



Instituto de
Posgrado

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
INSTITUTO DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

**EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA CUENCA
BAJA DEL RÍO ESMERALDAS.**

**Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Magíster en Gestión
Integral de Cuencas Hidrográficas**

AUTOR:

Erick Lenin Estrada Vásquez

DIRECTOR:

Msc. Darío Paúl Arias Muñoz

IBARRA - ECUADOR

2020

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor de Trabajo de Grado Titulado: **“EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO ESMERALDAS”**, de autoría de: **Erick Lenin Estrada Vásquez**, para optar por el título de Magister en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, doy fe de que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se asigne.

En la ciudad de Ibarra, a 15 de noviembre del 2020

Lo certifico



Ing. Darío Paul Arias MSc.

Tutor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD	0802787044		
APELLIDOS Y NOMBRES	Estrada Vásquez Erick Lenin		
DIRECCION	Esmeraldas – Olmedo y Juan Montalvo		
EMAIL	elestradav@utm.edu.ec		
TELÉFONO FIJO	062461115	TELÉFONO MÓVIL:	0980255603

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Evaluación del riesgo de inundación fluvial en la cuenca baja del río Esmeraldas.
AUTOR (ES):	Estrada Vásquez Erick Lenin
FECHA: DD/MM/AAAA	6/11/2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA DE POSGRADO	Maestría en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas
TÍTULO POR EL QUE OPTA	Magister en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas
TUTOR	Arias Muñoz Darío Paul

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 25 días del mes de febrero del año 2021

EL AUTOR:



Erick Lenin Estrada Vásquez
0802787044

DEDICATORIA

A mis Padres

Juan José y Bertha Gladys, ejemplos de vida, la lucha constante por el bien de la familia, cada sacrificio de ustedes es el soporte para el crecimiento de sus hijos.

A mis Hermanos

Evelyn, Juan José, Boris, Melissa y Anahí, nunca se rindan, mi deseo es verlos profesionales, felices y personas de bien como nuestros padres nos han formado.

A mi Esposa

Karen Janneth pilar de mi vida, eres ejemplo de fortaleza, constancia y amor por nuestra familia, tus batallas me enseñaron que hay que vencer cada obstáculo que la vida nos pone. Eres el amor de mi vida, nunca sueltes mi mano.

A mi Hija

Fabiana Danahé, eres el motivo para seguir adelante, crece despacio mi princesa, aprende cada día, quiero acompañarte en tus triunfos y apoyarte en tus fracasos, siempre puedes cobijarte en tus padres que te aman, vive y se feliz.

***Cuando la obra de mi vida se
termine, ustedes serán el
capítulo más bonito.***

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud al M.Sc. Darío Paul Arias Muñoz, principal mentor durante todo este proceso, gracias por entregar tus conocimientos, experiencias y dirección. Fueron la base para el desarrollo de este trabajo.

Asimismo, quiero agradecer al M.Sc. José Raúl Guzmán Paz, gracias por su aporte metodológico y el tiempo que dedicó a esta tesis.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Técnica del Norte y el Instituto de Posgrado, en especial al Dr. José Ali Moncada Rangel y Dr. Jesús Ramón Aranguren Carrera quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer en el recorrido de esta maestría.

Al grupo de compañeros y amigos, cada uno de ustedes aportaron experiencias para que esta maestría sea más completa. A mi amigo Carlos Reyes compañía y apoyo durante estos 2 años de viajes.

Gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
EL PROBLEMA	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Antecedentes	4
1.3. Objetivos de la investigación	7
1.3.1. Objetivo general	7
1.3.2. Objetivos específicos	7
1.4. Justificación	8
CAPITULO II	10
MARCO REFERENCIAL	10
2.1. Marco teórico	10
2.1.1. Cuenca hidrográfica: evolución social del concepto y su relación a los desastres naturales.	10
2.1.2. Riesgos Naturales. Factores de amenaza y vulnerabilidad.	12
2.1.2.1. Amenaza: fenómeno natural o inducido por el ser humano.	14
2.1.2.2. Vulnerabilidad: condiciones ambientales, sociales, económicas, políticas y educativas que exponen a grupos humanos a un desastre.	15
2.1.3. Análisis de riesgo: reducción del impacto de las amenazas y las condiciones de vulnerabilidad	16
2.1.4. Los desastres y su relación con el desarrollo	16
2.1.5. Inundaciones: amenaza para los más pobres.	18
2.1.6. Teledetección: técnica de procesamiento de datos de la superficie terrestre a partir de sensores	19
2.1.7. Radar de Apertura Sintética - SAR	21
2.1.8. Imágenes satelitales radar – Sentinel-1.....	22
2.1.9. Google Earth Engine	23
2.1.10. Enfoque Presión-Estado-Respuesta.....	24
2.2. Marco legal	25
CAPITULO III	27
MARCO METODOLÓGICO	27
3.1. Descripción del área de estudio	27

3.2. Enfoque y tipo de investigación	28
3.3. Procedimientos	29
3.3.1. Fase 1. Mapeo de inundaciones del río Esmeraldas, cuenca baja del río Esmeraldas	29
3.3.2. Fase 2. Vulnerabilidad de los habitantes del río Esmeraldas frente a las amenazas de inundaciones.	36
3.3.3. Fase 3. Estrategias de gestión de riesgos de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas.	43
3.4. Consideraciones bioéticas	44
CAPÍTULO IV	45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1. Mapeo de inundación del río Esmeraldas.....	45
4.2. Vulnerabilidad de los habitantes del río Esmeraldas frente a las amenazas de inundaciones.	51
4.3. Estrategias de gestión de riesgos de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas.	64
CONCLUSIONES.....	68
RECOMENDACIONES.....	69
REFERENCIAS	70
ANEXOS.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales misiones satelitales con sensores radar.....	22
Tabla 2. Algoritmo para cargar y procesamiento de la imagen radar Sentinel.....	30
Tabla 3. Algoritmo para clasificación de píxeles y clasificación de la imagen.....	32
Tabla 4. Algoritmo para de Matriz de confusión y exportar la imagen final.....	35
Tabla 5. Descripción de los indicadores de vulnerabilidad.....	36
Tabla 6. <i>Categorías del índice de hacinamiento</i>	37
Tabla 7. Valores normalizados de variables de vulnerabilidad por parroquias.	39
Tabla 8. Grado de vulnerabilidad.	39
Tabla 9. Actores locales entrevistados	41
Tabla 10. Área inundada en el evento de precipitación del 22 de febrero del 2020.	47
Tabla 11. Porcentaje de hacinamiento en las viviendas por parroquias en la cuenca baja del río Esmeraldas.	51
Tabla 12. Porcentaje de viviendas que no tienen acceso a agua potable por parroquias en la cuenca baja del río Esmeraldas.	53
Tabla 13. Porcentaje de viviendas que no tienen conexión al alcantarillado por parroquias en la cuenca baja del río Esmeraldas.	53
Tabla 14. Porcentaje de analfabetismo por parroquias en la cuenca baja del río Esmeraldas.	54
Tabla 15. Porcentaje de personas con discapacidad por parroquias en la zona de estudio.	55
Tabla 16. Porcentaje de viviendas con deficientes vías de acceso por parroquias en la cuenca baja del río Esmeraldas.	56
Tabla 17. Porcentaje de personas con empleo no adecuado por parroquias en la cuenca baja del río Esmeraldas.....	57
Tabla 18. Porcentaje de viviendas que no tiene sistema de recolección de basura por parroquias en la zona de estudio.	58
Tabla 19. Indicadores de vulnerabilidad de la población de la cuenca baja del río Esmeraldas, agrupados por el método ACP.	59
Tabla 20. Valores promedio de los indicadores de vulnerabilidad de la cuenca baja del río Esmeraldas.	61
Tabla 21. Modelo Presión-Estado-Respuesta, de los riesgos de inundación de la cuenca baja del río Esmeraldas.	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre desastre y desarrollo.	17
Figura 2. Interfaz de la plataforma en la nube Google Earth Engine.	23
Figura 3. Esquema del modelo Presión-Estado-Respuesta.	24
Figura 4. Cuenca baja del río Esmeraldas, Área de estudio.	28
Figura 5. Code editor de Google Earth Engine.	30
Figura 6. Imágenes Sentinel-1 antes y después del evento de inundación del 22 de febrero del 2020 en la cuenca baja del río Esmeraldas.	32
Figura 7. Imágenes Sentinel-1 que representan la misma escena del río Esmeraldas. (a) Imagen satelital Sentinel-1 antes de la inundación y (b) Imagen satelital Sentinel-1 después de la inundación.	34
Figura 8. Matriz de confusión. Porcentaje de precisión del mapa resultante.	35
Figura 9. Identificación de los sitios de inundación por los actores locales.	41
Figura 10. Viviendas destruidas por la inundación de enero del 2016.	42
Figura 11. Mapa de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas (evento 22 de febrero del 2020).	46
Figura 12. Viviendas alcanzadas por la crecida del río en enero del 2016.	48
Figura 13. Mapa de usos y coberturas del suelo inundados en la cuenca baja del río Esmeraldas (evento 22 de febrero del 2020).	49
Figura 14. Punto de inundación en los bordes del río Esmeraldas	50
Figura 15. Vivienda de 2 de ambientes inundada	52
Figura 16. Calles anegadas por fuertes lluvias.....	54
Figura 17. Vías de acceso deterioradas por la etapa invernal.	56
Figura 18. Dimensiones de la vulnerabilidad por zonas.	62
Figura 19. Vulnerabilidad en la zona urbana y rural.....	63

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
INSTITUTO DE POSGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS

**EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA CUENCA
BAJA DEL RÍO ESMERALDAS.**

Autor: Erick Lenin Estrada Vásquez

Tutor: Darío Paul Arias Muñoz

Año: 2020

RESUMEN

Las inundaciones son un problema no resuelto para el desarrollo de la ciudad de Esmeraldas, Provincia de Esmeraldas, Ecuador. La población de esta urbe, por desconocimiento del riesgo y por necesidad de vivienda, se asienta en lugares que no garantizan la vida e inversiones. El presente estudio tuvo por objetivo la determinación del riesgo de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas. Para ello se identificaron las amenazas y vulnerabilidad a las que está expuesta la población del área de estudio. El mapeo de la inundación se realizó mediante teledetección de imágenes RADAR Sentinel y el potencial que tiene la plataforma Google Earth Engine para su procesamiento. La vulnerabilidad se analizó por medio de la selección de indicadores por el método de Análisis de Componentes Principales. Las estrategias de gestión del riesgo de inundación se determinaron a partir de la metodología Presión-Estado-Respuesta (PER). Se obtuvieron mapas de la distribución espacial que demuestran que el 10 % del área de estudio se inundó en el evento del 22 de febrero del 2020. Asimismo, se determinó que el 80% del área de estudio está en condición moderada de vulnerabilidad, representada geográficamente en la zona rural y el 20% corresponde a la condición de vulnerabilidad baja situada en la zona urbana. Las respuestas del modelo PER se basan principalmente en reubicar a las personas e inversiones que existen en las zonas amenazadas ante un evento de inundación. Finalmente se determinó que existe una relación social, económica y cultural vinculada a los desastres de inundación y en ese contexto deben intervenir las autoridades en base a las estrategias que determinan este estudio.

Palabras clave: Inundación, Amenaza, Vulnerabilidad, Gestión del Riesgo, Teledetección.

EVALUATION OF FLUVIAL FLOOD RISKS IN THE LOWER WATERSHED OF THE ESMERALDAS RIVER

Author: Erick Lenin Estrada Vásquez

Counselor: Darío Paul Arias Muñoz

Year: 2020

ABSTRACT

Floods are an unresolved problem that hinder the development of the city of Esmeraldas, Esmeraldas Province, Ecuador. The population of this city, unbeknownst to them, ignoring the risk it brings, and based on their need, settle in plots of lands that are a threat to their lives and livelihood. The objective of this study was to determine the risks of flooding on the lower watershed of the Esmeraldas river. In order to do so, we identify threats and vulnerabilities to which the population in reference is exposed. The mapping of the floods was done by teledetection of RADAR Sentinel images and the capabilities found in Google Earth Engine platform to process the information. The vulnerability aspect of the study was accomplished by the selection of indicators using the Principal Component Analysis PCA method. The strategies for risk management were determined by utilizing the Pressure-State-Response PER method. The results were special distributions maps that show that 10% of the studied area was flooded in the incident of February 22, 2020. In the same manner, was determined that 80% of the studied area, geographically represented in the rural area, is currently in a moderate state of vulnerability and 20% in a state of low vulnerability, which represents the urban area. The results of the PER method are mainly based on population and livelihood relocation away from the threats of flooding. Finally, it was determined that there exists a social, economic, and cultural relation linked to flooding disasters that begs local authorities and leadership intervention based on the strategies given in this study.

Key words: Floods, Threats, Vulnerability, Risk Management, Teledetection

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

En el capítulo I presenta la problemática, los objetivos y la justificación de la investigación. Las inundaciones y su estudio es un tema que mínimamente ha sido abordado para la planificación de los asentamientos, esta determina una gran problemática para el correcto desarrollo de las poblaciones. Abordar esta problemática originará el desarrollo de herramientas para la disminución y mitigación del riesgo de desastres de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas.

1.1. Planteamiento del problema

Los eventos de inundaciones son el desastre natural de mayor ocurrencia en Ecuador, a medida que aumentan las poblaciones y sus urbes proporcionalmente estos desastres ocasionan más pérdidas humanas y económicas. La etapa invernal soporta precipitaciones de gran intensidad y revela las deficiencias en el ordenamiento del territorial en la cuenca del río Esmeraldas. Lamentablemente los tomadores de decisiones y autoridades de la ciudad, que también deben ser gestores ambientales, no tienen suficientes herramientas para anticiparse o actuar frente a un evento de inundación, por otra parte, su acción se basa en los efectos y no en los factores que generan las inundaciones.

La presente investigación está orientada a analizar el riesgo de inundación fluvial en la cuenca baja del río Esmeraldas, el área de interés se encuentra donde convergen los ríos Guayabamba y Blanco hasta la desembocadura en el Océano Pacífico. Para el estudio se parte de la premisa, $\text{Riesgo} = \text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad}$, y que si no existen uno de estos componentes entonces no existe el riesgo.

La estructura del presente informe de investigación, en primera instancia describe los argumentos introductorios para dar una visión generalizada de la problemática y antecedentes, así también se describen particularidades que caracterizan la zona de estudio

para explicar ciertos comportamientos de los actores involucrados alrededor de los riesgos de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas

Posteriormente se realiza el análisis del riesgo de inundación con el potencial de las plataformas de libre acceso Google Earth Engine y REDATAM SP+R, con ello se propenderá a describir específica y objetivamente la influencia de las variables concernientes al riesgo de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas, para ello se fortalece en la capacidad de la teledetección para determinar las amenazas y así superar las limitaciones por falta de información y datos para investigación de los eventos de inundación, en cuanto a la vulnerabilidad social se analizó mediante indicadores socioculturales, económicos y estructurales de las poblaciones de la cuenca baja del río Esmeraldas.

Por último, se realizan estrategias de gestión del riesgo de inundación mediante la metodología Presión-Estado-Respuesta (PER), con la finalidad de que esta investigación sirva como instrumento para tomar decisiones que eviten pérdidas por inundaciones en la cuenca baja del río Esmeraldas.

El informe La reducción de riesgos de desastres, un desafío para el desarrollo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2004) menciona que “Aproximadamente el 75% de la población mundial vive en zonas que han sido azotadas, al menos una vez entre los años 1980 y 2000 por un terremoto, un ciclón tropical, una inundación o una sequía”. Esto concuerda con la realidad ecuatoriana, donde se producen asentamientos humanos en terrenos con factores de riesgos elevados que determinan inseguridad para el desarrollo la población.

Demoraes y D’ercole (2001) señalan que en Ecuador existen regiones en donde se concentran las inundaciones, por ejemplo, durante los últimos 12 años la mayor frecuencia de las inundaciones fueron en las provincias de la Costa, esto lo confirma la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR, 2014), la cual menciona que la región del litoral ecuatoriano es la más propensa a sufrir inundaciones, debido, entre otras razones, a la existencia de grandes llanuras contiguas a los ríos que se inundan con facilidad, a la acumulación de sedimentos y taponamiento de cauces, que disminuyen la capacidad de flujo de las cuencas naturales y provocan desbordamientos. Este problema se agrava en los años que hay fenómeno de “El

niño” ya que se incrementan la cantidad e intensidad de lluvias y debido a que la población se asienta a orillas de los cauces e incluso construyen rellenos cerca a los bordes, en consecuencia, se provocan peligrosas inundaciones en el momento de una crecida o desbordamiento del río.

De acuerdo con el informe del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 (ONU, 2015) en donde describe como:

Prioridad 1: Comprender el riesgo de desastres. Las políticas y prácticas para la gestión del riesgo de desastre deben basarse en una comprensión del riesgo de desastres en todas sus dimensiones de vulnerabilidad, capacidad, grado de exposición de personas y bienes, características de las amenazas y entorno. Esos conocimientos se pueden aprovechar para la evaluación del riesgo previo a los desastres, para la prevención y mitigación y para la elaboración y aplicación de medidas adecuadas de preparación y respuesta eficaz para casos de desastre.

El crecimiento de asentamientos informales y suburbios en los bordes de los ríos por inmigrantes desde asentamientos urbanos más pequeños o desde el campo a las grandes ciudades, ha provocado el florecimiento de entornos habitacionales inestables. Estos asentamientos a menudo se encuentran en barrancos, laderas empinadas y zonas de inundación (PNUD, 2004). A lo largo del río Esmeraldas se han realizado asentamientos de forma irregular, sin prever que donde constrúan sus viviendas son lugares con eminente riesgo de inundación exponiendo su patrimonio y la vida de sus familias, para incrementar este riesgo se debe considerar los aspectos sociales, culturales y económicos de esta población, ya que existe un vínculo entre estos y el riesgo de desastre, el mal ordenamiento territorial conlleva a una serie de malas tomas de decisiones y si no se ejecutan acciones en el corto y mediano plazo; estas decisiones costarán vidas y pérdidas económicas.

Las inundaciones son hechos que no se pueden predecir, sin embargo, se puede pronosticar los posibles lugares y afectaciones que estos eventos pueden causar, si bien no se puede evitar que el río Esmeraldas crezca e inunde el territorio, pero si se pueden tomar medidas para minimizar los riesgos a los que está expuesta la población. Adicionalmente, se puede inferir

que la vulnerabilidad de la población de la cuenca baja del río Esmeraldas pueda ir en aumento como consecuencia del cambio climático mundial y de fenómenos naturales como los de “El Niño”.

La principal problemática de la zona de estudio respecto a las inundaciones es que existe asentamientos populares en las orillas del cauce del río Esmeraldas, además tampoco hay datos de las crecidas y nuevos registros de las zonas que se inundan. Todo esto podría generar fuertes consecuencias en la población, pérdidas económicas, problemas con el abastecimiento de productos agropecuarios, destrucción de infraestructuras, fatalidades, entre otras, en ese sentido es necesario realizar el estudio sobre el riesgo de inundación en la cuenca del río Esmeraldas y la influencia en sus habitantes la cual brindará a los actores involucrados elementos de juicio para establecer alternativas para evitar pérdidas humanas y económicas.

1.2. Antecedentes

La evaluación del riesgo ha sido abordada claramente desde la promulgación del Decenio Internacional para la Reducción del Riesgo de Desastres Naturales en el año 1990 expresada en la estrategia y el plan de acción de Yokohama para un mundo más seguro en 1994, en el Mandato de Ginebra sobre reducción de riesgos de desastres en 1999, en el Marco de Acción de Hyogo 2005-2015 y en el nuevo Marco de Acción de Sendai para la reducción del riesgo de desastres 2015-2030 (ONU, 2015). Todas estas estrategias procuran estimular una "cultura de prevención de desastres" y exhorta a los países más amenazados a mejorar su capacidad para afrontar sus tragedias, por sí mismos y mediante la cooperación bilateral e internacional.

Además, tienen como meta reducir de forma sustancial las pérdidas por desastres naturales, desarrollar un sistema internacional de alerta temprana y crear una red mundial de información para este propósito. Según datos estadísticos internacionales como la Base de Datos de Eventos de Emergencia del 2011 citados por el Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED, 2016) señala que a nivel mundial las inundaciones se encuentran en el primer lugar entre los 10 mayores desastres en el período comprendido entre los años 1900 y 2012 por el número de personas afectadas y están en el segundo lugar por la cantidad de pérdidas económicas.

Uno de los primeros estudios sobre las inundaciones en el Ecuador es realizado por Demoraes y D'Ercole (2001), en la publicación titulada “Cartografía de las amenazas de origen natural por cantón en Ecuador”, el cual tiene como objetivo la evaluación de los peligros de origen natural en el país, en donde dos organizaciones no gubernamentales especializadas en temas humanitarios, COOPI (Italia) y OXFAM (Gran Bretaña) necesitaban información que les permitiera establecer prioridades geográficas para sus intervenciones en el Ecuador. Para determinar el riesgo, en este informe se analizaron ponderaciones para las amenazas, capacidad de respuesta de las instituciones y vulnerabilidad de la población con respecto a inundaciones en todos los cantones del Ecuador, obtuvieron como resultado una serie de mapas de riesgos del país, que sirvieron como punto de partida para tomas de decisiones e intervenciones de las ONGs.

Asimismo, Demoraes y Trujillo (2003) en la publicación Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador, evaluaron que el país tiene un conjunto de características físicas que condicionan la aparición de amenazas naturales. Para el incremento de riesgos de inundaciones se puede mencionar que las precipitaciones abundantes y/o con intensidad elevada, ciclo de estaciones secas y lluviosas, topografía irregular (más de 5000 m y en algunos casos en cortas distancias), vertientes empinadas y de gran extensión, formaciones geológicas sensibles a la erosión, fenómeno ENOS o El Niño, entre otros, son algunos de los factores que condicionan a las poblaciones a sufrir eventos en donde el riesgo de inundación esté presente.

Según la Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES, 2010) en la publicación de la Agenda zonal para el Buen Vivir, Propuestas de desarrollo y lineamientos para el ordenamiento territorial, en conjunto con organizaciones internacionales como el Programa ART/PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), emiten el documento de trabajo para la zona de planificación 1 (Provincias de Carchi, Esmeraldas, Imbabura y Sucumbíos) y mencionan que la zonal 1 es susceptible de peligros naturales relacionados con los movimientos de masa, inundaciones, sismicidad y, en menor grado, vulcanismo debido a la estructura geológica y las formas de origen aluvial. Además, concluye que los valles aluviales que se encuentran a lo largo del río Esmeraldas se encuentran en categoría de mayor peligro a riesgo de inundaciones. Los valles aluviales son formaciones

sedimentarias jóvenes que no garantizan la estabilidad para realizar actividades antrópicas de viviendas.

Batioja (2017), en su investigación sobre el Análisis de la gestión administrativa del refugio de vida silvestre manglares estuario río Esmeraldas, señala que la expansión demográfica producto del traslado de personas desde otras ciudades hace que la población demande adquirir un predio en el estuario del río Esmeraldas. Estos nuevos asentamientos se ejecutan en malas condiciones, al construir sus viviendas sin un control en cuanto a los estándares de seguridad y el ordenamiento territorial planificado. El GADPE (2015) señala que es necesario la reubicación de los asentamientos humanos que están en zonas de riesgo de inundación.

Las inundaciones fluviales son provocadas cuando un río desborda de su cauce habitual por intensas precipitaciones en la cuenca de captación (CRED, 2016). Uno de los últimos referentes de inundación en el río Esmeraldas ocurrió en enero del 2016, provocada por precipitaciones torrenciales y sumado al aguaje, ocasionó una gran inundación en los bordes y valles del río Esmeraldas, que trascendió en daños a las personas e infraestructura existente. Al ser un evento que no se puede prever su llegada tomó por sorpresa a todos los involucrados (población y autoridades), esto provocó caos para la evacuación de los pobladores y pérdidas económicas de en las inversiones agropecuarias y destrucción de varios asentamientos humanos en los bordes del río Esmeraldas.

La investigación realizada por Martínez y Letoan (2007) en la cuenca del río Amazonas para el mapeo de la dinámica de inundación y distribución espacial de la vegetación en la llanura de inundación, utilizó imágenes radar y concluyen que “se pueden usar imágenes radar para monitorear eficientemente la extensión de la inundación, independientemente de las unidades de paisaje”. Para ello se utiliza la metodología propuesta por la NASA, en donde por medio de la plataforma Google Earth Engine y la utilización de un algoritmo (SCRIPT) se puede diferenciar las zonas que se inundan a partir de un evento de precipitación.

Wilches-Chaux (1993) profundiza y menciona los diferentes tipos de vulnerabilidades que tiene la población frente a los desastres y aclara que la “Vulnerabilidad global” son todos aquellos aspectos que incapacitan a las comunidades para afrontar un desastre, para luego detallar cuales son las variables e indicadores que aumentan la vulnerabilidad ante un evento

de desastre. Asimismo, Lavell (2003) en su publicación sobre la gestión local del riesgo, describe los tipos de vulnerabilidad frente al riesgo de desastre, los cuales corresponden a las variables sociales, físicas, económicas o políticas que predisponen a la población a sufrir efectos adversos en un evento de desastre natural.

Para el diseño de estrategias de gestión se utiliza el Modelo Presión-Estado-Respuesta (PER) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), el cual describe la relación entre la actividad humana y los recursos naturales, a partir de la presión que ejercen las actividades antrópicas en los recursos naturales y alteran su estado inicial en mayor o menor grado. Este modelo ha sido aplicado por todos los países en vías de desarrollo para tomar decisiones con el fin de corregir los efectos negativos de las acciones humanas (Pandía, 2016). El modelo PER es aplicado por instituciones estatales como el MAE, SEMPLADES, SENAGUA, entre otros, (Larrea *et al.*, 2015), para organizar indicadores ambientales y se basan en el principio de causalidad de las actividades antrópicas en el deterioro del ambiente y proporcionan una visión que optimiza tomar decisiones y ser reevaluadas constantemente.

Todos estos estudios tienen relación con la investigación, por ello sirvieron como la base conceptual y metodológica para con estos criterios generar información actualizada, real y a detalle sobre la amenaza y vulnerabilidad que están expuestas la población y finalmente diseñar estrategias de gestión de riesgo de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el riesgo de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas, para proponer estrategias de gestión de riesgo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar el mapeo de inundaciones en la cuenca baja del río Esmeraldas.
- Analizar la vulnerabilidad de los habitantes de la cuenca baja del río Esmeraldas frente a las amenazas de inundaciones.

- Diseñar estrategias de gestión de riesgos de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas.

1.4. Justificación

En Ecuador el número de desastres ha aumentado considerablemente (SNGR, 2014), lamentablemente la percepción del riesgo de los pobladores sigue errada. Estas no sólo perjudican a los habitantes de las zonas inundadas, también influye en la economía de un país, por pérdidas en las infraestructuras e inversiones públicas, además de ser una de las causas de fatalidades que aún no se pueden controlar (CEPAL, 2014). Debido a estos efectos y el incremento de las cifras de inundaciones, surge la inquietud de hacer una investigación que sirva de instrumento para evitar sus consecuencias.

El estudio de los riesgos de inundación responde a las estrategias del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una Vida (SENPLADES, 2017) que detalla como estrategias del territorio nacional los lineamientos para el acceso equitativo a infraestructura y conocimiento, en la cual especifica en su apartado d.13) “Identificar las infraestructuras y los equipamientos expuestos a amenazas de origen natural y antrópico, estableciendo los elementos esenciales para desarrollar medidas integrales de gestión de riesgos”. Por lo tanto, la información generada producto del análisis servirá como insumo técnico para tomar decisiones y la realización de nuevas investigaciones en el área del conocimiento de la gestión del riesgo.

Asimismo, este estudio se enmarca en las líneas de investigación “Desarrollo social y del comportamiento Humano” de la Universidad Técnica del Norte, el río Esmeraldas tiene un vínculo ancestral en las actividades cotidianas de las poblaciones que viven a lo largo de su cauce. El aspecto natural de las crecidas del río Esmeraldas deriva un análisis especial ya que presenta dificultad para ser pronosticadas y los aumentos en la frecuencia, intensidad y duración de las precipitaciones resultan en potenciales amenazas, es decir una relación causa-efecto razón importante para que esta investigación colabore al proceso de desarrollo de la ciudad de Esmeraldas.

Wilches-Chaux G. (1993) afirma que “los desastres son un fenómeno social”, en ese sentido la problemática de las inundaciones es un problema no resuelto para el desarrollo de la ciudad

de Esmeraldas. Las inundaciones no son un problema de la naturaleza sino un problema que parte de la relación entre la sociedad con su cultura de construir en forma desordenada, seguido del ámbito político con escasas tomas de decisiones en el ordenamiento territorial y su cumplimiento.

Instituciones del Estado tienen estudios de riesgos, pero son a niveles muy generales sin revisar las realidades propias de territorio, en efecto la población por desconocimiento del riesgo y por necesidad de vivienda se asientan en lugares que no garantizan la vida. A mayor sea el grado de conocimiento sobre el riesgo de inundación en la zona de estudio, mejores estrategias habrá para el control, prevención y mitigación en la población esmeraldeña.

Finalmente, la investigación proporciona propuestas para mejorar la seguridad en los habitantes de la cuenca baja del río Esmeraldas y ser un instrumento en la toma de decisiones, asimismo promueva futuras investigaciones en el campo de la gestión integral de la cuenca del río Esmeraldas.

CAPITULO II

MARCO REFERENCIAL

En el capítulo II presenta los antecedentes y el marco teórico de la investigación, se dan a conocer algunos acontecimientos previos respecto a las inundaciones y el riesgo que representan a la población. La revisión de estudios indica que las fuertes lluvias que ocurren cada año en la estación lluviosa, provocan que varias zonas sufran inundaciones, y precisamente esos lugares sirven de asentamiento para muchas familias.

2.1. Marco teórico

2.1.1. Cuenca hidrográfica: evolución social del concepto y su relación a los desastres naturales.

Desde fines del decenio de 1980 la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) promueve el manejo de cuencas hidrográficas mediante la ejecución de diversos proyectos además de realizar publicaciones de mejores prácticas y enseñanzas obtenidas en esta materia. En 1992 la FAO fue designada organismo coordinador, a partir de esto trabaja activamente en la difusión del manejo integrado y participativo de cuencas hidrográficas.

Según la FAO (2007), menciona que la cuenca hidrográfica es una unidad territorial formada por un río con sus afluentes, y por un área colectora de las aguas. En la cuenca están contenidos los recursos naturales básicos para múltiples actividades humanas, como: agua, suelo, vegetación y fauna. Todos ellos mantienen una continua y particular interacción con los aprovechamientos y desarrollos productivos del ser humano.

Sánchez (1995) describe la cuenca hidrográfica como una unidad espacial global, delimitada superficialmente por un área natural de drenaje cuyas aguas vierten a un colector común, en la cual interactúan orgánicamente elementos físico-bióticos, que el ser humano utiliza en los procesos de producción y consumo de medios materiales de vida. Para Ramakrishna (1997) una cuenca hidrográfica es el área natural en donde se acumula el agua proveniente de las precipitaciones que forman un cauce principal. Las divisorias de agua son formadas naturalmente por los puntos más altos que encierran el río principal y los sistemas de cursos

de agua que desembocan en el cauce principal forman así una unidad fisiográfica. Ambos conceptos mencionan los límites de la cuenca hidrográfica, sin embargo, Sánchez (1995) va más allá y menciona la interacción humana y los recursos de la cuenca.

En la publicación las cuencas y la gestión del riesgo a los desastres naturales en Guatemala, de la (FAO, 2007), Isabel Aguilar menciona que

Físicamente, la cuenca representa una fuente natural de captación y concentración de agua superficial, por lo que esta unidad territorial tiene una connotación esencialmente volumétrica e hidrológica. Pero, en tanto espacio social, la cuenca debe ser considerada como una realidad socialmente construida a partir de las relaciones económicas, culturales, sociales y políticas que se establecen entre los diferentes sectores. (p.17)

Para Cotler *et al.* (2013) describe el concepto con un enfoque más amplio

Las cuencas hidrográficas son espacios territoriales delimitados por un parteaguas (partes más altas de montañas) donde se concentran todos los escurrimientos (arroyos, vertientes y/o ríos) que confluyen y desembocan en un punto común llamado también punto de salida de la cuenca, que puede ser un lago (forman una cuenca denominada endorreica) o el mar (llamada cuenca exorreica). En estos territorios hay una interrelación e interdependencia espacial y temporal entre el medio biofísico (suelo, ecosistemas acuáticos y terrestres, cultivos, agua, biodiversidad, estructura geomorfológica y geológica), los modos de apropiación (tecnología y/o mercados) y las instituciones (organización social, cultura, reglas y/o leyes). (p.10)

En las definiciones citadas de cuenca hidrográfica se enfatiza las relaciones que se dan entre los elementos que los componen, lo que establece complejidad cuando se asume su estudio. El análisis de las cuencas hidrográficas a partir del ordenamiento territorial es un tema de mucha relevancia para la planificación de las ciudades, pero el tema en el país es muy poco debatido y peor aún puesto en práctica; el debate sobre las cuencas hidrográficas en Ecuador está en que el recurso agua se analice como bien socioeconómico, desde una visión en la cual se investigue la dinámica del agua en la cuenca, para realizar aprovechamiento más eficiente y así evitar los riesgos naturales que provoca su mal uso, que induzca a menos conflictos y

deterioro de las fuentes hídricas y finalmente exista una verdadera gestión de los recursos de la cuenca.

El enfoque del concepto de Cuencas Hidrográficas es reconocido en la mayoría de las fuentes y autores como el área del territorio limitada por la divisoria de aguas en donde fluye el agua hacia un cauce común. Durante los últimos años de la década de los ochenta hasta el presente, este concepto evoluciona, en parte debido a la preocupación mundial por la situación de los recursos hídricos, entre estos su problemática, procesos y dinámicas territoriales que convergen alrededor del tema. En este perfeccionamiento del concepto sumaron nuevos aspectos como los socioculturales; seguramente porque los más interesados de su correcto manejo son precisamente las poblaciones que en alguna forma aprovechan sus recursos, inclusive los límites de las cuencas hidrográficas cambiaron debido a que los beneficiarios de todos los bienes y servicios involucran precisamente a otras comunidades que viven fuera de ella, por ello los límites para la gestión integral están alrededor de todos los que usan sus recursos y no sólo en los bordes de la divisoria de aguas.

Para el enfoque de esta investigación el concepto de cuenca hidrográfica tiene aspectos que van más allá de la divisoria de aguas y una relación más amplia que sobrepasa los límites biofísicos. Por ello se considera que la cuenca hidrográfica es un territorio delimitado por la propia naturaleza específicamente para el elemento agua, pero en la gestión de los factores de riesgo de una cuenca hay que añadir a su conjunto las relaciones e interacciones sociales sobre la gestión de los recursos que esta contiene, la intención es disminuir los conflictos causados por las intervenciones actuales y futuras entre el ambiente y sus pobladores. Las cuencas hidrográficas engloban las condiciones biológicas, económicas y sociales-culturales que les otorga características propias de acuerdo con sus distintas realidades, por ende, cada cuenca debe ser manejada según sus particularidades propias, más aún cuando la vulnerabilidad de la población frente a los desastres naturales involucra aspectos socioculturales indispensables para su análisis.

2.1.2. Riesgos Naturales. Factores de amenaza y vulnerabilidad.

La denominación de los riesgos naturales surgió en la segunda mitad de los años sesenta, estos tienen lugar en un espacio geográfico, en un territorio organizado por el ser humano.

Para UNISDR (2009) el riesgo se define como la probabilidad de que una amenaza se convierta en un desastre. Los elementos que lo componen son la amenaza y la vulnerabilidad, pero estas por separado no representan un peligro, sin embargo, al estar presentes estos factores se convierten en un riesgo.

Wilches-Chaux (1993) define el riesgo como “cualquier fenómeno de origen natural o humano que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, que sea vulnerable a ese fenómeno”, asimismo, Lavell (2003) señala que el riesgo es la probabilidad de que exista daños y pérdidas futuras asociadas con el impacto de un evento externo sobre una población vulnerable, donde la magnitud y extensión de estos son tales que exceden la capacidad de la sociedad para recibir el impacto y poder hacer frente a sus efectos. Ambos autores coinciden que para que exista el riesgo, la amenaza debe alcanzar los lugares donde se realizan actividades antrópicas.

Para Arenas *et. al.* (2010) el riesgo es la posibilidad de que ocurra un evento peligroso para el territorio y la sociedad, capaz de ocasionar daños a las personas, sus bienes materiales y sus obras. El riesgo se configura por la relación entre factores de amenaza y vulnerabilidad. Como las amenazas son inevitables, los esfuerzos para disminuir el riesgo de desastre deben concentrarse en disminuir la vulnerabilidad de nuestros asentamientos humanos. En ese sentido, se asume que, si bien las amenazas de que ocurra un evento de inundación en un territorio no se pueden evitar, por el contrario, la vulnerabilidad puede ser analizada para tomar acciones positivas para disminuir el peligro.

Escuder *et. al.* (2010) explican que el riesgo de inundación se entiende como tal a la combinación de la probabilidad de ocurrencia de inundaciones, con las consecuencias asociadas a dicha situación, por otro lado, el entendimiento de ambos factores, probabilidad de ocurrencia y consecuencias, explica de por sí cómo el riesgo es un concepto dinámico, ya que estos factores varían inexorablemente con el tiempo. Por lo tanto, tomar acciones frente a la vulnerabilidad de la población, repercutirá en la disminución futura del riesgo.

Se entiende por riesgo natural como la posibilidad de que en un espacio geográfico ocurra un peligro determinado de origen natural, que provoca daños y pérdidas hacia la población que habita este espacio. El crecimiento desordenado de las ciudades y la escasa planificación por

parte de las autoridades han provocado generación e incremento del riesgo a inundaciones. Estudiar la expansión urbana no regulada, sus construcciones y el desarrollo que lo acompaña como procesos dinámicos, permite explicar las causas y consecuencias de las inundaciones, especialmente en el caso de esta investigación que involucra poblaciones con escasos recursos que construyeron sus viviendas e inversiones agropecuarias en zonas aledañas al río Esmeraldas.

Los especialistas citados indican que el riesgo está en función de la amenaza o peligro por la vulnerabilidad.

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad}$$

Esta ecuación expresa que no existe riesgo si no hay amenaza, aunque la vulnerabilidad de la población sea alta; las amenaza son un factor externo que por lo general no se puede eliminar totalmente, por el contrario, la vulnerabilidad es un factor endógeno propio de las poblaciones expuestas que si se toman acciones se los puede mitigar o eliminar (Escuder *et. al.*, 2010).

Para el caso de la presente investigación se asume por riesgo de inundación a la probabilidad que un evento crecidas del río provoque efectos sobre la población; consiste en determinar el riesgo mediante el análisis de las amenazas potenciales y determinar las condiciones de vulnerabilidad en las que vive la población. Las inundaciones se convierten en un riesgo cuando se produce la interacción entre un el elemento natural y las actividades humanas, en tanto el riesgo dependerá de los cambios que se produzcan dentro del sistema natural y humano.

2.1.2.1. Amenaza: fenómeno natural o inducido por el ser humano.

Para Díaz *et al.* (2005) la amenaza es la posibilidad de que ocurra un fenómeno natural o inducido por el ser humano que pueden originar daños a una localidad o territorio. Según SNGR (2014) las amenazas siconaturales a las que está expuesto el país son los terremotos, sequias, inundaciones, deslizamientos, heladas y erupciones volcánicas, entre otros. Históricamente las inundaciones son una de las amenazas más recurrentes y con más pérdidas

para el ser humano y en la actualidad los gobiernos realizan grandes esfuerzos para contrarrestar sus efectos.

Lavell, (2006) define a la amenaza como el peligro latente de un fenómeno de origen natural, socio-natural o antropogénico, que representa las probabilidades de ocurrencia de eventos físicos dañinos en el futuro y en un territorio particular que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios y el ambiente.

Las inundaciones son amenazas de naturaleza socio-natural, producidas como resultado de la interacción de las prácticas sociales con el ambiente natural, la transformación de la naturaleza en amenaza sucede por la inadecuada ubicación de asentamientos, producción e infraestructura en condiciones de baja 'resiliencia' o elasticidad y altos grados de inseguridad estructural y material frente a eventos físicos determinados. Según el GADPE (2015) las llanuras de los valles del río Esmeraldas esta frecuentemente amenazada por inundaciones y menciona las cifras de perdidas por el invierno del 2012 que afectaron más de 10000 Ha del territorio y perdidas de cultivos superiores a 1800 Ha de cacao, plátano, banano, pastizales, entre otros cultivos de ciclo corto.

2.1.2.2. Vulnerabilidad: condiciones ambientales, sociales, económicas, políticas y educativas que exponen a grupos humanos a un desastre.

Diaz *et al.* (2005) definen la vulnerabilidad como:

El conjunto de condiciones ambientales, sociales, económicas, políticas y educativas que hacen que una comunidad esté más o menos expuesta a un desastre, sea por las condiciones inseguras existentes o por su capacidad para responder o recuperarse ante tales desastres. Pero la vulnerabilidad puede ser minimizada o eliminada mediante políticas y estrategias de desarrollo local.

Rupak y Haripriya (2019) definen vulnerabilidad como: “el grado en que un sistema es susceptible o es incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático”. Incluyen la variabilidad y los extremos climáticos, la función del carácter, magnitud y tasa de variación climática al que está expuesto, su sensibilidad y su capacidad de adaptación. Para evaluar adecuadamente la vulnerabilidad se deben integrar tanto los aspectos biofísicos

y geodinámicos del riesgo, como aquellos relacionados con lo social, lo cultural, lo económico, lo institucional y lo ecológico. También es necesario analizar la capacidad de anticipación, la estabilidad y la resiliencia ante las amenazas, ya que, si el conocimiento sobre los eventos de inundación es mínimo, provocará un aumento de la vulnerabilidad de la población (Wilches-Chaux, 1993).

Son más vulnerables a los desastres las personas que se encuentran en el primer y segundo quintil de pobreza porque ven limitado su acceso a terrenos y viviendas seguras, a la información y educación (Diaz *et al.*, 2005). En Esmeraldas los niveles de vulnerabilidad aumentan debido a la mala calidad y el uso de materiales deficientes en la construcción de las viviendas sin la adecuada regulación y dirección técnica, asentamientos inseguros, debilidad de las instituciones del estado, escasas medidas de protección social, acceso inadecuado a servicios de educación y salud, todo esto asociado a condiciones de pobreza e inequidad (Cruz, 2017).

2.1.3. Análisis de riesgo: reducción del impacto de las amenazas y las condiciones de vulnerabilidad

Las amenazas son eventos naturales o socioambientales. Frente a ellos, la gestión del riesgo y la adaptación pretenden reducir el impacto de las amenazas y las condiciones de vulnerabilidad originales para que, en el mejor caso, las consecuencias de ese riesgo desaparezcan o que, por lo menos, sean menos graves y perdurables. (UNISDR, 2009)

Para hacer un análisis del riesgo, hay que responder cuánto influyen los daños que se producen por un desastre en el desarrollo local y nacional. El análisis generalmente queda focalizado en el hecho del evento y no alrededor de las causas que contribuyeron a que los daños producidos sean de una magnitud determinada y que resultan en un retroceso o estancamiento para el desarrollo. (Yamín, Guesquiere, Cardona, y Ordaz, 2013).

2.1.4. Los desastres y su relación con el desarrollo

Según la CEPAL (2014) existe una conexión muy próxima entre los desastres y el desarrollo. El impacto de los desastres puede retrasar el potencial a largo plazo de un país para mantener su desarrollo, obligándolo a modificar sus prioridades económicas y programas previstos

para éste, pero al mismo tiempo, los desastres a menudo proporcionan oportunidades para el desarrollo ya que pueden mejorar sus condiciones. Una obra para el control de inundaciones puede generar empleos, incluso ser de tipo multipropósito en donde esta misma obra resulte en solucionar otros factores de vulnerabilidad de la población.

El no contemplar la gestión del riesgo podría acarrear grandes y graves implicaciones para el desarrollo en un futuro e incluso puede aumentar la vulnerabilidad de amenazas futuras. (Yamín, Guesquiere, Cardona y Ordaz, 2013). Un análisis sencillo de cómo los desastres pueden destruir las iniciativas de desarrollo o crear oportunidades para éste se ilustran con la esfera del desarrollo de la figura 1.



Figura 1. Relación entre desastre y desarrollo.

De acuerdo con Cruz (2017) el crecimiento de Esmeraldas ha ocurrido de manera desordenada y sin planificación, lo que ha originado que estos ciudadanos sufran las consecuencias principalmente en su seguridad. El escaso conocimiento acerca de riesgos naturales y las consecuencias que éstos acarrear: pérdidas de vidas humanas, bienes, cultivos inundados sin posibilidades de rápido drenaje, vías interrumpidas, puentes en riesgo de caerse o caídos, sistemas sanitarios colapsados, escasez de agua potable, posibilidades de epidemias, entre otros, limita o detiene el desarrollo. Finalmente, la escasez de planes de mitigación de riesgos y contingencias, la carencia de un adecuado ordenamiento territorial y el desinterés de algunas autoridades provocan condiciones inseguras frente a riesgos de inundación.

2.1.5. Inundaciones: amenaza para los más pobres.

Las inundaciones a consecuencia de crecidas de los afluentes son provocadas por eventos de fuertes o continuas precipitaciones, que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los afluentes; esto provoca que un determinado curso de aguas rebase su cauce e inunde zonas adyacentes (Escuder, Matheu y Castillo, 2010). Es necesario mencionar que estos fenómenos son parte de las dinámicas de la naturaleza y afectan a las poblaciones especialmente a las más pobres, por falta de ordenamiento al realizar las actividades antrópicas. Según Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED, 2016), en base a las predicciones climáticas futuras y la deficiencia en el ordenamiento territorial la incidencia de las inundaciones aumentará.

Para Diaz *et al.* (2005) las inundaciones constituyen las amenazas más frecuentes de la naturaleza, principalmente se encuentran asociadas a la temporada de lluvias; la abundancia de descargas pluviales aumenta los caudales de los ríos y provocan desbordes que afectan a las poblaciones adyacentes. El mapa de riesgo de inundación es una herramienta esencial para evaluar la susceptibilidad del área propensa a inundaciones y en ese sentido tomar decisiones acertadas para la población en peligro. (Quirós y Gagnon, 2020)

Para el CRED (2016) las inundaciones constituyen el desastre más destructor en el mundo, que ocasionan la mayor cantidad de pérdidas humanas y estructurales frente a otros desastres. Las llanuras de inundación son las zonas adyacentes a los cursos de agua y están sujetos a inundaciones recurrentes con mayor frecuencia. Por consiguiente, la Organización de Estados Americanos (OEA, 1993) señala que son propensas a inundación y un peligro para las actividades de desarrollo si la vulnerabilidad de éstas excede un nivel aceptable. El informe de Pérdidas económicas, pobreza y desastres 1998-2017 de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR, 2019), declara que “La gestión del riesgo de inundación es un desafío global, siendo esta el mayor riesgo de pérdidas de vidas y recursos”.

Según SENAGUA (2016) “Las inundaciones en la Demarcación Hidrográfica del Esmeraldas son causadas, en parte, por las fuertes lluvias y tormentas que ocurren anualmente, y dan lugar a grandes pérdidas”. En los países más pobres y específicamente los

segmentos ubicados en el primer quintil de pobreza son los que sufren los impactos más severos, claramente la marginación en la que viven las poblaciones asentadas de manera irregular sin duda provocará en algún momento pérdidas económicas y humanas (CEPAL, 2014). Para este estudio se asume que las inundaciones son eventos naturales de alta frecuencia y que estadísticamente son reconocidas como la amenaza socio-natural que ha generado gran afectación en el país y para su análisis hay que tener presente su alta frecuencia, su distribución geográfica y las condiciones de la población que resulta afectada.

Brivio *et al.* (2002) señalan que los métodos tradicionales para el mapeo de inundaciones se basan en recorridos terrestres y observaciones aéreas, pero cuando el desastre es extendido estos resultan ser lentos y costosos. Existen otras metodologías que involucran modelos hidrológicos y SIG, para ello es necesario una gran data que permitan seguir el monitoreo de inundaciones históricas y puedan ser proyectadas y plasmadas en un mapa. Sin embargo, en la cuenca baja del río Esmeraldas no existen estaciones Hidrológicas que puedan proporcionar información histórica, por lo tanto, queda descartada esta metodología.

En las últimas décadas, se ha mejorado ampliamente el uso de la teledetección para el análisis multitemporal de los que ocurre en la superficie terrestre y con ello el estudio de los desastres naturales. Los satélites que están equipados con sensores ópticos que tienen gran utilidad para el mapeo de desastres naturales, sin embargo, están limitados por la nubosidad, por lo cual se dificulta la observación de la superficie terrestre, por otra parte, los satélites que están equipados con sensores radar emiten su propia señal, que permiten receptor información de lo que existe en la superficie a pesar de la nubosidad (Chuvienco, 2000). Esta característica permite realizar un análisis más preciso de los eventos de inundación en zonas tropicales como la cuenca del río Esmeraldas donde la nubosidad limita el uso de imágenes ópticas.

2.1.6. Teledetección: técnica de procesamiento de datos de la superficie terrestre a partir de sensores

La teledetección se define como la técnica de adquisición de imágenes para el procesamiento y análisis de información de la superficie terrestre mediante la fotointerpretación de las imágenes obtenidas por sensores instalados en plataformas espaciales, en virtud de la interacción electromagnética existente entre la tierra y el sensor, (Chuvienco, 2000). Para

Cabello y Paruelo (2008), la teledetección como herramienta de análisis del paisaje dio un paso crucial en la elaboración de hipótesis acerca de los procesos ecológicos, y en el seguimiento de los cambios y usos de cobertura del suelo. Sin embargo, la teledetección brinda la posibilidad de ir más allá de lo estructural de los ecosistemas y con ello avanzar en la investigación desde el análisis de la naturaleza y los riesgos hacia los seres humanos.

Los sensores RADAR (Radio Detection and Ranging) emiten su propio haz de microondas para recoger posteriormente su reflexión sobre la superficie terrestre, por tratarse de un haz emitido artificialmente, pueden controlarse las condiciones de adquisición de imágenes: ángulo, distancia, orientación y polarización, entre otros. La cobertura del terreno provoca una reflexión distinta e influyen en la señal finalmente detectada por el sensor. Los más importantes son: la rugosidad, el ángulo de incidencia del flujo y su polarización. La teledetección es una técnica muy atractiva y relevante para las geociencias debido particularmente a la facilidad de obtener información de las propiedades físicas-estructurales de la superficie sin necesidad de estar en el sitio de estudio. (Cabello y Paruelo, 2008)

Chuvieco (2000) afirma que la rugosidad o cobertura de la superficie y el ángulo de incidencia influyen directamente en la intensidad de la señal del retorno, cuando la rugosidad es mayor asimismo el sensor recibirá mayor señal. Por otro lado, la polarización se refiere a la orientación en la que la señal es emitida y recibida, en ese sentido el sensor radar puede transmitir sus microondas horizontal o verticalmente, asimismo, la antena puede recibir la señal de retorno horizontal o verticalmente polarizada, y algunos radares pueden recibir y emitir en ambas direcciones. Por ello puede haber cuatro combinaciones de transmitir y recibir polarizaciones:

- HH - para transmisión y recepción horizontal.
- VV - para transmisión y recepción vertical.
- HV - para transmisión horizontal y recepción vertical.
- VH - para transmisión vertical y recepción horizontal.

2.1.7. Radar de Apertura Sintética - SAR

El radar de apertura sintética (SAR - Synthetic Aperture Radar) es un sistema de radar capaz de emitir su propio haz de energía, recibe el rebote de la superficie terrestre y produce una imagen de fina resolución de la superficie bajo observación. (Chuvienco, 2000). Los satélites radar son un sistema activo debido a que poseen su propia fuente de energía permitiéndoles emitir esta energía sobre la superficie terrestre y capturar la señal que se refleja (Imhoff *et al.*, 1987).

Los sensores están equipados con sistemas de transmisión y recepción, que captan la señal reflejada sobre la superficie iluminada, por tal motivo, es posible adquirir imágenes independientemente de las horas del día o las condiciones meteorológicas, el satélite mediante los sensores emite microondas, a determinadas longitudes de ondas y estas proporcionan la información de la superficie terrestre. Generalmente en los trópicos el cielo tiene mucha nubosidad por lo que las imágenes radar son las únicas que ofrecen información total de la superficie terrestre independientemente de los factores meteorológicos (Chuvienco, 2000).

Según estudios realizados por DeVries *et al.* (2020) los sensores de radar de apertura sintética (SAR) tienen gran cantidad de información para la fotointerpretación. Por su capacidad para obtener imágenes independientemente de las condiciones climáticas y la hora del día, lo que las convierte en poderosos insumos para investigaciones en zonas de alta nubosidad, Ecuador al estar ubicado en la zona tropical, generalmente tiene condiciones atmosféricas con gran cantidad de nubes, por ello las imágenes radar son la alternativa para estudiar las condiciones superficiales.

El concepto de los sensores radar viene desde la década de los 50s seguido de una serie de avances en los productos obtenidos y en aplicaciones para el procesamiento y análisis. En la actualidad existen varios satélites con sensores ópticos radar (Tabla 1). Para esta investigación se toma el beneficio de gratuidad de las imágenes radar Sentinel, que pertenecen a la Agencia Espacial Europea (ESA) y que a través de su programa Copérnico envía las misiones con los satélites Sentinel 1A y 1B a partir del 2014 y 2016, respectivamente y proporciona imágenes cada 6 días de la superficie de la Tierra.

Tabla 1.

Principales misiones satelitales con sensores radar.

Satélite	Lanzamiento	Procedencia
TanDEM-X	2007	Alemania
Radarsat-2	2007	Canadá
COSMO-SkyMed	2007	Italia
ALOS-2	2014	Japón
Sentinel-1	2014	UE
PAZ SAR	2018	España
SAOCOM	2018	Argentina
RMC	2018	Canadá

Fuente: Franz Meyer *et al.*, Universidad de Alaska Fairbanks (2006).

Finalmente, las ventajas del sistema de radar frente a los demás sistemas de obtención de información a partir de imágenes satelitales son la posibilidad de operar en el día o la noche, minimizar las condiciones atmosféricas (nubosidad), detectar la rugosidad de la superficie y el contenido de humedad del suelo. Por tanto, es un insumo necesario para desarrollar esta investigación de acuerdo con las condiciones naturales, técnicas y tecnológicas del área de estudio.

2.1.8. Imágenes satelitales radar – Sentinel-1

Las imágenes satelitales radar son un mosaico de píxeles con información de la superficie terrestre. El sistema Sentinel 1, lleva a bordo un radar de apertura sintética SAR, que toma datos en banda C. La virtud fundamental de las imágenes radar Sentinel-1 es ser prácticamente transparente a la influencia atmosférica, esta propiedad las hace óptimas para el trabajo de investigación en Ecuador, ya que permite obtener datos aun con presencia de nubes, otra ventaja de las imágenes radar Sentinel es que son gratuitas y se pueden obtener con una periodicidad de 6 días, con ello se pueden realizar estudios en cualquier momento y conseguir identificar zonas de inundación a pesar de las condiciones climáticas y el tiempo.

Según Donezar *et al.* (2017) las imágenes Sentinel-1 tienen múltiples aplicaciones en el ámbito de las geociencias como: el monitoreo agrícola, del uso del suelo, incendios forestales, cambios de cobertura forestal, mapeo de deformación urbana, análisis de desastres, entre otras. Quirós y Gagnon (2020), afirman que las imágenes Sentinel-1 son

precisas para el mapeo del riesgo de inundación, asimismo, ponderan las características de ser de libre acceso. De esta manera se facilita la realización de estudios a partir de imágenes satelitales Sentinel vinculadas a aplicaciones de código abierto y que esta información pueda ser distribuida libremente para el desarrollo nuevos conocimientos y estrategias de desarrollo.

En una imagen radar la información será reflejada como pixeles blancos, negros y grises, por ello cada cubierta de la superficie ofrece distintos comportamientos. Al comparar imágenes multitemporales del mismo lugar que mantienen constantes otras condiciones, a excepción de los contenidos de humedad en el suelo, se observará que suelos secos aparecerán con tonos claros y se oscurecen con mayor contenido de humedad, asimismo el agua en la imagen se observa en tonos oscuros, las áreas urbanas aparecen en la imagen en tonos muy claros (Chuvienco, 2000).

2.1.9. Google Earth Engine

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma basada en la nube (Figura 2) que sirve para el análisis geoespacial a escala planetaria que evita el uso de grandes y sofisticadas computadoras y permite prescindir de barreras asociadas con la gestión de datos. Fue creada inicialmente para el monitoreo y cuidado de los ecosistemas y en la actualidad sirve para investigar la problemática socioambiental y su ubicación geográfica (Gorelick *et al.*, 2017).

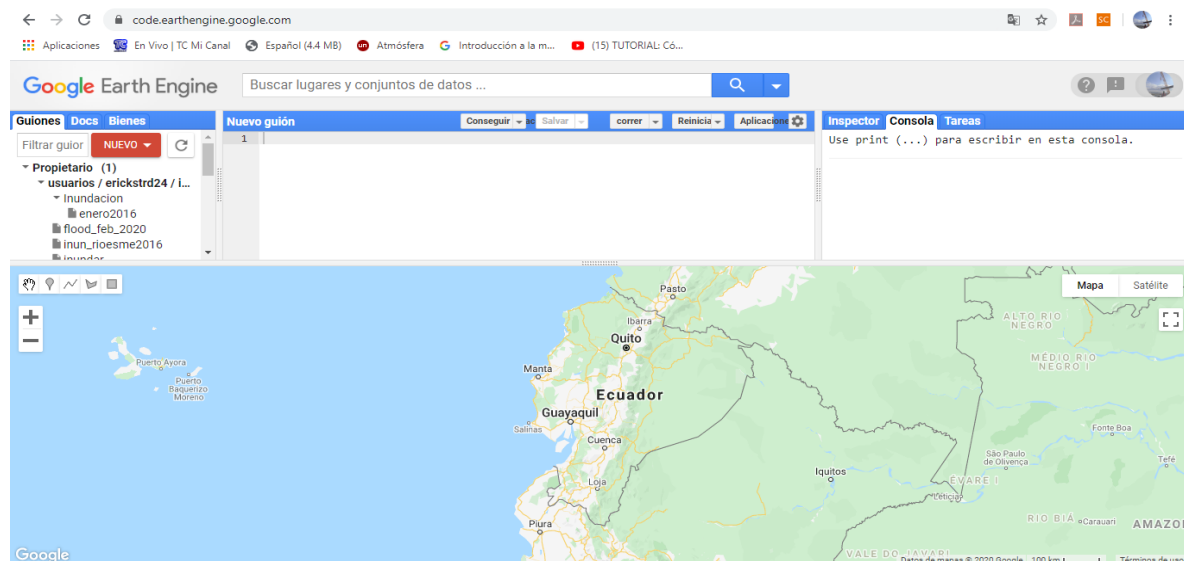


Figura 2. Interfaz de la plataforma en la nube Google Earth Engine.

Fuente: Google, 2020.

La plataforma Google Earth Engine (GEE) se utiliza en gran variedad de disciplinas e investigaciones entre ellas el estudio del riesgo de desastres que tiene como pionero a Coltin *et al.* en el 2016 que utilizó los primeros algoritmos para el mapeo de inundaciones, con los que demostró su efectividad para el análisis. GEE se presenta como una herramienta valiosa para responder preguntas relacionadas con la ubicación de eventos, la identificación de patrones, tendencias, condiciones e implicaciones de las inundaciones. Esta plataforma en conjunto con los sensores remotos son la tendencia para la investigación y gestión de los desastres naturales, así pues, al no existir información de estaciones hidrológicas GEE sirvió para la determinación de la amenaza de inundación en esta investigación.

2.1.10. Enfoque Presión-Estado-Respuesta

El enfoque Presión-Estado-Respuesta (PER) fue adoptado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) a inicios de la década de los 90's, principalmente para integrar al ambiente en la toma de decisiones económicas (OCDE, 1993). El concepto de esta metodología se basa en los efectos que tienen las actividades antrópicas (presión) y su impacto en la calidad y cantidad del ambiente (estado), con ello se produce las estrategias para atender la problemática en estudio (respuesta) (Figura 3).

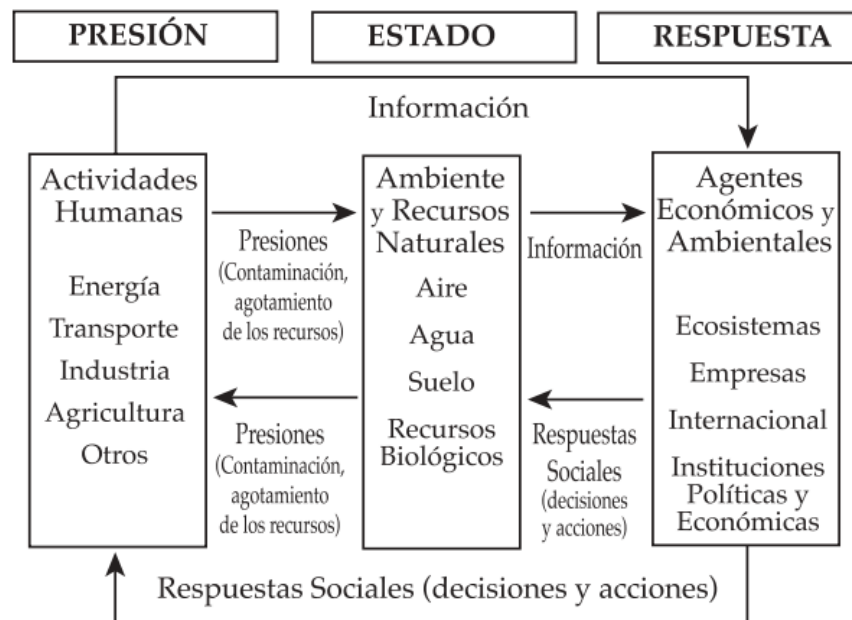


Figura 3. Esquema del modelo Presión-Estado-Respuesta.

Fuente: OCDE, 2003

Pandia (2016) y Garcia *et al.* (2005) consideran que este modelo se origina de plantear tres preguntas: ¿Qué está afectando el ambiente?, ¿Cuál es el estado actual del medio ambiente? y ¿Qué estamos haciendo para mitigar o resolver los problemas ambientales?. Estas preguntas suponen los lineamientos para seguir el modelo PER en esta investigación.

La OCDE (1993) señala que los indicadores de presión describen las presiones que ejercen las actividades humanas sobre el ambiente, principalmente los que influyen en la calidad y cantidad de los recursos naturales. Los indicadores de estado refieren a la calidad y cantidad de los recursos ambientales condicionados por los indicadores de presión y el deterioro que generan las diferentes actividades antrópicas. Los indicadores de respuesta están relacionados con las acciones que toma la sociedad para responder a los cambios ambientales. Están diseñadas para mitigar, adaptarse o prevenir los efectos de la acción humana con el fin de detener o revertir el daño ambiental existente.

2.2. Marco legal

El Estado ecuatoriano cuenta con una estructura jurídica para la gestión respecto a la prevención y mitigación del riesgo de desastres naturales. La Constitución de la República del Ecuador (2008) otorga garantías estatales para que la población se desarrolle en un ambiente sano y especifica entre estas la prevención de daños naturales (Art. 14), asimismo la población puede exigir al estado el cumplimiento de los derechos de la naturaleza (Art. 71), entre los cuales está la gestión del riesgo de desastres siconaturales.

Para ello el Estado ecuatoriano debe garantizar condiciones de habitad y vivienda, con prioridad en los enfoques de la gestión del riesgo de desastre (Art. 375). Análogamente el gobierno avala una estructura técnico-científica-financiera para la gestión del riesgo, principalmente para proteger a los pobladores y sus entornos, garantizando, optimizando y perfeccionando las capacidades en todos los niveles del gobierno y define las responsabilidades de todas las instituciones, estableciendo al riesgo de desastres como un eje de gestión transversal a todo el nivel jerárquico e institucional del país (Art. 389 y 390).

El Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 (SEMPLADES, 2017) menciona los lineamientos con los que el gobierno central enmarca el desarrollo del país respecto a la acción de las

instituciones nacionales y territoriales. Para identificar las infraestructuras y equipamientos bajo amenazas de origen natural y con respecto al tema el Plan de Ordenamiento Territorial de la provincia el GADPE (2015) menciona en el “LINEAMIENTO 6”: “Promover la reubicación de los asentamientos humanos localizados en zonas de alto riesgo natural, asociados con fenómenos de movimientos en masa, inundaciones y crecidas torrenciales”.

El COOTAD (2010) indica los principios y funciones que rige las autoridades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados, señala su responsabilidad en la gestión del riesgo de desastres en los artículos 54 y 140. Permite a las autoridades locales ser los responsables de asumir y coordinar integralmente todos los procesos en sus territorios en la reducción del riesgo, articulando con los actores político-institucional a nivel nacional.

Finalmente, toda esta estructura legal demuestra la injerencia y sentido de pertenencia que tiene el estado ecuatoriano en beneficio de la reducción de los riesgos siconaturales.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

En el Capítulo III se detallan la metodología de investigación de tipo no experimental transversal, las técnicas e instrumentos de recolección de información que se detallan para el cumplimiento de los objetivos específicos. La aplicación de esta metodología tiene la finalidad de seguir un proceso técnico-científico para el análisis del riesgo de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas.

3.1. Descripción del área de estudio

Este estudio evaluó el riesgo de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas, se extiende por las provincias de Cotopaxi, Imbabura, Pichincha, Santo Domingo de los colorados y Esmeraldas, cubriendo una extensión de 21418 km². Está formada por 3 grandes afluentes: el río Blanco, Guayabamba y Quinindé, desde su nacimiento en la cordillera de los andes a 4600 m. s. n. m. recorre alrededor de 240 Km hacia su desembocadura en el océano Pacífico. La pendiente del terreno desciende gradualmente de manera vertical hasta llegar a grandes planicies en la parte baja de la cuenca, tiene precipitaciones promedio anuales entre 2000 y 3000 mm, la temperatura media anual oscila entre los 23 y 25,5 grados centígrado, el índice de compacidad (Kc) es 1.5, describiendo una forma oval-oblonga (SENAGUA, 2016). La zona de interés para el estudio va desde la intersección de los ríos Blanco y Guayabamba hasta la desembocadura en el océano pacifico como se observa en la figura 4.

Según las proyecciones del INEC (2010) para el 2020 viven alrededor de 200000 habitantes en la zona de estudio, está población se vincula íntimamente con el río Esmeraldas, principalmente como medio de transporte y parte del ciclo de producción y adquisición de alimentos, además de recolección de material pétreo. Por ello, muchos habitantes y en especial los de bajos recursos económicos, se encuentran ubicados en zonas de alto riesgo como por ejemplo las laderas, valles e islas del estuario del río, lo que exponen aún más sus viviendas e inversiones.

La cuenca del río Esmeraldas durante el periodo comprendido entre los años 1965 al año 2013 ha producido un caudal medio mensual de 904.44 m³/s, con un caudal medio máximo

aproximado de 1906.69 m³/s y caudal mínimo medio aproximado de 434.27 m³/s. Los meses que presentaron menor caudal son agosto y septiembre y el aumento de caudal comienza en los meses de noviembre a diciembre (GADPE, 2015).

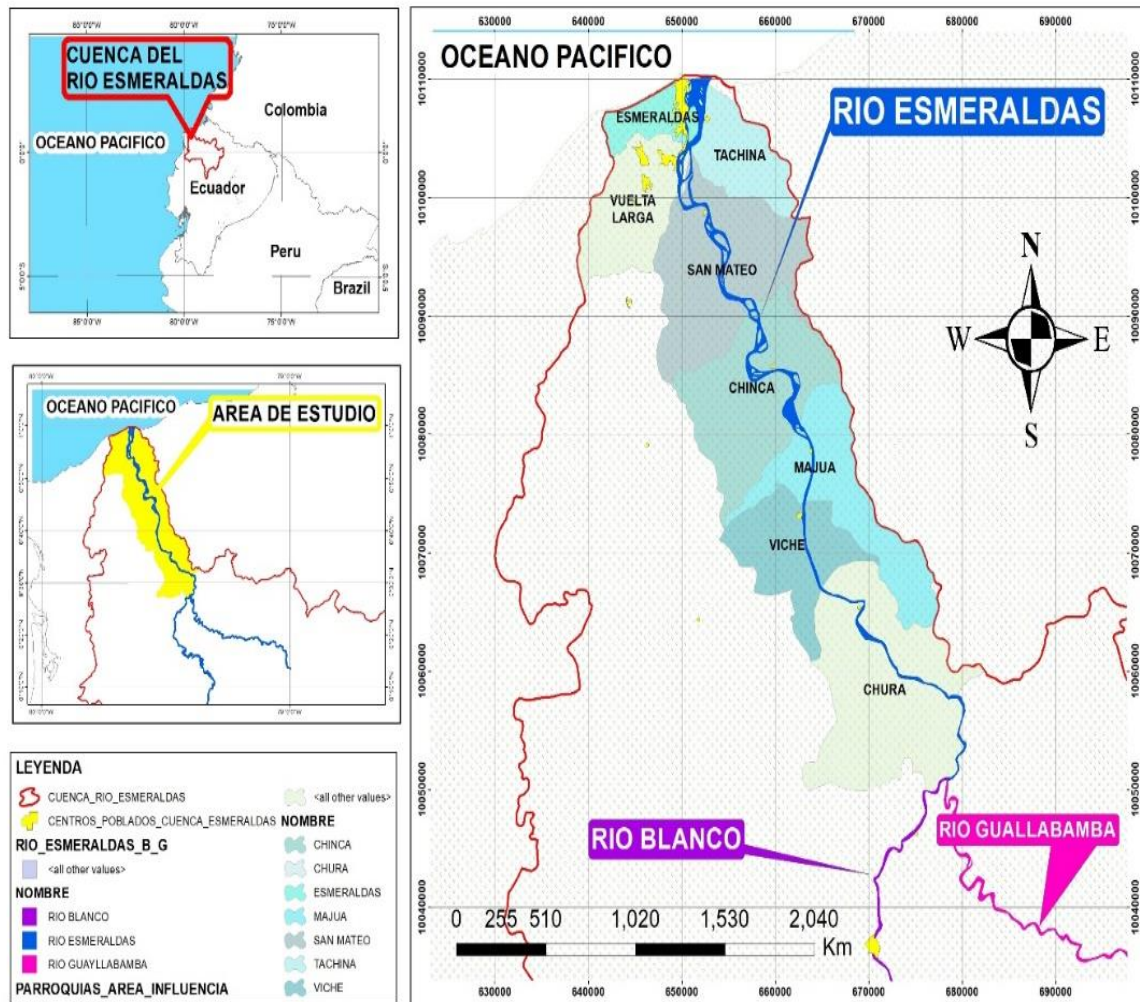


Figura 4. Cuenca baja del río Esmeraldas, Área de estudio.

3.2. Enfoque y tipo de investigación

De acuerdo con los objetivos propuestos y la metodología para dar cumplimiento a los mismos, la investigación del análisis del riesgo de inundación del río Esmeraldas, tiene enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo). Pertenece al diseño de investigación no experimental de tipo transversal, ya que no se manipulan las variables y se limita a la observación de un evento de inundación.

3.3. Procedimientos

En la investigación se desarrolló en 3 fases que se describen a continuación:

3.3.1. Fase 1. Mapeo de inundaciones del río Esmeraldas, cuenca baja del río Esmeraldas

Mapeo de inundación del río Esmeraldas

Se utilizó las capacidades de las imágenes satelitales Sentinel para realizar la teledetección de las áreas inundadas y no inundadas, estas imágenes satelitales son parte del repositorio de Google Earth Engine (GEE), de esta manera se eliminan muchas barreras asociadas con la gestión de datos. Mediante un script se realizó la fotointerpretación del área que se inunda a partir de un evento de precipitación de gran intensidad.

Procesamiento de imágenes con la aplicación Google Earth Engine (GEE)

El procesamiento de las imágenes se efectuó mediante el editor de código (Figura 5) que es una interfaz de programación de la plataforma GEE, en este proceso se desarrolló una serie de algoritmos mediante un SCRIPTs, como resultado se obtiene una serie de mosaicos para realizar la comparación y fotointerpretación de la inundación en el área de estudio. Este algoritmo fue tomado del Programa de Entrenamiento de Teledetección Aplicada (ARSET) que ayuda con información actualizada y generada en la NASA para el desarrollo de investigaciones, liberado por la NASA el 6 de diciembre del 2019.

Li *et al.* (2018) mencionan que, una vez ocurrido el evento de inundación, se escoge la imagen de referencia, antes y después del evento para comparar la inundación, por medio de la fotointerpretación. La finalidad es descartar que otros eventos como deforestaciones, movimientos de masa, siembra de cultivos u otras actividades antrópicas puedan afectar el análisis. En la investigación se utilizó imágenes del satélite radar Sentinel que permite obtener información de la superficie terrestre a pesar de las condiciones de nubosidad del área de estudio.

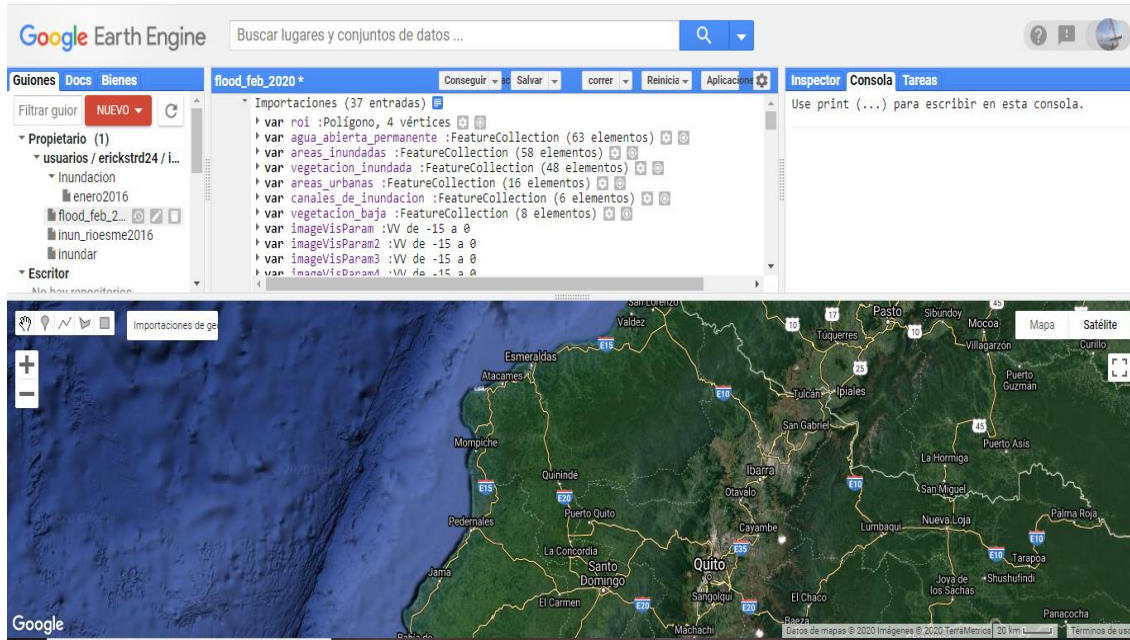


Figura 5. Code editor de Google Earth Engine.

Fuente: (Google, 2020).

Se obtuvo las colecciones de imágenes Sentinel-1 del área de estudio y luego fueron filtradas para las fechas antes y después del evento del 22 de febrero del 2020, en donde ocurrieron fuertes precipitaciones que provocaron la crecida del río Esmeraldas e inundaciones en el área de estudio. A estas imágenes filtradas se les realizó el procesamiento para disminuir el efecto de visualización de sal y pimienta que tienen las imágenes radar (speckle) y con ello mejorar las imágenes para su posterior fofointerpretación. (Paso 1 - 3). A continuación, se detalla el algoritmo utilizado (Tabla 2).

Tabla 2.

Algoritmo para cargar y procesamiento de la imagen radar Sentinel.

Paso	Scripts
1. Cargar la Imagen Sentinel-1	<pre> var collection = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD') .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW')) .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING')) .filterMetadata('resolution_meters', 'equals', 10) .filterBounds(roi) .select('VV', 'VH'); </pre>

2. Filtrar por Fecha y

Visualizar

```
var before = collection.filterDate ('2020-01-01', '2020-01-11').
mosaic ();
var after = collection.filterDate ('2020-02-23', '2020-02-29').
mosaic ();
Map.centerObject (roi , 7 );
Map.addLayer (before, {min:-15,max:0}, ' Before flood ', 0 );
Map.addLayer (after, {min:-15,max:0}, ' After flood ', 0);
```

3. Aplicar un Filtro de

Speckle y Visualizar

```
var SMOOTHING_RADIUS = 50;
var before_filtered = before.focal_mean
(SMOOTHING_RADIUS, 'circle', 'meters' );
var after_filtered = after.focal_mean
(SMOOTHING_RADIUS, 'circle', 'meters' );
Map.addLayer (before_filtered , {min:-15,max:0}, 'Before
Flood Filtered',0);
Map.addLayer (after_filtered , {min:-15,max:0}, 'After Flood
Filtered',0);
```

Fuente: Erika Podest, Ph.D. Scientist. Carbon Cycle and Ecosystems Group. Jet Propulsion Laboratory – NASA. Pasadena, California, U.S.A. (2019)

La búsqueda de las imágenes Sentinel-1 que corresponden a la misión espacial “COPERNICUS”, se la realizó a partir de un evento de precipitación de gran intensidad entre el 22 y 25 de febrero del 2020, el cual provocó que varias zonas del área de estudio se inunden. Las imágenes del 2 – 29 de febrero que en el script se denominan “After flood” representan lo que ocurre en la superficie terrestre después del evento de inundación, por otra parte las imágenes antes del evento se obtuvieron entre el 1 – 11 de enero, para este fin se revisó los boletines meteorológicos del INAMHI que permitió verificar que en esas fechas no existió eventos de precipitación y el script se denominaron “Before flood”, como se pueden observar en la figura 6.

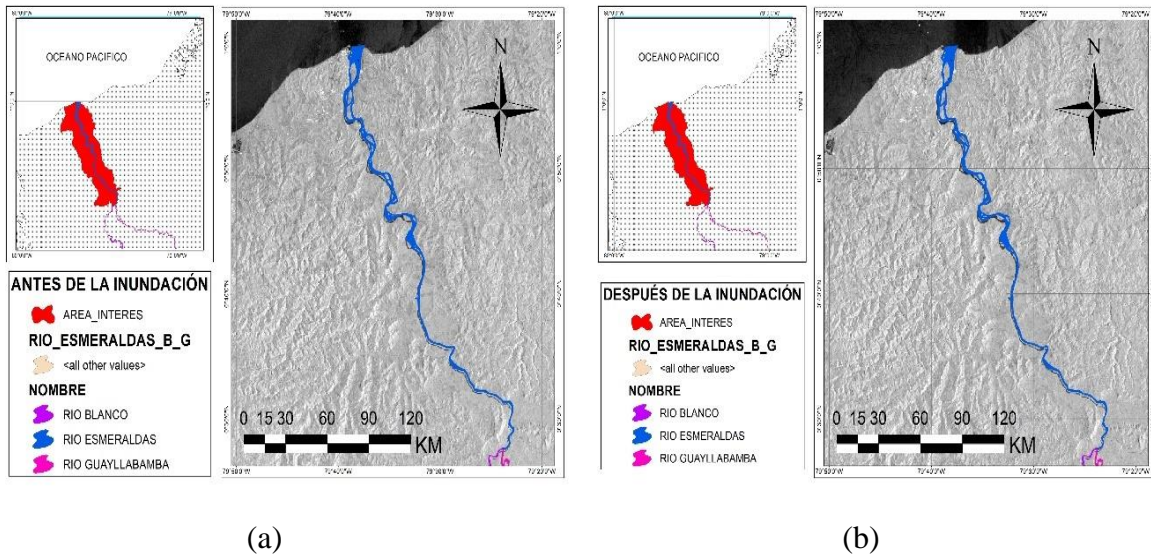


Figura 6. Imágenes Sentinel-1 antes y después del evento de inundación del 22 de febrero del 2020 en la cuenca baja del río Esmeraldas.

Para realizar la fotointerpretación de las imágenes Sentinel-1 filtradas se realizó el análisis de imágenes basado en píxeles, cada píxel es una unidad de suelo y se comparan las imágenes de antes y después del evento. A este proceso se denomina clasificación supervisada, las aguas abiertas en una imagen radar tiene menor retrodispersión (Imhoff *et al.* 1987, Martínez y Letoan 2007, Chuvieco 2000 y Coltin *et al.* 2016), de manera que se reflejan como zonas más oscuras. GEE utiliza los algoritmos para crear grupos de píxeles con las mismas características espectrales basadas en el entrenamiento supervisado, es decir el algoritmo busca valores espectrales similares a los de las muestras y clasifica los píxeles de la imagen en las diferentes clases definidas. Para finalmente diferenciar las áreas inundadas y las que se mantuvieron sin inundarse en el evento. A continuación, se detalla el algoritmo utilizado (Tabla 3).

Tabla 3.

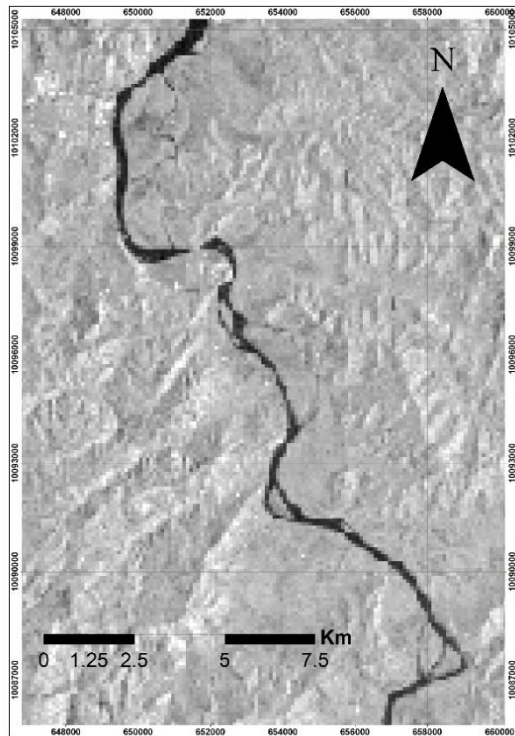
Algoritmo para clasificación de píxeles y clasificación de la imagen.

Paso	Scripts
4. Realizar la clasificación supervisada de las imágenes mejoradas	Se realiza la clasificación supervisada, se referencia polígonos con muestras representativas de retrodispersión para cada clase de cobertura terrestre, a partir de la fotointerpretación de las imágenes de antes y después del evento de inundación.

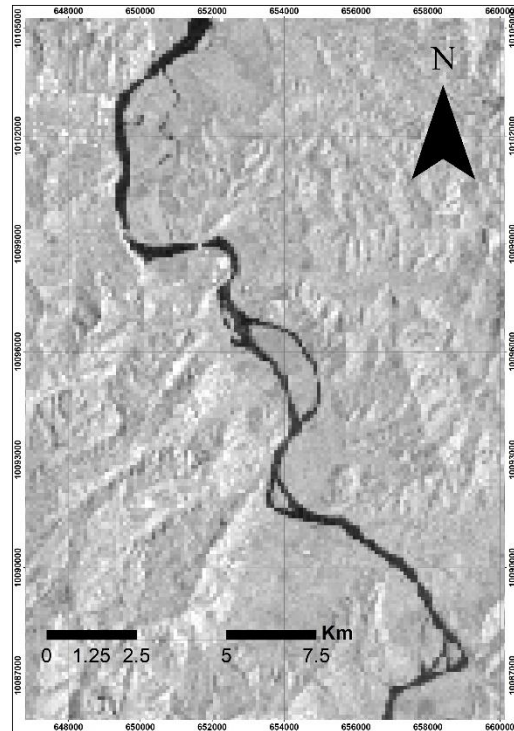
5. Combine las Clases Definidas	<pre> Var newfc = agua_abierta_permanente.merge(areas_inundadas).merge(vegetacion_inundada).merge(areas_urbanas).merge(canales_de_inundacion.merge(vegetación_baja) </pre>
6. Crear Datos de Entrenamiento	<pre> var final = ee.Image.cat (before_filtered,after_filtered) var bands = ['VV'] var training = final.select (bands).sampleRegions ({ collection: newfc, properties: ['landcover'], scale: 30}) </pre>
7. Entrenar el Clasificador	<pre> var classifier = ee.Classifier.cart ().train ({ features: training, classProperty: 'landcover', inputProperties: bands }); </pre>
8. Realizar la Clasificación y visualizar	<pre> var classified = final.select (bands). classify (classifier); Map.addLayer (classified, {min: 1, max: 6, palette: ['0848ff', '00ffff', 'bf04c2', 'ff0000', '00ff00', '0f874a']}, 'classification'); </pre>

Fuente: Erika Podest, Ph.D. Scientist. Carbon Cycle and Ecosystems Group. Jet Propulsion Laboratory – NASA. Pasadena, California, U.S.A. (2019)

Al comparar las imágenes de antes y después del evento del 22 de febrero del 2015 aparecen más áreas con agua abierta después del evento. La dinámica de detección de cambios destaca los cambios temporales en la superficie terrestre al comparar la escena de la inundación con una imagen seca anterior. El mismo criterio se aplica para hacer la fotointerpretación de las zonas con vegetación, asimismo las áreas con vegetación inundadas son más oscuras después del evento, tal como se observa en la Figura 7.



(a)



(b)

Figura 7. Imágenes Sentinel-1 que representan la misma escena del río Esmeraldas. (a) Imagen satelital Sentinel-1 antes de la inundación y (b) Imagen satelital Sentinel-1 después de la inundación.

Una vez recopilado los datos de entrenamiento y por medio de un algoritmo de entrenamiento del clasificador, se visualiza la imagen con las áreas inundadas en la zona de estudio. Para evaluar y validar la precisión de la clasificación supervisada se ejecutó una matriz de confusión, la cual tuvo una precisión de 74% (Figura 8).

Las investigaciones realizadas por Martínez y Letoan (2007) y Töyrä *et al.* (2002) obtuvieron precisiones entre el 70 y 82 % al utilizar imágenes radar para el mapeo de inundación, cabe señalar que las imágenes utilizadas en estas investigaciones son de mejor resolución (RADARSAT, SPOT y J-ERS) lo cual facilita la fotointerpretación. En efecto el mapa de inundación tiene un 74% de precisión respecto a los polígonos de entrenamiento, en ese sentido se asume que la precisión en la fotointerpretación está dentro de los resultados obtenidos en otras investigaciones al mapear inundaciones a partir de la fotointerpretación de imágenes satelitales radar.


```

Inspector  Consola  Tareas
Use print (...) para escribir en esta consola.

Matriz de error de RF: JSON
▼ Lista (7 elementos) JSON
  ▶ 0 : [0,0,0,0,0,0,0]
  ▶ 1 : [0,1629,3,0,0,0,0]
  ▶ 2 : [0,0,245,2,3,0,1082]
  ▶ 3 : [0,0,6,1110,209,4,1671]
  ▶ 4 : [0,0,0,607,505,4,1499]
  ▶ 5 : [0,0,0,23,6,16,240]
  ▶ 6 : [0,0,95,285,99,0,6935]

Precisión de RF: JSON
0.7413564319941024

```

Figura 8. Matriz de confusión. Porcentaje de precisión del mapa resultante.

Finalmente se exporta el resultado del mapeo de la inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas. A continuación, se detalla el algoritmo utilizado (Tabla 4).

Tabla 4.

Algoritmo para de Matriz de confusión y exportar la imagen final.

Paso	Scripts
9. Validación de los Resultados	<pre> print ('RF error matrix: ', classifier.confusionMatrix ()); print ('RF accuracy: ', classifier.confusionMatrix (). accuracy ()); </pre>
10. Exportar la Imagen a Google Drive	<pre> Export.image.toDrive ({ image: classified, description: 'Flooding', scale: 100, region: roi, fileFormat: 'GeoTIFF' }); </pre>

Fuente: Erika Podest, Ph.D. Scientist. Carbon Cycle and Ecosystems Group. Jet Propulsion Laboratory – NASA. Pasadena, California, U.S.A. (2019).

3.3.2. Fase 2. Vulnerabilidad de los habitantes del río Esmeraldas frente a las amenazas de inundaciones.

Esta investigación utiliza la metodología diseñada por Wilches-Chaux en 1993 para medir la vulnerabilidad en cuencas hidrográficas: en donde plantea que la vulnerabilidad global se establece por la sumatoria de los diferentes tipos de vulnerabilidades. Para el caso exclusivo del presente estudio fue determinado por aquellas variables que involucran el incremento de la susceptibilidad de la población ante un episodio de inundación.

Los indicadores que inciden en la vulnerabilidad de la población se construyeron mediante el análisis multicriterio de las variables sociales, culturales y económicas. A partir de los estudios y referencias metodológicas de Wilches-Chaux (1993) y Lavell (2003), señalan que no hay una receta universal para la definición de indicadores, sin embargo, hay criterios generales que ayudan a seleccionarlos de acuerdo con la información existente. Para el análisis de la vulnerabilidad se utilizó una serie de indicadores que evalúan la vulnerabilidad a nivel de parroquias y zonas censales, los indicadores a que se utilizaron se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5.
Descripción de los indicadores de vulnerabilidad.

Indicador	Descripción
Hacinamiento	Este índice mide la densidad de personas que viven en una vivienda, según CEPAL con su programa REDATAM R+SP para desarrollar métricas socioeconómicas, señala las siguientes formulas y categorías (ver tabla 6), que describen cuando una persona vive en hacinamiento:

$$\text{Índice de Hacinamiento} = \frac{\text{Personas que habitan una vivienda}}{\text{Número de dormitorios en la vivienda}}$$

Tabla 6.
Categorías del índice de hacinamiento.

Personas por dormitorio en la vivienda	Tipo de hacinamiento
2,4 y menos	Sin hacinamiento
2,5 a 4,9	Hacinamiento medio
5 y más	Hacinamiento crítico

Autor: CEPAL (2017).

Acceso a agua potable	El acceso a agua potable la OMS (2015), la define por el porcentaje de la población que utiliza fuente de suministro de agua potable mejoradas, para la investigación se realizó la sumatoria todas las viviendas que el acceso al agua es por medio de pozo, río, de carro y otro, el resultado determina el porcentaje de viviendas que no tiene acceso a agua potable.
No disposición de alcantarillado	El acceso a servicios sanitarios involucra que la vivienda tenga conexión a la red pública de alcantarillado, para la investigación se realizó la sumatoria todas las viviendas que tienen conexión a pozo séptico, pozo ciego, directa al mar, letrina, no tiene, estas determinan el porcentaje de viviendas que no están conectadas a un sistema de alcantarillado.
Analfabetismo	Expresa la magnitud relativa de la población analfabeta, en la investigación se contabilizaron todas las personas que no saben leer.
Discapacidad	Esta variable mide el porcentaje de la población que tiene discapacidad.
Vías de acceso a la vivienda	Para este indicador se realizó la sumatoria vía lastrada, camino, sendero u otro, el resultado determina el porcentaje de domicilios que no poseen un acceso adecuado a la vivienda.
Empleo no adecuado	Con esta variable se mide el grado de participación de la población en el empleo formal, en esta variable se realizó la sumatoria de los que no aportan o se ignora si tiene aportes al IESS.

Eliminación de basura	Es un indicador de la falta de servicios de recolección básica de basura; mide la proporción de viviendas que la eliminación de basura no se produce por carro recolector, se realiza la sumatoria de viviendas que arrojan la basura a un terreno baldío o quebrada, la queman, la entierran, la arrojan al río, acequia o canal y otro sistema diferente.
------------------------------	---

Para el análisis de indicadores se tomó como insumo técnico la geodatabase del censo del INEC 2010, y se procesaron en la aplicación REDATAM R+SP. El área de estudio comprendió 7 parroquias y de estas se procesaron 49 zonas censales que son las más afectada por crecientes del río Esmeraldas según la información de la data DesInventar que recoge información de histórica de desastres a nivel mundial.

Debido a la diversidad de la información sobre las distintas escalas de las variables analizadas, fue necesario normalizar el material estadístico (Tabla 7) para alcanzar un mejor aprovechamiento e interpretación de cada valor. Este proceso tiene el objetivo de estandarizar los valores a efectos de hacerlos comparables, agruparlos y analizarlos como componentes de los indicadores de vulnerabilidad. Se realizó el método de normalización de Re-escalamiento basado en la unidad llevando los valores a rangos de 0-1 mediante la fórmula (1) CEPAL (2009).

$$\text{Indice}(X) = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

Donde:

X: es el valor original del indicador por persona/vivienda

Xmin: es el valor mínimo de cada indicador por persona/vivienda

Xmax: es el valor máximo del indicador por cada persona/vivienda.

Tabla 7.
Valores normalizados de variables de vulnerabilidad por parroquias.

PARROQU IAS	Hacinamiento	Agua Potable	Alcantarillado	Analfabetismo	Discapacidad	Acceso a vivienda	Empleo no adecuado	Eliminación de basura
Esmeraldas	0.347	0.051	0.256	0.060	0.065	0.267	0.811	0.034
Chinca	0.496	0.828	0.919	0.161	0.061	0.542	0.851	0.555
Majua	0.529	0.805	0.986	0.168	0.062	0.493	0.823	0.749
San Mateo	0.488	0.517	0.980	0.149	0.050	0.495	0.836	0.434
Tachina	0.429	0.178	0.552	0.109	0.061	0.163	0.798	0.261
Chura	0.524	0.998	0.995	0.166	0.062	0.768	0.852	0.997
Viche	0.485	0.564	0.830	0.117	0.062	0.285	0.911	0.333
AOI	0.378	0.194	0.398	0.081	0.063	0.335	0.816	0.165

Análisis de Componente Principales (ACP)

Para el análisis de relaciones entre variables se utilizó la metodología de Análisis de Componentes Principales (ACP). Es un método creado por Pearson en 1901 y mejorado por Hotelling en 1933 (CEPAL, 2009), se lo realizó mediante el programa estadístico SPSS Statistics, con la finalidad de agrupar las variables en indicadores que se puedan analizar de acuerdo con la similitud entre estas. Para los propósitos de este estudio la vulnerabilidad se clasificó en bajo, medio y alto como se representa en la Tabla 8, en donde 0 significa no afectación y 1 afectación total a la población.

Tabla 8.

Grado de vulnerabilidad.

Vulnerabilidad	Valor
Vulnerabilidad baja	0 – 0.33
Vulnerabilidad media	0.34 – 6.6
Vulnerabilidad alta	6.7 - 1

Incorporación del conocimiento de la población local en la evaluación del riesgo de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas

El proceso de evaluación del riesgo de inundación no solo involucra información ajustada a través de modelos hidrodinámicos computacionales. Por lo tanto, se consideró la experiencia y percepción de los actores locales frente a los eventos de inundación ocurridos en la zona de estudio, con la finalidad de que esta investigación sea lo más completa y cercana a la realidad. Esta información de campo proporcionó un recurso valioso a la investigación por ser estos conocimientos una fuente de validación de lo ocurrido respecto a las inundaciones directamente desde la percepción de la población local.

La metodología utilizada por Chingombe, Pedzisai, Manatsa, Mukwada y Taru (2014) señala que combinar metodologías participativas entre los SIGs y el conocimiento de la población, proporciona información clave para el análisis de las inundaciones en donde no existe información hidrometeorológica. En ese contexto las entrevistas a los actores locales permiten un mejor análisis de las inundaciones en el área de estudio.

Es evidente que existe una cantidad de información específica del sitio respecto a las inundaciones que se puede obtener de la población local. En ese sentido White, Kingston y Barker (2010) argumentan que la participación de la población local en los métodos de investigación es relevante para los procesos de gobernanza, dándole un enfoque pragmático y realista, y principalmente disminuye la incertidumbre de la realidad local en relación con las inundaciones.

La metodología se basó en entrevistas (Anexo 1) con 26 actores locales tomadores de decisión especialmente al presidente de la Junta Parroquial o representante de la comunidad, sector o barrio (Tabla 9.). A partir de este conversatorio aportaron todas sus percepciones respecto a las inundaciones en sus localidades. En cada entrevista se proporcionó 3 mapas con diferentes escalas que representaban la parroquia y sectores donde realizan sus actividades personales, con la finalidad que puedan identificar los lugares que fueron inundados en las crecidas del río Esmeraldas (Figura 9) y con esta información mejorar y validar el mapeo realizado en la plataforma GEE.

Tabla 9.

Actores locales entrevistados

Sujeto de estudio	Cantidad de entrevistados	Sector
E1	2	Parroquia Tachina
E2	3	Parroquia San Mateo
E3	2	Parroquia Chinca
E4	4	Parroquia Majua
E5	3	Parroquia Chura
E6	3	Parroquia Viche
E7	9	Urbano Esmeraldas

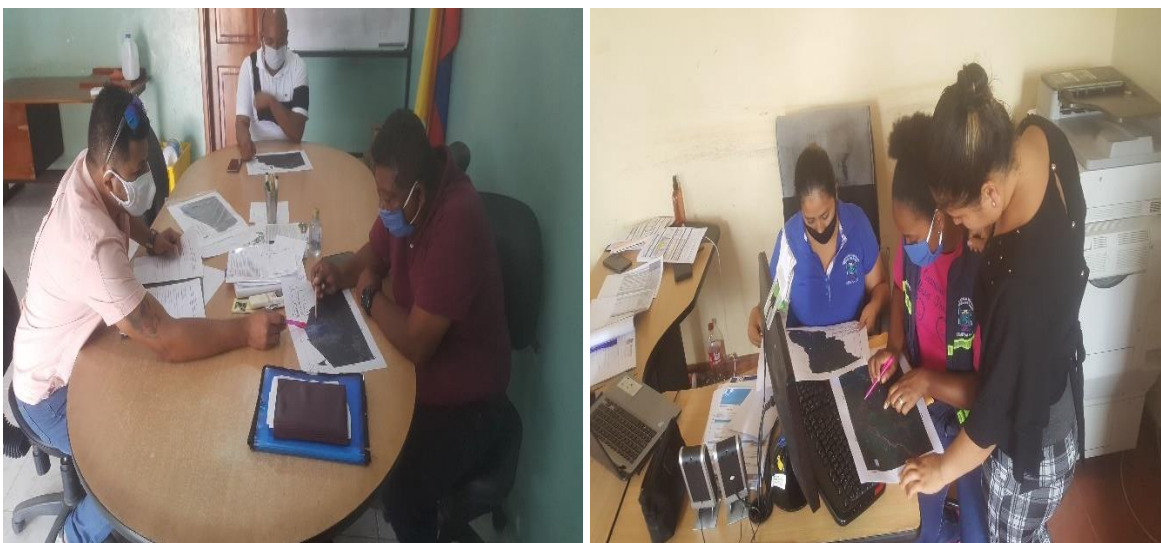


Figura 9. Identificación de los sitios de inundación por los actores locales.

En efecto varios de los actores destacaron la facilidad de la utilización de mapa para el desarrollo de la entrevista. Así E2 señaló *“La vivienda de la familia (X), estaba en esta parte del mapa, antes de la inundación y todo esto se lo llevo el río, hasta su vivienda”*.

La utilización de SIGs en el proceso de participación de la población local motiva a identificarse con los problemas más específicos en la zona de estudio, White, Kingston y Barker (2010) señalan que *“...el uso de SIG lleva a las personas a explorar más allá de su patio trasero para incluir los lugares donde trabajan, estudian, compran y pasan su tiempo*

libre”, consecuentemente los actores locales entrevistados identificaron fácilmente las zonas donde existió inundaciones en el pasado.

En cuanto a la percepción de la vulnerabilidad de la población frente a los eventos de inundación, el conversatorio llevo a tener una visión cercana de las condiciones en que viven la población, así los sujetos de estudio relataron que los GADs parroquiales no cuentan con recursos para intervenir con medidas de mitigación o eliminación del riesgo de inundación, asimismo los actores E5 mencionaron la falta de oportunidades de empleo estable y que *“viven del día a día, a duras penas las personas se preocupan por la comida y un techo para la lluvia, mas no por hacer una casa que resista todas las tempestades”*. Estos comentarios esclarecieron las cifras de la vulnerabilidad de la población obtenidas en el programa REDATAM y SPSS.

Al tocar el tema de las condiciones de las viviendas E6 dijo: *“Esperece le muestro los ocurrido en los inviernos, estas fotos son de la inundación de enero del 2016, fue una catástrofe nunca antes vista, las casas bajaban como canoa por el río, se perdió cultivos, casas, enceres de las casas, hasta vidas humanas”* (Figura 10).



Figura 10. Viviendas destruidas por la inundación de enero del 2016.
Fuente: GAD Parroquial de Viche.

El conocimiento de la población local del riesgo de inundaciones es un recurso valioso, especialmente en el caso en zonas donde los recursos técnicos, tecnológicos y data histórica

no están disponibles o actualizados (White, Kingston y Barker, 2010). Dada la complejidad que tiene la zona de estudio para obtener información verificada y actualizada respecto al riesgo de inundaciones, la participación local resulta una herramienta importante para validar de modelos computacionales de análisis del riesgo de inundación.

3.3.3. Fase 3. Estrategias de gestión de riesgos de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas.

Para realizar las estrategias de gestión del riesgo se utilizó el modelo Presión-Estado-Respuesta (PER), adoptado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Para medir las intervenciones humanas respecto a la cantidad y calidad de los recursos naturales (OCDE, 1993) y dar solución a los problemas existentes que influyen en el incremento del riesgo de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas.

La OCDE (2010) indica los criterios para la construcción de indicadores con la finalidad de realizar evaluaciones de calidad respecto al desarrollo poblacional. Para el contexto de esta investigación se describe que los indicadores deben asumir un enfoque de las condiciones ambientales, presiones antrópicas y respuestas de la sociedad o el gobierno, para enfrentar el riesgo de inundación. Asimismo, los indicadores deben ser fáciles de analizar e interpretar y principalmente las respuestas puedan resolver la problemática ambiente-actividades humanas, con la particularidad de ser fácilmente modificables y adaptadas a la realidad de la zona de estudio.

Para la selección de los indicadores se tomó en cuenta los factores utilizados para medir la vulnerabilidad, que surgen a partir del análisis de las deficiencias que tiene la zona de estudio para el desarrollo de sus pobladores y por otra parte del impacto que estos tienen en los recursos naturales. Estos resultados originaron los indicadores de estado las cuales describen las condiciones de los recursos naturales que son afectados por la población de la cuenca baja del río Esmeraldas. Finalmente se describen posibles estrategias para disminuir las presiones con la finalidad de disminuir, mitigar o eliminar el riesgo frente a un evento de inundación.

Estos indicadores tienen la característica de estar relacionados con las intervenciones de los actores políticos y tomadores de decisión, de tal modo que pueden ejecutarse y actualizarse

en medida del desarrollo del área de estudio. La metodología PER tiene la particularidad de ser cíclica y permite la reevaluación continua de los resultados y así continuar con un proceso de desarrollo y mejora continua, para cuantificar sus efectos en los indicadores de estado de los recursos naturales.

3.4. Consideraciones bioéticas

Para que la investigación se sustente en los principios de la bioética, se pidió el consentimiento informado de Erika Podest, Ph.D científica de la NASA para la utilización del algoritmo en el mapeo de inundación desarrollado en la plataforma Google Earth Engine. Se realizaron recorridos de campo y entrevistas a los actores locales, con la finalidad de conocer sus experiencias respecto al riesgo de inundación, para lo cual se cumplió con el debido consentimiento informado de la utilización de sus percepciones para el desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Capítulo IV se presentan los resultados y discusión del estudio para finalmente proponer medidas para la gestión del riesgo de inundación, se responde la pregunta ¿cuáles fueron los hallazgos de la investigación?, los nuevos conocimientos para desarrollar las estrategias de gestión del riesgo de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas.

4.1. Mapeo de inundación del río Esmeraldas

La fotointerpretación de las imágenes Sentinel, mediante la plataforma de Google Earth Engine, identificó las zonas que se inundan en el área de estudio (Figura 11). El mapa resultante presenta una delimitación de área inundadas y áreas no inundadas, esta permite identificar con precisión los sectores inundados para el posterior análisis del riesgo. Se puede observar que el evento de precipitación de gran intensidad del 22 de febrero del 2020 inundó en su mayoría el margen izquierdo del río Esmeraldas, donde se ubican los principales centros poblados de las 7 parroquias del área de estudio e inversiones agropecuarias.

En ese sentido la distribución espacial del evento sujeto del presente estudio representa el 8.8% del área de investigación, afectan áreas de cultivos y pastizales, así como áreas urbanas, especialmente en los bordes del río Esmeraldas. Este evento de inundación representa una condición natural de la época de lluvia. El detalle del mapeo de inundación específica claramente cuáles son las zonas donde se deben tomar acciones para evitar pérdidas por sus efectos.

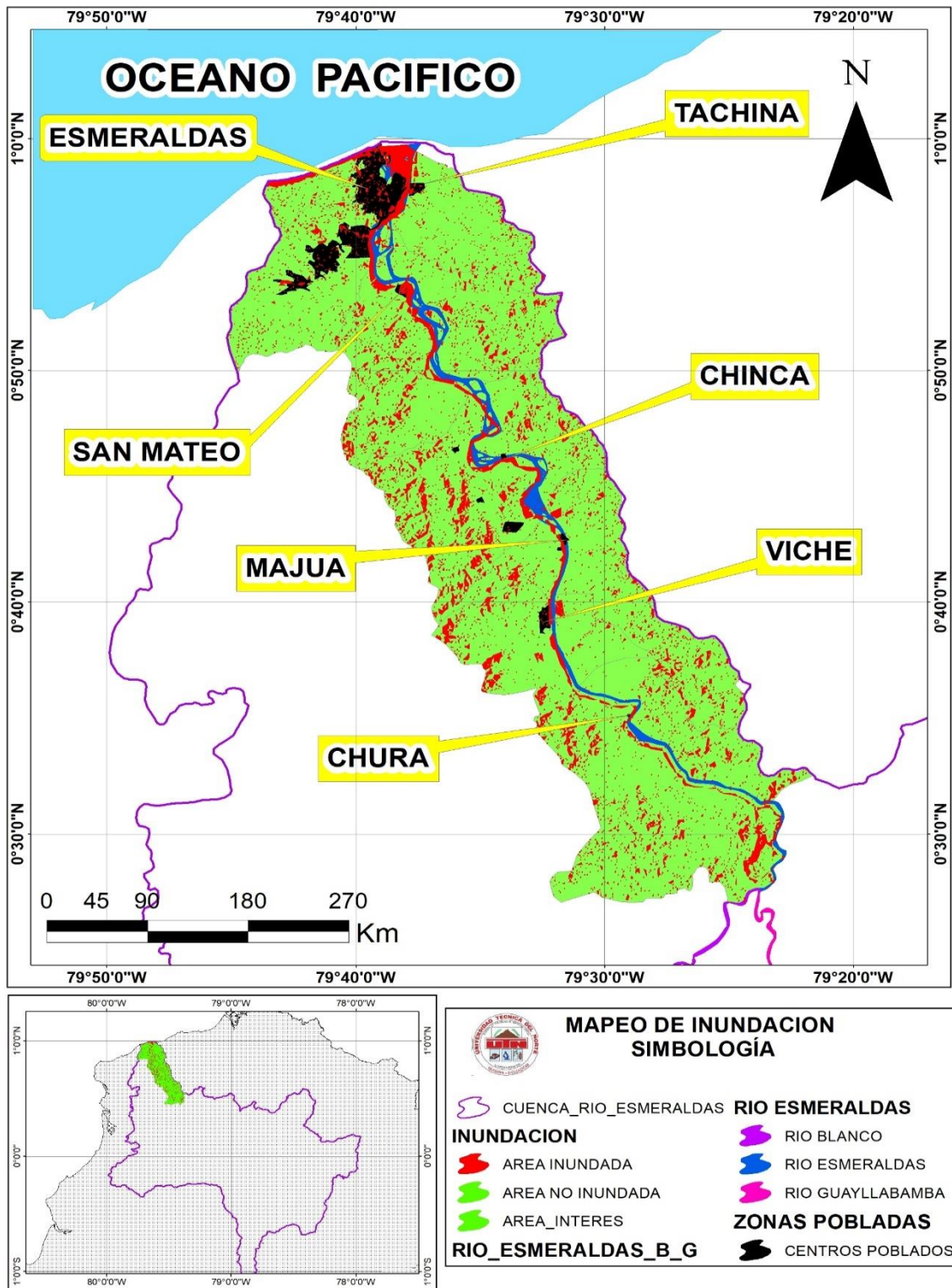


Figura 11. Mapa de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas (evento 22 de febrero del 2020).

El mapeo de inundación determinó que de los 1008 Km² que tiene el área de estudio, alrededor de 88 Km² fueron inundados en el evento de crecida del río Esmeraldas el 22 de febrero del 2020 (Tabla 10). Según el informe de “Costos de las pérdidas por las inundaciones” de la Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES, 2012), en la etapa invernal del 2012 se generaron inundaciones en la cuenca baja del río Esmeraldas y provocaron pérdidas valoradas por 22,6 millones de dólares y se utilizaron en la rehabilitación alrededor del 78% de estos recursos.

Tabla 10.

Área inundada en el evento de precipitación del 22 de febrero del 2020.

Amenaza	Área (Km²)	Porcentaje (%)
No inundada	920	91.2
Inundada	88	8.8
Total	1008	100

La participación local en el mapeo de la inundación demostró con precisión los sectores que son inundados por las crecidas del río Esmeraldas. White, Kingston y Barker (2010) describen que, en la práctica, la población local puede proporcionar mejor información que los técnicos, debido a que no basan sus comentarios en base a cuestiones técnicas o institucionales y se remiten a explicar sus experiencias en base a lo ocurrido respecto a las inundaciones en sus localidades. Así todos los sujetos de estudio mencionaron que la inundación de enero del 2016 fue la más catastrófica en toda la zona de estudio, superando incluso eventos que tuvieron repercusión a nivel nacional respecto a las inundaciones y pérdidas como la del fenómeno del “El niño” de 1998.

Un relato de E2 de estudio menciona que *“El río subió como 12 metros de lo normal, nunca se había visto una crecida de tan grande”*. La figura 12 representa la crecida del río en enero del 2016, las viviendas que se encuentran cerca al río son alcanzadas por la creciente. Refiriendo al mismo evento de inundación E4 comenta *“Esta inundación destruyó a muchas familias que perdieron todas las cosas de sus casitas, animales, siembras, etc. Esa crecida duro 3 días y en otras zonas hasta 1 semana para poder regresar a rescatar lo que había quedado”*.



(a)

(b)

Figura 12. Viviendas alcanzadas por la crecida del río en enero del 2016. (a) Imagen durante la inundación. (b) Imagen después del evento de inundación

Fuente: GAD Parroquial de Viche.

La dinámica de uso del suelo en el área de estudio está enmarcada en las actividades cultivos de ciclo corto como maíz (*Zea mays*), cacao (*Theobroma cacao*), plátano (*Musa paradisiaca*), maracuyá (*Passiflora edulis*), yuca (*Manihot esculenta*), tomates (*Solanum lycopersicum*), habichuelas (*Vicia sp.*), entre otros, además de frutales de cítricos (*Citrus*), guabas (*Inga edulis*), guanábanas (*Annona muricata*), entre otros, además de grandes extensiones de pastizales (GADPE, 2015). La inexistencia de un sistema de control de inundaciones, la falta de información y escasa toma de decisiones cuestan cada año millones de dólares en pérdidas. Pero los gobiernos nacionales y locales se limitan a tomar partida en la reconstrucción y dejan de lado su rol como actores tomadores de decisiones en el estudio y prevención de las inundaciones. La Figura 13 representa la distribución geográfica del evento de inundación, las áreas de producción agropecuaria afectadas por la inundación, asimismo las llanuras contiguas al borde del río fueron afectadas producto de su crecida.

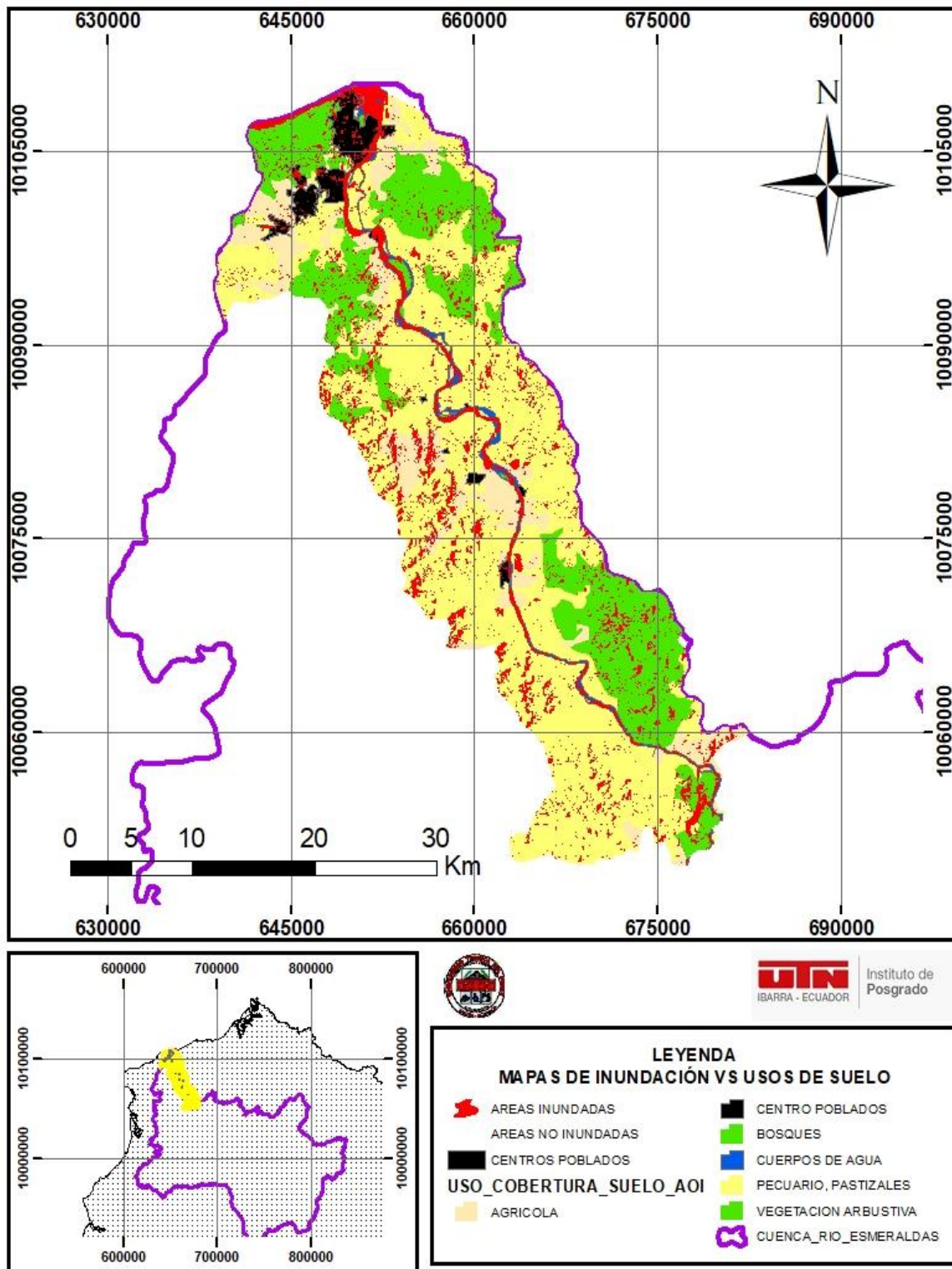


Figura 13. Mapa de usos y coberturas del suelo inundados en la cuenca baja del río Esmeraldas (evento 22 de febrero del 2020).

El relato de los actores locales permitió la validación de puntos de inundación. La imagen fue proporcionada por un sujeto de estudio que acompañó hasta el lugar de inundación y geolocalizar el punto. Aunque la imagen pertenece al evento de inundación del 2016, existe similitud respecto a las principales zonas que se inundan durante un evento de crecidas del río Esmeraldas (Figura 14). E6 comentó “...ese bajo siempre se inunda cuando crece el río”.

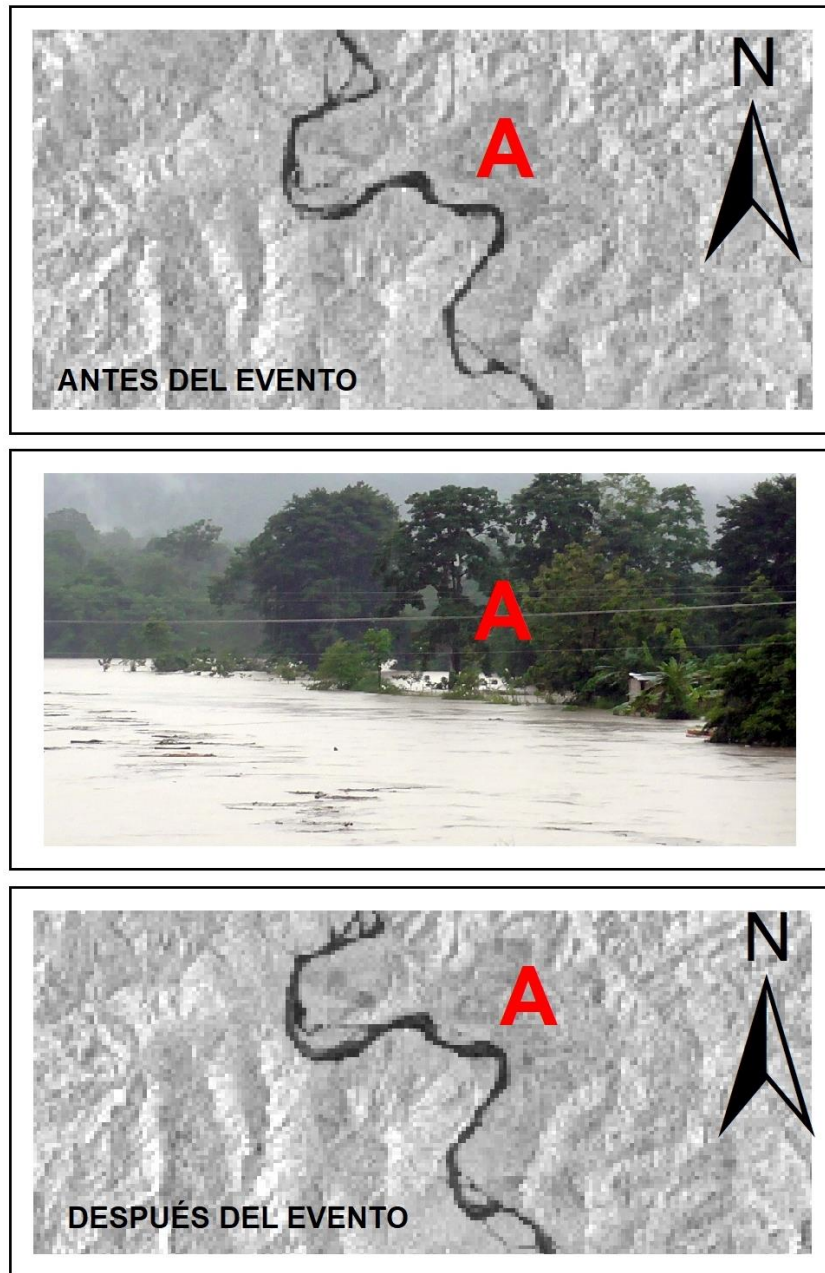


Figura 14. Punto de inundación en los bordes del río Esmeraldas

4.2. Vulnerabilidad de los habitantes del río Esmeraldas frente a las amenazas de inundaciones.

A continuación, se presentan las dinámicas que tienen las variables que inciden en la vulnerabilidad de la población de la cuenca baja del río Esmeraldas.

Índice de hacinamiento

En la cuenca baja del río Esmeraldas el 37.78% de las viviendas son calificadas como hacinadas, las parroquias Majua y Chura poseen un mayor porcentaje de hacinamiento con 52.9% y 52.4% respectivamente, mientras que la cabecera cantonal de Esmeraldas tiene 34.7%, (Tabla 11). Según el MIDUVI (2012) en el país existe un déficit de vivienda en el área urbana del 37% y en área rural del 60%. La provincia Esmeraldas está entre las de mayor necesidad de vivienda, esta insuficiencia habitacional lleva a la población a construir en terrenos inseguros y desprovistos de servicios básicos.

Resultado de la falta de vivienda en la zona de estudio conlleva a tener residencias compartidas entre varios hogares. En las entrevistas con los actores locales mencionaron “aquí cuando los hijos embarazan lo que se hace es meterlos a vivir aquí mismo, porque no hay trabajo, peor van a tener para construir una nueva casa”. En ese sentido hay un vínculo entre la falta de empleo y vivienda. Muchas de las viviendas de la zona rural poseen un ambiente diseñado para sala, comedor y cocina y otra habitación destinada al dormitorio. (Figura 15)

Tabla 11.

Hacinamiento en las viviendas por parroquias en la cuenca baja del río Esmeraldas.

Parroquias	Hacinamiento (%)
Esmeraldas	34.70
Chinca	49.63
Majua	52.90
San Mateo	48.78
Tachina	42.87
Chura	52.44
Viche	48.48
Área de Estudio	37.78



Figura 15. Vivienda de 2 de ambientes inundada

Fuente: GAD Parroquial de Viche.

No acceso a agua potable

La parroquia Chura el 99.82% no tienen acceso a agua potable, mientras que en la cabecera cantonal de Esmeraldas el 5.09% no cuenta con suministro de agua potable (Tabla 12). Sin embargo, según el Departamento de Ayuda Humanitaria y Protección Civil de la Comisión Europea (ECHO), (2012) señala en el tema del agua potable en Esmeraldas “...en los casos donde sí hay cobertura, la calidad es deficiente”. González (2010) en su investigación menciona que “el 48 % de las muestras con abastecimiento por la red de agua potable en la zona urbana tienen coliformes fecales y cloro residual que no cumplen con los estándares INEN 1108”, asimismo en la zona rural “...el 100% de las muestras presentó contaminación en el agua y ninguna cumple con la normativa vigente”.

En las entrevistas con los actores locales El comentan que “*se han hecho plantas de tratamiento de agua potable, sin embargo, estas ya están obsoletas o ya no hay los químicos para su funcionamiento*”. El acceso a agua potable es un eje indispensable para una buena calidad sanitaria (CEPAL, 2017), este indicador demuestra que la población urbana tiene abastecimiento de agua potable, pero esta no cumple con la normativa de calidad, por el contrario, en la zona rural no hay un sistema que garantice el acceso a agua potable, con lo que incrementa la vulnerabilidad de la población.

Tabla 12.

Viviendas que no tienen acceso a agua potable por parroquias en la cuenca baja del río Esmeraldas.

Parroquias	No acceso a agua potable por hogar (%)
Esmeraldas	5.09
Chinca	82.78
Majua	80.55
San Mateo	51.67
Tachina	17.82
Chura	99.82
Viche	56.43
Área de Estudio	19.41

No disposición de alcantarillado

En las parroquias rurales no existe sistemas de alcantarillado, mientras que la cabecera cantonal de Esmeraldas el 25.59% de viviendas no están conectadas a la red de alcantarillado (Tabla 13). Según la entrevista a los actores locales relatan que cada vez que existen lluvias fuertes las calles quedan anegadas por falta de alcantarillado (Figura 16). Para la SENPLADES (2014) si la población no tiene acceso a agua potable y alcantarillado, esto representa el 64.1% de que estos vivan en la pobreza extrema, en efecto, en el estudio del caso de inundaciones, la falta de alcantarillado representa que en un evento de inundación no pueda desfogar y mantiene anegado el territorio, además de obstaculizar la evacuación y rescate de personas.

Tabla 13.

Viviendas que no tienen conexión al alcantarillado por parroquias en la cuenca baja del río Esmeraldas.

Parroquias	No dispone de alcantarillado (%)
Esmeraldas	25.59
Chinca	91.94
Majua	98.63
San Mateo	98.00
Tachina	55.19
Chura	99.46
Viche	82.99
Área de Estudio	39.80



Figura 16. Calles anegadas por fuertes lluvias.

Fuente: GAD Parroquias del Chinca y Viche.

Analfabetismo

La parroquia Majua posee el más alto porcentaje de analfabetismo con 16.77% mientras que la cabecera cantonal del Esmeraldas posee 6.03% de analfabetismo (Tabla 14). Aunque el porcentaje de analfabetismo en el área de estudio es bajo, sin embargo, no se puede pretender que los programas de prevención sean exitosos, si la población no sabe leer ni escribir. Por otra parte, una persona analfabeta va a tener más dificultades en la inserción laboral.

Tabla 14.

Analfabetismo por parroquias en la cuenca baja del río Esmeraldas.

Parroquias	Analfabetismo (%)
Esmeraldas	6.03
Chinca	16.10
Majua	16.77
San Mateo	14.91
Tachina	10.88
Chura	16.60
Viche	11.72
Área de Estudio	8.07

Discapacidad

El área de estudio presenta valores similares de discapacidad, alrededor del 6% de las personas presentan alguna incapacidad (Tabla 15). La Organización Mundial de la Salud (2014) afirma que “En situaciones de emergencia, puede que las personas con discapacidad tengan más dificultades que las demás para escapar de las amenazas”. Igualmente indica que las necesidades básicas y específicas de las personas con discapacidad no son tomadas en cuenta al momento de hacer los planes de gestión del riesgo. Los actores locales entrevistados E3 y E7 al respecto expresaron *“que no existe formalmente un plan de contingencia encaminado hacia las personas con discapacidad, que por el momento se sobreentiende que los familiares estarían a cargo de la evacuación”*.

Tabla 15.

Personas con discapacidad por parroquias en la zona de estudio.

Parroquias	Discapacidad (%)
Esmeraldas	6.53
Chinca	6.09
Majua	6.16
San Mateo	4.97
Tachina	6.10
Chura	6.23
Viche	6.18
Área de Estudio	6.30

Vías de Acceso a la vivienda

El mejor porcentaje de vías de acceso es de la parroquia Tachina con 16.26% mientras que la parroquia Chura tiene el mayor porcentaje de vías en mal estado con 76.76% (Tabla 16). El acceso a la vivienda en mal estado está vinculado principalmente en la intervención de ayuda ante un evento de inundación. En los recorridos por el área de estudio se observa vías de acceso a las viviendas en mal estado (Figura 17), y los actores locales mencionan que con cada invierno las vías se destruyen más.

Tabla 16.

Viviendas con deficientes vías de acceso por parroquias en la cuenca baja del río Esmeraldas.

Parroquias	Acceso a la vivienda (%)
Esmeraldas	26.69
Chinca	54.16
Majua	49.27
San Mateo	49.46
Tachina	16.26
Chura	76.76
Viche	28.50
Área de Estudio	33.50



Figura 17. Vías de acceso deterioradas por la etapa invernal.

Empleo no adecuado

Entre el 80 y 90 % de personas no cuentan con un empleo adecuado en el área de estudio (Tabla 17). No tener un empleo adecuado está relacionado con la posibilidad de vivir en la marginalidad económica y social, por lo que se limitan la posibilidad de desarrollo. Los desastres naturales también limitan el desarrollo económico-productivo (CEPAL, 2014). Los actores locales mencionan que la principal fuente de empleo en la zona rural son las inversiones agropecuarias, sin embargo, la época de lluvias deja pérdidas, por una parte, muchas cosechas se destruyen en las inundaciones y en otros lugares simplemente no se puede sembrar en el invierno. En ese contexto la comunidad pierde la capacidad de recuperarse ante los desastres de inundación, ya que están atrapados por un ciclo recurrente de cosechas-ahorro y pérdidas-gastos.

Tabla 17.

Personas con empleo no adecuado por parroquias en la cuenca baja del río Esmeraldas.

Parroquias	Empleo No Adecuado (%)
Esmeraldas	81.05
Chinca	85.15
Majua	82.32
San Mateo	83.56
Tachina	79.77
Chura	85.24
Viche	91.11
Área de Estudio	81.56

Eliminación de basura

En la cabecera cantonal de Esmeraldas solo el 3.38% no tiene sistema de recolección de basura, mientras en la parroquia Chura no posee gestión de los desechos (Tabla 18). La debilidad de los sistemas de recolección de residuos sólidos incrementa los problemas sanitarios aumentando los criaderos de vectores de enfermedades, además la ubicación de escombros dificulta el acceso de la ayuda en caso de emergencia. Por otra parte, la basura puede bloquear los cursos de agua y provocar directamente las inundaciones.

Tabla 18.

Viviendas que no tiene sistema de recolección de basura por parroquias en la zona de estudio.

Parroquias	Eliminación de Basura (%)
Esmeraldas	3.38
Chinca	55.46
Majua	74.91
San Mateo	43.36
Tachina	26.07
Chura	99.73
Viche	33.33
Área de Estudio	16.53

El análisis de las variables detalla que la precariedad de los servicios básicos, la discapacidad de las personas y la falta de empleo formal son un obstáculo para garantizar la respuesta y resiliencia frente a un evento de inundación, por lo tanto, incrementan las condiciones de vulnerabilidad que vive los pobladores de la cuenca baja del río Esmeraldas.

Al identificar las variables se tabularon los datos correspondientes a las 7 parroquias y las 49 zonas censales del área de estudio. Los valores de los indicadores fueron normalizados en una escala entre 0 y 1, de modo que pudieran ser agrupados, por medio del análisis de componentes principales a los tres tipos de vulnerabilidades.

El análisis de componentes principales en el área de estudio agrupó las variables en tres componentes de las vulnerabilidades (Tabla 19). El componente 1 está integrado por 4 variables: agua potable, alcantarillado, acceso a vivienda y eliminación de residuos sólidos, estos indicadores representan las vulnerabilidad física-estructural. El componente 2 se conforma por 3 variables: hacinamiento, analfabetismo y empleo no adecuado, estos indicadores en su conjunto representan la vulnerabilidad socioeconómica. Por último, el componente 3 queda integrado por la discapacidad y representa la vulnerabilidad física-humana, la varianza de los indicadores analizados es de 73,6%.

Tabla 19.

Indicadores de vulnerabilidad de la población de la cuenca baja del río Esmeraldas, agrupados por el método ACP.

Variables	Componente		
	1	2	3
Hacinamiento	0.313	0.773	-0.205
Agua Potable	0.777	0.097	-0.011
Alcantarillado	0.575	0.302	-0.480
Analfabetismo	0.633	0.577	-0.114
Discapacidad	0.154	0.036	0.884
Acceso a vivienda	0.694	0.331	0.317
Empleo no adecuado	-0.102	0.900	0.165
Eliminación de basura	0.885	0.056	0.087

Vulnerabilidad física-estructural

Los pesos positivos de los indicadores del componente 1 agrupa a las variables: agua potable, alcantarillado, acceso a la vivienda y eliminación de basura, Para la CEPAL (2004) “la ausencia de infraestructura adecuada, así como la provisión ineficiente de servicios de infraestructura, constituyen obstáculos para el desarrollo de la población”, en ese sentido una buena cobertura de servicios básicos y redes de infraestructura urbana representa el soporte para el desarrollo, por ende, la deficiencia de estos hacen que una población esté más expuesta a los desastres.

La ONU (2017) en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible (Hábitat III), reconoce que los entornos urbanos son cada vez más vulnerables a los desastres, debido a su interdependencia con la deficiencia de servicios e infraestructura básica y compromete a los países miembros a trabajar en ese sentido para mitigar los efectos del cambio climático y los desastres naturales entre estos las inundaciones. Los servicios de agua potable, alcantarillado, acceso a la vivienda y eliminación de basura son esenciales para el desarrollo básico de la población y en el caso de un evento de inundación tener estos servicios, resulta fundamental para responder y recuperarse de una emergencia.

Vulnerabilidad socioeconómica

Para Wilches-Chaux (1993) el conocimiento de la realidad socioeconómica especifica la relación entre los ingresos de los pobladores y el impacto que tienen los desastres. Es decir, los factores socioeconómicos están directamente asociados a los efectos de un desastre. Se asume que posiblemente una persona analfabeta tiene condicionado el acceso a un empleo formal, seguramente esto puede repercutir en el acceso a una vivienda digna y posiblemente viva en hacinamiento.

Según Navarro (2007) “la gestión económica juega un importante papel en todas las fases del desastre, ... tiene funciones bien definidas antes, durante y después de estos fenómenos”. Ante la ocurrencia de una inundación, las personas que no tienen un trabajo estable resultan más perjudicadas ya que ellos viven del día a día, y si no trabajan, no tendrán dinero para educación, salud y alimentación.

Vulnerabilidad física-humana

El 6% de la población en estudio tiene alguna discapacidad, la OMS (2014) señala que las personas con discapacidad son excluidas de los debates sobre la planificación del riesgo de desastre, una persona con discapacidad auditiva no podrá escuchar las alertas, una persona con discapacidad visual o motriz tendrá dificultad para evacuar, en ese sentido es necesario involucrar a las personas discapacitadas para la gestión del riesgo.

La SNGR (2020) establece procedimientos para la gestión del riesgo y considera especial importancia para las personas con discapacidades, en consecuencia, promueve estrategias para que las personas con capacidades especiales estén más preparadas y que las autoridades locales provean de condiciones y asistencia ante un desastre. Sin embargo, aún faltan estudios demográficos para conocer la distribución de las personas discapacitadas y la realización local de los planes de gestión del riesgo para personas discapacitadas.

Se realizó el cálculo de la vulnerabilidad física-estructural (VFE), vulnerabilidad socioeconómica (VSE) y la vulnerabilidad física-humana (VFH), se multiplica las variables agrupadas por los pesos ponderados resultados del análisis principal de componentes, mediante las fórmulas:

$$VFE = \frac{(0.777 * \text{Agua Potable} + 0.575 * \text{Alcantarillado} + 0.694 * \text{Acc. a vivienda} + 0.885 * \text{Elimi. de basura})}{4}$$

$$VSE = \frac{(0.773 * \text{Hacinamiento} + 0.577 * \text{Analfabetismo} + 0.900 * \text{Empleo no adecuado})}{4}$$

$$VFH = (0.884 * \text{Discapacidad})$$

Los pesos ponderados de cada variable agrupada por componentes determinan, que la vulnerabilidad socioeconómica de la población frente a la amenaza de inundación es del 40%, en el área de estudio el 88% de la población no posee un empleo adecuado, que influye como un factor que predispone a las familias a vivir en entornos habitacionales irregulares e inestables. La vulnerabilidad física estructural es del 20%, en efecto la intervención estatal reduciría este indicador al corregir servicios de sanidad en la zona de estudio, el tercer componente representa la vulnerabilidad física-humana que representa el 6% en la población, consecuentemente en el área de estudio la vulnerabilidad global representa el 22%, pese a que la vulnerabilidad socioeconómica es alta, sin embargo, la baja cantidad de personas con discapacidad influye en la vulnerabilidad global frente a la amenaza de inundación (Tabla 20).

Tabla 20.

Valores promedio de los indicadores de vulnerabilidad de la cuenca baja del río Esmeraldas.

Vulnerabilidad	Valores
Vulnerabilidad física-estructural (VFE)	0.201
Vulnerabilidad socioeconómica (VSE)	0.400
Vulnerabilidad física-humana (VFH)	0.064

Las metodologías propuestas por Wilches-Chaux (1993) y Lavell (2003), determinan que la vulnerabilidad global se establece por la sumatoria de los diferentes tipos de vulnerabilidades, a partir de la información obtenida se realizó la sistematización y determinación de la vulnerabilidad de los habitantes de la cuenca baja del río Esmeraldas frente a las amenazas de inundaciones, mediante la fórmula:

$$\text{Vulnerabilidad global} = \frac{(VFE + VSE + VFH)}{3}$$

$$\text{Vulnerabilidad global} = \frac{(0.201 + 0.400 + 0.064)}{3}$$

$$\text{Vulnerabilidad global} = 0.222$$

La vulnerabilidad en la zona de estudio es baja (0.222), lo cual se produce por tener una vulnerabilidad física humana baja (0.064), la vulnerabilidad física-estructural baja (0,201) y la vulnerabilidad socioeconómica moderada (0.400). Es decir, pese a que el factor socioeconómico es moderado, la existencia de una baja población con discapacidad reduce la vulnerabilidad global. Al realizar el análisis de la distribución espacial de la vulnerabilidad (Figura 19) se visualiza que alrededor del 80% presenta una vulnerabilidad media, donde se encuentra principalmente las zonas con inversiones agropecuaria poniendo en peligro el suministro de alimentos cuando ocurren eventos de inundación.

Al determinar la vulnerabilidad en la zona urbana y rural, se encontró que la zona urbana tiene un comportamiento igual al del área de estudio con una vulnerabilidad de 0.226, por otra parte, en la zona rural la vulnerabilidad global aumenta a 0.36 (Figura 18). La vulnerabilidad socioeconómica en la zona urbana es 43% y en la zona rural es 78%, por tal motivo la vulnerabilidad global en la zona rural es media y en la zona urbana es baja (Figura 19). Este análisis determina que las principales intervenciones para disminuir la vulnerabilidad de inundación deben estar encaminadas principalmente en la zona rural.

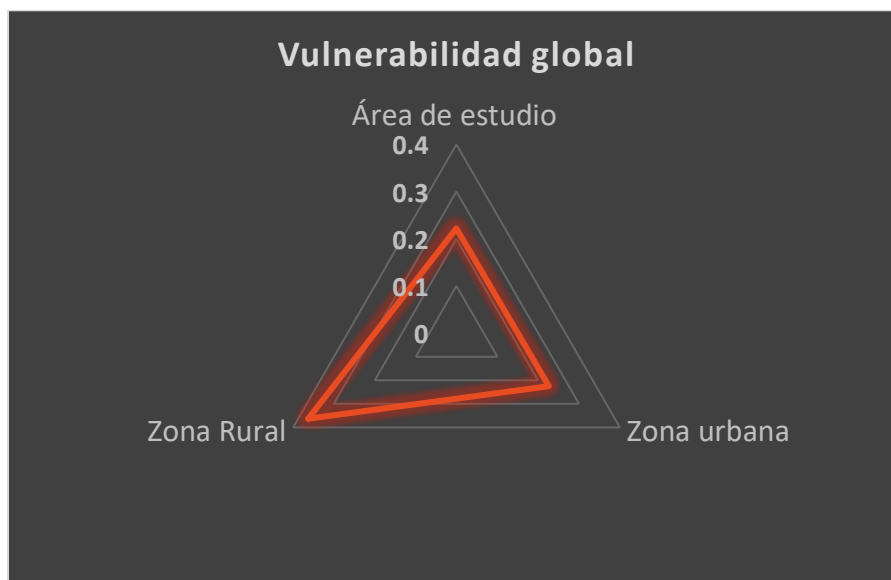


Figura 18. Dimensiones de la vulnerabilidad por zonas.

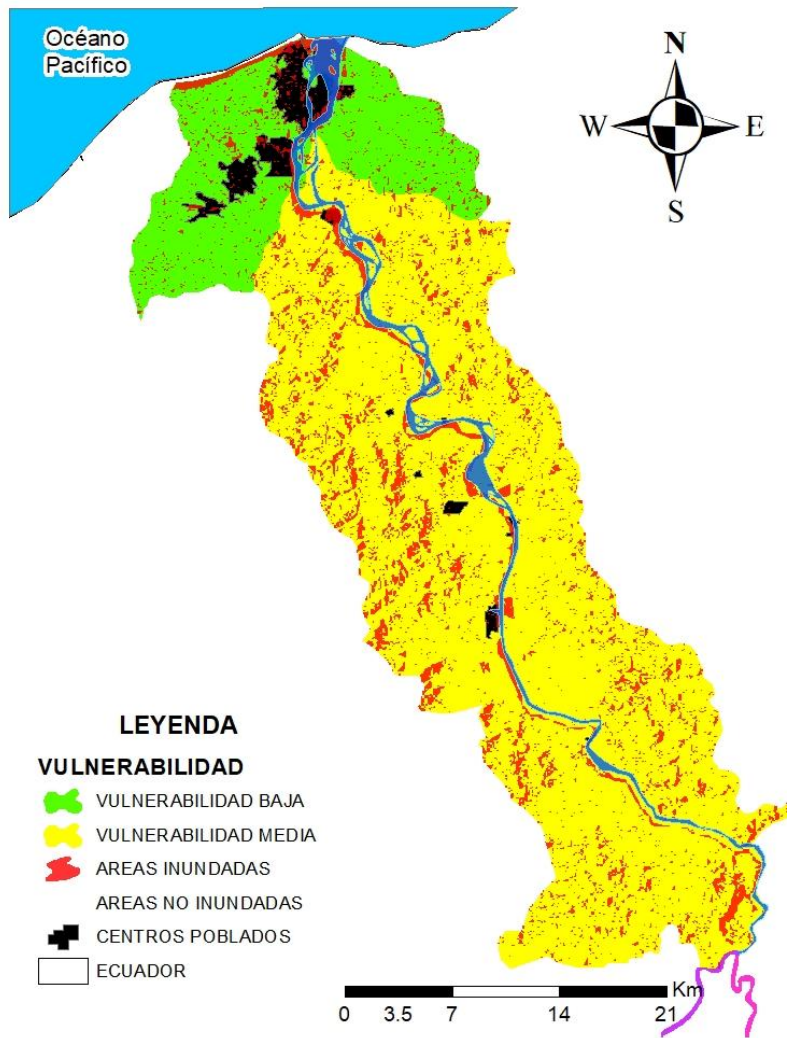


Figura 19. Vulnerabilidad en la zona urbana y rural.

El análisis de la vulnerabilidad demuestra que en la cuenca baja del río Esmeraldas no existe una visión integrada de planificación en función del riesgo, las poblaciones más vulnerables son aquellas que tienen condiciones socioeconómicas frágiles (CEPAL, 2013). Por esa razón la capacidad de resiliencia ante los eventos de inundación es complicada, la teoría de la construcción social del riesgo está marcada por la percepción de la población frente a un desastre (Beck 1998, García 2005, Urteaga y Eizagirre 2013). En ese sentido la falta de información y la negligencia provocan que los actores no identifiquen el riesgo *per se* y por ello se tomen malas decisiones. En el área de estudio la percepción pública del riesgo no involucra conceptos como la degradación de los ecosistemas por acción antrópica y los

procesos de urbanización desordenados, por consiguiente, para los nuevos asentamientos hay que tener en cuenta el tema de los riegos y buscar estrategias de mitigación en los existentes.

En síntesis, el riesgo es el resultado que dos condiciones interactúen: amenaza y vulnerabilidad. El que un evento de crecida de un río se considere o no riesgo, dependerá que el lugar en donde se manifieste esté ocupado o no por las actividades antrópicas. Los eventos de inundación, es el desastre de mayor impacto negativo en el Ecuador, estas provocan gran cantidad de víctimas, heridos y evacuados (SNGR 2014, SEMPLADES 2014). Las inundaciones generan, además, vías interrumpidas, caída en los servicios básicos (luz, recolección de residuos sólidos y transporte), pérdida de infraestructuras públicas, afectación de vivienda entre otras y en el ámbito rural: pérdida de ganado y animales de crianza, anegamiento y pérdida de cultivos (Anexo 2). Por esta razón se debe tomar acciones para reducir las condiciones de vulnerabilidad en que viven la población de la cuenca baja del río Esmeraldas, principalmente con el ordenamiento territorial en las llanuras de inundación y el mejoramiento de los factores socioeconómicos estudiados.

4.3. Estrategias de gestión de riesgos de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas.

El análisis del modelo Presión-Estado-Respuesta generó 4 indicadores de presión y 4 indicadores de estado (Tabla 21). La cuenca baja del río Esmeraldas se caracteriza por tener asentamientos para viviendas e inversiones agropecuarias en zonas de riesgo de inundación, por otro lado, los servicios públicos presentan deficiencias en calidad y alcance, según la ONU (2017) estos indicadores son básicos para desarrollar condiciones estables de vida, en cuanto a la infraestructura las vías de acceso de transporte y peatonal es deficiente para aplicar estrategias de evacuación y rescate frente a un evento de inundación.

La perspectiva actual de respuesta ante el riesgo de desastre no solo busca las intervenciones de ingeniería, por el contrario, se busca un camino más holístico en donde se integre progresos en los aspectos sociales, culturales, políticos, económicos y ecológicos. En ese sentido en la medida de las respuestas se escogieron 4 estrategias para mitigar el riesgo de inundación, enunciadas en la Tabla 20.

Tabla 21.

Modelo Presión-Estado-Respuesta, de los riesgos de inundación de la cuenca baja del río Esmeraldas.

Presión	Estado	Respuesta
Incremento inversiones agropecuarios y entornos habitacionales zonas de riesgos de inundación	El 10 % del área de estudio se inundan ante un evento de crecidas del río, principalmente los bordes del río Esmeraldas. Estas áreas son ocupadas por actividades antrópicas y urbanismo.	Plan de reubicación de viviendas, regular la construcción de viviendas e infraestructuras agropecuarias (ubicación y materiales).
Sistema de servicios básicos deficiente (agua potable, alcantarillado, vías de acceso a la vivienda y eliminación de basura).	El 20 % de la población presenta vulnerabilidad física-estructural	Proyecto de incremento de alcance y mejoras en la calidad de los servicios básicos.
Inclusión de personas discapacitadas en la gestión del riesgo	El 6% de la población presenta discapacidad física	Plan de Evacuación para personas con discapacidad a zonas seguras en caso de inundación
1008 Km ² que tiene el área de estudio, alrededor de 88 Km ² fueron inundados en el evento de crecida del río Esmeraldas	El 40% de la población presenta vulnerabilidad socioeconómica moderada. El 10% del territorio susceptible a inundación, lo cual afecta áreas de cultivos y pastizales.	Construcción de proyecto multipropósito para control de inundaciones y canal de riego. Utilización de mano de obra local y capacitación de agricultores en uso eficiente del agua en cultivos y prevención de inundaciones en las inversiones agropecuarias.

Estrategias de gestión del riesgo de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas.

En base a las respuestas obtenidas del modelo Presión-Estado-Respuesta se plantean las siguientes estrategias:

1. Plan de reubicación de viviendas, regular la construcción de viviendas e infraestructuras agropecuarias (ubicación y materiales). Según el Código Orgánico de Organización Territorial (COOTAD, 2010) el ordenamiento territorial local es responsabilidad de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (Provincial, Municipal y Parroquial) y sus autoridades, en ese sentido es necesario trabajar en el cumplimiento de los PDOyT y las ordenanzas locales para el cumplimiento de esta estrategia.
2. Proyecto de incremento de alcance y mejoras en la calidad de los servicios básicos, en concordancia con el COOTAD la responsabilidad del gobierno municipal proveer de servicios básicos de calidad, sin embargo, los GADs parroquiales deberán gestionar con las instituciones pertinentes la provisión de servicios básicos de calidad para sus pobladores.
3. Plan de Evacuación para personas con discapacidad a zonas seguras en caso de inundación. Estará a cargo de la oficina de gestión de riesgos del municipio y establecerá estrategias para su realización con la secretaria de gestión de riesgos, INEC y el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades. Para su implementación se pedirá la intervención de las universidades de UTE-LVT y PUCESE.
4. Construcción de proyecto multipropósito para control de inundaciones y canal de riego. Utilización de mano de obra local y capacitación de agricultores en uso eficiente del agua en cultivos y prevención de inundaciones en las inversiones agropecuarias. Estará a cargo del gobierno central, por medio de las juntas

parroquiales se exigirá la contratación de mano de obra y prestación de servicios de alimentación local.

La OCDE (2003) y García *et al.* (2005) señalan que el modelo presión-estado-respuesta, puede funcionar como un sistema cíclico, por lo cual al efectuar las respuestas pueden generar nuevas presiones, con lo cual originan un proceso de reevaluación continua. Por ejemplo, la ejecución de un plan de ordenamiento y regulación del territorio por parte del gobierno local, permitiría que en los bordes del río Esmeraldas no concurren asentamientos humanos o agropecuarios, de tal forma no existirían pérdidas ante un evento de inundación, sin embargo al realizar una reevaluación del modelo PER, los bordes de los ríos que no tienen actividades antrópicas pueden sugerir nuevas respuestas como remediación o restauración del ecosistema del estuario del río Esmeraldas y con ello realizar una reevaluación continua del modelo.

Las respuestas del modelo se basan en reubicar las personas y sus inversiones ubicadas en las zonas amenazadas ante un evento de inundación, y por otro lado mejorar las condiciones de servicios básicos y vialidad, con la finalidad de disminuir la vulnerabilidad de los habitantes de la cuenca baja del río Esmeraldas. La disminución de las condiciones de vulnerabilidad en la que se desarrolla la población de la cuenca baja del río Esmeraldas es proporcional a la disminución o eliminación del riesgo de inundación.

CONCLUSIONES

- Los márgenes del río esmeraldas se inundan típicamente ante un evento de precipitación fuerte, sin embargo, el estudio detalla las áreas específicas que se inundan para así prever una situación de riesgo sobre las inversiones agropecuarias y la vida de la población. El mapeo de la amenaza de inundación demuestra que el 10% del área de estudio se inundó en el evento del 22 de febrero del 2020.
- Se destaca la eficiencia de la plataforma Google Earth Engine en la gestión del riesgo de inundaciones, el potencial de la plataforma permitió procesar la información de las imágenes radar Sentinel en relación de un evento de inundación, resolviendo el problema de deficiencia de datos hidrológicos en la zona de estudio. Se comprobó un buen resultado en relación a la realidad de las inundaciones descrita por los actores locales entrevistados.
- Se construyó índices para evaluar la vulnerabilidad de la población del área de estudio. La metodología de análisis de componentes principales (ACP) resulta útil para la creación y análisis de indicadores de vulnerabilidad, ya que logra agrupar las variables sin la influencia de la percepción de la realidad de la zona de estudio del investigador y evita que los juicios de valor afecten la valoración de los indicadores de vulnerabilidad ante amenazas naturales. El 80% del área de estudio se determinó en condición moderada de vulnerabilidad, representada geográficamente en la zona rural, el 20% corresponde a la condición de vulnerabilidad baja situada en la zona urbana del área de estudio.
- Los eventos de inundación han afectado de manera recurrente en los últimos años a la población de la cuenca baja del río Esmeraldas, en este sentido, existe una relación sociocultural vinculada a los desastres, ya que los hogares que no disponga de ciertos recursos van a presentar singulares características para considerarlos vulnerables a los riesgos de inundación.
- La aplicación del modelo Presión –Estado–Respuesta permitió simplificar el análisis para el diseño de estrategias de gestión del riesgo de inundación. Las condiciones sociales, culturales y económicas de la población de la zona de estudio determinaron las estrategias de intervención que la investigación propone y consideran

principalmente la importancia de disminuir las condiciones de vulnerabilidad de la población.

RECOMENDACIONES

La investigación evidenció la deficiencia en la disponibilidad de información y datos de la cuenca baja del río Esmeraldas, lo que expone la urgente necesidad de instrumentar y tecnificar el área de estudio para el registro de bases de datos históricas que permitan el estudio y análisis permanente. De esta manera hacerle frente a riesgo de desastres que está expuesta la población y sus inversiones.

Se recomienda realizar estudios utilicen imágenes satelitales radar pagadas, que proporcionan mayor detalle y resolución, para mejorar la distribución espacial y la gestión del riesgo de inundaciones.

Se recomienda realizar estudios de la vulnerabilidad de la población del área de estudio una vez se actualice la información del censo del INEN que está previsto para noviembre del 2021 y contrastar así la evolución de la vulnerabilidad, con el propósito de conocer la realidad actual de la población de área de estudio.

Se recomienda implementar las estrategias de gestión de riegos con la finalidad de evitar pérdidas económicas y humanas frente a los desastres de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas.

REFERENCIAS

- Arenas, F., Lagos, M. y Hidalgo, R. (2010). *Los riesgos naturales en la planificación territorial*. Chile: Centro de Políticas Públicas UC.
- Batioja, C. (2017). *Análisis de la gestión administrativa del refugio de vida silvestre manglares estuario río Esmeraldas, provincia de Esmeraldas*. (Tesis de grado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas.
- Beck, U. (1998). *La sociedad del riesgo: Hacia una nueva modernidad*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A.
- Brivio, P., Colombo, R., Maggi, M., & Tomasoni, R. (2002). Integration of remote sensing data and GIS for accurate mapping of flooded areas. *International Journal of Remote Sensing*, 23(3), 429-441. <https://doi.org/10.1080/01431160010014729>
- Cabello, J. y Paruelo, J. (2008). *La teledetección en estudios ecológicos*. *Ecosistemas*, 17 (3), 1-3.
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). (2016). *Annual Disaster Statistical Review 2015*. Bélgica: Louvain-la-Neuve.
- Chingombe, W., Pedzisai, E., Manatsa, D., Mukwada, G. y Taru, P. (2014). A participatory approach in GIS data collection for flood risk management, Muzarabani district, Zimbabwe. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 1029–1040. <https://doi:10.1007/s12517-014-1265-6>.
- Chuvieco, E. (2000). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. España: Ediciones Rialp S.A.
- Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD). (2010). *Registro Oficial Suplemento 303 del 19-Oct-2010*.
- Coltin B., McMichael S., Smith T. y Fong T. (2016) Automatic boosted flood mapping from satellite data. *International Journal of Remote Sensing*. 37(5), 993-1015. <https://10.1080/01431161.2016.1145366>.

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2004). *Desarrollo de infraestructura y crecimiento económico: Revisión conceptual*. Chile: Autor
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2009). *Guía metodológica – Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible*. Chile: Autor.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2013). *Guía análisis y zonificación de cuencas hidrográficas para el ordenamiento territorial*. Chile: Autor.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2014). *Manual para la evaluación de desastres*. Chile: Autor.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2017). *Indicadores no monetarios de pobreza: Avances y desafíos para su medición*. Chile: Autor.
- Constitución de la República del Ecuador (2008). *Registro Oficial No. 449*. 20 de octubre del 2008.
- Cotler, H., Galindo A., González D., Pineda, R., y Ríos E. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. México: Cuadernos de divulgación ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Cruz, M. (2017). Amenazas naturales recurrentes, concurrentes y concatenadas en la ciudad de Esmeraldas. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*. 2 (3).
- Demoraes, F. y D'Ercole, R. (2001). *Cartografía de las amenazas de origen natural por cantón en el Ecuador*. Quito: Hal Archives-Ouvertes.Fr.
- Demoraes, F. y Trujillo, M. (2003). *Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador. Los desastres, un reto para el desarrollo*. Quito: Hal Archives-Ouvertes.Fr.
- Departamento de Ayuda Humanitaria y Protección Civil de la Comisión Europea (ECHO). (2012). *Proyecto Preparación Integrada ante Desastres Naturales en la Provincia de Esmeraldas Ecuador: Programa de preparación ante desastres de la Comisión Europea Plan de Acción 2011 - 2012 para América del Sur*. Quito: Autor

- DeVries, B., Huang, C., Armston, J., Huang, W., Jones, J. W., y Lang, M. W. (2020). Rapid and robust monitoring of flood events using Sentinel-1 and Landsat data on the Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 240, 111664. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111664>.
- Díaz, J., Chuquisengo, O. y Ferradas, P. (2005). *Gestión de Riesgos en los gobiernos locales*. Perú: Soluciones Prácticas-ITDG Intermediate Technology DevelopmentGrup.
- Donezar, U., Larrañaga, A., Tamés, A., Sánchez, C., Albizua, L., Ciriza, R. y Del Barrio, F. (2017). Aplicación de imágenes Sentinel-1 y Sentinel-2 en la detección y delineación de información de crisis de desastres naturales en el marco de los servicios Copernicus EMS. *Revista de Teledetección*, (50), 49. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.8896>.
- Escuder, I., Matheu, E. y Castillo, J. (2010). *Análisis y evaluación de riesgos de inundación: estimación del impacto de medidas estructurales y no estructurales*. Jornada CICCPCV (Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos), 15 de octubre de 2010. España: Autor.
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR). (2009). *Terminología Sobre Reducción del Riesgo de Desastres*. Ginebra: Autor.
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR). (2019). *Pérdidas económicas, pobreza y desastres 1998-2017*. Geneva-Switzerland: Autor.
- García, A., Ferman, J., Arredondo, M., y Galindo, L. y Seingier, G. (2005). Modelo de planeación ambiental de la zona costera a partir de indicadores ambientales. *Sapiens Revista Universitaria de Investigación*, 6 (2), 09-23.
- García, V. (2005). El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos. *Desacatos*, 19, 11-24.

- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Esmeraldas (GADPE). (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Esmeraldas 2015 – 2025*. Esmeraldas: Autor.
- González Narváez, M. (2010). *Propuesta metodológica para el plan de monitoreo, seguimiento y evaluación de la calidad del agua de consumo humano del cantón Esmeraldas* (Tesis de grado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. vol. 202, p. 18-27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- Imhoff, M., Vermillion, C., Story, M., Choudhury, A., Gafoor A. y Polcyn, F. (1987). Monsoon flood boundary delineation and damage assessment using space borne imaging radar and Landsat data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(4):405-413.
- Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC). (2010). *Resultados del censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador: Fascículo provincial de Esmeraldas*. Quito: Autor.
- Larrea, C., Cuesta, F., López, A., Greene, N., Iturralde, P. Maldonado, G. y Suárez-Duque, D. (2015). *Propuesta de Indicadores Nacionales de Biodiversidad: una contribución para el sistema nacional de monitoreo del patrimonio natural y para la evaluación del impacto de la implementación de la Estrategia Nacional de Biodiversidad y su Plan de Acción 2015-2020*. MAE, CONDESAN, GIZ, PNUD-FMAM, USAB. Quito: Autor
- Lavell, A. (2003). *La gestión local del riesgo: Nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica*. Programa regional para la gestión del riesgo en américa central. Guatemala: CEPREDENAC – PNUD.
- Lavell, A. (2006) *Apuntes para una reflexión institucional en países de la Subregión Andina sobre el enfoque de la Gestión del Riesgo*. Lima: PREDECAN

- Li, Y., Martinis, S., Plank, S. y Ludwig, R. (2018). An automatic change detection approach for rapid flood mapping in Sentinel-1 SAR data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73, 123-135. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.05.023>.
- Martínez, J., & Letoan, T. (2007). Mapping of flood dynamics and spatial distribution of vegetation in the Amazon floodplain using multitemporal SAR data. *Remote Sensing of Environment*, 108(3), 209-223. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.11.012>
- Meyer F., Bamler R., Jakowski N. y Fritz T. (2006). The Potential of Low-Frequency SAR Systems for Mapping Ionospheric TEC Distributions. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3, (4), 560-564. <https://doi:10.1109/LGRS.2006.882148>.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2012). *Programa Nacional de Vivienda Social – PNVS*. Quito:Autor.
- Navarro, R. (2007). *La Economía en situaciones de desastres: Manual para la preparación comunitaria en situaciones de desastres*. Cuba: GEOCUBA Gráfica de Cienfuegos
- Organisation For Economic Co-operation and Development (OCDE). (1993). *Core set of indicators for environmental performance reviews: A synthesis report by the group on the state of the environment*. Paris: Autor.
- Organisation For Economic Co-operation and Development (OCDE). (2003). *Environmental Indicator: Development, measurement and use*. Paris: Autor.
- Organisation For Economic Co-operation and Development (OCDE). (2010). *DAC Guidelines and Reference Series. Quality Standards for Development Evaluation*. Paris: Autor
- Organización de Estados Americanos. (OEA). (1993). *Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado*. Washington: Autor.

- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2017). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible* (Hábitat III, 17-20 de octubre de 2016, Quito). Nueva Agenda Urbana. Ginebra: Autor.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2007). *Las cuencas y la gestión del riesgo a los desastres naturales en Guatemala*. Guatemala: Serviprensa S.A.
- Organización de Naciones Unidas (ONU). (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*. Ginebra: Autor.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2014). *Nota de orientación sobre la discapacidad y la manejo del riesgo de desastres, para la salud*. Suiza: Autor.
- Pandia, E. (2016). Modelo presión, estado, respuesta (p-e-r), para la clasificación de indicadores ambientales y gestión de la calidad del agua caso: cuenca del río Puyango Tumbes. *Revista del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM*, 37. 39-46.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2004). *La reducción de riesgos de desastres Un desafío para el desarrollo del PNUD Informe Mundial*. Nueva York: Autor.
- Quirós, E. y Gagnon, A. (2020). Validation of flood risk maps using open source optical and radar satellite imagery. *Transactions in GIS*, 1, 1-19. <https://doi.org/10.1111/tgis.12637>.
- Ramakrishna, B. (1997). *Estrategias de Extensión para el Manejo Integrado de Cuencas*. Costa Rica: Imprenta IICA.
- Rupak J. y Haripriya G. (2019). An integrated assessment of vulnerability to floods using composite index - A district level analysis for Bihar, India. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 35, 8. 101074. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101074>.

- Sánchez, S. (1995). *Una aproximación al proceso de planificación de cuencas hidrográficas*. Universidad del Tolima. Ibagué-Colombia: SERBIULA (Sistema Librum 2.0).
- Secretaría del Agua del Ecuador (SENAGUA). (2016). *Memoria del Plan Hidráulico Regional de Demarcación Hidrográfica Esmeraldas*. Quito: CISPDR, 2015
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR). (2014). *Sistema nacional descentralizado de la gestión del riesgo y emergencias*. Quito: Autor.
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR). (2020). *Guía para la gestión inclusiva del riesgo con enfoque en personas con discapacidad*. Quito: Autor.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). (2010). *Agenda zonal para el Buen Vivir, Propuestas de desarrollo y lineamientos para el ordenamiento territorial*. Quito: Autor.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). (2012). *Costos de las pérdidas por las inundaciones*. Boletín informativo. Ecuador: Autor.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). (2014). *Agua potable y alcantarillado para erradicar la pobreza en el Ecuador*. Quito: Autor
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida*. Quito: Autor.
- Töyrä, J., Pietroniro, A., Martz, L. W., & Prowse, T. D. (2002). A multi-sensor approach to wetland flood monitoring. *Hydrological Processes*, 16(8), 1569-1581. <https://doi.org/10.1002/hyp.1021>.
- Urteaga, E. y Eizagirre, A. (2013). La construcción social del riesgo. *EMPIRIA. Revista de Metodología de las Ciencias Sociales*, 25. 147-170. ISSN (Versión impresa): 1139-5737.

- White, I., Kingston, R. y Barker, A. (2010). Participatory geographic information systems and public engagement within flood risk management. *Journal of Flood Risk Management*, 3, 337-346. <https://doi:10.1111/j.1753-318X.2010.01083.x>.
- Wilches-Chaux, G. (1993). *La vulnerabilidad global: Los desastres no son naturales*. Colombia: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- Yamín, L., Guesquiere, F., Cardona, O. y Ordaz, M. (2013). *Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre*. Colombia: Editorial Banco Mundial, Universidad de Los Andes.

ANEXOS

Anexo 1. Formato de guion de entrevista

Universidad Técnica del Norte

Maestría en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

Entrevista de la investigación “Evaluación del riesgo de inundación en la cuenca baja del río Esmeraldas”

Parroquia: _____

Sector: _____

Ubicación de la inundación (GPS): _____

1. Información del personal

Nombre de la persona encuestada: _____

Cargo/ocupación: _____

2. Información sobre las inundaciones

¿Existieron inundaciones en el pasado?

Si _____ No _____

¿Qué inundaciones recuerda que han afectado a su parroquia/vivienda?

Fecha _____

Duración (Horas, días, semanas) _____

Nivel de altura respecto al cuerpo (Tobillo, rodillas, cadera, pecho, otros) _____

¿Cuáles fueron los principales daños en el evento de inundación?

Viviendas _____

Servicios públicos _____

Destrucción de infraestructura pública (vías, escuelas, centros de salud)

Perdidas agropecuarias

Anexo 2. Registro fotográfico de inundaciones y sus efectos en el área de estudio













