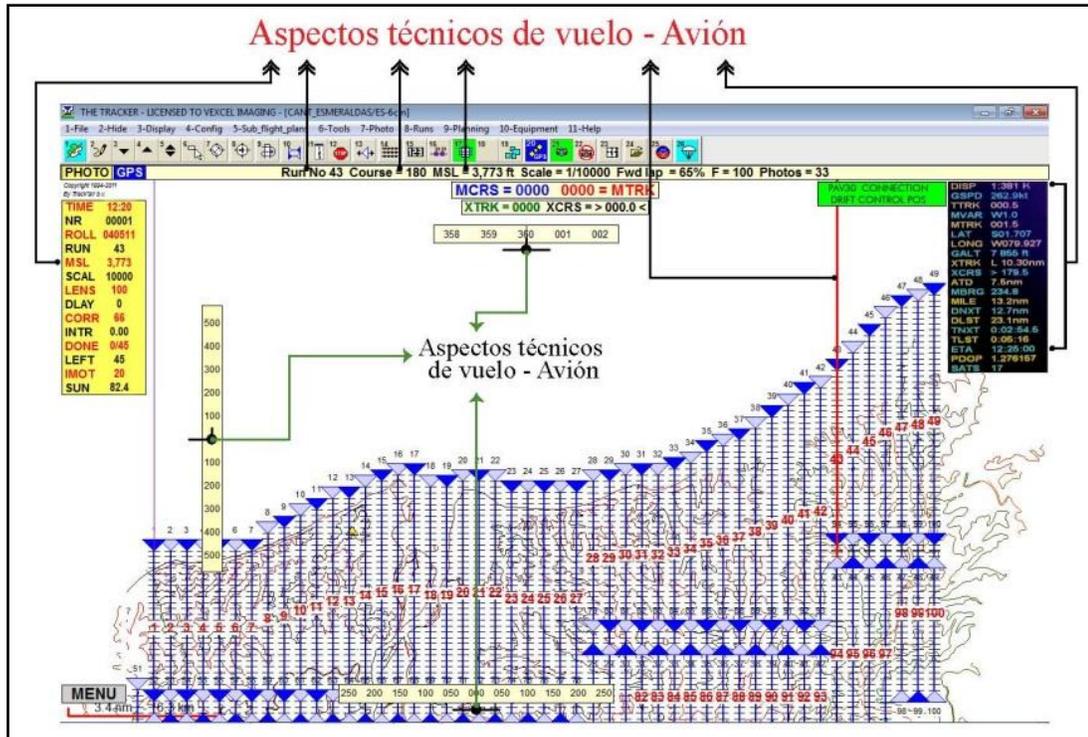


Fig. 21: Parámetros técnicos de vuelo del área de estudio en la extensión snapSHOT. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la planificación de vuelo.

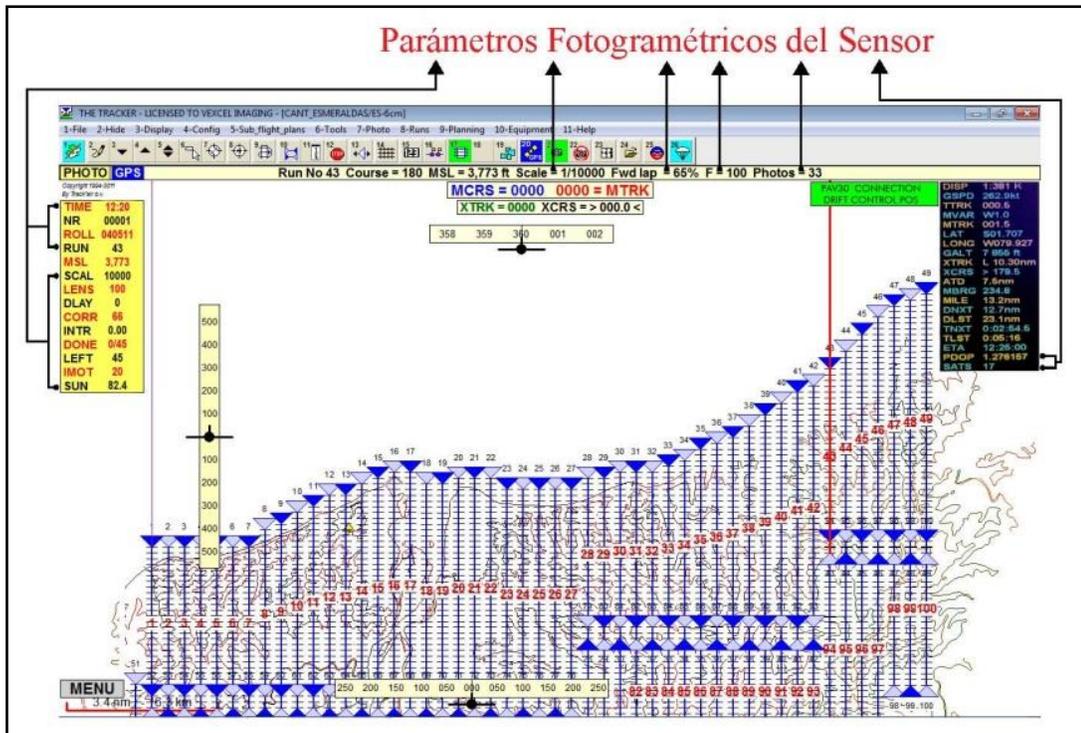


Fig. 22: Parámetros técnicos del sensor del área de estudio en la extensión snapSHOT. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la planificación de vuelo.

La fase más importante para la ejecución de las misiones de vuelo es la conexión que existe entre la antena del avión (IMU/GPS) con las estaciones geodésicas de monitoreo continuo (GNSS) en tierra (Guntel, Karabork, & Karasaka, 2018, pág. 68). Esta conexión facilita la obtención de bloques fotogramétricos georreferenciados (centros de exposición, intervalo de tiempo y ángulos de orientación de las diversas fotografías aéreas capturadas) de acuerdo al sistema de coordenadas y a la escala que se requiere.

2.3.3 Datos geodésicos de enlace

Se utilizó la Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador (REGME) (Fig. 23), para el área de estudio se empleó la estación Las Peñas (LPEC) ubicada en el cantón Eloy Alfaro, parroquia La Tola. La estación LPEC se encuentra a 60 km de la zona de estudio y área de toma; recepta información satelital a 1 seg, lo que facilita el enlace con el sistema de medida inercial/sistema de posicionamiento global (IMU/GPS) que se encuentra en el laboratorio fotogramétrico.

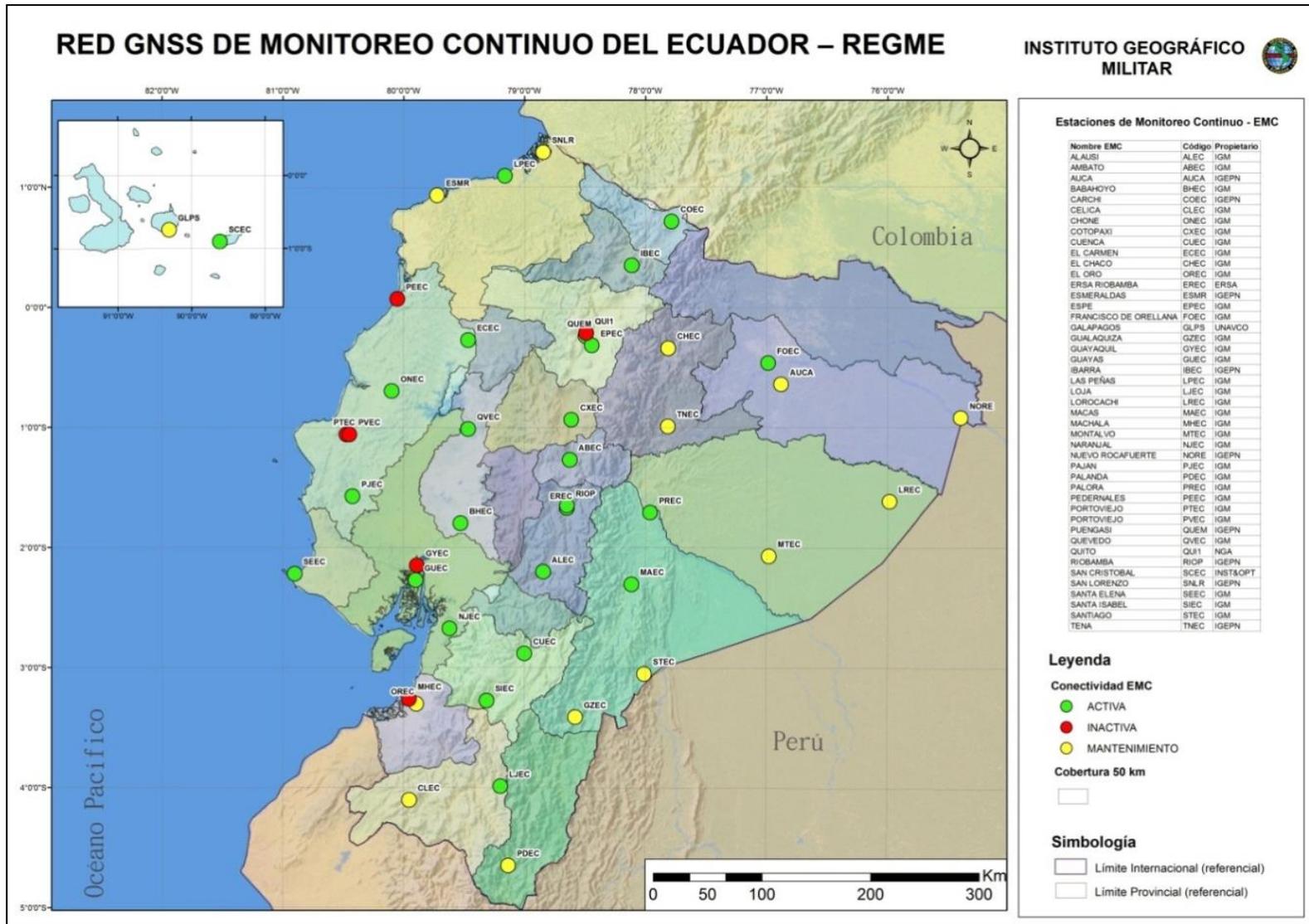


Fig. 23: Distribución de las estaciones GNSS de monitoreo continuo del Ecuador. Fuente: Elaborado por el área de Geodesia del IGM, sobre la base de la ubicación de las estaciones de monitoreo continuo.

Para el enlace de bloques fotogramétricos de las áreas tomadas se establecen 44 puntos de apoyo fotogramétrico (PAFs) distribuidos secuencialmente en el área de estudio. En la medición de los PAFs se usaron equipos GPS de doble frecuencia empleando el método estático diferencial enlazados a las estaciones REGME; los promedios obtenidos en los 4 bloques de toma son en $x = 0,2195455$ m, $y = 0,00463636$ m y $z = 0,00515909$ m.

2.3.4 Procesamiento de la información

El procesamiento de la información incluye la evaluación geométrica, radiométrica y la aerotriangulación (Tabla 5), las cuales son operaciones realizadas con la extensión PosPac para el análisis de los siguientes parámetros:

PARÀMETRO	PROCEDIMIENTO	DESCRIPCIÓN
Evaluación geométrica	Correlaciona los parámetros en el plan de vuelo con los parámetros obtenidos en los bloques fotogramétricos.	Evalúa geoméricamente la trayectoria de los diferentes vuelos fotogramétricos, garantizando los parámetros técnicos cartográficos. Correlaciona la información de la base estática en tierra (LPEC) y Sistema Inercial de la Cámara (IMU/GPS). (Lincango, Jiménez, Valdiviezo, & Freire, 2016).
Evaluación radiométrica	Divide cada imagen en 4 partes que ocupen el 25% respectivamente y cada parte contiene 25 subpartes que permiten una evaluación radiométrica manual e individual.	Analiza la presencia de sombras, nubes y bruma presentes en cada una de las imágenes fotogramétricas capturadas durante las misiones de vuelo (Sánchez & Hothem, 2002).
Aerotriangulación	$r_i^m = r_{INS}^m(t) + R_b^m(t) * [r_c^b + \lambda_i R_c^b * r_i^c]$	Obtención a partir de un mínimo número de puntos de control terrestre y mediante mediciones realizadas sobre las imágenes aéreas digitales (obtenidas por cámara digital) los parámetros de orientación externa, orientación relativa y absoluta ($\omega, \phi, k, X_o, Y_o, Z_o$) del bloque fotogramétrico (Soria Molina & Gómez Molina, 2014, págs. 47,51) (Tanathong & Lee, 2014).

Tabla 5: Parámetros de procesamiento de bloques fotogramétricos. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los parámetros de vuelo del Departamento de Fotografía Aérea del IGM (Lincango, Jiménez, Valdiviezo, & Freire, 2016) (Soria Molina & Gómez Molina, 2014) (Sánchez & Hothem, 2002) (Tanathong & Lee, 2014).

2.4 Enlace de bloques de escala pequeña en áreas consideradas lagunas (GAPs)

La complejidad de la topografía de la zona de estudio sumado a las difíciles condiciones climáticas (niebla, zonas inundadas o factores ambientales) no permiten la captura de información fotográfica en toda el área de estudio a escala grande. Esto genera la necesidad de enlace entre bloques fotogramétricos de distinto año y escala a través de PAFs en puntos en común en las zonas de traslapeo y en áreas de variación topográfica.

La complejidad de la ejecución de vuelos fotogramétricos a un GSD de 6 provoca llevar al extremo las capacidades técnicas del laboratorio aéreo (considerando que la velocidad mínima de un avión JET es de 200 nudos) y en muchas ocasiones no se puede ejecutar la totalidad de las líneas de vuelo por la variación topográfica. La topografía de la zona provoca zonas muertas, lo que causa la ruptura de las líneas de vuelo obligando a la repetición de la línea de vuelo en diferente dirección o cambio de tamaño del GSD (Fig. 24).

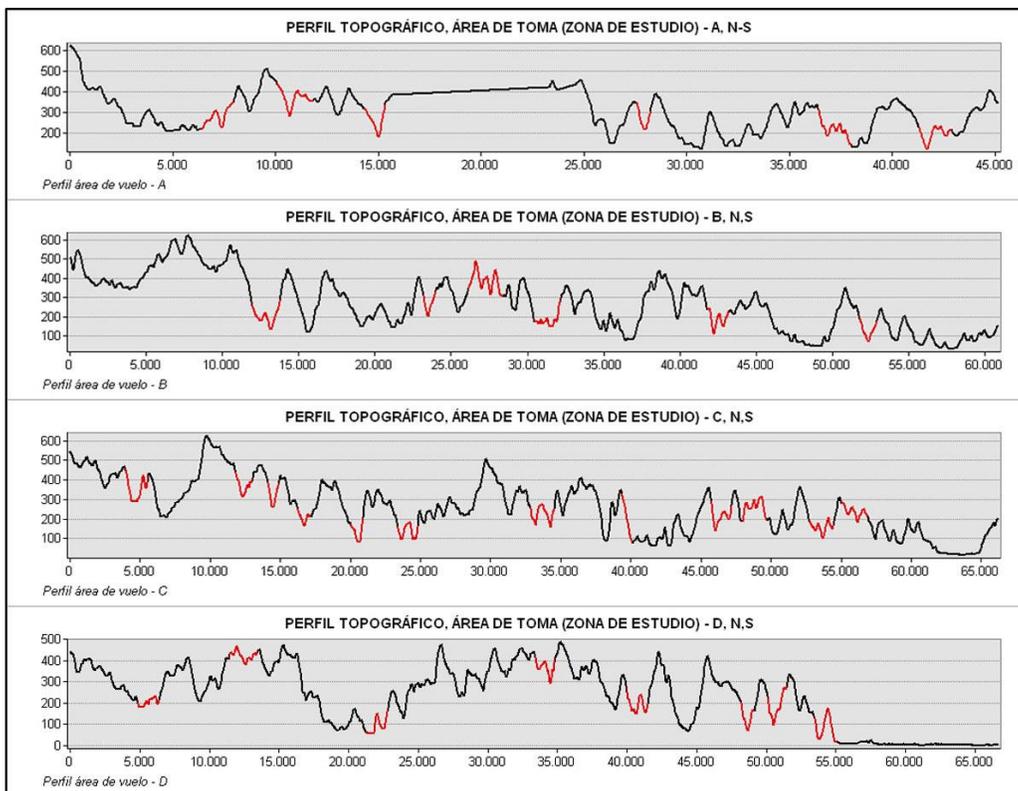


Fig. 24: Perfiles de las áreas de toma de fotografía aérea con zonas muertas (línea roja). Fuente: Elaborado propia, sobre la base de la información analizada en la planificación de vuelo.

2.5 Puntos geodésicos históricos

Se tomó como insumo previo al procesamiento del DTM, 119 puntos geodésicos levantados (alturas niveladas) desde el 2012 que se encuentran dentro de la zona de estudio (Fig. 25) de la siguiente base de datos:

- Alturas físicas niveladas por vías principales.
- Alturas físicas producto procesamiento de puntos GPS.

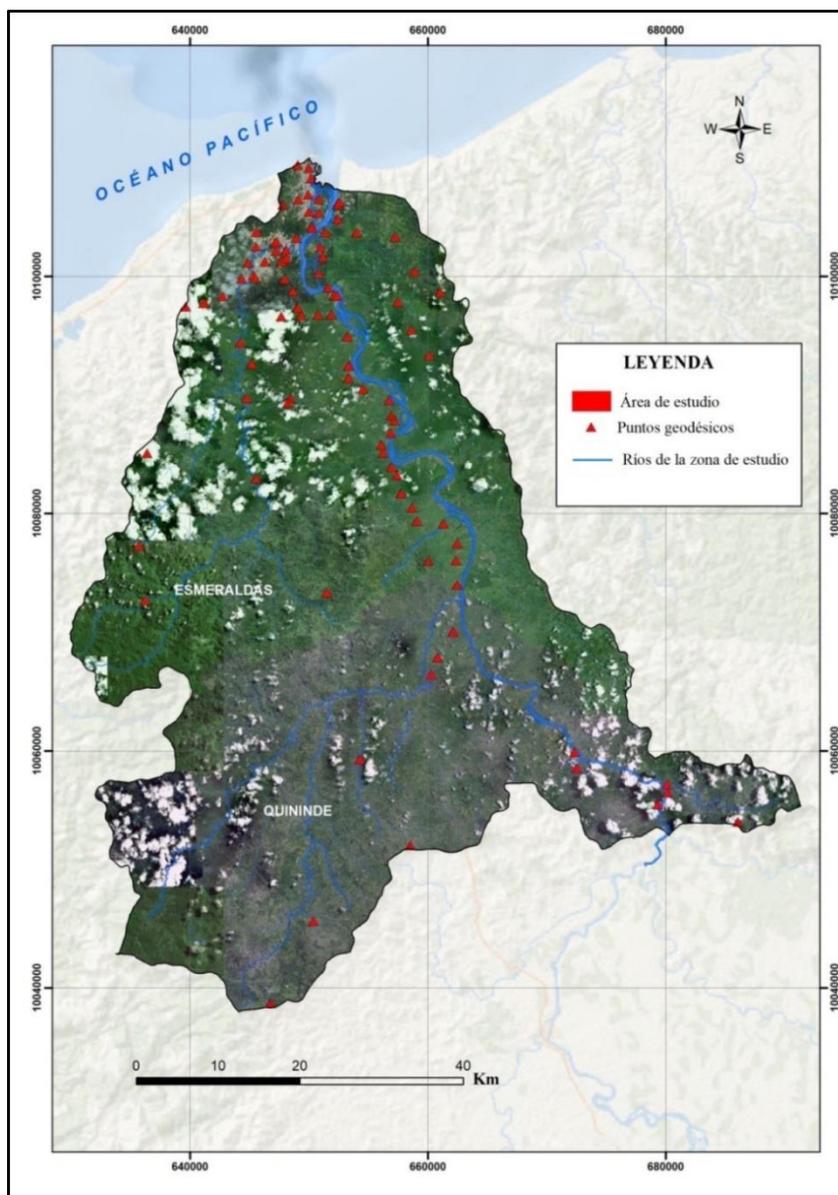


Fig. 25: Distribución de puntos geodésicos en la zona de estudio para el procesamiento del DTM. Fuente: Elaborado propias, sobre la base de la información del Departamento de Geodesia del IGM.

2.6 Restitución

Generados los datos obtenidos de aerotriangulación por bloque fotogramétrico se inicia la restitución altimétrica 3-D del área de estudio en lo que corresponde a curvas de nivel y puntos acotados. A partir de estos datos, incluidos los diferentes puntos geodésicos de la zona (tomados desde el 2010) se genera el DTM de la zona de estudio que tendrá la precisión de acuerdo a la información generada durante el proceso de fotografía aérea y los datos geodésicos de la zona; normalmente este tipo de DTM locales ofrece mayores detalles del terreno para cualquier tipo de estudio.

3 Resultados y análisis

En la etapa de planificación para la toma de fotografía de una aérea de 1675 Km², se obtuvieron los siguientes parámetros (Tabla 6):

PARÀMETRO	NOMENCLATURA	RESULTADO
Distancia de muestreo en el terreno	GSD	6
Escala referencial	E	1:10000
Traslado longitudinal	p%	65%
Traslado lateral	q%	35%
Línea de vuelo	lv	316
Distancia total fotografiada	Dtf	2215 Km
Tiempo total de vuelo	Tv	60,11 horas efectivas de vuelo
Total de fotos	CT	3735
Altura absoluta de vuelo para cada línea de vuelo	Zo	Anexo 1: Tabla de altura absoluta de vuelo para cada línea de vuelo
Velocidad del avión	V	313 km/h
Intervalo de exposición	Ie	2,93 seg
Coordenadas centro de exposición para cada fotografía aérea capturada	Cex	Anexo 2: Tabla de coordenadas de centros de exposición.

Dirección de la toma de líneas de vuelo	-	Primera pasada: Sur – Norte Segunda pasada: Norte – Sur
Base de operación	-	Aeropuerto de Tachina -Esmeraldas

Tabla 6: Planificación de vuelo para Escala: 1:10000. Fuente: Elaboración, sobre la base de los resultados de la planificación.

Los parámetros planificados y ejecutados durante el vuelo tienen como resultado la obtención de los bloques fotogramétricos para la generación de cartografía 1:10000 y DTM más ajustados a la realidad geométrica de la superficie. Se ejecutaron 5 misiones de vuelo (Figs. 26 y 27) para el cumplimiento de la planificación.



Fig. 26: Pantalla donde se controla el plan de vuelo a ejecutarse sobre la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de las fotografías tomadas durante la ejecución del vuelo fotogramétrico.

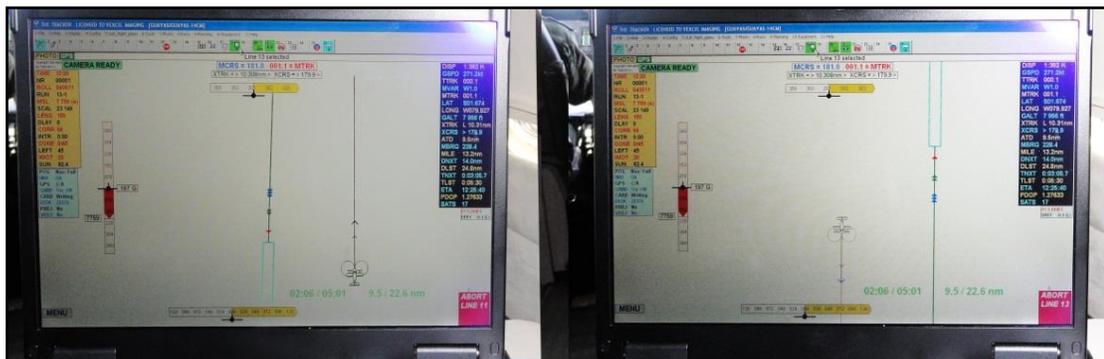


Fig. 27: Control de la toma de imágenes fotogramétricas por línea de vuelo. Fuente. Elaboración propia, sobre la base de las fotografías tomadas durante la ejecución del vuelo fotogramétrico.

En la tabla 7, se observan las tomas que fueron realizadas en diferentes años, lo cual se debe por un lado a las malas condiciones meteorológicas y por otro al rompimiento de las líneas de vuelo por la variación topográfica:

FECHA DE TOMA	LÍNEAS DE VUELO TOMADAS	IMÁGENES FOTOGRAMÉTRICAS TOMADAS
22/10/2014	21, 22, 23 - 29	148
24/10/2015	95 – 99, 171	76
26/10/2016	1, 2, 3, 4 - 20 30, 31, 32 - 70 - 94 100 101 – 169	1298
18/11/2016	170, 172 - 200 200 - 219 221 – 310, 312, 315	2077
15/12/2016	220 311, 314 - 316	136
Total	316	3735

Tabla 7: Fecha de toma, número de líneas de vuelo e imágenes fotogramétricas tomadas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los reportes de vuelo del Departamento de Fotografía Aérea del IGM.

La materialización de las misiones de vuelo genera la formación de 4 bloques fotogramétricos y se incorpora 1 bloque fotogramétrico de diferente escala (Anexo 3: Fotoíndices del área de toma) para el análisis de evaluación geométrica y radiométrica. En la tabla 8 se presenta el análisis estadístico correspondiente a la evaluación geométrica para cada bloque fotogramétrico (5 bloques) los mismos que cumple con los parámetros técnicos iniciales; el bloque que se incorpora (bloque No. 5) al tener diferentes escalas de planificación presenta diferentes valores.

BLOQUE 1						
	OMEGA	PHI	KAPPA	ESCALA PROMEDIO DE IMAGEN	GSD	INCLINACIÓN
MEDIA	0,00	0,01	-1,44	9799,21	5,88	0,05
MEDIANA	0,00	0,00	-88,50	9784,15	5,87	0,02
MÍNIMO	-1,07	- 0,95	-91,40	9545,04	5,73	0,00
MÁXIMO	1,30	2,79	92,15	10053,01	6,03	2,99
BLOQUE 2						

MEDIA	0,00	- 0,03	7,46	9784,52	5,87	0,09
MEDIANA	0,00	0,00	89,56	9788,48	5,87	0,02
MÍNIMO	-1,29	- 2,61	-91,15	9586,78	5,75	0,00
MÁXIMO	1,98	2,52	91,74	9994,11	6,00	2,79
BLOQUE 3						
MEDIA	-0,02	- 0,02	5,44	9740,93	5,84	0,24
MEDIANA	0,00	0,00	89,13	9742,35	5,85	0,03
MÍNIMO	-2,45	- 2,70	-92,91	9545,79	5,73	0,00
MÁXIMO	2,58	3,29	93,05	9940,57	5,96	3,29
BLOQUE 4						
MEDIA	0,01	- 0,02	-5,05	9792,15	5,88	0,11
MEDIANA	0,00	0,01	-88,83	9783,39	5,87	0,03
MÍNIMO	-2,17	- 2,83	-94,71	9518,55	5,71	0,00
MÁXIMO	1,28	2,13	92,91	10098,40	6,06	2,89
BLOQUE 5 (INCORPORADO – DIFERENTE ESCALA)						
MEDIA	0,00	- 0,02	6,46	10754,52	6,18	0,13
MEDIANA	0,00	0,00	89,66	9988,48	5,86	0,03
MÍNIMO	-2,29	- 2,71	-92,15	10087,78	6,09	0,00
MÁXIMO	1,48	2,62	92,74	10534,11	6,11	2,68

Tabla 8: Evaluación geométrica ejecutada los diferentes bloques fotogramétricos del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los resultados estadísticos obtenidos.

La variación de los valores en cada uno de los parámetros se produce por el efecto de las condiciones meteorológicas sobre la aeronave al momento de ejecutar las misiones de vuelo en el área de estudio. Estas variaciones son compensadas por los sistemas incorporados a la aeronave como el sistema IMU/GPS y la base giroestabilizadora que realizan las correcciones necesarias para garantizar que las imágenes capturadas cumplan con todos los aspectos técnicos.

Analizando cada uno de los bloques de la tabla 8, se determina que el bloque tres registra un mayor valor de inclinación de 3,29 seguido del bloque uno con 2,99 producidos por los efectos de la interacción del aleo, cabeceo y deriva (Ω), Φ y κ) producto de la compleja

topografía del área de estudio, condiciones meteorológicas externas de la aeronave y considerando que la altura promedio de vuelo es de 3000 m sobre el terreno. Estos parámetros que influyen en la obtención de información fotogramétrica son compensados por la acción de la base giroestabilizadora y la unidad de medida inercial (IMU); a pesar de registrar valores altos de inclinación estos bloques fotogramétricos se ajustan a una GSD medio cercana a 6 que facilita el enlace con los demás bloques de las diferentes misiones de vuelo.

La evaluación radiométrica a los bloques fotogramétricos se basa en el análisis de sombras, nubes y bruma presentes en cada una de las imágenes fotogramétricas capturadas durante las misiones de vuelo. Se eliminan todas las imágenes fotogramétricas (de forma manual) que excedan del 10% de sombras, nubes o bruma para que no intervengan en el proceso de aerotriangulación (Tabla 9 y Fig. 28).

	SOMBRAS	NUBES	BRUMA
Bloque 1	4%	2%	1%
Bloque 2	5%	4%	3%
Bloque 3	6%	5%	5%
Bloque 4	7%	3%	2%
Bloque 5	5%	4%	3%

Tabla 9: Resultados de la evaluación radiométrica manual realizado a los 4 bloques fotogramétricos. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis realizado a cada imagen.

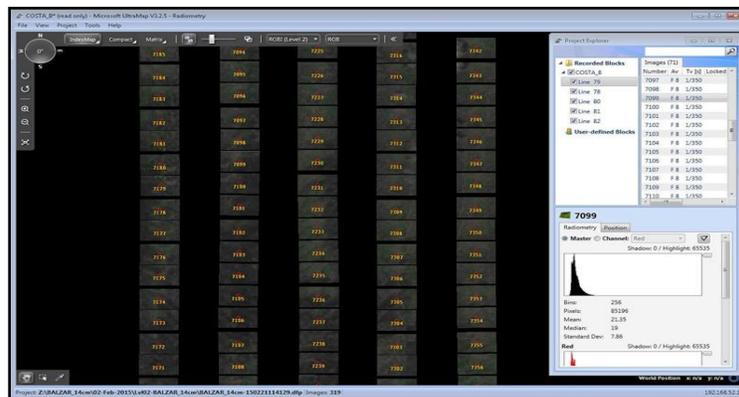


Fig. 28: Correcciones radiométricas a las imágenes fotogramétricas del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de las correcciones (manual) realizadas en el software Radiometry.

Analizando cada uno de los bloques de la tabla 9, se determina que el bloque cuatro presenta mayor porcentaje de sombras en un 7% debido a que la hora de toma se realizó en las primeras horas de la mañana (08:20 am) donde persiste una influencia de los rayos solares provocando sombras en los elementos terrestres. Por otro lado, el bloque tres presenta mayor nubosidad y bruma con un 5% en las imágenes debido a que la ubicación geográfica del área de toma se encuentra dentro del bosque tropical húmedo por lo que la evapotranspiración de la vegetación genera mayor nubosidad en el área, sin embargo, las imágenes no superan el 10% de cada parámetro por lo que se procede con el inicio de la aerotriangulación.

En el análisis de la aerotriangulación (Tabla 10) se visualiza una afectación en el valor de altura (z), debido a la incorporación de un quinto bloque con diferente escala, sin embargo, la masificación de los PAFs (Anexo 4: Coordenadas procesadas - monografías de PAFs en la zona de estudio) en puntos homogéneos minimizan el impacto a la altimetría. La cantidad de PAFs se determina en base al estadístico de muestreo utilizado para toda la zona de estudio; los valores de altura nos indican que el DTM puede tener una precisión hasta de 1,25 m.

	BLOQUE 1			BLOQUE 2			BLOQUE 3			BLOQUE 4		
	ORIENTACIÓN EXTERNA											
	X/ Omega a	Y/ Phi	Z/ Kappa	X/ Omega	Y/ Phi	Z/ Kappa	X/ Omega	Y/ Phi	Z/ Kappa	X/ Omega	Y/ Phi	Z/ Kappa
RMS Control	0,126	0,173	0,211	0,11	0,217	0,356	0,196	0,203	0,174	0,162	0,223	0,165
Max Ground Residual	0,216	0,410	0,562	0,201	0,537	1,067	0,422	0,466	0,341	0,349	0,537	0,358
RMS Photo Position	0,108	0,361	0,117	0,079	0,156	0,104	0,102	0,22	0,133	0,104	0,258	0,134
RMS PhotoAttitude	0,016	0,007	0,006	0,007	0,006	0,006	0,009	0,006	0,006	0,01	0,007	0,007
PRECISIÓN INTERNA												
Sigma 0 (um)	1,7			1,7			1,5			2,3		

Tabla 10: Precisiones obtenidas de aerotriangulación de cada uno de los bloques. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los resultados finales de aerotriangulación.

Los resultados obtenidos de la aerotriangulación de los diferentes bloques (Tabla 10), se ajustan al error máximo permisible para una escala 1:5000 que en X y Y es de 1,5 m y en Z de 1,25 m, obteniendo una mayor precisión en Z del requerido inicial. Aunque existen valores altos en el error medio cuadrático de los puntos de control (RMS Control) de las diferentes coordenadas (X, Y, Z), como son:

- Bloque 2: Y= 0,217m; Z=0,356m.
- Bloque 3: X= 0,196; Y= 0,203m.
- Bloque 4: X= 0,162m; Z= 0,165m; todos estos valores se encuentran por debajo de los valores máximos permisibles para la escala 1:5000. Se debe considerar que el RMS Control expresa la diferencia existente entre las coordenadas obtenidas en campo mediante estaciones GPS y las coordenadas obtenidas en el proceso de aerotriangulación.

Para el análisis de los máximos residuales de tierra (Max Ground Residual) se consideran los puntos de control, puntos de paso y enlace que proporcionan la precisión final del ajuste. Se debe mencionar que los puntos de control no se encuentran en todas las imágenes por lo que los puntos de paso y enlace cumplen esta funcionalidad para el ajuste; el bloque 2 tiene un mayor residual en Z con un valor de 1,067 m, resultado de la variación topográfica, vegetación y condiciones atmosféricas, que se encuentra dentro de los límites establecidos en función de la escala planificada.

El error medio cuadrático GPS diferencial (RMS Photo Position) en los diferentes bloques no exceden de los 0,4 m lo que valida que no existe una diferencia acentuada entre los centros de los fotogramas obtenidas por el GPS del avión y de los centros de coordenadas de fotogramas calculados en la aerotriangulación. Estos resultados expresan que el GPS del avión no presenta problemas durante la ejecución de los vuelos por su constante enlazamiento a la red GNSS en tierra en las diferentes misiones de vuelo ejecutadas lo que garantiza mejorar la precisión que se proyecta en (X, Y, Z) de las imágenes capturadas.

El error medio cuadrático de actitud de cámara (RMS Photo Attitude) está relacionado con el comportamiento de las imágenes al momento de la toma en los diferentes planes de vuelo que se produce por efectos del aleo, cabeceo y deriva (Omega (Ω), Phi (Φ) y Kappa (K)). El RMS Photo Attitude, realiza la corrección a cada uno de los ángulos en esta fase de la aerotriangulación,

en este caso, en cada uno de los bloques las correcciones no superan los 0,02 m, indicador que el IMU no presenta problemas para garantizar la escala de la fotografía planificada.

Los valores de Sigma 0 expresan el estado de la orientación relativa, determinando posibles problemas de paralaje que muchas veces se ven afectados por imágenes que no tienen buena resolución producto de la presencia de bruma o problemas de color en las imágenes. En el caso del área de estudio no se presencia este tipo de problemas debido a que la mayoría de las misiones de vuelos se realizan a baja altura por lo que los valores se encuentran en un rango de 1,5 μm a 2,3 μm^4 y no exceden en este caso de los 10 μm , garantizando que los diferentes bloques no tienen problemas de paralaje.

De esta manera, las precisiones en la orientación externa no superan un metro en comparación con la escala de la fotografía, confirmando que cada bloque fotogramétrico ha sido ajustado dentro de los parámetros de una escala grande con el fin de cumplir con la precisión final para la georeferenciación. Se debe mencionar que la finalidad de la orientación externa es buscar la reconstrucción del modelo a escala del momento que fue captada la toma por la cámara para generar los productos fotogramétricos con una precisión acorde a los parámetros planteados para la generación del DTM para el caso de estudio.

La implementación y ajuste del método de enlace entre bloques fotogramétricos a través de la densificación de PAFs permite generar un DTM ajustado a la realidad topográfica del área de estudio con mayores precisiones. Considerando que para el análisis hidrográfico es importante tener una mejor aproximación a la geometría superficial, el DTM a generarse proporcionará mejores resultados para estudios geográficos, hidrográficos, morfológicos y en la definición de áreas susceptibles a inundaciones.

⁴ *Micra* (μm): Unidad de longitud que equivale a una millonésima parte de un metro.

**CAPÍTULO III. ANÁLISIS
MORFOMÉTRICO DE LA UNIDAD
HIDROGRÁFICA 1521**

CAPITULO III

ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA 1521

1 Introducción

Una cuenca hidrográfica es un área geoespacial delimitada por una línea de cumbre que define sus límites naturales y que actúa como una unidad hidrológica en la que se recolectan y drenan diferentes variables climáticas e hidrológicas, tales como precipitaciones, escorrentía y evaporación, hacia un punto de descarga, que puede ser un río, laguna o mar (Cruz Romero, Gaspari, Rodriguez Vagaría, Carrillo Gonzalez, & Téllez López, 2015, págs. 26,27) (Geraldi, 2009, pág. 23) (Cuasapaz Chamorro, 2018, pág. 27). El análisis técnico establece una adecuada gestión del recurso hídrico, factor importante en la planificación y ordenamiento territorial de diferentes gobiernos seccionales que geográficamente se encuentran en la cuenca (FAO, 2020) (Camino, y otros, 2018, pág. 73).

Las cuencas hidrográficas mantienen una relación constante entre las condiciones climáticas y físicas, aspectos fundamentales en el análisis de los parámetros e índices morfométricos de la unidad hidrográfica (Cerignoni & Rodriguez, 2015, pág. 357). La morfometría basa su análisis en diversos parámetros e índices que caracterizan la forma de una cuenca con el fin de concebir el comportamiento dinámico del sistema hidrológico (Doffo & Bonorino González, 2005, pág. 13) (Méndez & Marcucci, Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas-Venezuela, 2006, pág. 30) (Campo, Aldabur, & Fernández, 2012, pág. 8).

El análisis morfométrico facilita entender la capacidad de captación hídrica de cada cuenca hidrográfica ante fenómenos naturales y antrópicos a lo que se encuentra expuesta, midiendo su capacidad de respuesta a través del análisis geométrico de la superficie (Aumassanne, Gaspari, Bege, Oricchio, & Di Bella, 2018). Los análisis y resultados morfométricos están relacionados con la calidad (precisión) de los modelos digitales del terreno (DTM) que proporciona información de parámetros e índices de forma, relieve y drenaje (Crevenna Recaséns, Sorani, Torres, & Frame, 2005, págs. 14, 15).

Un componente esencial para determinar el comportamiento hídrico de la cuenca es conocer el tipo de geología, condiciones de suelos, análisis de su cobertura y los usos que se le proporcione

al suelo en el área de estudio. Estos aspectos definen la capacidad de respuesta que tiene una cuenca ante precipitaciones y su posterior descarga hacia los afluentes secundarios y primarios y de qué manera influye hidrológicamente el alterar las coberturas de suelo.

2 Materiales y métodos

2.1 Clasificación de la Unidad Hidrográfica 1521

Los caudales de los ríos Esmeraldas y Teaone están relacionados con el régimen climatológico de la zona, del bosque tropical húmedo y de los grandes ríos que descienden de la Cordillera de los Andes hacia el Océano Pacífico. Hidrológicamente el río Esmeraldas se alimenta de 13 afluentes primarios (perennes) y 903 secundarios (perennes e intermitentes) directos e indirectos; de la misma manera, el río Teaone se alimenta de 3 afluentes primarios y 297 secundarios (perennes e intermitentes) directos e indirectos, de acuerdo a la información cartográfica del DTM local generado (Fig. 29).

Considerando que el Ecuador posee una gran red hidrográfica, las instituciones encargadas de monitoreo y manejo de las diferentes cuencas hidrográficas adoptan la metodología Pfafstetter para la delimitación y codificación de las unidades hidrográficas (Secretaría Nacional del Agua, 2011, pág. 4). La metodología Pfafstetterse asigna identificadores a las correspondientes unidades de drenaje tomando como referencia la topografía (horizontal y vertical) de la superficie del terreno (SENAGUA, CAN, & UICN, 2009, pág. 9).

La base topográfica a utilizar (condicionada por la precisión y escala que se requiere) y en especial el DTM establece una relación con las unidades hidrográficas que contiene y con las que limita. Las características principales de la aplicación de esta metodología son las siguientes:

“...El sistema es jerárquico y las unidades son delimitadas desde las uniones de los ríos (punto de confluencia de ríos) o desde el punto de desembocadura de un sistema de drenaje en el océano.

A cada unidad hidrográfica se le asigna un específico código Pfafstetter, basado en su ubicación dentro del sistema de drenaje que ocupa, de tal forma que éste es único al interior de un continente.

Este método hace un uso mínimo de dígitos en los códigos; tal es así, que el número de dígitos representa el nivel en el que se encuentra la unidad.

La distinción entre río principal y río tributario es en función del área drenada. Así, en cualquier confluencia, para esta metodología el río principal será siempre aquel que posee mayor área de drenaje...” (SENAGUA, CAN, & UICN, 2009, pág. 9).

La metodología Pfafstetter considera para su delimitación y codificación tres tipos de unidades de drenaje: cuenca⁵, intercuenca⁶ y cuenca interna⁷(SENAGUA, CAN, & UICN, 2009, pág. 10) (Superintendencia de Gestión de la Información - SGI, 2014, págs. 36, 37). La codificación inicia con la determinación del curso del río principal desde un punto de confluencia, que en el caso del nivel uno normalmente es la desembocadura del río al mar, hacia aguas arriba hasta identificar una nueva confluencia, lugar en el que se realiza la comparación de áreas para continuar con el trazado del curso por la unidad que tiene mayor área; se repite este proceso de manera sucesiva hasta llegar a la parte superior de la unidad que se está delimitando (SENAGUA, CAN, & UICN, 2009, pág. 10) (Superintendencia de Gestión de la Información - SGI, 2014, pág. 11).

Establecido el curso del río principal se identifican las cuatro áreas mayores de drenaje que confluyen al río principal, siempre en función del área que poseen; las cuatro unidades hidrográficas de mayor área de drenaje identificadas corresponden a unidades tipo cuenca y son codificadas desde aguas abajo hacia aguas arriba con los dígitos pares 2, 4, 6 y 8. Los otros tributarios del río principal son agrupados en las áreas restantes, denominadas intercuenas, que se

⁵ Es un área que no recibe drenaje de ninguna otra área, pero si contribuye con flujo a otra unidad de drenaje o al curso principal del río.

⁶ Es un área que recibe drenaje de otra unidad aguas arriba, a través del curso de río considerado como el principal, y permite el paso de este hacia la unidad de drenaje contigua hacia aguas abajo.

⁷ Es un área de drenaje que no recibe flujo de agua de otra unidad ni contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje o cuerpo de agua.

codifican desde aguas abajo hacia aguas arriba con los dígitos impares 1, 3, 5 y 7 y el área que recibe el código 9 se constituye en la unidad de drenaje que contiene en la parte más alta de la unidad el curso del río principal (SENAGUA, CAN, & UICN, 2009, págs. 11, 12) (Superintendencia de Gestión de la Información - SGI, 2014, págs. 15, 16).

Las cuencas e intercuencas resultado de la primera división pueden subdividirse aplicando el procedimiento antes descrito, de manera que, una unidad hidrográfica tipo cuenca dos (como ejemplo) puede subdividirse al interior en unidades hidrográficas tipo cuenca con códigos 22, 24, 26, 28, y en unidades hidrográficas tipo intercuencas con códigos 21, 23, 25, 27 y 29. Así mismo, para las unidades hidrográficas de tipo intercuencas uno (como ejemplo) puede subdividirse al interior en unidades hidrográficas tipo cuenca con códigos 12, 14, 16, 18 y en unidades tipo intercuencas con códigos 13, 15, 17 y 19; este proceso se lo realiza hasta que los cursos de agua principales de las cuencas e intercuencas no posean tributarios.

Esta metodología establece 5 niveles de codificación para todo el Ecuador, tomando como base (nivel 1) a dos regiones hidrográficas definidas por la división realizada a nivel continental, la primera es la región hidrográfica de la costa del Pacífico con código 1 y la segunda es la región hidrográfica del río Amazonas con código 4. En la tabla 11 se presenta la codificación empleada desde el nivel 1 hasta el nivel 5 de todo el Ecuador realizado inicialmente a escala 1:250000 y posteriormente a 1:50000 sin variar en la codificación respectiva:

NIVELES	REGIÓN	NRO. UNIDADES HIDROGRÁFICAS	CÓDIGO UNIDADES HIDROGRÁFICAS
Nivel 1	1	1	1
	4	1	1
Nivel 2	1	3	13, 14, 15
	4	1	49
Nivel 3	1	16	138, 139....
	4	2	497, 499
Nivel 4	1	117	1382, 1394...

	4	6	4974, 4978...
Nivel 5	1	711	13841, 13942...
	4	23	49749, 49784...

Tabla 11: Clasificación por niveles de las unidades hidrográficas del ECUADOR por la metodología Pfafstetter.
Fuente: Elaboración propia, en base al manual de delimitación y codificación de unidades hidrográficas del ECUADOR, SENAGUA, CAN y UICN, 2009.

Los ríos Esmeraldas y Teaone de acuerdo a la codificación por la metodología Pfafstetter se encuentra en el nivel 4, materializando la Unidad Hidrográfica 1521 objeto de estudio, la cual agrupa a todos los ríos primarios y secundarios (perennes e intermitentes) de la zona y abarca una parte de los territorios de los cantones de Esmeraldas y Quininde. La Unidad Hidrográfica 1521 materializa la parte baja de la cuenca del río Esmeraldas y en el nivel 5 se encuentra dividida en 9 unidades hidrográficas (Fig. 30), las mismas que se detallan a continuación:

- Cuenca río Chigue.
- Cuenca río Majúa.
- Cuenca río Tablazo.
- Cuenca río Viche.
- Unidad hidrográfica 15211.
- Unidad hidrográfica 15213.
- Unidad hidrográfica 15215.
- Unidad hidrográfica 15217.
- Unidad hidrográfica 15219.

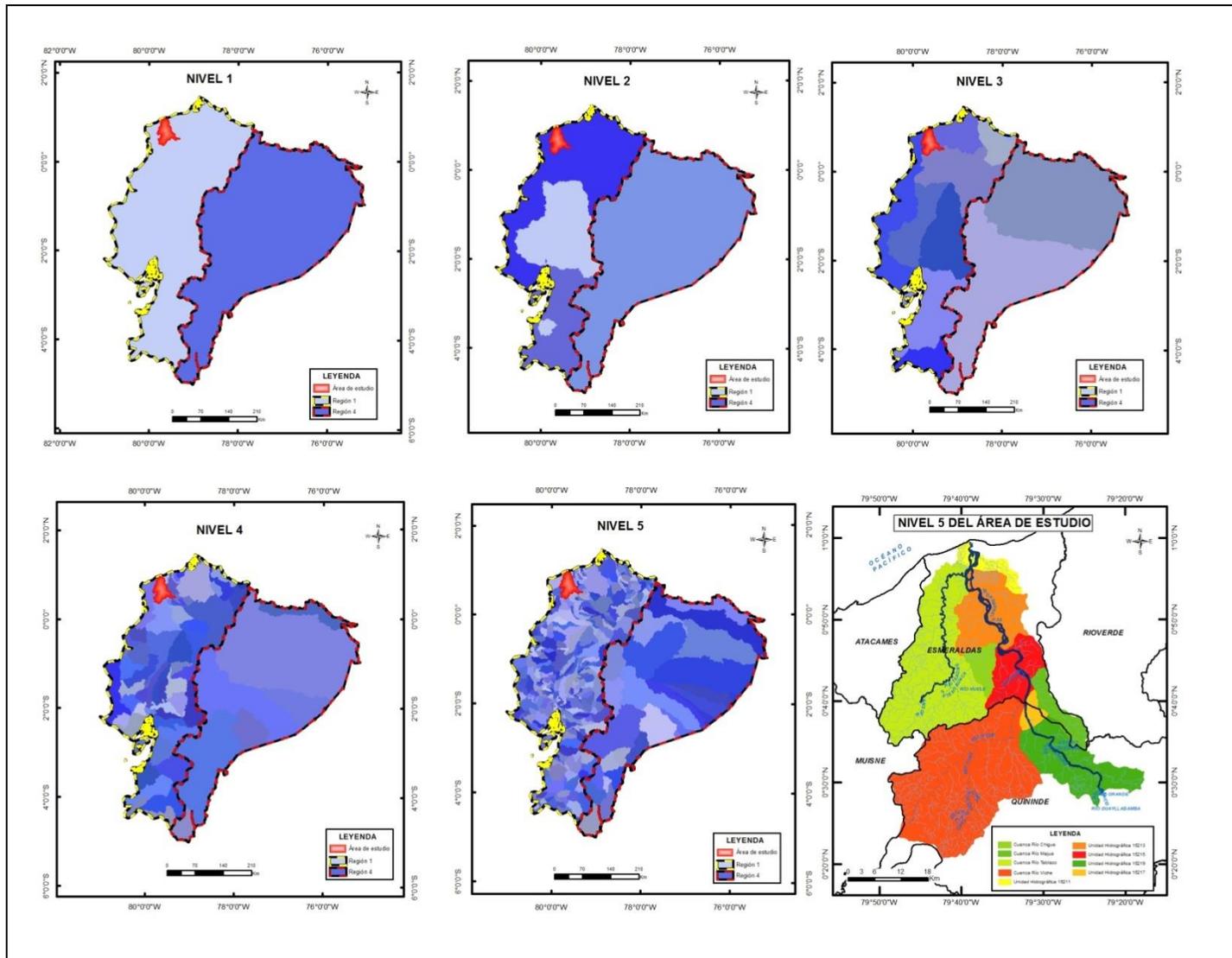


Fig. 30: Mapa de los 5 niveles de clasificación Pfafstetter – ampliación del nivel 5 del área de estudio a escala grande. Fuente: Elaboración propia, sobre la base cartográfica 1:50000 del IGM y al mapa base oficial de clasificación Pfafstetter 1: 250000 de SENAGUA.

2.2 Parámetros e índices morfométricos

Los parámetros e índices morfométricos de la Unidad Hidrográfica 1521 perteneciente a la cuenca del río Esmeraldas se obtuvieron a partir del análisis físico del DTM y de la red hídrica de la cuenca. Se aplicó el modelo *HYDROLOGY* en el entorno SIG para el análisis y medición (Meza Aliaga, Rodríguez Valdivia, Corvacho Ganahín, & Tapia Tosetti, 2014, pág. 18). El análisis morfométrico para la determinación de parámetros e índices de relieve, forma y drenaje se realizó con base a fórmulas que en conjunto con el análisis del DTM permiten obtener los valores de la unidad hidrográfica (Tabla 12) (Camino, y otros, 2018, págs. 78, 80, 81) (Geraldí, 2009, págs. 24-26) (Aumassanne, Gaspari, Bege, Oricchio, & Di Bella, 2018, págs. 18,19).

	PARÁMETROS	FORMULA	UNIDAD
FORMA	Perímetro (P)	-	Km
	Área (A)	-	km ²
	Longitud del curso de agua más largo (L)	-	Km
	Ancho promedio (Ap)	$kc = \frac{A}{L}$	Km
	Coficiente de compacidad (Kc)	$kc = \frac{0,28 * P}{\sqrt{A}}$	Adimensional
	Factor forma (Ff)	$Ff = \frac{Ap}{L}$	Adimensional
	Radio de elongación (Re)	$Re = 1,128 * \frac{\sqrt{A}}{L}$	Adimensional
RELIEVE	Altura máxima (Hmax)	-	m
	Altura mínima (Hmin)	-	m
	Altura media (Hmed)	$Hmed = \left(\frac{\sum h}{n}\right)$ a)	m
	Desnivel absoluto (d)	$d = (Hmax - Hmin)$	m
	Pendiente media del cauce principal (i)	$i = \frac{(Hmax - Hmin)}{L}$	%

	Pendiente media de la cuenca (Pend)	$P_{med} = \left(\frac{Ic \cdot \sum Lcv}{A} \right)$ b)	%
	Orientación (N-S-E-W)	o	o
DRENAJE	Longitud total de los cursos de agua (Ln)	$Ln = \sum Ln$	m
	Densidad de drenaje (Dd)	$kc = \frac{Ln}{A}$	km/km ²
	Orden de la cuenca (N°)	$N_{c1}, N_{c2}, N_{c3}, \dots$	Adimensional
	Relación de bifurcación (Rb)	$kc = \frac{Nr_{(n)}}{Nr_{(n+1)}}$	Adimensional
	Coefficiente de torrencialidad (Ct)	$Ct = \frac{N_{c1}}{A}$	Adimensional

Tabla 12: Parámetros y índices morfométricos de forma, relieve y drenaje calculados en la Cuenca del Río Esmeraldas (Unidad hidrográfica 15219. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de: (Allende, Teodoro, & Mendoza, 2007) (Aumassanne, Gaspari, Bege, Oricchio, & Di Bella, 2018) (Bredd, 2015) (Camino, y otros, 2018) (Campo, Aldabur, & Fernández, 2012) (Crevenna Recaséns, Sorani, Torres, & Frame, 2005) (Cuasapaz Chamorro, 2018) (Geraldí, 2009) (Felicísimo, 1994), a)h = altura, b) Ic= Intervalo de curva, Lcv= Líneas curvas de nivel.

2.3 Parámetros e índices de forma

Mediante el análisis de las características físicas de la red de drenaje y de los valores altitudinales del DTM, se delimita la cuenca de la Unidad Hidrográfica 1521 (perteneciente a la cuenca baja del río Esmeraldas) para el análisis de los diferentes parámetros e índices. El perímetro (P) es la línea medida alrededor de la divisoria de aguas de la cuenca; el área (A) de drenaje es la cuantificación del tamaño de la cuenca hidrográfica, estos parámetros facilitan el análisis topográfico, hidrográfico y meteorológico de la cuenca (Camino, y otros, 2018, pág. 11) (Volonté, 2017, págs. 36,37) (Geraldí, 2009, pág. 24).

La longitud del curso de agua más largo (L) es la distancia entre el punto más alejado del curso de agua hasta su desembocadura; la relación entre el área de la cuenca (A) y la longitud del curso de agua más largo (L) se denomina ancho promedio (Ap). Dichos parámetros son los denominados de medición directa dado que se realizan con base en la información topográfica de la cuenca y proporcionan una información física de la misma.

Los índices de factor forma (Ff), relación de elongación (Re), coeficiente de compacidad (Kc), son parámetros de medición indirecta debido a que dependen de otros parámetros calculados. El factor forma (Ff) y la relación de elongación (Re) son parámetros que definen la tendencia alargada (elongación) de la cuenca hidrográfica mientras que el coeficiente de compacidad (Kc) es un parámetro para la definición de la forma del contorno de la cuenca.

El factor forma (Ff) es un coeficiente adimensional que analiza el comportamiento de la cuenca con relación a las crecidas. Una cuenca con una forma más circular está expuesta a crecidas más bruscas que las cuencas de forma alargadas. De esta manera, cuando su valor se acerca a 1 es una cuenca circular y cuando es menor a 1 tiene características alargadas (Henaó Sarmiento, 1998, pág. 31). La relación de elongación (Re) es la relación entre el diámetro de un círculo que posee la misma área de la cuenca y la longitud del curso de agua más largo (Schumm, 1956, pág. 612) y tiene la misma clasificación que el factor forma (Jardí, 1985, pág. 47).

La relación entre el perímetro (P) de la cuenca y la circunferencia de un círculo de igual área se denomina coeficiente de compacidad (Kc) (Jardí, 1985, pág. 14) (Fuentes Junco, 2004, pág. 3). Cuando el coeficiente de compacidad (Kc) se acerca a 1 se considera que la cuenca es de forma redonda y tendrá una mayor concentración de aguas de escurrimiento debido a que los tiempos de concentración en cualquier punto de la cuenca serían iguales (Fuentes Junco, 2004, pág. 13) (Geraldí, 2009, pág. 24) (Méndez, Pacheco, Cartaya, Marcano, & Leon, 2015, pág. 144).

Cuando el indicador se aleja de 1 se produce un efecto contrario; de acuerdo a la clasificación de varios autores tenemos que una cuenca con un coeficiente compacidad (Kc) de 1 a 1,25 tendrá una forma redonda a oval redonda, 1,25 a 1,50 de redonda a oval oblonga y de 1,50 a 1,75 de oval oblonga a rectangular oblonga.

2.4 Parámetros de relieve

Los parámetros de relieve tienen una relación con la velocidad de escorrentía, variedad climática y de vegetación. Para el análisis se genera un DTM mediante procesos de restitución fotogramétrica, trazando curvas de nivel a 5 m e incrementando los puntos de control (horizontal y vertical) mediante mediciones GPS y valores de nivelación geométrica medidos sobre las principales vías de la cuenca. Para su procesamiento se realizan líneas de quiebre (brake line) que servirán para una mejor definición del modelo en lugares como ríos y quebradas, además de evitar

deformación; de esta manera se obtiene un DTM con una resolución de 10 m para escala 1:10000 y cuya precisión planimétrica es igual o menor de 3 m y la precisión vertical 2,5 m, lo que garantiza mejores resultados en los parámetros e índices morfométricos de la cuenca.

La altura máxima (Hmax) se obtiene del valor de mayor altitud (z) del DTM que limita la cuenca, referida a partir de las curvas de nivel generadas o a los puntos acotados que se encuentran en la cima de las elevaciones. La altura mínima (Hmin) es el valor de menor altitud (z) del DTM de la cuenca; no siempre el Hmin coincide con el punto de desfogue de la cuenca considerando que la variación topográfica de la zona puede dar lugar a áreas con depresión en el terreno.

La altura media (Hmed) es el promedio resultante de la altura máxima (Hmax) y mínima (Hmin) de la cuenca; el desnivel absoluto (d) es la diferencia entre altura máxima (Hmax) y la altura mínima (Hmin), normalmente relacionada con la variabilidad climática y ecológica. Para el análisis de pendientes se utiliza la herramienta 3-D Analysis y Spatial Analysis Tools de ArcGis 10,3 para la generación de mapas y tablas estadísticas de pendientes de la cuenca. La pendiente media del cauce principal (i) es la relación entre la diferencia de altitudes máximas y mínimas ($H_{max} - H_{min}$) y la longitud del curso de agua más largo (L).

La pendiente media de la cuenca (Pend) es el cociente entre el producto del intervalo de curva (Ic) por la sumatoria de todas las longitudes de las curvas de nivel (Lcn) y el área de la cuenca (A). El análisis de las pendientes es un indicador de la capacidad de respuesta de la cuenca ante la torrencialidad de las precipitaciones considerando que las cuencas que tienen una mayor pendiente tienen una velocidad mayor y viceversa (Camino, y otros, 2018, pág. 81) (González de Matauco, 2004, pág. 315).

La orientación de la cuenca se calculó a partir de geoprocursos realizados con Spatial Analysis Tools/Map Algebra tomado como base el DTM y la red de drenaje para identificar la predominancia de las pendientes hacia una coordenada determinada. Las variables de altitud, pendiente y orientación influyen en el comportamiento de la cuenca durante las crecidas de caudal o cuando recibe una mayor cantidad de precipitación (Gil V. , 2009, pág. 171).

2.5 Parámetros e índices de drenaje

Para iniciar el análisis de los parámetros de drenaje, se realizó la jerarquización de los cursos fluviales de la cuenca de estudio en base a la metodología de Strahler (1957). La jerarquización se

realiza en referencia a la cantidad de tributarios que poseen, un curso de orden 1 no tiene tributarios, uno de orden 2 es formado por la confluencia de dos cursos de orden 1 y así sucesivamente, en este caso el orden de la cuenca esta dado en base al curso de orden mayor (Doffo & Bonorino González, 2005, pág. 2) (Strahler, 1957, pág. 914).

La longitud total de los cursos de agua (L_n) es la sumatoria de todos los cursos de agua perennes e intermitentes que conforman la red de drenaje de la cuenca. La densidad de drenaje (D_d) es el cociente entre la longitud total de los cursos de agua (L_n) y el área de la cuenca; el comportamiento de este indicador va a depender del clima, la litología, los suelos y de la cobertura vegetal existente en la cuenca.

Adicionalmente, la densidad de drenaje (D_d) proporciona información sobre el estado del drenaje, el caudal pico y el grado de erosión de suelos y rocas. Una densidad de drenaje (D_d) alta indica una mayor velocidad de escurrimiento, menor infiltración y con mayor exposición a la erosión, mientras que una densidad baja es un indicador de suelos permeables resistentes a la erosión.

Empleando la metodología Strahler (1957) se analizó el orden de la cuenca, que es un indicador adimensional y jerarquiza la red de drenaje desde el orden 1 hasta el orden n , facilitando el análisis del grado de ramificación de los diferentes cursos de agua. La relación de bifurcación (R_b) es un indicador adimensional que analiza de manera cuantitativa la relación existente entre el total de los cursos de agua menor con el total de los cursos de agua de orden mayor de manera sucesiva.

Los valores de la relación de bifurcación (R_b) analizan la forma y el comportamiento hidrológico de la cuenca, valores de 2 a 3 indican cuencas bajas con pendientes suaves y de 3 a 5 cuencas altas con pendientes pronunciadas. Estos valores determinan la forma de cuenca; cuanto más bajo el valor son cuencas redondeadas con mayor probabilidad de inundaciones y cuanto más alto el valor son cuencas rectangulares alargadas con mayor velocidad de torrencialidad y escorrentía (Lopez Bermudez & Romero Díaz, 1987, pág. 56) (Gil V. , 2009, pág. 142) (Díaz Gómez, Gaspari, & Georgieff, 2017, pág. 7).

El coeficiente de torrencialidad (C_t), es el cociente entre el total de los cursos de orden 1 sobre el área (A) de la cuenca; es un indicador de erosividad y torrencialidad de la cuenca a la que

se encuentra expuesta. Valores altos marcan una susceptibilidad de mayor torrencialidad y exposición a la erosión, mientras que valores menores proporcionan cierta resistencia ante los efectos de la erosión.

2.6 *Temática de suelo, uso y cobertura de suelo*

Los parámetros e índices morfométricos basan su análisis en la relación existente entre componentes topográficos (relieve, DTM), drenaje (forma, densidad, entre otros), suelos y vegetación. Estos componentes permiten identificar la composición física e hidrológica de la cuenca y cumplen una función importante en el balance hídrico de toda la cuenca.

Para el análisis de la información de suelos, uso y cobertura se materializa una geodatabase en un entorno SIG, integrando información del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), MAGAP y IGM. La información levantada de la cuenca de estudio está referida al análisis litológico, edafológico, de uso y cobertura de suelo que facilitará el ciclo hidrológico y la capacidad de respuesta ante la presencia de una elevada torrencialidad o escurrimiento.

2.6.1 Geopedología

La geopedología es una disciplina que tiene que ver con la integración de dos disciplinas afines, por un lado, la geomorfología y por otro la pedología (ésta última conocida más comúnmente como edafología en la escuela anglosajona). En realidad, las relaciones entre la geomorfología y la pedología son inherentes, por lo que separar estos dos elementos naturales se convierte en algo muy difícil, por el hecho de que para entender los procesos de formación de suelos es indispensable un profundo conocimiento de su contexto geomorfológico (MIDENA, IEE, SENPLADES, MAGAP, 2015).

El enfoque geopedológico opera a través de un sistema que comprende seis niveles jerárquicos: unidad ambiental, litología, origen, morfología, morfometría y subgrupo taxonómico USDA Soil Taxonomy. Estos diferentes niveles se utilizan para fragmentar al espacio geográfico a partir de su expresión geomorfológica y de sus rasgos homogéneos, los cuales permiten establecer áreas semejantes que derivarán en unidades geopedológicas (Instituto Espacial Ecuatoriano, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2015).

Según lo establecido en la guía para la generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional – escala 1:25000 (MIDENA, IEE, SENPLADES, MAGAP, 2015) la determinación de las unidades geopedológicas requiere de cuatro etapas de trabajo. La primera consiste en la revisión, análisis y evaluación de la información disponible sobre los levantamientos de suelos, amenazas geológicas y erosión realizados en el país, así como la preparación de los insumos básicos: fotografía, cartografía base, DTM y recopilación de la información secundaria referencial para el proceso de fotointerpretación.

La segunda etapa corresponde a la generación de cartografía geomorfológica a partir de la fotointerpretación digital 3D, misma que consiste en el ajuste fotogramétrico de bloques, la fotointerpretación focalizada, la digitalización y la codificación de las unidades. A cada unidad geomorfológica le corresponde una unidad ambiental, génesis, tipo de roca o depósito superficial, morfología, morfometría y morfodinámica; información de relevancia para entender la dinámica de los suelos y la interacción entre los diferentes factores de formación en la unidad hidrográfica 1521.

La tercera etapa consiste en la caracterización climática del suelo, en esta fase se identifica y delimita las unidades espaciales que representen las zonas climáticas de humedad y temperatura al interior del área de estudio. Esta información permite la caracterización más completa del régimen climático del suelo a través de dos parámetros fundamentales: los regímenes de humedad y temperatura.

La etapa final consiste en el levantamiento de suelos, para ello, dentro de cada unidad morfológica se ubican los sitios de muestreo a ser intervenidos en campo, para realizar la descripción de las observaciones de suelos. El levantamiento de información en campo se lo registra en una ficha, de acuerdo con la guía de descripción de suelos de la FAO (2009) y la clasificación taxonómica del suelo de acuerdo a la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2006). Además, se realiza la recolección de muestras de suelo que se someten a análisis de laboratorio, cuyos resultados coadyuvan a la clasificación definitiva de los suelos. De ser el caso, la información puede ser extrapolada a unidades que no han sido visitadas y que cumplen con las características de la zona donde se levantó la información. A partir de estas cuatro etapas es posible obtener la cartografía geopedológica correspondiente al área de estudio (Fig. 31):

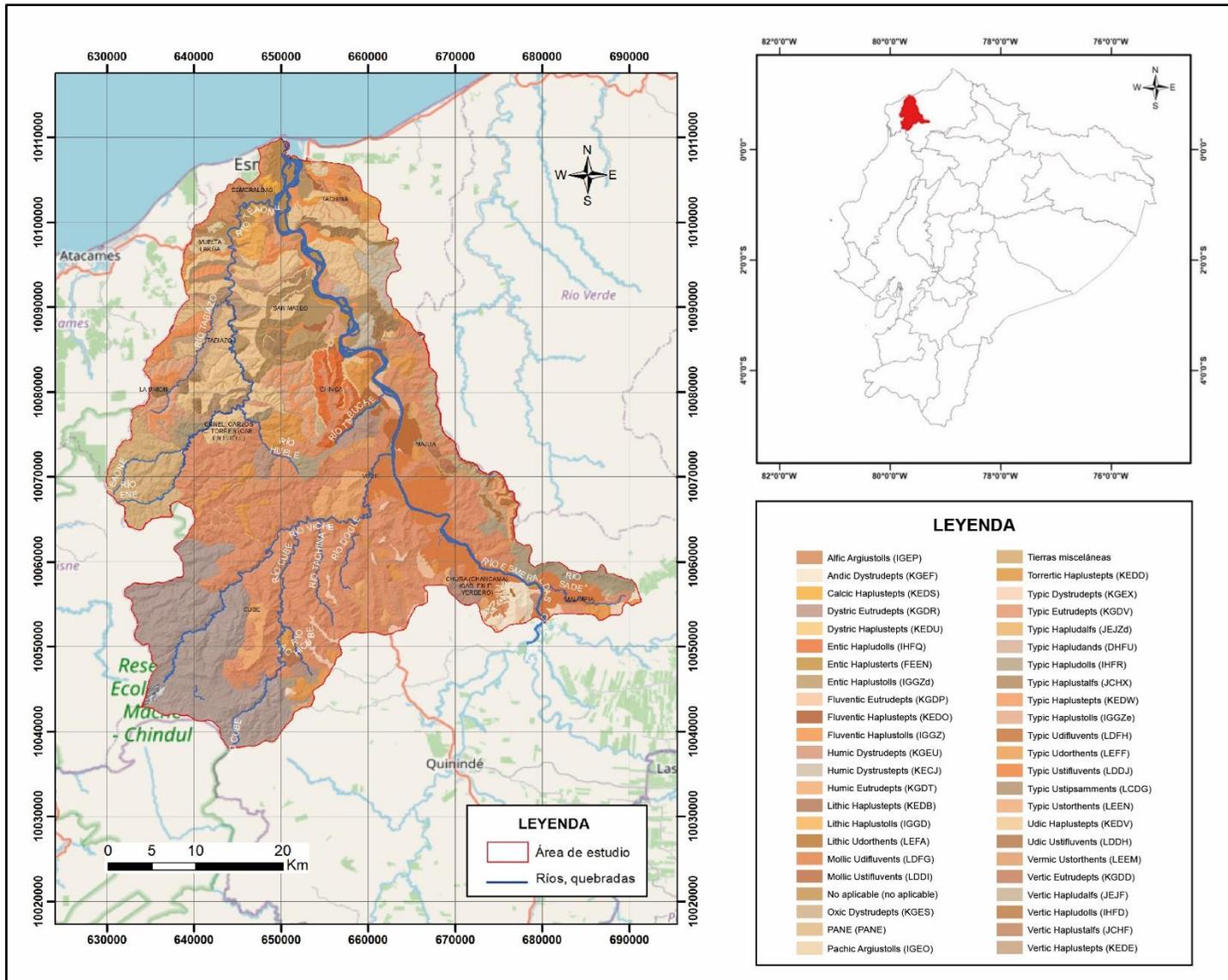


Fig. 31: Geopedológico de la Unidad Hidrográfica 1521. Fuente: Elaboración propia, sobre el estudio geopedológico del Ecuador – IEE.

2.6.2 Uso y cobertura del suelo

Para la generación de información temática de cobertura y uso de la tierra, la metodología se encuentra fundamentada en la interpretación interdependiente de productos provenientes de los sensores remotos, en relación con la información de disciplinas como suelo, clima, ecología entre otras, con el apoyo de los sistemas de información geográfica. Esta metodología aplicada al país se desarrolla a través de cuatro etapas que se detallan en los párrafos subsiguientes que son derivadas de la guía para la generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional (MIDENA, IEE, SENPLADES, MAGAP, 2015).

En la primera etapa se inicia con la recopilación de información secundaria e insumos necesarios para la elaboración de la cartografía temática de cobertura y uso de la tierra, como estudios sobre cobertura vegetal y uso de la tierra, mapa base, mosaicos de ortofotos, imágenes satelitales y otros aspectos biofísicos del área de estudio. Esta información se la obtiene de las instituciones encargadas de generar información cartográfica básica y temática del país como el MAGAP, MAE, IEE y IGM que se encuentran en diferentes escalas dependiendo de la zona geográfica.

Durante la segunda etapa correspondiente a la interpretación interdependiente se realiza la interpretación visual y su análisis complementario-sistémico de ortofotos, imágenes satelitales e información secundaria. El conocimiento del intérprete sobre los principios de interpretación en relación con información de otras disciplinas como suelo, clima, ecología entre otras, complementado con la calidad de la información, conforman la base fundamental para obtener un producto de calidad.

La tercera etapa consiste en la determinación de las zonas de investigación en base a las unidades interpretadas que fueron codificadas preliminarmente. Para el caso de existir unidades con características similares se seleccionan las más representativas. La información primaria levantada en campo se ingresa a una base de datos para su respectivo procesamiento; utilizando la base de datos de campo se realiza la reinterpretación, ajustes y recodificación de las unidades de vegetación natural, de cobertura y de uso de la tierra. A partir de los ajustes y recodificación posteriores a la investigación de campo, se completa la cuarta etapa, que consiste en la generación de geoinformación donde se crean mapas temáticos (Fig. 32) en formato analógico y digital con sus respectivos metadatos y la memoria técnica relacionados con el uso y cobertura del suelo.

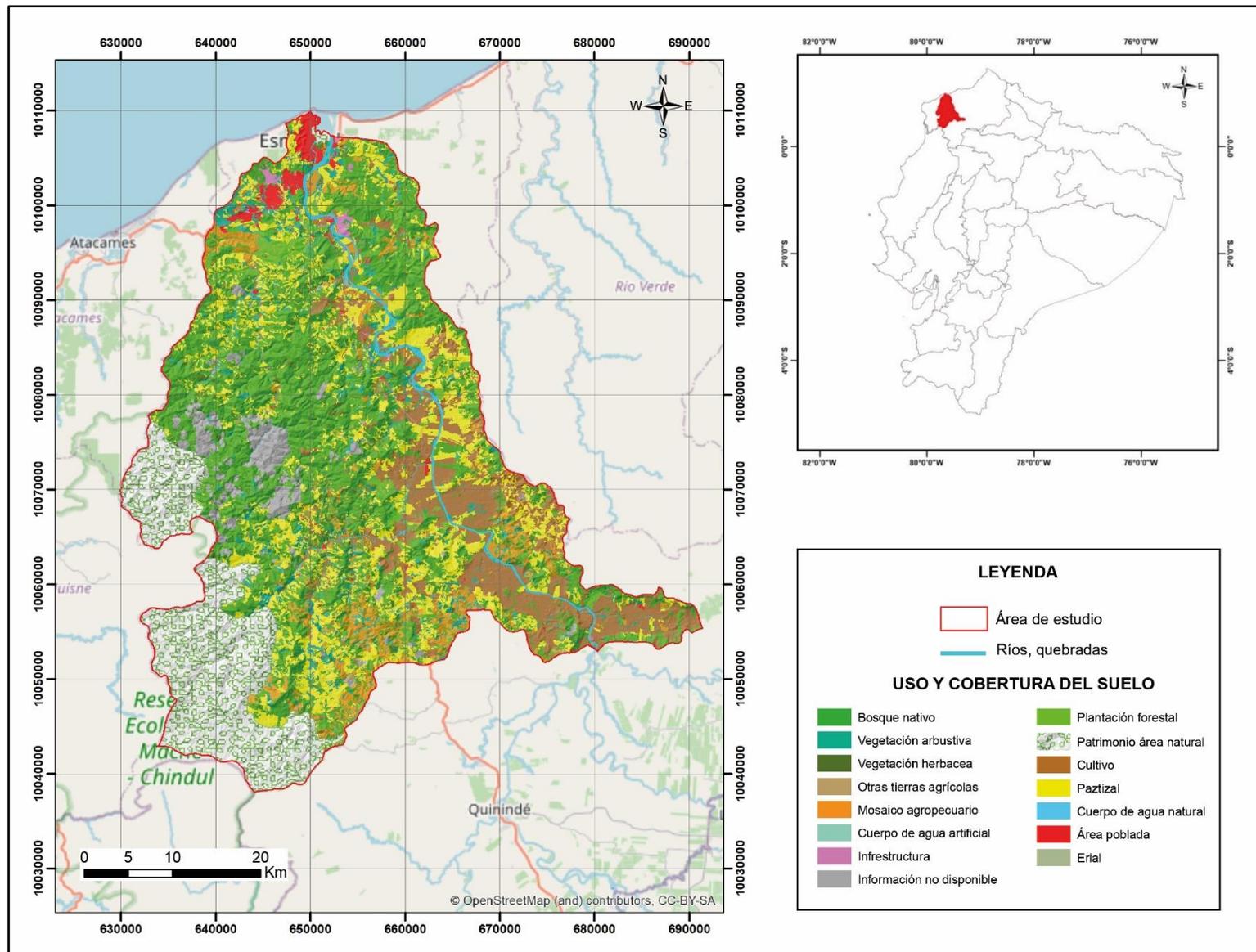


Fig. 32: Uso y cobertura de suelo de la Unidad Hidrográfica 1521. Fuente: Elaboración propia, sobre el estudio geodepológico del Ecuador – IEE.

3 Resultados

La cuenca del río Esmeraldas geográficamente inicia en la Cordillera de los Andes y termina en el perfil costanero en las aguas del Océano Pacífico, la cuenca se encuentra dentro del rango altitudinal comprendido entre los -3,03 m y 5960 m referidos al nivel medio del mar (Figs. 33 y 35). El rango altitudinal de la cuenca permite que se pueda clasificar (Fig. 33) en:

- Cuenca alta, comprendido entre los 3500 a 5960 m.s.n.m.
- Cuenca media, comprendida entre los 1000 a 3500 m.s.n.m.
- Cuenca baja, comprendía entre los -3,03 a 1000 m.s.n.m.

El análisis topográfico realizado a los ríos Esmeraldas y Teaone, que se encuentran dentro de la Unidad Hidrográfica 1521, ubica al área de estudio en la parte baja de la cuenca del río Esmeraldas, en un rango altitudinal comprendido entre los 0 y 708,13 m.s.n.m (Fig. 34). La Unidad Hidrográfica 1521 al ser geográficamente parte de la cuenca baja se convierte en receptora de caudal y sedimentos que se ocasionan en las cuencas medias y altas, producto del exceso de precipitaciones, escurrimiento y torrencialidad.

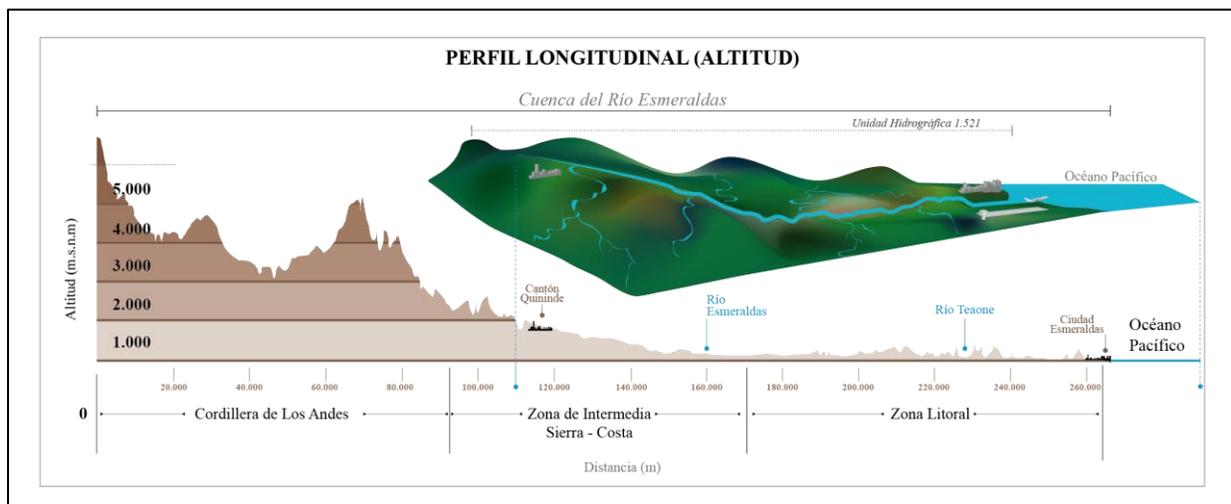


Fig. 33: Perfil de la Cuenca del Río Esmeraldas y ubicación altitudinal de la Unidad Hidrográfica 1521 (línea entrecortada). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los valores altitudinales del DTM y curvas de nivel del IGM.

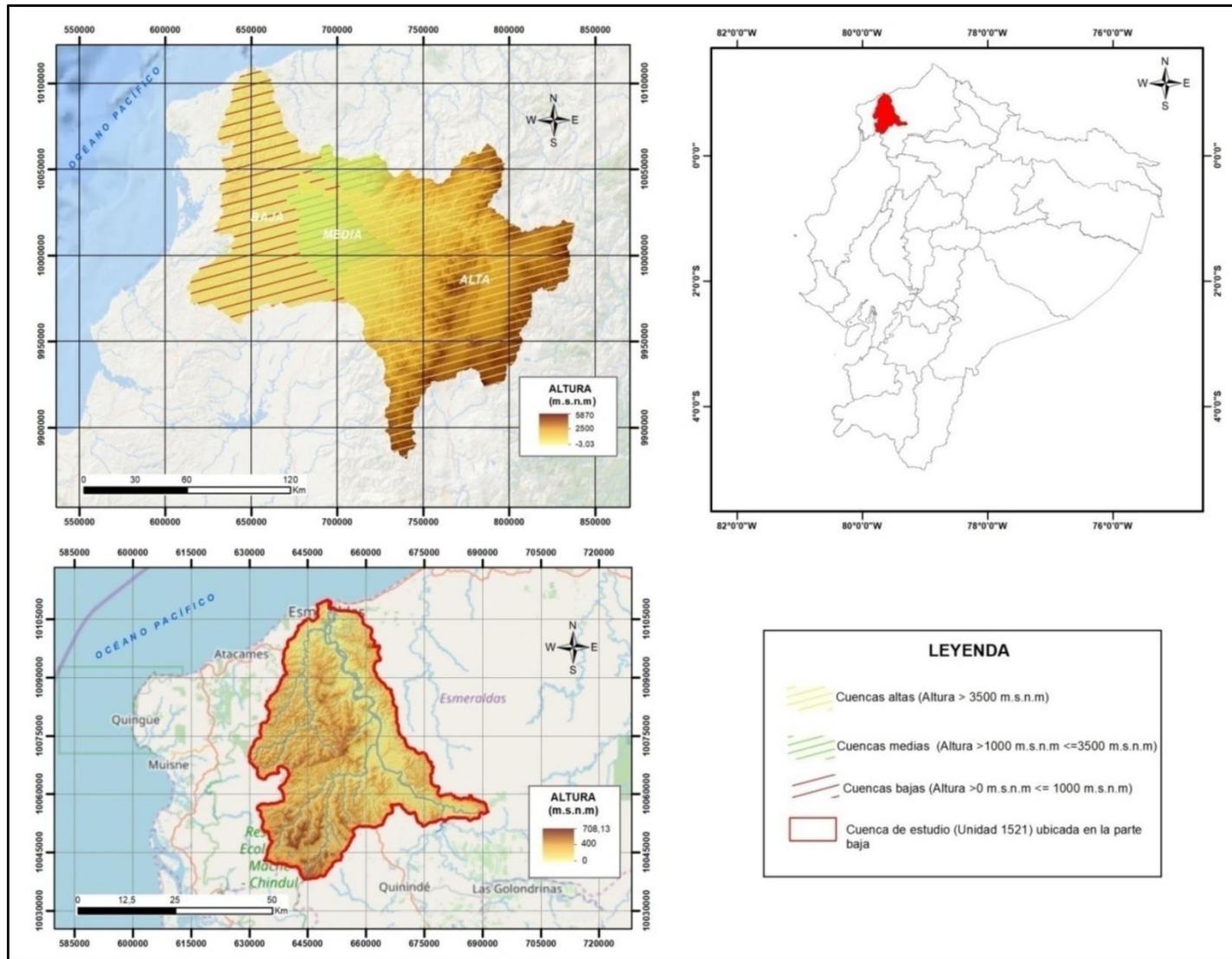


Fig. 34: División de la Cuenca Río Esmeraldas y ubicación de la Unidad Hidrográfica 1521. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los valores altitudinales del DTM y delimitación de las cuencas hidrográficas.

3.1 Parámetros de forma

El área (A), ancho promedio (Ap) y longitud del cauce más largo (L) facilitan analizar el comportamiento hídrico de la cuenca en la determinación de los volúmenes y duración de permanencia de caudal debido a crecidas y a la capacidad de tiempo de respuesta ante precipitaciones. El área de la cuenca es un parámetro de medición directa sobre la topografía levantada del sector, de acuerdo a la clasificación de (Campos Aranda, 1992), la cuenca tiene una catalogación de intermedia a grande.

Los valores calculados de la cuenca hidrográfica indican que tiene una mayor capacidad de captación de agua en función de la red de drenaje presente en la superficie del área de estudio; en este caso los cauces principales (ríos Esmeraldas y Teaone) serán los que reciben los caudales mayores de los diferentes afluentes (Tabla 13):

CUENCA	PÉRIMETRO (P) Km	ÁREA (A) Km²	CLASIFICACIÓN	LONGITUD AXIAL (LA) KM	ANCHO PROMEDIO (AP) KM
Unidad hidrográfica 1521	272232	2064,707	Intermedia – Grande	69,757	29,598

Tabla 13: Parámetros analizados de: (A), (P), (L), (Ap). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los cálculos realizados sobre la base cartográfica del IGM, Esc: 1:50000.

El valor de 0,55 del factor de forma (Ff) indica que la unidad hidrográfica tiene una forma ligeramente ensanchada con una mediana tendencia a las crecidas, sin embargo, se debe considerar que en determinadas épocas del año existe una mayor tendencia a las crecidas por motivo del fenómeno de El Niño o cambios bruscos en las precipitaciones. La relación de elongación (Re) es el parámetro que más relacionado está con la hidrografía de la cuenca (Geraldí, 2009, pág. 32); del análisis realizado se obtuvo que la relación de elongación (Re) es de 0,735 e indica que la cuenca es parcialmente redondeada en la parte Sur y ligeramente alargada en el parte Norte.

El valor de este parámetro determina que al momento de producirse una precipitación va a existir un mayor retraso en el crecimiento en la desembocadura. Sin embargo, este crecimiento produciría un riesgo de inundación debido a la energía con la que se presenta y dado que la cuenca recibe caudales de ríos que se encuentran en las cuencas medias y altas como los ríos Blanco, Canade y Cole (Fig. 34) (González de Matauco, 2004, pág. 324). El coeficiente de compacidad

(Kc) es de 1,67 indica que la cuenca tiene una forma oval oblonga a rectangular oblonga de acuerdo a la clasificación de Gaspari (2012), determinando un área con una compacidad media en su estructura y con un mayor tiempo en la concentración de escurrimientos en comparación con las cuencas que tienen un coeficiente de compacidad (Kc) próximo a 1.

Los valores de índice de forma (IF), relación de elongación (Re) y coeficiente de compacidad (Kc) muestran una variabilidad en la forma de la cuenca con una tendencia redonda en la parte Sur a un achatamiento alargado en la parte Norte. Esto da como resultados iniciales una cuenca medianamente compacta, con un tiempo de retardo mayor en la concentración de agua debido a su área y con riesgos de inundación por la energía súbita en la acumulación de agua en los cauces principales, (Tabla 14):

PARÁMETROS	VALOR	CLASIFICACIÓN
Factor forma (IF)	0,424	Ligeramente ensanchada
Relación de elongación (Re)	0,735	Parcialmente redondeada en la parte Sur – ligeramente alargada en la parte Norte
Coficiente de compacidad (Kc)	1,670	Oval oblonga a rectangular oblonga

Tabla 14: Valores calculados de (IF), (Re) y (Kc) de la unidad hidrográfica 1521. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los cálculos obtenidos de (A), (P) y (L).

3.2 *Parámetros de relieve*

Para la representación del relieve y el análisis de los parámetros de la unidad hidrográfica 1521 se utiliza como base el DTM generado a partir de la densificación de puntos geodésicos y procesos de restitución aérea a escalas grandes descritos y analizados en el capítulo II. La cuenca tiene un valor mínimo de altura de -3,03 y un valor máximo de 708,13 m.s.n.m; para el análisis de las áreas altitudinales se clasifica a la cuenca en 7 rangos de elevación (Fig. 35 y Tablas 15, 16):

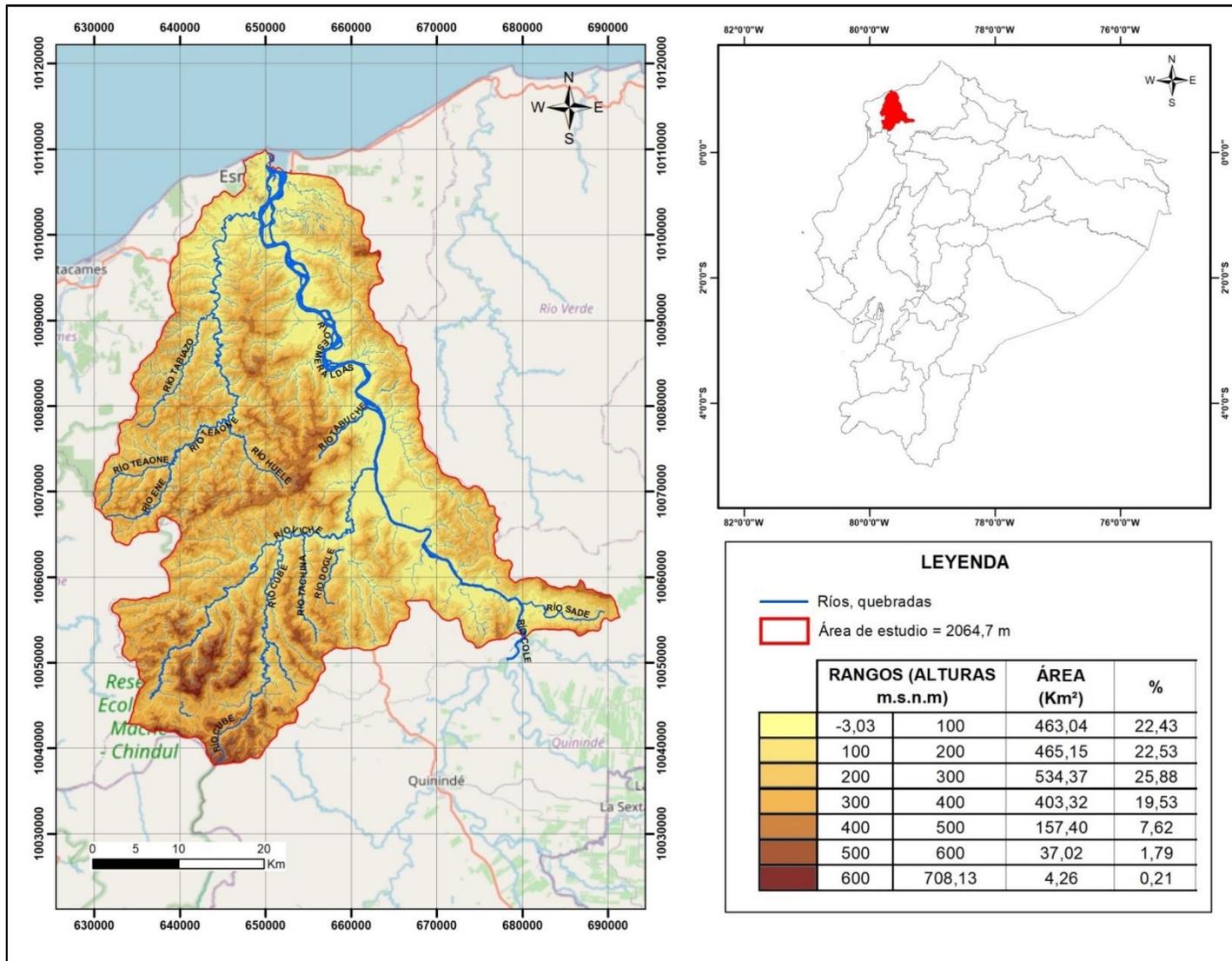


Fig. 35: Clasificación de altura por rangos, área y porcentaje por rango altitudinal. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la clasificación de alturas del modelo digital del terreno.

ALTURA MÁXIMA (HMAX) m.s.n.m	ALTURA MÍNIMA (HMIN) m.s.n.m	ALTURA MEDIA (HMED) m.s.n.m	DESNIVEL ABSOLUTO (D) m.s.n.m	PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL (i) %	PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA (Pend) %
708,130	-3,03	223,037	711,160	3,11	24,032

Tabla 15: Parámetros de relieve. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis cartográfico del IGM e hidrográfico realizado en la zona de estudio.

RANGOS DE ALTURAS (m.s.n.m)		ÁREA RANGOS (Ar) Km²	% ÁREA	ÁREA TOTAL (Km²)
-3,03	100	463,04	22,43	2064,70
100	200	465,15	22,53	
200	300	534,37	25,88	
300	400	403,32	19,53	
400	500	157,40	7,62	
500	600	37,02	1,79	
600	708,13	4,26	0,21	

Tabla 16: Clasificación altitudinal por rangos. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis cartográfico realizado de la Unidad Hidrográfica 1521.

El rango de altura predominante en la cuenca se encuentra entre los -3,03 a los 300 m referidos al nivel medio del mar, que corresponde a un 70,84% del área total y el 29,16% restante se encuentre entre el rango altitudinal de 300 a 708,13 m.s.n.m. La cuenca tiene una variedad topográfica en toda su área por lo que los diferentes rangos de altura se encuentran distribuidos a lo largo y ancho de la cuenca.

La mayor parte de la red de drenaje se encuentra distribuida en el rango altitudinal 1, ocupando un área de 463,04 Km² que equivale al 22,43% del área total, lo que implica que los ríos principales de la cuenca (río Esmeraldas y Teaone) receptan una mayor cantidad de caudal por sus afluentes menores en tiempos de precipitación alta o por alteración del patrón climático. El desnivel absoluto de la cuenca es de 711,16 m.s.n.m es un indicador de la variedad climática (Tablas 15 y 17) y de ecosistemas existentes en la zona normalmente influenciado por la temperatura, precipitación y el tipo de cobertura vegetal.

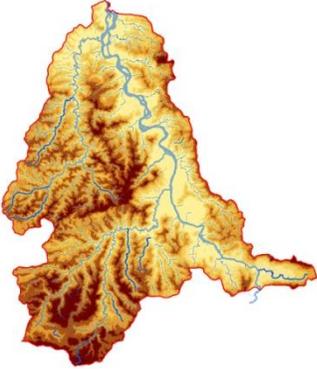
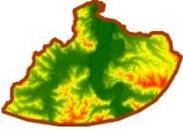
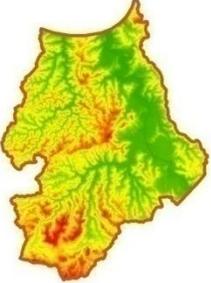
ÁREA DE ESTUDIO	TIPOS DE CLIMA POR ZONA GEOGRÁFICA	
		Clima húmedo sin déficit de agua, megatérmico o cálido
		Clima subhúmedo con moderado déficit de agua en época seca, megatérmico o cálido
		Clima subhúmedo con pequeño exceso de agua, megatérmico o cálido

Tabla 17: Variedad climática por efecto de la altitud en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis del mapa climático del INAMHI y de la base cartográfica generada.

En la unidad hidrográfica existen pendientes que oscilan entre los 0% a 208% (0° - 65°) aproximadamente, en la parte Norte de la cuenca en la desembocadura de los ríos Esmeraldas y Teaone existe un rango predominante de pendiente entre 0% a 15% (0° a 9°). Los cursos de los ríos Teaone y Tabiazo en la parte Centro-Oeste tienen pendientes predominantes entre 35% y 70% (20°-35°); en la parte Sur-Oeste pendientes entre el 20% a 45% (12° a 24°) en los afluentes de los ríos Viche, Cube y Tachina (Figs. 36, 37, 38 y 39).

Las pendientes divididas en ocho clases (%) (Tabla 18 y Fig. 36) y cuatro clases (°) facilita el análisis del terreno (Tabla 19 y Fig. 38). Se observa que el 55,74% del área total de la cuenca se encuentra en el rango de pendientes entre 0 y 25%. El 43,56% de la cuenca tiene una pendiente en el rango del 25% al 70% y una pequeña parte de la cuenca del 1,06% tiene pendientes mayores a los 70%.

RANGO	CLASIFICACIÓN	ÁREA (Km ²)	%
0% - 2%	Plana	45,84	2,22
2% - 5%	Muy suave	227,53	11,02
5% - 12%	Suave	242,80	11,76
12% - 25%	Media	634,57	30,74
25% - 40%	Media a fuerte	588,77	28,52
40% - 70%	Fuerte	310,47	15,04
70% - 100%	Muy fuerte	13,70	0,66
>100%	Escarpada	0,82	0,04

Tabla 18: Clasificación de relieve en (%). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la clasificación de (CLIRSEN - SIGAGRO - MAGAP, 2011) adaptada para el análisis de pendientes en región costa del Ecuador.

RANGO	CLASIFICACIÓN	ÁREA (Km ²)	%
0° - 15°	Suave a media	1229,33	59,55
15° - 30°	Media a fuerte	776,17	37,60
30° - 45°	Fuerte	58,19	2,82
>45°	Muy fuerte	0,84	0,04

Tabla 19: Clasificación de relieve en (°). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la clasificación de (Ortiz Vera, 2004) adaptada para el análisis de pendientes en región costa del Ecuador.

La pendiente media de la cuenca es de 24,031% que de acuerdo a la clasificación propuesta, pertenece a un relieve con pendientes medias; el cauce principal (río Esmeraldas) tiene una pendiente media de 3,11%, parámetro importante en el cálculo del tiempo de concentración y en la determinación de su capacidad de erosión.

Debido a que la forma de la cuenca es parcialmente alargada y con un valor de pendiente media característico de las cuencas bajas, el cauce principal va a tener una respuesta aceptable ante las precipitaciones y un tiempo prudencial en el recorrido de las aguas hasta su desembocadura. Se debe considerar que el río Esmeraldas recibe los caudales de los ríos Guayllabamba, Blanco, Cole, Canande, Viche, Tabuche, en su parte inicial, por lo que en ciertos momentos su velocidad de recorrido hacia la desembocadura puede variar (Fig. 39).

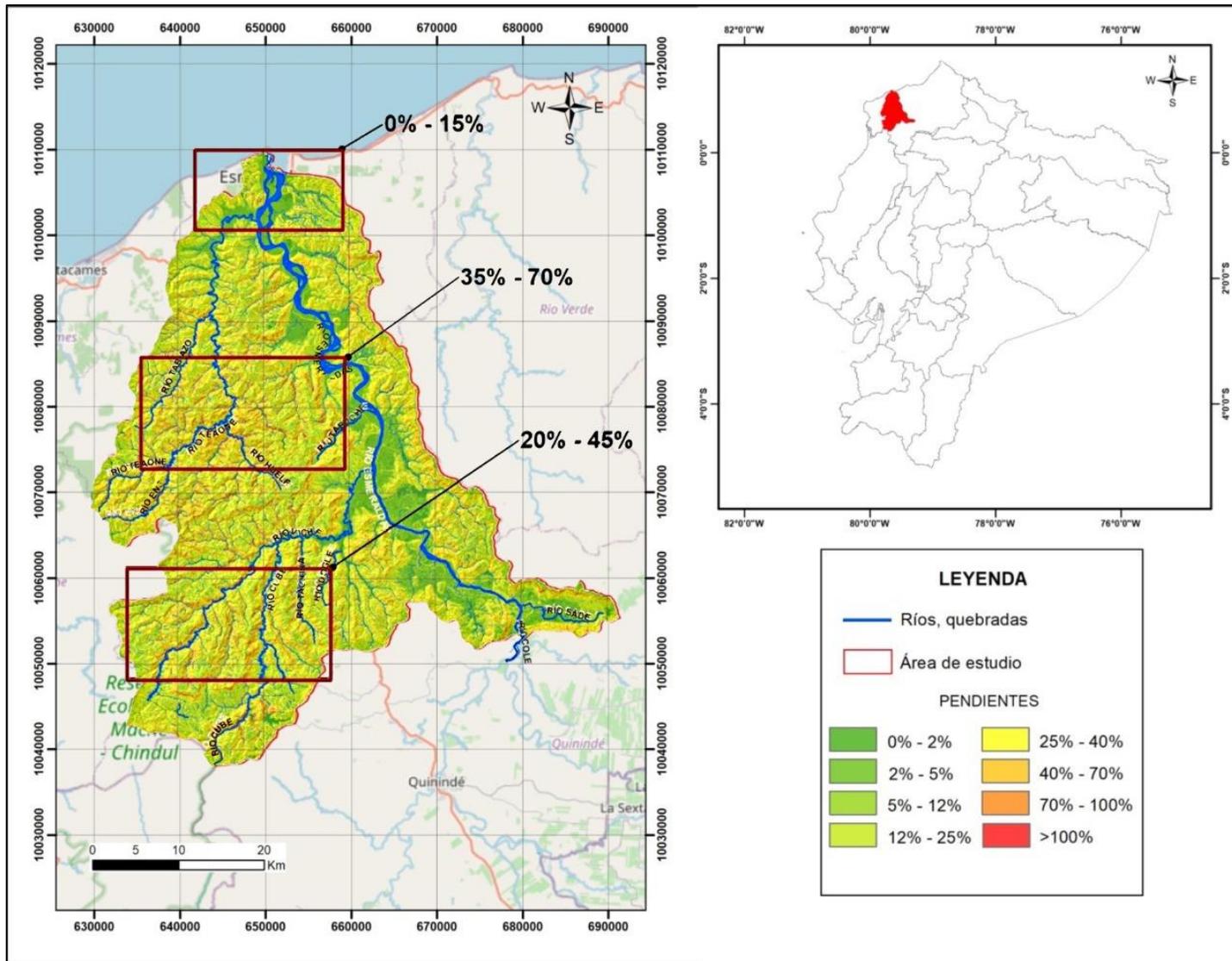


Fig. 36: Distribución de pendientes (%) por ubicación geográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis de las pendientes generada a partir de cartografía digital.

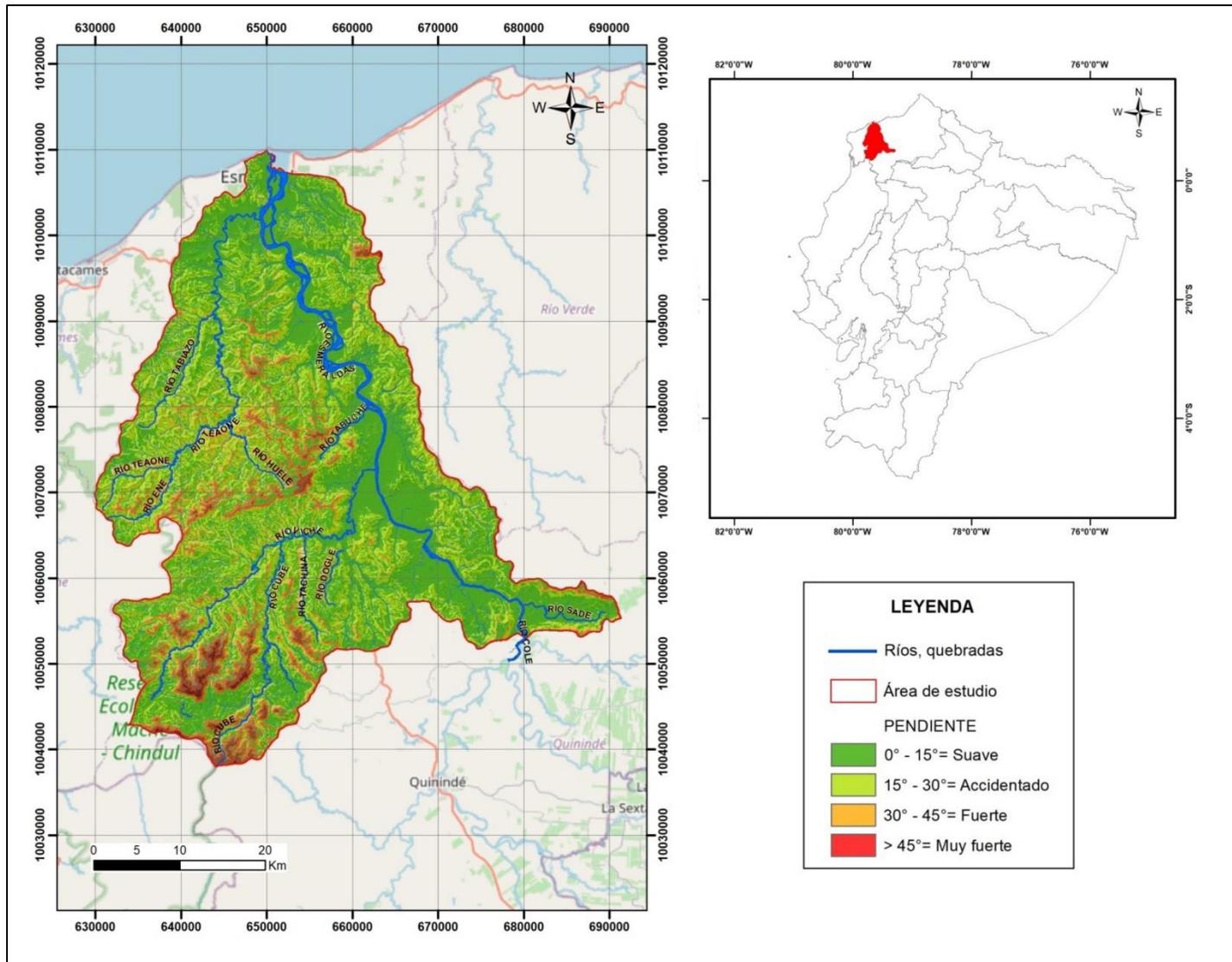


Fig. 38: Clasificación de pendientes (°) de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la clasificación de (Ortiz Vera, 2004) para el análisis de pendientes en región costa del Ecuador.

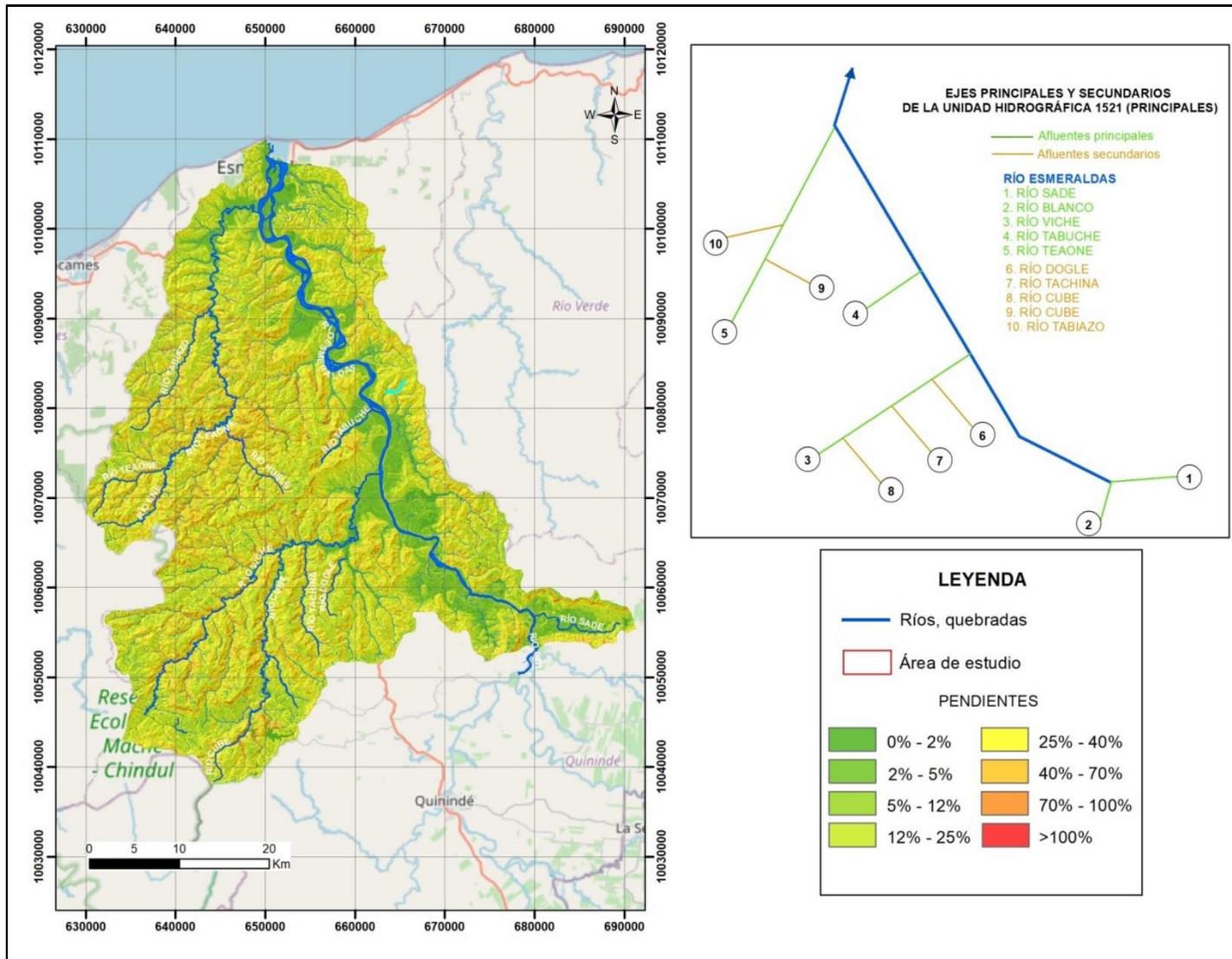


Fig. 39: Diagramación de ejes principales y secundarios de la unidad hidrográfica sobre las pendientes del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis hidrográfico del área de estudio a partir de cartografía digital

El análisis de la orientación de las pendientes de la unidad hidrográfica determina la dirección de flujo de escorrentía a las que se encuentran expuestas las diferentes áreas de la cuenca. Del análisis de los resultados, la cuenca tiene una mayor predominancia de dirección de escurrimiento hacia el Oeste con un 34,79% de la totalidad de área, mientras que un 11, 22% (valor mínimo) se encuentra con dirección al Sur (Tabla 20 y Figs. 40, 41).

ORIENTACIÓN		ÁREA (Km ²)	% ÁREA
Norte	337,5° - 22,5°	284,564	13,71
Sur	157,5° - 202,5°	232,942	11,22
Este	22,5° - 157,5°	721,899	34,79
Oeste	202,5° - 337,5°	787,979	37,98

Tabla 20: Clasificación de orientación de la cuenca. Fuente: Elaboración propia, clasificación propia sobre la base de los análisis de orientación de ArcGis 10,3.

En el área de estudio, el desarrollo urbano, rural y agropecuario se ha focalizado en la mayoría en las riberas de los ríos principales (ríos Esmeraldas y Teaone); coincidentemente la mayor presencia de la población se concentra en pendientes en el sentido Este y Oeste. El desarrollo de las diferentes localidades (Esmeraldas, Vuelta Larga, San Mateo, entre otras) ha modificado el medio geográfico para extender las fronteras urbanas, rurales y agropecuarias exponiéndose a las amenazas derivadas de las inundaciones provocadas por el desbordamiento de ríos y por el exceso de precipitación, que en épocas invernales o cuando se presencia el fenómeno de El Niño registran valores medios mensuales de hasta 998,5 mm.

3.3 Parámetros de drenaje

El grado de ramificación de una red de drenaje así como el grado de bifurcación se establece a partir del número de orden del sistema. El número de orden indica cómo se estructura la red. Así, un mayor número de orden significa la presencia de controles estructurales del relieve, procesos erosivos más intensos. Para la determinación del orden de la unidad hidrográfica se utiliza el DTM local generado con una resolución de 1 m que equivale a una representación a escala 1:10000 que proporciona mejores resultados por el nivel de precisión y detalles alcanzados, tomando en consideración que en la unidad hidrográfica existen estudios realizados con insumos cartográficos a escalas pequeñas con resultados condicionados por el nivel de escala.

Considerando el nivel de detalle y de la topografía (alcanzado con el DTM local) se emplea una restitución fotogramétrica para dibujar y medir cada uno de los cauces que conforman la unidad hidrográfica, teniendo como base que el ancho mínimo perceptible es de 1 mm en la restitución que equivale a 10 m en el terreno a escala 1:10000. Basados en la metodología Strahler, se inicia con la jerarquización de los cauces (mediante restitución fotogramétrica) que conforman la red de drenaje de acuerdo al esquema y criterios (Fig. 42) (Fattorelli & Fernández, 2011) (Senciales, 1998) (Chow, Maidment, & Mays, 1994):

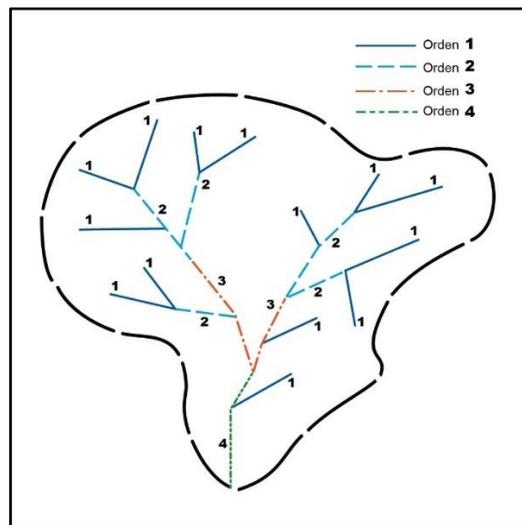


Fig. 42: Esquema de jerarquización de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base metodológica de Strahler.

- Cauces de primer orden: Son los iniciadores red de drenaje pero se caracterizan por no tener tributarios en sus extremos.
- Cauces de segundo orden: Se forman por la unión de dos cauces de primer orden.
- Cauces de tercer orden: Producto de la unión de dos cauces de segundo orden.
- Cauces de orden n+1: Producto de la unión de dos cauces de orden n (en este punto y dependiendo de las características de la red de drenaje va a existir una disminución progresiva del número de cauces hasta la determinación del orden mayor de la cuenca); se debe considerar que la unión de cauces de diferente orden no aumentará el número de orden, sin embargo, mantendrá el orden del cauce más alto.

En la Unidad Hidrográfica 1521 el orden la cuenca varía entre 1 y 7 (Fig. 43), sin embargo, se debe considerar que el río Blanco y Esmeraldas debería presentar un orden mayor no definido debido a los numerosos tributarios que se encuentran en la cuenca media – alta y que alimentan a los ríos Guayllabamba, Grande y Cupa. La longitud de los cauces dentro del área de estudio varía entre 95,79 y 2,87 Km (Tabla 21), resultado de la ubicación geográfica de la unidad hidrográfica debido a que se encuentra en la parte baja de la cuenca del río Esmeraldas y cuyas aguas desembocan en el Océano Pacífico.

CURSOS DE AGUA	LONGITUD (Km)
Río Esmeraldas	95,79
Río Teaone	70,41
Río Viche	53,27
Río Tabiazo	22,48
Río Tachina	17,60
Río Sade	15,08
Río Ene	13,01
Río Dogle	10,32
Río Tabuche	8,58
Río Cube	7,28
Río Huele	6,43
Río Blanco	3,19
Quebrada Cuquiva	2,87

Tabla 21: Longitud (Km) de los ríos y quebradas de la unidad hidrográfica 1521. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis de la red hidrográfica digitalizada de la cuenca.

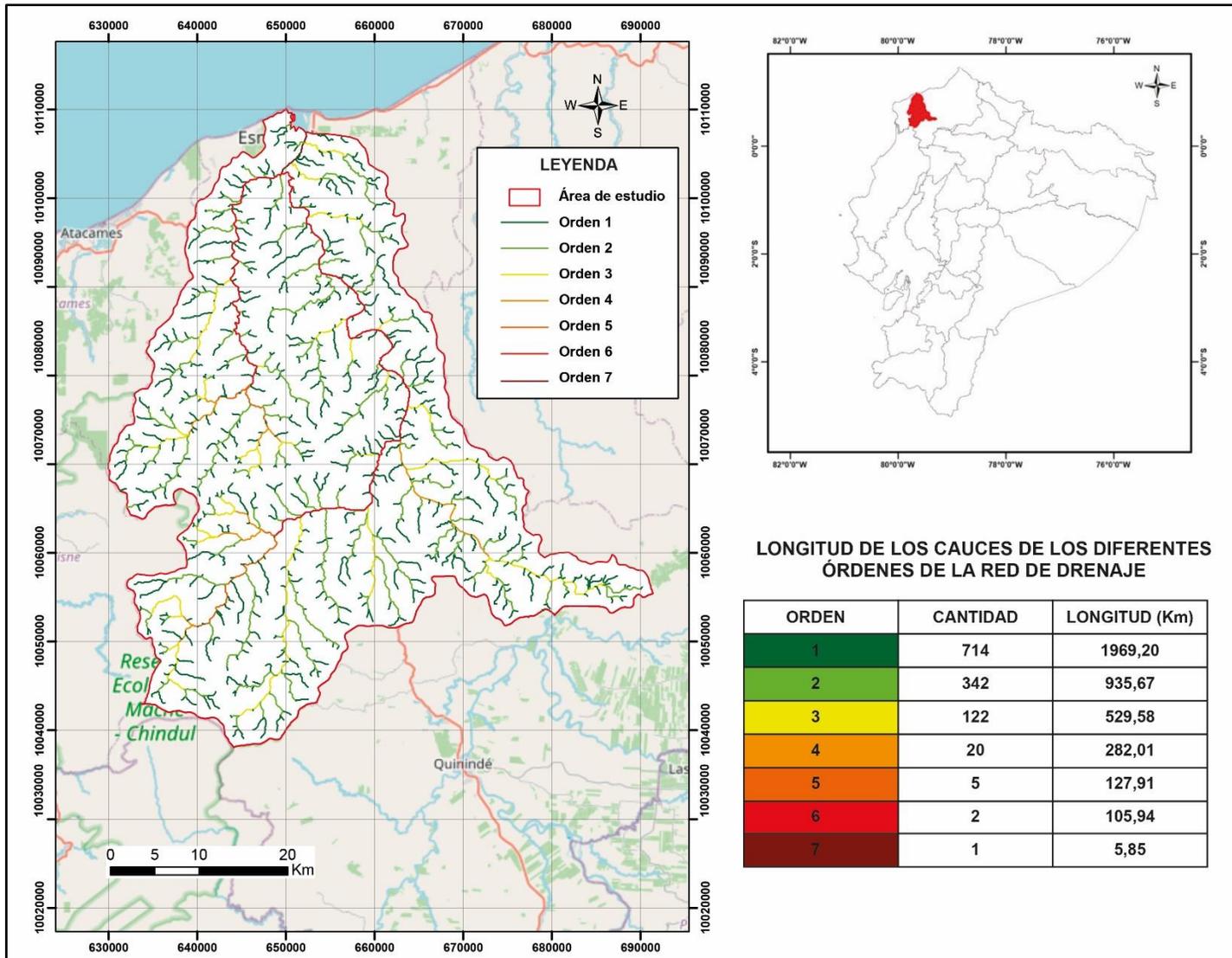


Fig. 43: Orden de la red de drenaje de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, empleando el módulo Hydrology sobre la base cartográfica digital y DTM.

Como se expresó anteriormente el orden de las cuencas proporciona el grado de bifurcación de la unidad hidrográfica, obteniendo las siguientes relaciones de bifurcación (Rb) (Tabla 22) considerando que el orden mayor obtenido es 7.

RELACION DE BIFURCACIÓN CANTIDAD	
$1/2$	2,08
$2/3$	2,8
$3/4$	6,1
$4/5$	4
$5/6$	2,5
$6/7$	2
PROMEDIO	2,78

Tabla 22: Número de drenajes por cada orden (inferior – superior). Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis de la red de drenaje de la unidad hidrográfica 1521.

Los valores de (Rb) (Tabla 22) están relacionados directamente con la forma, relieve y estructura de la unidad hidrográfica que determinan el comportamiento hidrológico y la respuesta ante concentraciones de agua en su red de drenaje. El valor promedio de 2,78 indica que la cuenca tiene una forma parcialmente redondeada con una pendiente media de 24,032% por lo que la unidad hidrográfica es más susceptible a riesgos de inundación debido a crecidas bruscas provocadas por la concentración de agua y la descarga de afluentes externos (López Bermúdez & Romero Díaz, 1987, págs. 55,58) (Geraldí, 2009, pág. 34) (Gil V. , 2009, pág. 162) (Díaz Gómez, Gaspari, & Georgieff, 2017, págs. 7,12) (Gutiérrez, Lòpez, Villa, & García, 2019, pág. 146).

Para la determinación del valor de la densidad de drenaje (Dd), en lo que corresponde a la medición de la longitud de los cauces, se emplea la restitución fotogramétrica para obtener valores apegados a la realidad topográfica del área. Así, la densidad de drenaje de la unidad hidrográfica es de 1,91 y de acuerdo con la clasificación de varios actores corresponde a una densidad moderada con características de tendencia media a la escorrentía (Cerignoni & Rodriguez, 2015, págs. 359, 360) (Camino, y otros, 2018, págs. 81,82). El valor de la densidad de drenaje (Dd) depende de las formaciones geológicas, de las propiedades de los suelos, de la densidad de cobertura vegetal y de las condiciones climáticas de la zona las cuales determinan características estructurales y el comportamiento hidrológico (Aumassanne, Gaspari, Bege, Oricchio, & Di Bella, 2018, págs. 24,25).

Como se había mencionado en párrafos anteriores en el área de estudio existe información a escalas pequeñas cuyos resultados no reflejan la realidad de las características físicas de la unidad hidrográfica, sin embargo, se toma como referencia general la información de textura de suelo del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) en donde la unidad hidrológica tiene una predominancia de suelos arcillosos y francos (en sus diferentes clases) con un promedio de permeabilidad media tipo intergranular (Fig. 44); de la misma manera, se tiene la presencia de diferentes tipos que identifican que la cuenca no tiene una mayor afectación por los efectos erosivos (Lopez Bermudez & Romero Díaz, 1987, págs. 59,60). La unidad hidrográfica está influenciada por el clima tropical debido a la ubicación geográfica del Ecuador lo cual proporciona una variedad de climas húmedos y subhúmedos típicos de la Región Costa (de acuerdo a lo detallado en la Tabla 17) obteniendo como resultado una predominancia de aptitud de suelo para la actividad de conservación y protección, agrícola y pecuaria entre los principales, según tabla 23.

Al momento de producirse una precipitación en el área geográfica y considerando las características geológicas, de suelo y cobertura vegetal, la cuenca tiene una capacidad media de infiltración y una menor respuesta en el escurrimiento superficial (Busnelli & Horta, 2014, pág. 6). Aunque existe una predominancia media a la infiltración, se debe considerar que las condiciones físicas del suelo permiten una captación del agua de lluvia por lo que al momento de su descarga puede provocar inundaciones en las áreas de desembocadura y riberas de los cursos de agua (Gil, Gentili, & Campo, 2009, págs. 20,21).

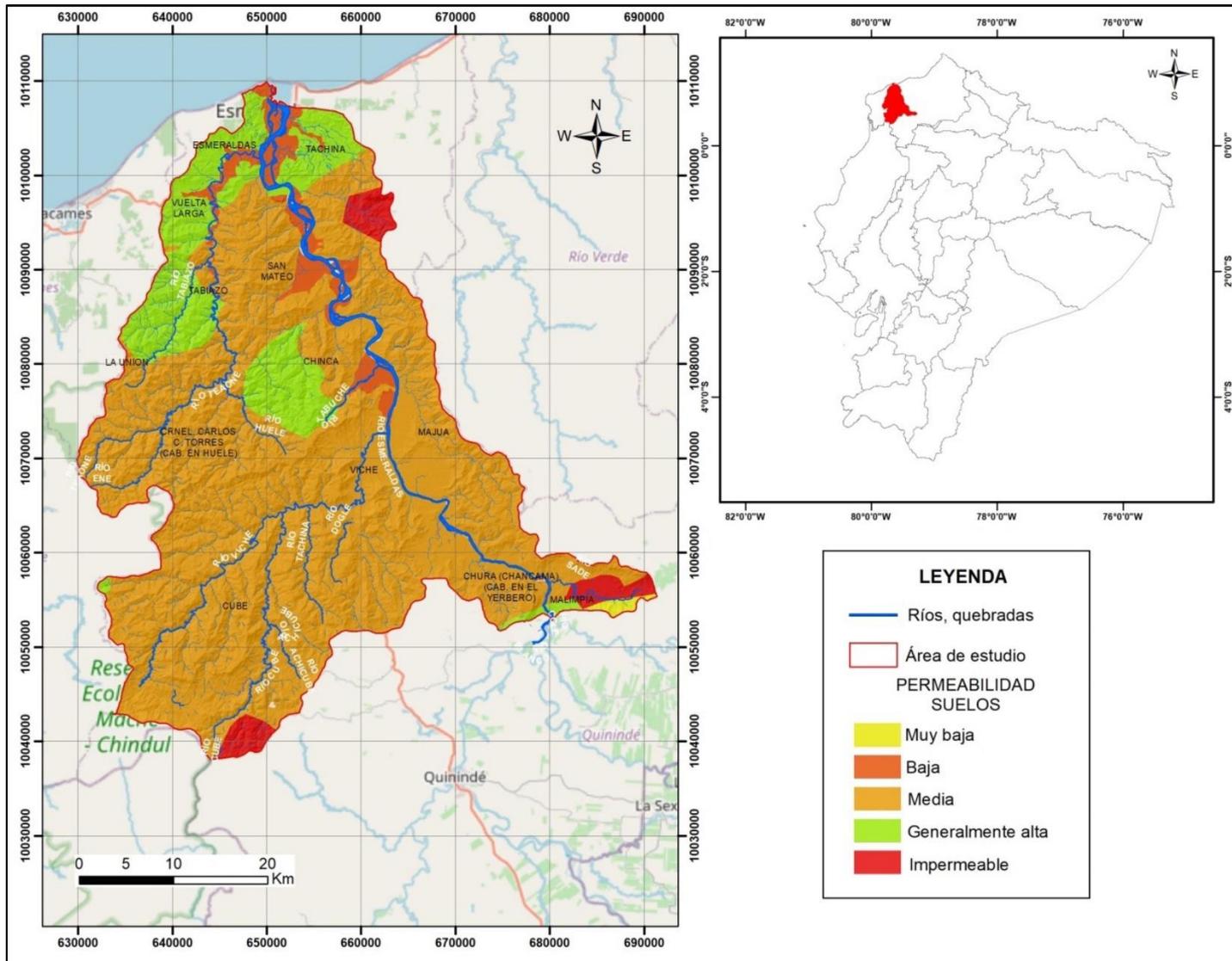


Fig. 44: Permeabilidad de suelos en la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) – Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) y base cartográfica digital del IGM (1:250000).

USOS DE SUELO	Km ²	%
Agrícola	259,213	13,260
Agropecuario mixto	135,120	6,912
Antrópico	35,141	1,798
Conservación y producción	21,548	1,102
Conservación y protección	1038,943	53,147
Pecuario	423,554	21,667
Protección o producción	39,281	2,009
Tierras improductivas	2,034	0,104

Tabla 23: Clasificación de usos de suelo de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información temática digital levantada en base los datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP) e IEE.

El coeficiente de torrencialidad (Ct) es un indicador del proceso erosivo y de la capacidad de descarga que tiene la cuenca en sus procesos hidrológicos; el valor de 0,296 indica que existe poco proceso erosivo, un mayor tiempo de llegada a los picos y una baja torrencialidad en la cuenca. Este parámetro tiene una relación directa con la densidad de drenaje (Dd) y el área de la cuenca (A), los valores obtenidos en ambos parámetros influyen en el comportamiento torrencial de la unidad hidrográfica.

3.4 El suelo su uso y cobertura como aspectos principales del comportamiento hidrológico

El análisis de los suelos, su uso y cobertura, es uno de los aspectos principales en el estudio geomorfológico de la cuenca por su incidencia en el comportamiento y desarrollo hidrológico. En el Ecuador se han implementado herramientas para el análisis de los estudios de suelo aplicando la geopedología, que tiene por objeto la integración de la geoforma y el suelo. Este enfoque se completa con el mapeo digital de la cobertura vegetal y temática del área de estudio (CLIRSEN - SIGAGRO - MAGAP, 2011, pág. 36) (Angueira de Prieto, 2015, págs. 32, 202).

3.4.1 Geopedología

La composición física y química del suelo de la unidad hidrográfica ha sufrido ciertas alteraciones, producto de la acción natural y antrópica a la que se encuentra expuesta, cambiando de manera moderada sus horizontes o capas orgánicas iniciales. Al considerarse un complejo dinámico, el suelo tiene interrelaciones continuas y fundamentales entre los minerales de las rocas

(su evolución o desgaste) y la materia orgánica existente en el área geográfica (Senciales González & Comino, 2013, págs. 15,16).

Geológicamente, en el área de estudio afloran las formaciones sedimentarias Zapallo, Playa Rica, Pambil, Viche, Angostura, Onzole y Borbón, cuyas edades oscilan entre el Eoceno y Plioceno (Baldock, 1982). Además, es posible encontrar diversos tipos de depósitos superficiales entre los que se encuentran los aluviales, coluviales, coluvio-aluviales, fluvio-lacustres, fluvio-marinos y marinos (Fig. 45).

En las parroquias Crnl. Carlos C. Torres, Viche, Majua, San Mateo, Chinca, Tabiazo y en la totalidad de Cube, existe una predominancia geológica de la Formación Viche del periodo Mioceno (Baldock, 1982), con rocas tipo conglomerados, areniscas y lutitas (Fig. 45), presentes en pendientes planas a escarpadas debido a la variedad topográfica de la zona (Fig. 46). Estas características geomorfológicas dan paso a un distanciamiento entre cada uno de los drenajes de 150 a 1500 m y mayores (Fig. 47) con una tendencia irregular de la vertiente.

La Formación Angostura del periodo Mioceno (Baldock, 1982) aflora principalmente en la parroquia Tabiazo y en parte de las parroquias Crnel. Carlos C. Torres, San Mateo, Chinca, Majúa y Malimpia (Fig. 45), sobre pendientes medias a fuertes (Fig.46). Su geología está representada por rocas tipo areniscas de grano grueso a fino, intercaladas con limolitas y conglomerados; sobre esta litología, la distancia predominante entre drenajes es de 150 a 1500 m (Fig. 47).

La Formación Onzole del periodo Mioceno a Plioceno (Baldock, 1982) aflora sobre 3,68% del área total, concentrándose en la región Norte de la cuenca, en las parroquias Vuelta Larga, Esmeraldas y Tachina (Fig. 45). Presenta rocas de tipo limolitas azules y lutitas con escasas intercalaciones de areniscas y conglomerados. Estas rocas se encuentran sobre pendientes medias a fuertes (Fig. 46) y poseen un distanciamiento entre drenajes mayor a 1500 m (Fig. 47), con formas de vertiente que varían de mixta a irregular.

La Formación Zapallo del periodo Eoceno (Fig. 45) aflora hacia el Sur de la cuenca, en la parroquia de Chura y Malimpia del cantón Quinindé, en contacto con la Formación Angostura y algunos depósitos aluviales. Presenta rocas tipo areniscas, limolitas, lodolitas y lutitas, ubicadas sobre pendientes muy suaves a fuertes (Fig. 46), sobre las que el distanciamiento de la red de drenaje oscila entre 150 a 1500 m (Fig. 47), con vertientes de características irregulares.

Los depósitos aluviales (Fig. 45) se presentan en los márgenes de la red de drenaje, con una concentración importante en la parte Sur de la cuenca, en la confluencia de los ríos Viche-Esmeraldas y de los ríos Cole, Sade-Esmeraldas. Se ubican sobre pendientes planas y muy suaves (Fig. 46); estos depósitos están constituidos por arcillas, limos y arenas de grano fino a medio, sedimentados alrededor de los cauces del área de estudio.

Los depósitos coluvio-aluviales (Fig. 45) presentes en 2,33% del área de estudio, se encuentran en los alrededores de los márgenes de los afluentes secundarios de la cuenca; estos depósitos están constituidos mayoritariamente por limos y arenas de grano fino a grueso, con características físicas dependientes de los diferentes cursos de agua.

Sobre el 3,3% restante del área de la cuenca, afloran cinco formaciones geológicas de extensiones menores, cuyos nombres y características se describen en la tabla 24.

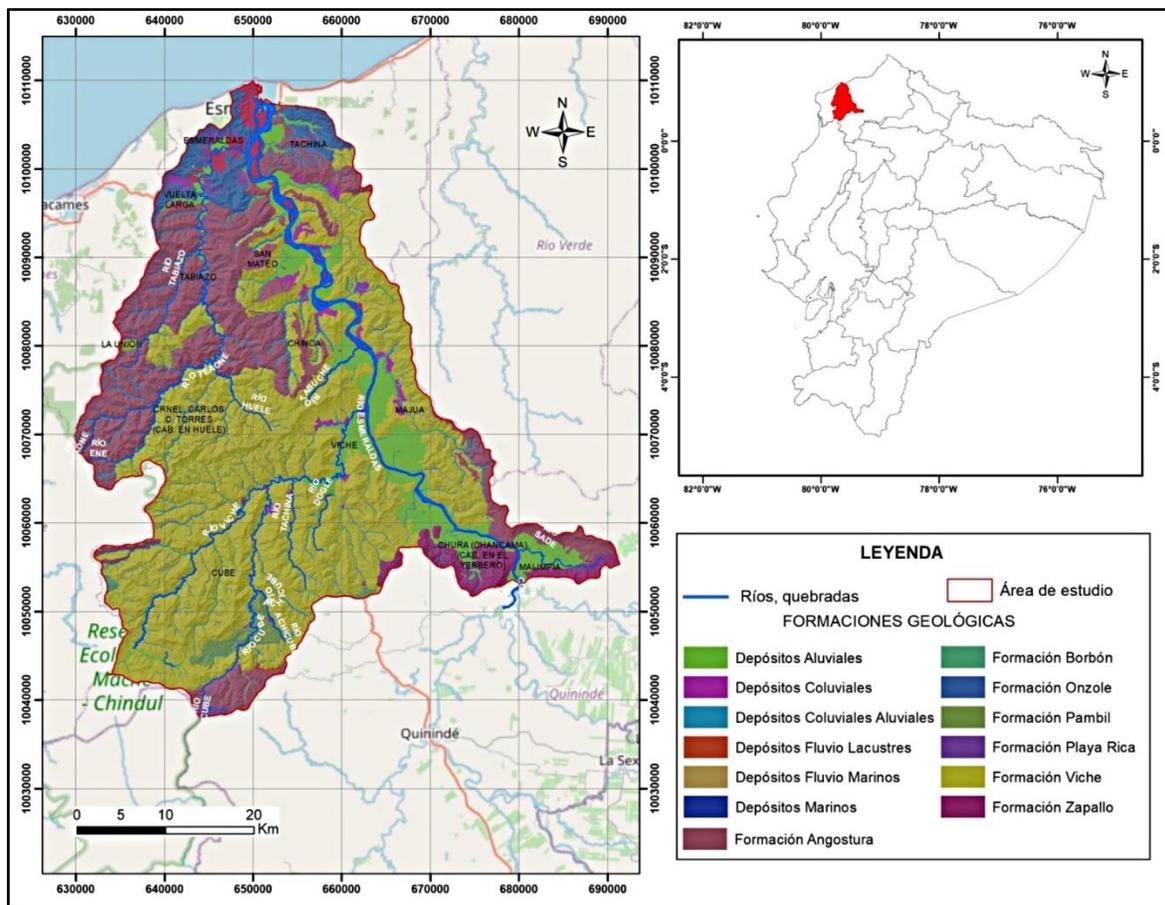


Fig. 45: Formaciones geológicas de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, en base la información digital del MAGAP – IEE, sobre la base cartográfica digital IGM.

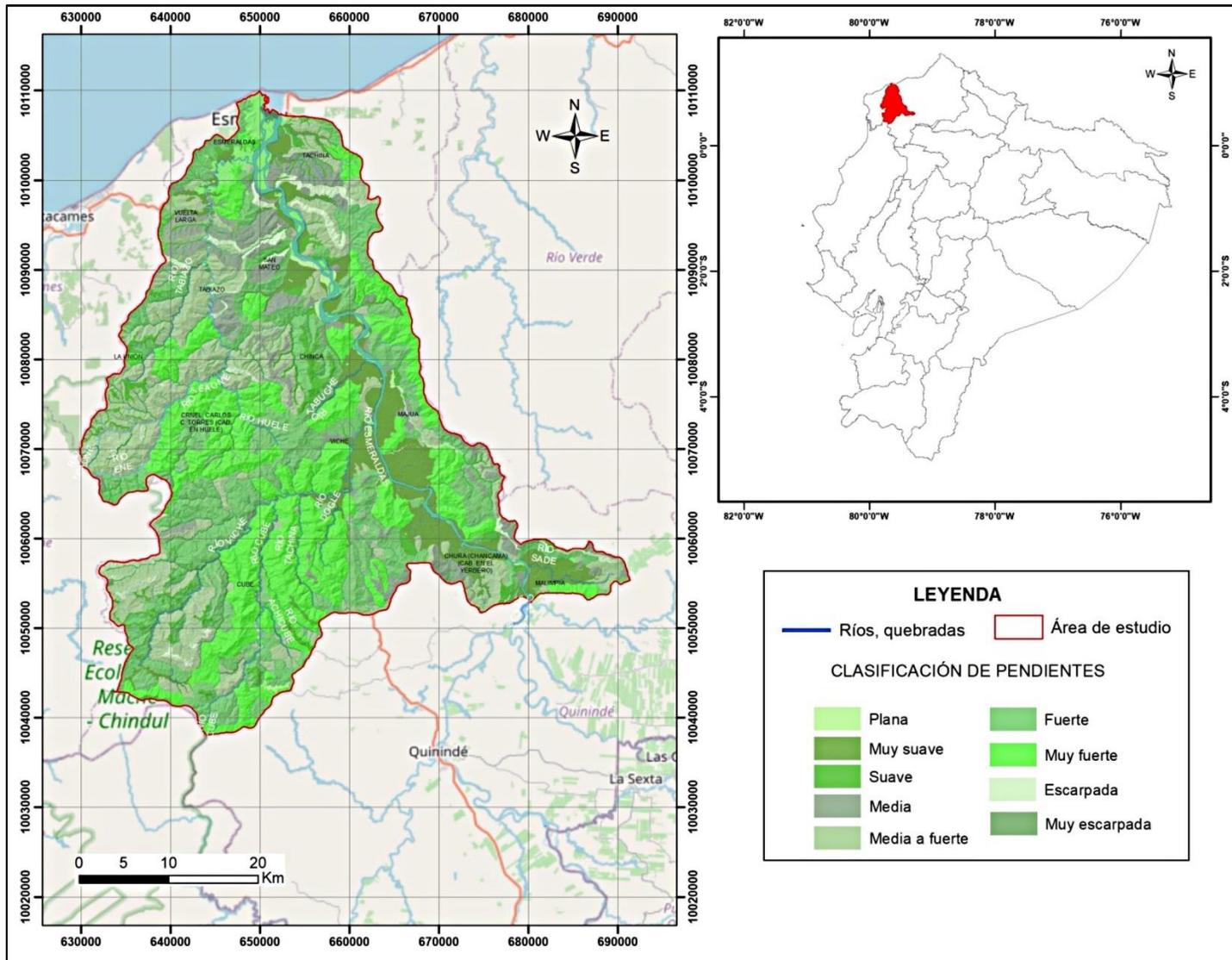


Fig. 46: Categorías de pendientes de los relieves de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información digital del MAGAP - IEE, sobre base cartográfica digital IGM.

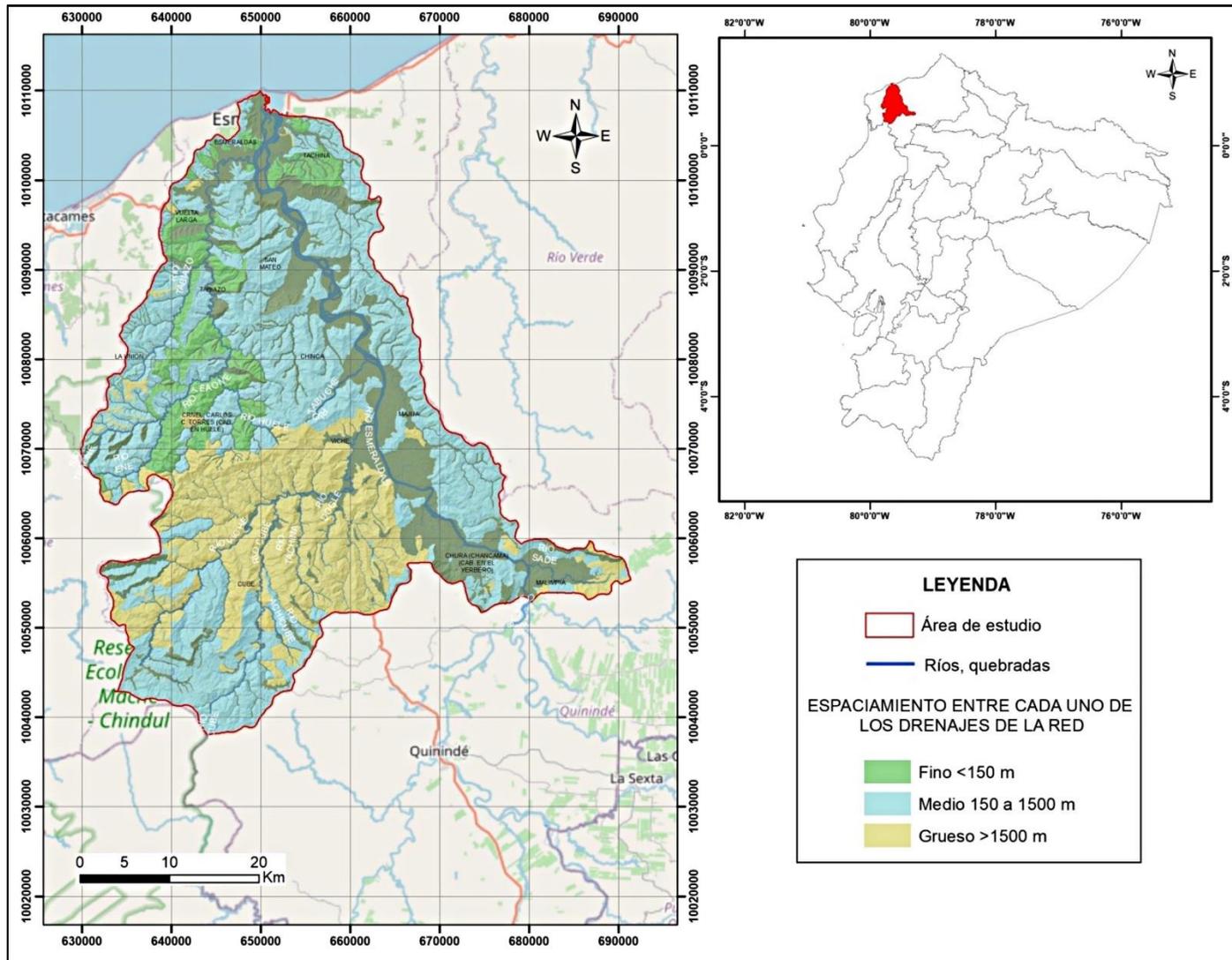


Fig. 47: Distancia entre los drenajes de la red de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información digital del MAGAP - IEE, sobre base cartográfica digital IGM.

GEOLOGÍA	PENDIENTE	TIPO DE ROCA	TEXTURA SUPERFICIAL	TEXTURA A PROFUNDIDAD	DRENAJE NATURAL	PROFUNDIDAD	FERTILIDAD	%
Depósitos Coluviales	Suave - Media a fuerte	Gravas o bloques	Franco arcillo - arcilloso	Franco arcilloso - arcillos	Bueno - Moderado	21 a 50 cm	Mediana	1,54
Formación Pambil	Media a fuerte - Muy fuerte	Limonitas, lutitas limosas	Arcilloso - arcilloso limoso	Arcilloso - arcilloso limoso	Bueno - Moderado	21 a 50 cm	Mediana - alta	1,37
Formación Playa Rica	Muy fuerte	Conglomerado basal, lutitas grises a negras con intercalaciones de areniscas y arenas	Arcilloso	Arcilloso	Bueno	21 a 50 cm	Alta	0,19
Formación Borbón	Suave – Media a fuerte	Areniscas calcáreas de grano medio, con fósiles e intercalaciones arenosas	Franco arcilloso - arenoso	Franco arenoso	Bueno	21 a 50 cm	Alta	0,10
Depósitos Fluvio-Marinos	Muy suave	Arcillas, limos y arenas de grano fino a medio, limos y arcillas	Arcillo - limoso	Arcillo - limoso	Mal drenado	0 a 10 cm	Muy baja	0,09

Tabla 24: Formaciones geológicas de extensión menor dentro de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información del MAGAP – IEE – IGM.

Edafológicamente, la unidad hidrográfica tiene una mayor presencia de suelos de orden Inceptisoles y Molisoles (Soil Taxonomy, 2006) y de otros tipos de órdenes de suelo, cuya abundancia se muestra en las figuras 48 y 49.

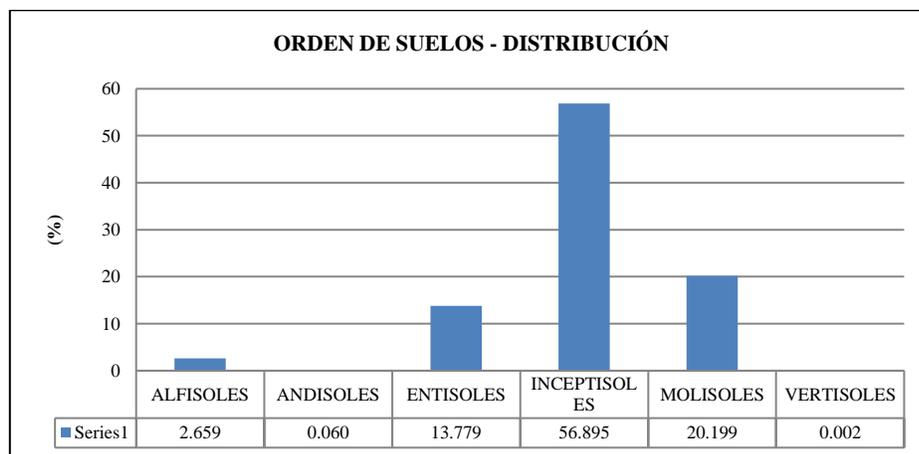


Fig. 48: Taxonomía de los suelos de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información temática del MAGAP.

Los inceptisoles ocupan la mayor parte del terreno de la unidad hidrográfica (Fig. 48) y tienen la capacidad de formar coberturas vegetales de tipo bosques, pastizales y cultivos; es especialmente en la cobertura de cultivos donde tienen gran utilidad para la actividad agrícola. Se consideran como suelos relativamente jóvenes que inician a manifestar la evolución de sus horizontes presentándose con varios horizontes de diagnóstico cuya génesis es producto de la meteorización. Sus variadas propiedades físicas y químicas permiten el cultivo de cacao, palma africana y banano que son características de la zona y uno de los principales productos de exportación del Ecuador (SIGTIERRAS, 2017, pág. 8).

Los molisoles, que ocupan el 20,20% del área, se presentan en la Región Costa en relieves estructurales y colinados terciarios que son característicos del Litoral ecuatoriano y de una parte del área de estudio (Fig. 49). Son de color oscuro y presentan en sus horizontes un alto contenido de materia orgánica y bases de cambio que facilitan el desarrollo radicular; esta característica facilita la presencia de coberturas de vegetación de tipo pastizal en su mayoría y de cultivos de sembríos de cacao (SIGTIERRAS, 2017, pág. 10).

Los entisoles se caracterizan por tener una baja evidencia en los procesos de formación de sus horizontes por factores vinculados al tiempo en el que se desarrollan, su ubicación en áreas con

tendencia a la erosión e inundación y excesivos elementos gruesos, entre otros aspectos físicos (Fig. 49). Estos suelos se concentran en su mayoría en la parte Sur de la cuenca en los márgenes del río Viche en su desembocadura al río Esmeraldas y a lo largo del mismo, donde históricamente hay evidencias de inundaciones.

Los alfisoles ocupan una pequeña parte del área de la cuenca, el desarrollo de sus horizontes superficiales claros lo hace sobre horizontes enriquecidos con arcilla (Fig. 49); están caracterizados por tener capas duras en su formación que impiden la infiltración del agua y limitan el desarrollo radicular de los cultivos (SIGTIERRAS, 2017, págs. 3, 7).

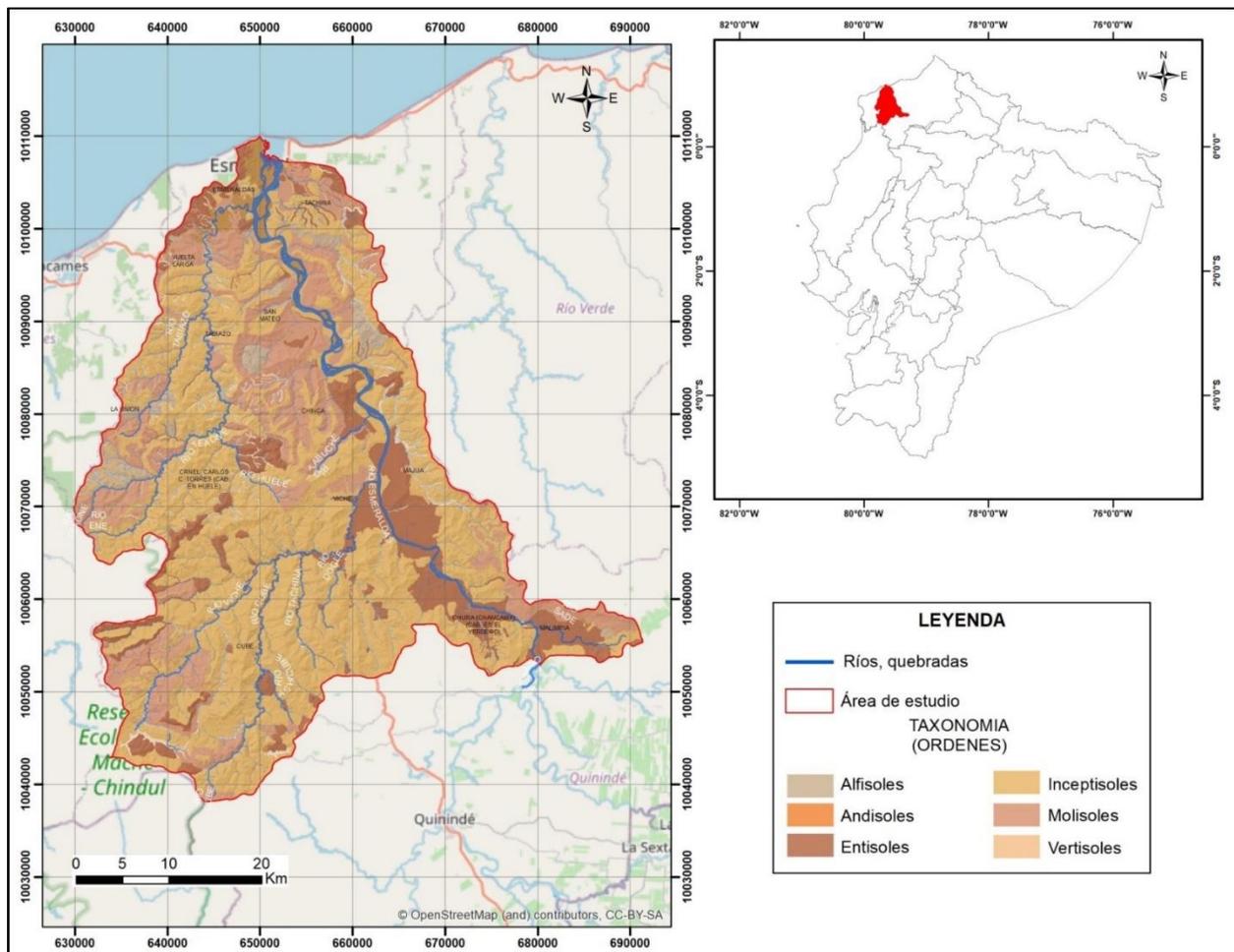


Fig. 49: Taxonomía de los suelos de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, en base la información digital del MAGAP, sobre la base cartográfica digital IGM.

Los suelos desarrollados a partir de la Formación Viche se caracterizan por tener una textura superficial con predominancia arcillosa y franco arcillosa-limosa (Fig. 50); mientras que en la textura a profundidad dominan las texturas arcillosas y franco-arcillosas (Fig. 51). Los suelos arcillosos tienen una buena capacidad de retención de agua y nutrientes, sin embargo, tienen una tendencia a no drenar de manera adecuada debido a su fácil compactación que dificulta las actividades agrícolas.

En lo que corresponde a las texturas franco arcillosa y franco arcillosa-limosa se caracterizan por ser suelos con una buena aptitud para fines agrícolas. Su drenaje natural es bueno (Fig. 52), implicando que la eliminación de agua en relación a los aportes recibidos sea medianamente rápida. No existe la presencia de fragmentos gruesos que impidan el desarrollo de plantas, al contrario, dichos fragmentos se pueden encontrar a partir de 21 a 50 cm de profundidad (Fig. 53) lo que favorece al desarrollo de raíces que permitan una adecuada absorción de agua y nutrientes. Estos suelos, además, tienen un alto grado de fertilidad (en su mayoría), indicador de suelos con alto contenido de materia orgánica, presencia de nutrientes y con alta capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases (Fig. 54).

Las texturas superficiales características de los suelos desarrollados sobre la Formación Angostura son de tipo franco, franco-arcillosa (Fig. 50), mientras que a profundidad las texturas principales son de tipo franco, franco-arcillosa y franco-limosa (Fig. 51); por sus condiciones físicas y químicas, estas texturas de suelo tienen una mayor tendencia de ser aptas para la actividad agrícola. La capacidad de respuesta para eliminar el agua sobrante de las precipitaciones es buena, con características similares a la Formación Viche (Fig. 52).

La mayor parte del área no tiene presencia de fragmentos gruesos en el perfil del suelo; esto incide sobre la profundidad efectiva, que se ha catalogado como poco profunda a moderadamente profunda, de 21 a 100 cm (Fig. 53). Sus texturas francas propician que el suelo tenga una predominancia de fertilidad natural alta con presencia importante de materia orgánica, alta disponibilidad de nutrientes, saturación de bases e intercambio catiónico importante (Fig. 54).

La textura superficial de los suelos desarrollados sobre la Formación Onzole es predominantemente franco-limosa a franca-arcillosa (Fig. 50), mientras que a profundidad la textura más abundante es franca (Fig. 51). Estas características texturales permiten un desarrollo

próspero de las actividades agrícolas, además de un drenaje natural bueno con una respuesta media en la eliminación de agua producto de las precipitaciones (Fig. 52).

La profundidad efectiva predominante en estos suelos se encuentra en el rango de 51 a 100 cm (Fig. 53); tienen una presencia media de materia orgánica con moderada capacidad de intercambio catiónico y de saturación de bases que permiten tener una disponibilidad de nutrientes significativos que le dan una categoría de un suelo de fertilidad media (Fig. 54).

La Formación Zapallo ha permitido el desarrollo de suelos con texturas superficiales arcillosas a arcillo-limosas (Fig. 50), y textura predominantemente arcillosa a profundidad (Fig. 50), con una capacidad importante de retención de agua y nutrientes, sin embargo, tienen una limitante para las actividades de cultivo por la dificultad en su drenaje, que en su estado natural tiene las mismas condiciones de los depósitos aluviales (Fig. 52). La profundidad efectiva predominante de estos suelos se encuentra en el rango de 21 a 50 cm (Fig. 53); tienen una fertilidad media relacionada con parámetros intermedios de intercambio catiónico, disponibilidad de nutrientes, saturación de bases y materia orgánica (Fig. 54).

Los suelos desarrollados a partir de los depósitos aluviales tienen una textura superficial predominantemente arcillo-limosa, limosa y franco-arenosa (Fig. 50), y una textura a profundidad mayormente arcillosa, franco-arcillosa y areno-francosa (Fig. 51). Estas texturas le proveen una buena retención de agua y nutrientes, con cierta dificultad para los cultivos debido a su fácil compactación.

Su drenaje natural está catalogado de bueno a moderado debido a la capacidad lenta a medianamente rápida en la eliminación de agua producto de precipitaciones (Fig.52), de la misma manera, sus horizontes pueden permanecer saturados días o semanas después de haber recibido el aporte de agua. No se encuentran fragmentos gruesos en el perfil de los suelos, por los que la profundidad efectiva se extiende de 21 a 100 cm (Fig. 53); dicha profundidad efectiva sumada a las características químicas de los suelos propician una fertilidad alta y media en ciertos sectores de la unidad hidrográfica (Fig. 54).

Los suelos desarrollados a partir de los depósitos coluvio-aluviales tienen una textura superficial arcillosa y franca (Fig. 50), y en profundidad texturas franco-limosa y franca (Fig. 51), que propician buenas condiciones agrícolas. Su drenaje natural es moderado a bueno (Fig. 52), la

profundidad efectiva se encuentra en el rango de 11 a 50 cm (Fig. 53) principalmente por la presencia de fragmentos gruesos en los perfiles de suelos del área de estudio. La fertilidad de estos suelos es muy similar a aquellos desarrollados sobre la Formación Zapallo.

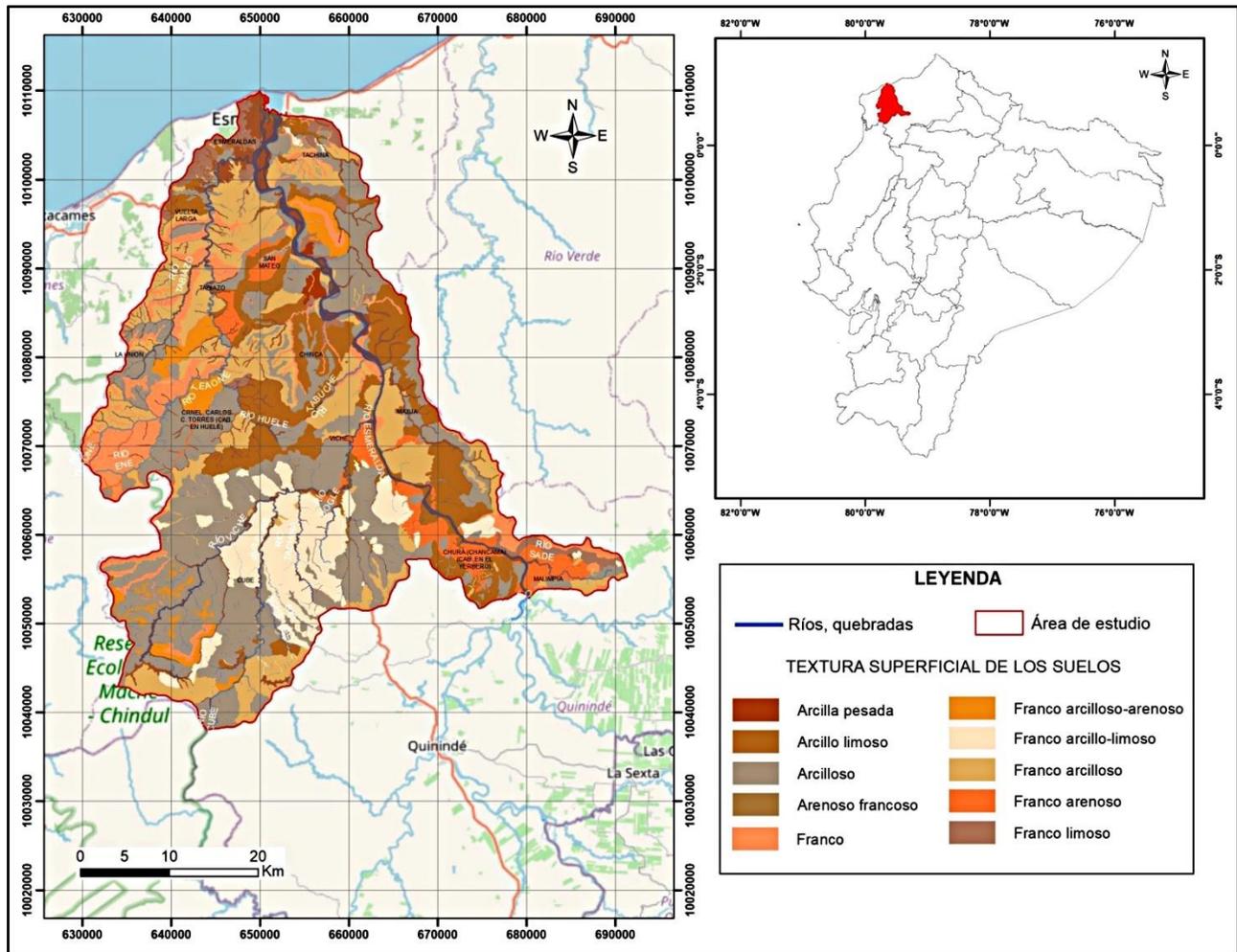


Fig. 50: Textura del suelo superficial de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información digital del MAGAP – IEE, sobre la base cartográfica digital del IGM.

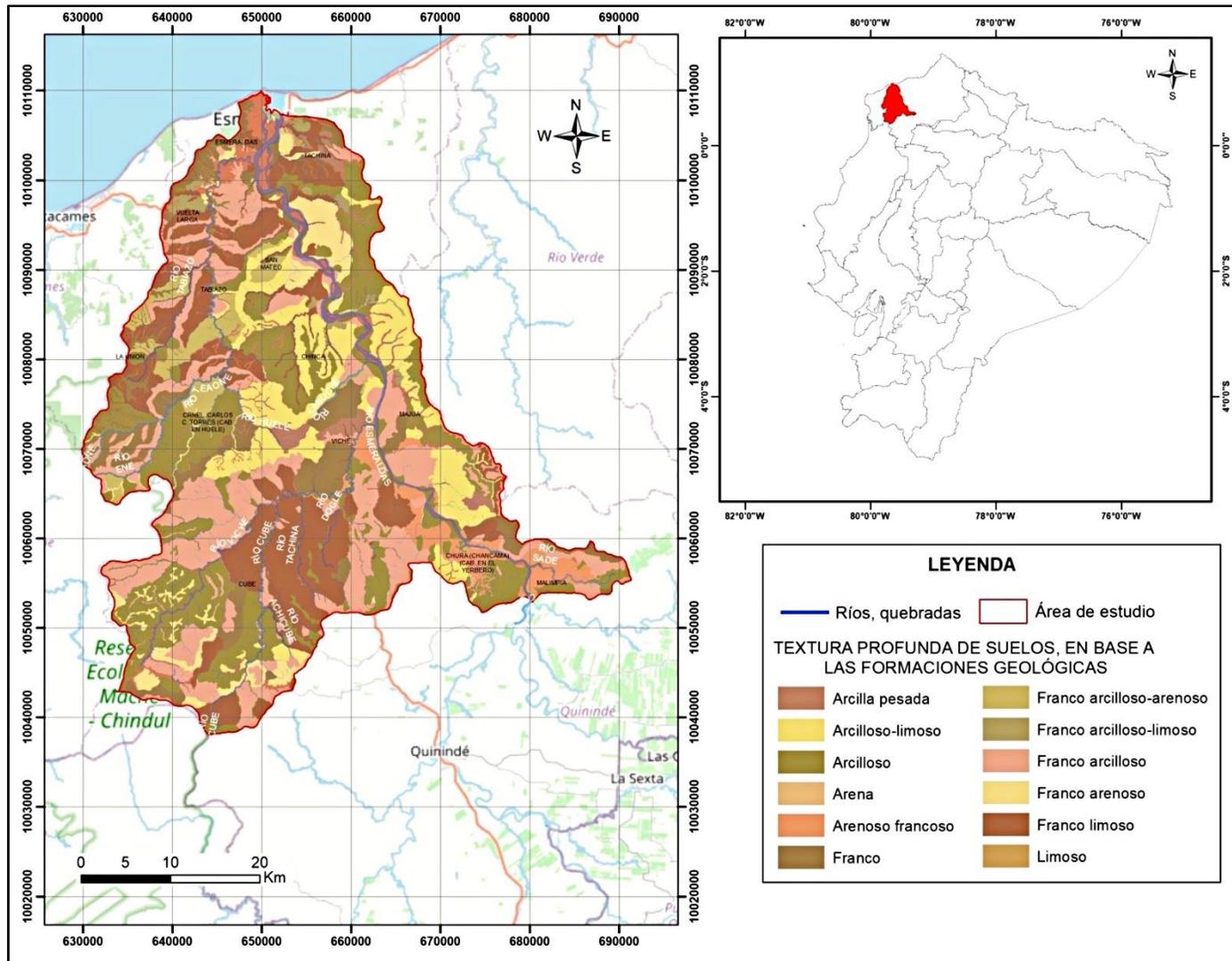


Fig. 51: Textura del suelo a profundidad de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información digital del MAGAP - IEE, sobre base cartográfica digital IGM.

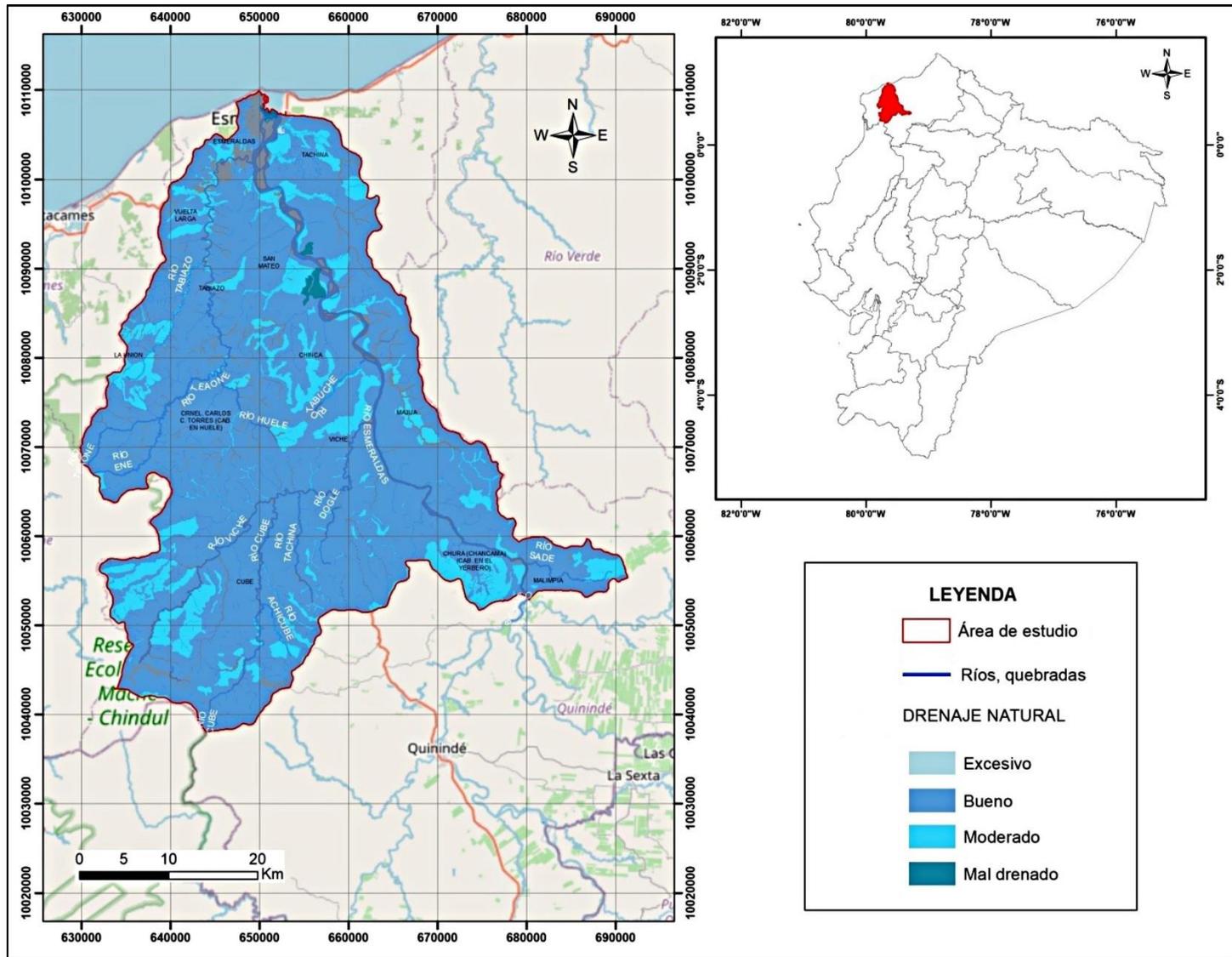


Fig. 52: Drenaje natural de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información digital del MAGAP - IEE, sobre base cartográfica digital IGM.

3.4.2 Cobertura y uso del suelo, sistemas productivos

La cobertura vegetal cumple un papel importante dentro del ciclo hidrológico ya que actúa como protección ante los efectos atmosféricos que se producen en la zona, es decir sus componentes físicos (hojas, tallos y raíces) absorben y minimizan en cierto grado la energía producida por las precipitaciones, el viento y el agua superficial. Su alteración natural debida a la expansión por asentamientos humanos o por un inadecuado uso del suelo provoca afectaciones directas en el equilibrio del ecosistema.

El desarrollo económico y demográfico del área de estudio ha implicado una explotación al recurso natural para su subsistencia; en este caso el suelo ha sido utilizado o empleado para satisfacer las necesidades primarias de la población. Muchas actividades antrópicas han cambiado el uso de suelo a lo largo del tiempo, en un inicio la población tenía una predominancia por la agricultura, luego por la ganadería y finalmente lo utilizaron para la vivienda.

De los análisis multitemporales realizados por el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) en los periodos del 2001 al 2011 se establece una pérdida de cobertura de bosque natural del 34,4% con un promedio anual de 47,652 ha en la provincia de Esmeraldas (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Esmeraldas, 2015, pág. 21). Estos cambios en la cobertura vegetal tienen un efecto negativo en el uso del suelo y su correspondiente alteración física y química ocasionando afectaciones en el comportamiento hidrológico de la cuenca.

El sistema productivo de la unidad hidrográfica se encuentra distribuido de manera no uniforme debido a la falta de planificación y buen uso del suelo a lo largo del tiempo, causando serias alteraciones al ambiente. Se tiene de una manera predominante el uso de suelo destinado a la conservación y protección de la vegetación en la zona; de la misma manera, la actividad pecuaria tiene una importancia en el sistema productivo, seguida de la actividad agrícola y demás sistemas productivos (Fig. 55).

El sistema de conservación y protección representa el 50,4% de la cuenca y se concentra mayoritariamente en la región central, Sur-Oeste y Oeste; geológicamente se encuentran en las formaciones Viche, Angostura y Onzole (en mayor proporción). Se ubica sobre suelos poco profundos a moderadamente profundos (21 a 100 cm) con texturas arcillosas y francas, con permeabilidad media y baja, lo que facilita una buena capacidad para la retención de agua; la

presencia de vegetación natural indica que los suelos tienen fertilidad mediana a alta (Figs. 53 y 54).

El sistema pecuario se concentra mayoritariamente y de manera dispersa en la parte Sur-Oeste y Nor-Oeste de la cuenca, sobre las formaciones Viche y Angostura, en suelos cuyas texturas predominantes son arcillosas y francas. Esta característica textural está relacionada con la permeabilidad media-baja de los suelos y por lo tanto la considerable retención de agua en los mismos. La profundidad efectiva dominante (21 a 100 cm) favorece al desarrollo de este sistema productivo, que representa el 20,5% del área total (Figs. 53 y 54).

El sistema agrícola representa el 12,6% del total de la cuenca; geológicamente se encuentra desarrollado sobre las formaciones Viche, Angostura y Zapallo (de manera prioritaria) y se concentra geográficamente a lo largo del río Esmeraldas. Dentro de este sistema es posible encontrar suelos arcillosos y francos, asociados a una permeabilidad media-baja que sugiere una importante capacidad de retención de agua. La profundidad efectiva definida para los suelos de este sistema se encuentra entre 21 a 100 cm (Figs. 53 y 54).

El sistema agropecuario mixto presente en un área equivalente a 6,6% de la cuenca, se extiende mayoritariamente en la parte Sur y en menor medida en el Norte de la misma. Geológicamente el sistema se encuentra sobre las formaciones Viche, Onzole y Angostura, en las que predominan los suelos arcillosos y francos, con buena captación de agua por presentar una permeabilidad media, y que por sus características químicas y profundidad efectiva poco profunda a moderadamente profunda (21 a 100 cm), se han catalogado como suelos con una fertilidad que propicia el desarrollo agropecuario por la alta presencia de materia orgánica (Figs. 53 y 54).

El 5,01% restante de la superficie del área presenta los siguientes sistemas productivos, de acuerdo a la tabla 25 y figura 55:

SISTEMA PRODUCTIVO	FORMACIÓN GEOLÓGICA	TEXTURA	PERMEABILIDAD	PROFUNDIDAD EFECTIVA	FERTILIDAD	% ÁREA TOTAL
Protección o producción	Viche, Angostura, Onzole	Clases de arcillas y francos	Baja - media	21 a 100 cm	Alta	2,01
Antrópico	Depósitos Aluviales, Coluviales, Viche, Onzole			21 a 100 cm	Mediana - alta	1,8
Conservación y producción	Viche, Angostura, Zapallo, Depósitos Aluviales			21 a 50 cm	Alta	1,1
Tierras improductivas	Viche, Depósitos Aluviales			21 a 50 cm	Alta	0,1

Tabla 25: Sistemas productivos mínimos de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información del MAGAP – IEE - IGM.

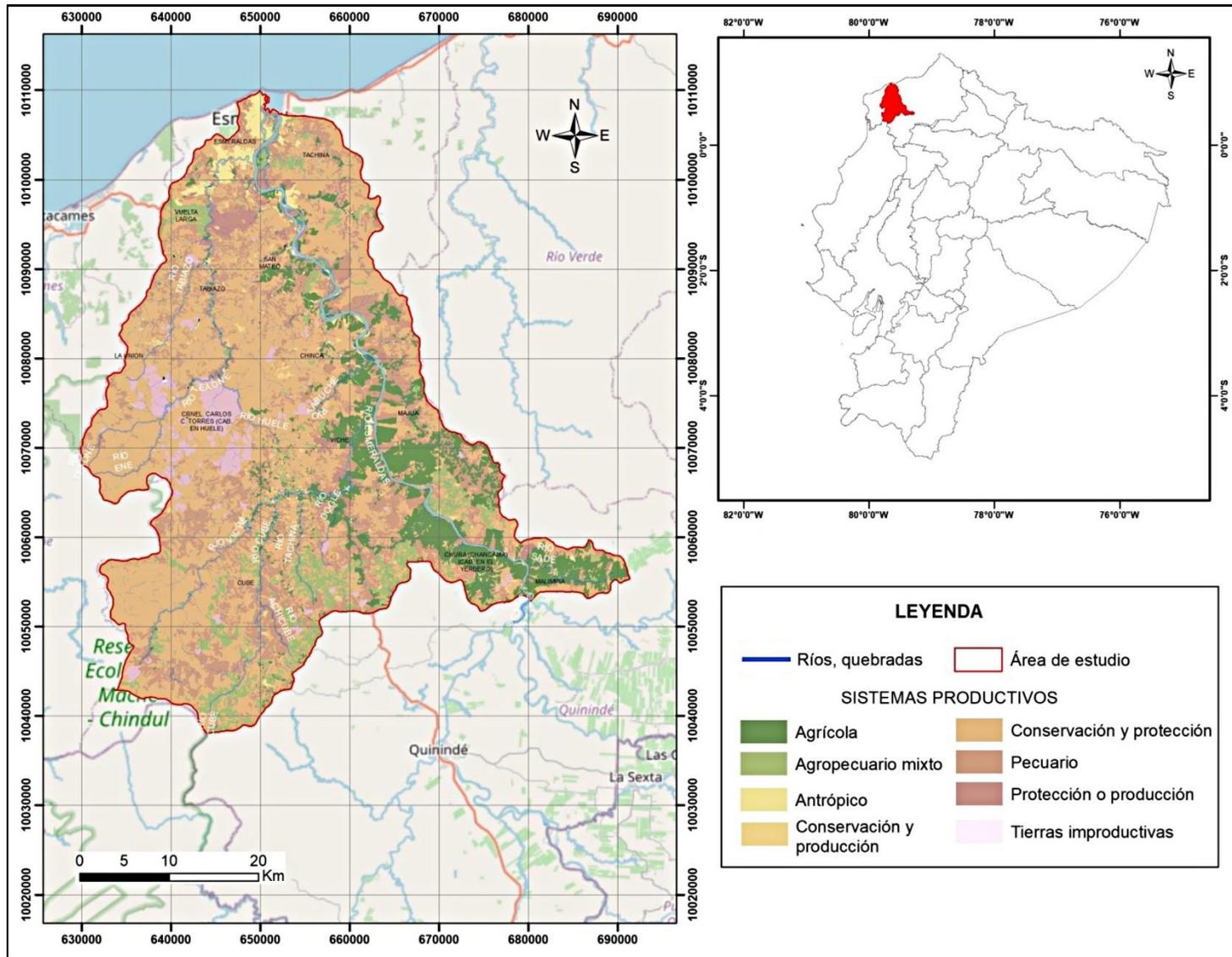


Fig. 55: Sistemas productivos, en función de las formaciones geológicas de la unidad hidrográfica. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información digital del MAGAP - IEE, sobre base cartográfica digital IGM.

CAPÍTULO IV. CLIMATOLOGÍA DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO ESMERALDAS DE LOS RÍOS ESMERALDAS Y TEAONE

CAPÍTULO IV

CLIMATOLOGÍA DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO ESMERALDAS DE LOS RÍOS ESMERALDAS Y TEAONE

1 Introducción

La presencia de elementos climáticos y su interacción con diferentes factores (geográficos, meteorológicos y astronómicos) tiene una incidencia directa en el comportamiento y funcionamiento hídrico - ambiental de una cuenca hidrográfica (Pourrut, 1983, pág. 11). La variabilidad climática producto de las alteraciones de los diferentes elementos tiene como consecuencia la ocurrencia de fenómenos climáticos que impactan de manera positiva o negativa en la cuenca hidrográfica.

Los elementos climáticos tienen una relación directa en el comportamiento de la vegetación, nivel de caudales, exposición a los efectos de la erosión de la cuenca y sus consecuencias en el desarrollo local o regional de determinadas provincias, cantones o parroquias (Brendel, Bohn, & Piccolo, 2017, págs. 6,7) (Carbone, Piccolo, & Perillo, 2003, págs. 42, 43). El Ecuador y en especial la Región Costa han sido constantemente afectados por la variabilidad climática que han provocado importantes costos económicos y sociales al país, como es el caso de los efectos del fenómeno del Niño que en los años de 1997 y 1998 provocaron pérdidas equivalentes al 15% del PIB del país (Ministerio del Ambiente, FOCAM, PNUD, 2015, pág. 8).

El Ecuador tiene una variedad topográfica significativa debido a los efectos de la fosa oceánica, que como se expresó anteriormente es el lugar de convergencia de las placas tectónicas de Nazca con la Sudamérica y de la presencia de la Cordillera de los Andes, que dividen geográficamente al país en tres regiones (Costa, Sierra, Amazonía y Insular) marcadas principalmente por las condiciones de altitud, temperatura y precipitación. La variabilidad de las condiciones climáticas es producto de que el Ecuador se encuentra geográficamente en la latitud 0°, lo que implica que se encuentre dentro del cinturón de bajas presiones ecuatoriales, en la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) con un contacto permanente entre las masas de aire procedentes de los hemisferios Norte y Sur, conocidas como vientos Alisios.

El área de estudio pertenece geográficamente a la zona costera del Ecuador; la variedad climática se encuentra influenciada por factores meteorológicos, geográficos, oceanográficos y astronómicos. En los factores meteorológicos, tenemos la influencia de la ZCIT (cinturón de bajas presiones activa, que resalta la época húmeda), la Alta Semipermanente del Pacífico Sur (condiciona el clima de la zona tropical) y la Alta de Bolivia (incursiona masa de aire cargado de humedad en el territorio amazónico) (Reyes Álava, 2019, pág. 2).

En los factores geográficos, la presencia de la Cordillera de los Andes cumple con acciones fundamentales en la generación de masas de aires locales, desplazamiento de masas de aires regionales y las generadas en el Océano Pacífico que chocan con la cordillera. En lo relacionado con los factores oceanográficos, la interacción continua y permanente de las corrientes fría de Humboldt y cálida Ecuatorial (o cálida de El Niño dependiendo de la época climática) genera masas de aire que producen precipitaciones importantes en el Ecuador Continental.

La radiación solar tiene un mayor efecto en el Ecuador comparado con otros países que se aproximan a los polos; esto produce una afectación en el incremento o disminución de la temperatura de la superficie del mar, en la superficie terrestre o en el ambiente. Este tipo de factores define que el área de estudio tenga la presencia de un clima subhúmedo con pequeño exceso de agua en la zona Norte, clima subhúmedo con moderado déficit de agua en época seca en la zona Central y en la zona Sur un clima húmedo sin déficit de agua (Fig. 3).

La continua afectación de fenómenos hidrometeorológicos en el área de estudio ha provocado inundaciones y sequías en ciertos periodos de tiempo, por lo que es de suma importancia analizar los diferentes elementos climáticos a partir de la información meteorológica cuantitativa disponible.

2 Materiales y métodos

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) y de la Dirección de General de Aviación Civil (DAC) han instalado estaciones en el área de estudio que permiten obtener información sobre parámetros meteorológicos de la cuenca. En lo que respecta a estaciones meteorológicas se han instalado 13 (8 en el área de estudio y 5 cerca al área de estudio), de acuerdo a la figura 56:

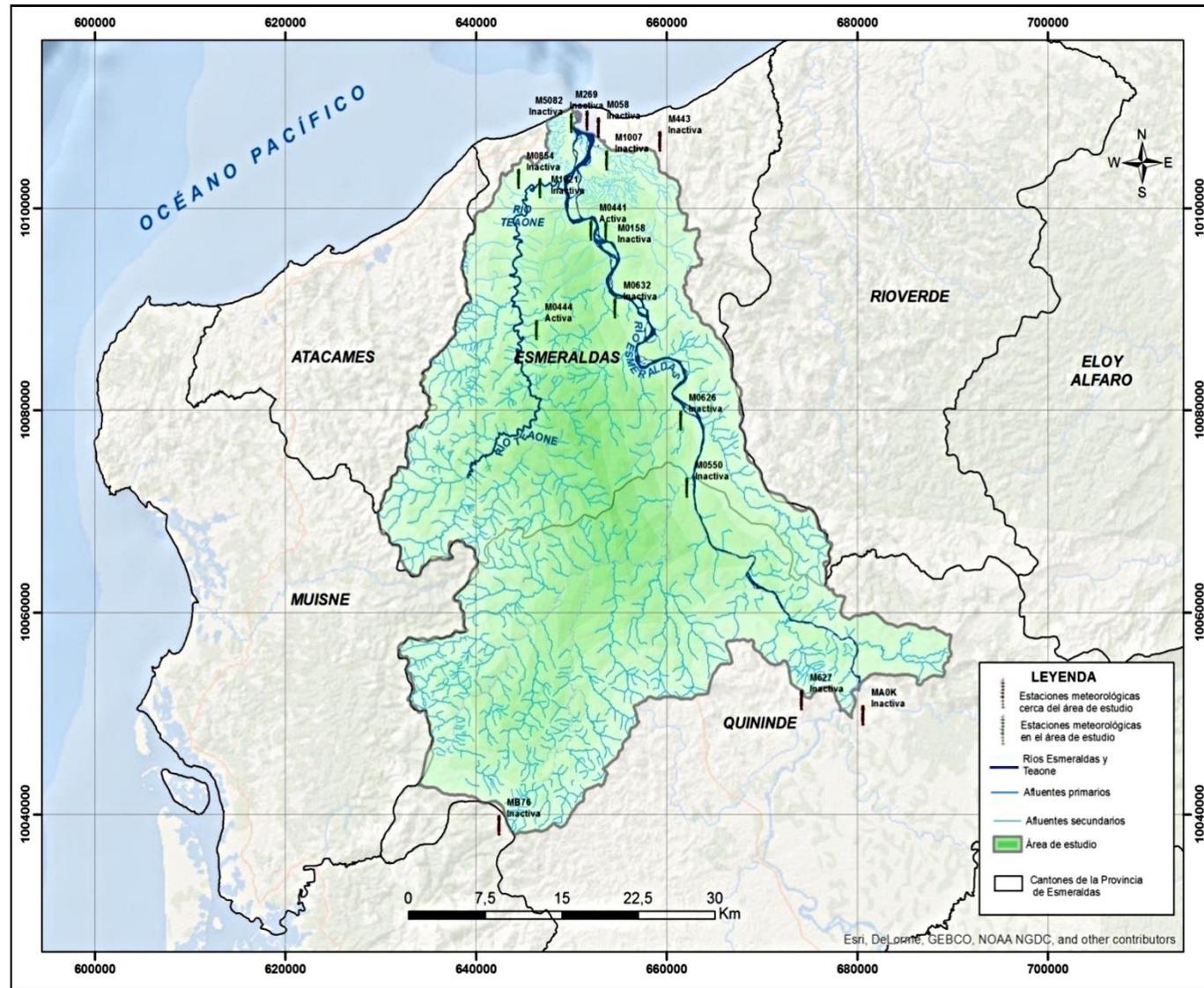


Fig. 56: Estaciones meteorológicas dentro del área de estudio y cercanas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base cartográfica oficial 1:50000 del IGM – ECUADOR y al mapa oficial de la red meteorológica del ECUADOR del INAMHI 2013.

El análisis climatológico se realiza con base en la información de las estaciones meteorológicas del INAMHI, INOCAR y la DAC; el principal problema que tiene el Ecuador y en especial en la Región Costa es que muchas de las estaciones meteorológicas pertenecientes al INAMHI tienen lagunas importantes en las series de tiempo lo que dificulta el análisis de los diferentes elementos climáticos.

El análisis de los parámetros de clima se centró en los datos de vientos, temperatura y precipitación de las estaciones inicialmente planteadas en la figura 53 con las diferentes series de tiempo de cada estación. Se trabajó con 5 estaciones que presentan condiciones adecuadas para el análisis climatológico de la cuenca; estas son: estación Esmeraldas (INOCAR), estación Tachina (DAC), estación Sague, Teaone y Quinde (INAMHI). Para completar los datos faltantes de los elementos de precipitación y temperatura se empleó una matriz de correlación para identificar la interrelación existente entre cada uno de los elementos climáticos, tomando en consideración parámetros de distancia y altitud; de los resultados obtenidos (estaciones que tienen una mayor correlación) y para completar los datos cuantitativos se utilizó el método de regresión lineal a las estaciones que presentan brechas de datos.

2.1 Análisis de estadístico de precipitación de las estaciones meteorológicas

El análisis estadístico aplicado a la información meteorológica de las estaciones en el área de estudio permite comprender la estructura de los datos, identificar patrones de comportamiento, extraer información útil y relevante para la obtención de conclusiones válidas (Chow, Maidment, & Mays, 1994) (Monsalve Sáenz, 1999) (Villón Béjar, 2006) (Fattorelli & Fernández, 2011). La aplicación de técnicas estadísticas, facilitan el análisis de la variabilidad temporal de los datos pluviométricos para identificar patrones estacionales de precipitación, de la misma manera, permite el análisis de la variabilidad espacial de los datos que mediante técnicas de interpolación se pueda estimar valores de precipitación y temperatura en áreas donde no se han realizado mediciones (Villón Béjar, 2006)(Hernández, Fernández & Baptista, 2014) (Gentili & Gil, 2013).

De la misma manera, mediante el análisis estadístico se puede determinar con qué frecuencia, duración e intensidad se presentan los eventos extremos climáticos, como las inundaciones o sequías. Para el análisis estadístico de las estaciones que se encuentran dentro del área de estudio, se emplea la estadística descriptiva a través de las medidas de tendencia central y de dispersión; las medidas de tendencia central como: media y mediana, son utilizadas para determinar la ubicación

central del conjunto de datos (Spiegel, 1997) (Lind, Marchal, & Mason, 2004) (Gentili & Gil, 2013). En lo que corresponde a las medidas de dispersión como: varianza, desviación estándar, coeficiente de variación, rango y asimetría, son utilizadas para establecer la dispersión o distribución de los datos con respecto a una medida de tendencia central (Spiegel, 1997) (Lind, Marchal, & Mason, 2004) (Fattorelli & Fernández, 2011).

Para los análisis estadísticos, se utiliza la información registrada en cada una de las estaciones de manera mensual y anual de precipitación, de acuerdo los parámetros establecidos en la tabla 26:

PARÁMETRO	FÓRMULA	DESCRIPCIÓN
Media (\bar{X})	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n Xi}{n}$	Valor medio ponderado de la serie de datos, la cual representa el valor central de dicho conjunto (Chow, Maidment, & Mays, 1994) (Monsalve Sáenz, 1999) (Lind, Marchal, & Mason, 2004).
Mediana (Me)	$Me = \frac{X_{n+1}}{2}$	Valor de la serie de datos ordenados ascendente o descendente que se sitúa justamente en el centro de la muestra (50 % de valores son inferiores y el otro 50 % superiores) (Chow, Maidment, & Mays, 1994) (Monsalve Sáenz, 1999) (Lind, Marchal, & Mason, 2004) (Gentili & Gil, 2013).
Varianza (S^2)	$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^k fi [Xi - \bar{X}]^2}{n - 1}$	Mide la distancia que existe entre los valores de la serie y la media (Lind, Marchal, & Mason, 2004).
Desviación estándar (DE)	$DE = \sqrt{S^2}$	Describe la desviación (dispersión) de los datos de una distribución en relación con su media; se calcula como la raíz cuadrada de la varianza (Fattorelli & Fernández, 2011)
Coficiente de variación de Pearson (C. V)	$C.V = \frac{S}{\bar{X}}$	Mide la variabilidad relativa de una distribución de datos; se calcula como el cociente entre la desviación típica y la media (Chow, Maidment, & Mays, 1994).
Rango (Amplitud) (C)	$C = X_{m\acute{a}s} - X_{m\acute{i}n}$	Mide la amplitud de los valores de la muestra y se calcula por diferencia entre el valor más elevado y el valor más bajo (Spiegel, 1997).

Tabla 26: Medidas de tendencia central y de dispersión para el análisis de datos pluviométricos. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de (Chow, Maidment, & Mays, 1994) (Spiegel, 1997) (Monsalve Sáenz, 1999) (Lind, Marchal, & Mason, 2004) (Fattorelli & Fernández, 2011) (Gentili & Gil, 2013).

2.2 *Análisis de los vientos*

El comportamiento de los vientos en el perfil costanero tiene una influencia directa en las precipitaciones que se producen en el continente debido a la facilidad de desplazamiento de masas de aire producto de la confluencia de las corrientes oceánicas, características ambientales (microclimas) y de relieve de la zona. En el perfil costanero existe una predominancia de vientos alisios del Sur con una pequeña influencia de las perturbaciones de la Amazonia y microclimas locales que influyen en la dirección y magnitud de los vientos (Corporación Andina de Fomento, 1998, págs. 21,22,26,38) (Galvéz & Regalado, 2007, pág. 204) (Peralta, López, Sosa, Delgado, & Barriga, 2013, pág. 4).

En la presente investigación se trabajó con las épocas climáticas de la zona y para la generación de la rosa de los vientos se utilizan los parámetros de dirección y frecuencia de las estaciones Tachina (DAC) y Esmeraldas (INOCAR), que presentan una serie de datos completa comprendida entre 1980 a 2015 y 1981 a 2015 respectivamente. Con respecto a las estaciones pertenecientes al INAMHI, no presentan información de monitoreo de vientos en el área de estudio, lo que dificulta un análisis completo del estudio de viento en la Unidad Hidrográfica 1521.

2.3 *Análisis de temperatura*

El Ecuador por su ubicación geográfica no tiene definido estaciones climáticas durante el año; sin embargo, se considera que el país tiene microclimas dependiendo de las zonas geográficas. Con base en el análisis histórico de precipitación y temperatura del área de estudio se identifican dos épocas climáticas, una época lluviosa comprendida entre los meses de diciembre a junio y una época relativamente seca entre los meses de julio a diciembre.

Los datos de la estación Quinindé permitieron el análisis de la temperatura en un periodo comprendido entre 1978 a 2015 mientras que los datos de temperatura de las estaciones de Tachina y Esmeraldas permitieron el análisis de tiempo de 1980 a 2015 y 1981 a 2015. Se realizó el análisis de las anomalías para identificar los cambios de temperatura que ha sufrido la cuenca en el periodo de análisis; se empleó la siguiente ecuación (Organización Meteorológica Mundial, 2017, pág. 15):

$$TMA_j = (TM_j - CT_j) \tag{1}$$

TMA_j: Anomalía de la temperatura media mensual y anual.

TM_j: Temperatura media mensual y anual.

CT_j: Clima

Mediante el uso de herramientas geoestadísticas aplicando el método de interpolación Ordinary Kriging y el software ARCGIS 10,3 se obtuvieron las isotermas de temperatura media anual en el periodo de 1980 a 2015 para identificar la distribución de temperatura media anual en la unidad hidrográfica y en el sector.

2.4 Análisis de precipitación

El comportamiento de las precipitaciones está marcado por las condiciones geográficas, atmosféricas, oceanográficas y de circulación atmosférica en general (Geraldi, 2009, pág. 72); adicional a estos factores se debe considerar que en la zona ecuatorial existe la convergencia de los vientos alisios del Norte y Sur que generan importantes masas de aire, dependiendo de la época climática. La precipitación es uno de los elementos más importantes dentro del ciclo hidrológico de una cuenca y es un parámetro que define las características ambientales de la vegetación, el hábitat de especies y características de clima de un área determinada.

En la zona geográfica de estudio, el comportamiento de las precipitaciones se relaciona con las masas de aire generadas en el océano y las producidas en la Amazonía, considerando que el Ecuador tiene un Región Oriental importante. El análisis de la precipitación se realizó en distintos periodos de tiempo, de 1950 a 2015 la estación Sague, de 1964 a 2015 la estación Teaone, de 1958 a 2015 la estación Quinindé, que pertenecen al INAMHI; del periodo de 1980 a 2015 se utilizaron las estaciones Tachina y Esmeraldas (DAC, INOCAR) en el periodo de 1980 a 2015 e INOCAR. El análisis del comportamiento de precipitaciones en el periodo de estudio se realizó con base a las anomalías de precipitación total que permiten identificar épocas secas, de precipitación normal y de precipitación en exceso; la fórmula para el cálculo es (Organización Meteorológica Mundial, 2017, pág. 16):

$$PA_j = (PR_j - CP_j) \tag{4}$$

PAj: Anomalías de la precipitación mensual y anual.

PRj: Precipitación total mensual y anual.

CPj: Climatología.

Para el cálculo de la precipitación media de la cuenca se emplea el método interpolación de Polígonos de Thiessen también conocido como Polígonos de Voronoi, desarrollado por el meteorólogo estadounidense Alfred H. Thiessen, cabe mencionar que en la unidad hidrográfica solo el 2% supera el rango de altura entre los 500 a 708,13 m.s.n.m ubicada especialmente en el límite Sur del área de estudio. La aplicación de esta metodología está basada en la clasificación altitudinal que tiene el Ecuador, en el caso del área de estudio, se encuentra definida como: llano con elevaciones de baja altura (< 1000 m.s.n.m), considerando que en el Ecuador Continental se registra elevaciones aproximada de 6000 m.s.n.m; a partir de esta clasificación el INAMHI y diversas instituciones públicas como educativas han empleado esta metodología en sus diferentes trabajos de investigación (INAMHI - ORSTOM, 1996) (Villacrés Ortiz & Gallegos Sotomayor, 2010) (Álvarez Rodríguez, 2011) (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2013) (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2019) (Mendoza Cedeño & Campos Cedeño, 2021).

En la presente investigación, la utilización de los Polígonos de Thiessen está enfocada a la definición de las áreas de influencia, los cálculos relacionados con la precipitación media y volumen de precipitación sirven de referencia para contrastar o validar con la información que se genera en la definición de las isoyetas. La metodología de Thiessen utiliza la distancia euclidiana y toma como referencia las ubicaciones de las estaciones que se encuentran en la cuenca hidrográfica las mismas que son unidas mediante líneas rectas, asignándoles una superficie a cada estación (Álvarez Rodríguez, 2011). Posteriormente, se trazan mediatrices a cada recta hasta su intersección para la determinación de las áreas de influencia que tiene cada estación en el área de estudio; la ecuación que se emplea es la siguiente (que será utilizado como referencia) (Geraldí, 2009, pág. 65):

$$Pm_j = \left(\frac{\sum_{i=1}^n S_i * P_{ij}}{\sum_{i=1}^n S_i} \right)$$

(2)

P_{mj} : Precipitación media del área en estudio, en el tiempo j (mm).

S_i : Superficie de la influencia de la estación i (Km²).

P_{ij} : Precipitación de la estación i , en el tiempo j (mm).

Se calcularon las isoyetas tomando como referencia la época de 1980 a 2015 debido a que existe una mejor consistencia en el monitoreo de los datos de las estaciones. Se utilizaron para ello las estaciones que se encuentran en el perfil costanero y aquellas que se encuentran en los límites de la Sierra y Costa para tener un mejor resultado, evitando un sesgo en los cálculos por la deficiencia numérica de las estaciones en la unidad hidrográfica. Se incorporaron las estaciones de San Lorenzo, Cayapas y Muisne con la finalidad de tener una mayor solidez en la información interpolada. Aplicando herramientas geoestadísticas se aplica el método de interpolación Ordinary Kriging con el software ARCGIS 10,3 para generar el mapa de isoyetas (Aparicio Mijares, 1992) (Chow, Maidment, & Mays, 1994) (Fattorelli & Fernández, 2011); se emplea la siguiente ecuación (Aguiló Alonso, y otros, 2014) (Zucarelli, Paris, & Macor, 2014) (ESRI, 2016):

$$\hat{Z}(S_o) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i)$$

(3)

$Z(S_o)$: Valor estimado de la variable Z en la ubicación (S_o).

λ_i : Ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación i .

$Z(S_i)$: Valor conocido de la variable Z en la ubicación (S_i).

N : Cantidad de valores medidos.

Se elaboraron los diagramas ombrotérmicos para identificar la distribución o comportamiento de los elementos de precipitación y temperatura de diferentes estaciones meteorológicas dentro de la cuenca. El análisis facilita la identificación de periodos secos o

húmedos partiendo del índice xerotérmico de Gausson y Bagnoulsde en donde la relación que la precipitación es dos veces la temperatura ($P = 2T$) (Gausson & Bagnouls, 1953), de esta manera:

- $P < 2T$, época seca.
- $P > 2T$, época húmeda.

3 Resultados

3.1 Análisis estadístico de la precipitación

En la información de la tabla 27 se observa que los promedios más bajos de precipitación corresponden a las estaciones de Esmeraldas y Tachina con 803,11 mm y 842,81 mm respectivamente. Por otro lado, las estaciones Sague y Teaone tienen un promedio de precipitación de 1020,41 mm y 1077,12 mm, mientras que la estación Quinindé registra un promedio de 2274,63 mm; es importante considerar esta variabilidad de precipitaciones en el establecimiento de áreas susceptibles a inundaciones, teniendo en cuenta las características físicas y climáticas de la unidad hidrográfica.

ESTACIONES					
	Esmeraldas	Tachina	Sague	Teaone	Quinindé
Medidas de centralidad					
Media	803,11	842,81	1020,41	1077,12	2274,63
Mediana	649,20	759,70	933,39	942,93	2140,59
Medidas de dispersión					
Desviación estándar	421,74	364,02	460,01	482,44	632,30
Máximo	2293,70	2268,90	2539,60	2298,10	4515,97
Mínimo	252,00	438,90	405,95	426,00	1438,05
Amplitud	2041,70	1830,00	2133,65	1872,10	3077,92
Coefficiente de variación	52,51%	43,19%	45,08%	44,79%	27,80%

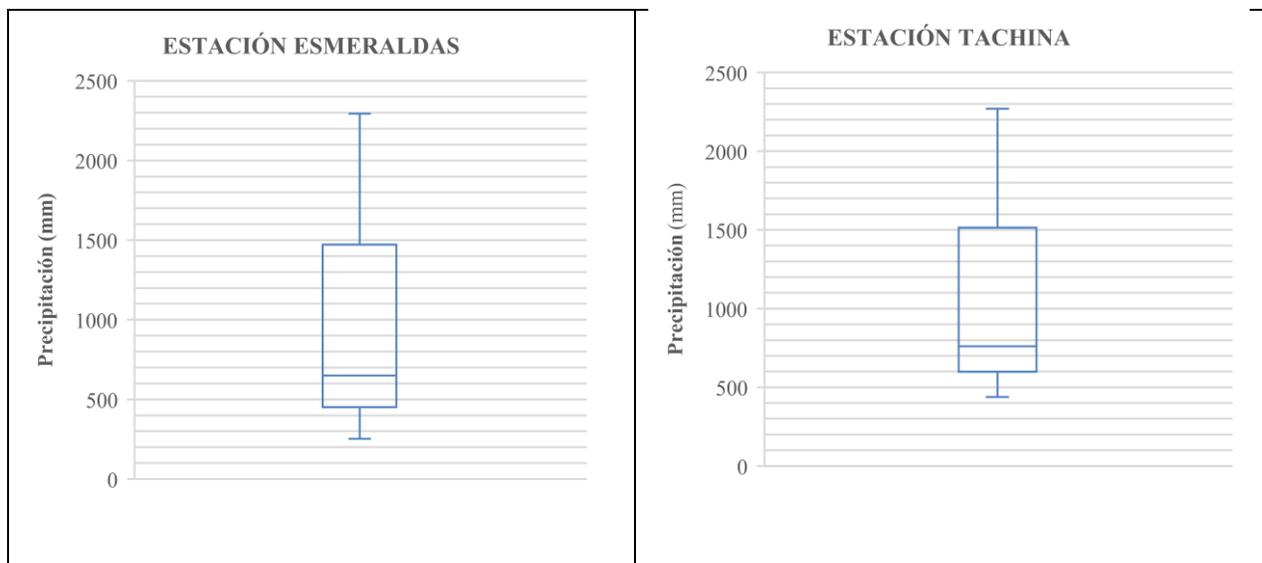
Tabla 27; Resultados de las medidas de tendencia central y de dispersión de los datos pluviométricos en el periodo de 1980 a 2015. Fuente: Elaboración propia, en base a los datos de las estaciones de Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone y Quinindé.

La variación más alta dentro de cada grupo corresponde a la estación Quinindé, con una desviación estándar de 632,30 mm, esto indica que los valores de precipitación se encuentran más alejados del promedio e indican una mayor variabilidad en las precipitaciones en comparación con las otras estaciones. En la figura 57 se evidencia que en todas las estaciones existe una menor concentración de datos que se encuentran sobre la media y a la vez se encuentran más alejados de

ésta, dichos valores corresponderían a los meses de mayor precipitación que en este caso se dan en los primeros meses del año. Por el contrario, la mayor concentración de datos y con valores próximos a la media se dan en el resto del año en meses donde disminuye la precipitación; la variación de los resultados evidencian que la variabilidad en las precipitaciones son muy diferentes entre las estaciones debido a la influencia de los factores geográficos y climáticos específicos de cada área de influencia.

De los estimadores calculados, la amplitud indica una variabilidad en la precipitación de cada una de las estaciones. Sin embargo, se debe mencionar que este estimador es muy susceptible al efecto de los valores extremos de precipitación que se registran en las diferentes estaciones. Además, de los restantes, el coeficiente de variación es el que permite hacer comparaciones de variabilidad entre grupos de datos, ya que cuantifica la magnitud del error en ellos.

Un coeficiente de variación alto indica una mayor variabilidad de los datos de precipitación, mientras que un bajo coeficiente indica una menor variabilidad en los datos de precipitación. En nuestro caso, los coeficientes de variación de la precipitación en las diferentes estaciones indican que están en el mismo orden de 44% al 52%. Para la estación Quinindé se tiene un valor por debajo del 30%, lo que significa que su valor promedio está más alejado del valor de su varianza y, por lo tanto, tiene una distribución de precipitación más homogénea que las otras estaciones de precipitación.



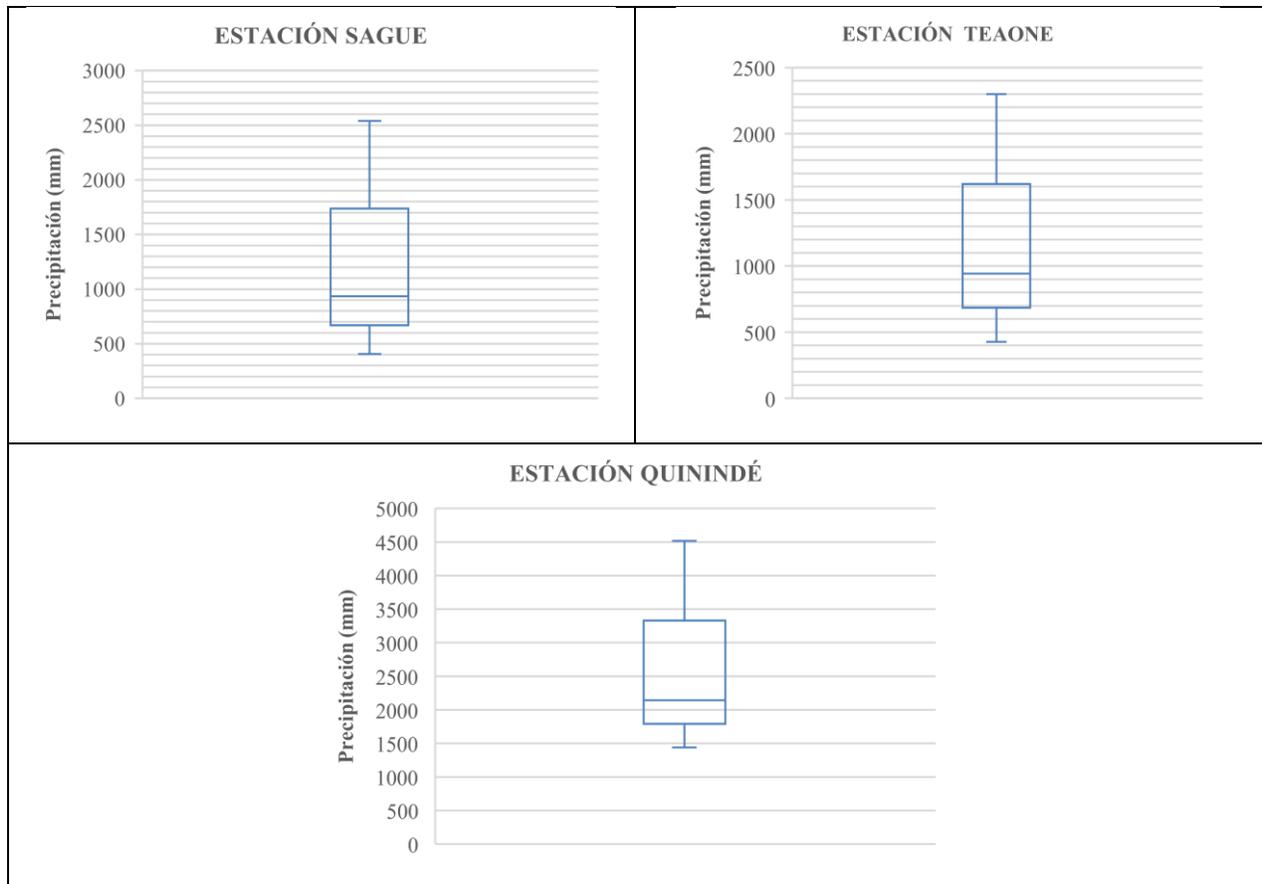


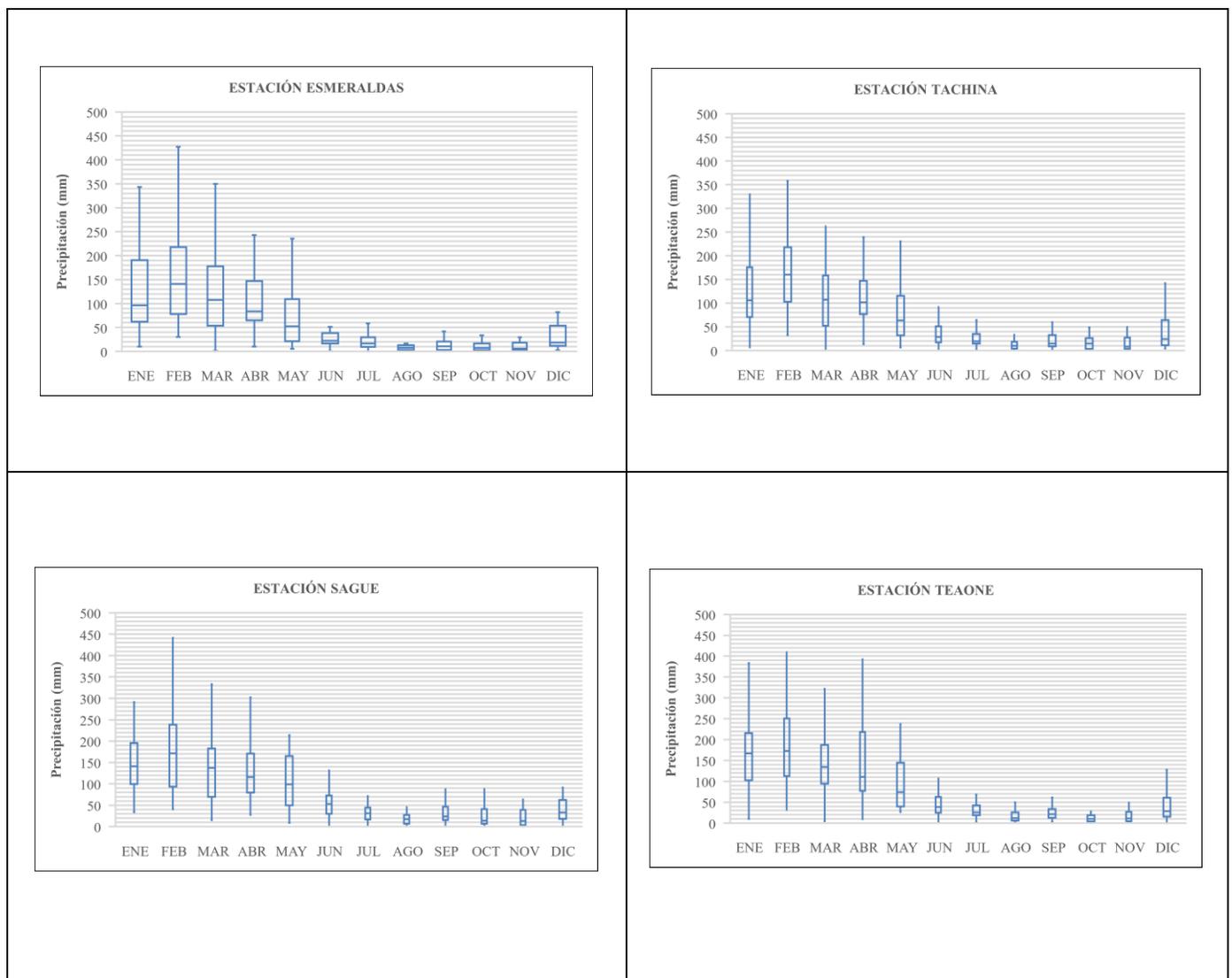
Fig. 57: Diagramas de caja de los datos pluviométricos de las estaciones en el periodo de 1980 a 2015. Fuente: Elaboración propia, en base a los datos de las estaciones de Esmeraldas, Tachina, Teaone, Sague y Quinindé.

En la tabla 28 se analizó la información de precipitación mensual en las diferentes estaciones del área de estudio. Se observó que las mayores precipitaciones se presentan en los meses de enero a mayo, siendo febrero el mes con mayor precipitación en las estaciones de Esmeraldas, Tachina, Teaone y Sague. Sin embargo, en la estación de Quinindé, los valores más altos de precipitación se registran en marzo y abril. En contraste, en el segundo semestre del año se presenta una reducción en el promedio de las precipitaciones, siendo agosto el mes con menor precipitación en las diferentes estaciones; los resultados muestran una variación en la cantidad de precipitación en diferentes estaciones y meses del año debido a la influencia de las condiciones oceánicas, atmosféricas y físicas del área.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Estación Tachina												
Medidas de dispersión												
Desviación estándar	85,18	98,29	100,97	89,21	59,63	44,41	24,74	13,83	33,24	26,94	41,54	50,07
Max	373,70	445,20	483,10	491,80	230,60	221,50	128,70	70,60	198,10	151,70	209,60	207,00
Min	6,40	32,80	1,40	13,60	6,40	1,70	1,00	1,10	1,20	0,60	0,70	4,10
Rango	367,30	412,40	481,70	478,20	224,20	219,80	127,70	69,50	196,90	151,10	208,90	202,90
Medidas de centralidad												
Media	138,46	167,72	125,10	124,82	83,23	43,71	28,79	13,72	25,88	20,45	25,56	46,28
Mediana	105,70	160,00	107,35	101,85	63,35	28,40	19,75	10,10	14,95	14,90	8,15	24,00
Estación Esmeraldas												
Medidas de dispersión												
Desviación estándar	90,51	114,11	111,29	82,74	60,01	64,61	28,41	9,87	33,78	23,86	46,66	60,99
Max	343,20	458,60	526,00	427,90	235,40	268,90	163,40	40,50	194,20	122,10	249,70	326,20
Min	10,20	30,00	1,00	10,30	5,30	0,90	0,20	0,50	0,20	0,70	0,80	2,60
Rango	333,00	428,60	525,00	417,60	230,10	268,00	163,20	40,00	194,00	121,40	248,90	323,60
Medidas de centralidad												
Media	134,58	168,79	132,32	110,65	69,85	48,86	24,49	9,75	20,26	16,12	23,21	44,25
Mediana	96,30	140,80	107,60	83,70	52,30	22,60	16,50	7,70	10,80	7,30	5,70	18,30
Estación Sague												
Medidas de dispersión												
Desviación estándar	91,69	119,05	93,05	85,59	62,68	67,03	35,53	22,65	41,76	31,56	67,46	58,45
Max	497,50	480,20	395,80	424,00	214,04	322,30	173,46	101,80	246,40	135,96	380,50	268,80
Min	34,35	40,80	15,30	27,30	9,00	0,30	1,00	1,40	0,20	0,20	0,20	0,60
Rango	463,15	439,40	380,50	396,70	205,04	322,00	172,46	100,40	246,40	135,76	380,30	268,20
Medidas de centralidad												
Media	157,31	188,40	141,18	136,21	110,82	70,16	40,03	22,44	37,11	27,86	35,30	53,60
Mediana	141,40	171,42	137,05	115,80	98,55	53,20	33,39	17,80	24,30	13,95	13,40	33,45
Estación Teaone												
Medidas de dispersión												
Desviación estándar	107,88	123,10	113,88	108,87	77,13	41,96	55,38	44,79	30,90	30,90	93,24	105,15
Max	529,40	559,90	433,50	444,70	380,60	164,20	274,70	229,00	142,50	142,50	548,90	559,10
Min	10,00	31,40	4,50	9,30	26,30	0,97	2,00	0,80	0,65	0,65	0,95	0,00
Rango	519,40	528,50	429,00	435,40	354,30	163,23	272,70	228,20	141,85	141,85	547,95	559,10
Medidas de centralidad												
Media	175,96	204,55	161,64	151,18	98,33	52,84	44,34	28,36	32,33	20,45	39,22	67,91
Mediana	166,98	173,15	134,63	110,75	74,40	38,45	25,55	11,75	21,45	10,20	11,65	28,00
Estación Quindé												
Medidas de dispersión												

Desviación estándar	114,76	101,06	129,36	123,47	127,38	108,89	75,43	52,44	98,16	91,36	71,50	111,08
Max	512,30	548,40	683,30	662,89	555,22	441,33	320,20	330,47	519,19	466,52	341,00	486,90
Min	80,90	141,00	92,00	146,30	17,10	1,90	3,40	4,10	3,00	3,70	1,80	23,40
Rango	431,40	407,40	591,30	516,59	538,12	439,43	316,80	326,37	516,19	462,82	339,20	463,50
Medidas de centralidad												
Media	312,01	349,57	358,45	390,68	242,59	124,39	77,71	49,58	73,28	78,26	66,76	151,36
Mediana	288,50	348,49	362,64	391,06	225,58	88,73	54,10	42,30	49,77	54,00	50,88	105,40

Tabla 28: Resultados mensuales de las medidas de tendencia central y de dispersión de los datos pluviométricos en el periodo de 1980 a 2015. Fuente: Elaboración propia, en base a los datos mensuales de las estaciones de Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone y Quinindé.



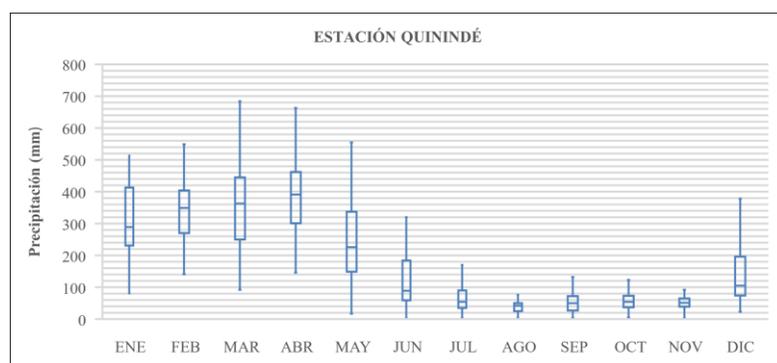


Fig. 58: Diagramas de caja de los datos pluviométricos mensuales de las estaciones en el periodo de 1980 a 2015. Fuente: Elaboración propia, en base a los datos de las estaciones de Esmeraldas, Tachina, Teaone, Sague y Quinindé

En la figura 58, al igual que en los párrafos anteriores, se observa una mayor variabilidad en los datos mensuales durante los meses de enero a mayo de cada año, con desviaciones estándar que oscilan entre 80 mm y 130 mm. Por el contrario, en el segundo semestre del año, se registran valores de desviación estándar en un rango de 9 mm a 108 mm, lo que sugiere la presencia de periodos de sequía y lluvias intensas en el área de estudio. Esta variabilidad en la precipitación puede ser influenciada por factores geográficos, oceanográficos y climáticos que afectan a la unidad hidrográfica.

Estos estadísticos son importantes para validar algunos supuestos de la teoría geoestadística y definir los procedimientos de interpolación más adecuados (Luna Ludeña, 2017). Al analizar los datos, se concluye que las variables no son estacionarias, es decir, que la media y la varianza cambian poco con el tiempo y no siguen una tendencia. Este hallazgo es significativo porque, para variables estacionarias, el método probabilístico de interpolación más adecuado es Kriging Ordinario, aunque se requiere un mayor número de estaciones para una mejor estimación.

3.2 Vientos

Las series de datos de vientos de las estaciones de Tachina (DAC) y Esmeraldas (INOCAR) se utilizan para realizar las rosas de los vientos en los periodos de registro y en las épocas climáticas predominantes en el área de estudio. La dirección de los vientos tiene una predominancia en el sentido Sur-Este y Oeste debido a la presencia de los vientos Alisios del Sur que se originan y se

controlan por el centro de alta presión del Anticiclón del Pacífico Sur (Saavedra, Calvo, & Jiménez, 2011, págs. 5, 6) (Galvéz & Regalado, 2007, pág. 205).

Cuando los vientos Alisios convergen en la ZCIT su comportamiento está definido por la Circulación de Walker que dependiendo de la época (lluviosa o seca) va a presentar vientos con dirección Oeste hacia el perfil costanero. Los vientos presentes en las costas ecuatorianas definen la actividad de las masas de aire oceánicas producidas por las corrientes fría de Humbolt y cálida Ecuatorial o de El Niño en el continente.

El área de estudio tiene influencia de vientos locales de brisas de mar en dirección Oeste y brisas de tierra en dirección Sur-Sur-Oeste (Instituto Oceanográfico de la Armada, 2005, págs. 40, 41); conforme se acerca a la serranía debido a las características geográficas y atmosféricas existe una influencia de vientos en el sentido Este originados por la presencia de la Cordillera de los Andes.

Los datos de la estación Tachina (DAC) indican que la distribución de las frecuencias de la dirección de los vientos tiene un 28,47% de vientos en el cuadrante Sur-Oeste (dirección Sur-Sur-Oeste) y un 19,21% de vientos en el cuadrante Nor-Oeste (sentido Oeste-Nor-Oeste) (Fig. 59), procedente de las masas de aire oceánicas (corriente fría de Humboldt y cálida ecuatorial, dependiendo de la época climática). La velocidad media registrada es de $11 \text{ Km} \times \text{h}^{-1}$ (Fig. 59), máxima de $24 \text{ Km} \times \text{h}^{-1}$ y mínima de $4 \text{ Km} \times \text{h}^{-1}$ en el periodo de 1980 a 2015; de acuerdo al índice de intensidad de Beaufort, se tiene vientos categorizados como brisa muy débil (6 a $12 \text{ Km} \times \text{h}^{-1}$) en un 65,51%, seguido de una brisa débil (12 a $20 \text{ Km} \times \text{h}^{-1}$) con un 28,70%.

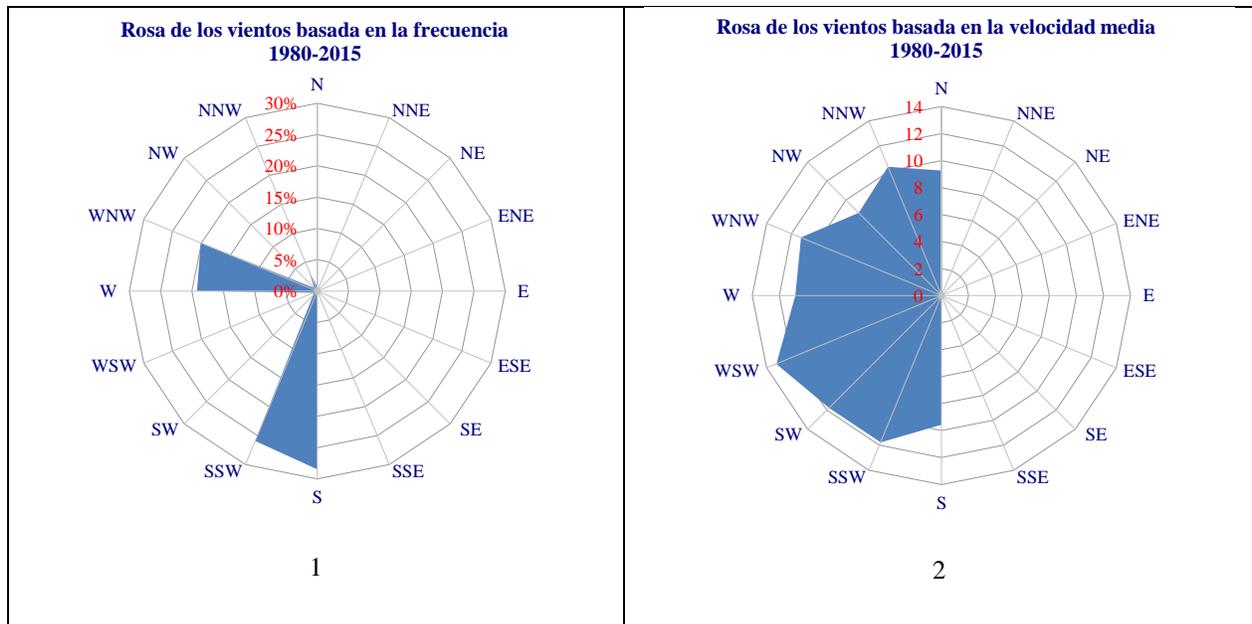


Fig. 59: Frecuencia de dirección de los vientos (%) (1), velocidad media de vientos (Km × h⁻¹) (2), estación meteorológica Tachina. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica proporcionada por la DAC en el aeropuerto de Tachina, periodo 1980-2015.

La estación Esmeraldas (INOCAR) ubicada en la desembocadura del río Esmeraldas hacia el Océano Pacífico tiene una frecuencia del 62,14% de vientos de dirección Sur-Oeste, con una influencia predominante de los vientos alisios del Sur (Fig. 60). Durante el periodo de estudio, la velocidad media es de 18 Km × h⁻¹(Fig. 58), máxima de 41 Km × h⁻¹y mínima de 7 Km × h⁻¹; tienen una categorización de intensidad vientos como brisa débil (12 a 20 Km × h⁻¹) en un 62,2% de acuerdo a la escala de Beaufort.

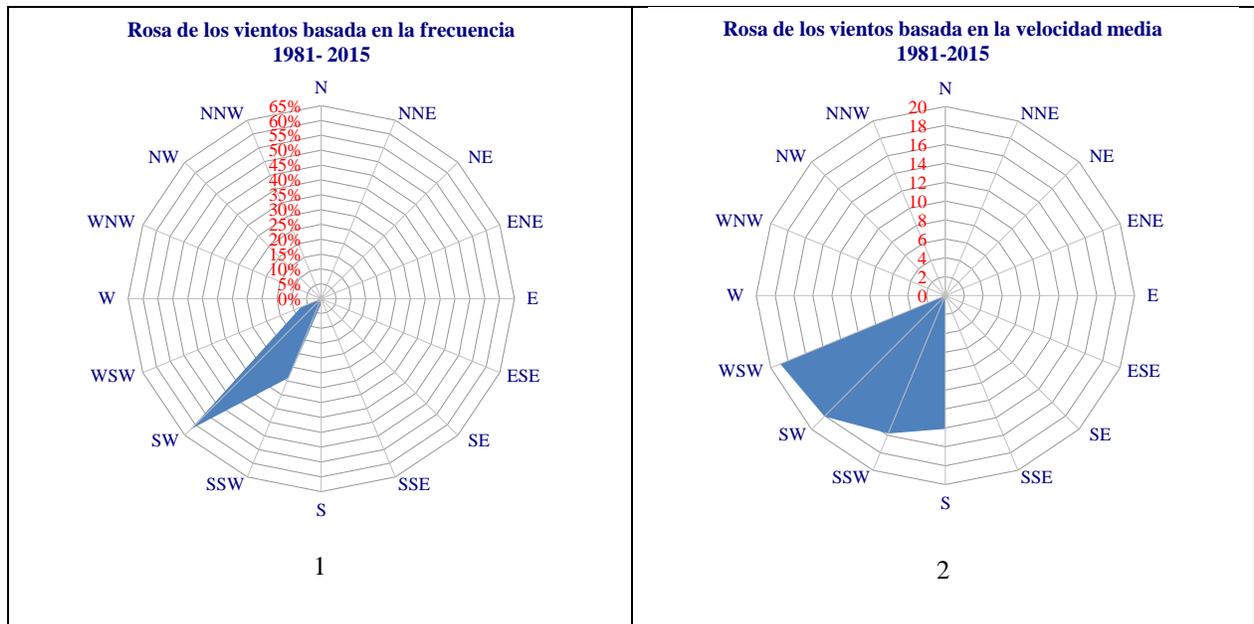


Fig. 60: Frecuencia de dirección de los vientos (%) (1), velocidad media de vientos ($\text{Km} \times \text{h}^{-1}$) (2), estación meteorológica Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica proporcionada por el INOCAR, periodo 1981-2015.

La variación de la magnitud de las velocidades medias varía de estación debido a la ubicación geográfica; en el caso especial de la estación de Esmeraldas, se encuentra ubicada en el perfil costanero por lo que tiene una mayor influencia de vientos locales producidos por las brisas de mar y tierra. Los valores de las velocidades medias de ambas estaciones tienden a aumentar en los meses de julio a diciembre que coinciden parcialmente con la época seca y se constata una disminución en su intensidad en los meses de enero a junio que corresponde a los meses en los que se presencia la época lluviosa (Figs. 61 y 62).

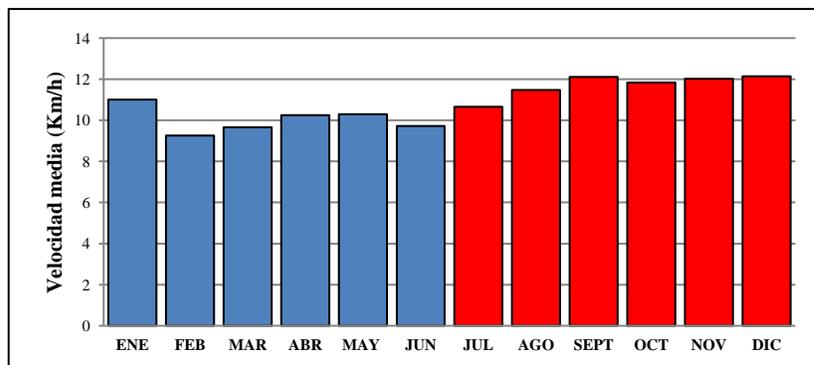


Fig. 61: Velocidad media mensual de vientos ($\text{Km} \times \text{h}^{-1}$), aumento de velocidad media de viento entre los meses de julio a diciembre. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de la estación Tachina (DAC), periodo 1981-2015.

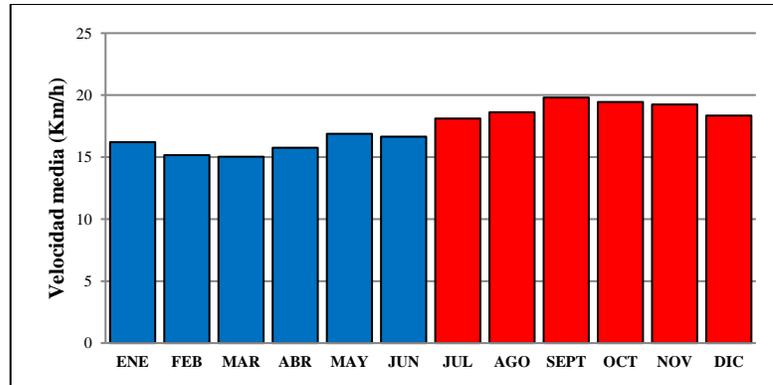
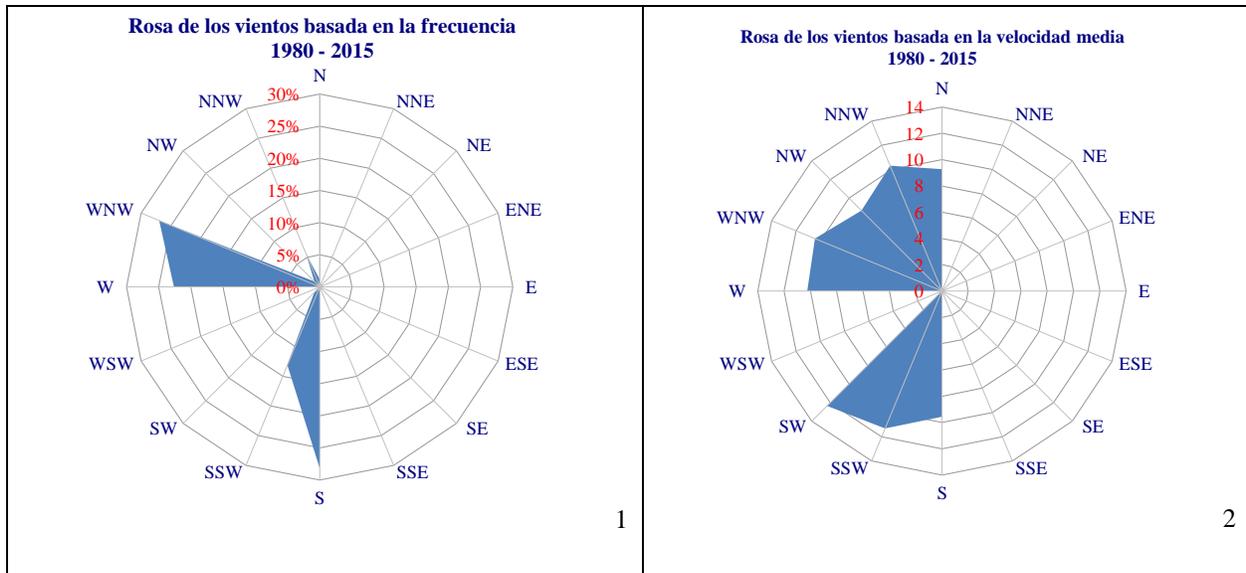


Fig. 62: Velocidad media mensual de vientos ($\text{Km} \times \text{h}^{-1}$), aumento de velocidad media entre los meses de julio a diciembre. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de la estación Esmeraldas (INOCAR), periodo 1981-2015.

El análisis del comportamiento de los vientos en la época lluviosa de las estaciones identifica una influencia en el sentido Sur-Oeste, con una predominancia (aproximadamente del 70%) de intensidad de vientos de 6 a 12 $\text{Km} \times \text{h}^{-1}$ (Fig. 63). Ambas estaciones registran una velocidad máxima de 24 y 29 $\text{Km} \times \text{h}^{-1}$ en los meses de diciembre y febrero como resultado de una mayor presencia de la corriente cálida del Niño y de la corriente de Humboldt que convergen en la ZCIT.



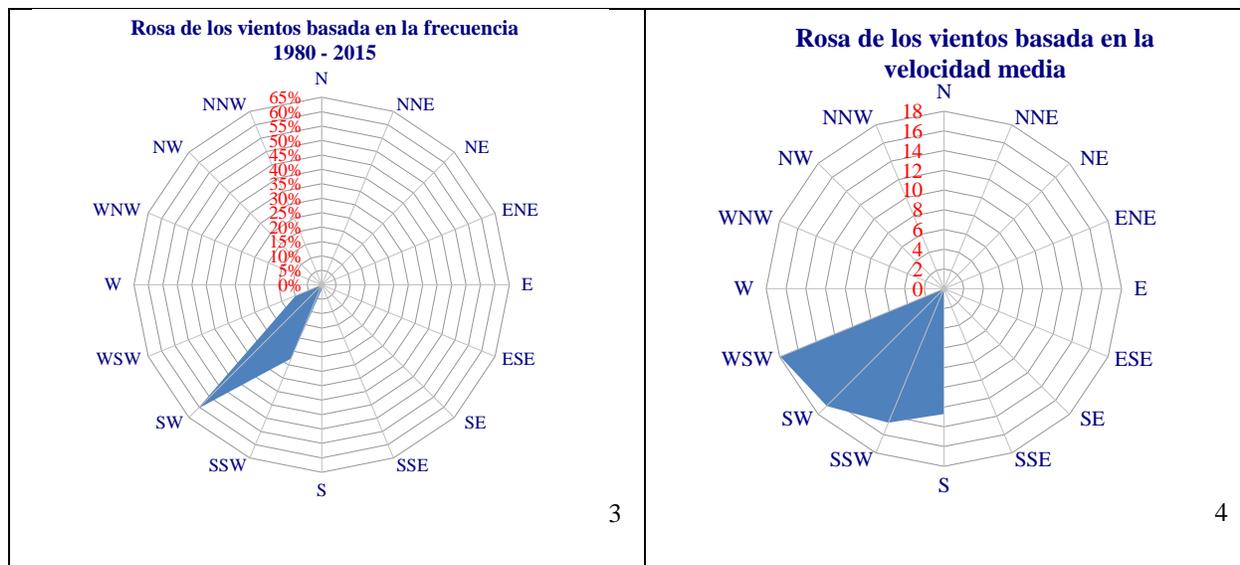


Fig. 63: Frecuencia de dirección de los vientos (%) (1), velocidad de vientos ($\text{Km} \times \text{h}^{-1}$) (2), estaciones meteorológicas de Tachina (1,2) y Esmeraldas (3, 4); época lluviosa diciembre a junio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica proporcionada por la DAC (1980-2015) e INOCAR (1981-2015).

Realizando un análisis a los meses de la época lluviosa, la estación de Tachina tiene una velocidad media de $10 \text{ Km} \times \text{h}^{-1}$, mientras que la estación de Esmeraldas presenta una velocidad media de $16 \text{ Km} \times \text{h}^{-1}$ (Fig. 61). La estación de Tachina, tiene mayor influencia de vientos de la dirección Oeste-Nor-Oeste y Sur con velocidades medias aproximadas de $10 \text{ Km} \times \text{h}^{-1}$, mientras que, la estación Esmeraldas tiene una mayor influencia de vientos de la dirección Sur-Oeste y Sur-Sur-Oeste, con velocidades medias aproximadas de 17 y $15 \text{ Km} \times \text{h}^{-1}$ (Fig. 63).

En la época seca existe una predominancia de los vientos alisios del Sur y una mayor presencia de masas de aire producto de la corriente fría de Humboldt (Fig. 64); los registros de velocidades máximas son de 26 y $24 \text{ Km} \times \text{h}^{-1}$ que ocurren en los meses de septiembre y octubre. La estación de Tachina registra una intensidad de vientos de 6 a 12 Km/h en un 60,56% seguido de un 35,5% de una intensidad de 12 a $20 \text{ Km} \times \text{h}^{-1}$; la estación de Esmeraldas registra un 49,2% de intensidades de vientos en un rango de 20 a $29 \text{ Km} \times \text{h}^{-1}$ seguida de intensidades de 12 a $20 \text{ Km} \times \text{h}^{-1}$ en un 45,2%.

En los meses de la época seca, las estaciones presentan vientos que soplan con predominancia en la dirección Sur-Sur-Oeste y Sur con una frecuencia aproximada de 43% y 64%, velocidades medias de 12 y $20 \text{ Km} \times \text{h}^{-1}$ (Fig. 64). La velocidad media durante el periodo de 1980 a 2015

(estaciones de Tachina y Esmeraldas) es de 19 y 12 $\text{Km} \times \text{h}^{-1}$, existiendo un incremento de la velocidad con respecto a la media de la época lluviosa (Fig. 64).

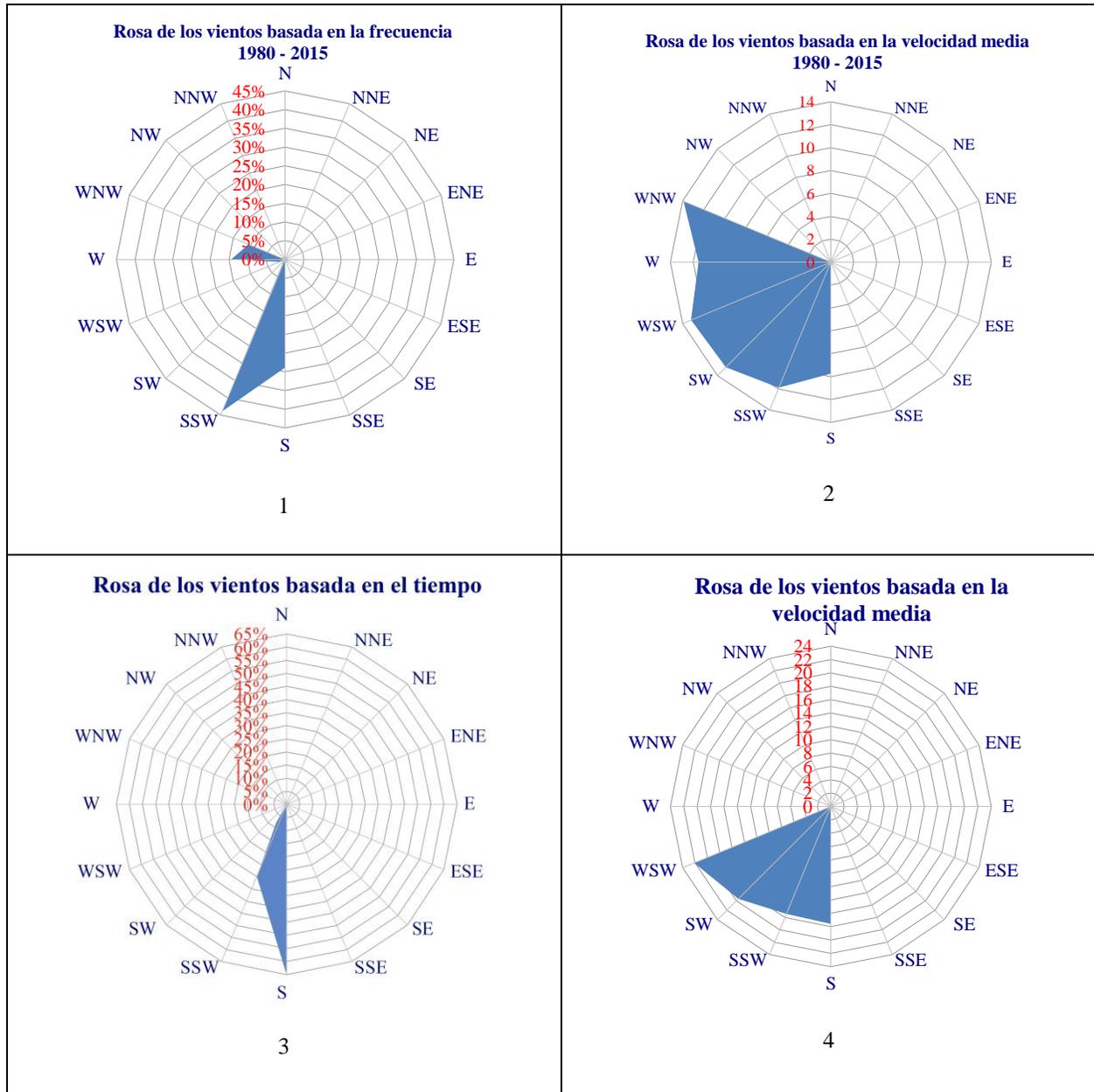


Fig. 64: Frecuencia de dirección de los vientos (%) 1, velocidad de vientos ($\text{Km} \times \text{h}^{-1}$) (2), estaciones meteorológicas de Tachina (1,2) y Esmeraldas (3, 4); época relativamente seca julio a noviembre. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica proporcionada por la DAC (1980-2015) e INOCAR (1981-2015).

La diferencia de velocidad media de los vientos en la época lluviosa tiene como antecedente una disminución de su velocidad en el sentido Oeste, dando inicio al fenómeno de El Niño; al

contrario, cuando existe una mayor velocidad de los vientos alisios indica la presencia del fenómeno de la Niña (Maturana, Bello, & Manley, 2010, pág. 17. 20). Este comportamiento se produce por la ubicación geográfica del Ecuador, al frente de cuyas costas se genera la ZCIT que es el resultado de la convergencia de los vientos alisios del Norte y Sur que luego de su proceso a través de la Circulación de Walker presenta vientos en el sentido Oeste, provocando un desplazamiento de las masas de aire de las corrientes marítimas hacia el continente para su posterior descarga (precipitación) sobre el área de estudio.

3.3 La temperatura como elemento climático de influencia directa en la cuenca

La variabilidad de la temperatura en la unidad hidrográfica está influenciada por los vientos, vegetación, precipitación, altitud, radiación solar y la presencia de las masas de aire oceánicas o locales (Chaves-Córdoba & Jaramillo-Robledo, 1998, pág. 225) (Fernández Carrasco, 2002, pág. 29). Estudios realizados en el Ecuador con relación al cambio climático identifican un impacto ambiental debido al incremento de temperatura media anual de 0,8°C, temperatura máxima absoluta de 1,4°C y una temperatura mínima de 1,0°C en el periodo de 1960 a 2006 (Ministerio del Ambiente, FOCAM, PNUD, 2015, pág. 8).

El análisis estadístico realizado a partir de la información de las diferentes estaciones meteorológicas indica que la cuenca tiene una temperatura media anual de 26,1°C característico del clima cálido húmedo y subhúmedo; los meses de abril y mayo son los más calurosos con temperaturas medias de 27,1°C y los meses relativamente fríos son julio y agosto con una temperatura media de 23,6°C. La unidad hidrográfica tiene una predominancia de la isoterma de 25,8°C a 26°C en la parte Central, seguido de una isoterma de 26°C a 26,2°C en la parte Norte influenciada por las condiciones de temperatura del Océano Pacífico, mientras que en el Sur predomina una isoterma de 25,6 a 25,8°C (Fig. 65).

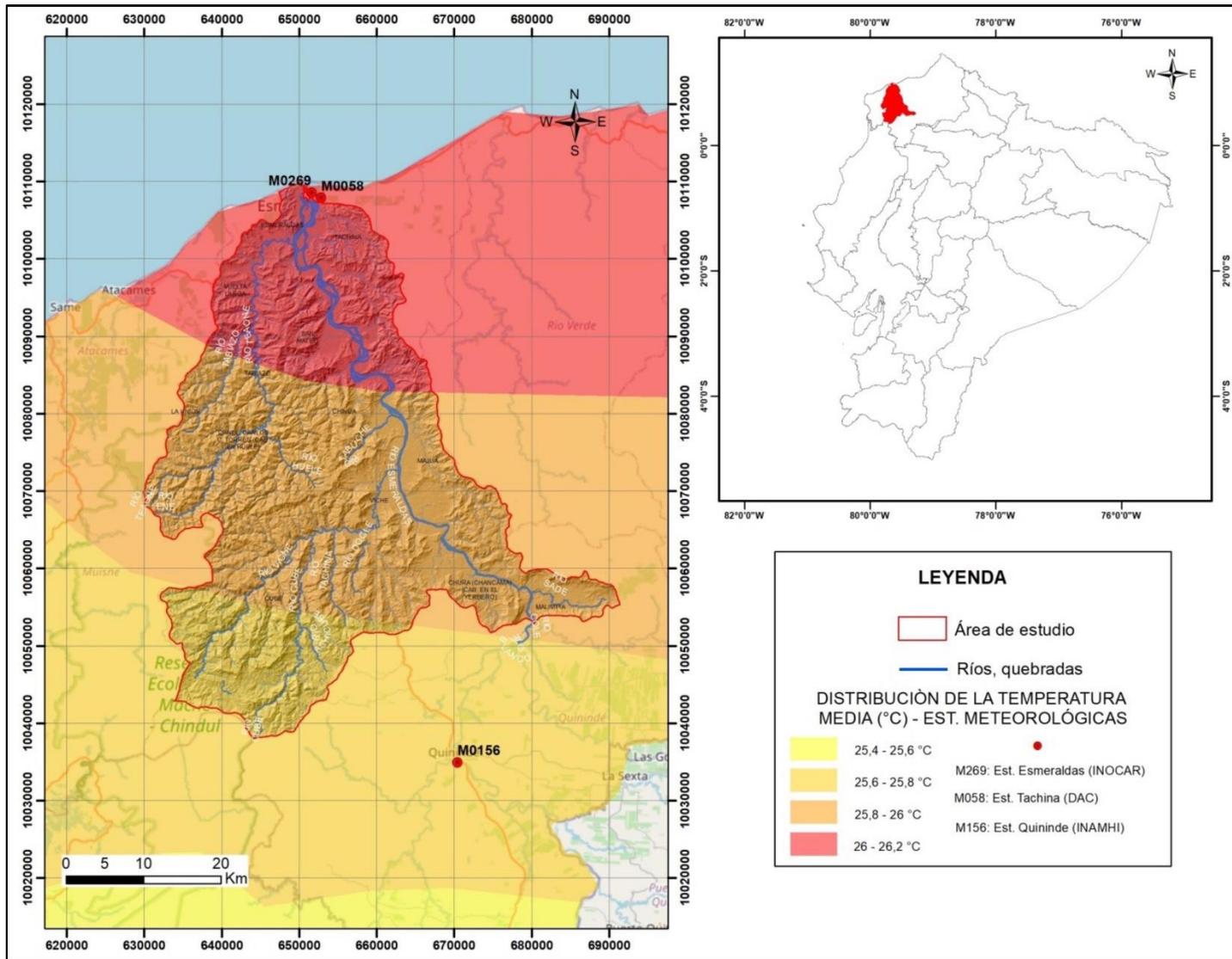


Fig. 65: Isothermas de temperaturas medias de Unidad Hidrográfica 1521. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de los datos meteorológicos de las estaciones: M058 - Tachina (DAC), M269 - Esmeraldas (INOCAR) y M156 - Quinde (INAMHI) e INOCAR, periodo 1980-2015.

La temperatura media anual de la estación de Esmeraldas es de 26,2°C, siendo abril, mayo y diciembre los meses que registran los valores máximos de temperatura media mensual de 28,1°C mientras que los meses de julio y septiembre la temperatura media mínima es de 24,4°C y 24,5°C (Fig. 66). La anomalía máxima de temperatura es de 1,5°C en el 2015 (Fig. 62) y es el año más caluroso con una temperatura media máxima anual de 28,1°C (Fig. 67), en 1985 se registró la anomalía mínima de temperatura media de -1,1°C y se considera como el año con menor temperatura media mínima.

La amplitud térmica máxima de 2,2°C se registra en 1998, año en el que sucede uno de los eventos de El Niño (1997-1998) categorizado como breve e intenso de manera local por el INOCAR y como un evento extraordinario a nivel mundial de acuerdo al Índice de Oceánico del Niño (ONI). La amplitud mínima de 0,7°C se produce en los años de 2000, 2001 y 2004; la variación de temperatura media anual del periodo 1981 a 2015 identifica un incremento positivo en 2°C, de temperatura máxima media anual en 1,6°C y de mínima media anual de 2,2°C.

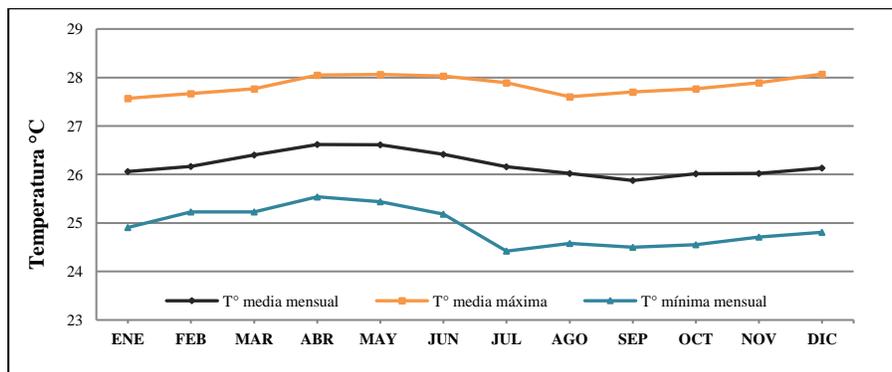


Fig. 66: Distribución de la temperatura media mensual, media mensual máxima y mínima (°C) de la estación meteorológica de Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por INOCAR (1981-2015).

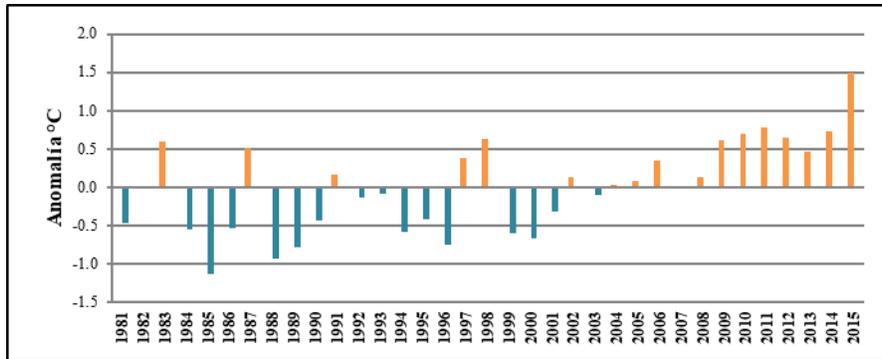


Fig. 67: Anomalías de temperaturas medias (°C) de la estación meteorológica de Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por INOCAR (1981-2015).

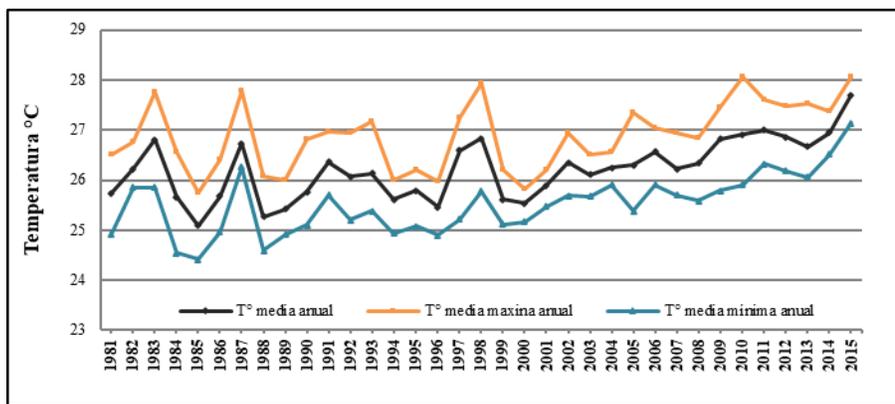


Fig. 68: Distribución de la temperatura media anual, media anual máxima y mínima (°C) de la estación meteorológica de Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por INOCAR (1981-2015).

La estación de Tachina tiene una temperatura media anual de 26,8°C en el periodo de 1980 a 2015 en un rango de 26,3°C y 27,7°C; el mes con mayor temperatura media máxima de 28,9°C es abril seguido de los meses de febrero, marzo y mayo con 28,6 °C (Fig. 69). En abril se registra la menor temperatura media mínima mensual con 24,1°C seguido del mes de diciembre con 25,1°C (Fig. 69).

Los años de 1983, 1997 y 1998 son los años más calurosos del periodo de análisis con temperaturas medias máximas anuales de 28,6°C, 28,3°C y 28,9°C (Fig. 70) respectivamente, con anomalías máximas que varían de 0,8 °C en 1997 a 0,9 °C en 1998 (Fig. 71). El año de 1990 se considera el año más frío con una temperatura media mínima anual de 24,1 °C (Fig. 70) y anomalías mínimas de -0,5 °C en los años de 1985 y 1999 (Fig. 69).

La amplitud térmica oscila en un rango mínimo de 0,8°C y máximo de 3,5°C sucedidos en los años de 1980 y 1990; la variación de temperatura media anual tiene un crecimiento interanualmente de 0,7°C, mientras que, la temperatura media máxima y mínima anual se incrementan en 0,6°C y 0,2°C.

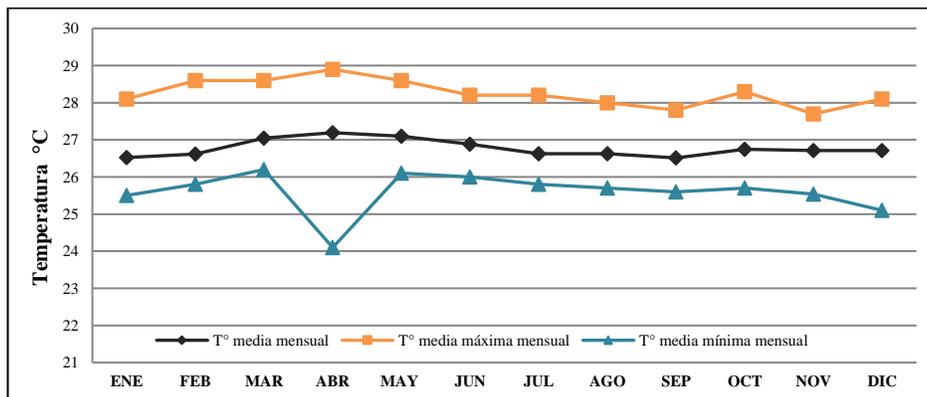


Fig. 69: Distribución de la temperatura media mensual, media mensual máxima y mínima (°C) de la estación meteorológica de Tachina. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por la DAC (1980-2015).

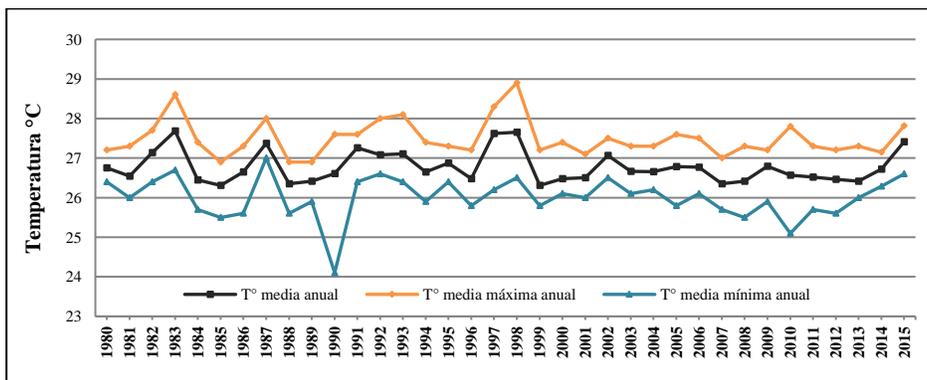


Fig. 70: Distribución de la temperatura media anual, media anual máxima y mínima (°C) de la estación meteorológica de Tachina. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por la DAC (1980-2015).

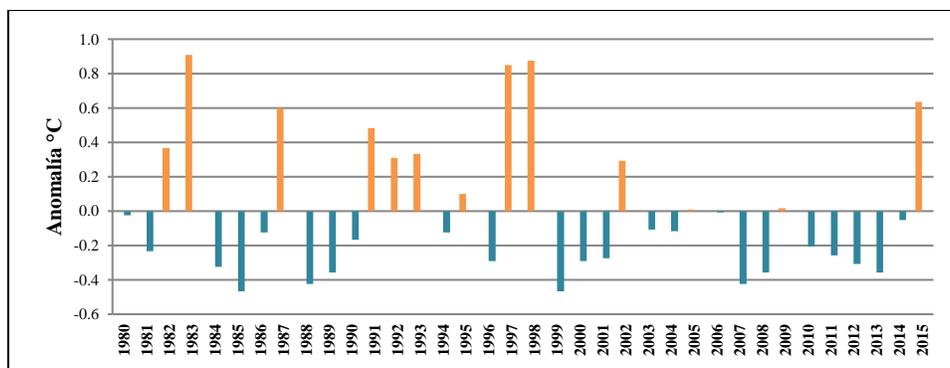


Fig. 71: Anomalías de temperaturas medias (°C) de la estación meteorológica de Tachina. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por la DAC (1980-2015).

La estación Quininde tiene una temperatura media anual de 25,3°C en el periodo de 1978 a 2015 en un rango máximo de 26,2°C y mínimo de 24,7°C (Fig. 72). Los años 2010 y 2015 son los más calurosos con temperaturas medias máximas anuales de 26,9°C y 27,1°C como consecuencia de una mayor interacción de la corriente cálida sobre la fría y un aumento de la circulación atmosférica en la cuenca.

Se debe considerar que en el 2015 ocurrió un evento de El Niño con similares características a lo sucedido en los años de 1997-1998 el que fue apodado como el Niño Godzilla (Fraser, 2017) (Supari, Muharsyah, & Wahyuni, 2016, pág. 27) que provocó un incremento en las precipitaciones en la cuenca y un comportamiento mayor en las temperaturas como se registra en la estación. El año de 1978 se registra la menor temperatura media mínima anual de 23,6 °C seguidos de temperaturas mínimas de 23,9°C en 1981 y de 23,8°C en los años de 1984 y 1985, indicador de una mayor acentuación de la época seca en la cuenca (Fig. 72).

La temperatura media máxima mensual ocurre en el mes de mayo con un valor de 27,1°C y la mínima mensual de 23,6°C en agosto, valores característicos de las épocas lluviosas (enero – junio) y seca de la zona (julio – diciembre) (Fig. 73). La anomalía máxima de temperatura anual es de 0,9°C en el 2015 y la mínima anual de -0,7°C que se registra en los años de 1981 y 1989 (Fig. 74); la amplitud térmica no excede de los 2,8°C en el año de 2010 y no se identifican valores por debajo de los 1,1°C. La variación de temperatura media y máxima muestra un incremento positivo al 2015 de 1,4°C y de temperatura media mínima de 1,8°C.

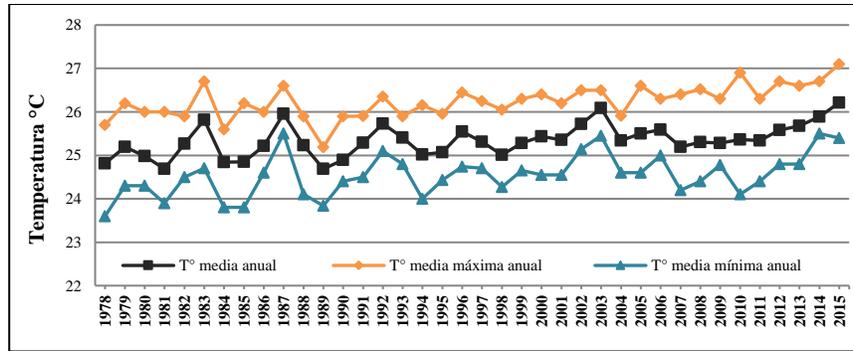


Fig. 72: Distribución de la temperatura media anual, media anual máxima y mínima (°C) de la estación meteorológica de Quinindé. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por el INAMHI (1978-2015).

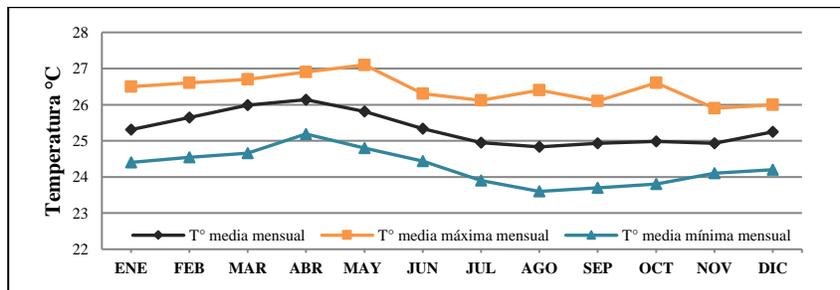


Fig. 73: Distribución de la temperatura media mensual, media mensual máxima y mínima (°C) de la estación meteorológica de Quinindé. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por el INAMHI (1978-2015).

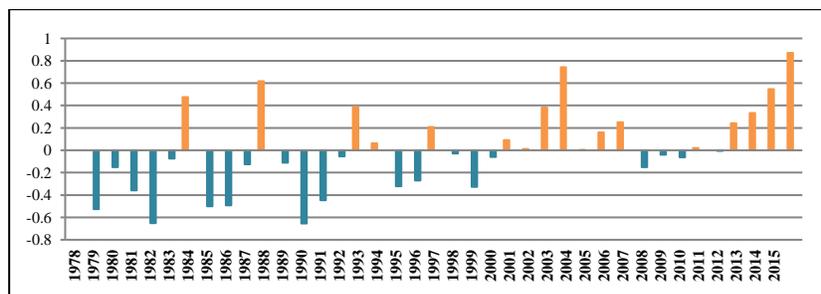


Fig. 74: Anomalías de temperaturas medias (°C) de la estación meteorológica de Quinindé. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por el INAMHI (1978-2015).

El análisis comparativo realizado a todas las estaciones identifica una variación de temperatura media mensual máxima y mínima en ciertos periodos de tiempo que definen relativamente las épocas lluviosa y seca del área de estudio. Con base en los análisis, desde el mes de diciembre a junio (época lluviosa) existe un incremento de temperatura máxima y

mínima media mensual, en tanto que los meses de mayo y marzo registran las mayores temperaturas máximas y mínimas mensuales de 28,9°C y 26,2 °C respectivamente (Figs. 75 y 76).

En la época seca (meses de junio a noviembre) existe un decrecimiento de temperatura máxima y mínima mensual, los meses de noviembre y octubre registran las menores temperaturas máxima y mínima de 25,9°C y 23,6°C (Figs. 75 y 76); a excepción de la estación de Tachina que presenta un valor atípico. Se puede considerar los meses de diciembre y julio como neutros para la transición de la época lluviosa a la seca caracterizada por el incremento de la velocidad de viento, disminución de precipitación y temperatura y de manera viceversa en la época seca.

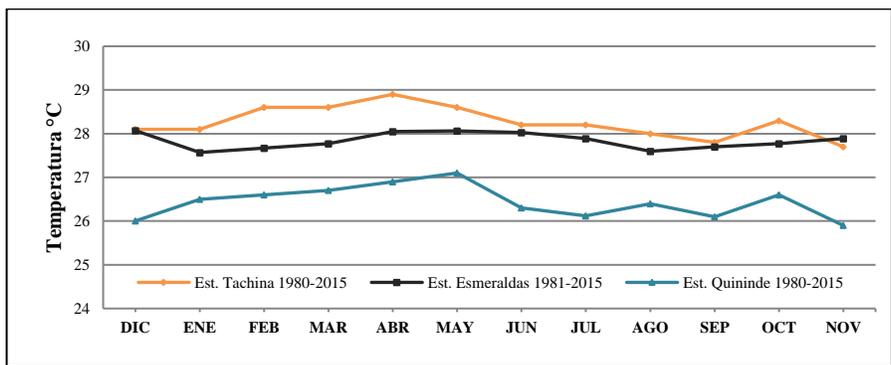


Fig. 75: Variación de temperaturas medias mensuales máximas (°C). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por la DAC (1980-2015), INOCAR (1981-2015) y INAMHI (1978-2015).

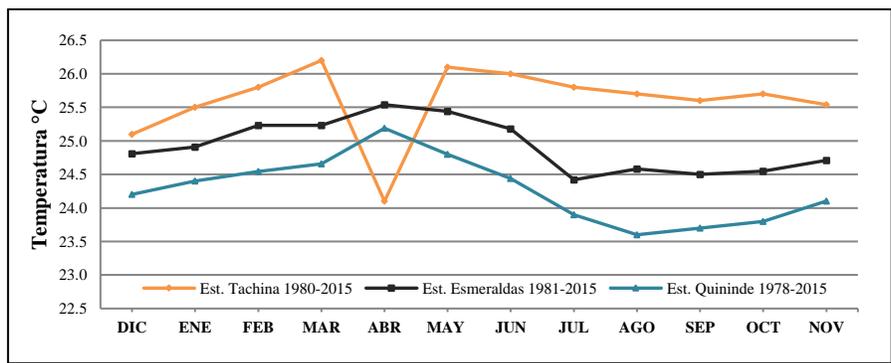


Fig. 76: Variación de temperaturas medias mensuales mínimas (°C). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por la DAC (1980-2015), INOCAR (1981-2015) y INAMHI (1978-2015).

Los años de 1983 y 1997 reportan temperaturas máximas en un rango de 28,3°C a 28,6°C en la que suceden los eventos de El Niño, seguidos de temperaturas medias anuales de 28°C en 1987 y 28,1°C en 1993 (Fig. 77). En 1978 se registra la menor temperatura mínima anual de 23,6°C, los años de 1984, 1985 y 1989 se identifican valores mínimos de 23,8°C con precipitaciones mensuales mínimas hasta los 1,8 mm marcando posibles sequías en el área de estudio (Fig. 78).

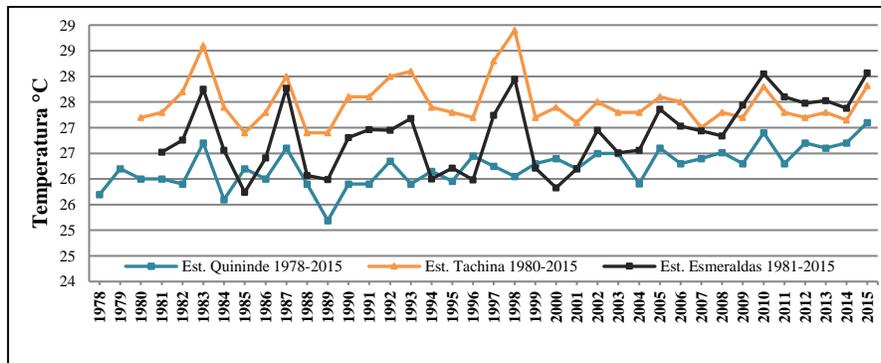


Fig. 77: Variación de temperaturas medias anuales máximas (°C). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por la DAC (1980-2015), INOCAR (1981-2015) y INAMHI (1978-2015).

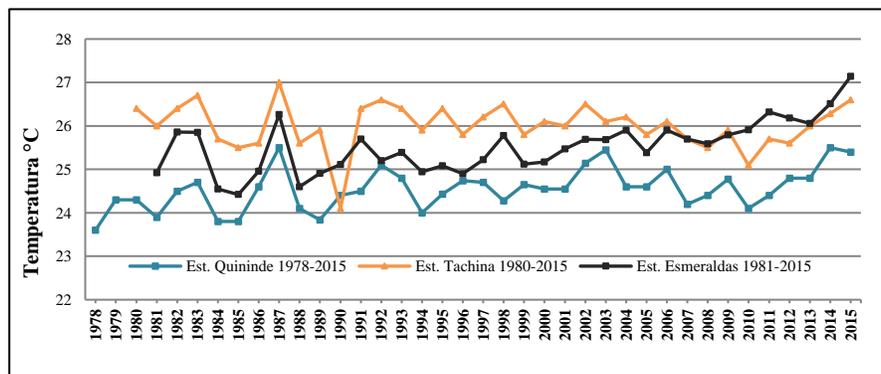


Fig. 78: Variación de temperaturas medias anuales mínimas (°C). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de temperatura proporcionada por la DAC (1980-2015), INOCAR (1981-2015) y INAMHI (1978-2015).

Las variaciones de temperaturas máximas y mínimas están relacionadas con el comportamiento de las corrientes oceánicas y circulación atmosférica a la que está expuesta la cuenca. Como se mencionaba en anteriores párrafos, frente a la costa de la provincia de Esmeraldas y de manera local actúan constantemente las corrientes frías Oceánica de Humboldt, Costera de Humboldt, y la Corriente cálida de Panamá que al ingresar a la ZCIT y

por acción de la Circulación de Walker se generan la corriente Surecuatorial, Subcorriente Ecuatorial y la Contracorriente Ecuatorial; estas corrientes oceánicas generan masas de aire que por efecto de la circulación atmosférica y de los vientos Alisios producen precipitaciones ocasionando cambios de temperatura en el Ecuador Continental definiendo de manera no fija las épocas climáticas en la zona de estudio.

3.4 Precipitación: Componente principal del ciclo hidrológico

La variación climática de la unidad hidrográfica también está condicionada por el comportamiento estacional del Océano Pacífico Tropical, del desplazamiento de la ZICT y de la intensidad de la circulación atmosférica. Como se expresó en los apartados anteriores existen dos fenómenos que inciden drásticamente en el comportamiento de los elementos climáticos: el fenómeno de El Niño y La Niña, que marcan un aumento o disminución extrema en los diferentes valores de temperatura, precipitación, vientos, entre otros.

El análisis realizado a partir de la información de las diferentes estaciones meteorológicas identifica variaciones de precipitaciones de acuerdo a las épocas climáticas de la zona que está relacionada con las variables océano-atmosféricas que suceden frente a la costa de la provincia de Esmeraldas. Los valores más extremos de precipitación y que han ocasionado inundaciones o sequías en el área de estudio se relacionan en la mayoría de los casos con los fenómenos mencionados (el Niño y la Niña).

En el análisis de las series de datos de cada una de las estaciones se identifican comportamientos positivos y negativos de las precipitaciones en ciertos periodos de tiempo influenciados por cambios en los factores oceanográficos, geográficos y meteorológicos, de acuerdo a la tabla 29:

ESTACIÓN	PERIODO	MÓDULO PLUVIOMÉTRICO ANUAL (mm)	TENDENCIA POSITIVA		TENDENCIA NEGATIVA	
			PERIODO	PORCENTAJE (%)	PERIODO	PORCENTAJE (%)
Esmeraldas	1981-2015	803,1	1981-1998	14,4	1999-2015	15,3
Tachina	1980-2015	842,2	1980-1999	4,6	2000-2015	5,8
Sague	1950-2015	1069	1950-1983	7,2	1984-2015	7,6
Teaone	1964-2015	1407,5	1964-1990	14,5	1991-2015	15,7
Quininde	1958-2015	2327,6	1958-1967	1,5	1988-2015	1,7

Tabla 29: Comportamiento general de las estaciones (promedio, tendencias positivas y negativas) con relación a las precipitaciones acumuladas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de las estaciones de: Esmeraldas (INOCAR), Tachina (DAC), Sague, Quininde y Teaone (INAMHI).

Mediante el método de Thiessen se determina la precipitación media de la cuenca, considerando 4 estaciones (Esmeraldas, Tachina, Sague y Teaone) que se encuentran dentro de la unidad hidrográfica y 1 estación (Quininde) fuera del área de la cuenca a 50 Km del centroide del área de estudio (Fig. 79). Se debe mencionar que en la unidad hidrográfica existe una predominancia del 59,55% de pendientes suaves y un 2,86% de pendientes categorizadas como fuertes y muy fuertes que se ubica en las cercanías de Quininde, adicionalmente, en el campo altitudinal se tiene una influencia del rango de altura de 0 a 300 m.s.n.m en un 70,14%; se calcula exclusivamente las áreas de influencia y de la precipitación ponderada de cada una de las estaciones (como referencia), obteniendo una precipitación media de 1402,96 mm en el periodo de 1980 a 2015 (Tabla 30).

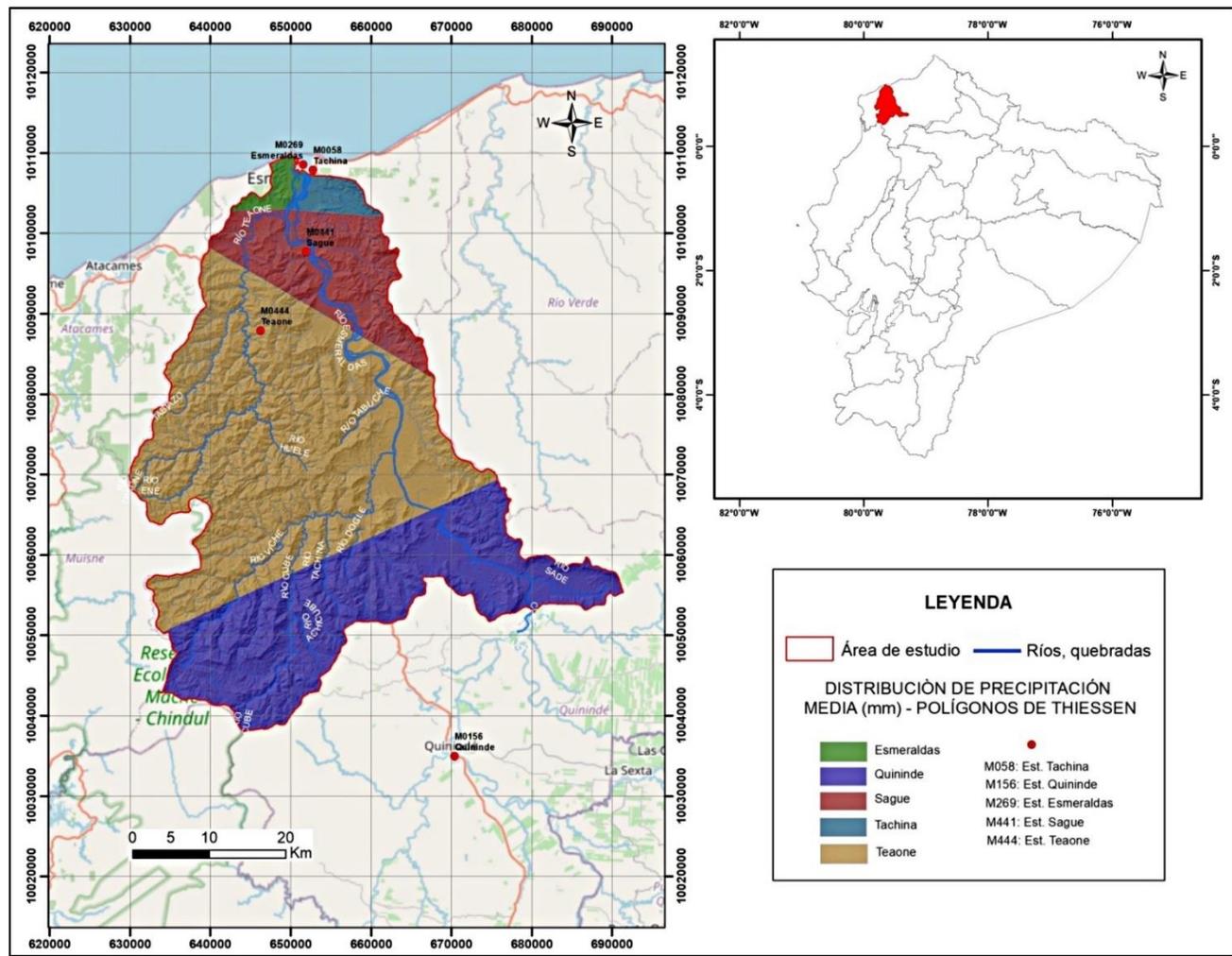


Fig. 79: Áreas geográficas de influencia mediante el método de Thiessen. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por: estación Esmeraldas (INOCAR), estación Tachina (DAC), estación Sague, estación Teaone y estación Quininde (INAMHI).

Los resultados de la tabla 30 indican una mayor concentración del 88,84% de la precipitación (1246,45 mm) en la parte Sur y Central de la unidad hidrográfica (estación Quininde y Teaone) como resultado de una mayor interacción de factores como la vegetación, vientos, altitud, masas de aire oceánicas y las originadas por la presencia de la Cordillera de los Andes. Al contrario de ello, en la parte Norte de la unidad hidrográfica se tiene una disminución de las precipitaciones conforme se aproxima al perfil costanero que está condicionada principalmente por el comportamiento de las masas de aire oceánicas y locales en las épocas secas o lluviosas; en esta parte se concentra el 11,15% de la precipitación registrada de las estaciones de Esmeraldas, Tachina y Sague.

ESTACIÓN	ÁREA (Km ²)	PRECIPITACIÓN (mm)	PORCENTAJE ÁREA TOTAL	PRECIPITACIÓN PONDERADA (mm)
Sague	262,85	1018,20	17,04	129,62
Quininde	626,49	2274,60	38,07	690,18
Esmeraldas	27,43	803,10	13,44	10,67
Tachina	39,75	842,80	14,11	16,22
Teaone	1108,20	1036,40	17,35	556,27
			Total	1402,96

Tabla 30: Precipitación media de la cuenca en base al método de Isoyetas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de las estaciones de: Esmeraldas (INOCAR), Tachina (DAC), Sague, Quininde y Teaone (INAMHI).

Las isoyetas establecen una concentración de precipitación al Sur en los sectores de Tabiazo (estación Teaone) y Rosa Zárate (estación Quinindé) con valores en el rango de 2000 mm a 3860 mm que coinciden con los mayores registros de precipitaciones ponderadas calculadas con el método de Thiessen (Tabla 30). Al Norte de la cuenca se encuentran los menores valores de precipitación acumulada media, en el sector de San Marco (estación Sague), Tachina (estación Tachina) y Esmeraldas (estación Esmeraldas) las isoyetas marcan una precipitación media comprendida entre 845 mm y 1500 mm (Fig. 80). La variación de los valores de precipitación media y acumulada mensual de cada una de las estaciones se debe a la ubicación geográfica; las estaciones de Esmeraldas, Tachina y Sague están ubicadas cerca del perfil costanero y tienen una mayor influencia de las anomalías que se producen en el mar. Las estaciones de Teaone y Quinindé se encuentran alejadas del perfil costanero y se ven influenciadas, a parte de las condiciones océano-atmosféricas, por los efectos de la continentalidad como el relieve, vegetación y pequeñas anomalías sucedidas en la Cordillera de los Andes (Fig. 80).

En la unidad hidrográfica, las características de la época lluviosa están marcadas por un exceso de precipitación, altas temperaturas y baja intensidad en las velocidades de los vientos como producto de una mayor presencia de la corriente cálida Ecuatorial y un debilitamiento en la circulación atmosférica de los vientos Alisios provenientes del Sur. Al contrario, en la época relativamente seca se produce un efecto inverso debido al comportamiento del Océano Pacífico Tropical donde existe una mayor presencia de la corriente fría de Humboldt. Se debe mencionar que el comportamiento de estos parámetros no es estable en el tiempo y en muchas ocasiones las épocas climáticas se ven alteradas en su comportamiento estacional.

Los mayores registros de precipitación se concentran en los meses de enero a mayo con precipitaciones mensuales de hasta 998,5 mm, mientras que, en los meses de julio a noviembre se producen precipitaciones mensuales mínimas de 0,2 mm. En la franja de los valores de precipitación mensual se determinan dos meses de transición entre épocas, el mes de diciembre para la transición de la época seca a la lluviosa con un aumento en los registros de precipitación y el mes de julio para el cambio de la época lluviosa a la seca con una disminución en la precipitación mensual (Fig. 81).

El comportamiento de las estaciones con respecto a los valores acumulados de las precipitaciones validan que a lo largo del año desde el mes de enero a junio se materializa la época lluviosa con un incremento de las precipitaciones, segmentado de enero a abril con una tendencia positiva y desde el mes de abril a junio una leve disminución de las mismas (Fig. 82). Los meses de agosto a noviembre registran una disminución de precipitaciones de hasta el 60% por debajo de la media del periodo con relación a la época lluviosa, caracterizando la presencia de la época seca (Figs. 81 y 82).

Los diferentes valores de precipitaciones acumuladas en el periodo de monitoreo (tomando como referencia el inicio de los registros y el año 2015) de las estaciones registran un aumento de 379,2 mm en la estación de Tachina, 50,7 mm en la de Sague, 59,2 mm en la de Teaone y de 1171,8 mm en la de Quininde. La estación Esmeraldas tiene una disminución de precipitación acumulada al 2015 de 243,4 mm con respecto al año de inicio del monitoreo (Fig. 83).

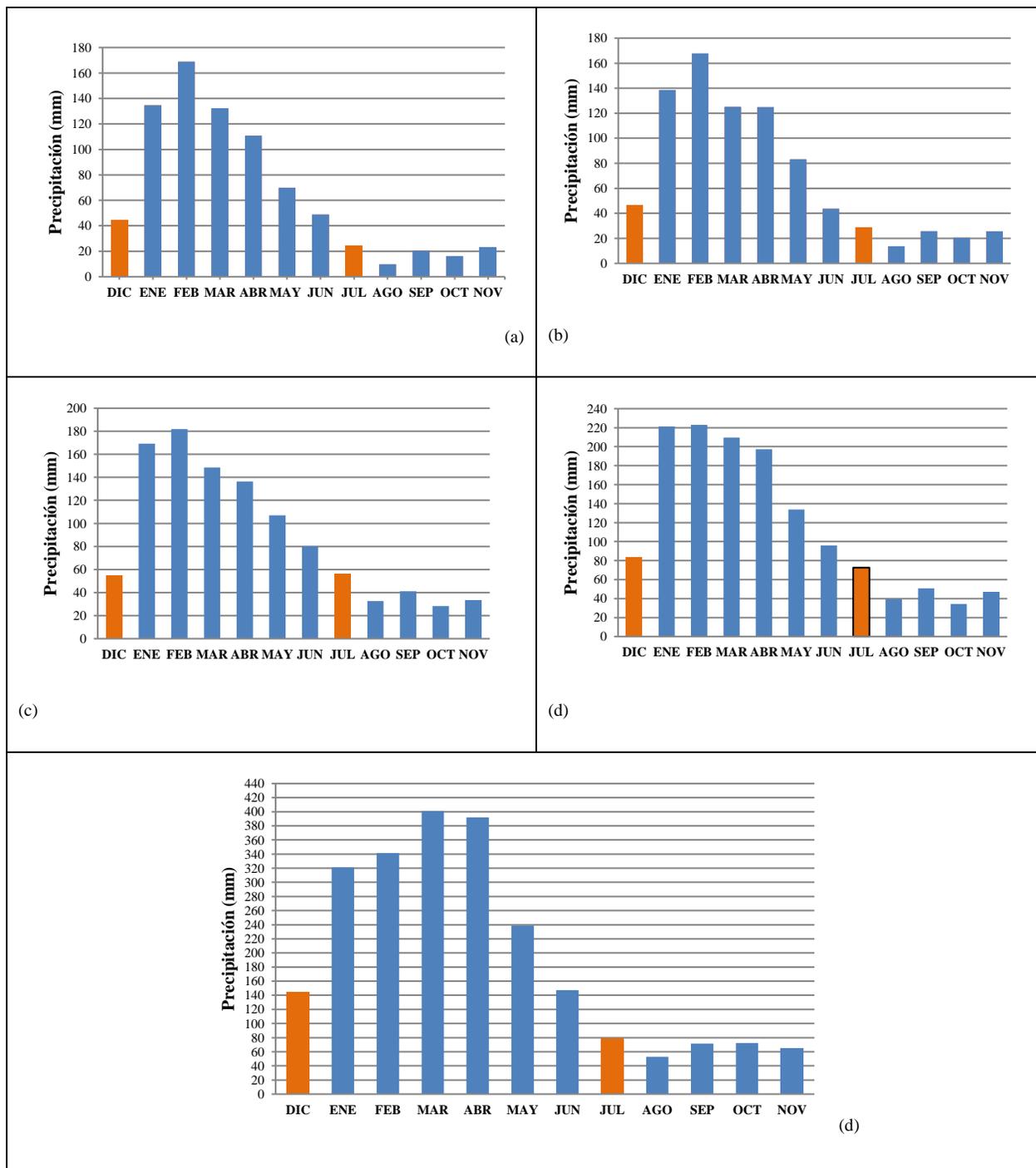


Fig. 81: Comportamiento de precipitaciones medias mensuales (mm) del periodo de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por: (a): INOCAR - Estación Esmeraldas (1981-2015); (b): DAC - Estación Tachina (1980-2015); (c): INAMHI - Estación Sague (1950-2015); (d): INAMHI - Estación Teone (1964-2015); (e): INAMHI - Estación Quinde (1958-2015).

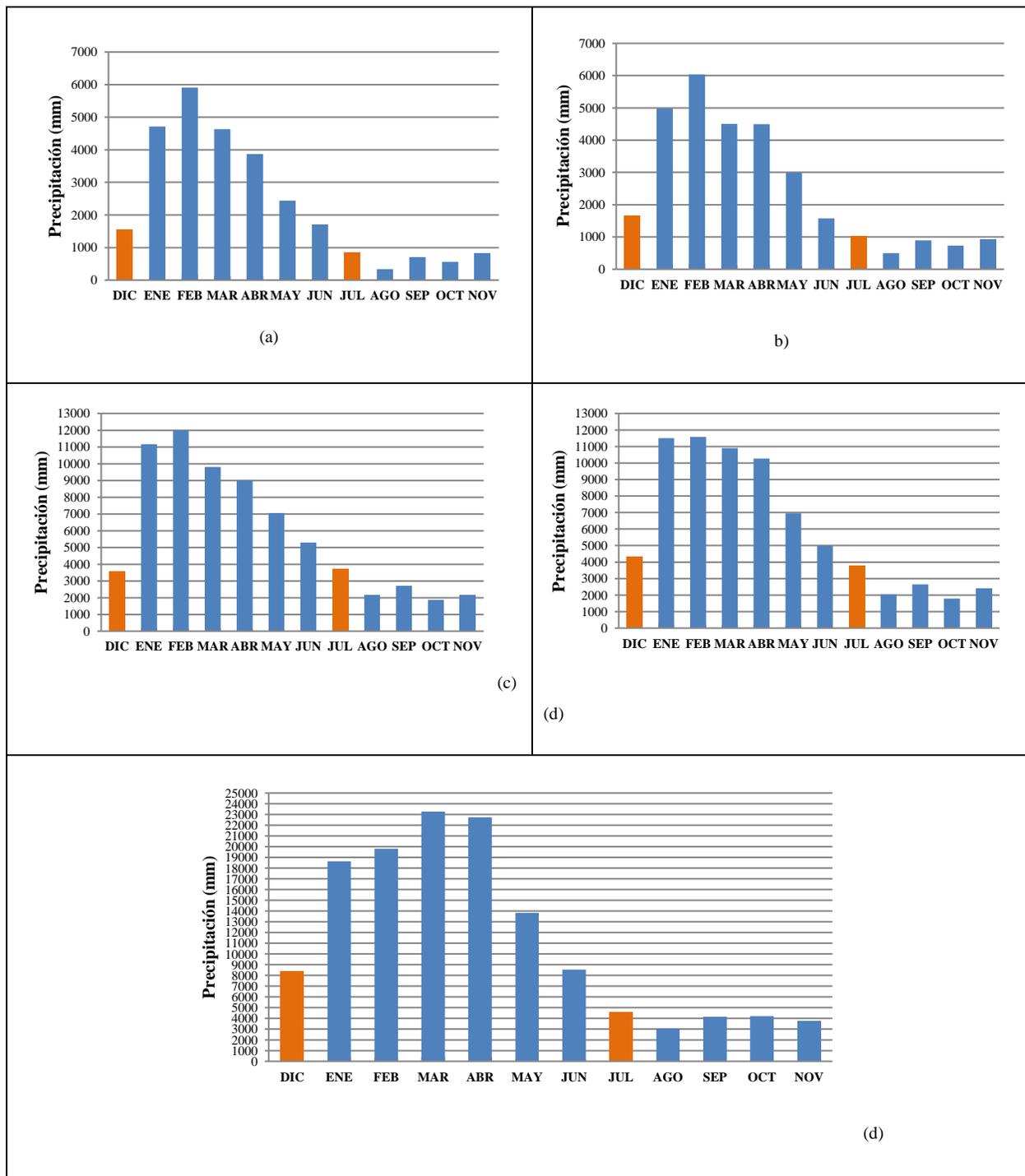


Fig. 82: Comportamiento de precipitaciones acumuladas mensuales (mm) del periodo de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por: (a): INOCAR - Estación Esmeraldas (1981-2015); (b): DAC - Estación Tachina (1980-2015); (c): INAMHI - Estación Sague (1950-2015); (d): INAMHI - Estación Teaone (1964-2015); (e): INAMHI - Estación Quinde (1958-2015).

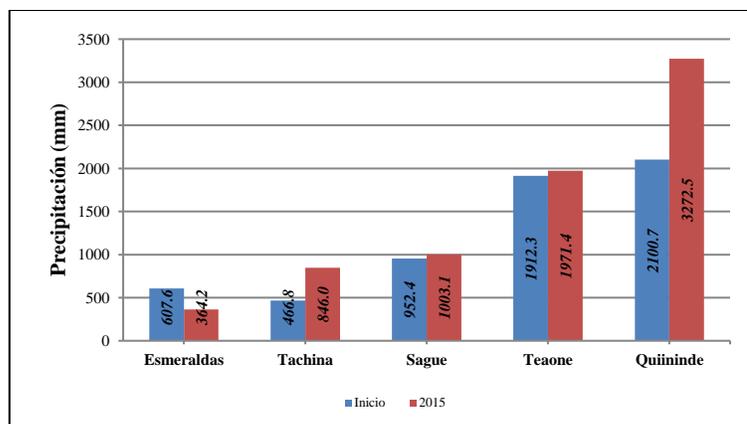


Fig. 83: Variaciones de precipitaciones acumuladas (mm) de los años de inicio de monitoreo y 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por: INOCAR - Estación Esmeraldas (1981-2015), DAC - Estación Tachina (1980-2015), INAMHI - Estación Sague (1950-2015), Estación Teaone (1964-2015) y Estación Quininde (1958-2015).

Asimismo, realizando una comparación de las precipitaciones acumuladas con respecto a la media de los diferentes periodos de monitoreo establecen al 2015 tendencias positivas en el caso de las estaciones Tachina, Teaone y Quininde, mientras que, las estaciones Esmeraldas y Sague presentan valores por debajo de la media. El análisis individual con respecto al inicio de monitoreo de cada una de las estaciones registra un aumento de precipitación sobre la media en la estación de Teaone debido a la presencia del fenómeno de El Niño en 1964, año en el cual la estación inicia su registro meteorológico, mientras que, el resto de las estaciones tienen una disminución de precipitación (Fig. 84).

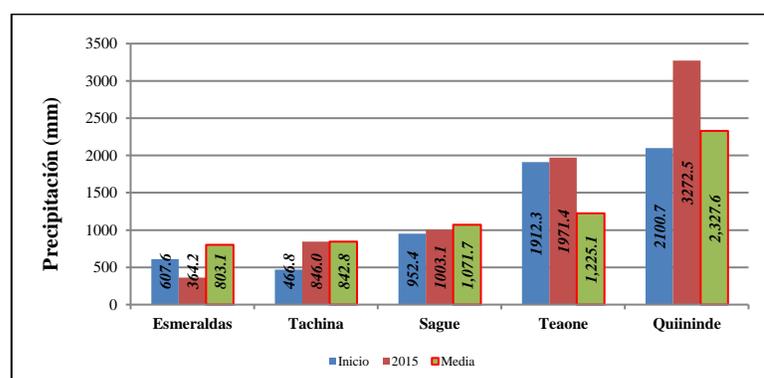


Fig. 84: Variaciones de precipitaciones acumuladas (mm) de los años de inicio de monitoreo y 2015, con respecto a la media del periodo correspondiente. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por: INOCAR - Estación Esmeraldas (1981-2015), DAC - Estación Tachina (1980-2015), INAMHI - Estación Sague (1950-2015), Estación Teaone (1964-2015) y Estación Quininde (1958-2015).

Las estaciones presentan valores extremos de precipitación en exceso o déficit en diferentes años, sin presentar una uniformidad definida en el periodo de estudio. Las estaciones que presentan un exceso de precipitación y que se encuentran cerca del perfil costanero registran valores de precipitaciones acumuladas anuales sobre los 1000 mm (Figs. 85, 86 y 87), mientras que las estaciones que se encuentran alejadas del perfil costanero registran precipitaciones acumuladas de más de 2000 mm (Figs. 88 y 89).

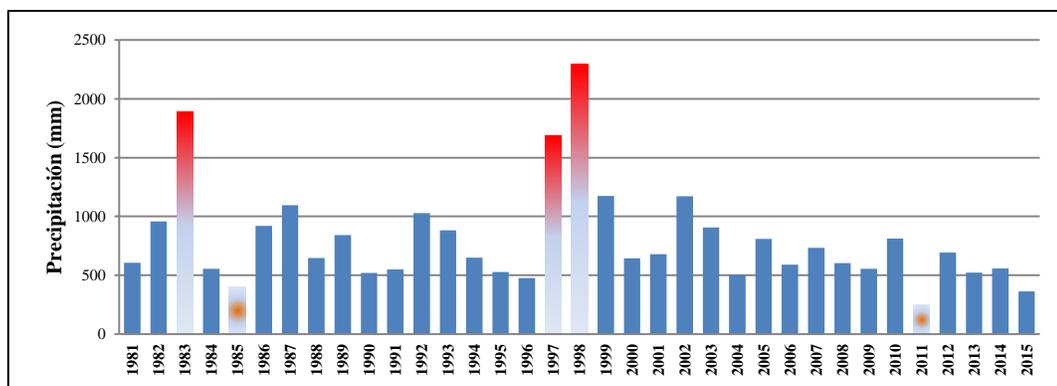


Fig. 85: Precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la estación Esmeraldas (1981-2015); degradado rojo: exceso de precipitación, degradado tomate: déficit de precipitación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INOCAR.

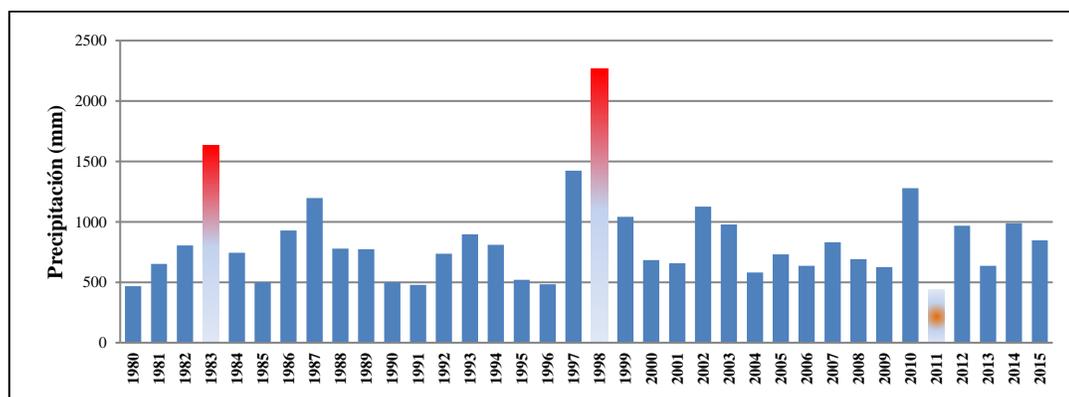


Fig. 86: Precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la estación Tachina (1980-2015); degradado rojo: exceso de precipitación, degradado tomate: déficit de precipitación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por la DAC.

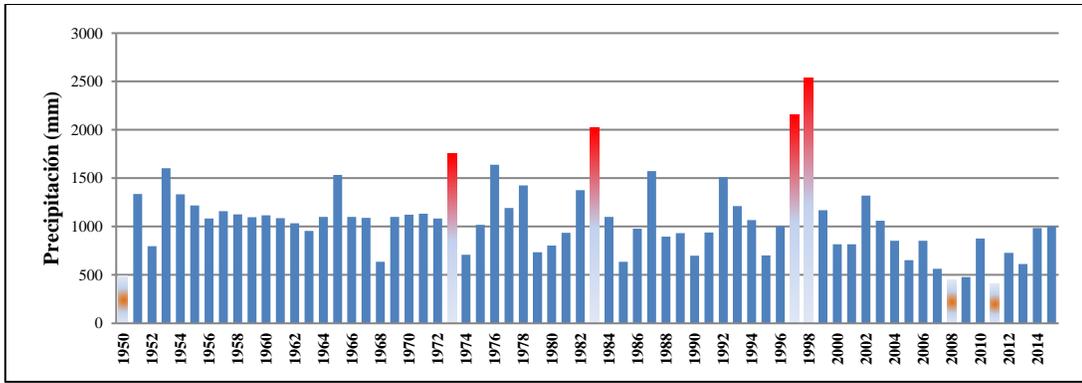


Fig. 87: Precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la estación Sague (1950-2015); degradado rojo: exceso de precipitación, degradado tomate: déficit de precipitación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI.

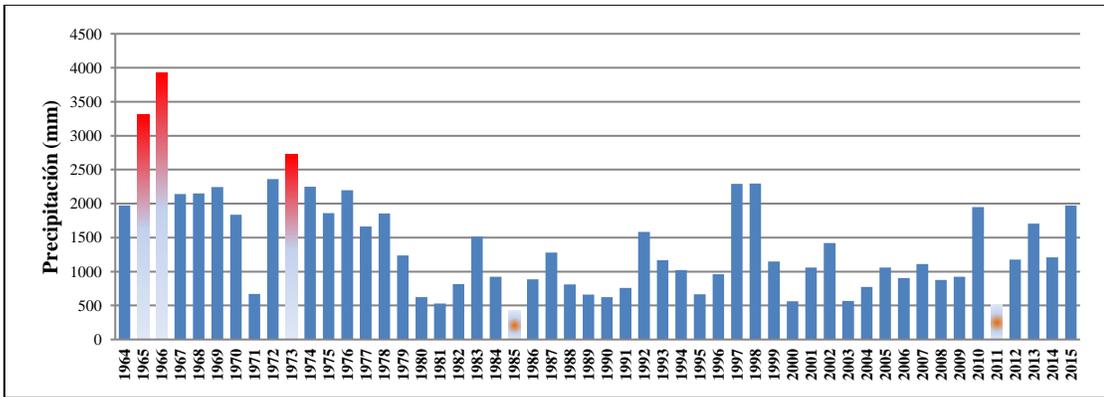


Fig. 88: Precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la estación Teane (1964-2015); degradado rojo: exceso de precipitación, degradado tomate: déficit de precipitación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI.

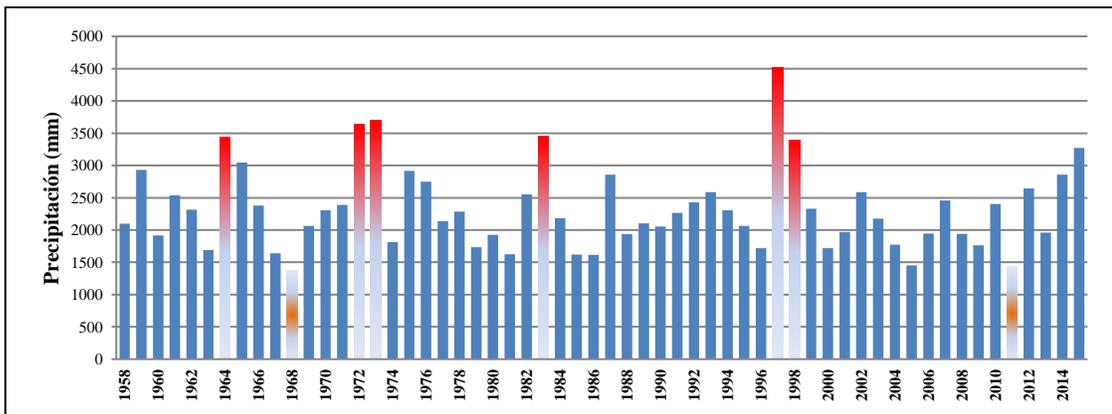


Fig. 89: Precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la estación Quinde (1958-2015); degradado rojo: exceso de precipitación, degradado tomate: déficit de precipitación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI.

En lo que se refiere al déficit de precipitaciones, las estaciones presentan valores de precipitaciones acumuladas anuales por debajo de los 500 mm (Figs. 85, 86 y 87) en las estaciones que se encuentra cerca del perfil costanero, mientras que las estaciones que se encuentran alejadas del perfil costanero registran precipitaciones acumuladas bajo los 1250 mm (Figs. 88 y 89). Se identifica que los años de 1997 y 1998 tienen una tendencia muy extrema de precipitación con valores que sobrepasan el 50% del valor de la precipitación media del periodo de estudio, de acuerdo a la figura 90:

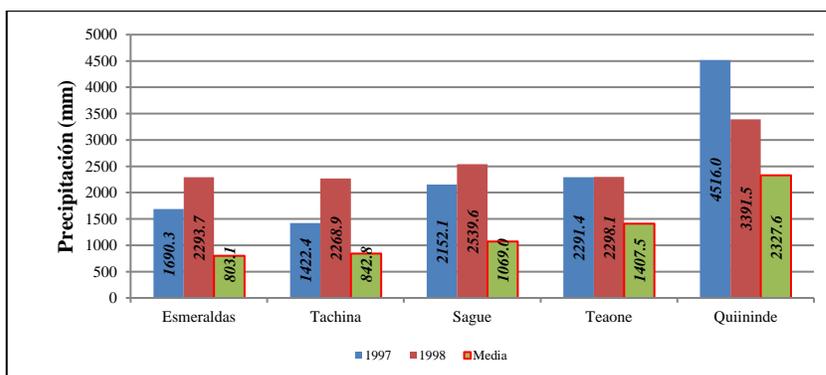


Fig. 90: Precipitaciones extremas acumuladas de los años de 1997 – 1998. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INOCAR - Estación Esmeraldas, DAC - Estación Tachina, INAMHI – Estaciones Sague, Teaone y Quiinde.

En lo que respecta a los años con mayor déficit de precipitación se identifica que el 2011 se registró precipitaciones con más del 50% por debajo de la media en las distintas estaciones, de acuerdo a la figura 91.

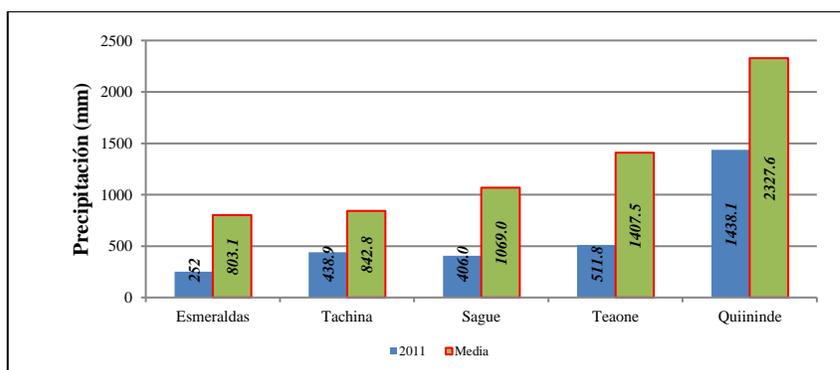


Fig. 91: Déficit de precipitaciones extremas acumuladas en el 2011. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INOCAR - Estación Esmeraldas, DAC - Estación Tachina, INAMHI – Estaciones Sague, Teaone y Quiinde.

El análisis realizado de las precipitaciones acumuladas identifica que los años de 1953, 1954, 1964, 1965, 1966, 1972, 1973, 1982, 1983 registran precipitaciones extremas (rango entre 1700 a 2000 mm), mientras que, los años de 1997 y 1998 marcan precipitaciones muy extremas en la unidad hidrográfica (rangos mayores a 2000 mm). El comportamiento de las precipitaciones tiene un cierto grado de correlación con las anomalías de la temperatura superficial del mar en la región 3,4 y 1,2 de acuerdo al Índice Oceánico del Niño (ONI) y Índice Costero del Niño (ICEN) (Rodríguez Aguilar & Luna Rodríguez, 2017, pág. 61).

El análisis de variación de las precipitaciones extremas o de déficit coincide históricamente en muchos de los casos con los eventos del fenómeno de El Niño, catalogados como moderados, fuertes y muy fuertes con anomalías mayores a 1 de acuerdo a la clasificación de la ONI y fenómenos de La Niña con anomalías menores a -1 (Fig. 92).

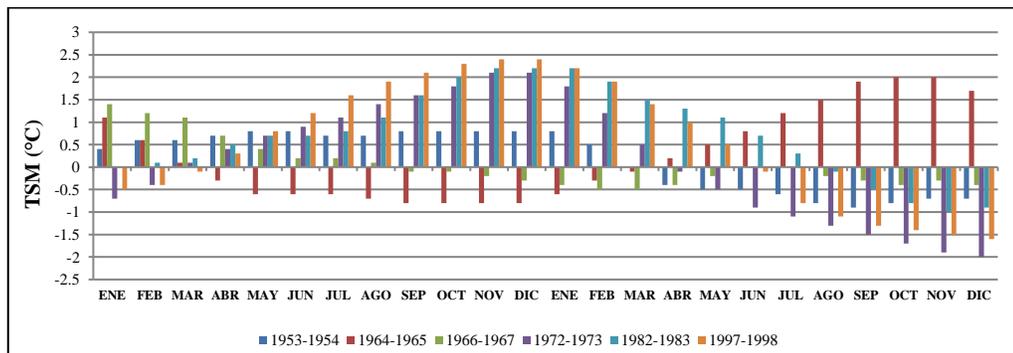


Fig. 92: Índice del Niño Oceánico mensuales, en los periodos de 1953-1954, 1964-1965, 1966-1967, 1972-1973, 1982-1983 y 1997-1998. Fuente: Elaboración propia, en base a la información histórica de anomalías de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).

Adicionalmente, los resultados obtenidos en las anomalías de precipitación validan la información inicialmente planteada con relación a la identificación de valores extremos o de déficit en las diferentes series de tiempo con una fuerte influencia de las anomalías registradas en el ONI. Complementario a ello, en todas las estaciones se registran un periodo muy extremo de precipitación y dos periodos extremos que han ocasionado graves consecuencias económicas y sociales en el área de estudio y en el país.

El periodo muy extremo se produce desde noviembre de 1997 a junio de 1998 con una anomalía ONI de 2,3 y anomalías promedio registradas en las diferentes estaciones de 1213 mm; la presencia del fenómeno de El Niño es catalogada como muy fuerte y es considerado como de

mayor impacto en la época de estudio. Las estaciones de Esmeraldas y Tachina registran una precipitación acumulada de 3984 mm en los años de 1997 y 1998, con una anomalía aproximada de 1490 mm en 1998 (Figs. 93 y 94) debido a la mayor presencia de lluvias en los 6 primeros meses (Figs. 95 y 96).

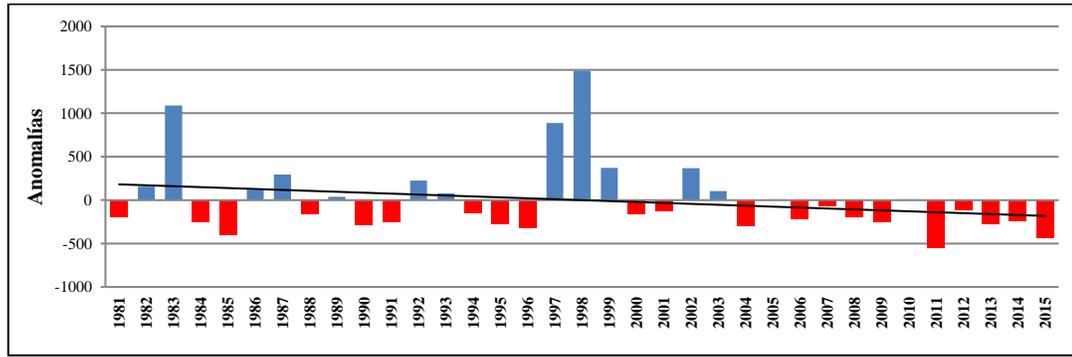


Fig. 93: Anomalías de precipitación de la estación Esmeraldas en el periodo de 1981 a 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INOCAR.

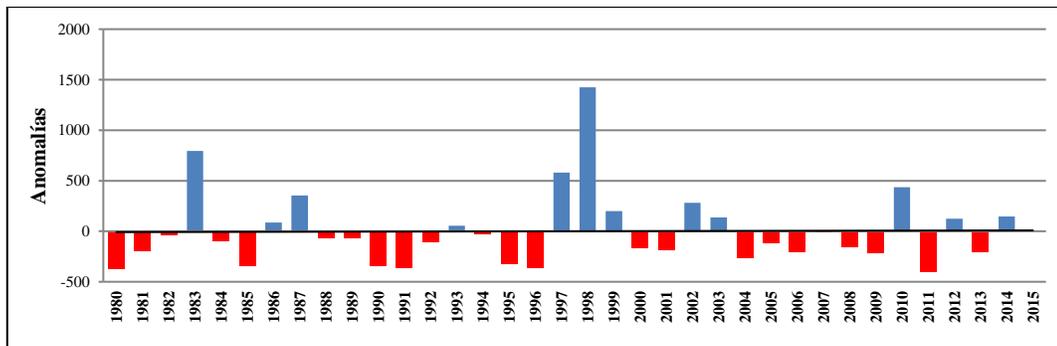


Fig. 94: Anomalías de precipitación de la estación Tachina en el periodo de 1980 a 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por la DAC.

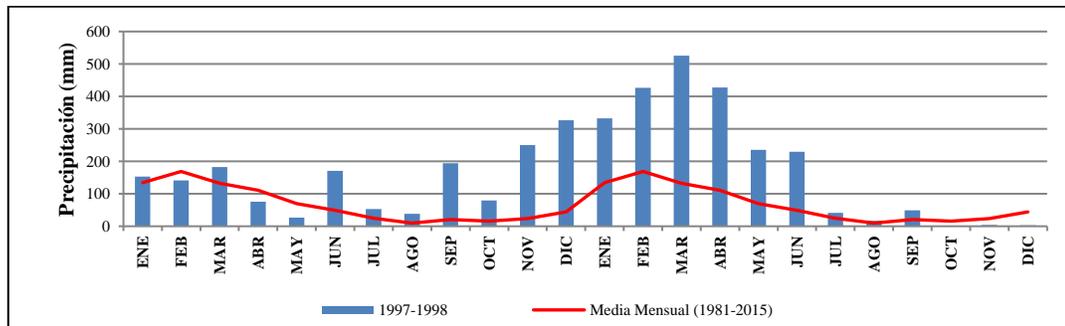


Fig. 95: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INOCAR en los años de 1997 y 1998.

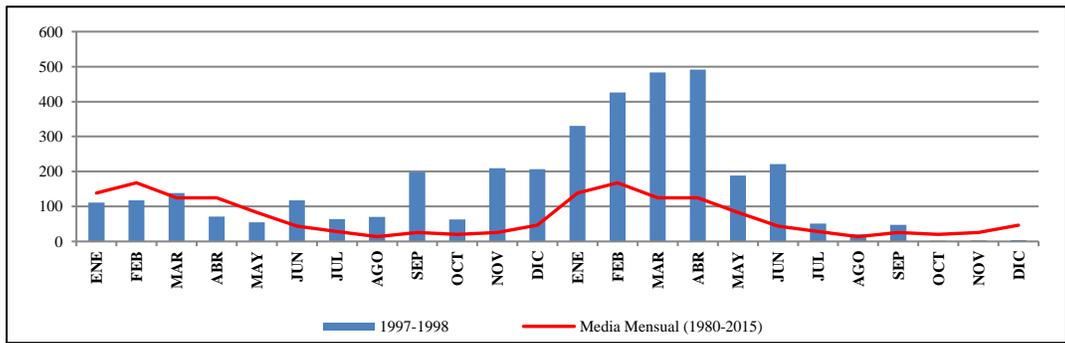


Fig. 96: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Tachina. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por la DAC en los años de 1997 y 1998.

La estación Sague presenta una precipitación acumulada de 4691,7 mm con una anomalía de 1470,6 mm en 1998 (Fig. 97) teniendo un comportamiento de lluvias intensas hasta el mes de julio (Fig. 98) con un inicio del incremento de las precipitaciones desde el mes de noviembre de 1997.

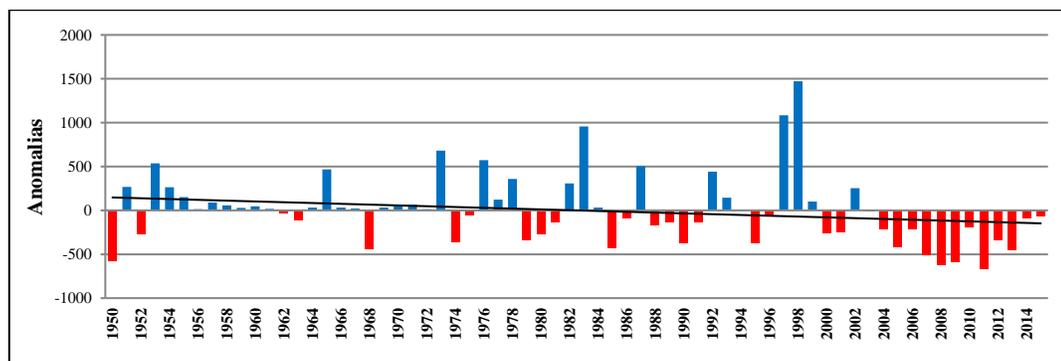


Fig. 97: Anomalías precipitación de la estación Sague en el periodo de 1950 a 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI.

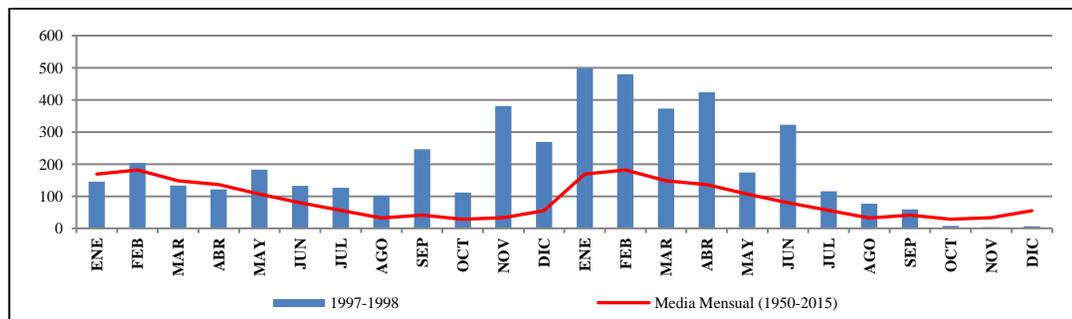


Fig. 98: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1997 y 1998.

La estación Teaone registra una precipitación acumulada de 4589,5 mm en 1997 y 1998 con anomalías de 900 mm (Fig. 99), mientras que la estación de Quinindé registra una precipitación acumulada de 7907,5 mm en 1997 y 1998 con una anomalía de 2200 mm (Fig. 100); los meses en donde se concentra la mayor cantidad de precipitación para este periodo son los meses de noviembre y diciembre de 1997 y enero a marzo de 1998 (Figs. 101 y 102). El fenómeno de El Niño de 1997 y 1998 ocasionó en el área de estudio la destrucción de 1136 viviendas, 36 personas fallecidas y una severa afectación de la actividad agrícola y ganadera (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 1999, pág. 23), tomando en consideración que a nivel país se estima que los daños equivaldrían al 15% del PIB del país.

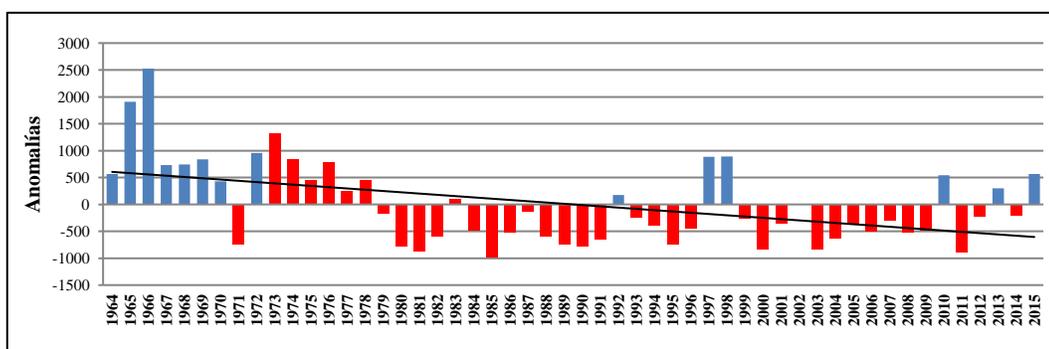


Fig. 99: Anomalías de precipitación de la estación Teaone en el periodo de 1964 a 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI.

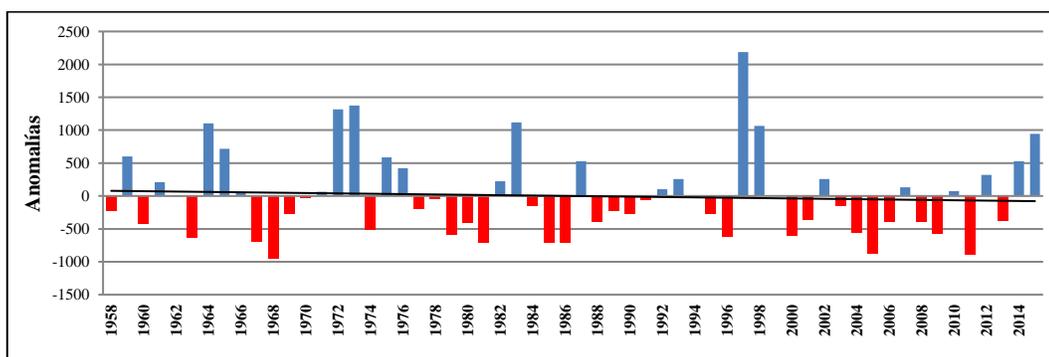


Fig. 100: Anomalías de precipitación de la estación Quininde en el periodo de 1958 a 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI.

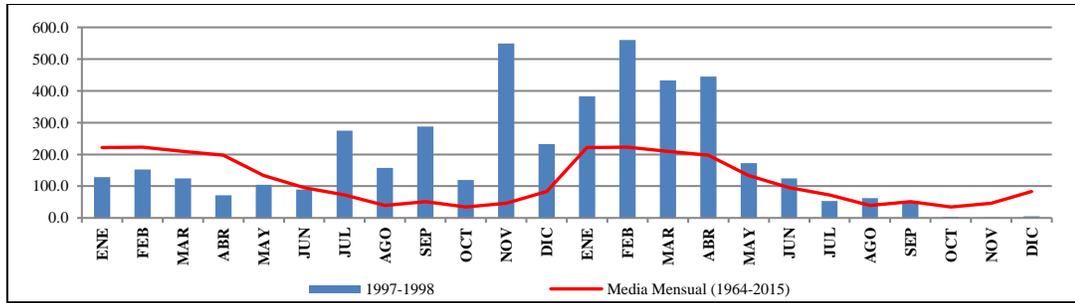


Fig. 101: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Teaone. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1997 y 1998.

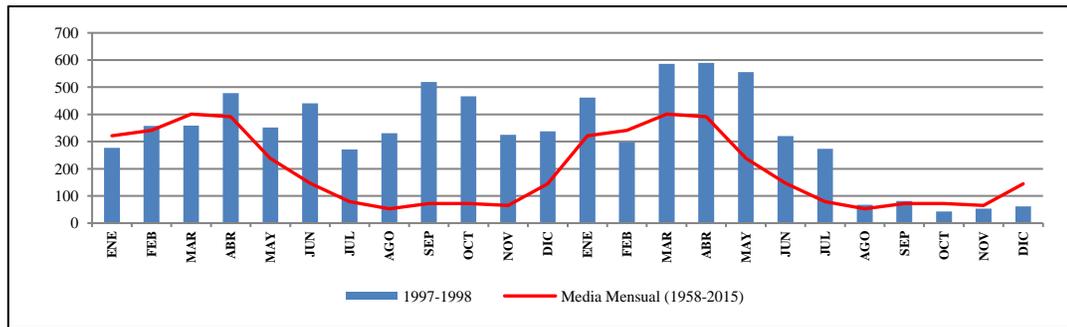


Fig. 102: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Quininde. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1997 y 1998.

En el periodo de noviembre de 1982 a julio de 1983 las estaciones registran anomalías promedio de 1000 mm debido a la presencia del fenómeno de El Niño que es catalogado como muy fuerte según la escala del ONI (anomalía máxima de 2,1). Las estaciones de Esmeraldas y Tachina en 1983 presentan anomalías de 1088,5 y 793,77 mm sobre la media, registrando precipitaciones acumuladas de 1891,6 y 1636,5 mm con un aumento del 50% de las precipitaciones con respecto al año de 1982; los meses donde se concentran las precipitaciones son desde de noviembre a julio (Figs. 103 y 104).

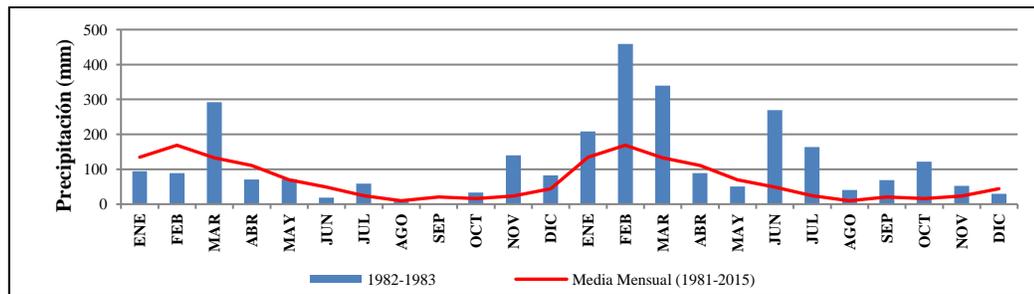


Fig. 103: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INOCAR en los años de 1982, 1983.

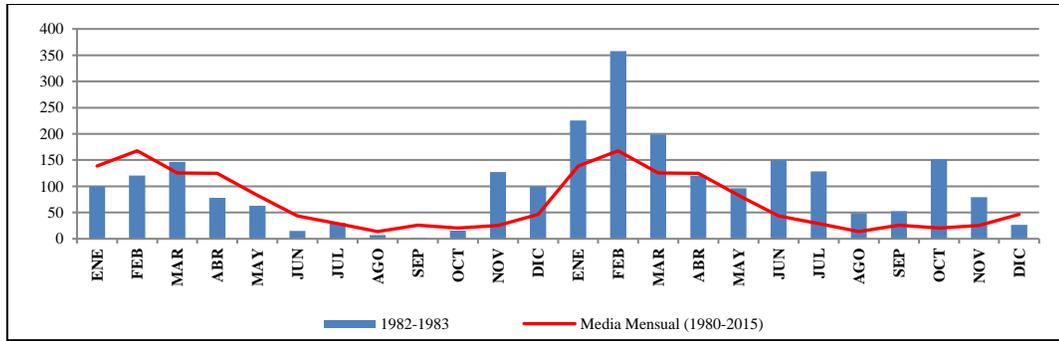


Fig. 104: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Tachina. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por la DAC en los años de 1982, 1983.

Las estaciones de Sague y Quinindé presentan precipitaciones acumuladas de 2024,5 y 3446,5 mm con anomalías positivas de 995,6 y 1118,9 mm respectivamente; la estación Quinindé a diferencia de las cercanas al perfil costanero, presencia el inicio de precipitaciones desde octubre (Figs. 105 y 106).

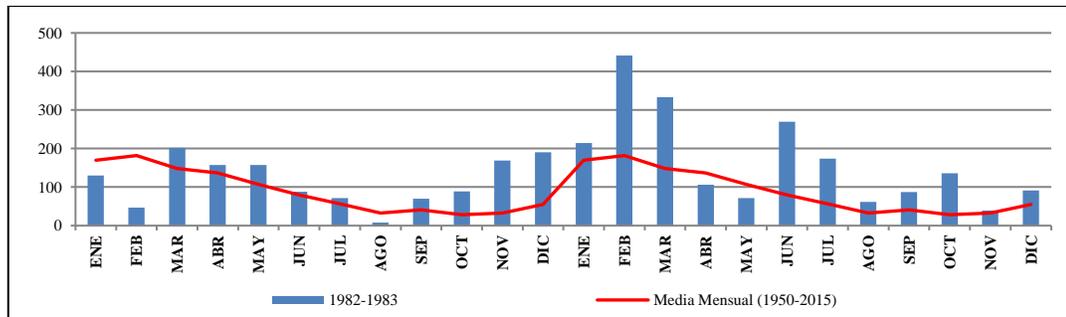


Fig. 105: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1982 y 1983.

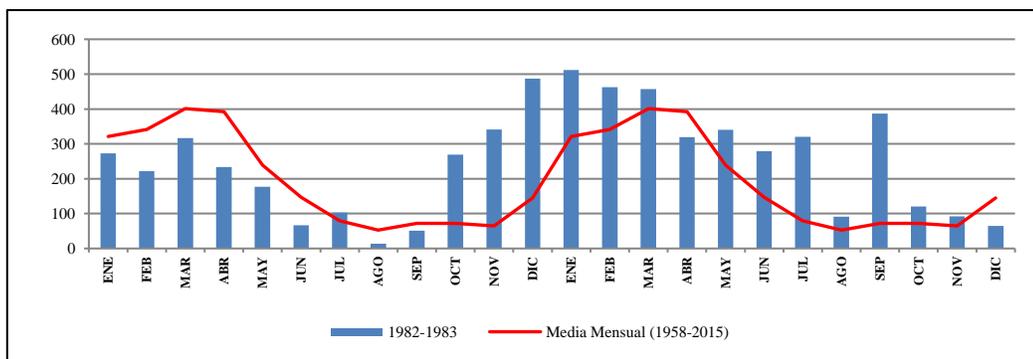


Fig. 106: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Quininde. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1982 y 1983.

Durante el periodo de 1972 y 1973 se tiene una presencia del fenómeno de El Niño fuerte con un registro de 1,8 del ONI y anomalías promedio de las precipitaciones de 1125 mm; la estación Sague tiene una presencia de exceso de lluvias en 1973 con una precipitación acumulada de 1751,5 mm y anomalías sobre la media de 682,5 mm; se concentran las mayores precipitaciones entre los meses de enero a mayo (Fig. 107). Las estaciones de Teaone y Quinde registran un aumento de precipitaciones en los meses de marzo y abril de 1972 y de enero a abril en 1973 (Figs. 108 y 109); las precipitaciones acumuladas en los dos periodos (1972 – 1973) son de 5089,9 y 7346 mm con anomalías de 1320 mm y 1375 mm.

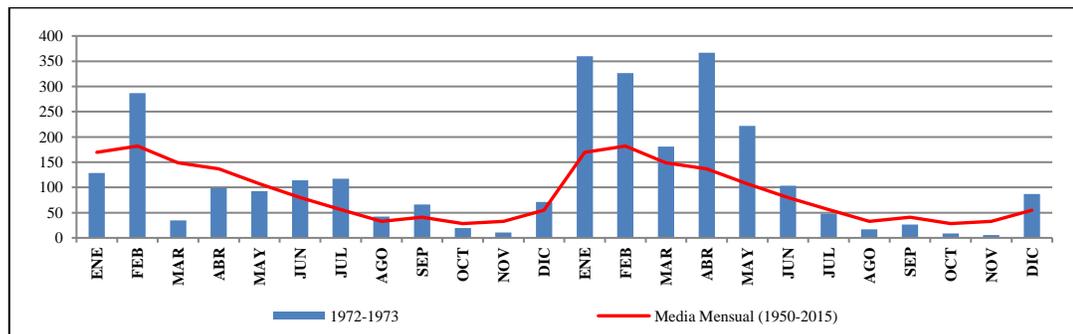


Fig. 107: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1972 y 1973.

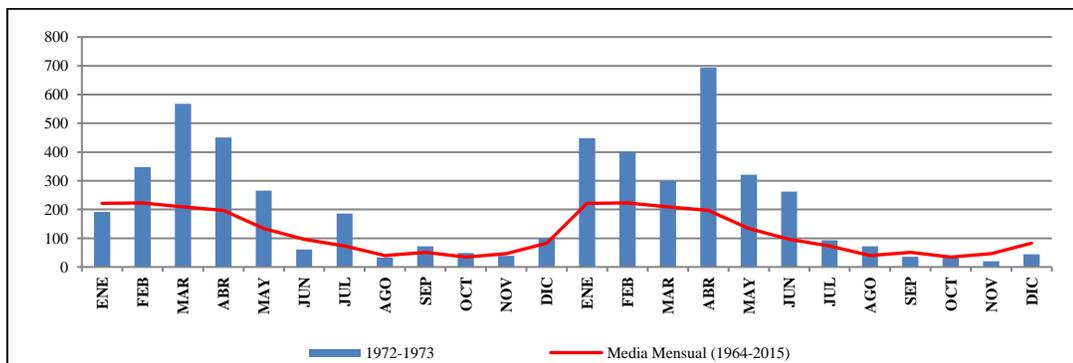


Fig. 108: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Teaone. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1972 y 1973.

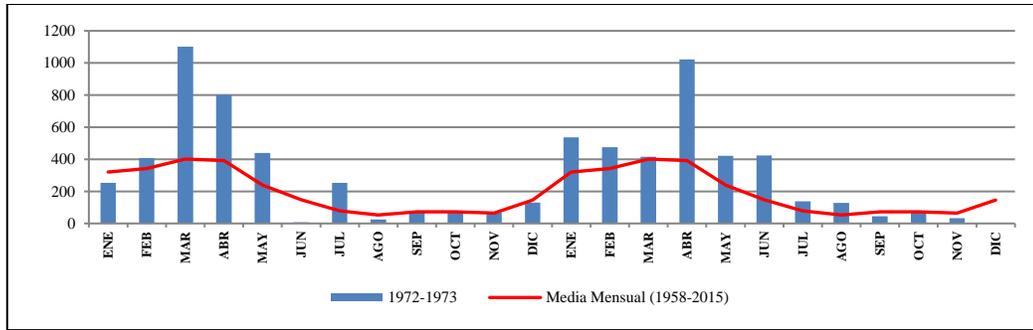


Fig. 109: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Quininde. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1972 y 1973.

En el periodo de 1965 y 1966, se registra un fenómeno de El Niño de manera fuerte con un ONI de 1,6 y un promedio de anomalías de 1031 mm; la estación Teaone presenta precipitaciones acumuladas de 3317 y 3929,6 mm con anomalías sobre la media de 1909,5 mm y 2522,1 mm concentrando el exceso de lluvia en los meses de diciembre a marzo (Fig. 110). En la estación de Sague en 1965 registra precipitaciones acumuladas de 1535,10 mm y anomalía de 466,1 mm sobre la media del periodo de la estación en los meses de diciembre a marzo (Fig. 111).

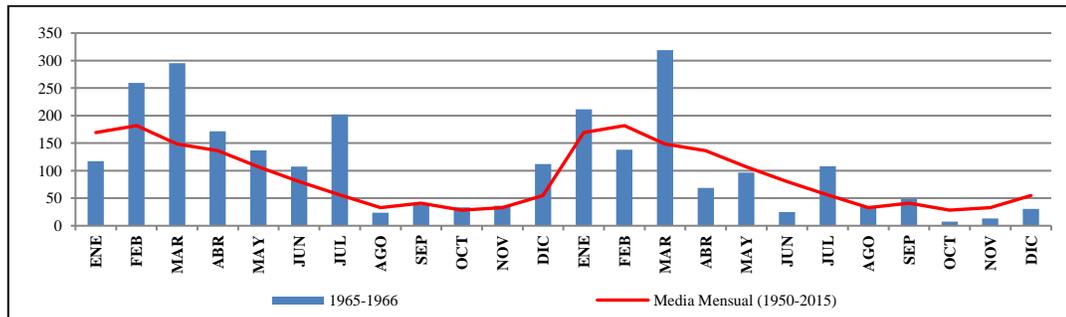


Fig. 110: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1965 y 1966.

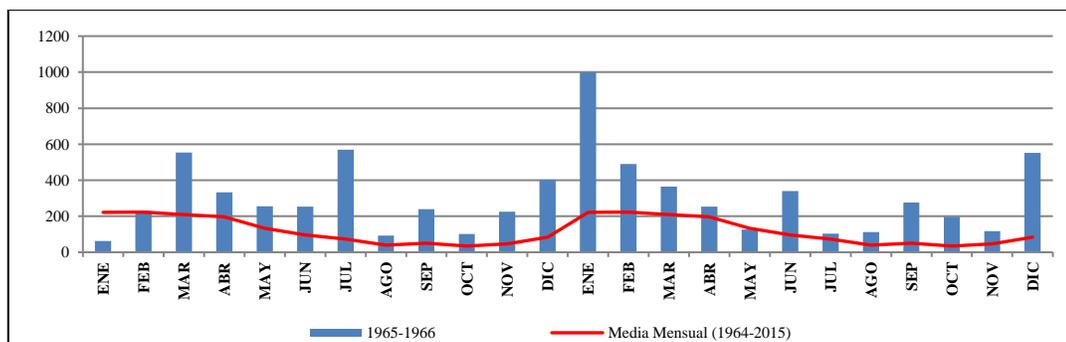


Fig. 111: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Teaone. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1965 y 1966.

En la estación de Quinindé las precipitaciones acumuladas de 1964 y 1965 son categorizadas de extremas con valores acumulados de hasta 3450 mm y anomalías de 1105 mm, evidenciando una mayor dureza de la época invernal en el sector de Rosa Zárate (Fig. 112), concentrando las precipitaciones altas en los meses de enero a abril de 1964. En 1953, la estación Sague presenta una anomalía positiva de 532,5 mm con una precipitación acumulada de 1604,2 mm; realizando una comparación con la precipitación media mensual de todo el periodo se tiene un aumento de precipitación especialmente en el mes de marzo (Fig. 113).

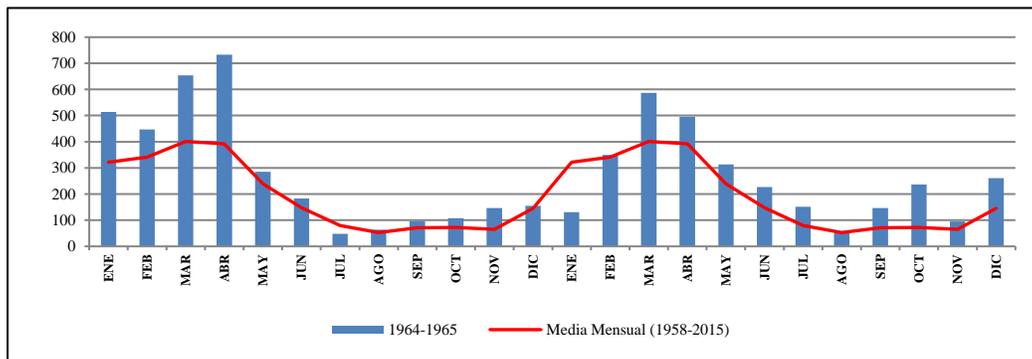


Fig. 112: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Quininde. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1964 y 1965.

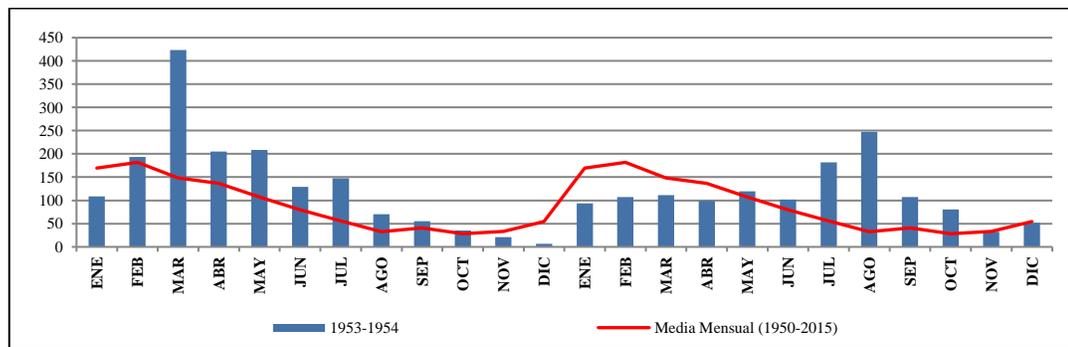


Fig. 113: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en el año de 1953.

Estudios establecen que en 1953 existió un Niño catalogado de medio y moderado, con presencia de lluvias en los primeros meses del año (Corporación Andina de Fomento, 1998, pág. 24). Sin embargo, información histórica evidencia que en ese año se producen problemas de inundación debido a que el 12 de diciembre de 1953 el Ecuador sufre un Tsunami con olas de 2 a 5,9 m que golpea las costas de Esmeraldas ocasionando daños materiales e inundaciones en la ciudad de Esmeraldas (Contreras López, 2013, pág. 56).

De lo detallado anteriormente, a continuación, se expone gráficamente los periodos analizados en cada una de las estaciones y como es el nivel de magnitud que afecta al área de estudio, Figs. 114 a 118:

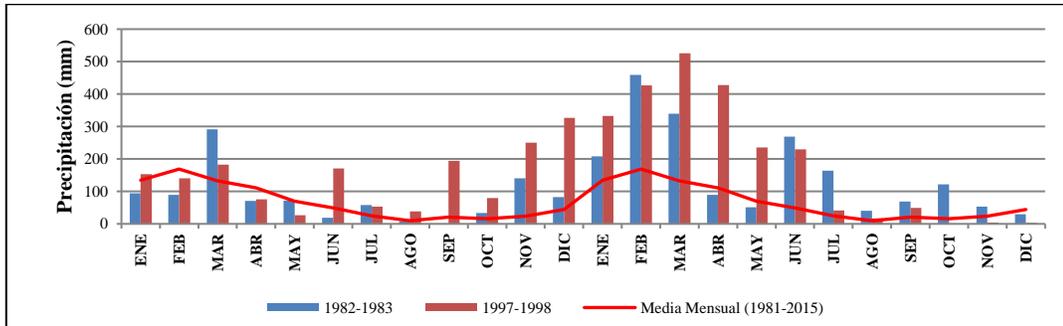


Fig. 114: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por el INOCAR en los años de 1982, 1983, 1997 y 1998.

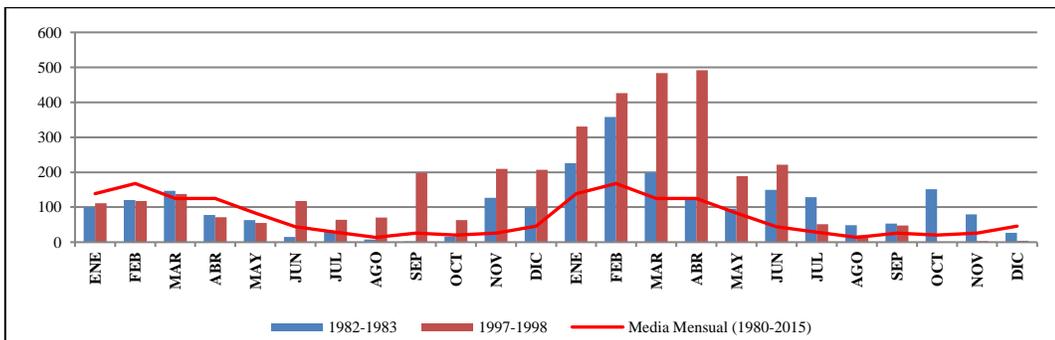


Fig. 115: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Tachina. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por la DAC en los años de 1982, 1983, 1997 y 1998.

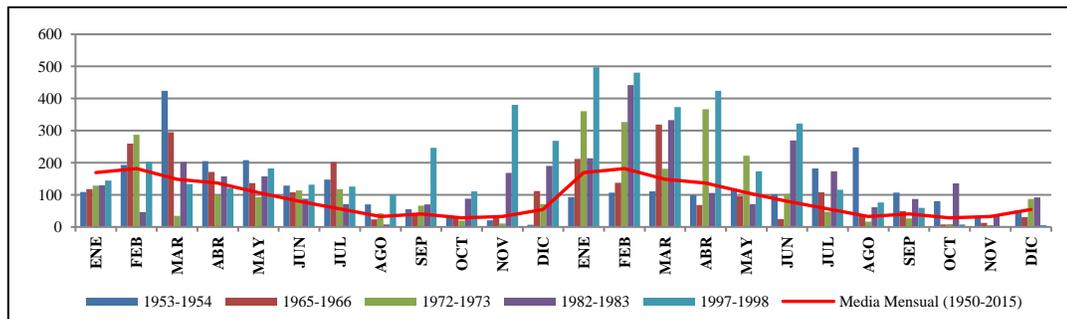


Fig. 116: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1953, 1954, 1966, 1966, 1972, 1973, 1997 y 1998.

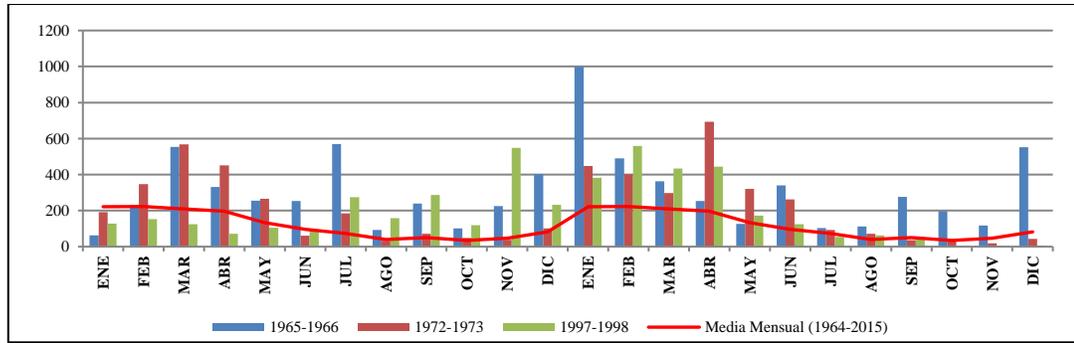


Fig. 117: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Teaone. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1965, 1966, 1972, 1973, 1997 y 1998.

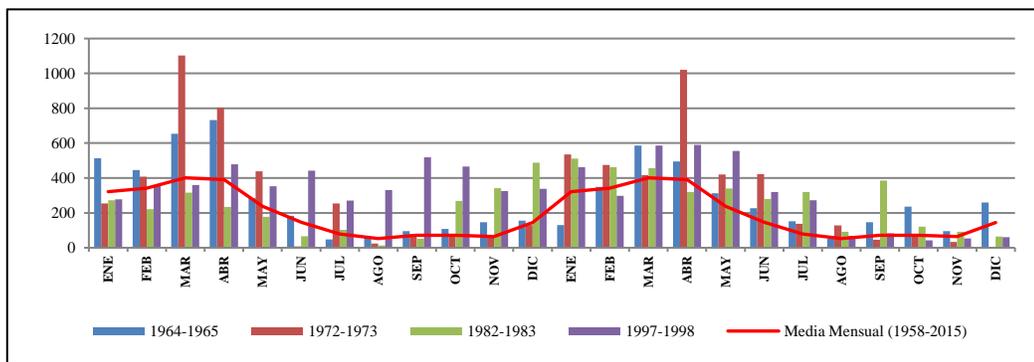


Fig. 118: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Quinde. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1964, 1965, 1972, 1973, 1982, 1983, 1997 y 1998.

La ausencia o disminución de precipitaciones con respecto a la media de los diferentes periodos se produce como una influencia parcial del fenómeno de La Niña y como consecuencia de las alteraciones de los elementos climáticos. Los periodos donde se produce una mayor tendencia al déficit de precipitaciones son los años: 1950, 1968, 1985, y un déficit extremo en el 2011 que coinciden parcialmente con el ONI que clasifica un mayor impacto en el déficit de precipitación cuando los valores son menores a -0,5 teniendo un comportamiento en el rango de débil a fuerte (Fig. 119).

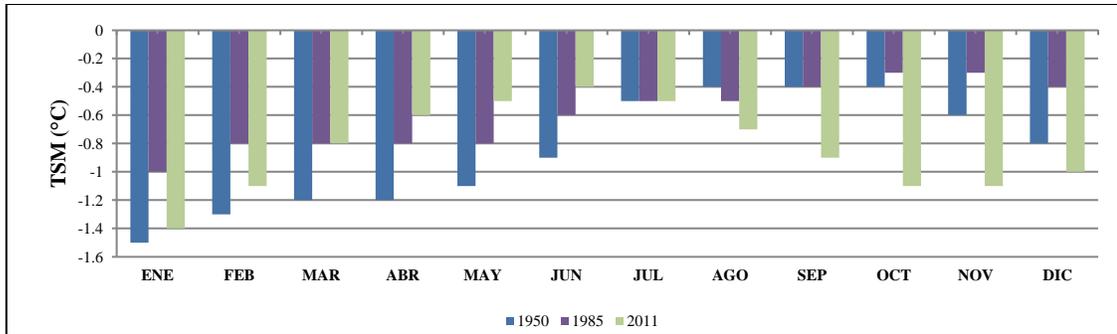


Fig. 119: Índice del Niño Oceánico mensuales, en los periodos de 1950, 1985, 2011. Fuente: Elaboración propia, en base a la información histórica de anomalías de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).

En los años donde existe una influencia del fenómeno de La Niña se evidencia una disminución de precipitaciones durante todo el año con un mayor impacto en los meses de julio a noviembre, aunque ciertas estaciones adelantan la ausencia de precipitaciones desde el mes de junio. Como se menciona en párrafos anteriores, las épocas lluviosa o relativamente secas en el área de estudio no son fijas en el tiempo por lo que muchas veces puede variar en el inicio o finalización de cada una de las épocas.

En el 2011 se produjo una tendencia decreciente de precipitaciones en los diferentes meses del año con un promedio anual que varía de 21 mm a 119,8 mm considerando a los meses de agosto a noviembre de mayor impacto, muy por debajo de la media del periodo. El déficit de precipitación tiene una tendencia mayor conforme se aleja del perfil costanero, en el caso de la estación Esmeraldas registra una anomalía negativa de 551,1 mm, mientras que, la estación Quindé que se encuentra alejada de la cuenca tiene una anomalía bajo la media de 889,6 mm (Fig. 120).

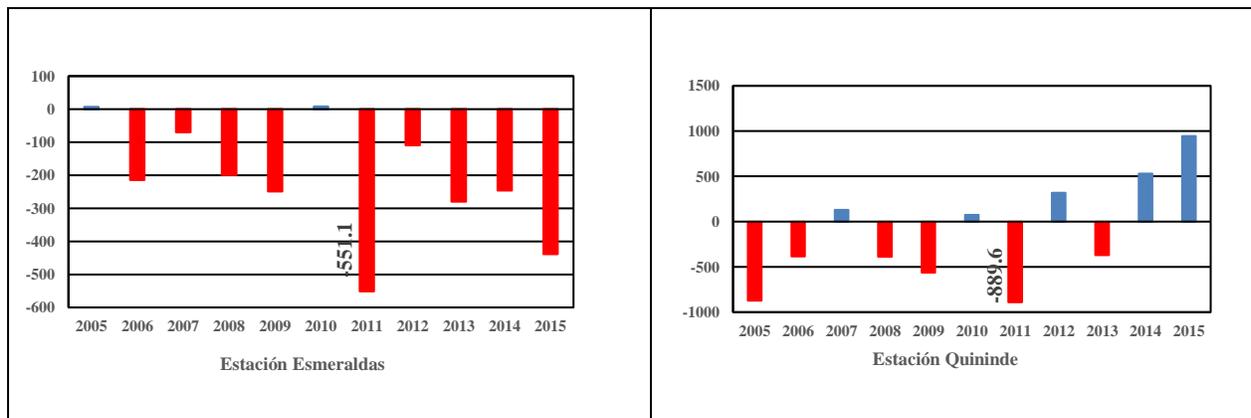


Fig. 120: Anomalías de precipitación 2011. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INOCAR (Estación Esmeraldas) y INAMHI (Estación Quindé).

Las precipitaciones medias mensuales del 2011 en ciertas estaciones se encuentran en el rango de 2 mm a 125 mm a excepción de la estación de Quinindé que varía sus valores de precipitación entre los 3 mm a 280,3 mm. Estos valores no superan en casi la totalidad de los meses a los valores de la media mensual del periodo de registro, evidenciando un extremo de déficit de precipitación en los meses de junio a octubre (Figs. 121 a 126).

El comportamiento de la precipitación en el 2011 es concordante con el mayor valor ONI que se presenta en este año de -1,4. En el 2011 los medios de comunicación reportaban que Esmeraldas estaba sufriendo una grave sequía que afectaba a la agricultura y ganadería debido a la ausencia de humedad en el suelo (La Hora, 2011).

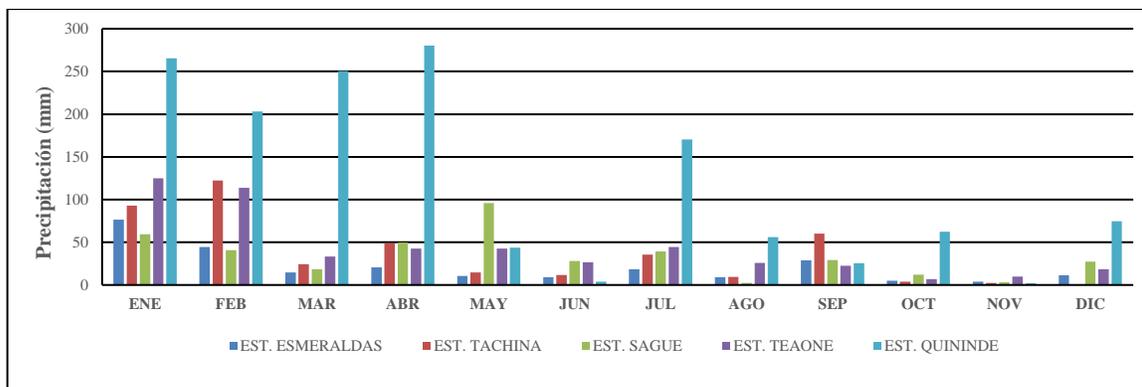


Fig. 121: Precipitaciones medias acumuladas mensuales (2011) de las estaciones meteorológicas del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INOCAR - Estación Esmeraldas, DAC - Estación Tachina, INAMHI – Estaciones Sague, Teaone y Quinindé.

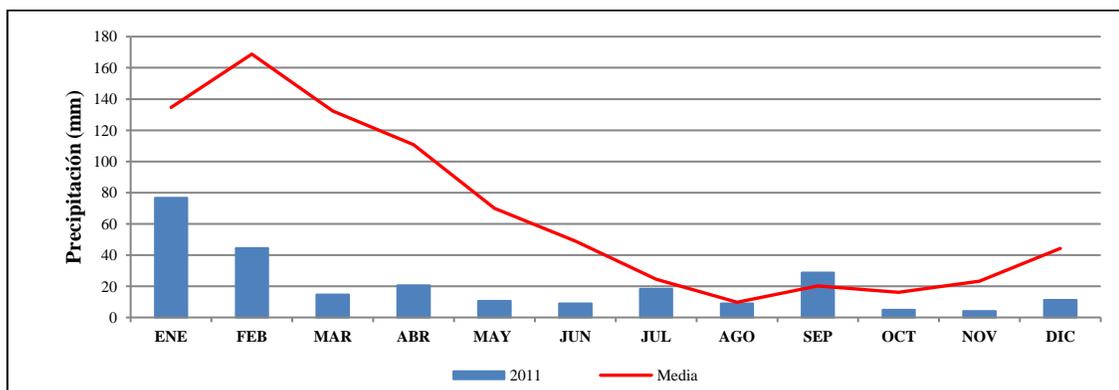


Fig. 122: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INOCAR en el periodo de estudio.

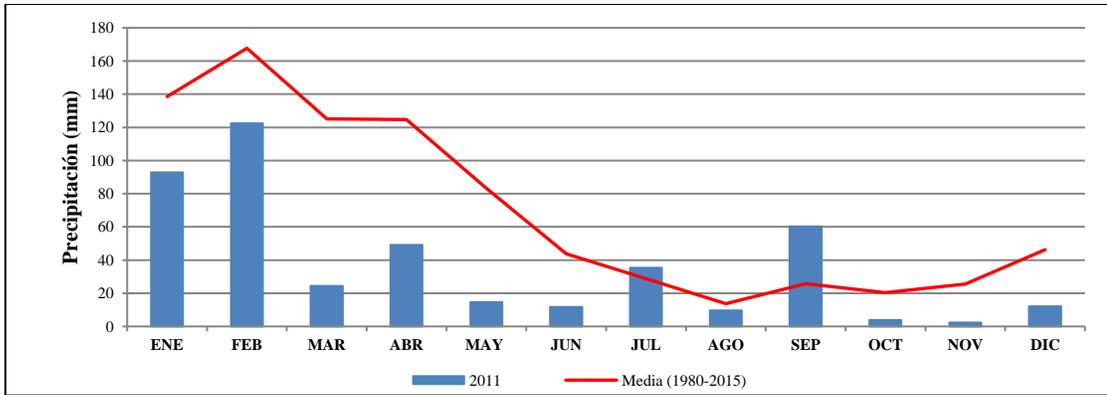


Fig. 123: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Tachina. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por la DAC en el periodo de estudio.

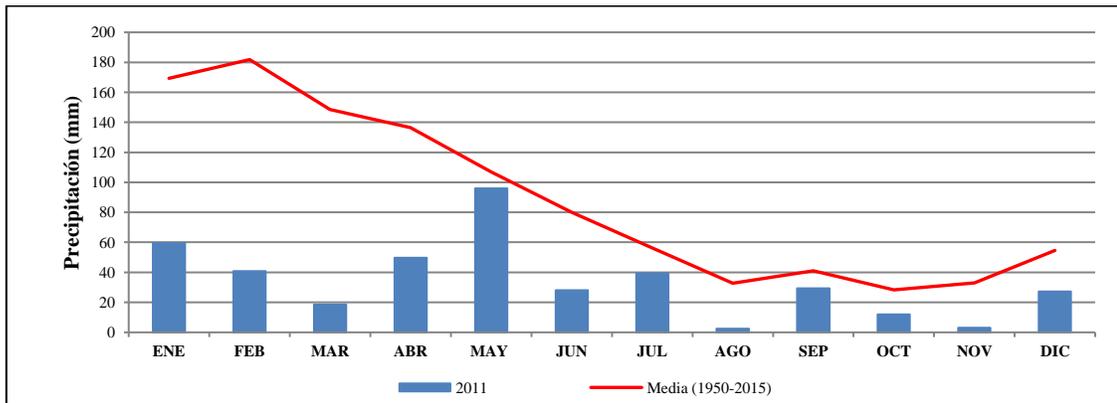


Fig. 124: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en el periodo de estudio.

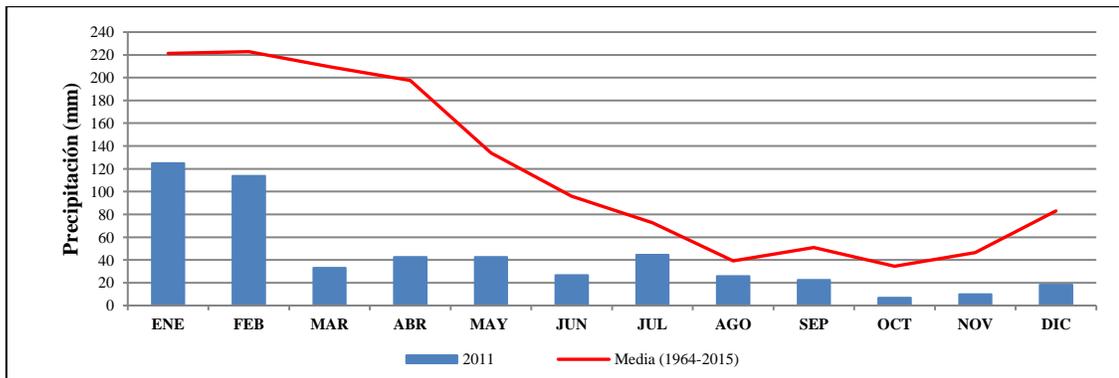


Fig. 125: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Teaoane. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en el periodo de estudio.

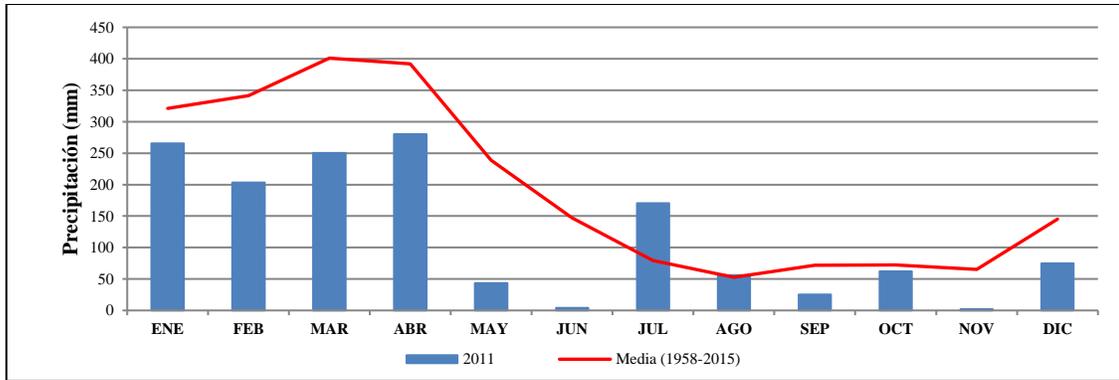


Fig. 126: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Quinindé. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en el periodo de estudio.

En 1985, las estaciones presentan precipitaciones con un promedio anual de 33,8 mm a 135 mm con anomalías negativas de hasta 981,5 mm con respecto a la media. Los meses de julio a octubre existe un mayor decrecimiento de precipitaciones con meses que registran como mínimo 0,2 mm y máximo 8,6 mm de precipitación media mensuales (Figs. 127 a 132); estos valores no superan en la mayoría de los meses los valores de la media mensual de la estación, comprobando un excesivo déficit de precipitación en los meses de junio a octubre.

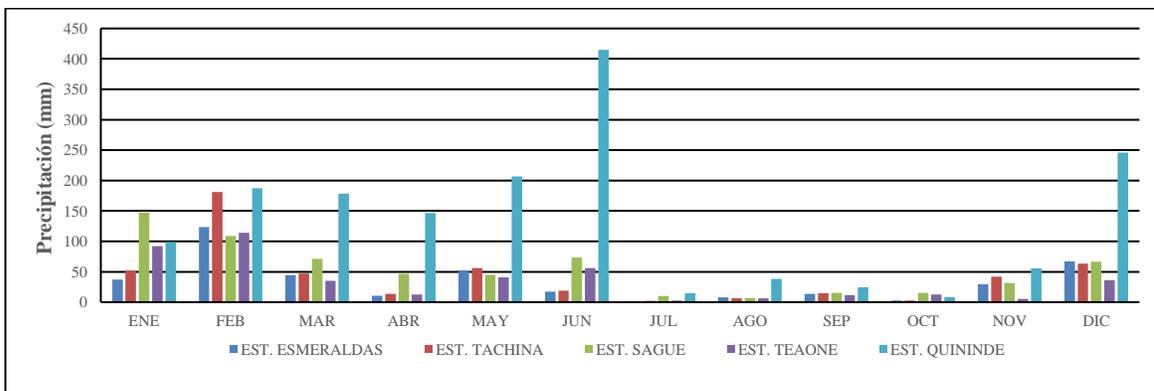


Fig. 127: Precipitaciones medias acumuladas mensuales (1985) de las estaciones meteorológicas del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INOCAR - Estación Esmeraldas, DAC - Estación Tachina, INAMHI – Estaciones Sague, Teone y Quinindé.

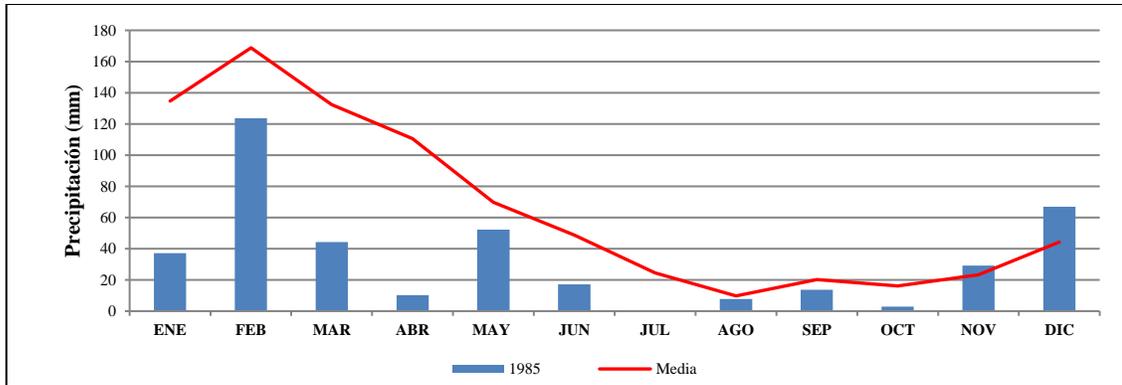


Fig. 128: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por el INOCAR en el periodo de estudio.

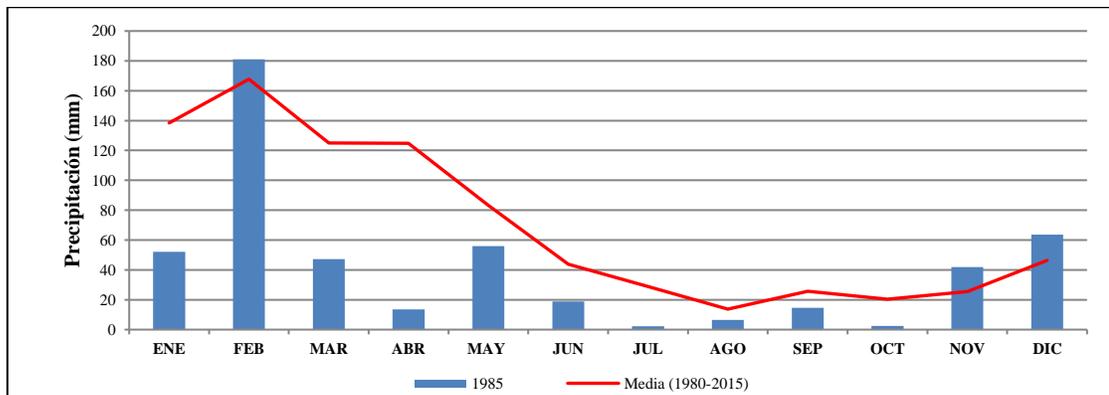


Fig. 129: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Tachina. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por la DAC en el periodo de estudio.

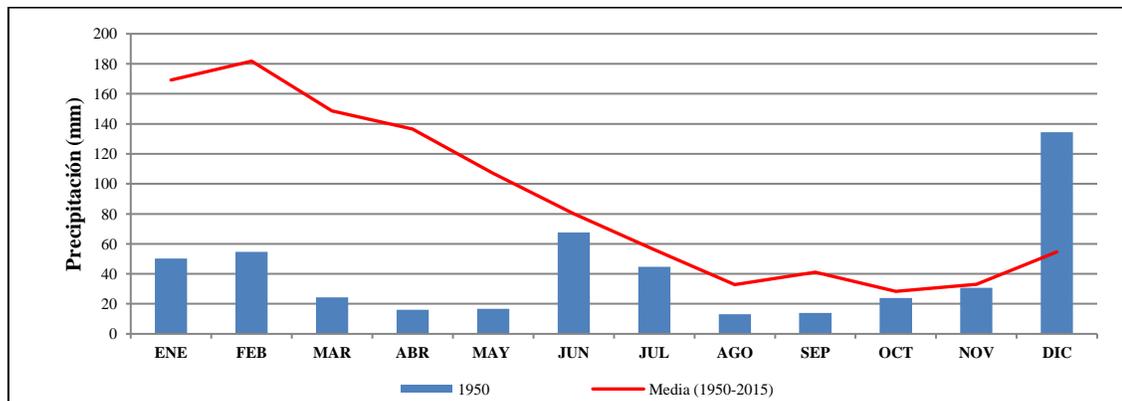


Fig. 130: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por el INAMHI en el periodo de estudio.

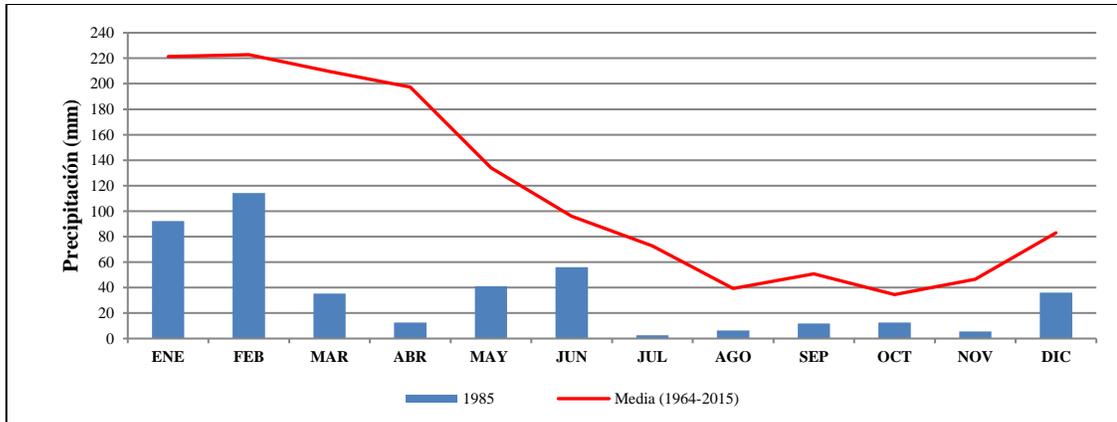


Fig. 131: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Teane. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por el INAMHI en el periodo de estudio.

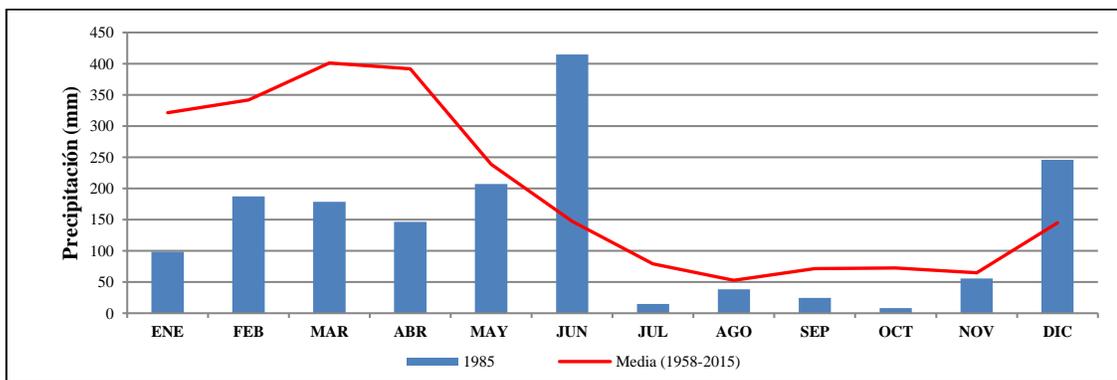


Fig. 132: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Quinindé. Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por el INAMHI en el periodo de estudio.

En 1950 la estación Sague registra una anomalía negativa de 578,6 mm con una precipitación media anual que no supera los 40,9 mm y una anomalía de -1,5 con respecto al ONI; los meses de mayor impacto de déficit de precipitación son los meses de agosto a octubre con precipitaciones medias mensuales que oscilan entre los 13 mm a los 23,8 mm (Fig. 133). Al igual que los anteriores años existe un impacto fuerte en el déficit de precipitaciones que no supera en la mayoría de los meses los valores de la media mensual de la estación (Fig. 134).

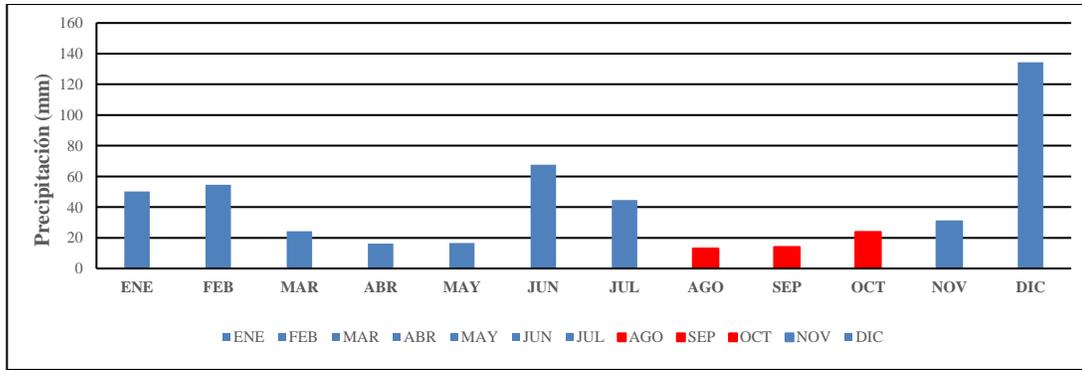


Fig. 133: Precipitaciones medias acumuladas mensuales (1950) de las estaciones meteorológicas del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI (Estación Sague).

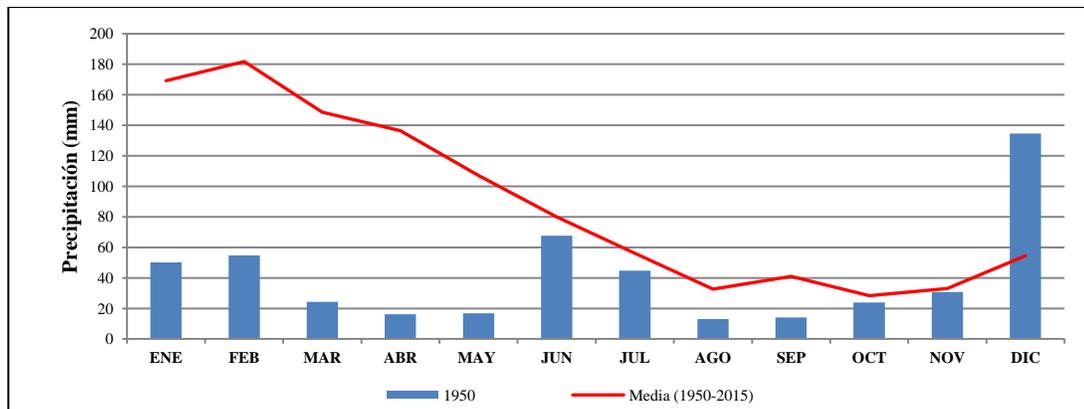


Fig. 134: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en el periodo de estudio.

A excepción de los eventos relacionados con los efectos del fenómeno de La Niña, las estaciones marcan una tendencia decreciente de precipitaciones en la cuenca en los diferentes periodos de monitoreo; a pesar de que el área de estudio ha sufrido eventos extremos de precipitación relacionados con el fenómeno de El Niño, la ausencia de precipitaciones en el transcurso de tiempo ha aumentado en especial en los últimos 15 años (Fig. 135). El déficit de precipitaciones, las bajas temperaturas, el aumento de la intensidad de los vientos, el uso no adecuado del suelo y el incremento en la tala de bosques en la cuenca ha implicado que la erosión de los suelos este catalogada como una amenaza natural media en la cuenca (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Esmeraldas , 2012, pág. 70).

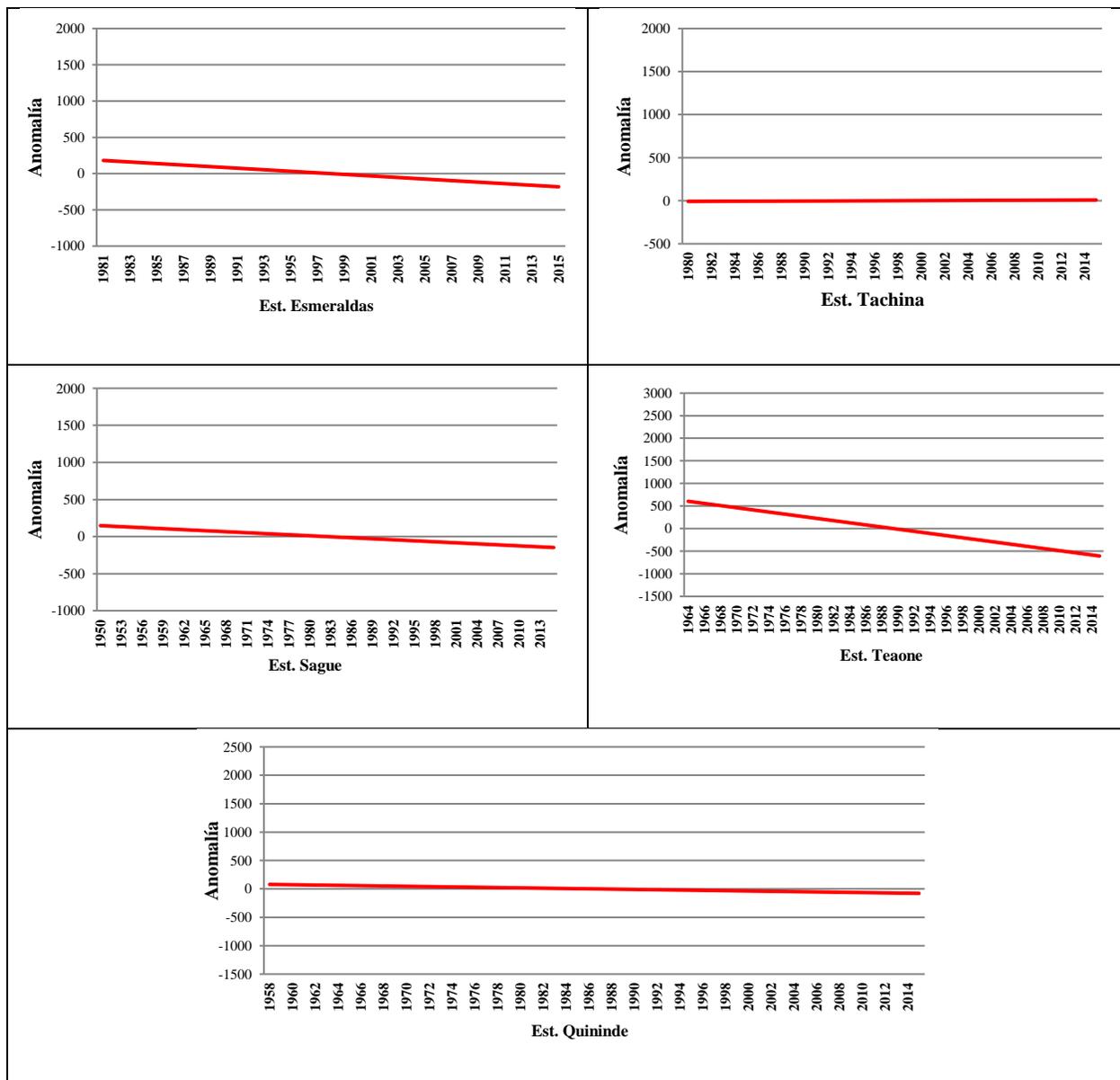


Fig. 135: Tendencias de las anomalías de precipitaciones en el periodo de registro de las estaciones meteorológicas del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INOCAR – Estación Esmeraldas, DAC – Estación Tachina, INAMHI – Estaciones Sague, Teane y Quinde.

En el periodo de 1958 a 1980 el sector de Rosa Zarate (estación Quindé) sufre una mayor ausencia de precipitaciones, con anomalías hasta los 946,4 mm debajo de la media del periodo (Fig. 136) en 1968, que coincide con el fuerte impacto que se produjo en la parte Sur del Ecuador debido a la ausencia de precipitaciones; la estación Quindé reporta meses con valores de precipitación mensual mínimo de 41,8 mm y máximo de 241 mm. La disminución de precipitaciones en este año está relacionada con la sequía más devastadora del siglo que sufrió la parte del Sur del Ecuador

con serias afectaciones agrícolas y ganaderas (PNUMA, I. Municipio de Loja, Naturaleza & Cultura Internacional, 2007, pág. 52) cuyos efectos se sintieron en el área de estudio.

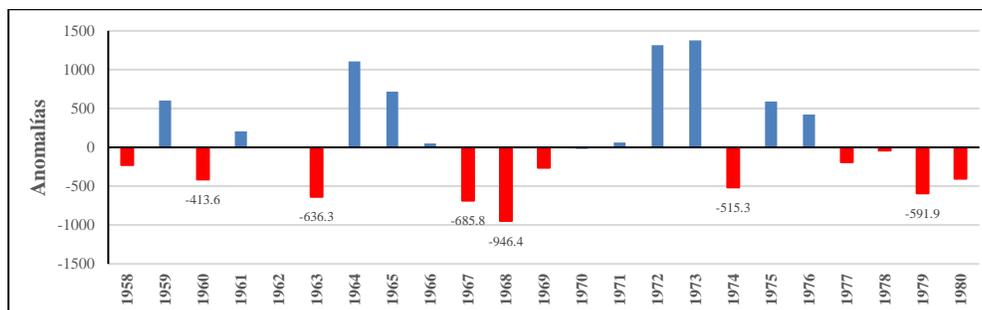


Fig. 136: Anomalías de precipitación de la estación Quinindé en el periodo de 1958 a 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI.

Las estaciones Teaone y Tachina en los años de 1990 y 1991 registran anomalías negativas hasta los 781,8 mm por debajo de la media al igual que en 1995 y en 1996 en donde se registran anomalías bajo la media máxima de 740,7 mm (Fig. 137), sin embargo, en los años siguientes 1997 y 1998 se produce el mayor evento del fenómeno de El Niño registrado en el país.

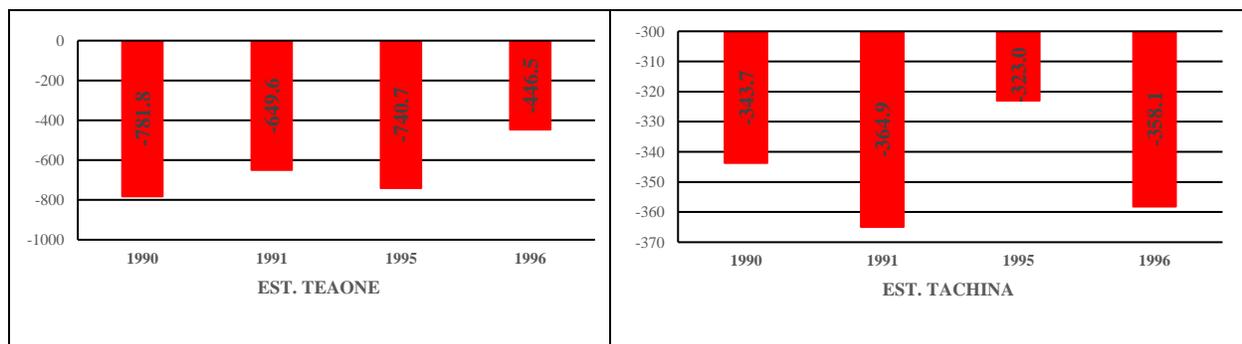


Fig. 137: Anomalías de precipitación 1990, 1991, 1995 y 1996. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el DAC (Estación Tachina) y INAMHI (Estación Teaone).

Del 2000 al 2015 exceptuando al 2011, se evidencia un déficit de precipitaciones en las estaciones de manera continua con anomalías máximas de 889,6 mm por debajo de la media, esta falta de precipitaciones provoca una ausencia de humedad en los suelos afectando directamente a las actividades agrícolas de la zona. A continuación, se expone gráficamente los periodos analizados en cada una de las estaciones y cómo es el nivel de magnitud que afecta al área de estudio (figuras 138 a 142):

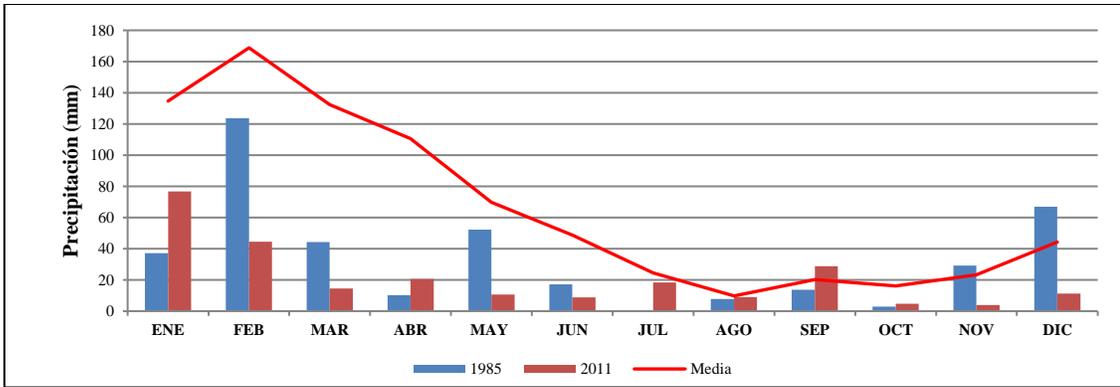


Fig. 138: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INOCAR en los años de 1985 y 2011.

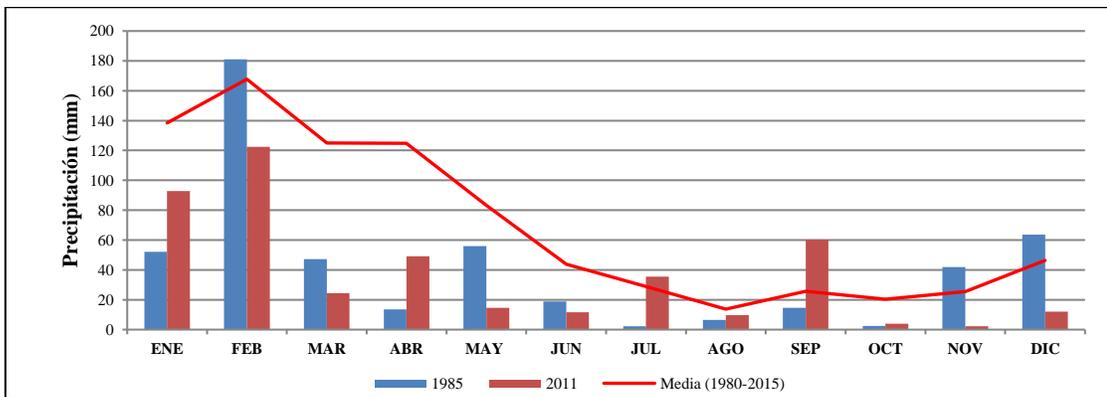


Fig. 139: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Tachina. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por la DAC en los años de 1985 y 2011.

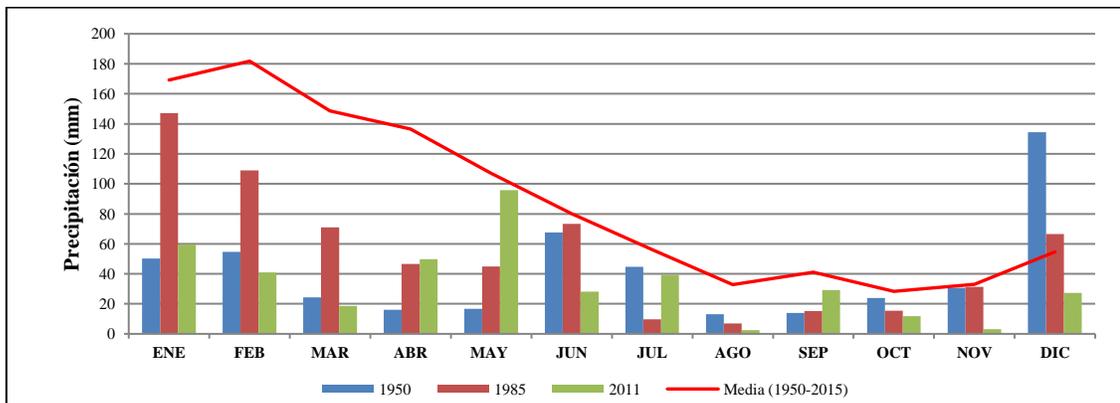


Fig. 140: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Sague. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1950, 1985 y 2011.

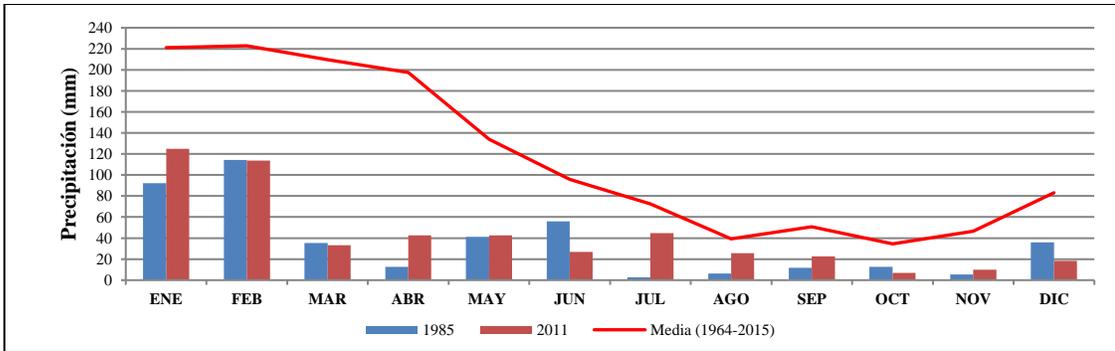


Fig. 141: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Teane. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1985 y 2011.

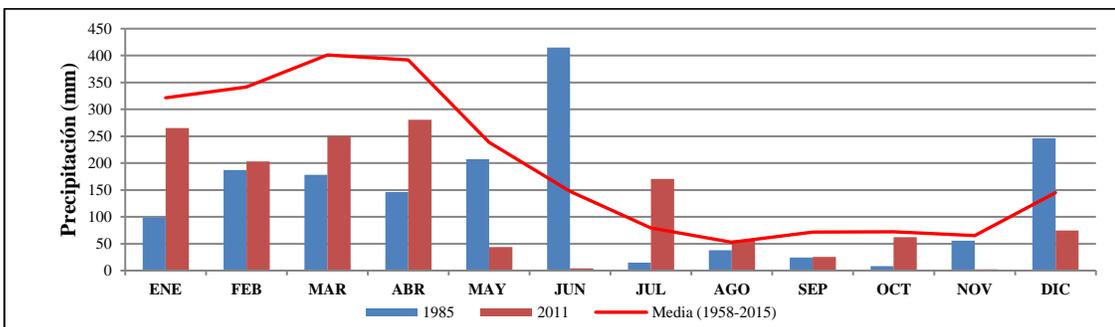


Fig. 142: Precipitaciones acumuladas mensuales con respecto a la media de la estación Quininde. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI en los años de 1985 y 2011.

Los diagramas ombrotérmicos permiten determinar las épocas lluviosas y secas mediante el análisis de las medias de precipitación y temperatura distribuidos a lo largo del año. Las figuras 143 y 144 identifican una época lluviosa en los meses de enero a mayo; las precipitaciones máximas se producen en los meses de enero y febrero como consecuencia de la presencia de la corriente cálida de Panamá o El Niño.

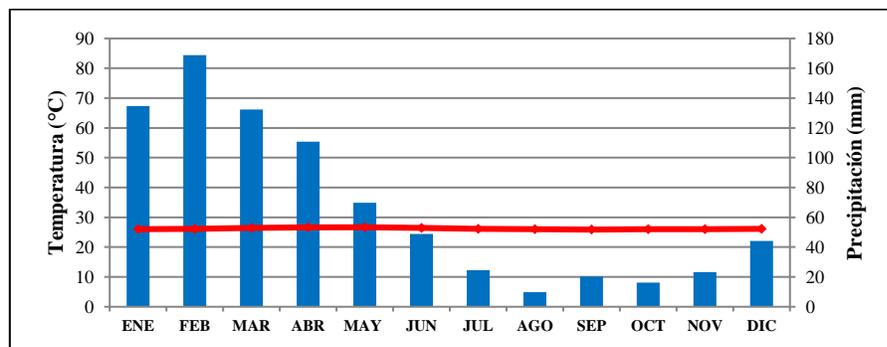


Fig. 143: Diagrama ombrotérmico de la estación Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INOCAR en el periodo de 1981 – 2015.

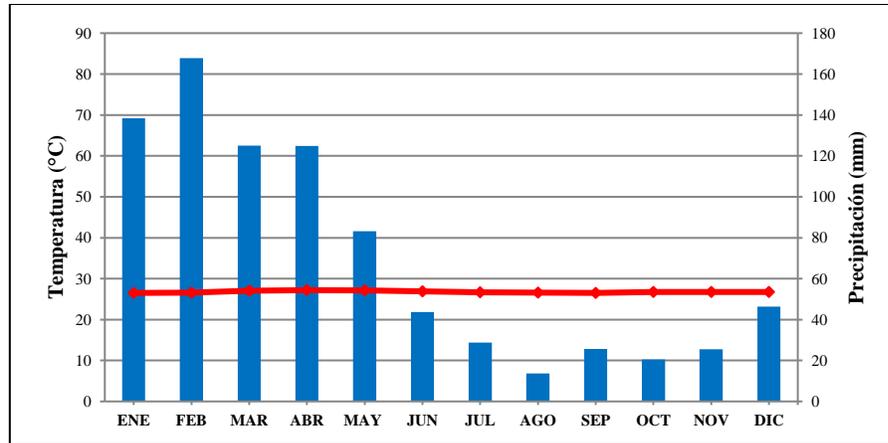


Fig. 144: Diagrama ombrotérmico de la estación Tachina. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por la DAC, en el periodo de 1980 – 2015.

La época relativamente seca, considerando que la cuenca se encuentra en una zona tropical húmeda, está definida desde el mes de junio a diciembre; los meses de agosto a octubre son los más secos debido al déficit de precipitaciones. Se debe considerar que los meses de junio y diciembre son meses de transición para el cambio de épocas debido a un decrecimiento y crecimiento respectivamente (Figs. 143 y 144).

Estos meses causan en el área de estudio una disminución de los caudales en los principales ríos de la cuenca complementado a la reducción de la condición hídrica del suelo; esta característica se debe a la influencia del incremento de los vientos alisios producidos en el anticiclón del Pacífico que desplaza las masas de aire de la costa ecuatoriana. La estación de Quinindé marca una época lluviosa de diciembre a junio y una época relativamente seca de julio a noviembre con presencia de precipitaciones moderadas (Fig. 145); los meses de máxima precipitación son los meses de marzo a abril, mientras que, los meses de menor precipitación suceden en el mes de agosto; esta diferencia de comportamiento se debe a la ubicación geográfica de las estaciones (Fig. 145).

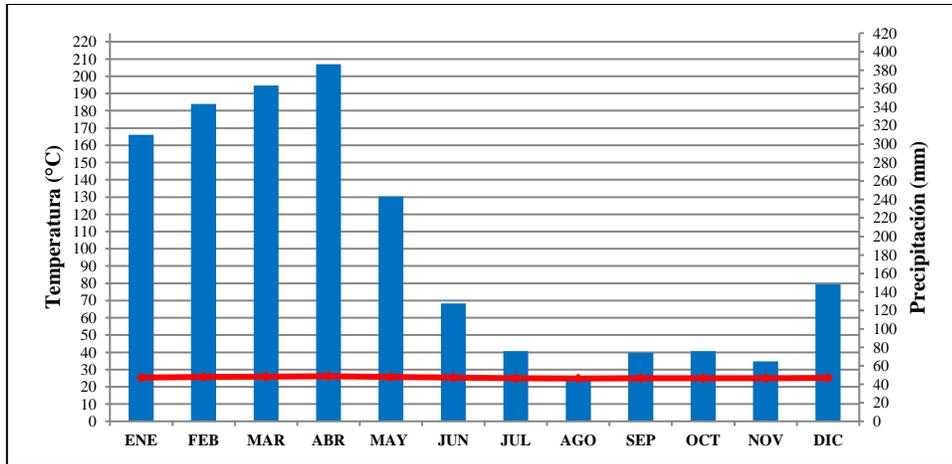


Fig. 145: Diagrama ombrotérmico de la estación Quindé. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información proporcionada por el INAMHI, en el periodo de 1978 – 2015.

CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE LA AMENAZA DE INUNDACION

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE LA AMENAZA DE INUNDACIÓN

1 Introducción

La teoría social del riesgo identifica diferentes dimensiones que facilitan el análisis de los niveles de riesgo a los que se encuentra expuesta cierta área geográfica en el campo social, económico, político, entre otros (Barrenechea, Gentile, González, & Natenzon, 2014, pág. 2). La amenaza es una de las variables y hace referencia a las condiciones físicas de la presencia en el territorio, su potencial peligro y su comportamiento en diferentes escenarios (Pérez, 2013, págs. 116, 117) (Barrenechea, Gentile, González, & Natenzon, 2014).

Las amenazas de inundación en la franja costera han sido definidas en diferentes estudios como recurrentes debido a que la variabilidad climática existente en la zona Litoral provoca de manera constante el desbordamiento de los ríos, producto del exceso de precipitación en las épocas invernales (Cruz D'howitt, 2017, pág. 85). El impacto de las inundaciones en el Ecuador Continental y en especial en la franja costera ha sido clasificado como muy grave; en los años de 1982-1983 las pérdidas económicas se cuantificaron en USD 640,6 millones, mientras que, en los años de 1997-1998 las pérdidas llegaron a los USD 3,9966 billones (Changjiang Institute of Survey Planning Design and Reserach - CISPDR, 2016, págs. 90, 91), todas estas relacionadas con el fenómeno de El Niño que tuvo un impacto en el PIB que superó el 15% y una afectación a más de nueve millones de personas en los últimos años (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 1998, pág. 11).

En el área de estudio, la amenaza de inundación se construye a partir de la información de variables obtenidas en el estudio morfométrico (Capítulo III, IV), análisis climatológico de la cuenca (Capítulo V) y de información histórica de eventos de inundación. Al analizar estas variables (morfométricas y de precipitación), se puede identificar con mayor precisión las áreas que son susceptibles a inundaciones, lo que resulta fundamental para que los gobiernos locales puedan establecer medidas preventivas adecuadas.

El principal iniciador para que se produzca la amenaza de inundación es el exceso de precipitación que ocurre en los periodos de invierno que se agudiza con la presencia del fenómeno de El Niño, el cual ocasiona serios impactos en el medio físico y social (Aguiló Alonso, y otros,

1996, pág. 343) (CLIRSEN, SENPLADES, MAGAP, 2012, pág. 15). La cuantificación de los niveles de precipitación que se generan en ciertos periodos de tiempo demuestra la magnitud a la que se encuentra expuesta la unidad hidrográfica y en consecuencia la población localizada en ella.

Como se analizó en los capítulos anteriores, en el área de estudio se registra información histórica de precipitaciones acumuladas anuales de hasta 3784,65 mm y mensuales de hasta 683,3 mm en años donde se registran graves inundaciones por el desbordamiento de los diferentes afluentes, en especial de los ríos Esmeraldas y Teaone. Adicionalmente, en este capítulo se analiza las intensidades de las precipitaciones de 24 horas y menores a través de los datos pluviográficos de la estación ubicada en el aeropuerto de Tachina (única que registra este tipo de información), sin embargo, se debe mencionar que la información para el análisis es muy limitada debido a que las estaciones ubicadas en el área de estudio no registran información de precipitaciones de 24 horas y menores.

La importancia de definir geográficamente la amenaza de inundación considerando las variables climatológicas, geomorfológicas y morfológicas se convierte en una fuerte herramienta para la toma de decisiones de los gobiernos nacionales, provinciales y locales en el planteamiento de soluciones que mitiguen los efectos de las inundaciones en la Unidad Hidrográfica 1521.

2 Materiales y métodos

Para el análisis de la amenaza por inundación se consideran dos aspectos fundamentales; en la primera parte se estudia el comportamiento de las precipitaciones en cada una de las estaciones y de manera global como un factor iniciador, y en una segunda parte se analizan las áreas físicas del terreno con mayor susceptibilidad a que se produzcan eventos de inundación. El área de estudio al ser parte de la cuenca baja del río Esmeraldas está constantemente influenciada por la presencia de precipitaciones extremas en las épocas de invierno, que se empeoran con la presencia del fenómeno de El Niño, ocasionando inundaciones con graves impactos en el campo social y económico.

2.1 Metodología para la determinación de la amenaza de inundación

La metodológica utilizada para la identificación de amenazas sigue el siguiente proceso esquemático (Fig. 146):

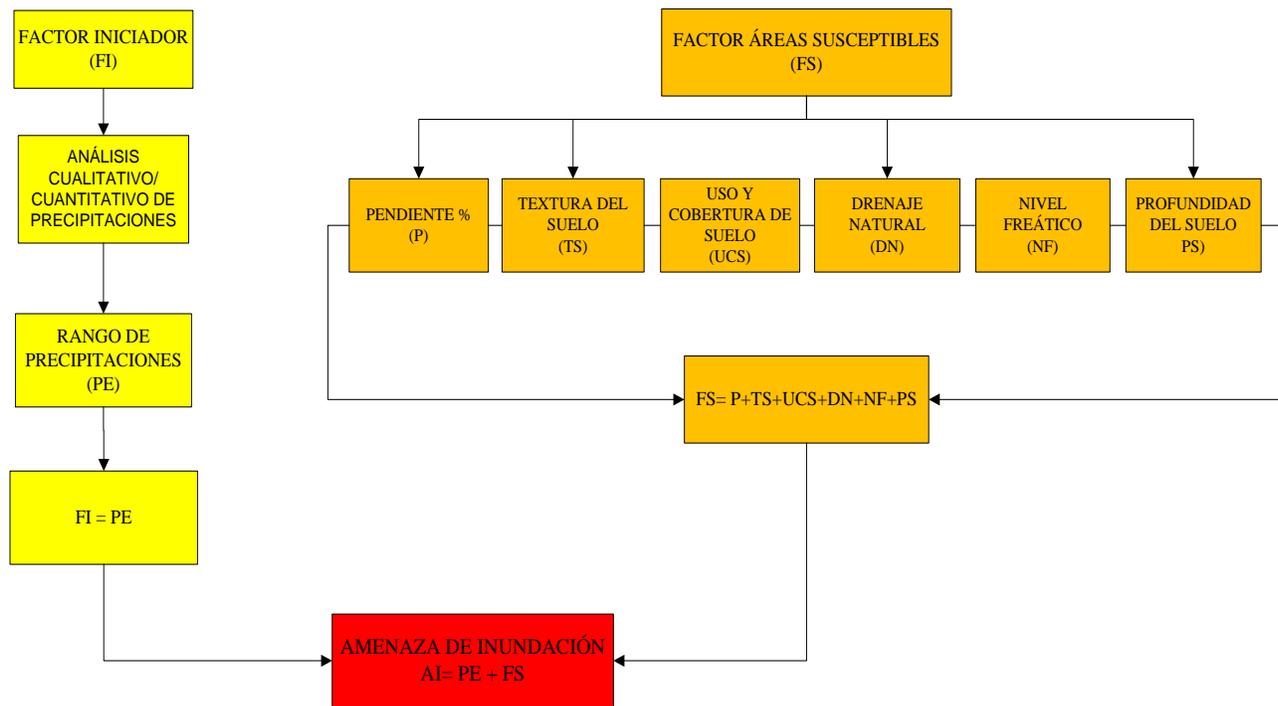


Fig. 146: Esquema metodológico para definición de la amenaza por inundación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información cuantitativa y cualitativa analizada en el capítulo III, IV y V.

La construcción de la amenaza por inundación está relacionada directamente con el comportamiento cualitativo-cuantitativo de las precipitaciones y de las variables físicas que condicionan la capacidad de respuesta ante eventos de inundación. La incorporación de las diferentes variables para el análisis de las áreas con mayor susceptibilidad a inundación ante la presencia de precipitaciones altas o extremas evita realizar un análisis sesgado al momento de definir las áreas.

2.1.1 Análisis del comportamiento cuantitativo

Para determinar el comportamiento de las precipitaciones durante el periodo de análisis (1980 a 2015) se emplea la siguiente metodología esquemática, de acuerdo a la figura 147:

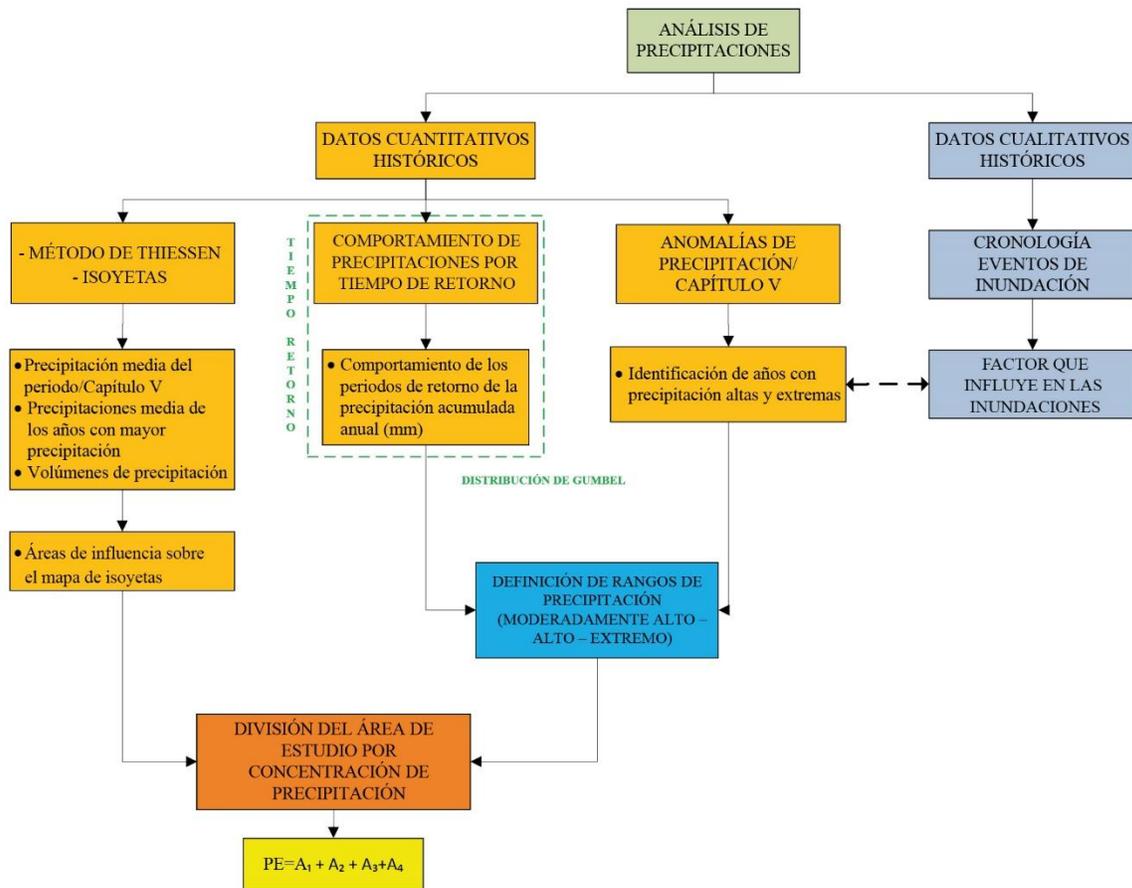


Fig. 147: Esquema metodológico para definición de precipitaciones moderadamente altas, altas y máximas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información cuantitativa y cualitativa analizada en el capítulo V.

El análisis del comportamiento de las precipitaciones estudiadas en el Capítulo V indica una influencia directa del fenómeno de El Niño en los eventos de mayor impacto; sin embargo, se debe considerar la existencia de fenómenos climáticos locales que producen variaciones significativas de precipitación en periodos cortos de tiempo. El análisis cuantitativo se realiza en un periodo de 35 años comprendido entre 1980 a 2015 por presentar una mayor solidez en los datos y es el lapso de tiempo en el cual todas las estaciones registran información en el periodo de estudio.

Para el inicio del análisis, se parte de las anomalías de precipitación (resultado de la diferencia de las precipitaciones anuales y del promedio del periodo de las precipitaciones) (Organización Meteorológica Mundial, 2017, pág. 16) realizado con la información de las estaciones que se encuentran ubicadas dentro y cerca del área de estudio, contrastado con las anomalías de superficie del mar (ONI); se identifica que en los años de 1982, 1983, 1997 y 1998

ocurren las mayores precipitaciones registradas en la actualidad. A pesar de ello, se debe considerar que el comportamiento de las precipitaciones no es uniforme; se registran valores diferentes de precipitación en ciertas áreas geográficas internas que son causantes de inundaciones, agudizándose o atenuándose, dependiendo de las características físicas del área.

Para el estudio de la relación entre las dos variables (anomalías de precipitación y ONI) se utiliza el análisis de correlación de Pearson que mide la intensidad de la relación lineal entre dos variables, sus valores de correlación pueden situarse entre -1 y +1; valores cercanos a los límites indican una correlación positiva o negativa intensa, al contrario, valores cercanos a cero indican una correlación positiva o negativa débil (Lind, Marchal, & Mason, 2004) (Restrepo B. & González, 2007). Se utiliza la siguiente ecuación para su cálculo (Spiegel, 1997) (Lind, Marchal, & Mason, 2004):

$$r = \frac{n(\Sigma XY) - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{\sqrt{[n(\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2)][n(\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2)]}} \quad (1)$$

n: Número de pares observados.

ΣX : Suma de los valores de la variable X.

ΣY : Suma de los valores de la variable Y.

(ΣX^2) : Suma de los cuadrados de los valores de la variable X.

$(\Sigma X)^2$: Cuadrado de la suma de los valores de la variable X.

$(\Sigma Y)^2$: Cuadrado de la suma de los valores de la variable Y.

(ΣY^2) : Suma de los cuadrados de los valores de la variable Y.

ΣXY : Suma de los productos de X y Y.

Se aplica una prueba de significancia del coeficiente de correlación (prueba t), utilizando la siguiente ecuación:

$$t = \frac{r \cdot \sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-r^2)}} \text{ con } n - 2 \text{ grados de libertad}$$

(2)

r: Coeficiente de correlación.

n: número de datos.

Se debe considerar los siguientes aspectos:

$H_0: \rho = 0$ (La correlación en la población es cero).

$H_1: \rho \neq 0$ (La correlación en la población es diferente de cero).

Si $t >$ valor crítico, rechazar H_0 .

Si $t \leq$ valor crítico, no rechazar H_0 .

Como se estudió en el capítulo V el método de Thiessen establece exclusivamente áreas de influencias de cada estación con su respectiva precipitación para luego obtener una precipitación media de la cuenca en el periodo analizado y determinar la precipitación ponderada en el área de estudio, información referencial que luego es contrastada con el mapa de isoyetas (Tabla 31):

ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN (mm)	ÁREA (Km ²)	PORCENTAJE ÁREA TOTAL	PRECIPITACIÓN PONDERADA (mm)
x1	P(x1)	A(x1)	$(A(x1) \cdot 100) / \sum A(X_n)$	$P(x1) \cdot A(x1) / \sum A(X_n)$
.
.
x4	P(x4)	A(x4)	$(A(x4) \cdot 100) / \sum A(X_n)$	$P(x4) \cdot A(x4) / \sum A(X_n)$
Total	$\sum P(X_n)$	$\sum A(X_n)$	$\sum (\%)$	$\sum ((x_n) \cdot A(x_n) / \sum A(X_n))$

Tabla 31: Metodología de Thiessen para la determinación de precipitación media ponderada de la Unidad Hidrográfica 1521. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la fundamentación matemática de diferentes autores.

Con los datos de las precipitaciones medias se calcula el volumen promedio de precipitaciones anuales del periodo de estudio y de los años con mayor precipitación (Ecuación 3):

$$Vp_x = (A_{c(m)^2} \times P_{t(m)}) \quad (3)$$

Vp: Volumen de precipitaciones de una cuenca del área de estudio.

Ac: Área de la cuenca hidrográfica (m²).

Pt: Precipitación promedio total de la cuenca (m).

La cuantificación de las precipitaciones en los diferentes periodos de análisis es de vital importancia para conocer y cuantificar el nivel de descarga de aguas lluvia sobre el área de estudio e identificar la susceptibilidad a inundaciones por efectos del comportamiento de las precipitaciones. El modelado en entorno SIG permitió realizar autocorrelaciones entre las estaciones meteorológicas de estudio generando medidas predictivas de precipitación en toda el área para la obtención de las respectivas isoyetas (Aguiló Alonso, y otros, 2014, págs. 862,863) (Zucarelli, Paris, & Macor, 2014, pág. 2) (ESRI, 2016); se empleó la ecuación (4):

$$\hat{Z}(S_o) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i) \quad (4)$$

Z (Si): Valor medido en la ubicación i.

λ_i : Ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación i.

So: Ubicación de la predicción.

N: Cantidad de valores medidos.

Considerando la variabilidad anual de los valores de precipitaciones en la unidad hidrográfica es esencial examinar la frecuencia con la que se presenta en el tiempo y el impacto que ha tenido sobre el área de estudio. Se debe considerar que la unidad hidrográfica al ser parte de la cuenca baja del río Esmeraldas presenta características físicas morfológicas (Capítulo V) que la hacen más vulnerable a la acción de los fenómenos hidrometeorológicos, tal como lo menciona el Plan Hidráulico Regional de Demarcación Hidrográfica Esmeraldas realizado por Changjiang Institute

of Survey Planning Design and Reserach (Changjiang Institute of Survey Planning Design and Reserach - CISPDR, 2016, pág. 92) en el que indica que: “...en el área de influencia de la estación Sague las características topográficas son relativamente planas donde se registran precipitaciones anuales de 2670 mm y 1150 mm respectivamente y por esta razón existen inundaciones continuas...”.

2.1.2 Comportamiento de las precipitaciones acumuladas por periodo de retorno

El comportamiento de las precipitaciones por periodo de retorno en el área de estudio se realizó considerando el siguiente esquema (Fig. 148):

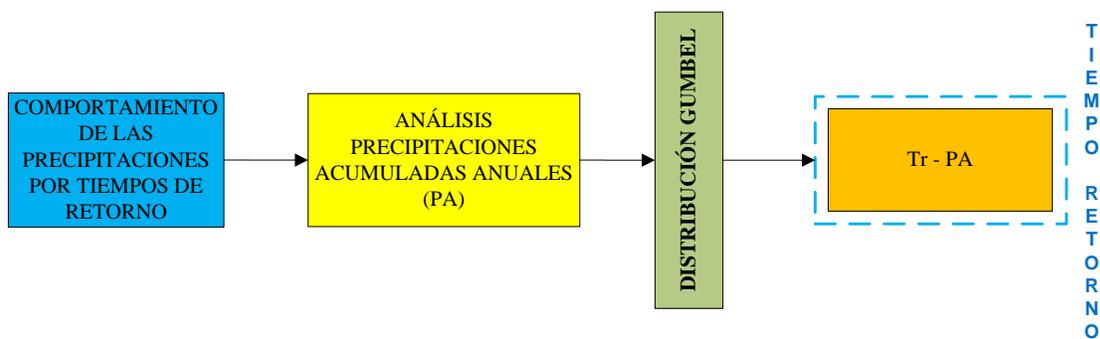


Fig. 148: Esquema metodológico para el análisis del comportamiento de las precipitaciones a menor escala. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información cuantitativa y cualitativa analizada en el capítulo V.

En la figura 146 se presenta el esquema a seguir para el cálculo de un evento extremo de inundación relacionado con la precipitación; de esta manera, un evento con un período de retorno T tiene una probabilidad de $1/T$ de ser igualada o excedida en un año determinado (Rojas Morales, 2011, págs. 8,21). El grado de magnitud de un fenómeno extremo está relacionado de forma inversa con su frecuencia de ocurrencia, las precipitaciones muy intensas ocurren con una frecuencia menor que las moderadas o débiles en los diversos periodos de tiempo (Guachamin, García, Arteaga, & Jorge, 2015, págs. 8,9).

Se aplicó la distribución de Gumbel para modelar o calcular con qué frecuencia (periodo de retorno) se presenta un valor extremo de precipitación mediante la aplicación de diversas ecuaciones (Tabla 32). Los resultados obtenidos serán esenciales al momento de establecer medidas de mitigación para prevenir los efectos de las inundaciones por parte de los gobiernos locales o regionales (Ramírez, Ghanem, & Lárez, 2006, pág. 190.196) (Bello Mendoza &

Velázquez Juárez, 2013, pág. 53) (Universidad de Salamanca, s.f.) (García Conde, 2013, págs. 39,40):

PARÀMETRO	ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
Función de distribución de probabilidad (FP)	$F(x) = e^{-e^{-(x-\mu)/\alpha}}$ (4)	Probabilidad de que se presente un valor igual o menor a x (Universidad de Salamanca, s.f.) (Pizarro, Cornejo, González, Macaya, & Morales, 2008, pág. 95).
μ	$\mu = \bar{X} - \mu_y \times \alpha$ (5)	Parámetros de ajuste (García Conde, 2013, pág. 39).
α	$\alpha = S_x / \sigma_y$ (6)	
μ_y, σ_y	-----	Valores pre-establecidos de acuerdo al número de datos de la serie analizada (Universidad de Salamanca, s.f.) (García Conde, 2013, pág. 39).
Media aritmética de las serie de datos (\bar{X})	$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{N}$ (7)	Media del conjunto de datos de la serie analizada.
Precipitación mayor a (FP)	$1 - F(x)$ (8)	Probabilidad de que se presente un valor de precipitación mayor a x (García Conde, 2013, pág. 39) .
Periodo de retorno (Tr)	$T_r = \frac{1}{1 - F(x)}$ (9)	Lapso de tiempo dentro del cual sería esperable que se produjese esa precipitación de valor x , también considerado como el número de años que en promedio se presenta un evento determinado de igual o mayor intensidad (Guachamin, García, Arteaga, & Jorge, 2015) (García Conde, 2013, pág. 39) (Ramírez, Ghanem, & Lárez, 2006, pág. 190).
Valor de precipitación en función de (Tr)	$X = -\ln(-\ln(F(x))) \times \alpha + \mu$ (10)	Valor extremo de precipitación de acuerdo al periodo de retorno establecido (García Conde, 2013, pág. 40) (Universidad de Salamanca, s.f.).

Tabla 32: Ecuaciones para determinar probabilidades de presentar mayor o menor precipitación con respecto a x , determinación de periodos de retorno y valores de precipitación en función del periodo de retorno, derivados de la distribución de Gumbel. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del planteamiento matemático de (Pizarro, Cornejo, González, Macaya, & Morales, 2008) (Ramírez, Ghanem, & Lárez, 2006) (Universidad de Salamanca, s.f.) (Rojas Morales, 2011, págs. 8,21) (García Conde, 2013, pág. 39) (Guachamin, García, Arteaga, & Jorge, 2015).

A partir de este análisis fue posible construir, en conjunto con otras variables, los rangos de precipitación en los cuales podría suceder un evento de inundaciones, al contrario, se toma como referencia la frecuencia de los periodos de retorno y se calculan las precipitaciones altas y máximas estimadas, mediante la ecuación (10) de la tabla 32. Estos valores serán referenciales en el establecimiento de rangos en los cuales se clasifican las precipitaciones normales, medias y extremas a las que se encuentra expuesta la unidad hidrográfica.

Para evitar un sesgo en la determinación del grado de amenaza por inundación en el parámetro de precipitación y considerando que las estaciones del área de estudio registran diferentes valores de acuerdo a su ubicación geográfica, se establecieron cuatro áreas de influencia definidas por el método de Thiessen. En la parte Norte del área de estudio se estableció una sola área de influencia delimitada por la colindancia con el Océano Pacífico y conformada por las estaciones de Esmeraldas y Tachina; en la parte Centro-Norte el área de influencia se materializa por la estación Sague; en el Centro-Sur el área de influencia corresponde a la estación Teaone que agrupa a la población marginal que se encuentra ubicada en las orillas del río Teaone; y en la parte Sur el área de influencia está definida por la estación Quinindé.

2.1.2.1 Determinación de los rangos de precipitación

A partir de los resultados obtenidos en las anomalías de precipitación y del comportamiento de los periodos de retorno se definieron diferentes rangos de precipitación entre los cuales se consideran los altos y extremos ocurridos en las épocas invernales o cuando se presenta el fenómeno de El Niño. El área de estudio, como se expresó anteriormente, por su ubicación geográfica presenta una variedad climática definida por diversos factores que impiden definir un patrón específico de las precipitaciones.

Se debe considerar que varios estudios relacionados con inundaciones se inician con el estudio del comportamiento de las precipitaciones en un periodo específico y que son consideradas como un factor detonante o iniciador (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2018, pág. 10); en la presente investigación se empleó el siguiente proceso esquemático (Fig. 149):

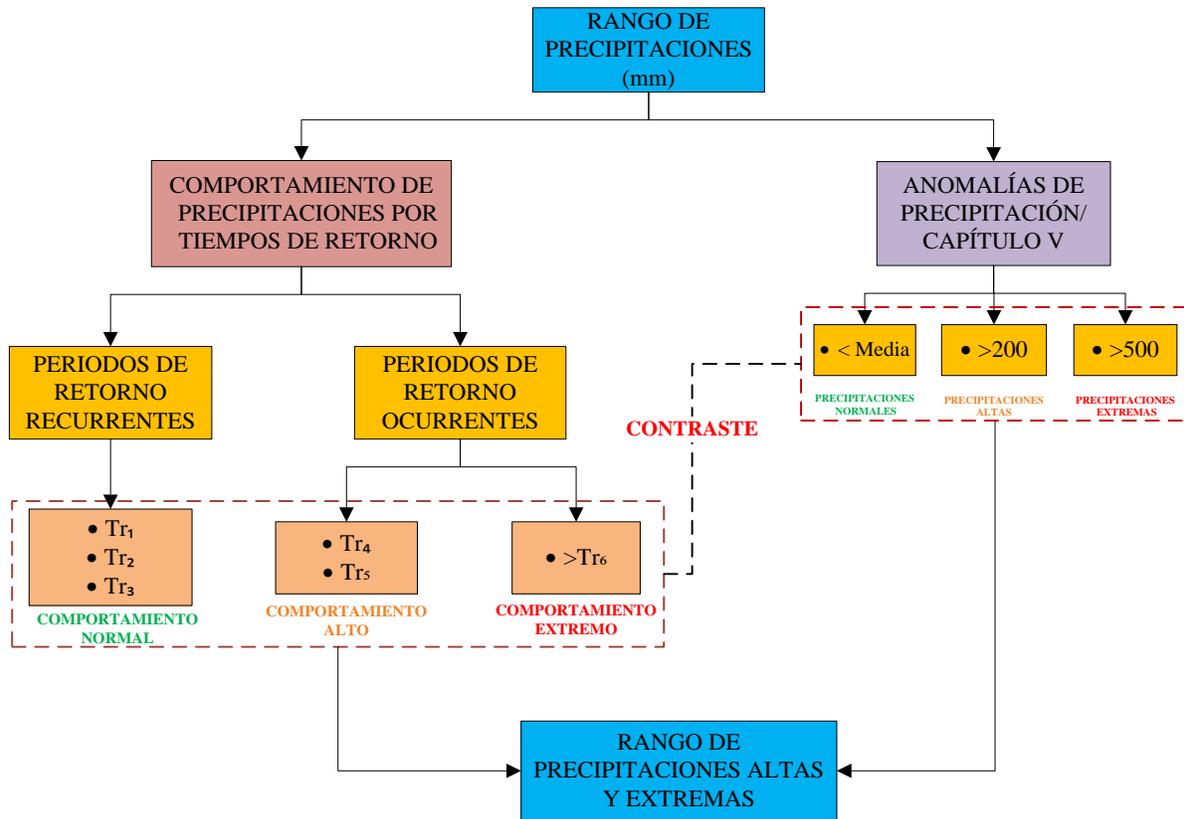


Fig. 149: Esquema metodológico para la definición de precipitaciones altas y extremas a través de los periodos de retorno y anomalías de precipitación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información cuantitativa de las estaciones Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone y Quininde.

2.1.3 Análisis histórico cualitativo de inundaciones

Los registros históricos de las precipitaciones evidencian la magnitud de las inundaciones en el área de estudio; este análisis se realizó con base en dos componentes: el primero relacionado con la información obtenida en la base de datos DesInventar y el segundo por investigación en los medios de comunicación local, estudios técnicos y publicaciones científicas. La base de datos DesInventar contiene la recopilación de información de desastres de diferente magnitud; su información se respalda en reportes oficiales de las instituciones públicas y privadas de los estados que la conforman (Corporación OSSO, La RED, UNDRR, s.f.); esta base se ve complementada por la segunda fuente de información en años en los cuales la base de datos DesInventar no registra información.

El resultado de las dos fuentes de información permitió crear una base de datos histórica de los principales eventos adversos que impactaron en el área de estudio; esta información sirve para

identificar el factor que más influye cuando ocurren inundaciones considerando la exposición ante los fenómenos hidrometeorológicos. La identificación de los años donde se producen eventos de inundación producto de la intensidad de las precipitaciones validará el análisis cuantitativo del comportamiento de las anomalías de precipitación que se relacionan con la presencia del fenómeno de El Niño o fenómenos climáticos locales.

La ocurrencia en los registros históricos relacionados con las precipitaciones fue representada espacialmente dentro del área de estudio.

2.2 Definición de áreas susceptibles a inundación

El análisis de las áreas susceptibles a inundación se realiza a partir de las características morfológicas de la unidad hidrográfica, de acuerdo al esquema presentado en la figura 150:

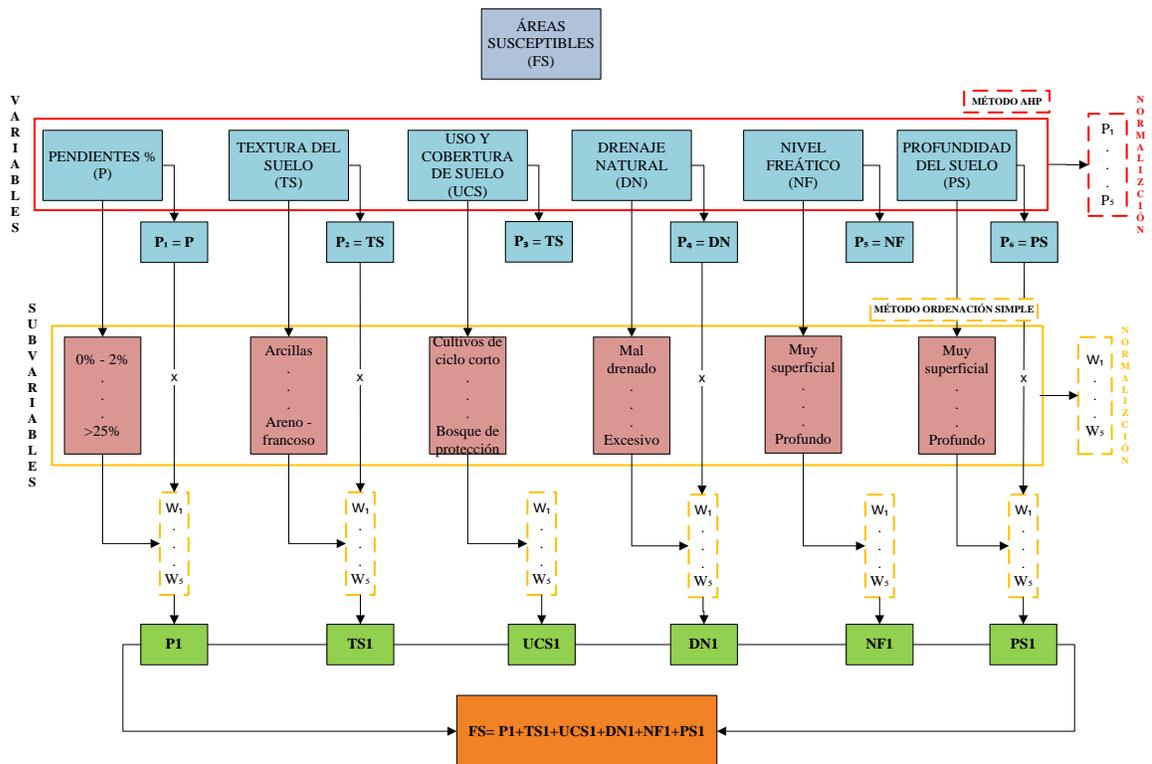


Fig. 150: Esquema metodológico para la determinación de áreas susceptibles a inundación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información del Capítulo IV.

El proceso para la determinación inicia con la selección de las variables y su importancia en la definición de la susceptibilidad a inundaciones derivadas del análisis morfológico de la cuenca, siguiendo el planteamiento definido por el nivel de influencia (Tabla 33).

VARIABLES	IMPORTANCIA	
V1	1	Mayor importancia
V2	2	
V3	3	
.	.	
.	.	
Vn	In	Menor importancia

Tabla 33: Tabla para definir la importancia de las variables y su ubicación en la matriz de comparación pareada.
Fuente: Elaboración propia, sobre la base del establecimiento de un AHP modificado.

Establecidas las variables y la importancia de cada una en la construcción de áreas susceptibles a inundación, se aplican criterios multivariantes para asignar una ponderación a cada uno de los elementos que la conforman. Para la aplicación de criterios multivariantes se emplea el proceso analítico jerárquico (Analytic Hierarchy Process – AHP) desarrollado por el Profesor Thomas L. Saaty y que se ajusta al campo de inundaciones.

Para iniciar la construcción de un modelo AHP se debe considerar en primera instancia el establecimiento de un objetivo/problema, variables, sub-variables, matrices e indicadores de coherencia. En lo que respecta al objetivo/problema en nuestro caso de estudio, es el de buscar la forma más adecuada para determinar las áreas susceptibles a inundación considerando diferentes criterios particulares de la unidad hidrográfica.

El proceso AHP es una herramienta matemática que facilita la incorporación, jerarquización e importancia de variables cualitativas y cuantitativas en la construcción de un escenario de inundación producido por el exceso de precipitación (Tascón González, 2017, pág. 88). Al ajustar la metodología AHP a un escenario de inundación se tiene que propiciar una ponderación (vector de pesos) para determinar el grado de influencia de las variables/criterios que intervienen en el proceso de construcción de las áreas susceptibles a inundación a través del empleo de matrices de comparación pareadas y una escala fundamental para la comparación por pares (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012, págs. 124, 125, 126).

La aplicación de un AHP modificado para la presente investigación se inicia con la definición de las variables, jerarquización e importancia en la que se construye la matriz de comparación por pares (Tablas 34). Para el inicio de la construcción de la matriz pareada, es necesario asignar un valor de ponderación entre cada una de las variables a partir de la escala fundamental de comparación por pares, establecida por el mismo Saaty (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012, pág. 125), la cual define con qué nivel de importancia se relacionan las variables (Tabla 32).

ESCALA NUMÉRICA	COMENTARIO
1	a es igualmente importante que b
3	a es ligeramente más importante que b
5	a es más importante que b
7	a es bastante más importante que b
9	a es extremadamente más importante que b
VALORES INTERMEDIOS	
2	a es entre igualmente y ligeramente más importante que b
4	a es entre ligeramente y más importante que b
6	a es entre más importante y bastante más importante que b
8	a es entre más importante y extremadamente más importante que b

Tabla 34: Escala fundamental de comparación por pares. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la fundamentación teórica de varios actores (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012) (Tascón González, 2017) (Ávila Mogollón, 2000) (Celemín, 2014) (Luna Loayza, Almanza Ascue, & Mamani, 2020) (Mastrandrea & Angeles, 2020).

La matriz de comparación pareada cuadrada de $m \times n$ (formada a partir de la escala fundamental de comparación por pares) (Tabla 35) cumple con las siguientes reglas:

- a. Si $a_{ij} = a_{ji}$, entonces $V_{1...n} = 1$.
- b. Si $a_{ij} = a_2$, entonces $a_{ji} = \left(\frac{1}{a_2}\right)$; dentro del rango de la escala fundamental.

VARIABLES	V_1	V_2	V_3	V_4	V_n
V_1	1	$a_{1,2}$	$a_{1,3}$	$a_{1,4}$	a_{1n}
V_2	$\left(\frac{1}{a_{1,2}}\right)$	1	$a_{2,3}$	$a_{2,4}$	a_{2n}
V_3	$\left(\frac{1}{a_{1,3}}\right)$	$\left(\frac{1}{a_{2,3}}\right)$	1	$a_{3,4}$	a_{3n}
V_4	$\left(\frac{1}{a_{1,4}}\right)$	$\left(\frac{1}{a_{2,4}}\right)$	$\left(\frac{1}{a_{3,4}}\right)$	1	$\left(\frac{1}{a_{4n}}\right)$
V_n	$\left(\frac{1}{a_{1n}}\right)$	$\left(\frac{1}{a_{2n}}\right)$	$\left(\frac{1}{a_{3n}}\right)$	a_{4n}	1

Tabla 35: Matriz de comparación de pares. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la fundamentación teórica del método AHP (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012) (Tascón González, 2017) (Ávila Mogollón, 2000) (Celemín, 2014) (Luna Loayza, Almanza Ascue, & Mamani, 2020) (Mastrandrea & Angeles, 2020).

Para normalizar la matriz de comparación pareada se emplea el método de normalización por la suma cuyo resultado es el cociente entre la sumatoria de cada elemento de la variable por la sumatoria total de cada variable (columna); esta acción facilita conservar la proporcionalidad de cada una de las variables (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012, págs. 33,34), (Tablas 36 y 37):

VARIABLES	V_1	V_2	V_3	V_4	V_n
V_1	1	$a_{1,2}$	$a_{1,3}$	$a_{1,4}$	a_{1n}
V_2	$\left(\frac{1}{a_{1,2}}\right)$	1	$a_{2,3}$	$a_{2,4}$	a_{2n}
V_3	$\left(\frac{1}{a_{1,3}}\right)$	$\left(\frac{1}{a_{2,3}}\right)$	1	$a_{3,4}$	a_{3n}
V_4	$\left(\frac{1}{a_{1,4}}\right)$	$\left(\frac{1}{a_{2,4}}\right)$	$\left(\frac{1}{a_{3,4}}\right)$	1	$\left(\frac{1}{a_{4n}}\right)$
V_n	$\left(\frac{1}{a_{1n}}\right)$	$\left(\frac{1}{a_{2n}}\right)$	$\left(\frac{1}{a_{3n}}\right)$	a_{4n}	1
$\sum_{j=1}^n a_{ij}$	$\sum_{j=1}^n V_1$	$\sum_{j=1}^n V_2$	$\sum_{j=1}^n V_3$	$\sum_{j=1}^n V_4$	$\sum_{j=1}^n V_n$

Tabla 36: Procedimiento inicial para la normalización de la matriz de comparación pareada. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la fundamentación teórica del método AHP.

VARIABLES	V_1	V_2	V_3	V_n	V_S	V_P
V_1	$\left(\frac{a_{1,1}}{\sum_{j=1}^n V_1}\right)$	$\left(\frac{a_{1,2}}{\sum_{j=1}^n V_2}\right)$	$\left(\frac{a_{1,3}}{\sum_{j=1}^n V_3}\right)$	$\left(\frac{a_{1,n}}{\sum_{j=1}^n V_n}\right)$	$a_{1,n} = \Sigma \left(\left(\frac{a_{1,1}}{\sum_{j=1}^n V_1} \right) + \dots + \left(\frac{a_{1,n}}{\sum_{j=1}^n V_n} \right) \right)$	$\frac{a_{1,n}}{\# \text{ variables}}$
V_2	-	-	-	-	-	-
V_3	-	-	-	-	-	-
V_n	$\left(\frac{a_{n,1}}{\sum_{j=1}^n V_1}\right)$	$\left(\frac{a_{n,2}}{\sum_{j=1}^n V_2}\right)$	$\left(\frac{a_{n,3}}{\sum_{j=1}^n V_3}\right)$	$\left(\frac{a_{n,n}}{\sum_{j=1}^n V_n}\right)$	$a_{n,n} = \Sigma \left(\left(\frac{a_{n,1}}{\sum_{j=1}^n V_1} \right) + \dots + \left(\frac{a_{n,n}}{\sum_{j=1}^n V_n} \right) \right)$	$\frac{a_{n,n}}{\# \text{ variables}}$
	$\sum_{j=1}^n V_1 = 1$	$\sum_{j=1}^n V_2 = 1$	$\sum_{j=1}^n V_3 = 1$	$\sum_{j=1}^n V_n = 1$		

Tabla 37: Normalización de la matriz de comparación pareada. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la fundamentación teórica de varios actores del método AHP (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012) (Tascón González, 2017) (Ávila Mogollón, 2000) (Celemín, 2014) (Luna Loayza, Almanza Ascue, & Mamani, 2020) (Mastrandrea & Angeles, 2020).

Para la obtención del vector de pesos relativos (V_P) de cada variable, se calculó el vector suma (V_S) a partir de la sumatoria de cada fila (m) de la matriz pareada para luego dividir la cantidad de variables establecidas en la matriz de comparación; estos valores (V_P) definirán el grado de influencia de cada una de las variables con sus respectivos pesos en la construcción de las áreas susceptibles a inundación. Para que el vector de pesos relativos (V_P) se pueda utilizar en cada una de las variables es importante el análisis y medición del grado de consistencia o coherencia en la asignación de los pesos a cada una de las variables de la matriz de comparación pareada.

Para validar la asignación correcta de los pesos de las variables se evalúa el grado de consistencia de la matriz, considerando los siguientes aspectos:

1. Cálculo del Índice de Consistencia (IC):

$$IC = \left(\frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \right) \tag{11}$$

λ_{max} : El promedio de la división del vector promedio final (V_{Pf}) y el vector de pesos relativos (V_P) de cada una de las variables.

V_{pf} : Resultado de la multiplicar la matriz de comparación pareada (Tabla 33) por el vector de pesos relativos (V_p)

n: Número de variable de la matriz de comparación pareada.

2. Cálculo de la Proporción de Consistencia (PC) (fórmula):

$$PC = \left(\frac{IC}{CA} \right) \tag{12}$$

IC: Índice de consistencia.

CA: Valores de consistencia aleatoria de la matriz en función de la dimensión de la misma (Tabla 38):

MATRIZ -DIMENSIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ÍNDICE DE CONSISTENCIA ALEATORIA (CA)	0.00	0.00	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Tabla 38: Valores de consistencia aleatoria en función de la dimensión d la matriz. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la fundamentación teórica de varios actores del método AHP (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012) (Tascón González, 2017) (Ávila Mogollón, 2000) (Celemín, 2014) (Luna Loayza, Almanza Ascue, & Mamani, 2020) (Mastrandrea & Angeles, 2020).

El valor de proporción de consistencia (PC) marca el grado de consistencia o incoherencia de la matriz de ponderación pareada, validando la correcta ponderación a cada una de las variables; los valores de la tabla 39 dependen del tamaño de la matriz que se construye en función del número de las variables consideradas en el estudio:

TAMAÑO DE LA MATRIZ	PROPORCION DE CONSISTENCIA
3	5%
4	9%
>5	10%

Tabla 39: Porcentajes máximos permitidos para la proporción de consistencia de acuerdo al tamaño de la matriz. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la fundamentación teórica de varios actores del método AHP (Aznar

Bellver & Guijarro Martínez, 2012) (Tascón González, 2017) (Ávila Mogollón, 2000) (Celemín, 2014) (Luna Loayza, Almanza Ascue, & Mamani, 2020) (Mastrandrea & Angeles, 2020).

Finalizada la asignación de pesos a las variables, a continuación, se asignan pesos a las subvariables que corresponden a las características físicas de cada una; se emplea la metodología de ordenación simple, cuyo concepto se basa en la asignación de mayor peso a los criterios de las subvariables de mayor impacto y viceversa. La asignación de pesos se realizó en un rango cuantitativo de 1 a 5 entre: alto, moderadamente alto, medio, moderadamente bajo y bajo.

La normalización de estos valores se hizo en base a la sumatoria total de los pesos promediados por cada criterio de las subvariables; para la definición de los pesos se tomó como referencia la clasificación geopedológica del IEE (CLIRSEN, SENPLADES, MAGAP, 2012, pág. 66) de ciertas variables realizadas. La construcción de la matriz se elaboró tomando en consideración los aspectos de la tabla 40.

		PESOS					
		5	4	3	2	1	
		PESOS NORMALIZADOS					
		Pesos AHP	0.333	0.267	0.200	0.133	0.067
Variables	V ₁	P ₁	W ₅	-	-	-	W ₁
	V ₂	P ₂	W ₅	-	-	-	W ₁
	V ₃	P ₃	W ₅	-	-	-	W ₁
	V ₄	P ₄	W ₅	-	-	-	W ₁
	V ₅	P ₅	W ₅	-	-	-	W ₁
	V ₆	P ₆	W ₅	-	-	-	W ₁
		Criterio de las Subvariables					

Tabla 40: Clasificación de las variables y sus criterios de acuerdo a los rangos de ponderación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis de las variables consideradas en la Tabla 31.

2.3 Determinación de la amenaza por inundación

La delimitación geográfica de la amenaza por inundación en el Unidad Hidrográfica 1521 inicia a partir de los resultados obtenidos del factor iniciador (precipitación) y de las áreas susceptibles. La construcción o definición se realizó mediante la aplicación de una matriz lógica de doble entrada utilizada para la planificación y evaluación de estudios del medio físico (Aguiló Alonso, y otros, 1996, pág. 567) que se adapta bajo los mismos principios para la determinación del grado de amenaza de inundación.

La asignación o determinación del nivel de amenaza inicia con el planteamiento utilizado en los diferentes estudios que se relacionan con la evaluación de las amenazas hídricas y de erosión. Para la presente investigación se realizaron ciertas modificaciones conceptuales a partir del empleo de una matriz de doble entrada derivada de la matriz lógica ajustada a la realidad física del área de estudio (Aguiló Alonso, y otros, 1996, pág. 567); partiendo de la relación presentada en la tabla 41.

	H	M	L
H	A	A	B
M	A	B	C
L	B	C	C

Tabla 41: Relación del grado de vulnerabilidad entre dos variable. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del autor (Aguiló Alonso, y otros, 1996).

- Donde, las variables se catalogan:
H: Alta susceptibilidad.
M: Media.
L: Baja.
- Grados de vulnerabilidad:
A: Más vulnerable.
B. Medio.
C: Menos vulnerable.

El análisis matricial se elaboró basado en el siguiente esquema (Fig. 151):

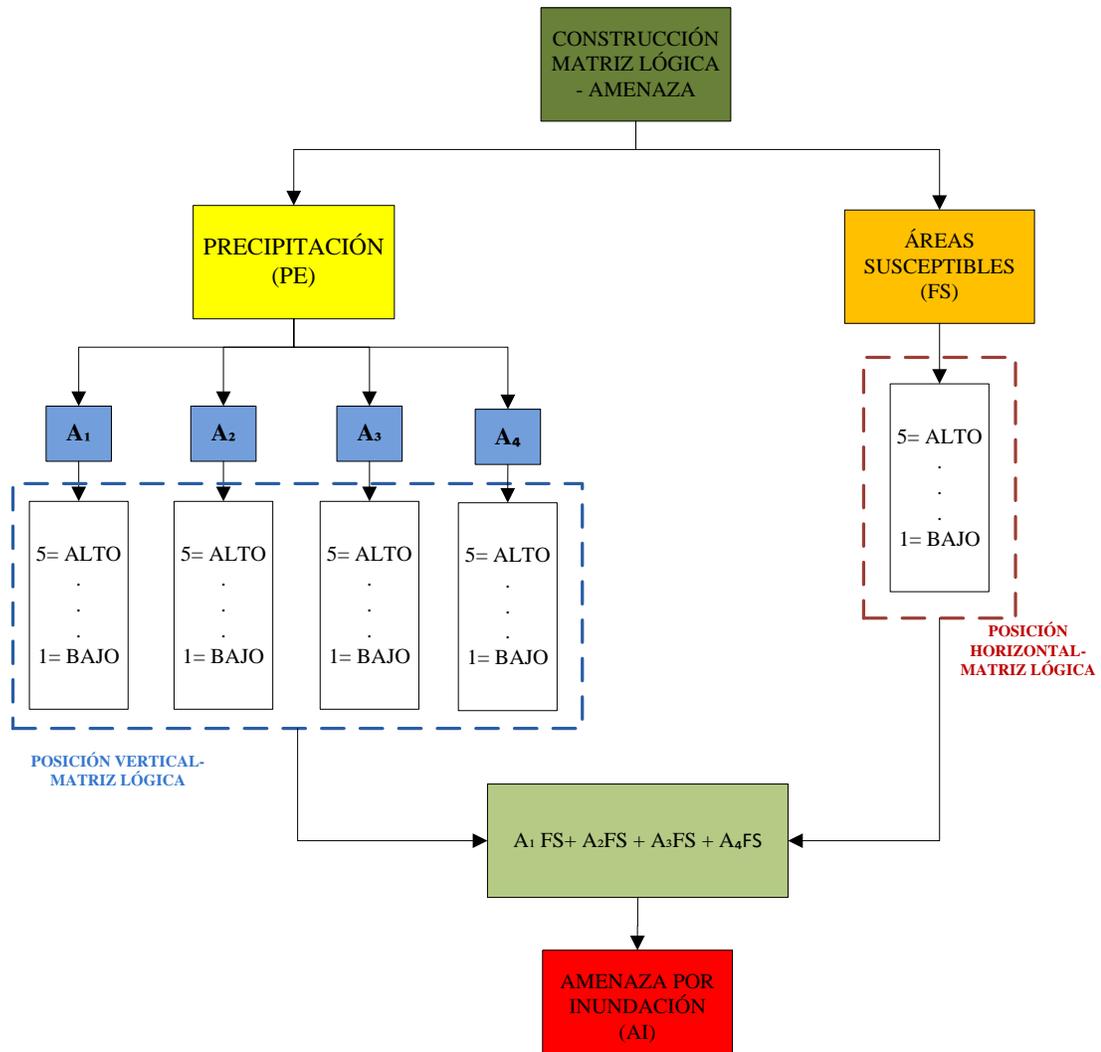


Fig. 151: Esquema metodológico para la determinación de áreas susceptibles a inundación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información del Capítulo IV.

Para la evaluación final de la amenaza de inundación se aplicó una matriz de doble entrada considerando las precipitaciones y las áreas susceptibles, realizando una evaluación entre los diferentes grados de amenaza de cada variable de acuerdo a la tabla 42.

		ÁREAS SUSCEPTIBLES				
		BAJO (1)	MODERADAMENTE BAJO (2)	MEDIO (3)	MODERADAMENTE ALTO (4)	ALTO (5)
PRECIPITACIONES	BAJO (1)	BAJO	.	.	.	-
	MODERADAMENTE BAJO (2)	.	MODERADAMENTE BAJO	.	.	-
	MEDIO (3)	.	.	MEDIO	.	-
	MODERADAMENTE ALTO (4)	.	.	.	MODERADAMENTE ALTO	.
	ALTO (5)	ALTO

Tabla 42: Calificación de los grados para la determinación de la amenaza por inundación en la matriz de doble entrada. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de (Ministerio del Ambiente, MINAN 2009, 2010) (Acuña, 2012) (IEE, MAGAP, 2012) (Olivares Mendoza, Koh Romero, Prezas Hernández, & Pereira Corona, 2016) (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2018).

2.4 Cálculo de intensidades de precipitación de 24 horas y menores

El análisis de las intensidades de precipitaciones está condicionado por la información disponible y existente en el área de estudio; en este caso ninguna de las estaciones pluviométricas que se encuentran dentro o cercana a la Unidad Hidrográfica 1521 registra información de precipitación de 24 horas o menores. El análisis de las intensidades máximas de precipitación se lo realiza con la única estación pluviográfica ubicada en el aeropuerto de Tachina (M058) junto con la estación pluviométrica existente en el lugar (estación Tachina).

La obtención de los valores extremos de precipitación son obtenidos a partir de las fajas de registros pluviográficos para duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360 y 1440 minutos (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2019) que posteriormente son analizadas en los diferentes periodos de retorno. La limitación en la información de precipitaciones (24 horas y menores), considerando que solo existe una estación con información, restringe la generación de mapas de intensidades de diferente duración y periodo de retorno en el área de estudio que puedan ser incorporados en la metodología para el análisis de la amenaza.

Esta limitación que podría ser solventada en los siguientes años por parte del INAMHI será de base fundamental para las futuras investigaciones que se realicen a partir de la información

generada en la presente investigación. La intensidad de precipitación está relacionada con la cantidad de agua de lluvia que cae en un área determinada por unidad de tiempo ($mm \times h^{-1}$) y que es inversamente proporcional a la duración de la tormenta (Monsalve Sáenz, 1999) (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2019). Para el cálculo de las intensidades de lluvia en función del periodo de retorno y duración se emplea las siguientes ecuaciones de la tabla 43:

PARÀMETRO	ECUACIÓN		DESCRIPCIÓN
Intensidad máxima i_{max}	$i_{max} = \frac{P}{t}$	P: Precipitación (mm). t: Duración (h). i_{max}: Intensidad máxima (mm).	Cantidad de agua lluvia que cae en un punto por unidad de tiempo (Monsalve Sáenz, 1999) (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015) (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2019).
Media aritmética de las serie de datos (\bar{X})	$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{N}$		Media del conjunto de datos de la serie analizada.
Desviación estándar (S)	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n - 1)}}$	X_1: Intensidades de la serie. N: Número de datos.	Medida estadística que sirve para analizar la dispersión del conjunto de datos (en este caso de intensidades) alrededor de la media (Chow, Maidment, & Mays, 1994) (Fattorelli & Fernández, 2011) (García Conde, 2013).
Aplicación de la distribución de Gumbel	Se aplica las mismas ecuaciones referidas en la tabla 29 en diferentes periodos de retornos (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años).		
Ecuaciones IDF (i)	$i = 114,41 \times T^{0,2340} \times t^{-0,287}; 5 < 60 \text{ min.}$ $i = 847,8802 \times T^{0,2334} \times t^{-0,7776}; 60 < 1440 \text{ min.}$	T: Tiempo de retorno. t: Tiempo de duración (min).	Establecimiento de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas (IDF- intensidad, duración y frecuencia) establecida para la estación Tachina (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2019).

Tabla 43: Ecuaciones para la determinación de las intensidades máximas en diferentes periodos de retorno y duración. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del estudio de las intensidades máximas de precipitación INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2019) (Monsalve Sáenz, 1999) (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015) (Chow, Maidment, & Mays, 1994) (Fattorelli & Fernández, 2011) (García Conde, 2013).

3 Resultados

3.1 Comportamiento cuantitativo de las precipitaciones de las estaciones en la Unidad Hidrográfica 1521

3.1.1 Definición de áreas de influencia de acuerdo a la ubicación de las estaciones meteorológicas

Considerando que dentro del área de estudio existe una variabilidad de precipitaciones definidas por la ubicación geográfica, se presentan en la figura 152 las cuatro áreas de influencia conformadas para el análisis de las precipitaciones sobre la base de las isoyetas, considerando que cada una de ellas tiene diferentes valores de precipitación que generan eventos de inundación.

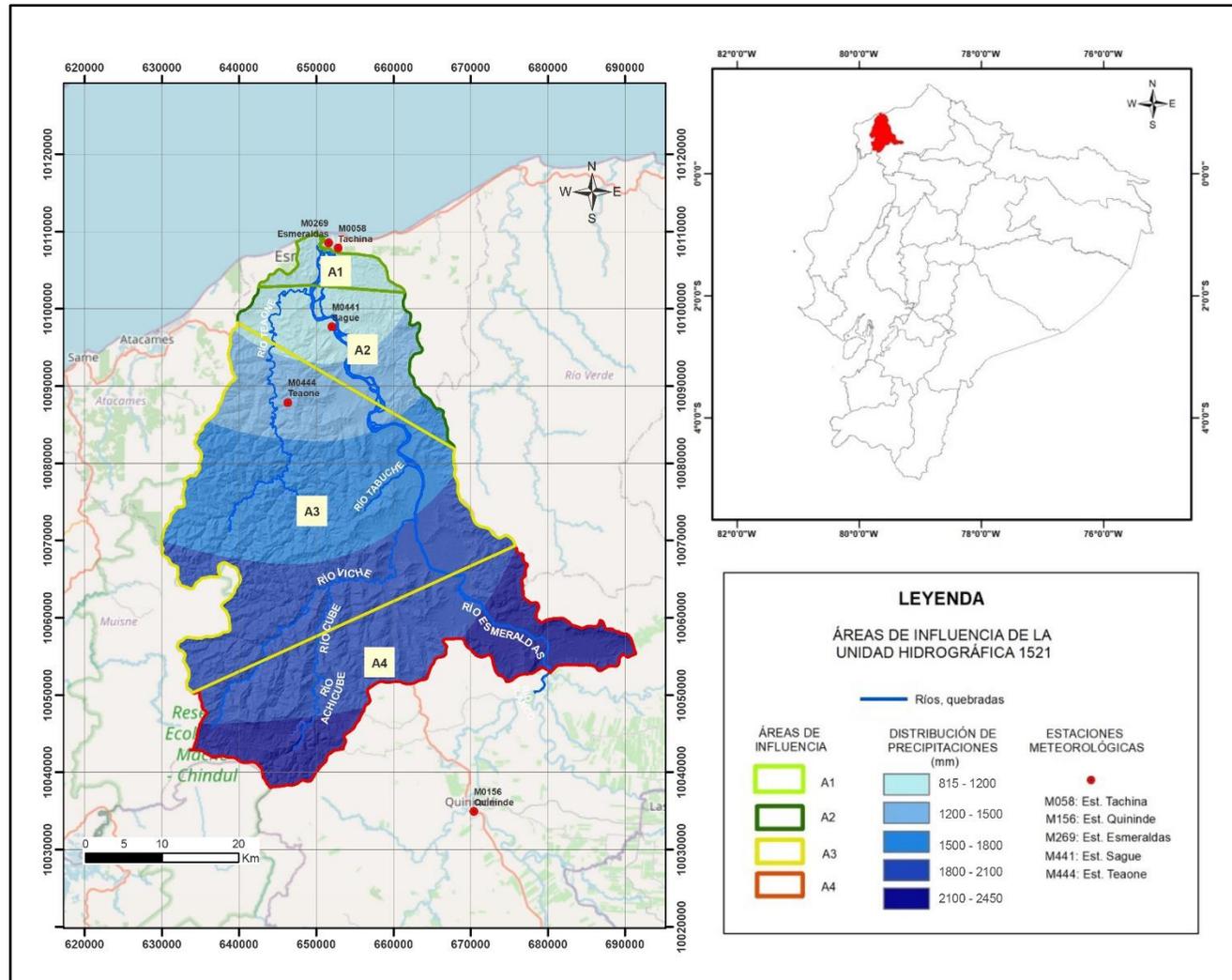


Fig. 152: Áreas de Influencia a partir de las ubicaciones de las estaciones Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone y Quinde en el área de estudio para el análisis zonificado de las precipitaciones en el periodo de estudio (1980 - 2015). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información obtenida mediante los polígonos de Thiessen sobre las Isoyetas.

Las precipitaciones medias ponderadas como sus volúmenes son calculadas a partir de los años considerados como altos y extremos. Los mismos se presentan en la tabla 44, obteniendo los siguientes resultados:

	PRECIPITACIONES ANUALES EXTREMAS (mm)				PRECIPITACIONES ANUALES ALTAS (mm)							
	1983	1997	1998	TODO EL PERIODO	1987	1992	1999	2002	2010	2012	2015	TODO EL PERIODO
Precipitación media ponderada (mm)	2104,4	2923,9	2660,2	2561,8	2070,6	1708,7	1754,2	1912	1827,7	1834,2	2110,8	1888,3
Volumen de precipitación (km ³)	4,3	6,1	5,5	5,3	4,3	3,5	3,6	3,9	3,8	3,8	4,4	3,9

Tabla 44: Clasificación de precipitaciones medias ponderadas y volúmenes de precipitación de los años con precipitaciones extremas, altas y del periodo correspondiente extremas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información obtenida del análisis de por Métodos de Thiessen de las estaciones Esmeraldas, Tachina, Sague, Teane, Quinindé.

Los resultados de la tabla 45 indican un gran impacto de las precipitaciones altas y extremas; si se realiza una comparación con todo el periodo de estudio (1980-2015), se tiene que en el caso de las precipitaciones extremas existe un incremento del 108,4% en los valores de precipitación y su volumen de descarga que registra un valor de 6,04 Km³. Las precipitaciones altas marcan valores de precipitación y volumen de descarga hasta el 50,5% con respecto a los valores registrados en el periodo de análisis; estos resultados demuestran el nivel de exposición al que se encuentra expuesta la unidad hidrográfica en las épocas de invierno o cuando existe la presencia del fenómeno de El Niño.

	1980-2015	% CRECIMIENTO DE PRECIPITACIONES EXTREMAS				% CRECIMIENTO DE PRECIPITACIONES ALTAS				
		1983	1997	1998	1987	1999	2002	2010	2012	2015
Precipitación media ponderada (mm)	1402,9	49,8%	108,4%	89,6%	47,9%	25%	36,3%	30,3%	30,7%	50,5%
Volumen de precipitación (km ³)	2,9									

Tabla 45: Porcentaje de crecimiento de las precipitaciones medias ponderadas y volúmenes de precipitación de los años con precipitaciones altas y extremas. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información obtenida del análisis de por Métodos de Thiessen de las estaciones Esmeraldas, Tachina, Sague, Teane, Quininde.

En el capítulo V, se identificó un alto grado de correlación entre el comportamiento de las precipitaciones y las anomalías de la temperatura superficial del mar en la región 3,4 y 1,2 de acuerdo al Índice Oceánico del Niño (ONI) e Índice Costero del Niño (ICEN) (Rodríguez Aguilar

& Luna Rodríguez, 2017, pág. 61). Los resultados demuestran que los años de 1953, 1965, 1966, 1972, 1973, 1982, 1983, 1997 y 1998 (Figs. 80 al 89/Capítulo V) registran extremos de precipitación sobre la media causando inundaciones con graves consecuencias en el área de estudio; la presencia del fenómeno de El Niño en los años de mayor impacto es catalogada como moderados, fuertes y muy fuertes con anomalías mayores a 1 de acuerdo al ONI.

En el periodo de estudio los años de 1983, 1997 y 1998 se producen precipitaciones extremas identificando una correlación anual entre las anomalías de la temperatura superficial del mar y las anomalías de precipitación (Figs. 153, 154 y 155). El análisis del comportamiento mensual de las precipitaciones y de los valores mensuales establecidos en el ONI en los años de mayor impacto tiene como resultado que el comportamiento de las precipitaciones sigue en función del comportamiento de las intensidades registradas en las anomalías de la temperatura superficial del mar (ONI) (Figs. 153, 154 y 155); los meses donde se concentran las precipitación son enero a mayo con el mes de diciembre como transición de la época seca a la lluviosa y el mes de julio para la transición de la época lluviosa a la seca (Figs. 76 y 77/Capítulo V).

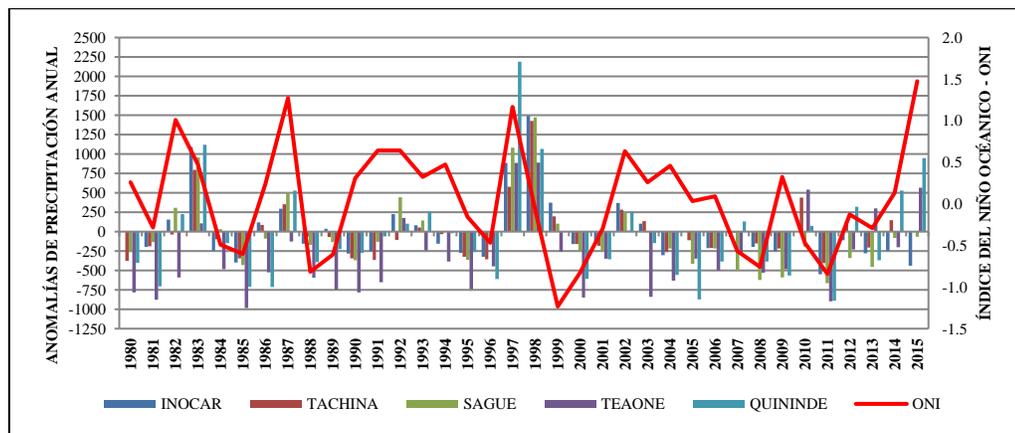


Fig. 153: Relación entre anomalías de precipitación de las estaciones del área de estudio y el Índice del Niño Oceánico anual del periodo de estudio (1980-2015). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de anomalías de precipitación – Capítulo V y anomalías históricas de la temperatura superficial del mar de la NOAA.

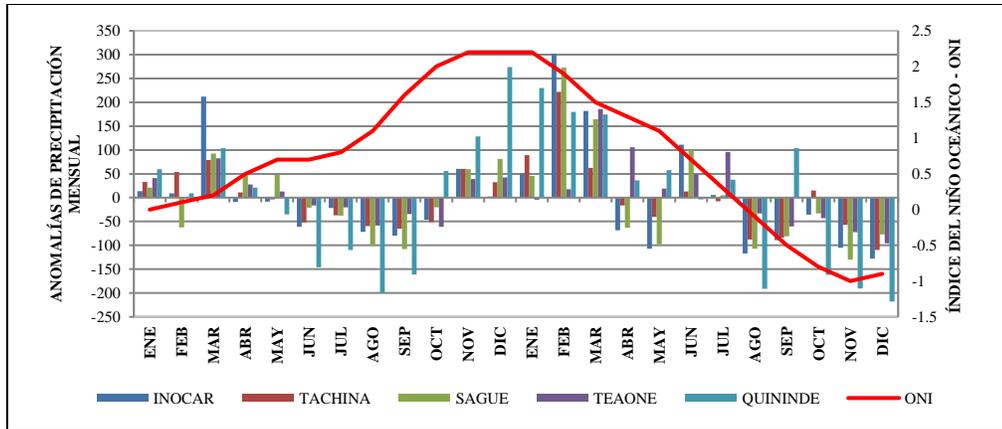


Fig. 154: Relación entre anomalías de precipitación mensual de las estaciones del área de estudio y el Índice del Niño Oceánico mensual de los años de 1982 y 1983. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de anomalías de precipitación – Capítulo V y anomalías históricas de la temperatura superficial del mar de la NOAA.

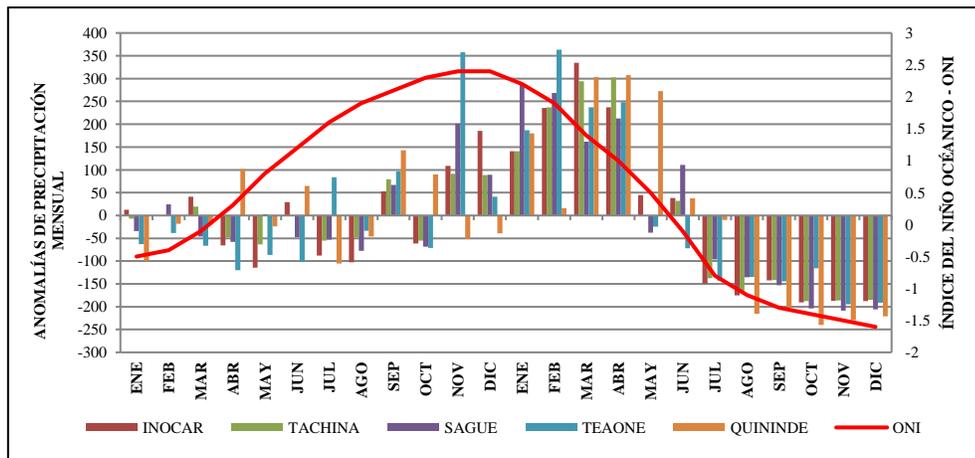


Fig. 155: Relación entre anomalías de precipitación mensual de las estaciones del área de estudio y el Índice del Niño Oceánico mensual de los años de 1997 y 1998. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de anomalías de precipitación – Capítulo V y anomalías históricas de la temperatura superficial del mar de la NOAA.

El coeficiente de correlación de Pearson es una medida de la relación lineal entre dos variables, que varía entre -1 y 1, que se utilizó para analizar la relación entre el ONI y las anomalías de precipitación mensuales en diferentes estaciones meteorológicas. Los resultados presentados de la tabla 46 corresponden a dos periodos de análisis diferentes: 1982-1983 y 1997-1998. Además, se incluye el valor del estadístico de prueba t y el valor crítico utilizado para determinar la significancia de los resultados.

Durante el periodo de análisis de 1982-1983 (Tabla 46), se encontraron correlaciones positivas moderadas a fuertes entre el ONI y las anomalías de precipitación mensuales en las estaciones meteorológicas de Esmeraldas (0,38), Tachina (0,44), Sague (0,46), Teaone (0,36) y Quininde (0,60). Esto sugiere que, cuando la temperatura superficial del mar en la región del Pacífico ecuatorial central es más cálida de lo normal, hay una mayor probabilidad de que se registren anomalías positivas de precipitación en las estaciones meteorológicas en el área de estudio. Los valores de correlación oscilan entre 0,36 y 0,60, siendo la correlación más fuerte observada en la estación meteorológica Quininde (0,60) con un estadístico de prueba t de 4,43. Esto indica una alta probabilidad de que la correlación observada no sea simplemente el resultado de la casualidad. La estación meteorológica con la correlación más baja fue Teaone (0,36), sin embargo, todos los valores de t fueron mayores que el valor crítico de 2,07 lo que indica una significancia estadística para las correlaciones.

En contraste, para el periodo de 1997 a 1998 (Tabla 46), se encontraron correlaciones positivas más fuertes entre el ONI y las anomalías de precipitación mensuales en todas las estaciones meteorológicas: Esmeraldas (0,64), Tachina (0,66), Sague (0,70), Teaone (0,70) y Quininde (0,57). Esto sugiere una mayor influencia del fenómeno de El Niño en las anomalías de precipitación registradas en la unidad hidrográfica en ese periodo. De hecho, todas las estaciones meteorológicas presentaron correlaciones superiores a 0,57, siendo las estaciones de Sague y Teaone las que presentaron las correlaciones más fuertes con valores de 0,70 y un estadístico de prueba t de 5,72 y 5,87 respectivamente. Cabe mencionar que todos los valores del estadístico de prueba t indican que los resultados fueron significativos al nivel del 95% ($t > 2,07$).

En general, los resultados sugieren una relación positiva entre ONI y las anomalías de precipitación mensuales en diferentes estaciones meteorológicas en la unidad hidrográfica, la fuerza de esta relación varía entre los periodos de análisis, siendo más fuerte durante el periodo de análisis 1997-1998. Estos resultados tienen implicaciones importantes para la comprensión de la variabilidad climática en la zona de estudio y pueden ser útiles para la planificación y gestión de recursos hídricos y agrícolas por parte de las diferentes instituciones públicas.

ESTACIONES PARÁMETROS	INOCAR	TACHINA	SAGUE	TEAONE	QUININDE
	PERIODO DE ANÁLISIS 1982 - 1983				
R	0,38	0,44	0,46	0,36	0,60
t	2,39	2,88	3,04	2,27	4,43
PERIODO DE ANÁLISIS 1997 - 1998					
R	0,64	0,66	0,70	0,70	0,57
t	4,86	5,15	5,72	5,87	4,10
Valor crítico	2,07				

Tabla 46: Resultados del coeficiente de correlación de Pearson y estadístico de prueba. Fuente: Elaboración propia, en base a los datos mensuales de precipitación de las estaciones de Esmeraldas, Tachina, Teaone, Sague y Quinindé de los años de 1982, 1983, 1997 y 1998.

La ubicación geográfica y la variabilidad climática definen los umbrales máximos y mínimos de las precipitaciones en el periodo de estudio; en la zona Sur los valores de las precipitaciones son mayores en relación a las zonas Central y Norte (Tabla 43). En los años de mayor intensidad, las anomalías de precipitación presentan los siguientes resultados procesados a partir de las estaciones meteorológicas (Tabla 47):

ZONA	NOMBRE ESTACIÓN	MÓDULO PLUVIOMÉTRICO ANUAL (mm)			ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN			ONI		
		1983	1997	1998	1983	1997	1998	1983	1997	1998
Norte	Esmeraldas	1891,6	1690,3	2293,7	1088,5	887,2	1490,6	0,5	1,2	-0,1
	Tachina	1636,5	1422,4	2268,9	793,7	579,6	1426,1			
Centro-Norte	Sague	2024,5	2152,1	2539,6	955,6	1083,1	1470,6			
Centro-Sur	Teaone	1381,1	2291,4	2360	106,2	883,9	890,6			
Sur	Quininde	3446,5	4516	3391,5	1118,9	2188,3	1063,8			

Tabla 47: Comportamiento extremo de las precipitaciones, anomalías e Índice del Niño Oceánico anual de los años de 1982, 1983, 1997 y 1998. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de las estaciones de Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone, Quinindé y del ONI de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).

Se mencionaba en anteriores capítulos que el Ecuador tiene una variabilidad climática condicionada por factores oceanográficos, geográficos y meteorológicos debido a su ubicación geográfica. Uno de los factores que más influye de manera local y regional es la oceanográfica por

la interacción continua y permanente de las corrientes frías de Humbolt y cálida Ecuatorial; sin embargo, la presencia de la Cordillera de los Andes (factor geográfico) actúa como generadora de masas de aire locales y cumple con la función de desplazar las masas de aire regionales, en especial las que se generan en la Amazonía.

En los años de 1987, 1992, 1999, 2002, 2010 y 2015 se registran anomalías de precipitación altas que se relacionan parcialmente con las anomalías de temperatura superficial del mar (ONI) y que se complementan con los factores locales derivados de la acción de la presencia de la Cordillera de los Andes (Tabla 48 y Fig. 156). Los valores de las anomalías en estos años y su distribución tiene el mismo patrón de comportamiento en base a su ubicación geográfica, la zona Sur registra valores altos de anomalías mientras que la zona Centro y Norte los valores disminuyen conforme se acerca al perfil costanero (Tabla 48 y Fig. 156).

ZONA	NOMBRE ESTACIÓN	MÓDULO PLUVIOMÉTRICO ANUAL (mm)						ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN						ONI					
		1987	1992	1999	2002	2010	2015	1987	1992	1999	2002	2010	2015	1987	1992	1999	2002	2010	2015
Norte	Esmeraldas	1096,5	1027	1174,3	1171,9	811,4	364,2	293,4	223,9	371,2	368,8	8,3	-----	1,3	0,6	-1,2	0,6	-0,5	1,5
	Tachina	1195,8	737,5	1041,3	1125,6	1279,7	846	352,9	-----	198,5	282,8	436,9	-----						
Centro-Norte	Sague	1572,6	1511,7	1169,9	1321,2	875,1	1003,1	503,6	442,8	100,9	252,3	-----	-----						
Centro-Sur	Teaone	693,7	1586,5	1148,6	792,7	1825	1971,4	-----	174,1	-----	10,8	539,6	563,9						
Sur	Quininde	2858	2428,6	2330,8	2586,9	2402,2	3272,5	530,3	100,9	-----	259,3	-----	945						

Tabla 48: Precipitaciones altas, anomalías e Índice del Niño Oceánico anual de los años de 1987, 1992, 1999, 2002, 2010, 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de las estaciones de Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone, Quininde y del ONI de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).

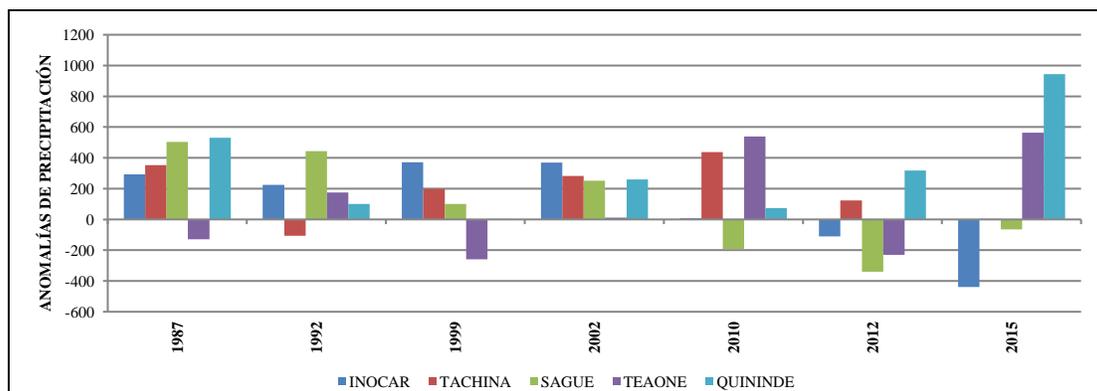


Fig. 156: Anomalías de precipitación anuales de las estaciones del área de estudio en los años donde no existe una relación directa con Índice del Niño Oceánico mensual de los años de 1987, 1992, 1999, 2002, 2010 y 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de anomalías de precipitación – Capítulo V.

3.1.2 Comportamiento de las precipitaciones por periodos de retorno

La aplicación de la distribución de Gumbel en la definición de los periodos de retorno proyectados de cada estación facilita identificar con qué frecuencia se presenta una precipitación en la unidad hidrográfica. Los resultados presentados en las figuras 157, 158, 159, 160 y 161, confirman la ocurrencia de precipitaciones altas y extremas en los años mencionados en los párrafos anteriores, de la misma manera, se identifica el comportamiento de las precipitaciones normales debido a la recurrencia en sus valores.

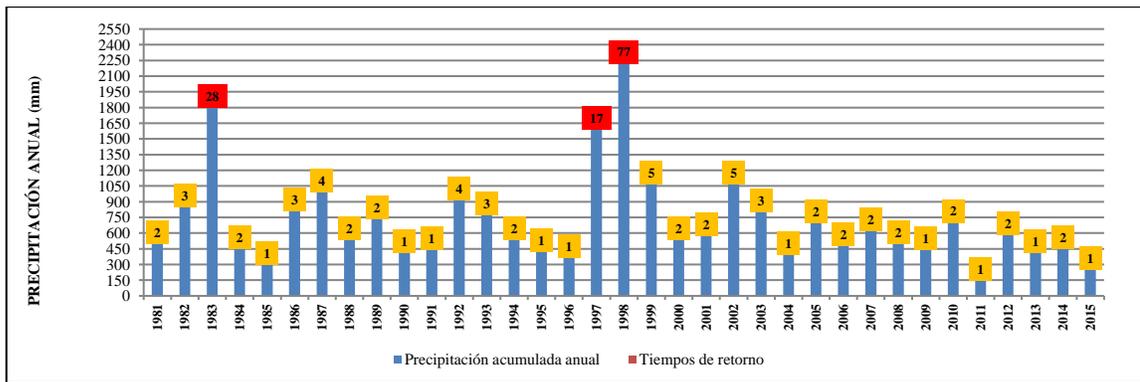


Fig. 157: Tiempo de retorno de las precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la Estación Esmeraldas (1981-2015). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por INOCAR - Estación Esmeraldas (1981-2015).

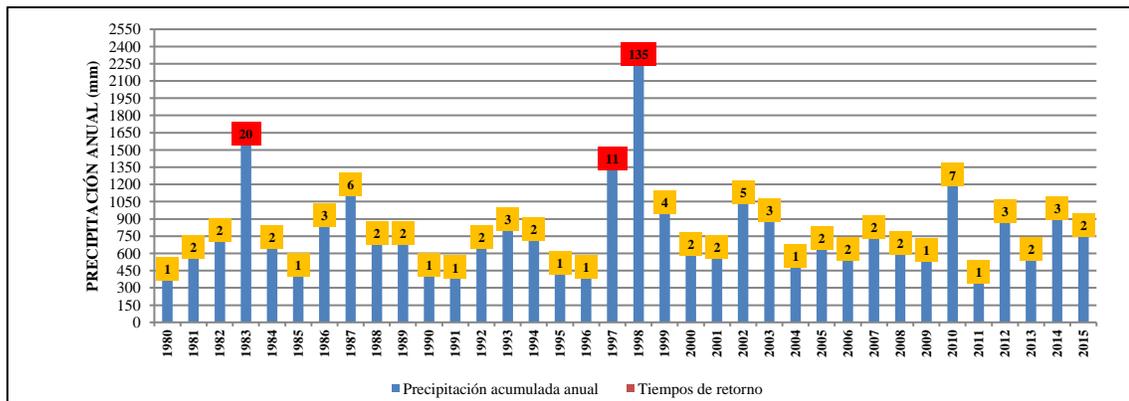


Fig. 158: Tiempo de retorno de las precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la Estación Tachina (1980-2015). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por la DAC - Estación Tachina (1980-2015).

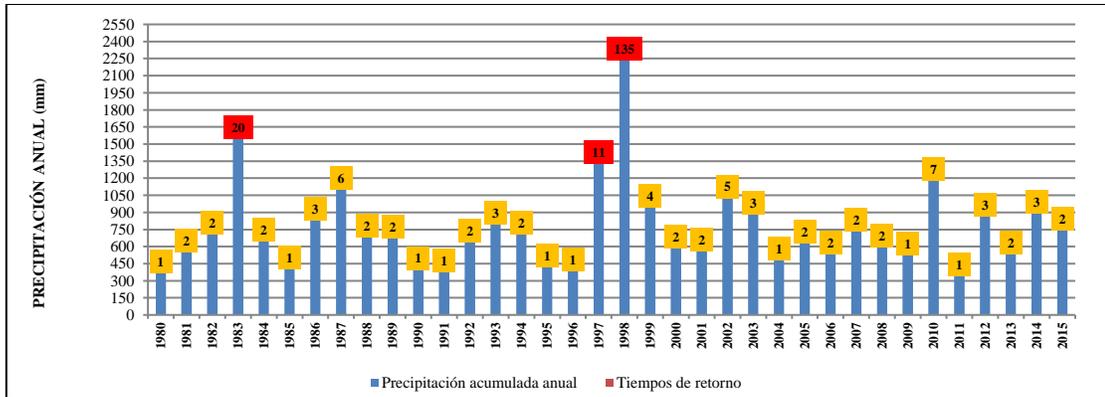


Fig. 159: Tiempo de retorno de las precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la Estación Sague (1980-2015). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI - Estación Sague (1980-2015).

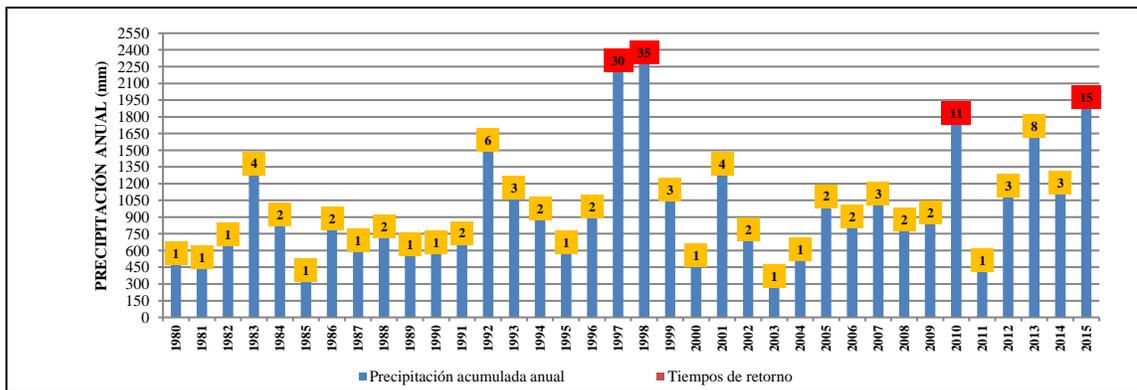


Fig. 160: Tiempo de retorno de las precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la Estación Teaone (1980-2015). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI - Estación Teaone (1980-2015).

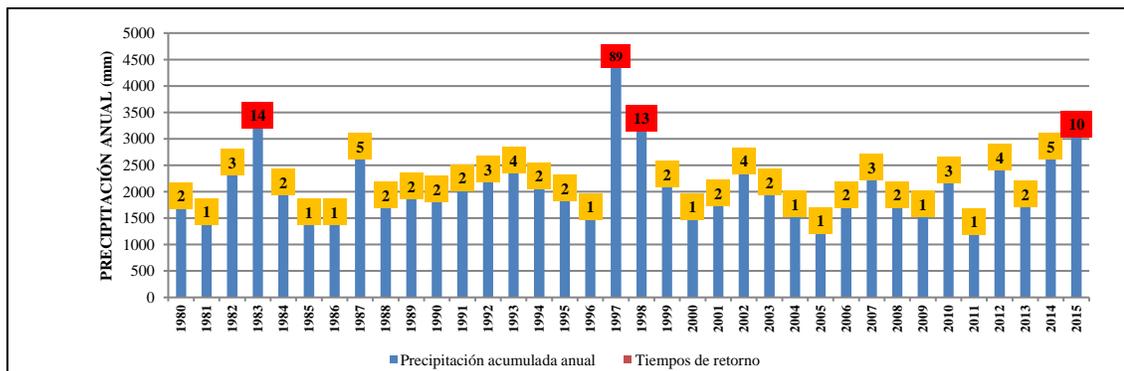


Fig. 161: Tiempo de retorno de las precipitaciones acumuladas anuales (mm) de la Estación Quindé (1980-2015). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información histórica de precipitación proporcionada por el INAMHI - Estación Quindé (1980-2015).

Considerando la dependencia de los factores geográficos y oceanográficos, los resultados de los valores de precipitación varían en función de los periodos de retorno y de las áreas de influencia de acuerdo a las tablas 49, 50, 51 y 52:

ÁREA DE INFLUENCIA NORTE					
ESTACIÓN ESMERALDAS			ESTACIÓN TACHINA		
Tr (años)	PRECIPITACIÓN PROYECTADA (mm)	PROBABILIDAD DE NO OCURRENCIA	Tr (años)	PRECIPITACIÓN PROYECTADA (mm)	PROBABILIDAD DE NO OCURRENCIA
1	252	9,3%	1	438,9	14%
2	734,97	33,5%	2	785,96	35%
5	1179,37	79,8%	5	1156,75	78%
10	1473	90%	10	1420,25	90%
25	1845,37	96%	25	1712,44	96%
50	2121,16	98%	50	1942,55	98%
100	2394,92	99%	100	2170,97	99%

Tabla 49: Comportamiento de las precipitaciones del área de influencia Norte en sus diferentes periodos de retorno (Tr). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de la estación Esmeraldas, Tachina y aplicación de la Distribución de Gumbel; rango de clasificación, rojo: alto-extremo, naranja: moderadamente alto, amarillo: medio, verde claro: bajo.

ÁREA DE INFLUENCIA CENTRO NORTE - ESTACIÓN SAGUE		
Tr (años)	PRECIPITACIÓN PROYECTADA (mm)	PROBABILIDAD DE NO OCURRENCIA
1	406	10%
2	946,57	37%
5	1413,9	80%
10	1723,31	90%
25	2114,26	96%
50	2404,28	98%
100	2692,17	99%

Tabla 50: Comportamiento de las precipitaciones del área de influencia Central (Centro Norte) en sus diferentes periodos de retorno (Tr). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de la estación Sague y aplicación de la Distribución de Gumbel; rango de clasificación rojo: alto-extremo, naranja: moderadamente alto, verde oscuro: moderadamente bajo, verde claro: bajo.

ÁREA DE INFLUENCIA CENTRO SUR - ESTACIÓN TEAONE		
Tr (años)	PRECIPITACIÓN PROYECTADA (mm)	PROBABILIDAD DE NO OCURRENCIA
1	372.4	10%
2	959.4	34%
5	1461,55	80%
10	1794,02	90%
25	2214,09	96%
50	2525,72	98%
100	2835,05	99%

Tabla 51: Comportamiento de las precipitaciones del área de influencia Central (Centro Sur) en sus diferentes periodos de retorno (Tr). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de la estación Teaone y aplicación de la Distribución de Gumbel; rango de clasificación rojo: alto-extremo, naranja: moderadamente alto, verde oscuro: moderadamente bajo, verde claro: bajo.

ÁREA DE INFLUENCIA SUR - ESTACIÓN QUININDE		
Tr (años)	PRECIPITACIÓN PROYECTADA (mm)	PROBABILIDAD DE NO OCURRENCIA
1	1438.1	8%
2	2175.88	34%
5	2819.9	67%
10	3246.37	75%
25	3785,16	80%
50	4184,84	90%
100	4585,62	92%

Tabla 52: Comportamiento de las precipitaciones del área de influencia Sur en sus diferentes periodos de retorno (Tr). Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de la estación Quininde y aplicación de la Distribución de Gumbel; rango de clasificación, rojo: alto-extremo, amarillo: medio, verde claro: bajo.

Los resultados de las tablas 49, 50, 51 y 52 precisan el comportamiento de las precipitaciones en cada área de influencia y con qué probabilidad de no ocurrencia puede presentarse en los diferentes años; en el área de influencia Norte se proyecta una precipitación máxima de 2394,92 mm mientras que, en el Centro Norte, Centro Sur y Sur se proyectan valores de 2692,17 mm, 2835,05 mm y 4585,62 mm. El análisis sobre las áreas de influencia en la presente investigación

evitará realizar un análisis sesgado al considerar que las precipitaciones se presentan de manera continua y uniforme en el área de estudio.

3.1.3 Análisis cualitativo histórico

El resultado del análisis cronológico identifica 66 eventos relacionados con inundaciones; identificando el factor que más influye son las precipitaciones con un 84,6% seguidas de factores como marejadas, tsunamis, maremotos y lahares, de acuerdo a la figura 162.

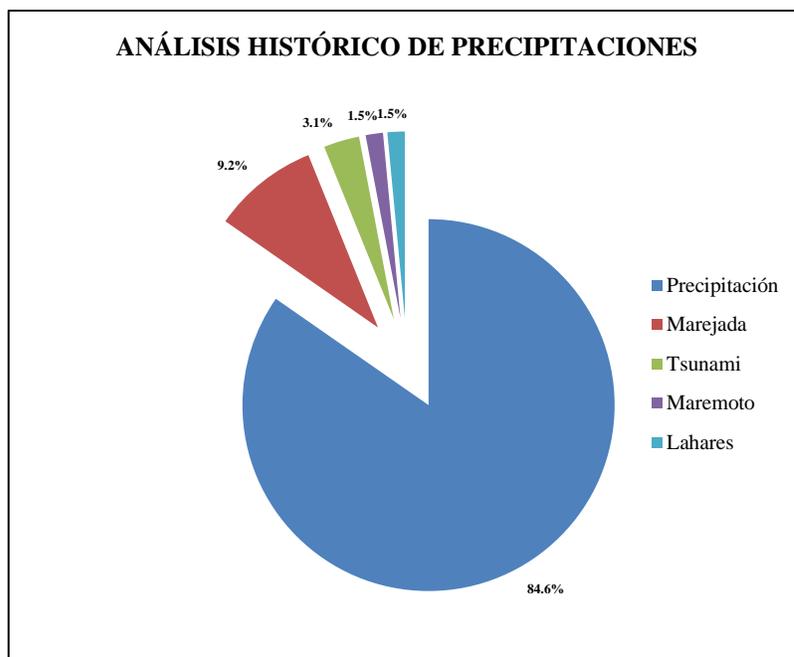


Fig. 162: Eventos históricos registrados en el área de estudio de 1870 a 2015. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de DesInventar, fuentes comunicacionales y científicos del área de estudio.

Las mayores consecuencias de las inundaciones se derivan especialmente del comportamiento de las precipitaciones, evidenciando que las mayores consecuencias ocurren en los años donde se registran precipitaciones altas y extremas de acuerdo a las tablas 53 y 54. En el Anexo 5, se detalla el comportamiento cronológico cualitativo de las inundaciones suscitadas en la base de datos levantada y que facilita la georreferenciación de los lugares afectados por las inundaciones a causa de las precipitaciones.

AÑOS CON PRECIPITACIONES EXTREMAS	CONSECUENCIAS	VALOR DE PRECIPITACIÓN (mm)		VOLUMEN DE PRECIPITACIÓN (Km ³)	
		1982	1983	1982	1983
1982 - 1983	a) Inundación en los barrios bajos de la ciudad de Esmeraldas y Quininde. b) 200 víctimas mortales.40 viviendas destruidas. c) 1150 personas afectadas. d) Aumento de la mortalidad infantil producto del estancamiento de aguas lluvias y fluviales. e) Pérdidas agrícolas y ganaderas. f) Procesos migratorios por las inundaciones generalizadas provocan el asentamiento humano en las orillas de los ríos Esmeraldas y Teaone	1310	2104,1	2,83	4,34
1997 - 1998	a) Inundación en los barrios bajos de la ciudad de Esmeraldas y Quininde. b) 286 víctimas mortales. c) 30000 personas damnificadas. d) 2446 personas afectadas. e) 1136 viviendas afectadas. f) Afectación infraestructura hospitalaria. g) 2862 casos de malaria. h) Daño a la viabilidad interna de los cantones Esmeraldas y Quininde. i) Afectación al oleoducto ecuatoriano. j) Problema del sistema de alcantarillado. k) Ascenso del nivel freático de los acuíferos. l) Procesos migratorios por las inundaciones generalizadas provocan el asentamiento humano en las orillas de los ríos Esmeraldas y Teaone.	2923,9	2660,2	6,04	5,49

Tabla 53: Análisis cronológico de los años con precipitaciones extremas (1982, 1983, 1997 y 1998). Fuente: Elaboración propia, en base a la información obtenida del análisis de por Métodos de Thiessen de las estaciones Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone, Quininde, base de datos DesInventar y fuentes comunicacionales y de comunicación.

AÑOS CON PRECIPITACIONES ALTAS	CONSECUENCIAS	VALOR DE PRECIPITACIÓN (mm)	VOLUMEN DE PRECIPITACIÓN (Km³)
1987	a) Inundación en las localidades bajas de la ciudad de Esmeraldas y Quininde. b) 40 viviendas destruidas. c) 150 personas afectadas. d) Pérdidas agrícolas y ganaderas. e) Desbordamiento de ríos Esmeraldas y Teaone por aumento de precipitación.	2070,1	4,3
1992	a) Inundación en las ciudades de Esmeraldas y Quininde en los barrios bajos. b) 10 viviendas destruidas. c) 205 personas afectadas. d) Pérdidas agrícolas y ganaderas. e) Desbordamiento de ríos Esmeraldas y Teaone por aumento de precipitación.	1708,7	3,5
1999	a) Inundación en las ciudades de Esmeraldas y Quininde en los barrios bajos. b) Impacto en las viviendas improvisadas ubicadas en la ribera del río Teaone	1754,2	3,6
2002	a) Inundación en las ciudades de Esmeraldas en los barrios bajos aledaños a las riberas de los ríos Esmeraldas y Teaone. b) 100 familias afectadas. c) 60 viviendas afectadas	1912	3,9
2010	a) Inundación en las ciudades de Esmeraldas y Quininde en los barrios bajos. b) 205 personas afectadas. c) 50 personas evacuadas. d) Pérdidas agrícolas y ganaderas. e) Desbordamiento de ríos Esmeraldas y Teaone por aumento de precipitación.	1827,7	3,7
2012	a) Inundación en la ciudad de Quininde en los barrios bajos. b) 28 viviendas afectadas. c) 130 personas afectadas. d) Desbordamiento del río Esmeraldas por exceso de precipitación.	1834,2	3,8
2015	a) Inundación en la ciudad de Esmeraldas y Quininde en los barrios bajos. b) 22 viviendas afectadas. c) Pérdidas agrícolas y ganaderas. d) Desbordamiento de ríos Esmeraldas y Teaone por aumento de precipitación.	2110,8	4,4

Tabla 54: Análisis cronológico de los años con precipitaciones altas (1987, 1992, 1999, 2002, 2010, 2012 y 2015).

Fuente: Elaboración propia, en base a la información obtenida del análisis de por Métodos de Thiessen de las estaciones Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone, Quininde, base de datos DesInventar y fuentes comunicacionales y de comunicación.

3.1.4 Establecimiento de los rangos de precipitación

El establecimiento de los rangos de precipitación para el análisis de la amenaza por inundación se basa en los resultados de las anomalías de precipitación, áreas de influencia y periodo de retorno de las precipitaciones del periodo de 1980 a 2015. El resultado del análisis de las anomalías de precipitación define los valores de precipitaciones extremas y altas por áreas de influencia en las cuales se producen eventos de inundación (Tabla 55).

ZONA	NOMBRE ESTACIÓN	PRECIPITACIONES ANUALES EXTREMAS (mm)			PRECIPITACIONES ANUALES ALTAS (mm)					
		1983	1997	1998	1987	1992	1999	2002	2010	2015
Norte	Esmeraldas	1891,6	1690,3	2293,7	1096,5	1027	1174,3	1171,9	-----	-----
	Tachina	1636,5	1422,4	2268,9	1195,8	-----	1041,3	1125,6	1279,7	-----
Centro-Norte	Sague	2024,5	2152,1	2539,6	1572,6	1511,7	1169,9	1321,2	-----	1003,1
Centro-Sur	Teaone	1381,1	2291,4	2360	-----	1586,5	1148,6	-----	1825	1971,4
Sur	Quininde	3446,5	4516	3391,5	2858	2428,6	2330,8	2586,9	2402,2	3272,5

Tabla 55: Clasificación de precipitaciones extremas y altas en el periodo de estudio (1980-2015) que provocan inundaciones. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de las anomalías de las estaciones de Esmeraldas, Tachina, Sague, Teaone, Quininde.

En la tabla 56, se presenta la clasificación de valores medios (extraordinarios) en escala de altos y extremos de precipitación en años en los cuales se registra una fuerte presencia del fenómeno de El Niño y de factores locales ocasionados por la presencia de la Cordillera de los Andes que han causado serios impactos en el área de estudio. De la misma manera, se observa que en cada área de influencia existe un comportamiento no uniforme de precipitaciones que causan graves afectaciones al momento de registrar estos valores extraordinarios en la unidad hidrográfica.

PRECIPITACIONES (mm)	AREAS DE INFLUENCIA			
	NORTE	CENTRO-NORTE	CENTRO-SUR	SUR
Extremo	1867.2	2238.7	2010.8	3784.6
Alto	1139	1315.7	1632.8	2646.5

Tabla 56: Rango de precipitación de las áreas de influencia por comportamiento de anomalías. Fuente: Elaboración propias, sobre la base de la información de los rangos de precipitación de las estaciones.

Los periodos de retorno proporcionan información de la recurrencia del comportamiento de las precipitaciones en las diferentes áreas de influencia (Tablas 57, 58, 59 y 60):

	RANGOS DE PRECIPITACIÓN (mm)	
	Bajo	<252
Moderadamente Bajo	438.9	760.5
Medio	760.5	953.3
Moderadamente Alto	953.3	1079.7
Alto	1079.7	1168.1
Extremo	>1168.1	

Tabla 57: Rango de precipitaciones de la Área de Influencia 1 (zona Norte) para el análisis de la amenaza. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de los rangos de precipitación de las estaciones Esmeraldas, Tachina (1980-2015).

	RANGOS DE PRECIPITACIÓN (mm)	
	Bajo	<406
Moderadamente Bajo	946.6	1167.6
Medio	1167.6	1309.6
Moderadamente Alto	1309.6	1497.2
Alto	1497.2	1566.4
Extremo	>1566.4	

Tabla 58: Rango de precipitaciones de la Área de Influencia 2 (zona Centro-Norte) para el análisis de la amenaza. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de los rangos de precipitación de las estaciones Esmeraldas, Tachina (1980-2015).

	RANGOS DE PRECIPITACIÓN (mm)	
	Bajo	<372,4
Moderadamente Bajo	665.9	959.4

Medio	959.4	1196.9
Moderadamente Alto	1196.9	1349
Alto	1349	1551.1
Extremo	>1551.1	

Tabla 59: Rango de precipitaciones de la Área de Influencia 3 (zona Centro-Sur) para el análisis de la amenaza. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de los rangos de precipitación de la Teaone (1980-2015).

RANGOS DE PRECIPITACIÓN (mm)		
Bajo	<1438,1	
Moderadamente Bajo	1438.1	1806.95
Medio	1806.95	2175.8
Moderadamente Alto	2175.8	2328.2
Alto	2328.2	2578.1
Extremo	>2578.1	

Tabla 60: Rango de precipitaciones de la Área de Influencia 4 (zona Sur) para el análisis de la amenaza. Fuente: Elaboración propia, en base a la información de los rangos de precipitación de la estación Quinde (1980-2015).

La clasificación de los rangos de precipitación en base a las anomalías y periodos de retorno es fundamental para establecer los rangos de las precipitaciones altas y extremas sobre la base de las isoyetas (Fig. 74/Capítulo V) del periodo de estudio con respecto a cada área de influencia establecida. Los rangos establecidos en cada área de influencia establecen el comportamiento local tomando en consideración la ubicación geográfica de las diferentes localidades, de acuerdo a la tabla 61 y figura 163.

	RANGOS DE PRECIPITACIÓN (mm)			
	A. INF1	A. INF2	A. INF3	A. INF4
BAJO (1)	<815,6 - 884	<916 - 1080	<1161 - 1347	<1938 - 2039
MODERADAMENTE BAJO (2)	884 - 952	1080 - 1243	1347 - 1534	2039 - 2139
MEDIO (3)	952 - 1020	1243 - 1407	1534 - 1720	2139 - 2239
MODERADAMENTE ALTO (4)	1020 - 1088	1407 - 1571	1720 - 1906	2239 - 2339
ALTO (5)	1088 - 1156	1571 - 1735	1906 - 2093	2339 - 2439

Tabla 61: Rango de precipitaciones de cada área de influencia Fuente: Elaboración propia, en base a la información de anomalías de precipitación, tiempos de retorno y distribución de precipitaciones (1980-2015).

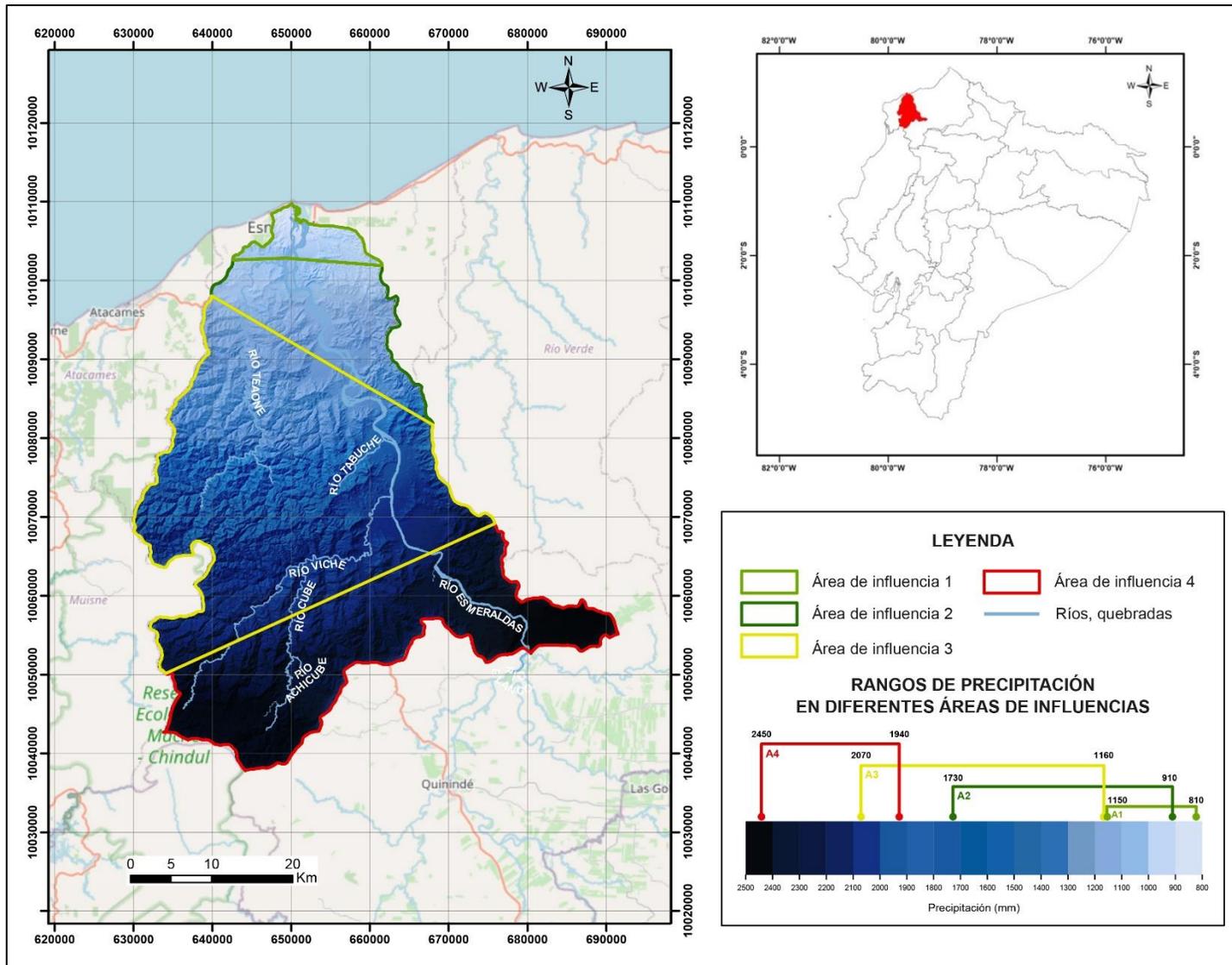


Fig. 163: Rangos de precipitación mínimos y máximos en cada una de las áreas de influencia. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información de anomalías de precipitación, tiempos de retorno y distribución de precipitaciones (1980-2015).

3.2 Áreas susceptibles a inundación

La definición de las áreas susceptibles a inundación se realiza a partir de la selección de variables con su respectivo nivel de importancia que faciliten identificar qué parte del terreno es susceptible a que se produzca inundación por influencia de las precipitaciones; se toman en consideración las siguientes variables de acuerdo a la tabla 62:

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	IMPORTANCIA
Pendiente (P)	Derivada del análisis del DTM, tiene una función esencial en el estudio morfométrico de la cuenca y en la determinación de las áreas susceptibles a inundación. Geológicamente la pendiente describe la posición, cohesión y consolidación en la que se encuentran las rocas de la superficie terrestre, rocas menos cohesionadas correspondientes a arenas o arcillas se encuentran en pendientes bajas, mientras que, rocas con mayor consolidación como rocas calcáreas o intrusivas se encuentran en pendientes altas (Guerra Peña, 2003, pág. 61); de la misma manera, la pendiente tiene una influencia directa en la distribución de las aguas que recorren por sus laderas y se convierte en un factor esencial en la formación, característica y usos de los suelos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2012, pág. 8).	1
Textura del suelo (Ts)	Variable física basada en la composición granulométrica del suelo (tamaño de partículas de arena, limo y arcillas – inferiores a 2mm), la permeabilidad, capacidad de retención de agua, calor y nutrientes del suelo de acuerdo a sus características físicas (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2009, pág. 26) (Gisbert Blanquer, Ibáñez Asensio, & Moreno Ramón, 2013, pág. 3) (Levard, Mathieu, & Masse, 2019, pág. 43). La textura del suelo en conjunto con el factor pendiente define la aptitud agrícola y uso de suelo que poseen las tierras de la unidad hidrográfica.	2
Uso y cobertura de suelo (UCS)	Relacionado con el nivel de retención de aguas lluvias; la presencia de cobertura vegetal o el uso de suelo (actual) determina la capacidad de respuesta ante eventos de inundación producidos por causas de precipitaciones extremas o por el desbordamiento de afluentes. Cultivos agrícolas de ciclo corto presentan mayor probabilidad a inundación al igual que las áreas en las cuales las actividades antrópicas han modificado las fronteras naturales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2012, pág. 150) (Ministerio del Ambiente, 2013, págs. 35,36) (Gallegos Reina & Perles Roselló, 2019, págs. 3,4).	3
Drenaje natural (Dn)	Es una de las cualidades físicas que depende de otras variables como: pendiente, textura, porosidad, materia orgánica, entre otras, que en su conjunto determinan la permeabilidad del suelo y el grado de escorrentía o	4

	escurrimiento superficial (Aguiló Alonso, y otros, 1996, págs. 229, 240, 243) (CLIRSEN - SIGAGRO - MAGAP, 2011, pág. 68).	
Profundidad Nivel freático (NF)	Característica física del terreno que proporciona información de la profundidad desde el suelo hasta el límite de la tabla de agua. Se considera un factor limitante para el desarrollo de raíces (CLIRSEN, SENPLADES, MAGAP, 2012, pág. 75) (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013, pág. 122).	5
Profundidad del suelo (Ps)	Esta variable física determina la capacidad y facilidad que tienen las raíces para penetrar en las capas de los suelos considerando que cuanto mayor sea su profundidad mayor capacidad de uso de suelo para la producción agrícola; sin embargo, esta variable es un indicador importante de la presencia o ausencia del nivel freático presente en el área de estudio (Aguiló Alonso, y otros, 1996, pág. 215) (MAGAP, PRAT, SIGAPRO, BID, 2008, pág. 96).	6

Tabla 62: Variables consideradas para la definición de áreas susceptibles a inundación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información del Capítulo IV.

El análisis a partir del método AHP se presenta en las tablas 63, 64 y 65:

VARIABLES	Pendiente	Textura del suelo	Uso y cobertura de suelo	Drenaje natural	Nivel freático	Profundidad efectiva
Pendiente	1	3	3	7	9	9
Textura del suelo	0,3	1	3	3	6	6
Uso y cobertura de suelo	0,3	0,3	1	2	3	5
Drenaje natural	0,1	0,3	0,5	1	2	3
Nivel freático	0,1	0,2	0,3	0,5	1	1
Profundidad efectiva	0,1	0,2	0,2	0,3	1	1
Suma	2	5	8	13,8	22	25

Tabla 63: Matriz de comparación pareada entre las diferentes variables tomando en consideración la escala de Saaty.

Fuente: Elaboración propia, en base a las variables morfológicas analizadas en el Capítulo V (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012) (Tascón González, 2017) (Ávila Mogollón, 2000) (Celemín, 2014) (Luna Loayza, Almanza Ascue, & Mamani, 2020) (Mastrandrea & Angeles, 2020).

VARIABLES	Pendiente	Textura del suelo	Uso y cobertura de suelo	Drenaje natural	Nivel freático	Profundidad efectiva
Pendiente	0,5	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4
Textura del suelo	0,2	0,2	0,4	0,2	0,3	0,2
Uso y cobertura de suelo	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Drenaje natural	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Nivel freático	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Profundidad efectiva	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Suma	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Tabla 64: Matriz normalizada de las variables en la construcción de las áreas susceptibles. Fuente: Elaboración propia, en base a la metodología de Saaty (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012).

VECTOR PESOS	VECTOR FINAL TOTAL	COCIENTE
0,457	2,882	6,31
0,245	1,530	6,26
0,139	0,845	6,06
0,080	0,492	6,12
0,042	0,257	6,14
0,037	0,225	6,07
	LAND MAX	6,16

Tabla 65: Vector de pesos establecidos para cada variable analizada; vectores para el cálculo de la proporción de consistencia de la matriz. Fuente: Elaboración propia, en base a los valores de consistencia aleatoria (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012).

En los resultados se observa un índice de consistencia de 0,03 y una proporción de consistencia (PC) de 2,55 menor a los rangos establecidos en la tabla 36 en donde se indica que para que exista una consistencia en los datos de las variables y considerando que es una matriz de 6x6 el valor de PC debe ser menor al 10%. Estos resultados son indicadores de la consistencia en la asignación de los pesos (Tabla 66) a cada una de las variables, minimizando la subjetividad al momento de asignar pesos a las variables.

VARIABLES	PESOS
Pendiente	0,457
Textura del suelo	0,245
Uso y cobertura de suelo	0,139
Drenaje natural	0,080
Nivel freático	0,042
Profundidad efectiva	0,037

Tabla 66: Vector de pesos de cada variable. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis de la metodología AHP (Aznar Bellver & Guijarro Martínez, 2012) (Tascón González, 2017).

En lo que respecta a las subvariables se tiene la siguiente clasificación y ponderación normalizada (Tablas 67 y 68).

		CRITERIOS DE LA SUBVARIABLES					
		Pendiente	0% - 2%	2% - 5%	5% - 12%	12% - 25%	>25%
Variables	Textura de suelo	Arcilla pesada Arcilla Limosa Arcilloso	Franco arcilloso - limoso Franco arcilloso - arenoso Franco arcilloso Franco arenoso	Franco Franco limoso	Franco arenoso	Arenoso francoso	
	Uso y cobertura de suelo	Antrópico	Cultivos ciclo corto y permanente	Pastizales	Vegetación arbustiva	Bosques de producción y protección	
	Drenaje natural	Mal drenado	Moderado	Regular	Bueno	Excesivo	
	Profundidad Nivel Freático	Muy superficial	Superficial	Poco profundo	Moderadamente profundo	Profundo	
	Profundidad del suelo	Muy superficial	Superficial	Poco profundo	Moderadamente profundo	Profundo	

Tabla 67: Descripción de las subvariables perteneciente a cada una de las variables utilizada en la construcción de las áreas susceptibles. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información del Capítulo IV.

		PESOS				
		5	4	3	2	1
		PESOS NORMALIZADOS				
		0.333	0.267	0.200	0.133	0.067
Variables	Pendiente	0% - 2%	2% - 5%	5% - 12%	12% - 25%	>25%
	Textura de suelo	Arcilla pesada Arcilla Limosa Arcilloso	Franco arcilloso - limoso Franco arcilloso - arenoso Franco arcilloso Franco arenoso	Franco Franco limosa	Franco arenoso	Arenoso francoso
	Uso y cobertura de suelo	Antrópico	Cultivos ciclo corto y permanente	Pastizales	Vegetación arbustiva	Bosques de producción y protección
	Drenaje natural	Mal drenado	Moderado	Regular	Bueno	Excesivo
	Profundidad Nivel Freático	Muy superficial	Superficial	Poco profundo	Moderadamente profundo	Profundo
	Profundidad del suelo	Muy superficial	Superficial	Poco profundo	Moderadamente profundo	Profundo
Criterio de las subvariables						

Tabla 68: Ponderación y normalización de las subvariables. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información metodológica de ordenamiento simple y clasificación geopedológica (CLIRSEN, SENPLADES, MAGAP, 2012).

En la tabla 69 se muestran los resultados del producto de las variables por cada una de las subvariables con los respectivos pesos asignados. Por su lado, en la figura 164 se presenta la espacialización de los mismos.

		PESOS					
		5	4	3	2	1	
		PESOS NORMALIZADOS					
		0.333	0.267	0.200	0.133	0.067	
	Pesos AHP	0.457	0.245	0.139	0.08	0.042	0.037
Variables	Pendiente	0.457	0% - 2%	2% - 5%	5% - 12%	12% - 25%	>25%
	Textura de suelo	0.245	Arcilla pesada Arcilla Limosa Arcilloso	Franco arcilloso - limoso Franco arcilloso - arenoso Franco arcilloso Franco arenoso	Franco Franco limosa	Franco arenoso	Arenoso francoso
	Uso y cobertura de suelo	0.139	Antrópico	Cultivos ciclo corto y permanente	Pastizales	Vegetación arbustiva	Bosques de producción y protección
	Drenaje natural	0.08	Mal drenado	Moderado	Regular	Bueno	Excesivo
	Profundidad Nivel Freático	0.042	Muy superficial	Superficial	Poco profundo	Moderadamente profundo	Profundo
	Profundidad del suelo	0.037	Muy superficial	Superficial	Poco profundo	Moderadamente profundo	Profundo
Criterio de las subvariables							

Tabla 69: Construcción de las áreas susceptibles a inundación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la información obtenida a partir del producto de los pesos de las variables y subvariables.

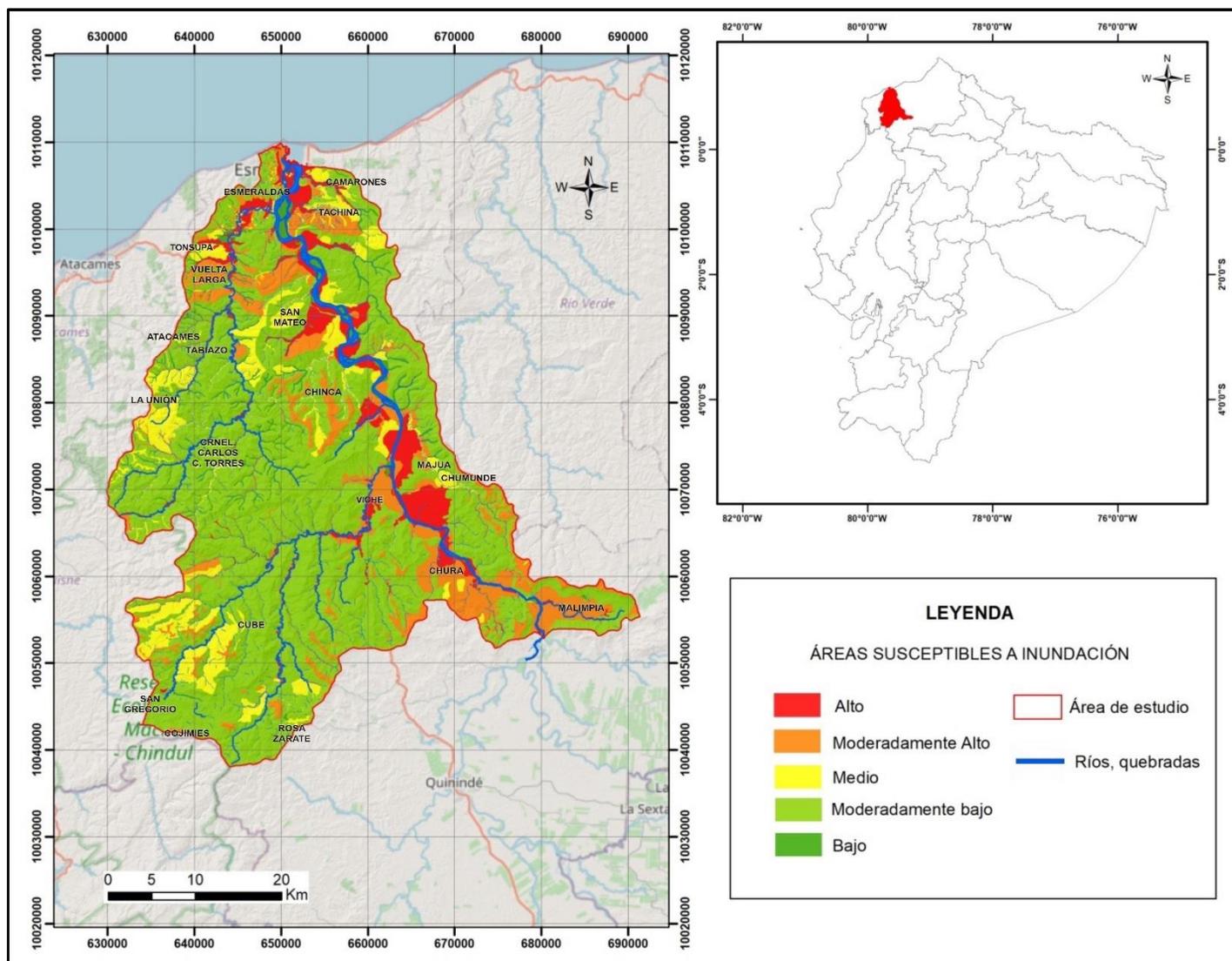


Fig. 164: Áreas susceptibles a inundación. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis de las variables y subvariables físicas del área de estudio.

Las áreas susceptibles a inundación (Fig. 164) derivadas del análisis de las características físicas se presentan a lo largo de los ríos Esmeraldas, Teaone y sus afluentes secundarios. En el análisis inicial se determina que muchas de las zonas pobladas en la parte Norte y Centro Norte se encuentran con un alto grado de susceptibilidad a que sufran inundaciones (Fig. 165) debido a la presencia de llanuras de inundación con características físicas de pendientes que no exceden del 3%, textura de suelo que varía de arcilla a franco arcillosa con una mayor predominancia de arcilla pesada y limosa, suelos mal drenados y una profundidad del nivel freático muy superficial que aumentan de manera significativa la susceptibilidad a las inundaciones.

El escenario se agudiza cuando existe la presencia de asentamientos informales (uso de suelo antrópico no planificado) sobre áreas susceptibles físicamente a inundaciones debido a la falta de control en el transcurso del periodo de estudio. Análisis multitemporales con fotografías aéreas de 1980 a 2015 determinan un crecimiento no controlado de poblaciones sobre este tipo de áreas susceptibles a inundación (Fig. 165); en el caso de las parroquias de Esmeraldas y Vuelta Larga se evidencia que han sido erigidas sobre áreas que no prestan las mejores condiciones para su desarrollo urbano.

En estas parroquias, especialmente las que se encuentran colindantes con el río Teaone en la Zona Centro Norte se observa que en el transcurso del tiempo han sido pobladas las zonas de amortiguamiento de las riberas de los ríos (Fig. 166) causando constantemente inundaciones cuando las condiciones meteorológicas cambian drásticamente. La Zona Sur, tiene una predominancia geológica de la Formación Viche, las áreas con mayor susceptibilidad a inundación están conformadas por texturas que corresponden mayoritariamente a las arcillas con una tendencia a tener problemas de drenaje, profundidad de nivel freático entre superficial y muy superficial y pendientes hasta el 5%.

Las áreas establecidas como susceptibles a inundación son el resultado del análisis físico del área de estudio que no garantizan adecuadas condiciones de habitabilidad formal, sin embargo, en estas áreas existen poblaciones asentadas de manera informal. En muchos de los casos se ha levantado infraestructura física antitécnica que ha agravado las características físicas del suelo y de la capacidad de soportar o mitigar una posible inundación.

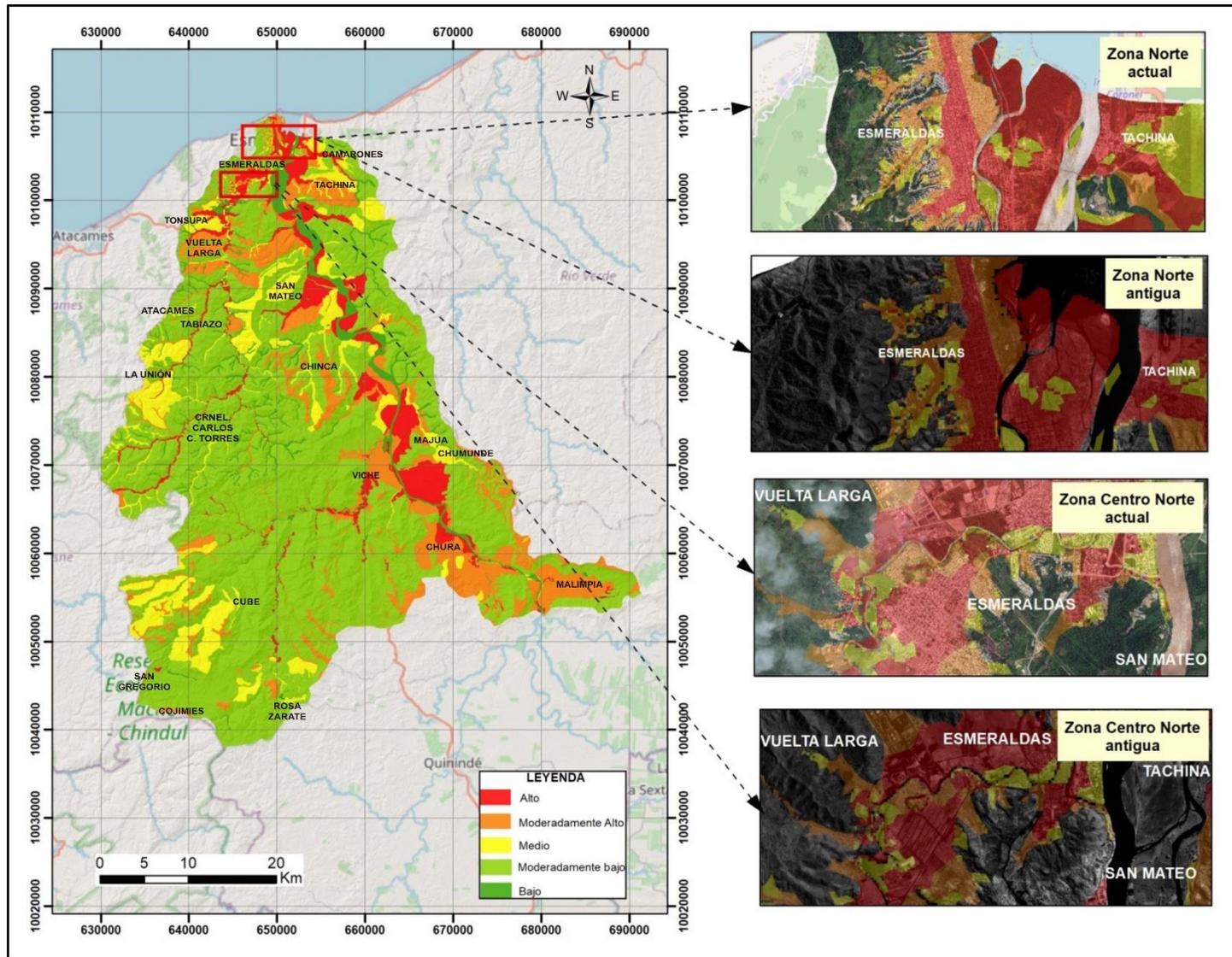


Fig. 166: Análisis espacial de las áreas susceptibles en diferentes zonas y épocas del área de estudio. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis geográfico realizado sobre ortofoto actual (2015) y mosaico generado a partir de fotografías aéreas de 1980 (IGM).

3.3 Amenaza por inundación

La determinación de los grados de amenaza a la que se encuentra expuesta el área de estudio es el resultado del análisis matricial (matriz de doble entrada) entre las precipitaciones y áreas susceptibles a inundación. Para evitar una subjetividad al momento de determinar la amenaza se zonificó a la unidad hidrográfica en cuatro áreas de influencia (Fig. 167); sin embargo, se mantiene el grado de susceptibilidad en toda el área de estudio dado que corresponde a las características físicas de las diferentes variables analizadas; en la tabla 70 se presentan los resultados en la definición de la amenaza.

		ÁREAS SUSCEPTIBLES					
		BAJO (1)	MODERADAMENTE BAJO (2)	MEDIO (3)	MODERADAMENTE ALTO (4)	ALTO (5)	
FACTOR INICIADOR - PRECIPITACIONES	ÁREA DE INFLUENCIA 1	BAJO (1)	BAJO	BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MEDIO
		MODERADAMENTE BAJO (2)	BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MEDIO	MEDIO
		MEDIO (3)	MODERADAMENTE BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MEDIO	MEDIO	MODERADAMENTE ALTO
		MODERADAMENTE ALTO (4)	MODERADAMENTE BAJO	MEDIO	MODERADAMENTE ALTO	MODERADAMENTE ALTO	ALTO
		ALTO (5)	MEDIO	MEDIO	MODERADAMENTE ALTO	ALTO	ALTO
	ÁREA DE INFLUENCIA 2	BAJO (1)	BAJO	BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MEDIO
		MODERADAMENTE BAJO (2)	BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MEDIO	MEDIO
		MEDIO (3)	MODERADAMENTE BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MEDIO	MEDIO	MODERADAMENTE ALTO
		MODERADAMENTE ALTO (4)	MODERADAMENTE BAJO	MEDIO	MODERADAMENTE ALTO	MODERADAMENTE ALTO	ALTO
		ALTO (5)	MEDIO	MEDIO	MODERADAMENTE ALTO	ALTO	ALTO
	ÁREA DE INFLUENCIA 3	BAJO (1)	BAJO	BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MEDIO
		MODERADAMENTE BAJO (2)	BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MEDIO	MEDIO
		MEDIO (3)	MODERADAMENTE BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MEDIO	MEDIO	MODERADAMENTE ALTO
		MODERADAMENTE ALTO (4)	MODERADAMENTE BAJO	MEDIO	MODERADAMENTE ALTO	MODERADAMENTE ALTO	ALTO
		ALTO (5)	MEDIO	MEDIO	MODERADAMENTE ALTO	ALTO	ALTO
	ÁREA DE INFLUENCIA 4	BAJO (1)	BAJO	BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MEDIO
		MODERADAMENTE BAJO (2)	BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MEDIO	MEDIO
		MEDIO (3)	MODERADAMENTE BAJO	MODERADAMENTE BAJO	MEDIO	MEDIO	MODERADAMENTE ALTO
		MODERADAMENTE ALTO (4)	MODERADAMENTE BAJO	MEDIO	MODERADAMENTE ALTO	MODERADAMENTE ALTO	ALTO
		ALTO (5)	MEDIO	MEDIO	MODERADAMENTE ALTO	ALTO	ALTO

Tabla 70: Grado de amenaza de las diferentes áreas de influencia. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de la metodología de la matriz de doble entrada.

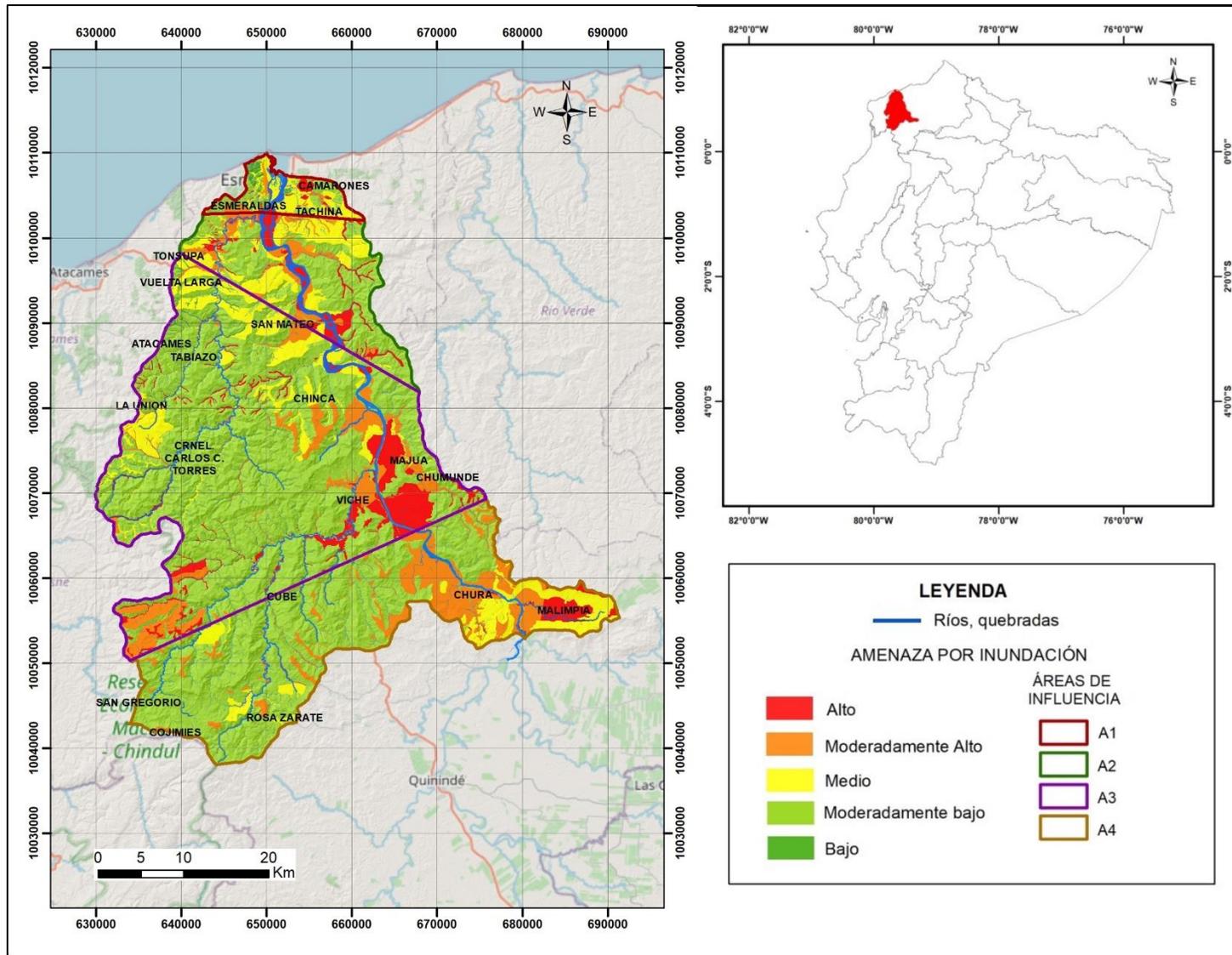


Fig. 167: Amenaza de inundación por áreas de influencia. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis del factor iniciador (precipitaciones) y áreas susceptibles.

En las figuras 168 y 169, se evidencia que las áreas pobladas en la Zona Norte y Zona Centro Norte están catalogadas como amenaza media a moderadamente alta, las mismas que se agudizan por la informalidad de la población asentada especialmente en las riberas del río Teaone en el sector de Vuelta Larga, tomando como referencia la ortofoto actualizada y el mosaico fotogramétrico de 1980 en los que se evidencia un aumento considerable de población. Se debe considerar que la Unidad Hidrográfica 1521 tienen la capacidad de soportar precipitaciones hasta los 884 mm, 1080 mm, 1347 mm y 2039 mm en cada área de influencia para tener un impacto bajo, considerando que las características físicas de las zonas geográficas presten condiciones de resistencia ante el incremento de las precipitaciones, como pendientes mayores al 25%, textura de franco limoso y limoso, drenaje natural bueno y un nivel freático moderadamente profundo.

Al contrario, en estas áreas de influencia se pueden registrar precipitaciones desde los 1020 mm, 1407 mm, 1720 mm y 2239 mm, lo cual, sumado a las características físicas del terreno como pendientes bajas, textura arcillosa del suelo, nivel freático bajo, causan o configuran una amenaza de inundación entre los rangos moderadamente alto a alta. En lo que corresponde a la ciudad de Esmeraldas (Zona Norte y Centro Norte) el desarrollo urbano ha sido generado históricamente por los afluentes del río Esmeraldas y Teaone, sin embargo, es una zona geográfica expuesta constantemente a inundaciones producidas por las crecidas de los afluentes producto del exceso de precipitación; normalmente estas áreas geográficas que colindan con los ríos Esmeraldas y Teaone son catalogadas como llanuras de inundación en un rango de medio a alto.

Dentro de estas llanuras o franjas de inundación a lo largo del tiempo se han producido asentamientos humanos informales que en la actualidad son considerados como una extensión desordenada del centro urbano de la ciudad Esmeraldas. Estos alteran las mínimas condiciones físicas de resistencia de la zona, evidenciando un desarrollo desorganizado de las fronteras urbanas y provocan una agudización de las inundaciones que se dan por el exceso de precipitación, considerando que en muchas de esas zonas existe una informalidad en su habitabilidad (Figs. 168 y 169).

En la Zona Centro Sur y Sur del área de estudio se registran diferentes valores de precipitación en los cuales se producen impactos producto de las inundaciones; esta variación está condicionada por la presencia de los factores de continentalidad producto de la presencia de la Cordillera del Cóndor; se debe considerar que estas zonas se encuentran alejadas del perfil

costanero. Dentro de estas áreas, en el extremo Sur del área de estudio se determina una llanura de inundación categorizada como alta en la zona de Malimpia y Majua debido a las condiciones físicas no favorables; en esta área, los ríos Blanco y Canade se unen para formar el río Esmeraldas, cuyo comportamiento está influenciado por las precipitaciones y puede generar impactos positivos o negativos. Esto sin lugar a duda propicia argumentos válidos para que se ejecuten acciones encaminadas a minimizar el impacto de las inundaciones en la zona de estudio.

3.4 Intensidades de precipitación de 24 horas y menores

El análisis realizado para la obtención de las intensidades máximas de precipitaciones en sus diferentes periodos de retorno proporciona el siguiente resultado (tabla 71):

t (min)	PERIODO DE RETORNO - Tr (años)					
	2	5	10	25	50	100
5	82,6	102,3	120,3	149,1	175,3	206,2
10	67,7	83,8	98,6	122,2	143,7	169
15	60,2	74,6	87,8	108,8	127,9	150,4
20	55,5	68,7	80,8	100,1	117,8	138,5
30	49,4	61,2	71,9	89,1	104,8	123,3
60	41,5	51,4	60,4	74,8	87,9	103,3
120	24,2	30	35,2	43,6	51,3	60,3
360	10,3	12,8	15	18,6	21,9	25,7
1440	3,5	4,4	5,1	6,3	7,4	8,8

Tabla 71: Intensidades máximas (mm/h) de la estación Tachina. Fuente: Elaboración propia, en base a las ecuaciones de intensidades máximas desarrolladas por el INAMHI para diferentes tiempos de duración (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2019).

Los resultados de las intensidades máximas corresponden al área influencia 1, en los sectores de Esmeraldas, Tachina y Camarones (Figs. 165, 166 y 167), los valores indican una mayor intensidad de lluvia conforme existe un mayor periodo de retorno y menor tiempo duración, al contrario, mientras aumenta la duración disminuye la intensidad de las precipitaciones en sus diferentes periodos de retorno. De acuerdo a la clasificación de las lluvias por su intensidad, se tiene lluvias torrenciales en el rango mayores a $60 \text{ mm} \times \text{h}^{-1}$, lluvias muy fuertes en el rango de 30 a $60 \text{ mm} \times \text{h}^{-1}$ y lluvias fuertes de 15 a $30 \text{ mm} \times \text{h}^{-1}$ (Saltos Irrazaba, 2022)(Gutiérrez Lozano, y otros, 2011) (CENEPRED, 2014) (Naranjo Polania, 2021) (Saltos Irrazaba, 2022).

Dentro de este análisis, se debe considerar que en un periodo de retorno menor a cinco años (Tr_5) se produce lluvias torrenciales ($61,2$ a $102,3 \text{ mm} \times h^{-1}$) en un rango de tiempo de duración de 5 a 30 minutos. De la misma manera, la presencia de lluvias fuertes (41 a $51,4 \text{ mm} \times h^{-1}$) se producen periodos de duración de 30 a 60 minutos; conforme aumenta el tiempo de duración la intensidad de lluvia tiende a disminuir en $Tr < 5$.

En los periodos de retorno de 10 y 25 años (Tr_{10} a Tr_{25}) se registran intensidades de lluvia hasta los $149,1 \text{ mm} \times h^{-1}$ en cortos periodos de duración, sin embargo, se puede evidenciar lluvias fuertes en ambos periodos de retorno en tiempos de duración de 6 horas. En lo que corresponde a los periodos de retorno de 50 y 100 años (Tr_{50} a Tr_{100}) alcanzan valores máximos de intensidad (lluvias torrenciales) desde periodos de duración de 60 minutos con rangos de intensidades de $103,3$ a $206,2 \text{ mm} \times h^{-1}$.

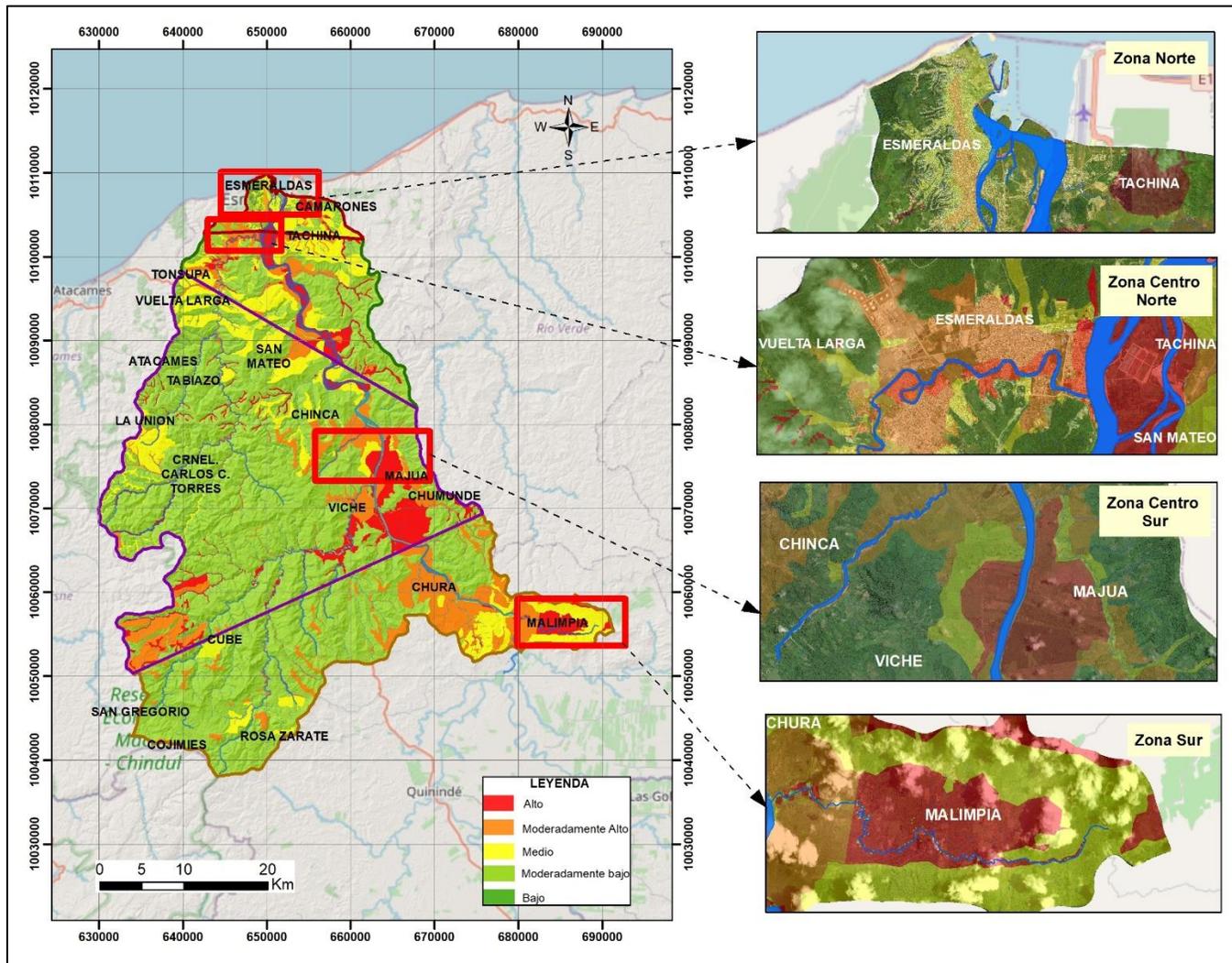


Fig. 168: Amenaza de inundación por áreas de influencia. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis geográfico realizado sobre la ortofoto actual del área de estudio.

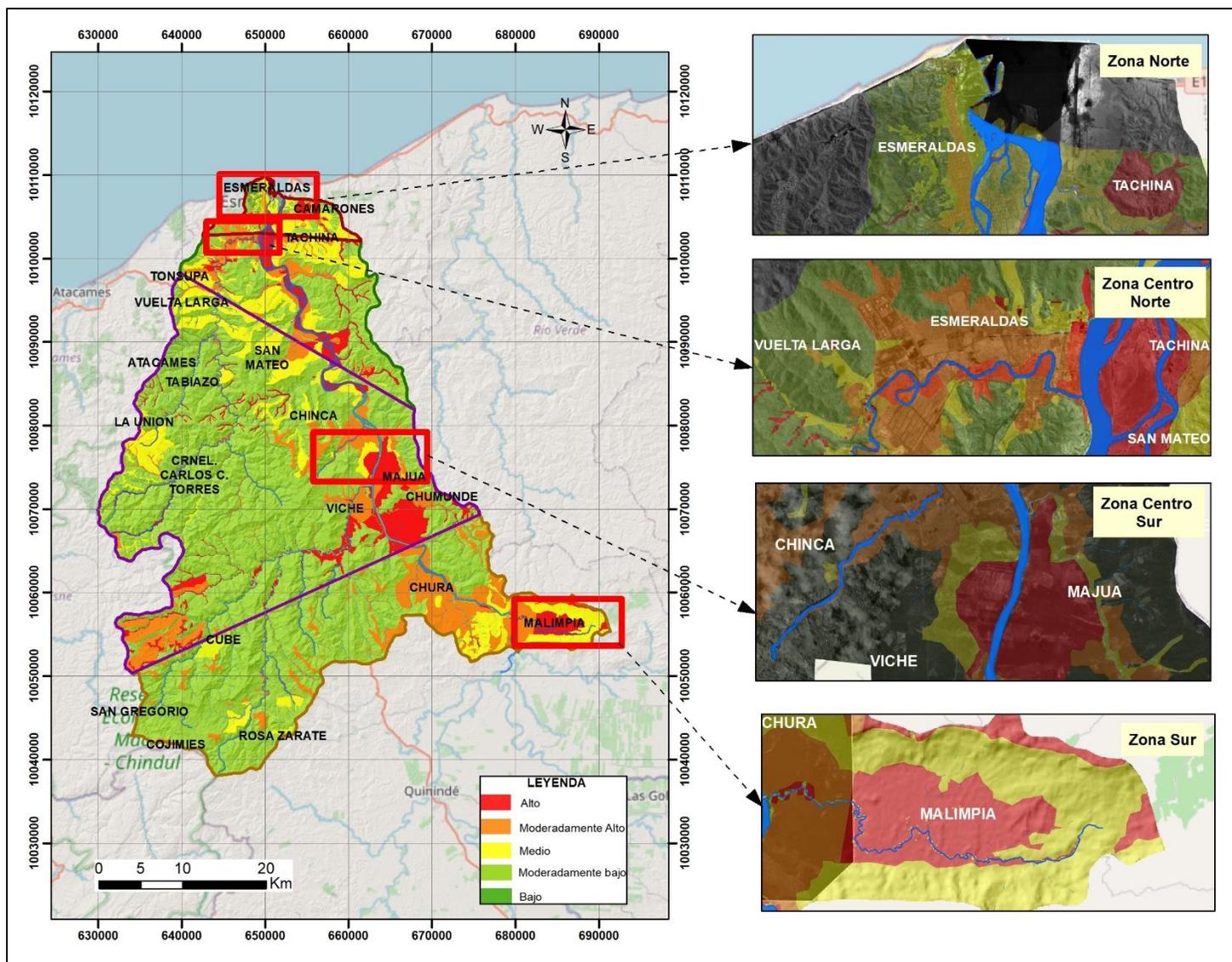


Fig. 169: Amenaza de inundación por áreas de influencia. Fuente: Elaboración propia, sobre la base del análisis geográfico realizado sobre el mosaico generado a partir de fotografías aéreas de 1980 (IGM).

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Los estudios geográficos orientados al análisis de las cuencas hidrográficas desde los parámetros físicos y climatológicos ayudan a entender la dinámica de su accionar en los diferentes periodos de tiempo con el fin de evaluar las amenazas que se derivan de su comportamiento y poder plantear medidas de mitigación para proteger la vida de las personas, poblaciones o comunidades. El análisis de los diferentes factores que condicionan la dinámica de la unidad hidrográfica está relacionado por una constante interrelación entre lo físico, climatológico y un factor importante que en la actualidad suma un papel a favor o en contra, que es la intervención humana.

Los resultados de los parámetros morfométricos de la unidad hidrográfica están sujetos o anclados a la calidad del Modelo Digital del Terreno (DTM) considerando que el estudio del comportamiento hidrológico se relaciona con las variaciones topográficas en horizontal y vertical. La generación de un DTM local, exclusivo para la unidad hidrográfica es un aporte significativo que ayuda a mejorar los resultados en los parámetros de forma, relieve y drenaje, aspectos importantes para el análisis de las áreas susceptibles a inundación.

El empleo de un laboratorio aéreo para la toma de fotografía aérea en diferentes periodos de tiempo, considerando la complejidad topográfica y climatológica del área de estudio obtuvo como resultado la obtención de un DTM a escala mayor (1:10000) después de haber fotografiado un área de 1675 Km^2 con un empleo de 60,11 horas de vuelo para la ejecución de 316 líneas de vuelo. En la conformación del área de vuelo se conforman cinco (5) bloques fotogramétricos que cumplen con las evaluaciones geométricas y radiométricas.

En la evaluación geométrica en los diferentes bloques se evidencia que la variación de los valores en aleo, cabeceo y deriva (Omega (Ω), Phi (Φ) y Kappa (K)) son producidos por el comportamiento de las condiciones meteorológicas a las que está expuesta la aeronave durante la ejecución del vuelo y la compleja topografía, que son compensadas en su mayoría por la incorporación de los sistemas inerciales y de la acción de la base giroestabilizadora. En la parte radiométrica se tiene una incidencia importante en la hora en la que se produce la toma, debido a la influencia de los rayos solares que provoca sombras sobre los diferentes elementos a mapear, de la misma manera, al tener la presencia del bosque tropical húmedo se genera una mayor

evapotranspiración de la vegetación generando nubosidad y bruma, lo que dificulta la toma continua de fotografía aérea.

El análisis morfométrico realizado a la unidad hidrográfica establece que geográficamente el área de estudio se ubica espacialmente en la parte baja de la cuenca del río Esmeraldas dentro de un rango altitudinal hasta los 708,3 m.s.n.m, siendo receptora del caudal y sedimentos derivados de la dinámica de las cuencas medias y altas. Los parámetros de forma identifican que la unidad hidrográfica es catalogada como una cuenca medianamente compacta con un mayor potencial de captar agua en función de la red de drenaje, que, complementado a su factor forma le hace vulnerable a las crecidas. Esto es producto de los cambios en el comportamiento de las precipitaciones y de la captación de los caudales de los ríos Blanco, Canadé y Cole ubicados en la parte media y alta, lo que produce una seria exposición a las amenazas de inundación en las diferentes áreas.

El área de estudio se encuentra expuesta a crecidas bruscas provocadas por concentración de agua; manifiesto en una red de orden siete (7) con una densidad de drenaje moderada y una relación de bifurcación que lo valida. Contribuye a esto sus características litológicas, de suelo y de cobertura vegetal. En el caso específico de la unidad hidrográfica se han identificado alteraciones físicas y químicas del suelo y de su cobertura vegetal producto de la acción natural y antrópica a la que se encuentra expuesta; de los análisis realizados se tiene que desde el 2001 al 2011 existe una pérdida de cobertura de bosque natural del 34,4% con un promedio anual de 47,65 teniendo una afectación directa en el comportamiento hidrológico de la unidad hidrográfica.

En el área de estudio existe una predominancia de la Formación Viche debido al proceso de intemperismo que forman suelos de textura arcillosa y franca arcillosa-limosa. Los suelos con alta concentración de arcilla tienen una baja permeabilidad y no permiten el drenaje adecuado en la unidad hidrográfica.

En lo que respecta al análisis climatológico, la unidad hidrográfica debido a su ubicación geográfica está expuesta a la ocurrencia de fenómenos climáticos derivados de la acción de los factores geográficos y climatológicos. La variación climática del área de estudio está condicionada por el comportamiento estacional del Océano Pacífico, de las perturbaciones ocurridas en la

Amazonia, de los microclimas locales y de la intensidad de la circulación atmosférica producto de la convergencia de los vientos alisios del Norte y Sur que generan importantes masas de aire.

En la unidad hidrográfica se ha identificado un comportamiento que marcan las épocas de seca y lluviosa; en lo que corresponde a la época seca se tiene una característica que se origina por una mayor presencia de la corriente fría de Humboldt que viene acompañada por un aumento en la intensidad de los vientos, baja precipitación y disminución de temperatura (indicador de la presencia del fenómeno de La Niña); los meses en los cuales se identifican estas características son de julio a diciembre. La época lluviosa tiene la característica de un exceso de precipitación, altas temperaturas y baja intensidad en las velocidades; los meses que registran este comportamiento son de enero a junio y se debe a la presencia de la corriente cálida Ecuatorial que en muchas ocasiones indica la presencia del fenómeno de El Niño; en este resultado se identifica a los meses de diciembre y julio como neutros para la transición de la época lluviosa a la seca.

Existen dos fenómenos que afectan de manera directa el comportamiento de los elementos climáticos, el fenómeno de El Niño y La Niña que provocan un aumento o disminución en valores extremos de temperatura, precipitación, vientos, entre otros. Del análisis de los vientos, se determina que la unidad hidrográfica tiene una predominancia de vientos Alisios del Sur con una dirección en el sentido Sur-Este y Oeste; cabe mencionar que el comportamiento de los vientos está definido por el centro de alta presión del Anticiclón del Pacífico Sur y controlado por la Circulación de Walker.

La unidad hidrográfica, que presenta un clima cálido húmedo y subhúmedo, tiene una temperatura media anual de 26,1°C. La posición geográfica de la misma determina que la variabilidad de la temperatura esté influenciada por diversos factores, como los vientos, la precipitación y la presencia de masas de aire oceánicas o locales. De acuerdo al análisis realizado, las estaciones registran variaciones en la temperatura media mensual, con valores máximos de 28,9°C y mínimos de 23,6°C durante ciertos períodos que definen las épocas lluviosa y seca de la unidad hidrográfica; estos cambios de temperatura mensuales pueden ser significativos, alcanzando una diferencia de casi 5°C.

El análisis estadístico de la precipitación en las estaciones de la unidad hidrográfica indica una variabilidad significativa en los datos con respecto a su media durante las diferentes épocas del

año. Durante la época lluviosa, se observa una menor concentración de datos que se encuentran sobre la media y, además, estos datos se encuentran más dispersos, mientras que en la época seca existe una mayor concentración de datos que se aproximan a la media.

La unidad hidrográfica presenta un patrón de precipitación anual que se caracteriza por una época lluviosa y una época seca claramente definidas. Durante los meses de enero a mayo, se concentran los mayores registros de precipitación, mientras que durante los meses de julio a noviembre se producen las precipitaciones mensuales mínimas. La época lluviosa, que abarca desde enero hasta junio, se produce un incremento gradual en las precipitaciones a lo largo del año, por el contrario, durante la época seca, que se extiende desde agosto hasta noviembre, se produce una disminución significativa de las precipitaciones, que pueden llegar a estar hasta un 60% por debajo de la media del periodo de la época lluviosa.

En el año de 1997 y 1998 las estaciones en las diferentes áreas de influencia registran máximos históricos de precipitaciones acumuladas debido a la presencia del fenómeno de El Niño con rangos que superan los 2000 mm de precipitación. En lo relacionado con el análisis de las intensidades de lluvia en el área de influencia uno, se evidencia que en los sectores de Esmeraldas, Tachina y Camarones, la intensidad de lluvia aumenta con un mayor periodo de retorno y menor tiempo de duración, al contrario, mientras aumenta la duración disminuye la intensidad de las precipitaciones en sus diferentes periodos de retorno; esta información indica la presencia de lluvias torrenciales en diferentes tiempos de duración (2 a 60 minutos) en periodos de retorno de 2 a 10 años, con una alta frecuencia o recurrencia de producirse.

La construcción y análisis de la amenaza por inundación se desarrolló tomando en consideración que las precipitaciones en el área de estudio no tienen una uniformidad en sus valores. Por esta razón, se realizó un análisis en función de áreas de influencia tomando como base las estaciones meteorológicas en cada una de las áreas. Se identifica que en cada área de influencia de la unidad hidrográfica la precipitación puede tener diferentes impactos según el rango de valores que se presente en un determinado momento, además, para un análisis más detallado de la amenaza se consideraron factores geomorfológicos, incluyendo la incorporación de un nuevo modelo digital del terreno (DTM) generado localmente. Los resultados evidencian que las áreas geográficas que se encuentran colindantes con los ríos Esmeraldas y Teaone tienen un alto grado de susceptibilidad

física a sufrir una inundación, debido a que presentan terrenos que no exceden del 5% de pendientes, suelos con predominancia de arcillas, mal drenaje y un nivel freático superficial.

De la misma manera, dentro de la unidad hidrográfica cada área de influencia tiene cierto límite de precipitación para que se produzca una inundación catalogada como baja; en la Zona Norte y Centro Norte se puede soportar hasta los 884 mm y 1080 mm, mientras que, en la parte Centro Sur y Sur se pueden soportar precipitaciones hasta los 1347 mm y 2039 mm. Se considera como inundación agravada cuando dentro del área de estudio se registran valores en un rango (Zona Norte y Centro Norte) entre 1139 y 2238,7 mm y de 1636,8 a 3784,6 mm (Zona Centro Sur y Sur); estos rangos se registraron durante las graves inundaciones que ocurrieron como resultado de la influencia del fenómeno de El Niño en los años 1983, 1997, 1998, 2002, 2010 y 2015.

A pesar de poder identificar las diferentes llanuras de inundación y proyectar los efectos que puede provocar una determinada precipitación, el impacto a la población es directo debido a la existencia de asentamientos informales en todas las áreas catalogadas como amenaza de inundación de medio a alto, producto de una falta de control o de estudios técnicos reales del comportamiento de la unidad hidrográfica.

La investigación llevada a cabo permite corroborar la hipótesis planteada: *“La aplicación de técnicas de teledetección y la generación de geoinformación de pronta respuesta permitirá contrarrestar los efectos de las inundaciones y generar planes de mitigación.*

La aplicación de técnicas específicas como sensores remotos permite determinar el comportamiento de las cuencas hidrográficas y los efectos de la crecida de los Ríos Esmeraldas y Teaone”. La unidad hidrográfica 1521, la cual contiene a los ríos Esmeraldas y Teaone, presenta áreas geográficas propensas a que se produzcan inundaciones producto del exceso de precipitaciones, áreas que han sido definidas en base a la construcción de información geográfica local complementada con el análisis climatológico. En la mayoría del área de estudio no existe una adecuada convivencia o equilibrio entre la naturaleza y la población producto de la intervención no técnica de pobladores en áreas en las cuales existe una alta probabilidad de que ocurra una inundación. Por esta razón, se deja plasmado en esta tesis una posible guía para que las diferentes autoridades consideren replantear y recuperar las zonas de amortiguamiento que actualmente se encuentran ocupadas por asentamientos informales.

PROPUESTAS

PROPUESTAS

Establecimiento de políticas

El principal resultado de la presente investigación es el de haber definido áreas con ciertos grados de amenaza a inundaciones que debe servir de uso para el establecimiento de políticas por parte de las autoridades locales y provinciales para establecer a las llanuras de inundación como zonas libres de población o infraestructura. En la actualidad, muchos de los planes de ordenamiento territorial contienen información superficial sobre el verdadero uso de suelo en las diferentes áreas geográficas, por lo que es importante que a partir de los resultados obtenidos en la presente investigación, se consiga un verdadero análisis de las consecuencias económicas y de vidas en el caso de mantener a las poblaciones en las llanuras de inundación.

Socialización a la población

Ejecutar una campaña masiva de información a la población que se encuentra en las zonas de amenaza de inundación en sus niveles más agravados de manera que se puedan establecer planes a nivel cantonal o provincial para el desplazamiento de este grupo de personas hacia zonas aptas para la habitabilidad. La socialización debe orientarse a la concientización de las personas de cómo técnicamente las áreas no son lo suficientemente seguras para desarrollar una comunidad, aunque ello produciría una afectación directa a los intereses políticos.

Aplicación de medidas de reducción de riesgo

En base a las áreas determinadas, plantear la construcción de obras civiles en los diferentes tramos de los afluentes principales y en áreas donde existe la probabilidad de que se produzca una inundación considerando los factores físico y climatológicos. Adicional, se puede complementar con acciones enfocadas al campo educativo, capacitación comunitaria y propuestas de cambios de leyes y ordenanzas que busquen garantizar y ordenar los asentamientos humanos.

Creación de comités de vigilancia

Proponer la conformación del comité de vigilancia con un grupo de personas de todas las áreas, desde la parte política, educativa, investigativa y de la población, con la finalidad de que sean veedores de la implementación de las medidas de mitigación.

Densificación de estaciones pluviométricas

Proponer la instalación de estaciones pluviométricas en cada área de influencia de la unidad hidrográfica para mejorar el análisis de la presente investigación. Actualmente, la información de precipitación disponible tiene una limitación (en el registro) de 24 horas y menores lo que impide el análisis de las intensidades en diferentes periodos de retorno. La obtención de información de precipitación de corta duración a través de las estaciones pluviométricas propuestas será esencial para el estudio de la influencia de las intensidades de lluvia en la amenaza de inundación.

Generación de DTM locales en las áreas donde no existe cartografía para un análisis detallado de toda la cuenca del río Esmeraldas

Utilizar la metodología empleada en la presente investigación para generar Modelos Digitales del Terreno (DTM) locales de mayor resolución en las áreas donde existen lagunas (gaps) en la cuenca del río Esmeraldas. Para ello, se propone solicitar a instituciones como el IGM, INAMHI y SGR la generación de estos DTM en áreas que históricamente no se han generado debido a las complicaciones para la captura de información fotogramétrica.

La obtención de información detallada y precisa del terreno a través de los DTM permitirá mejorar el análisis morfométrico de la cuenca y ofrecer información valiosa a las diversas instituciones que contribuyan a una mejor comprensión de la cuenca y a la toma de decisiones por las diferentes autoridades locales y nacionales

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

- Acuña, A. P. (2012). *La gestión de los Stakeholders: Análisis de los diferentes modelos. Encuentro regional Zona Sur*. Argentina.
- Aguiló Alonso, M., Albaladejo Montoso, J., Aramburu Maqua, M. P., Carrasco González, R. M., Castillo Sánchez, V., Ceñal González-Fierro, M. Á., . . . Cristóbal López, M. Á. (2014). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico* (Cuarta edición ed.). (F. C. Montes, Ed.) Madrid, España.
- Aguiló Alonso, M., Aramburu Maqua, M. P., Blanco Andray, A., Calatayud Prieto-Lavin, T., Carrasco Gonzalez, R. M., Castilla Castellano, G., . . . Díaz Segovia, A. (1996). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*. MADRID, España: Solana e Hijos, A.G., S.A.
- Alencastro Guerrero, P., Calderón Bastidas, H., Intriago Ferrin, A., & Quiñónez Cabeza, M. (2019). Factores incidentes en el volumen exportado por el Puerto de Esmeraldas periodo 2012 – 2018. *Revista mktDescubre - ESPOCH FADE*(14), 60-68.
- Allende, C., Teodoro, & Mendoza. (2007). Análisis hidrometeorológico de las estaciones de la cuenca del lago Cuitzeo. *Investigaciones geográficas* (63), 56-76.
- Álvarez Rodríguez, J. (2011). *Estimación de la distribución espacial de la precipitación en zonas montañosas mediante métodos geoestadísticos, Tesis Doctoral*. Madrid, España: Departamento de Ingeniería Civil: Hidráulica y Energética.
- American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. (2015). ASPR Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, A8.
- Angueira de Prieto, M. C. (2015). *Relevamiento de suelos utilizando las muestras técnicas de Geomática: un caso en Santiago del Estero, Argentina. Tesis Doctoral*. Córdoba, Argentina: Universidad de Córdoba.
- Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. (G. Noriega, Ed.) México: LIMUSA S.A. de C.V.

- Aumassanne, C. M., Gaspari, F. J., Bege, M. E., Oricchio, P., & Di Bella, C. M. (2018). Morfometría de la cuenca alta del Río Colorado , ARGENTINA. *Boletín Geográfico*(40(1)), 13-29.
- Ávila Mogollón, R. M. (2000). *EL AHP (Proceso Analítico Jerárquico) y su aplicación para determinar los usos de las tierras*. Informe Técnico N°2, Santiago de Chile.
- Aznar Bellver, J., & Guijarro Martínez, F. (2012). *Modelos Multicriterio: Nuevos métodos de valoración* (Segunda edición ed.). Valencia, España: Universitat Politècnica.
- Baldock, J. W. (1982). *Geología del Ecuador*. Quito, Pichincha, Ecuador: División de Investigación Geológico - Minera.
- Barrenechea, J., Gentile, E., González, S., & Natenzon, C. (2014). Una propuesta metodológica para el estudio de la vulnerabilidad social en el marco de la teoría social del riesgo. *PIRNA - Programa de Investigaciones en Recursos Naturales y Ambiente*, 1-13.
- Bello Mendoza, L., & Velázquez Juárez, S. J. (2013). *Cálculo de periodo de retorno*. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10391/3722>.
- Bredd, W. (2015). *Surveying & Mapping Handbook Aerial Photogrammetry*. *Surveying & Mapping Office*, (pág. 10). Florida.
- Brendel, A. S., Bohn, V. Y., & Piccolo, M. C. (2017). Efecto de la Variabilidad Climática Sobre el Estado de la Vegetación y la Cobertura de Agua en una Cuenca de Clima Templado (Argentina). *Anuario do Instituto de Geociências -UFRJ*, 40(2/2017), 05-16.
- Busnelli, J., & Horta, L. R. (2014). Morfometría de cuencas montanas y metamorfosis fluvial, Tucumán. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 71(1), 11-20.
- Camino, M. A., Bó, M. J., Cionchi, J. L., López de Armentia, A., Del Río, J. L., & De Marco, S. G. (2018). Estudio morfofométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía*(27), 73.

- Campo, M. A., Aldabur, N. B., & Fernández, S. N. (2012). Morfometría fluvial aplicada a una cuenca urbana en Ingeniero White, República Argentina. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM(77)*, 7-17.
- Campos Aranda, D. (1992). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. Universitaria Potosina.
- Carbone, M. E., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. (2003). Caracterización climática de la cuenca del Arroyo Claromecó, ARGENTINA. *Papeles de Geografía(38(2003))*, 41-60.
- Casafont Berga, L. (1988). Las grandes presas del Río Amarillo. *REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS*, 663-682.
- Celemín, J. P. (2014). El procesos analítico jerárquico en el marco de la evaluación multicriterio: Un análisis compartativo. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*.(6), 47-63.
- CENEPRED. (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originados por inundaciones fluviales*. Lima, Perú: CENEPRED.
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - CRED. (s.f.). *The International Disaster Database*. Recuperado el 23 de Mayo de 2015, de www.emdat.be.
- Centro Regional, Cambio Climático y Toma de Decisiones; Universidad Católica; Fundación Moises Bertoni. (2014). Impacto de las inundaciones en la economía de un productor agropecuario. *Centro Regional de Cambio Climático Y Toma de Decisiones*, 1-11.
- Cerignoni, F. J., & Rodriguez, V. A. (2015). Análisis morfofométrico de la microcuenca "C" núcleo Cunha, Sao Paulo, Brasil. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 355-366.
- Changjiang Institute of Survey Planning Design and Reserach - CISPDR. (2016). *Plan Hidráulico Regional de Demarcación Hidrográfica Esmeraldas*.
- Chaves-Córdoba, B., & Jaramillo-Robledo, A. (1998). Regionalización de la temperatura del aire en COLOMBIA. *Cenicafé*, 49(3), 224-230.

- Chen, Y., P. M. Syvitski, J., Gao, S., Overeem, I., & Kettner, A. J. (2012). Socio-economic Impacts on Flooding: A 4000-Year History of the Yellow River, China. *THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCE*, 692-698.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada*. Austin, Texas, EEUU: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.
- Chueca Pazos, M. (1982). II. FOTOGRAMETRIA TERRESTRE Y AEREA. En *TOPOGRAFIA*. Madrid: Dossat, S.A.
- CLIRSEN - SIGAGRO - MAGAP. (2011). *MEMORIA TÉCNICA, GEOPEDOLOGIA*. Quito, Ecuador.
- CLIRSEN - SIGAGRO - MAGAP. (2011). *Memoria Técnica. "Geopedología y Amenazas Geológicas"*. Quito, Ecuador.
- CLIRSEN, SENPLADES, MAGAP. (2012). "Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional escala 1:25 000". *MEMORIA TÉCNICA*, 1-129.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (1998). *El fenómeno El Niño: Su naturaleza y los riesgos asociados a su presencia recurrente*. México.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (1999). Efectos macroeconómicos del fenómeno El Niño de 1997-1998. *CEPAL*, 1-40.
- Contreras López, M. (2013). Cronología de Tsunamis en Ecuador desde 1586 a 2012. *Revista La Técnica*(11), 50-59.
- Corporación Andina de Fomento. (1998). *El fenómeno El Niño 1997-1998 Memoria, Retos Y Soluciones* (Vol. IV). Ecuador.
- Corporación OSSO, La RED, UNDRR. (s.f.). *DESINVENTAR.org*. Recuperado el 04 de Noviembre de 2019, de *DESINVENTAR.org*: <https://www.desinventar.org/>.
- Crevenna Recaséns, A. B., Sorani, V., Torres, V., & Frame, D. (2005). Geomorphometric analysis for characterizing landforms in Morelos State, Mexico. *Geomorphology*(67), 407-422.

- Cruz D'howitt, M. A. (2017). Amenazas naturales recurrentes , concurrentes y concatenadas en la ciudad de Esmeraldas. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, 25-92.
- Cruz Romero, B., Gaspari, F. J., Rodriguez Vagaría, A. M., Carrillo Gonzalez, F. M., & Téllez López, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *INVESTIGACIÓN Y CIENCIA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUAS CALIENTES*, 26.
- Cuasapaz Chamorro, C. (2018). *Influencia de patrones climáticos globales en el caudal superficial de la cuenca del Río Esmeraldas*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- D'Ercole. (2005). *Criterios de reflexión por la determinación de prioridades para la reducción de los riesgos en el Ecuador, seminario internacional DIPECHO*. Quito.
- Di Baldassarre, G., Castellarin, A., & Brath, A. (2010). Analysis of the effects of levee heightening on flood propagation: example of the River Po, Italy. *Hydrological Sciences Journal*(54:6), 1007-1017.
- Díaz Gómez, R., Gaspari, F. J., & Georgieff, S. M. (2017). Aspectos morfométricos de cuencas subtropicales del Noroeste de Argentina. *Acta geológica lilloana*, 3-19.
- Doffo, N., & Bonorino González, G. (2005). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del arroyo Las Lajas, Córdoba: Un análisis estadístico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*(60(1)), 16-22.
- ENTRIX. (2001). *Oleoducto de crudos pesados - Estudios ambientales*. Estudio Ambiental, Quito.
- ESRI. (2016). *ArcMap*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2020, de ArcMap: https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm#ESRI_SECTION1_E112B7FAED26453D8DA4B9AEC3E4E9BF.
- FAO. (25 de Marzo de 2020). *Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura*. Recuperado el 2020 de Marzo de 30, de © FAO: <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/watershed-management/basic-knowledge/es/>.

- Fattorelli, S., & Fernández, P. C. (2011). *Diseño Hidrológico* (Segunda Edición ed.). Zaragoza, España: WASA-GN.
- Felicísimo. (1994). Modelos digitales de elevación. Oviedo: Pentalfa., (págs. 5, 12).
- Fernández Carrasco, P. (2002). *Estudio del impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos, aplicación en diecinueve pequeñas cuencas en ESPAÑA, Tesis Doctoral*. Madrid: UPM.
- Fraser, B. (2017). Surprise El Nino causes devastation but offers lessons for ecologists. *Nature*, 544(7651).
- Fuentes Junco, J. d. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tabcítaro. *INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA*, 1-47.
- Gallegos Reina, A., & Perles Roselló, M. J. (2019). Relaciones entre los cambios en los usos del suelo y el incremento de los riesgos de inundabilidad y erosión: análisis diacrónico en la provincia de Málaga (1957–2007). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 81(2740), 1–38.
- Galvéz, H., & Regalado, J. (2007). Características de las precipitaciones, la temperatura del aire y los vientos de la costa ecuatoriana. *ACTA OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO*, 14(1,2007), 201-205.
- García Conde, A. J. (2013). *Análisis de distribuciones estadísticas alternativas a las tradicionales para la optimización de los caudales de cálculo empleados en los estudios hidrológicos, Tesis Doctoral*. Badajoz, España: UNIVERSIDAD DE EXTRAMADURA.
- Gausson, H., & Bagnouls, F. (1953). *Saison seche et indice xerothermique*. (F. d. Sciences, Ed.) Toulouse: Univ. de Toulouse.
- Gentili, J. O., & Gil, V. (2013). Variabilidad temporal de las precipitaciones en vertientes opuestas del Sistema de Ventania, Buenos Aires, Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*(22), 147-166.

- Geraldi, A. M. (2009). *Estudio Geoambiental de la Cuenca Lagunar las Encadenadas del Oeste, Tesis Doctoral*. Bahía Blanca, Argentina: Universidad Nacional del Sur.
- Gil, V. (2009). *Hidrogeomorfología de la cuenca alta del Río Sauce Grande aplicado al peligro de crecidas, Tesis Doctoral*. Bahía Blanca, Argentina.
- Gil, V., Gentili, J. O., & Campo, A. M. (2009). Influencia de la litología en la variación de los parámetros morfométricos, Sistema de Ventania, ARGENTINA. *Papeles de Geografía*, 55-68.
- Gisbert Blanquer, J. M., Ibáñez Asensio, S., & Moreno Ramón, H. (2013). La textura de un suelo. *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA*, 1-8.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Esmeraldas. (2012). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la Provincia de Esmeraldas*. Esmeraldas: Dirección de Planificación GADPE.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Esmeraldas. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Provincia de Esmeraldas 2015-2025*. Esmeraldas, Ecuador.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Esmeraldas . (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2012-2022*. Esmeraldas.
- González de Matauco, A. I. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del Río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la A.G.E*(38), 311-329.
- Guachamin, W., García, F., Arteaga, M., & Jorge, C. (2015). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación - INAMHI (Vol. 2(2019))*. Quito.
- Guerra Peña, F. (2003). Las doce principales reglas de la interpretación otogeológica y las bases fundamentales de que se derivan. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNA*(50), 42-66.

- Guntel, A., Karabork, H., & Karasaka, L. (2018). Accuracy Analysis of Control Point Distribution for Different Terrain Types on Photogrammetric Block. *Tehnički vjesnik*, 25(Suplement 1), 66-74.
- Gutiérrez Lozano, J., Vargas Tristán, V., Romero Rodríguez, M., Plácido de la Cruz, J. M., Aguirre Bortoni, M., & Silva Espinoza, H. T. (2011). Periodos de retorno de lluvias torrenciales para el estado de Tamaulipas, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*(76), 20-23.
- Gutiérrez, R. D., Lòpez, J. L., Villa, O. R., & García, O. A. (2019). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del Río Ayuquilla. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*(24), 141-158.
- Henaó Sarmiento, J. E. (1998). *Introducción al manejo de cuencas hidrográficas*. Bogotá: Editorial Universidad Santo Tomás–Usta.
- IEE, MAGAP. (2012). Amenaza a erosión hídrica. *GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL ESCALA 1: 25.000*, 1-42.
- INAMHI - ORSTOM. (1996). *Crítica, corrección de datos y determinación de coeficientes de ponderaciones para el cálculo de precipitaciones medias*. Quito, Ecuador.
- Instituto Espacial Ecuatoriano. (2018). *Aptitud física constructiva, conflictos de uso y capacidad de acogida constructiva*. Quito.
- Instituto Espacial Ecuatoriano. (2018). Generación de información geoespacial a escala 1: 5000 para la determinación de la aptitud física del territorio y desarrollo urbano mediante el uso de geotecnologías. *APTITUD FÍSICA CONSTRUCTIVA, CONFLICTOS DE USO Y CAPACIDAD DE ACOGIDA CONSTRUCTIVA*, 1-80.
- Instituto Espacial Ecuatoriano, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2015). *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25 000*. Quito, Ecuador.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2013). *Actualización de la planificación de la red hidrometeorológica del Ecuador*. Quito, Ecuador: INAMHI.

- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (25-27 de Marzo de 2014). Décima segunda reunión del grupo de trabajo sobre hidrología y recursos hídricos de la AR II. *Sistemas de Alerta Temprana Hidrometeorológica en Ecuador*. Montevideo, Uruguay.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2019). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*. Quito, Ecuador: INAMHI.
- Instituto Oceanográfico de la Armada. (2005). *DERROTERO DE LA COSTA CONTINENTAL E INSULAR DEL ECUADOR* (4ta ed.). Guayaquil, Ecuador.
- Instituto Oceanográfico de la Armada. (2010). *Plan de Contingencia para Tsunamis de la Ciudad de Esmeraldas*. Esmeraldas.
- Jardí, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, XIX, 41-68.
- La Hora. (06 de Diciembre de 2011). La sequía ya pasa factura. *LA HORA, LO QUE NECESITAS SABER*.
- Levard, L., Mathieu, B., & Masse, P. (Marzo de 2019). Compendio para la evaluación de la agroecología, Métodos para evaluar sus efectos y las condiciones para su desarrollo., *GTAE-AgroParisTech-CIRADIRD*, 1-135.
- Lincango, J., Jiménez, E., Valdiviezo, C., & Freire, G. (2016). *Especificaciones técnicas para la producción de cartografía a escala 1:5000* (Primera ed.). Quito: Instituto Geográfico Militar.
- Lind, D. A., Marchal, W. G., & Mason, R. D. (2004). *Estadística para Administración y Economía*. Ciudad de México, México: ALFAOMEGA.
- López Bermúdez, F., & Romero Díaz, A. (1987). Morfometría de redes fluviales: revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al alto Guadalquivir. *PAPELES DE GEOGRAFIA (FISICA)*(12), 47-62.

- Luna Loayza, C., Almanza Ascue, M., & Mamani, R. N. (2020). Peligro de inundación del río Vilcanota en el centro poblado de Písac, Cusco 2018. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, *XLI*(2), 18-32.
- Luna Ludeña, M. P. (2017). *Contribución a la definición de un modelo de velocidades de la corteza terrestre para Ecuador a partir de datos GNSS*, Tesis doctoral. Madrid, España: UPM.
- MAC, D., Acosta, M. C., & Squez, N. E. (2008). Riesgos por tsunami en la costa ecuatoriana. 1.
- MAGAP, PRAT, SIGAPRO, BID. (2008). *Metodología de valoración de tierras rurales propuesta*. Quito, Ecuador.
- Mastrandrea, A., & Angeles, G. (2020). Evaluación Multicriterio aplicada a la determinación de escenarios de peligrosidad en la cuenca del arroyo Napostá Grande (provincia de Buenos Aires, Argentina). *Cuadernos Geográficos*(60(1)), 181-202.
- Maturana, J., Bello, M., & Manley, M. (2010). Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur. *Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile*, 13-27.
- Méndez, W., & Marcucci, E. (2006). Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*(47), 29-55.
- Méndez, W., Pacheco, H., Cartaya, S., Marcano, A., & Leon, C. (2015). Caracterización hidroclimatológica y morfométrica de la cuenca del río San Julián (estado Vargas, Venezuela): aportes para la evaluación de la amenaza hidromorfológica. *CUADERNOS DE GEOGRAFÍA / REVISTA COLOMBIANA DE GEOGRAFÍA*, *24*(2), 133-156.
- Mendoza Cedeño, J., & Campos Cedeño, A. (2021). Análisis hidrológico de la cuenca Rocafuerte para estimar el potencial hídrico de la zona. *Revista Tecnológica - Espol*, *33*(1), 10-17. doi:<https://doi.org/10.37815/rte.v33n1.783>.
- Meza Aliaga, M., Rodríguez Valdivia, A., Corvacho Ganahín, O., & Tapia Tosetti, A. (2014). Análisis morfofométrico de microcuencas afectadas por flujos de detritos bajo precipitación intensa en la Quebrada de Camiña, Norte Grande de CHILE. *Diálogo Andino*(44), 15-24.

- MIDENA, IEE, SENPLADES, MAGAP. (2015). *Generación de geoinformación para la gestión del Territorio a nivel nacional, escala 1:25 000*. Quito.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2012). Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa. 1-28.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2018). *Estadísticas Portuarias y de Transporte Marítimo*. Quito, Ecuador.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2015). *Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje*. Lima, Perú: MTC.
- Ministerio del Ambiente. (2013). *Modelo de Regímenes de Inundación: Para la Representación Cartográfica De Ecosistemas Del Ecuador Continental*. Quito, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente, FOCAM, PNUD. (2015). *Plan Nacional de Cambio Climático 2015-2018*. Quito, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente, MINAN 2009. (2010). *Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales*. Lima.
- Moffitt, F., & Mikhail, E. (1980). *Photogrammetry*. Harper & Row, Publishers, Inc.
- Monsalve Sáenz, G. (1999). *HIDROLOGÍA EN LA INGENIERÍA* (Segunda ed.). México DF, México: ALFAOMEGA.
- Naranjo Polania, D. F. (2021). *Pronóstico de la precipitación para la zona de influencia de la estación agroclimática Yariguies, utilizando técnicas de machine learning*. Bogotá, Colombia: Fundación Universitaria Los Libertadores. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11371/4913>.
- Neumann, K. (2005). *Digital Aerial Cameras*. Germany: Integraph Z/I Deutschland GMBH.
- Olivares Mendoza, J. A., Koh Romero, D. A., Prezas Hernández, B., & Pereira Corona, A. (2016). Vulnerabilidad de la población ante los efectos del cambio climático. *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ, XIV*, 25-36.

- OMM/UNESCO. (1974). *Glosario hidrológico internacional*.
- Organización de las Naciones Unidas. (1989). Resolución 44/236. *Decenio internacional para la reducción de los desastres naturales*. ONU.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2009). *Guía para la descripción de suelos* (Cuarta edición ed.). Roma.
- Organización Meteorológica Mundial. (2017). *Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre la generación de un conjunto definido de productos nacionales de vigilancia del clima* (2017 ed., Vols. OMM-N° 1204). Ginebra, Suiza: OMM.
- Organización Panamericana de Salud. (2000). *Crónicas de Desastres, Fenómeno El Niño 1997-1998*. Washington, EE.UU.
- Ortiz Vera, O. (2004). Evaluación hidrológica. *HIDRORED, RED LATINOAMERICANA DE MICRO HIDROENERGÍA*, 2-7.
- OSSO, C., RED, L., & UNISDR. (s.f.). *DESINVENTAR.org*. Recuperado el 20 de Mayo de 2015, de <http://www.desinventar.org/es/>.
- Pacheco Gil, H. A. (2012). Modelos digitales del terreno, variables hidrológicas variables hidrológicas y movimientos en masa, estado Vargas, Venezuela. *GEOENSEÑANZA*, Vol. 17(1), 57-75.
- Peralta, J., López, Á., Sosa, I., Delgado, E., & Barriga, A. (2013). Evaluación energética y Análisis Estadístico del régimen de Vientos del perfil costero Ecuatoriano. *ResearchGate*, 1-10.
- Pérez, G. G. (2013). Teoría social del riesgo y cartografía aplicada a la ciudad de Neuquén. *Boletín Geográfico*, 115-124.
- Pizarro, R., Cornejo, F., González, C., Macaya, K., & Morales, C. (2008). Análisis del comportamiento y agresividad de las precipitaciones en la zona central de Chile. *Ingeniería hidráulica en México*, XXIII(2), 91-109.
- PNUMA, I. Municipio de Loja, Naturaleza & Cultura Internacional. (2007). Perpestivas del Medio Ambiente Urbano. *GEO Loja*, 1-192.

- Pourrut, P. (1983). *Los climas del Ecuador - Fundamentos explicativos*. Quito, Ecuador.
- R, D., Trujillo, M., & Portaluppi, C. (2003). Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador: Los desastres, un reto para el desarrollo. 6-12-111.
- Ramírez, M., Ghanem, A., & Lárez, H. (2006). Estudio comparativo de los diferentes métodos utilizados para la predicción de intensidades máximas de precipitación para el diseño adecuado de estructuras hidráulicas. *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 18(2), 189-196.
- Restrepo B., L. F., & González, J. (2007). De Pearson a Spearman. (U. d. Antioquía, Ed.) *Revista colombiana de ciencias pecuarias*, 183-192.
- Reyes Álava, J. (2019). Comportamiento de la temperatura y la precipitación del perfil costanero ecuatoriano en el año 2018. *ACTA OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO*, 23(1, 2019), 1-10.
- Rodríguez Aguilar, J. A., & Luna Rodríguez, J. A. (2017). *Influencia del evento El Niño - Oscilación del Sur sobre las precipitaciones en cinco ciudades del litoral ecuatoriano, Tesis Maestría*. Guayaquil: Escuela Politécnica del Litoral.
- Rojas Morales, N. (2011). Curvas de Intensidad de Duración Frecuencia de algunas estaciones meteorológicas mecánicas. *MINISTERIO DE AMBIENTE, ENERGÍA Y TELECOMUNICACIONES*, 1-82.
- Saavedra, M., Calvo, M., & Jiménez, C. (2011). Caracterización climática de la circulación atmosférica en América del Sur. *Revista de Investigación de Física*, 14, 1-7.
- Saltos Irrazaba, A. Y. (2022). *Susceptibilidad a inundaciones por intensas lluvias en la cabecera parroquial de Guale*. Jipijapa, Manabí, Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Sánchez, R. D., & Hothem, L. D. (2002). *Positional accuracy of airborne integrated global positioning and inertial navigation for mapping in Glen Canyon*. Arizona: US Geological Survey.

- Schumm, S. A. (1956). The evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perath Amboy. *Bulletin of the Geological Society of America*, 597-646.
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, Comisión Europea, PNUD. (2013). “*Proyecto análisis de vulnerabilidades a nivel municipal* ” - *Perfil territorial cantón Esmeraldas*. Quito, Ecuador.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). *Catálogo Nacional de Objetos Geográficos* (1 ed., Vol. 2). Quito, Ecuador: SENPLADES.
- Secretaría Nacional del Agua y DED. (2009). *Problemática y conflictos sobre los recursos hídricos por efectos del cambio climático* . Quito.
- Senciales González, J. M., & Comino, J. R. (2013). La Edafogeografía: la quinta rama olvidada de la Geografía Física. *Cuadernos Geográficos*, 52((2013-1)), 6-28.
- Senciales, J. M. (1998). *El análisis morfológico de las cuencas fluviales aplicado al estudio hidrográfico* (Vol. 10). (R. d. geografía, Ed.) Málaga, España: Norba.
- SIGTIERRAS. (2017). Memoria explicativa del Mapa de Órdenes de Suelos del Ecuador. *Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica*, 1-15.
- Soria Molina, B. M., & Gómez Molina, A. (2014). *Metodología para ejecución y control de calidad para ortofotos, mediante combinación de sensor digital con lidar en zonas rurales*, Tesis Doctoral. (U. P. Madrid, Ed.) Madrid, España. doi:10.20868/UPM.thesis.30860
- Spiegel, M. R. (1997). *ESTADÍSTICA* (Segunda edición ed.). Madrid, España: McGRAW-HILL.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed morphology. *Transactions of the American Geophysical Union*(38), 913-920.
- Supari, Muharsyah, R., & Wahyuni, N. (2016). Impact of the 2015 Godzilla El Niño event on the Indonesian rainfall. *Scientific Journal of PPI-UKM*, Vol. 3 (2016) (1), 26-31.
- Superintendencia de Gestión de la Información - SGI. (2014). *Codificación de Cuencas Hidrográficas por el Método de Otto Pfafstetter*. Brasilia, Brasil.

- Tanathong, S., & Lee, J. (2014). Integrated Sensor Orientation Simulato: Design and Implementation. *European Journal of Remote Sensing* 47, 498-499.
- Tascón González, L. (2017). *Análisis metodológico para la estimación de vulnerabilidad por inundaciones. Ejemplo de aplicación en el Municipio de Ponferrana (LEÓN, ESPAÑA)*, Tesis Doctoral. León, España: Universidad de León.
- Universidad de Salamanca. (s.f.). *Hidrología Hidrogeología*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2020, de Hidrología Hidrogeología: <https://hidrologia.usal.es/temas.html>
- Villacrés Ortiz, C. A., & Gallegos Sotomayor, C. A. (2010). *Estudio de evaluación de la red hidrometeorológica en la región Nor-Oriental del Ecuador y propuesta de su optimización como parte de la red hidrometeorológica básica del Ecuador*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Villón Béjar, M. (2006). *Hidrología Estadística*. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Volonté, A. (2017). *Geomorfología fluvial aplicada al peligro de crecidas. Cuenca del Arroyo San Bernardo, Sistema de Ventania*, Tesis Doctoral. Bahía Blanca, Argentina.
- Zucarelli, A., Paris, M., & Macor, J. (2014). Utilización de kriging para la elaboración de curvas isohietas de precipitación mensual en la Provincia de Santa Fe, Argentina. *2do. Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos*, 1-10.

ANEXOS

ANEXOS

1 Anexo 1: Tabla de altura absoluta de vuelo por cada línea de vuelo (se coloca una muestra en vista de que son 316 líneas de vuelo).

Número de línea	Coordenada X	Coordenada Y	Altura ortométrica (m)	Omega	Phi	Kappa
2	649608,757	10100630,6	1099,725	-0,00349	0,00177	-89,14974
3	649607,505	10100870,5	1101,758	0,00169	0,02029	-89,56431
4	649607,476	10101109,6	1103,435	0,02747	-0,00763	-89,85613
5	649608,421	10101349,4	1104,723	-0,01886	-0,02469	-89,76986
6	649609,103	10101589,1	1106,141	-0,00083	0,00346	-89,49548
7	649609,385	10101828,1	1107,828	-0,00837	0,00412	-89,42641
8	649609,486	10102066,7	1109,351	0,03938	0,04712	-89,57795
9	649609,695	10102307,2	1110,462	0,01184	0,03232	-89,6539
10	649610,235	10102546,3	1111,304	-0,00329	0,02409	-89,64224
11	649611,086	10102785,8	1111,922	0,00377	-0,00032	-89,79498
12	649612,145	10103024,9	1112,169	-0,00585	0,0039	-89,77112
13	649613,185	10103264,4	1112,223	0,00591	0,01388	-89,82249
14	649614,161	10103503,7	1112,295	-0,00033	0,00811	-89,82274
15	649615,273	10103743,4	1112,226	-0,00468	0,00055	-89,99727
16	649616,253	10103982,9	1111,925	0,00661	0,05724	-89,66012
17	649616,631	10104221,8	1111,684	0,00579	0,03269	-89,66702
18	649616,527	10104460,6	1111,545	0,01929	0,04081	-89,54903
19	649615,937	10104701,5	1111,659	0,00246	0,01114	-89,41158
20	649614,586	10104939,7	1111,912	0,01724	0,01994	-89,08801
21	649612,953	10105179,5	1112,409	-0,00666	0,00032	-89,45526
22	649612,48	10105418,7	1113,055	-0,00612	0,03787	-90,00847
23	649613,628	10105658,4	1113,124	-0,00542	0,0103	-90,09597
24	649615,789	10105898,5	1112,322	-0,01052	0,02368	-90,28396
25	649617,674	10106136,5	1110,977	0,03307	-0,00572	-90,05443
26	649619,434	10106377,2	1108,711	0,00873	0,01495	-90,00727
27	649620,747	10106616,3	1106,887	0,01218	0,01463	-89,64367
28	649621,667	10106854,8	1105,581	-0,00855	0,01577	-89,86892
29	649622,974	10107094,6	1104,682	0,00997	0,02732	-90,06884
30	649624,976	10107333,6	1104,464	0,04057	0,01932	-90,15992
31	649627,653	10107573,7	1103,715	0,03065	0,07378	-90,38344
32	649629,923	10107813	1102,924	-0,00745	0,00506	-90,3197
33	649631,648	10108051,4	1102,722	-0,02779	0,00541	-89,7745
34	649632,042	10108291,8	1103,311	0,01243	0,02284	-89,52396
35	649630,991	10108531,3	1104,29	0,00419	0,01319	-89,26676
36	649629,144	10108771,3	1104,822	0,01513	0,03143	-89,08111
37	649626,776	10109009,5	1104,998	0,02293	0,04951	-89,06334

38	649624,236	10109248,5	1104,443	-0,00067	0,00389	-88,97924
39	649621,765	10109489,2	1102,999	-0,02064	-0,00582	-88,96816
40	649619,454	10109727,7	1101,13	-0,01716	0,0143	-89,0801
41	649617,326	10109968,1	1099,684	-0,00337	0,00449	-89,24411
42	649615,526	10110207	1100,902	0,03608	0,03427	-89,21143
43	650305,735	10110448,3	1099,716	-0,01654	0,00252	90,33922
44	650304,979	10110209,1	1099,047	-0,03083	-0,00494	90,30349
45	650303,964	10109969,2	1100,681	0,0075	-0,04431	90,26653
46	650302,995	10109730,4	1104,408	0,04059	0,02061	90,23359
47	650302,054	10109490,4	1108,579	-0,00539	-0,02239	90,38256
48	650300,746	10109251,3	1111,758	0,01815	-0,0059	89,96785
49	650298,826	10109012,1	1113,415	0,00092	0,0019	89,90717
50	650296,742	10108772,1	1112,998	0,00555	-0,01415	89,9875
51	650294,459	10108533,7	1112,228	-0,00785	-0,00441	89,76911
52	650292,64	10108293	1111,508	0,00577	-0,00749	90,27898
53	650292,193	10108054,1	1111,038	-0,00204	-0,00003	90,47496
54	650291,552	10107815,9	1111,309	-0,03196	-0,00392	90,09326
55	650290,09	10107575,7	1111,967	-0,01662	-0,06501	89,87559
56	650288,422	10107336,4	1111,692	0,00642	-0,00324	89,97256
57	650287,566	10107096,8	1110,164	-0,02028	-0,06504	90,40402
58	650287,656	10106857,6	1108,067	0,00422	0,00342	90,41215
59	650288,005	10106618	1106,059	0,04263	0,02495	90,45479
60	650288,513	10106378,6	1104,763	-0,00035	-0,00651	90,58426
61	650289,509	10106139,1	1104,435	0,01155	-0,00186	90,73932
62	650290,98	10105898,9	1104,65	0,00739	0,00147	90,79962
63	650292,804	10105660,3	1105,52	-0,02443	-0,02333	90,86932
64	650294,945	10105421,4	1106,928	0,00149	-0,02855	90,95815
65	650297,337	10105181,1	1108,362	0,00665	-0,0447	90,94335
66	650299,418	10104942,2	1109,17	0,00698	-0,00411	90,72383
67	650300,436	10104702,8	1109,273	0,00667	0,01532	90,49523
68	650300,381	10104463,8	1109,136	-0,01058	-0,00488	90,17848
69	650299,86	10104224,3	1108,594	0,00816	-0,00613	90,21443
70	650299,056	10103984,7	1107,516	-0,00204	-0,00536	90,18392
71	650298,312	10103745,5	1106,311	-0,01291	-0,02194	90,26518
72	650297,719	10103505,3	1106,116	-0,0186	-0,03021	90,16248
73	650297,247	10103266	1106,602	0,02155	0,03496	90,29042
74	650296,794	10103027,6	1107,354	0,00043	-0,01156	90,26609
75	650296,43	10102787,5	1108,281	-0,0025	0,00436	90,33281
76	650296,485	10102548,2	1109,318	0,00286	-0,01023	90,54798
77	650296,542	10102308,2	1110,163	-0,00248	0,00123	90,35092
78	650295,835	10102069,9	1110,69	0,00925	-0,00285	90,10471
79	650294,256	10101830,8	1111,027	0,00856	0,00224	90,02752
80	650292,166	10101590,3	1110,95	-0,0007	-0,01737	89,85149

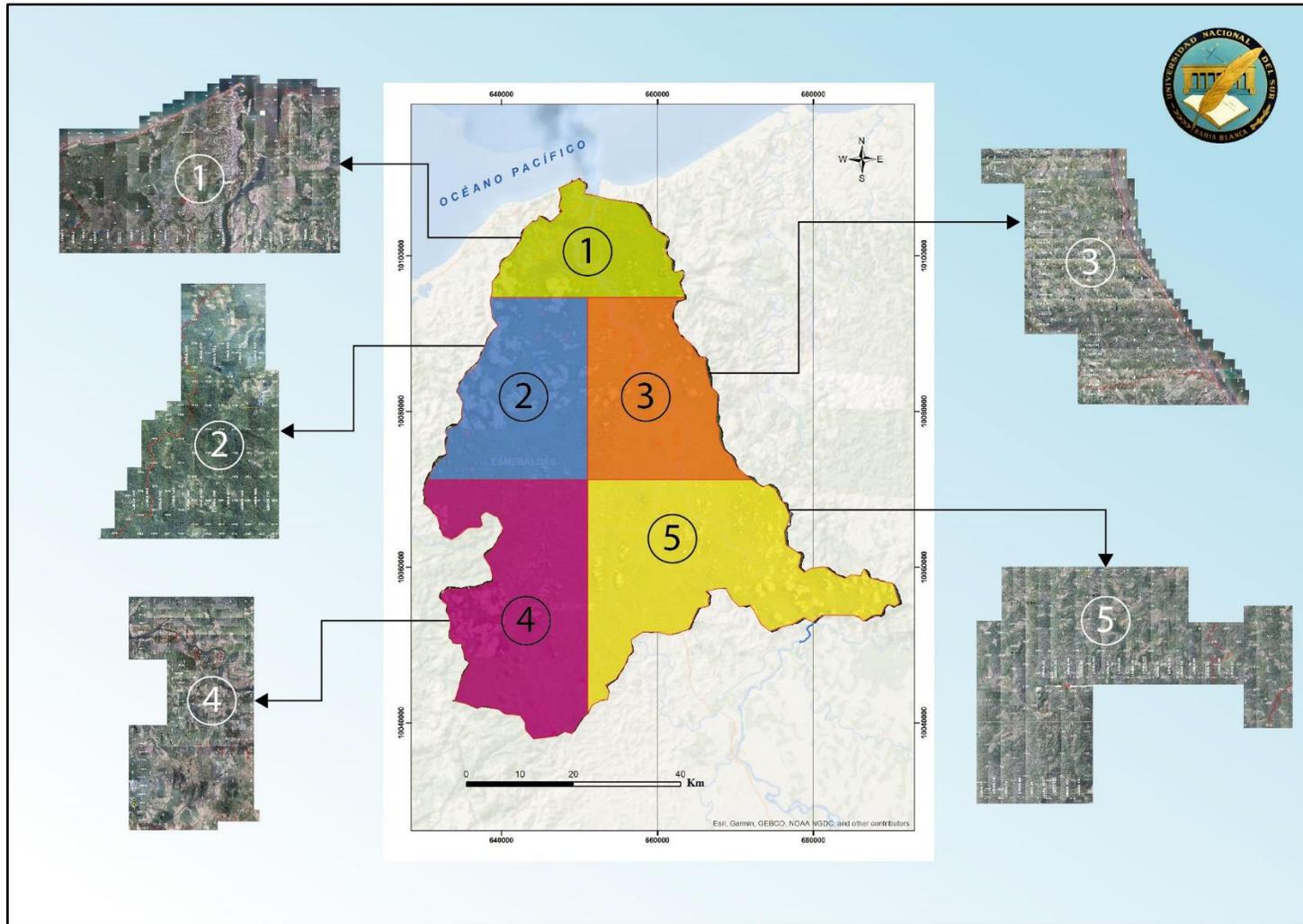
81	650289,462	10101351,9	1110,332	-0,00595	-0,01124	89,72889
82	650286,502	10101111	1109,435	-0,01812	0,03167	89,78295
83	650284,195	10100872,8	1108,342	-0,02118	-0,03181	90,32694
84	650284,004	10100633,2	1107,358	-0,02782	-0,04595	90,67928
85	650959,815	10100634,2	1119,147	-0,00311	0,00788	-88,75618
86	650956,278	10100872,9	1117,995	-0,00052	0,01068	-88,91953
87	650954,368	10101111,4	1117,054	-0,00216	0,00727	-89,63993
88	650954,357	10101351,4	1116,55	0,00427	0,02038	-89,85088
89	650955,249	10101591,1	1116,132	0,01828	0,03026	-89,73174
90	650955,918	10101830,9	1116,508	-0,01137	-0,02069	-89,91476
91	650956,567	10102070,1	1117,384	0,00722	0,03484	-89,69046
92	650956,666	10102308,6	1118,281	0,00682	0,01047	-89,45427
93	650956,009	10102549,1	1118,076	0,01826	0,0923	-89,13724
94	650954,719	10102788,2	1117,371	-0,00398	0,01824	-89,3358
95	650954,31	10103027,9	1115,524	0,00181	-0,00046	-89,69738
96	650955,973	10103266,9	1113,307	-0,01367	-0,01344	-90,39564
97	650959,792	10103505,7	1111,718	-0,00025	0,00119	-90,62329
98	650964,165	10103745,7	1111,587	0,0013	0,01666	-90,60221
99	650968,203	10103985,3	1112,182	-0,00909	-0,00006	-90,52251
100	650971,921	10104224,9	1112,784	-0,0032	0,00056	-90,43268
101	650974,279	10104464,1	1113,428	-0,01621	0,05977	-89,86021
102	650975,226	10104703,1	1114,079	0,00255	0,04819	-89,76544
103	650975,127	10104943,1	1114,448	0,00762	0,01858	-89,59425
104	650974,465	10105181,9	1113,964	-0,00896	0,01706	-89,40868
105	650973,384	10105421,4	1112,556	-0,01987	0,02636	-89,35866
106	650972,035	10105660,7	1110,841	-0,01108	-0,00213	-89,32101

2 **Anexo 2:** Centro de exposición de cada fotografía captura (se coloca una muestra en vista de que son 3735 fotografías aéreas capturadas).

Número de la fotografía	Línea de toma	Coordenada X	Coordenada Y	Altura	Omega	Phi	Kappa
268_1	1	640239,32	10100626,1	1150,25	-0,03	-0,02	90,64
267_1	1	640237,94	10100864,3	1151,1	-0,02	-0,03	90,68
266_1	1	640236,27	10101105	1151,29	0,01	0,01	90,82
265_1	1	640234,16	10101343	1150,77	0,04	-0,02	91,29
264_1	1	640230,38	10101581,7	1149,03	0,01	0,02	91,64
263_1	1	640225,56	10101822,6	1146,92	0,01	0,01	91,55
262_1	1	640220,9	10102061,5	1144,4	0,06	0,03	91,69
261_1	1	640215,99	10102301	1142,58	0,02	0,01	91,58
260_1	1	640212,23	10102540,8	1141,63	0,02	0	91,19
259_1	1	640209,92	10102779,6	1141,06	-0,01	0,02	90,8
258_1	1	640208,46	10103018,7	1140,24	0,02	0,04	90,65
257_1	1	640207,07	10103258,1	1140,3	0,01	0,03	90,56
256_1	1	640204,96	10103498,4	1140,57	0,01	0,02	90,61
255_1	1	640202,52	10103737	1140,99	0,01	0,02	91,09
254_1	1	640200,24	10103975,7	1140,69	0,01	-0,01	91,14
253_1	1	640197,77	10104216	1139,07	0	-0,07	91,22
252_1	1	640195,63	10104455	1136	0,01	0	90,76
251_1	1	640195,3	10104694,8	1132,94	0	0	90,16
250_1	1	640196,13	10104933,7	1130,36	-0,04	-0,03	90,16
249_1	1	640199,47	10105173	1127,4	-0,03	-0,02	89,03
248_1	1	640205,68	10105413,2	1123,01	0,01	0,01	88,97
247_1	1	640210,8	10105652,2	1119,63	-0,01	-0,05	89,28
246_1	1	640216,27	10105892,4	1118,98	0	0	88,96
245_1	1	640221,49	10106130,6	1121,19	0,02	-0,02	88,46
244_1	1	640227,13	10106370,1	1122,78	0	0,02	88,39
243_1	1	640232,42	10106609,7	1123,98	-0,04	-0,18	88,61
242_1	1	640238,44	10106849,2	1121,69	-0,13	-0,53	88,28
301_2	2	640867,6	10107095,1	1139,07	0,01	-0,03	-89,27
300_2	2	640868,93	10106854,5	1140,73	0,04	0,08	-89,51
299_2	2	640869,77	10106615,2	1140,2	0,02	0	-89,65
298_2	2	640871,66	10106375,9	1137,84	0,01	0	-89,42
297_2	2	640874,87	10106136,3	1135,9	0,02	0,05	-88,88
296_2	2	640878,24	10105897,4	1134,05	0	0	-88,91
295_2	2	640882,09	10105657,7	1133,17	0,02	0,01	-88,53
294_2	2	640886,41	10105418,3	1134,06	0	0	-88,74
293_2	2	640889,47	10105179,1	1135,1	0	0,01	-89,01
292_2	2	640891	10104939,7	1135,47	0	0,04	-89,13
291_2	2	640891,99	10104701,2	1135,16	0,01	-0,01	-89,38

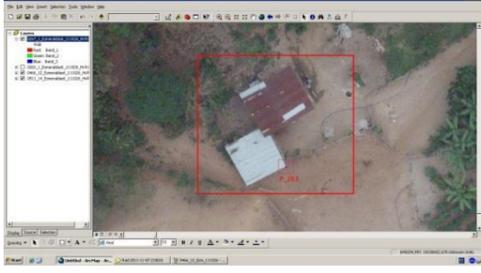
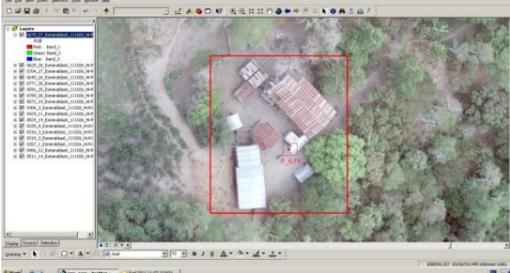
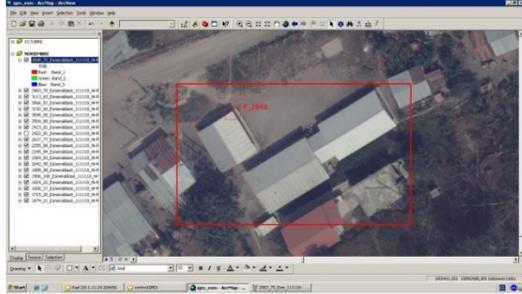
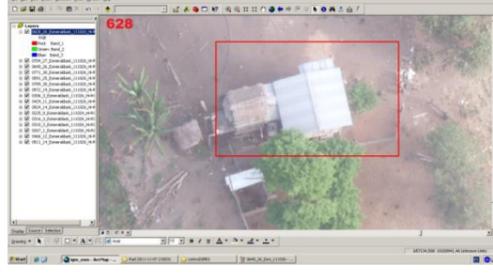
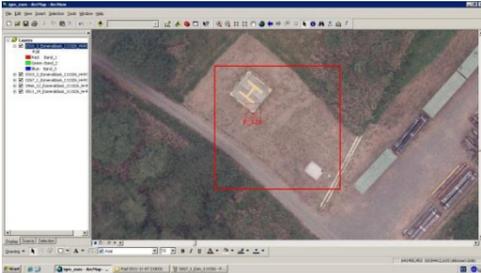
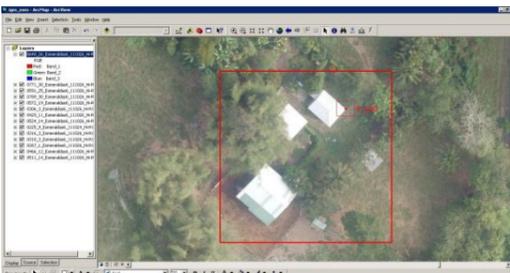
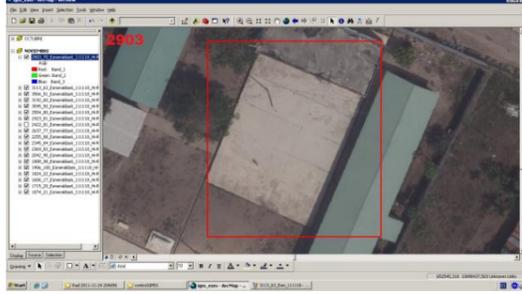
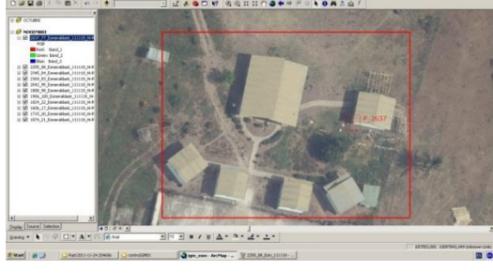
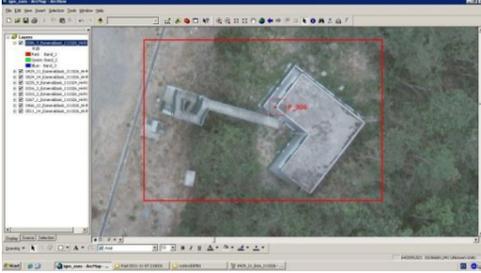
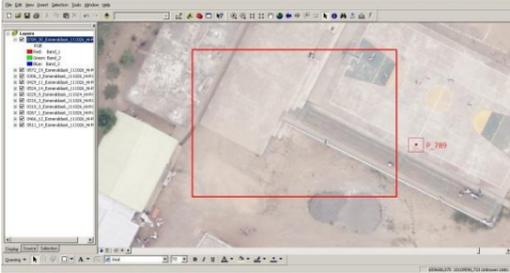
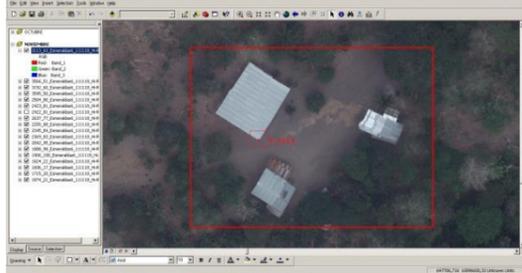
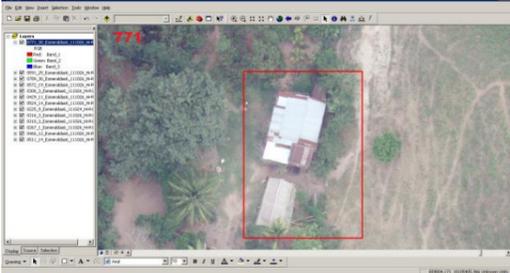
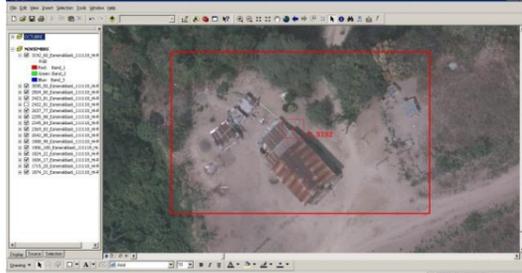
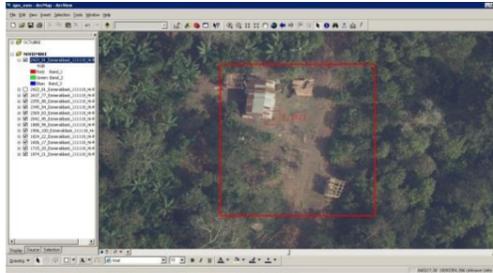
290_2	2	640892,31	10104460,5	1134,31	0,01	0,02	-89,8
289_2	2	640891,64	10104221,4	1133,2	0,02	0,03	-89,73
288_2	2	640889,78	10103982,4	1131,76	0	0,02	-90,16
287_2	2	640887,61	10103743	1131,55	0,01	0,01	-90,16
286_2	2	640885,39	10103503,8	1133,7	0,01	0,05	-90,05
285_2	2	640883,59	10103264,6	1137,05	-0,01	0,01	-89,88
284_2	2	640882,28	10103025,5	1137,75	0	0,08	-89,68
283_2	2	640881,04	10102785,2	1135,42	0,01	0,01	-89,6
282_2	2	640879,72	10102545,8	1133,52	0,02	0,03	-89,69
281_2	2	640878,27	10102307,3	1132,67	-0,02	0,01	-89,89
280_2	2	640877,49	10102067,8	1132,4	-0,02	0,02	-90,08
279_2	2	640877,47	10101827,9	1131,88	0	0,01	-89,73
278_2	2	640878,53	10101588,4	1132,21	0	0,01	-89,37
277_2	2	640879,68	10101349,1	1132,08	0	-0,05	-89,52
276_2	2	640880,4	10101110,5	1132,06	0,02	-0,03	-89,61
275_2	2	640880,66	10100870,7	1132,36	0,01	0,07	-89,68
274_2	2	640880,13	10100631	1132,8	0	-0,01	-89,77
332_3	3	641552,75	10100626,1	1143,74	0,02	-0,02	90,51
331_3	3	641551,33	10100864,4	1144,48	-0,02	-0,01	90,64
330_3	3	641549,55	10101104,4	1144,25	-0,02	-0,02	90,79
329_3	3	641547,61	10101344,1	1143,69	0,01	0,01	91,11
328_3	3	641545,83	10101582,3	1143,74	-0,01	0	90,8
327_3	3	641545,79	10101822,8	1142,59	0	0,01	90,39
326_3	3	641547,68	10102061,7	1141,12	-0,01	-0,02	90,17
325_3	3	641551,41	10102301,3	1140,14	0,03	0,01	89,45
324_3	3	641556,33	10102540,1	1139,04	0,02	0	89,08
323_3	3	641561,79	10102779,2	1138,14	0	0	89,11
322_3	3	641566,63	10103019,6	1138,05	0,01	0,02	89,53
321_3	3	641569,96	10103258,3	1139,47	-0,01	0,01	89,67
320_3	3	641571,94	10103498,3	1141,31	-0,01	0	90,11
319_3	3	641573,01	10103738	1142,8	-0,03	-0,01	89,95
318_3	3	641573,73	10103976,3	1144	-0,02	-0,04	89,81
317_3	3	641574,77	10104217,1	1144,83	0,01	0	90,11
316_3	3	641574,87	10104455,3	1143,48	0,05	0	90,47
315_3	3	641574	10104695,3	1140,64	0	-0,01	90,59
314_3	3	641573,26	10104934	1138,57	0	-0,01	90,58
313_3	3	641573,1	10105173	1137,62	-0,03	-0,06	90,28
312_3	3	641573,78	10105413,2	1138,58	0,02	-0,03	89,87
311_3	3	641573,79	10105652,3	1141	-0,01	-0,01	90
310_3	3	641573,58	10105891,9	1143,18	0,02	0,04	90,78

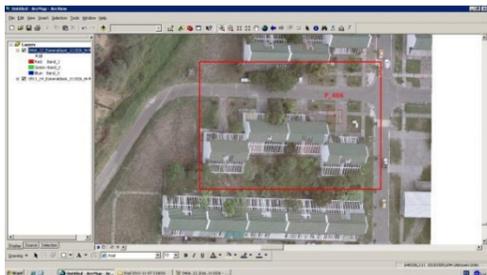
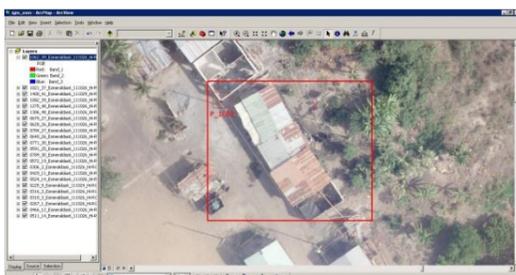
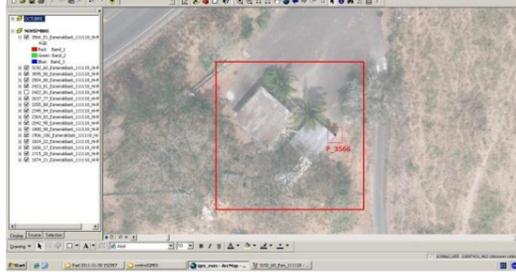
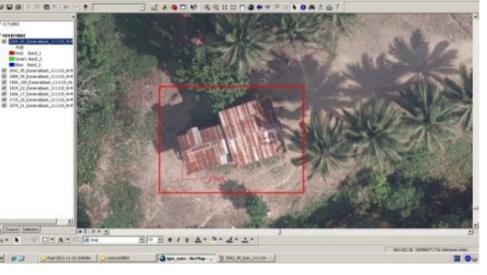
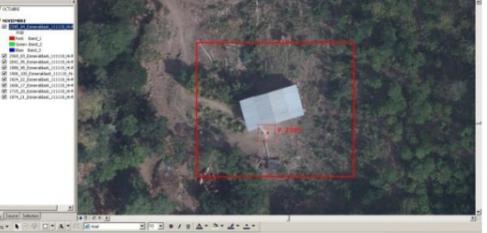
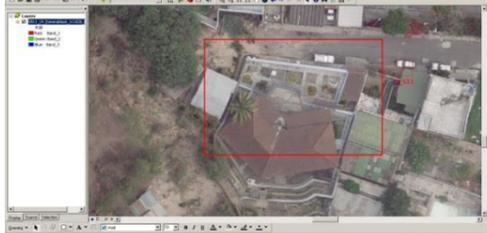
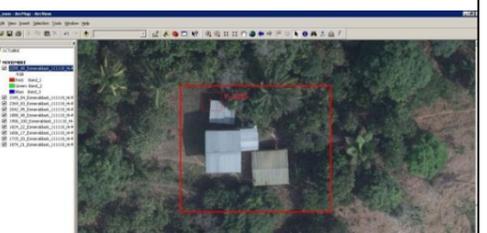
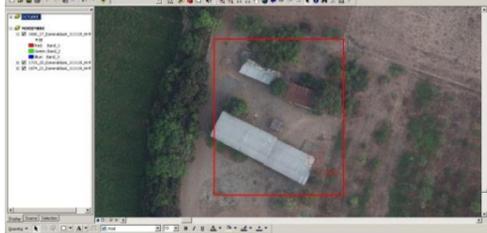
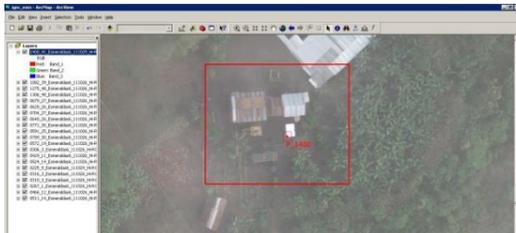
3 **Anexo 3:** Fotoíndices del área de toma.

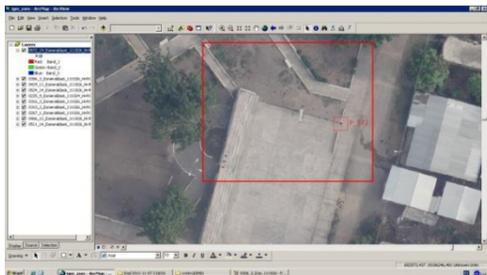
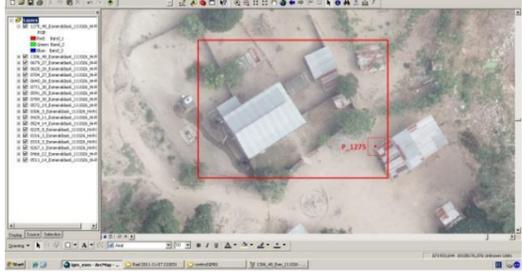
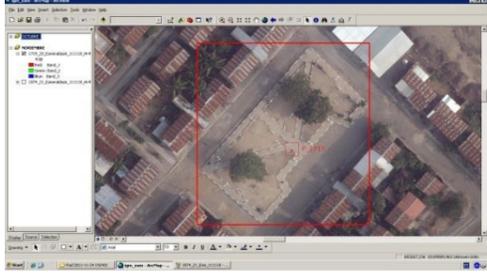
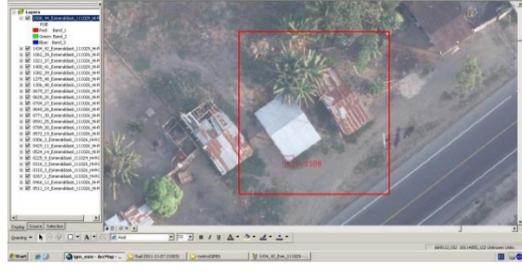
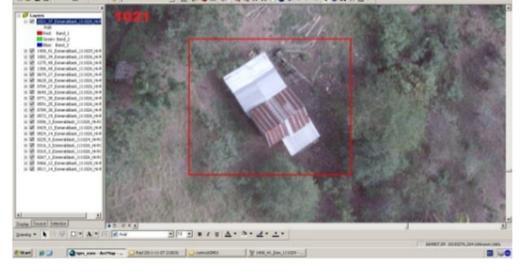
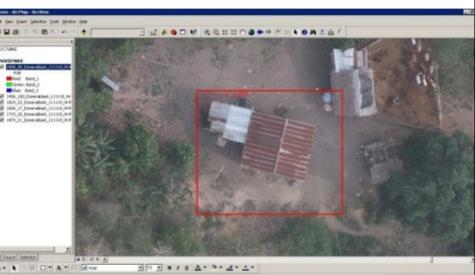
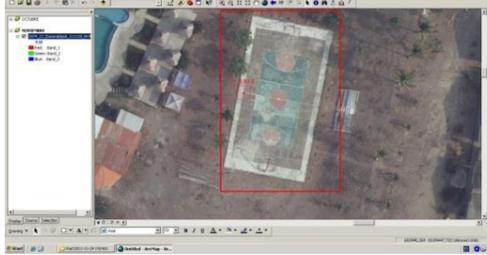
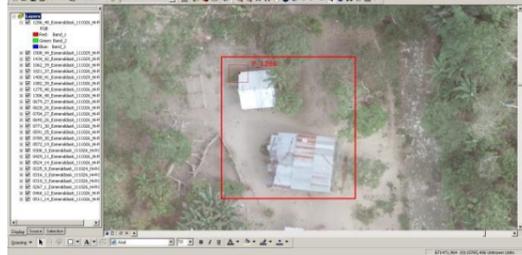


4 Anexo 4: Coordenadas procesadas - monografías de PAFs en la zona de estudio.

ORD	NOMBRE DE PUNTO			COORDENADAS UTM 17 NORTE				ONDULACIÓN EGM96	ALTURA ORTOMÉTRICA H EGM96(m)
		ALT. ELIPS. h. (m)	PRECISIÓN h. (m)	ESTE. (m)	PRECISIÓN h. (m)	NORTE. (m)	PRECISIÓN E. (m)		
1	ESMR	251,754	0,000	641938,211	0,000	103332,347	0,000	14,273	237,481
2	225	52,091	0,005	645595,062	0,002	103718,691	0,002	14,433	37,658
3	267	132,049	0,016	640168,642	0,002	100667,784	0,002	14,320	117,729
4	306	62,488	0,026	642041,952	0,002	106669,041	0,002	14,101	48,387
5	316	212,975	0,002	641424,052	0,001	104411,426	0,001	14,190	198,785
6	429	30,127	0,018	647282,275	0,002	108276,542	0,003	14,265	15,862
7	466	40,295	0,022	648139,451	0,002	101506,460	0,003	14,673	25,622
8	511	25,842	0,058	649090,397	0,003	109365,513	0,005	14,287	11,555
9	524	62,383	0,006	649125,248	0,002	106458,571	0,003	14,449	47,934
10	572	27,719	0,029	652561,621	0,002	106252,748	0,003	14,613	13,106
11	591	18,638	0,066	656111,731	0,026	108944,197	0,033	14,611	4,027
12	640	91,595	0,016	657288,177	0,002	103304,818	0,002	14,980	76,615
13	679	317,524	0,033	657940,442	0,003	106743,163	0,005	14,812	302,712
14	771	111,631	0,023	659757,437	0,004	105405,187	0,004	14,963	96,668
15	789	45,428	0,015	659657,668	0,004	109594,187	0,003	14,716	30,712
16	1062	21,286	0,005	665680,491	0,002	112242,014	0,002	14,789	6,497
17	1082	51,863	0,006	665983,523	0,002	107390,135	0,003	15,091	36,772
18	1286	71,555	0,024	671400,691	0,003	110777,270	0,003	15,090	56,465
19	1275	119,025	0,034	671909,054	0,003	108167,453	0,003	15,268	103,757
20	1306	24,312	0,011	671465,777	0,004	115692,411	0,003	14,791	9,521
21	1400	77,868	0,017	667318,609	0,003	103595,645	0,003	15,367	62,501
22	1434	54,590	0,008	667532,269	0,003	111293,515	0,004	14,915	39,675
23	1508	25,678	0,004	669055,249	0,002	114070,317	0,002	14,803	10,875
24	1606	19,908	0,006	650965,884	0,002	102427,829	0,003	14,754	5,154
25	1715	21,152	0,011	653195,823	0,003	109551,770	0,003	14,454	6,698
26	1824	46,738	0,048	654045,005	0,003	103694,926	0,004	14,820	31,918
27	1874	33,996	0,017	653862,607	0,003	109423,907	0,004	14,490	19,506
28	1888	163,019	0,101	671431,865	0,030	105377,415	0,030	15,420	147,599
29	1906	32,894	0,016	672655,219	0,002	102050,494	0,003	15,666	17,228
30	2255	281,704	0,007	664403,662	0,003	100628,542	0,003	15,424	266,280
31	2345	160,041	0,026	661624,680	0,004	103104,720	0,006	15,170	144,871
32	2369	451,455	0,078	661059,730	0,008	98650,172	0,014	15,398	436,057
33	2423	172,256	0,022	660141,593	0,003	93329,131	0,003	15,647	156,609
34	2504	114,434	0,016	658603,088	0,003	95484,523	0,003	15,466	98,968
35	2637	64,078	0,005	657519,261	0,002	97836,447	0,003	15,293	48,785
36	2848	40,464	0,032	653314,289	0,035	92432,029	0,022	15,388	25,076
37	2903	32,591	0,006	652410,010	0,002	98366,157	0,003	15,038	17,553
38	3113	133,884	0,017	647673,801	0,005	96604,516	0,006	14,908	118,976
39	3192	64,453	0,038	645234,670	0,005	92591,217	0,007	14,988	49,465
40	3566	188,825	0,012	639652,419	0,004	97427,841	0,004	14,456	174,369
41	3595	351,260	0,006	638817,839	0,002	92919,771	0,003	14,631	336,629
42	1021	134,060	0,011	662543,487	0,002	103147,825	0,003	15,205	118,855
43	2042	82,905	0,033	667709,464	0,002	102722,575	0,004	15,434	67,471
44	628	153,667	0,014	658903,621	0,002	100398,656	0,002	15,211	138,45

PAFs	UBICACIÓN	PAFs	UBICACIÓN	PAFs	UBICACIÓN	PAFs	UBICACIÓN
PE 267		PE 679		PE 2848		P 628 A	
PE 316		PE 640		PE 2703		P 2637	
PE 306		PE 789		PE 3113		P 2504	
PE 429		PE 771		PE 3192		P 2423	

PE 466		PE 1062		PE 3566		P 2369	
PE 524		PE 1434		PE 3595		P 2345	
PE 511		PE 1082		PE 591		P 2255	
PE 1606		PE 1400		PE 1824		P 2042 A	

<p>PE 572</p>		<p>PE 1306</p>		<p>PE 1275</p>		<p>P 1906</p>	
<p>PE 1715</p>		<p>PE 1508</p>		<p>P 1021 A</p>		<p>P 1888</p>	
<p>PE 1874</p>		<p>PE 1286</p>		<p>P 1400</p>			

MONOGRAFÍA PUNTO DE APOYO FOTOGRAMÉTRICO

No. Hito:	Nombre de PAF:	Clase de PAF:	Sector:	Sección:
	PE 267	Enlce de bloques	Esmeraldas - Vuelta larga	
Dátum Horizontal:	Sirgas 95 (ITRF 94)	Época de Referencia:	1995,4	Elipsoide: GRS 80
				Dátum Vertical: Nivel Medio del Mar
Pais:	Departamento/Provincia:	Provincia/Cantón	Distrito/Parroquia	Sitio:
Ecuador	Esmeraldas	Esmeraldas	Vuelta Larga	Terraza Casa
Coordenadas Geográficas:		Coordenadas UTM:	Fecha de Determinación:	Altura Ortométrica (m):
Latitud (° ' '"): 3°28'47.21632"S	Zona: 17 S	Orden: B (2do)	08 - Julio - 2016	117,729m
Longitud (° ' '"): 80°14'15.98662"O	Norte (m): 100667,784mN	Equipo Utilizado: GPS TRIMBLE		Tipo de Nivelación:
Altura Elipsoidal (m): 14,320m	Este(m): 640168,642mE	Modelo: 4700 (L1/L2)		EGM 96

Fotografía del PAF's



Gráfico de Acceso



Fotografía del posicionamiento del PAF's



Ubicación:

La placa está ubicada en la parte posterior de la terraza del Hotel Vanessa.

Accesibilidad desde centro de Esmeraldas:

Tomar ppor la Av. principal denominada Av. de la República la misma que conduce al Puente sobre el río Teaone. Dirigirse hasta la Av. Córdoba y avanzar 2 cuadras hasta la Calle Iro. de Mayo, sitio en que está ubicado la casa verde de dos pisos detrás del Hotel Vanessa.

Tiempo de rastreo:

Se realizó un tiempo de rastreo de 4 horas para poder enlazar los bloques fotogramétricos existentes en la provincia de Esmeraldas

Estado del PAF:	Placa ubicada:	Observaciones:
Bueno	Colocado el 08 de Julio de 2016.	Posicionamiento GPS doble frecuencia enlazado a la LPEC

Elaborado:	Aprobado
<hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> <p>OPERADOR Ing. Paúl Moreno</p>	<hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> <p>VALIDADOR Capt. Juan Gómez</p>

5 **Anexo 5:** Comportamiento cronológico cualitativo de las inundaciones en el área de estudio.

FECHA	FACTOR	CAUSA	LUGAR AFECTADO	CONSECUENCIAS SOBRE LAS COMUNIDADES	OBSERVACIONES	FUENTE
1877	LAHARES	INUNDACIÓN	Poblaciones que se encuentran a lo largo del río Esmeraldas	N/E	a) Crecida del caudal de río Esmeraldas producto de los lahares producidos por la erupción del Volcán Cotopaxi en 1877.	a) D'Ercole, R., Trujillo, M., Zucchelli, M., & Portaluppi, C. (2003). Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador: los desastres, un reto para el desarrollo. Cooperazione Internazionale (COOPI); Institut de Recherche pour le Développement (IRD); OXFAM GB.
1906	TSUNAMI	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas	Decenas de muertos (500 a 1500), daños considerables por el sacudimiento y por las inundaciones	a) Río Esmeraldas se salió del cauce, inundando las zonas bajas de la población. b) Con una magnitud de 8.8, murieron entre 500 a 1500 personas por causa del tsunami. En la Tola más de 23 viviendas fueron destruidas. En Esmeraldas el río se salió de su cauce inundando las zonas bajas de la población. c) Decenas de muertos, daños considerables por el sacudimiento y por las inundaciones d) Producto del Tsunami provocado por un terreno de magnitud IX en la escala de Mercalli, se inundó toda la franja litoral de la Provincia de Esmeraldas.	a) Armada del Ecuador, Insituto Oceanográfico de la Armada. (2010), pag 12: Plan de Contingencia de la Ciudad de Esmeraldas. b) Ortega Cortez, G. V. (2014), pag 4-6.: Diseño de un plan de gestión de riesgos y desastres ante eventos de deslizamientos, sismos e incendios para la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (Doctoral dissertation). c) D'Ercole, R. (2005). CRITERIOS DE REFLEXIÓN POR LA DETERMINACIÓN DE PRIORIDADES PARA LA REDUCCIÓN DE LOS RIESGOS EN EL ECUADOR. d) D'Ercole, R., Trujillo, M., Zucchelli, M., & Portaluppi, C. (2003). Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador: los desastres, un reto para el desarrollo. Cooperazione Internazionale (COOPI); Institut de Recherche pour le Développement (IRD); OXFAM GB.
1953-1954	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas	N/E	a) Fuertes precipitaciones en el perfil costanero por la presencia del fenómeno de El Niño.	a) Changjiang Institute of Survey Planning Design and Reserach (CISPDR) (2016): PLAN HIDRÁULICO REGIONAL DE DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA ESMERALDAS
1958	MAREMOTO	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas	Colapso total de casa antiguas y parcial de construcciones nuevas, destrucción de barcos, 4 ó 5 muertos	a) Crecida del río Esmeraldas en su desembocadura producto de olas de 2,0 a 5,9 m. b) Con una magnitud de 7.7 el 30% del cantón Esmeraldas fue destruido, murieron 11 personas y 45 fueron afectados como resultado del sismo. El sismo originó un tsunami haciendo que una embarcación casi se hunda frente a Esmeraldas, se reportaron 4 muertos por efectos del mismo. c) Colapso total de casas antiguas y parcial de construcciones nuevas, destrucción de barcos 4 ó 5 m. d) Inundaciones en la Provincia de Esmeraldas debido al maremoto provocado por un sismo de intensidad VIII en la escala de Mercalli.	a) Armada del Ecuador, Insituto Oceanográfico de la Armada. (2010), pag 12: Plan de Contingencia de la Ciudad de Esmeraldas. b) Ortega Cortez, G. V. (2014), pag 4-6.: Diseño de un plan de gestión de riesgos y desastres ante eventos de deslizamientos, sismos e incendios para la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (Doctoral dissertation). c) D'Ercole, R. (2005). CRITERIOS DE REFLEXIÓN POR LA DETERMINACIÓN DE PRIORIDADES PARA LA REDUCCIÓN DE LOS RIESGOS EN EL ECUADOR. d) D'Ercole, R., Trujillo, M., Zucchelli, M., & Portaluppi, C. (2003). Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador: los desastres, un reto para el desarrollo. Cooperazione Internazionale (COOPI); Institut de Recherche pour le Développement (IRD); OXFAM GB.
1965	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Costa	Pérdidas agrícolas - 5000 damnificados - daños evaluados a 4 millones de dólares	a) Incremento de precipitaciones en la ciudad de Esmeraldas por presencia de la corriente del fenómeno de El Niño.	a) Corporación Andina de Fomento, EL FENÓMENO EL NIÑO 1997-1998 MEMORIA, RETOS Y SOLUCIONES
6/4/1970	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas	20 muertos	a) Fuertes lluvias provocan inundaciones en la ciudad de Esmeraldas por desbordamiento de los ríos Esmeraldas y Teane	a) Diario EL UNIVERSO, www.eluniverso.com
1972-1973	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Guayas, Manabí, Esmeraldas	600 muertos, 650 millones de dólares de pérdidas.	a) Presencia del fenómeno de El Niño provoca picos de precipitación.	a) Secretaría Nacional de la Gestión de Riesgo, Proyectos de infraestructura de control de inundaciones.

1979	TSUNAMI	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas	N/E	a) Leves afectaciones las poblaciones que se encuentran en la zona baja del sector. b) Con una magnitud de 8.2 en la escala de Richter, los riesgos de marea, muestran la presencia de 3 a 4 olas en el momento del sismo.	a) Armada del Ecuador, Insituto Oceanográfico de la Armada. (2010), pag 12: Plan de Contingencia Tsunamis de la Ciudad de Esmeraldas. B)Ortega Cortez, G. V. (2014), pag 4-6: Diseño de un plan de gestión de riesgos y desastres ante eventos de deslizamientos, sismos e incendios para la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (Doctoral dissertation).
1982-1983	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas	N/E	a) Muchos muertos y pérdidas económicas.	a) Ortega Cortez, G. V. (2014), pag 4-6: Diseño de un plan de gestión de riesgos y desastres ante eventos de deslizamientos, sismos e incendios para la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (Doctoral dissertation).
13/1/1983	MAREJADA	N/E	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas	Daños en vivienda (N/E cantidad)	a) Las condiocones del mar ocasionan un impacto en las poblaciones que habitan en el perfil costanero.	a) Diario EL COMERCIO, www.elcomercio.com
10/9/1987	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Costa	Pérdidas agrícolas - 10000 damnificados (febrero)	a) Intensa precipitaciones golpean la ciudad de Esmeraldas.	a) Diario EL COMERCIO, www.elcomercio.com
1/22/1989	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas	N/E	a) Fuertes lluvias inundan barrios de la ciudad de Esmeraldas.	a) Diario EL EXPRESO, www.expreso.ec
28/1/1990	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas	N/E	a)Calles de esmeraldas se inundaron debido a las fuertes lluvias.	Diario EL UNIVERSO, www.eluniverso.com
4/2/1990	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas	N/E	a) La presencia de fuertes lluvias provocan inundaciones as calles de la ciudad de Esmeraldas.	a) Diario EL UNIVERSO, www.eluniverso.com
14/2/1991	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas - Barrio La Tolita	N/E	a) Esmeraldas resultó afectado el barrio la tolita ocasionando un muerto debido al desbordamiento del río Teone	a) Diario EL UNIVERSO, www.eluniverso.com
1992	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Costa	Pérdidas agrícolas, 22 muertos, 205000 personas afectadas, daños evaluados a 20 millones de dólares	a) Aumento de los niveles de precipitación por la presencia de corrientes oceánicas producto de la presencia del fenómeno de El Niño.	a) DEMORAES F., D'ERCOLE R. (2001): Cartografía de las amenazas de origen natural por cantón en el Ecuador
22/2/1992	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas	10 Viviendas destruidas	a) Debido a las fuertes lluvias debido a la prrsencia del Fenòmeno de El Niño se inunda las calles de la ciudad debido al desborde de los rios Esmeraldas y Teone.	a) Diario EL COMERCIO, www.elcomercio.com
18/3/1993	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas	Viviendas afectadas (N/E cantidad)	a) Aumento de precipitaciones ocasiona desbordamiento del río Esmeraldas.	a) Diario EL TELÉGRAFO, www.eltelegrafo.com.ec
5/1/1995	MAREJADA	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Achibulde	Viviendas afectadas (N/E cantidad)	a) Las fuertes olas impactan en la parroquia Achilube.	a) Diario EL UNIVERSO, www.eluniverso.com
25/3/1995	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas	Muerte de 3 personas	a) Aumento de precipitaciones ocasiona inundaciones en las riveras de los rios Esmeraldas.	a) Diario EL COMERCIO, www.elcomercio.com
6/1/1996	MAREJADA	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas - Limones -Borbón	Afectación al sector pesquero de la zona y viviendas ubicadas en el perfil costanero	a) La marejada produce olas de hasta 1.20 mts de altura por los frentes fríos y calientes que colisionan.	a) Diario EL UNIVERSO, www.eluniverso.com

23/1/1996	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantòn Esmeraldas	N/E	a) En esmeraldas fuertes inundaciones por causa de las lluvias debido al pésimo sistema de alcantarillado.	a) Diario EL UNIVERSO, www.eluniverso.com
5/2/1996	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantòn Esmeraldas/Esmeraldas - Barrio Nueva Esperanza	130 viviendas afectadas y 1500 afectados	a) Desbordamiento de los ríos Esmeraldas y Teaone provocan estragos en viviendas y barrios que se encuentran en las riveras de los afluentes	a) Diario EL UNIVERSO, www.eluniverso.com
21/1/1997	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantòn Esmeraldas/Esmeraldas	N/E	a) Lluvias torrenciales ocasionan inundaciones en varias partes de la ciudad de Esmeraldas	a) Diario EL EXPRESO, www.expreso.ec
26/2/1997			Cantòn Esmeraldas/Esmeraldas	Afectación a las poblaciones aledañas al perfil costanero y destrucción de una parte de red vial local	a) Fuertes lluvias ocasionan aumento en el nivel del mar ocasionando inundaciones	a) Diario EL UNIVERSO, www.eluniverso.com
7/3/1997	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantòn Esmeraldas/Esmeraldas - Centro de la ciudad	Se reportaron 40.000 afectados por la precipitación continua durante 5 horas	a) Aguacero torrencial produce graves inundaciones en varias partes de la ciudad de Esmeraldas	a) Diario EL COMERCIO, www.elcomercio.com
12/3/1997	MAREJADA	INUNDACIÓN	Cantòn Esmeraldas/Esmeraldas - Las Piedras - Limones	Afectación a la población (N/E número de afectados)	a) Las marejadas se producen en la noche ocasionando inundaciones en las poblaciones que se encuentran próximos al perfil costanero	a) Diario EL HOY, www.hoy.com.ec
2/7/1997	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantòn Esmeraldas/Esmeraldas	1 vivienda destruida, 3 viviendas afectadas y 10.	a) A causa del exceso de precipitación por la presencia del Fenòmeno de El Niño, el río Teaone se desbordó e inundó parte de la ciudad de Esmeraldas	a) Diario EL UNIVERSO, www.eluniverso.com
29/9/1997	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantòn Esmeraldas/Esmeraldas	N/E	a) Torrencial aguacero sobre la ciudad de Esmeraldas provoca crecida de los ríos Esmeraldas y Teaone inundando la ciudad de Esmeraldas	a) Diario EL EXPRESO, www.expreso.ec
17/10/1997	MAREJADA	INUNDACIÓN	Cantòn Esmeraldas/Esmeraldas	Barrios de la ciudad de Esmeraldas inundados por la fuerte marejada, N/E viviendas ni personas afectadas	a) La marejada ocasiono fuertes inundaciones y daños a la ciudad de Esmeraldas	a) Diario EL UNIVERSO, www.eluniverso.com
6/11/1997	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantòn Quinde - El Progreso - Canade	18 viviendas destruidas, 150 danificados, 136 afectados y 150 evacuados	a) Desbordamiento del río Esmeralda y sus afluentes destruyendo puentes.	a) Gobierno Municipal de Quinde
4/12/1997	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantòn Quinde/ Barrio 5 de agosto y La Puntilla	90 damnificados	a) Exceso de precipitación inundan los barrios 05 de agosto, La Puntilla y El Recinto Zapotal	a) Gobierno Municipal de Quinde
5/12/1997	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantòn Esmeraldas/Esmeraldas	354 viviendas destruidas y 707 Ha de cultivos perdidos	a) Desbordamiento del río Esmeraldas y Teaone provoca afectación en la agricultura y afectación a la población cercana a los afluentes.	a) Gobierno Municipal de Esmeraldas

1997-1998	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Litoral Ecuatoriano	286 muertos, 30000 danificados, puentes destruidos, carreteras dañadas, impacto socioeconómico serio y a largo plazo.	a) 537 viviendas destruidas, 596 viviendas afectadas; se registran precipitaciones anuales acumuladas de hasta los 3,000 mm. b) Aumentos el caudales de los río aledaños a Esmeraldas. c) Como consecuencia del evento El Niño, la ciudad y algunas zonas de la provincia de Esmeraldas sufrieron los efectos del mismo en su infraestructura urbana y se registraron daños en carreteras, oleoductos, viviendas y especialmente en el acueducto. d) Inundaciones de la ciudad de Esmeraldas por el exceso de precipitación y desbordamiento de los ríos.	a) MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA - ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE SALUD, El Fenómeno El Niño en ECUADOR. b) Gobierno Municipal de Esmeraldas. c) Ortega Cortez, G. V. (2014), pag 4-6: Diseño de un plan de gestión de riesgos y desastres ante eventos de deslizamientos, sismos e incendios para la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (Doctoral dissertation). d) D'Ercole, R., Trujillo, M., Zucchelli, M., & Portaluppi, C. (2003). Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador: los desastres, un reto para el desarrollo. Cooperazione Internazionale (COOPI); Institut de Recherche pour le Développement (IRD); OXFAM GB.
13/1/1998	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Quininde/Rosa Zarate	5 viviendas afectadas y 20 afectados	a) Fuertes precipitaciones provoca inundaciones en las zonas bajas de la ciudad de Quininde.	a) Gobierno Municipal de Quininde
19/2/2000	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas	N/E	a) El suceso provocó el desborde de los canales que comunican el área de céntrica con las piscinas y los desfuegos de la refinera estatal que tiene hacia el río Teaone.	a) Diario EL COMERCIO, www.elcomercio.com
6/2/2002	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas	100 familias afectadas	a) Las primeras lluvias del invierno anegaron el centro y sur de la ciudad de Esmeraldas.	a) Diario EL COMERCIO, www.elcomercio.com
14/2/2002	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas	60 viviendas afectadas	a) Desbordamiento de los principales afluentes de la ciudad Esmeraldas (río Esmeraldas y Teaone) provoca inundaciones en la ciudad.	a) Diario EL COMERCIO, www.elcomercio.com
10/4/2002	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas	250 viviendas destruidas y 50 evacuados	a) Desbordamiento del río Esmeraldas inundo 15 barrios producto del exceso de precipitación. Las viviendas quedarón bajo el agua una hora y media.	a) Diario EL COMERCIO, www.elcomercio.com
17/5/2002	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas - Barrios Bajos de la ciudad	N/E	a) Los barrios bajos de la ciudad de Esmeraldas sufrieron un impacto directo producto del desbordamiento del río Esmeraldas y de las fuertes precipitaciones continuas por mas de 10 horas.	a) Diario EL COMERCIO, www.elcomercio.com
20/5/2004	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas - Av. Sucre - Eloy Alfaro y Piedrahito	N/E	a) Fuertes precipitaciones inundan las calles de los barrios de la ciudad de Esmeraldas	a) Diario EL UNIVERSO, www.eluniverso.com
8/1/2005	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas - Barrios 28 de Julio, 26 de Junio y La Guacharaca	N/E	a) Fuertes lluvias provocan inundaciones en los barrios de la ciudad de Esmeraldas.	a) Diario EL COMERCIO, www.elcomercio.com

16/2/2005	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas - Barrios 28 de Julio, 26 de Junio y La Guacharaca	59 viviendas afectadas y 270 damnificados	a) Barrios permanen inundados debido a las intensas precipitaciones, poniendo en riesgo los barrios 28 de julio y 26 de junio.	a) Diario EL COMERCIO, www.elcomercio.com
10/4/2005	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas - Ciudad de Esmeraldas	N/E	a) El desbordamiento del río Esmeraldas provoca la inundación del Centro Comercial La Barraca.	a) Diario EL COMERCIO, www.elcomercio.com
23/3/2006	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas - Twintza	5 viviendas afectadas y 270 damnificados	a) Lluvias provocan el desbordamiento de los ríos Esmeraldas y Teaone afectando el barrio Tiwintza	a) Diario EL UNIVERSO, www.eluniverso.com
10/10/2006	MAREJADA	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas - Sector Palma Real	N/E	a) Las condioenes del mar ocasionan un impacto en las poblaciones que habitan en el perfil costanero.	a) Diario EL COMERCIO, www.elcomercio.com
7/3/2007	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas - Barrio Lindo	N/E	a) Intensas lluvias con duración de 5 horas continuas provcan estragos en el caso urbano de la ciudad de Esmeraldas	a) Diario EL UNIVERSO, www.eluniverso.com
20/3/2007	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas	N/E	a) Lluvias con 7 horas de duración causó la interrupción de sumideros y sistema de alcantarillado y desbordamiento del río Esmeraldas	a) Diario EL COMERCIO, www.elcomercio.com
19/3/2008	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas - parroquia urbana 5 de Agosto y Barrio Potosí	27 personas afectadas, 2 viviendas destruidas y 17 viviendas afectadas.	a) Los lugares afectados por inundaciones son la parroquia urbana 5 de Agosto, Barrio Potosí.	a) Ortega Cortez, G. V. (2014), pag 4-6:. Diseño de un plan de gestión de riesgos y desastres ante eventos de deslizamientos, sismos e incendios para la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (Doctoral dissertation).
16/2/2009	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Quinde/Quinde - Parroquia Cube - Comunidad Chucaple	42 personas afectadas	a) Desbordamiento del río Chupacale, afectando a las poblaciones ubicadas en las proximidades del afluente	a) Gobierno Municipal de Quinde
26/2/2009	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Quinde/Quinde - Parroquia Chucaple	Pérdida de 60 Ha de cultivos de ciclo corto	a) Desbordamiento de los ríos Chucaple y Caple provocan serias afecyaciones a la agricultura del sector	a) Gobierno Municipal de Quinde

1/3/2009	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas - Parroquia Vuelta Larga - Chichivine - Carlos Concha - Tacole	47 viviendas afectadas y 16 personas evacuadas	a) Desbordamiento del río Teaone debido a las fuertes precipitaciones en el sector.	a) Gobierno Municipal de Esmeraldas
5/3/2009	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Quininde/Quininde - Parroquia Cube	N/E	a) Debordamiento de los ríos Cube y Viche a causa del incremento de las precipitaciones en el sector.	a) Gobierno Municipal de Quininde
5/1/2009	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Quininde	7 viviendas afectadas	a) Precipitaciones provocaron desbordamiento del río Esmeraldas ocasionando afectación a familias cercanas a las riveras del río. b) Sector las Palmas, potosí, Santa Martha 2 y la Tolita, resultaron afectados por las lluvias. Deficiente sistema de alcantarillado.	a) Gobierno Municipal de Quininde. b) Diario EL COMERCIO, www.elcomercio.com
11/3/2010	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas - Barrio 16 de Julio	N/E	a) Precipitaciones constantes provocan afectaciones en barrios de la ciudad de Esmeraldas	a) Secretaría Nacional de la Gestión de Riesgo
5/1/2012	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Quininde/Rosa Zarate - Barrios Patria Nueva y 24 de Mayo	N/E	a) Presencia de fuertes lluvias afectan a las poblaciones de la parte Norte de Rosa Zárate	a) Secretaría Nacional de la Gestión de Riesgo
16/1/2012	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Quininde/Quininde/La Unión	2 viviendas afectadas	a) Se registran intensas lluvias en el Cantón Quininde y todas sus Parroquias. En la parroquia La Unión, el estero Colorado creció su cauce.	a) Secretaría Nacional de la Gestión de Riesgo
7/1/2013	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Quininde/Quininde/Rosa Zarate	26 viviendas afectadas y 130 afectados	a) Fuertes lluvias provocan inundaciones en los barrios asentados en zonas bajas.	a) Gobierno Municipal de Quininde
4/3/2013	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas/Tachina	217 viviendas afectadas	a) Fuertes precipitaciones provocan inundaciones en barrios asentados en zonas bajas de la Parroquia Tachina, colindantes al río Esmeraldas	a) Gobierno Municipal de Esmeraldas
5/3/2013	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Quininde/Quininde/La Unión	75 viviendas afectadas	Desbordamiento de los ríos Copola y Colorado, provocando inundaciones en los barrios aledaños a la rivera de los afluentes	a) Gobierno Municipal de Quininde
20/4/2013	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Quininde/Quininde/La Unión	N/E	Desbordamiento del río Copola provoca inundaciones en los barrios ubicados próximos al afluente	a) Gobierno Municipal de Quininde
15/3/2014	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas/Camarones	100 viviendas afectadas	a) Las continuas lluvias en la Parroquia Camamores provocan inundaciones en el sector.	a) Gobierno Municipal de Esmeraldas
29/3/2014	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas/Simon Plata Torres	80 viviendas afectadas y 400 personas afectadas	a) Fuertes precipitaciones inundan barrios de la ciudad de Esmeraldas.	a) Gobierno Municipal de Esmeraldas
15/1/2015	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas	6 viviendas afectadas	a) Intensas precipitaciones provocan inundaciones con acumulación de agua de 20 cm sobre el piso; barrios asentados en las zonas bajas.	a) Gobierno Municipal de Esmeraldas

21/3/2015	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Quininde/Quininde/Rosa Zarate	16 viviendas afectadas	a) Fuertes precipitaciones inundan barrios de la ciudad de Quininde.	a) Gobierno Municipal de Quininde
5/12/2015	PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN	Cantón Esmeraldas/Esmeraldas - Centro de la ciudad	N/E	a) Fuertes precipitaciones inundan barrios de la ciudad de Esmeraldas.	a) Gobierno Municipal de Esmeraldas

6 **Anexo 5:** Fotografías de campañas de campo realizadas.



1

Inicio de las operaciones de vuelo fotogramétrico con base en aeropuerto de Tachina - Esmeraldas

Operaciones de toma de fotografía aérea en el laboratorio aéreo IGM-628, Cessna Citation Esmeraldas

2





3

Campañas de medición de Puntos de Apoyo fotogramétrico en el área de estudio



4

Campañas de medición de Puntos de Apoyo fotogramétrico en el área de estudio



5

Visita de
campo al río
río
Esmeraldas

Islas que se
forman en el río
Esmeraldas, en
donde existe la
presencia de
población
informal

6





7

Barrios informales se asientan en las orillas del río Esmeraldas

Visita de campo al río Teaone.

8





9

Mientras se escribía la presente investigación, desbordamiento del río Teaono

Inundación provocada por el río Teaone en barrios informales ubicados en las orillas o cercanía del afluente

10





11

Desbordamiento del río Teaono provocado por las lluvias extremas



12

Desbordamiento del río Esmeraldas provocado por las lluvias extremas



13

Inundación provocada por el río Esmeraldas en barrios informales ubicados en las orillas o cercanía del afluente



14

Desbordamiento del río Esmeraldas provocado por las lluvias extremas



15

Vista de la inundación provocada por el río Esmeraldas en el sector de Vuelta Larga

Inundación provocada por el río Esmeraldas en barrios informales ubicados en las islas que se forman en el afluente

16





17

Informalidad de viviendas a orillas del río Esmeraldas, constantemente afectadas por las inundaciones

SIGLAS Y ACRÓNIMOS UTILIZADOS

1 Siglas y acrónimos

CAN (Comunidad Andina)

CLIRSEN (Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos)

CRED (Centro de Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres)

DAC (Dirección de Aviación Civil)

DED (Servicio Alemán de Cooperación Social Técnico)

DTM (Modelo Digital del Terreno)

ENSO (El Niño Oscilación del Sur)

GADM (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal)

GAP's (Áreas de toma sin cobertura)

GNSS (Sistema satelital de navegación global)

GPS (Sistema de Posicionamiento Global)

ICEN (Índice Costero del Niño)

IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano)

IGM (Instituto Geográfico Militar)

IIGE (Instituto de Investigación Geológico y Energético)

IMU (Unidad de Medida Inercial)

INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología)

INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo)

INOCAR (Instituto Oceanográfico de la Armada)

MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca)

NOAA (Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica)

ONI (Índice Oceánico del Niño)

ONU (Organización de las Naciones Unidas)

PAF's (Puntos de Apoyo Fotogramétrico)

PDOT (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial)

REGME (Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador)

SAT (Sistema de Alerta Temprana Hidrometeorológico del Ecuador)

SENAGUA (Secretaría Nacional del Agua)

SENPLADES (Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo)

SINAGAP (Sistema de información nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca)

SNGR (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo)

UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza)