

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental

TRABAJO DE TITULACIÓN

“ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DEL RIESGO DE INUNDACIÓN
MEDIANTE SIMULACIÓN ESPACIAL EN LA PARROQUIA PUERTO
NAPO”

Autor:

Cristhian Mauricio Lapo Alcivar

Tutor:

Ing. Guido Patricio Santillán

Riobamba – Ecuador

2019

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:
ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE RIESGO DE INUNDACIÓN
MEDIANTE SIMULACIÓN ESPACIAL EN LA PARROQUIA PUERTO NAPO,

Presentado por: Cristhian Mauricio Lapo Alcívar

Dirigido por: Ing. Guido Patricio Santillán

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. María Fernanda Rivera C.

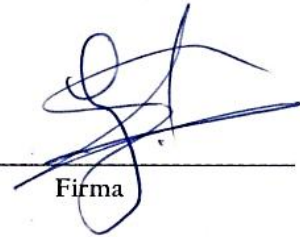
Presidente del Tribunal



Firma

Ing. Patricio Santillán

Director del Proyecto



Firma

Ing. Benito Mendoza PHD.

Miembro del Tribunal



Firma

Ing. Juan Carlos Caicedo.

Miembro del Tribunal



Firma

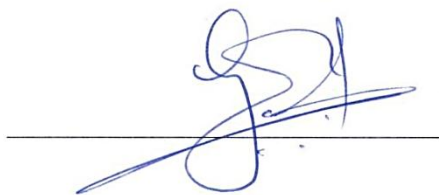
DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

Por la presente, certifico que el actual trabajo de investigación previo a la obtención del título de INGENIERO AMBIENTAL, elaborado por el señor, Cristhian Mauricio Lapo Alcívar, con el tema: **“ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DEL RIESGO DE INUNDACIÓN MEDIANTE SIMULACIÓN ESPACIAL EN LA PARROQUIA PUERTO NAPO”**, el mismo que fue analizado y supervisado bajo mi asesoramiento permanente en calidad de tutor y guía, por lo que se encuentra apto para ser presentado y defendido.

Es todo lo que se puede informar en honor a la verdad.

Ing. Patricio Santillán

CI. 060278077-7



AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Cristhian Mauricio Lapo Alcívar, con cédula de identidad N° 210054049-7; hago referencia como autor del presente trabajo de investigación, titulado: “ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DEL RIESGO DE INUNDACIÓN MEDIANTE SIMULACIÓN ESPACIAL EN LA PARROQUIA PUERTO NAPO”, dirigido por el tutor, Ing. Patricio Santillán. En virtud de ello, manifestamos la originalidad de la conceptualización del trabajo, datos obtenidos, interpretación de resultados, y la elaboración de conclusiones, con el aporte de varios autores que se han referenciado apropiadamente en el contenido del documento.

Cristhian Mauricio Lapo Alcívar

CI. 210054049-7



AGRADECIMIENTO

Agradecimiento a mi Señor Dios fuente la de luz, camino y la vida, que permitido seguir por el sendero correcto, bajo su apoyo incondicional.

A nuestra Alma Mater, la Universidad Nacional de Chimborazo por la calidad de aprendizaje y valores que nos brindó la Carrera de Ingeniería Ambiental donde nos hemos formado como profesionales capaces de confrontar nuevos retos en la vida.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental, por haber compartido sus conocimientos y experiencias durante todo el periodo académico.

A nuestro catedrático Ing. Patricio Santillán quien como tutor de la investigación me ha apoyado y guiado adecuada en el desarrollo del trabajo de titulación.

A todos ellos gracias.

DEDICATORIA

A Dios, Virgen María y ángeles, por ser quienes me ha guiado por el sendero correcto siendo la luz en todo este camino.

A mis padres Vicente y Margarita, a mis hermanos Evelyn, Luis, Lisbeth y Mateo, por siempre estar a mi lado apoyándome incondicionalmente y por ser la guía a lo largo de mi vida.

A mi novia, quien ha compartido y me apoyado en cada momento de mi vida, quien ha depositado en mi confianza para la realización de mis metas.

A mis amigos y conocidos, gracias a todos por permitirme conocerlos y por sus experiencias de vida.

.

ÍNDICE

RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema.....	3
1.2 Justificación.....	4
2. OBJETIVOS	5
2.1 General	5
2.2 Específicos.....	5
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	5
3.1 El ciclo hidrológico en la Tierra.....	5
3.1.1 Características hidrológicas	6
3.1.2 Agua superficial.....	7
3.2 Precipitación	7
3.3 Riesgo.....	11
3.3.1 Riesgo de inundación.....	11
3.3.2 Gestión de riesgo de inundación.....	12
3.4 Modelación.....	13
3.4.1 Clasificación de los modelos	13
3.4.2 Criterios de selección del modelo.....	15
3.4.3 Modelo HEC-RAS.....	15
4. METODOLOGÍA	19
4.1 Modalidad.....	19
4.2 Tipos de Investigación.....	19
4.3 Metodología de la investigación.....	19
4.3.1 Delimitación del escenario de exposición	20
Delimitación por criterio del autor	20
Delimitación espacial	20
Delimitación temporal.....	20
4.3.2 Modelo.....	20
4.3.3 Caracterización de la amenaza.....	20

4.3.4 Simulación de la amenaza.....	21
Identificación del área de estudio.....	21
Determinación parámetro geomorfológicos.....	21
Establecimiento de topográficos y batimétricos.....	21
Zonas de inundaciones (alto, medio y bajo).....	22
4.3.5 Caracterización de la vulnerabilidad.....	24
4.3.6 Simulación de riesgo.....	24
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
5.1 Caracterización de la amenaza	24
5.2 Diagnóstico situacional de la vulnerabilidad de los poblados aledaños a la amenaza	33
5.3 Determinación zonas de inundación de riesgo alto, medio y bajo.	36
6. CONCLUSIONES	38
7. RECOMENDACIONES.....	39
8. BIBLIOGRAFÍA	40
9. ANEXOS	44
Anexo 1. Datos de Precipitación	44
Anexo 2. Cuestionario de Encuesta.....	54
Anexo 3. Resultado de la encuesta aplicada a la población	55
Anexo 4. Mapa de amenaza	61
Anexo 5. Mapa de vulnerabilidad	62
Anexo 6. Mapa de riesgo.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Definición de riesgo	11
Tabla 2 Gestión de riesgo basado en procesos	12
Tabla 3 Clasificación de modelos	14
Tabla 4. Clasificación de los modelos de espacio y tiempo.....	15
Tabla 5 Estaciones hidrográficas	24
Tabla 6 Parámetros geomorfológicos del área de estudio.....	26
Tabla 7 Estaciones meteorológicas	27
Tabla 8 Precipitación máximas y mínimas (1998-2017)	27
Tabla 9 Caudales (1998-2018).....	31
Tabla 10 Determinación de caudales altos, medios y bajos.....	31
Tabla 11 Determinación de la amenaza	32
Tabla 12 Riesgo de inundación	36
Tabla 13 Datos precipitación (1998-2017)	44
Tabla 14 Precipitación mensual	51
Tabla 15 Precipitación máximas y mínimas (1998-2017)	52
Tabla 16 Precipitación máximo 24 horas.....	53
Tabla 17. Género.....	55
Tabla 18. Auto identificación étnica	55
Tabla 19 Número de habitantes por vivienda	55
Tabla 20 Dormitorios por vivienda.....	56
Tabla 21 Tipo de vivienda.....	56
Tabla 22 Tipo de actividad económica local.....	57
Tabla 23 Frecuencia de los eventos de inundación.....	58
Tabla 24 Impacto por eventos de inundación	58
Tabla 25 Protocolo de prevención familiar	59
Tabla 26 Conocimiento de alberguen en el cantón	59
Tabla 27 Necesidad de identificación de riesgo.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación gráfica del ciclo hidrológico, el ciclo hidrológico es fundamental para entender los procesos de inundación en la tierra.....	6
Figura 2 Flujo superficial en una pendiente producido por un exceso, de lluvia sobre infiltración.....	7
Figura 3 Procedimiento de simulación HEC-RAS.....	22
Figura 4 Ubicación de las estaciones hidrológicas.	25
Figura 5 Determinación de transecto en HEC-RAS	25
Figura 6 Ubicación de las batimétrico y topográfico.....	26
Figura 7 Variación de precipitación (1998-2017).....	28
Figura 8 Caudales mínimo (1998-2025)	29
Figura 9 Caudales medio (1998-2025).....	29
Figura 10 Caudales máximo (1998-2025)	30
Figura 11 Mapa de poblados	32
Figura 12 Amenaza del área de estudio	33
Figura 13 Mapa de vulnerabilidad	34
Figura 14 Mapa de riesgos	37
Figura 15 Variación de precipitación (1998-2017).....	53

RESUMEN

La subcuenca del río Jatunyacu forma parte de la cuenca del río Napo, se ubica en la zona Oriental Alta, de la parroquia Puerto Napo, cantón Tena, provincia de Napo, y constituye el principal afluente del río Napo.

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo el análisis espacio-temporal del riesgo de inundación por medio de un modelo de simulación en el río Jatunyacu, este proceso comprende la caracterización de la amenaza usando datos topográficos e hidrográficos, para de esta manera realizar el diagnóstico de la vulnerabilidad de los poblados aledaños a la amenaza.

Para la determinación de las zonas de inundación se utilizó el modelo matemático HEC-RAS que conjuntamente con el Sistema de Información Geográfica y la incorporación de la extensión Hec-GeoRAS, permitieron obtener resultados de las zonas de inundación a lo largo de un transecto del río y de acuerdo a las áreas afectadas por inundación entre las dos estaciones hidrográficas (Jatunyacu y Ahuano), la cartografía de riesgo por inundación refleja una amenaza media del 40% y una amenaza alta de 173%, esto supone la probabilidad de inundaciones a las zonas pobladas, cultivos y bosques secundarios.

Los resultados manifiestan que en la cartografía de riesgo de inundación, la unidad predominante fue el de riesgo “alto”

PALABRAS CLAVES

Análisis espacio-temporal, riesgos naturales, inundación, Puerto Napo.

ABSTRACT

Jatunyacu Sub-basin River forms the Napo River basin part. It is locating in the Eastern High Zone, in the Puerto Napo parish. Tena canton, Napo province, and constitutes the main tributary of the Napo River.

The objective of this investigation work is the Spatio-temporal flooding risk analysis by simulation model in Jatunyacu River. This process includes the threat characterization with topographic and hydrographic data, to make the vulnerability diagnosis of the surrounding villages to the threat.

The HEC-RAS mathematical model is using to determinate the flood zones. Which together with the Geographic Information System and the incorporation of the Hec-GeoRAS extension, allowed obtaining results from the flood zones along a river transect. According to the flood-affected areas between the two hydrographic stations (Jatunyacu and Ahuano), flood risk mapping reflects a common threat of 40% and a high threat of 173%. This result implies the probability of flooding to the zones populated, crops, and secondary forests.

The results show that in the flood risk mapping, the predominant unit was the "high" risk.

Keywords: Spatio-temporal analysis, natural risks, flood, Puerto Napo.



SIGNATURE

Reviewed by: Maldonado, Ana
Language Center Teacher



1. INTRODUCCIÓN

Los ríos constituyen ejes importantes para el desarrollo de la humanidad, en su estado natural, cumplen diversas funciones ecosistémicas como provisión de agua para los seres humanos, auto purificación, control de inundaciones, sequías y mantenimiento de hábitat de vida silvestre. Los ríos reciben, almacenan y transportan el agua lluvia y este caudal fluctúa de acuerdo a ciclos naturales y a la estacionalidad de cada región (Encalada, 2016). Sin embargo, a causa de la contaminación ambiental se producen lluvias intensas o continuas que sobrepasan la capacidad de campo del suelo, supera el volumen máximo de transporte del río y el cauce principal se desborda y se inunda los terrenos circundantes (Sivincha, 2017).

El fenómeno natural de las inundaciones, genera grandes pérdidas humanas e impactos negativos socioeconómicos, afectando los bienes e infraestructura, pero además causan graves daños sobre el medio ambiente, el riesgo se ha acentuado en las últimas décadas, sobre todo para la población que habita en las riberas de los ríos, estas, constituyen áreas muy expuestas al peligro de inundaciones, por lo tanto, presentan un nivel de riesgo “alto” (Torres, 2018).

El riesgo es la probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiental) resultado de interacciones entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad. Este, es a menudo percibida como una característica intrínseca de un sistema o elemento, aunque la mayoría de los analistas reconocen que la vulnerabilidad está condicionada a un peligro, medir la vulnerabilidad no se limita a los enfoques cuantitativos; sino que abarca métodos cuantitativos y cualitativos para describir y poner en funcionamiento la vulnerabilidad (Díaz, 2015).

Ecuador es un país que por su ubicación geográfica, posee un clima eminentemente tropical con lluvias abundantes, de altas temperaturas y vegetación exuberante; sin embargo, estas características se ven afectadas por la presencia de factores como: La Cordillera de los Andes que atraviesa el territorio longitudinalmente, por la Corriente de

Humboldt, por el Anticiclón del Pacífico Sur; lo cual da como resultado un clima diversificado, es decir, cambiante durante los años.

En la provincia de Napo, cantón Tena, se ubica el río Jatunyacu, en este, se han producido numerosos eventos de inundaciones cobrando daños estructurales y pérdidas económicas de gran envergadura (Londoño Amaguay, 2018), sin embargo este riesgo no ha sido gestionado por la carencia de herramientas técnicas de evaluación de riesgo, razón por la cual se ha procedido a investigar a fondo este fenómeno mediante un modelo de simulación de inundación con información de las estaciones hidrográficas cercanas que otorgan datos de los regímenes pluviométricos e hidrológicos así como los caudales anuales, identificándose una gran variación en los mismos, y una diferencia de 140 mm de precipitación entre los meses más secos y los más húmedos. (GAD Tena, 2015)

El Gobierno Descentralizado Provincial del Napo, considera la pertinencia de realizar un análisis de riesgo para ejecutar una estimación de daños, pérdidas y consecuencias que pueden ocasionarse a raíz de uno o varios escenarios de desastre, y tratar de determinar la probabilidad de ocurrencia y la magnitud de los daños por fenómenos naturales extremos.

El río Jatunyacu pertenece a la Cuenca del Napo, sub-cuenca del río Jatunyacu y corresponde a zonas de drenajes menores; subregión Cuenca Baja o Llanura Amazónica. (GAD Tena, 2015)

Si un “escenario de riesgo” es la combinación entre una amenaza de cualquier origen y una población vulnerable, que ocurre en un momento y un lugar determinados, (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2017) el presente trabajo definirá al análisis de riesgo como la obtención del conocimiento suficiente y necesario para definir y caracterizar a la amenaza, a la población vulnerable, su zona de impacto o el marco geográfico de la interacción entre ambos, ponderando la influencia del momento en que se produce dicha interacción a través de escenarios de riesgo.

1.1 Problema

Las inundaciones en Ecuador se presentan de manera recurrente, especialmente en las cuencas bajas del Litoral Ecuatoriano, cuencas de la Amazonía y en algunas cuencas de la región Andina. (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, 2014). Las inundaciones, sin importar su origen, tienen efectos secundarios tales como afectaciones a la salud, transporte, movilidad, comercio, etc.; generando un elevado costo de atención, incremento en los costos directos e indirectos de las afectaciones y procesos de recuperación. (Evans, Bremauntz, Gavilán, & Lema, 2013).

La población de la parroquia Puerto Napo se ubica en áreas susceptibles a inundaciones, generando impactos social, económico y ambiental; sus consecuencias son reflejados en pérdidas de vidas humanas, de bienes de los ciudadanos/as, poblaciones y cultivos inundados sin posibilidades de rápido drenaje, vías interrumpidas, puentes en riesgo de caerse, sistemas sanitarios colapsados, escasez de agua potable, posibilidades de epidemias, entre otros. (GAD Tena, 2015).

El historial de inundaciones que se han registrado en los últimos años es muy alto, y se presentan de manera periódica, especialmente en las partes bajas del río Jatunyacu. Los problemas derivados son: pérdidas de cosechas por inundaciones intempestivas y la pérdida de suelos por acción erosiva de las corrientes de agua (Muñoz, 2017).

Hasta la actualidad, no existen investigaciones sistemáticas sobre el nivel de riesgo de inundación de la parroquia Puerto Napo. Sin embargo, según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en los 2010, 2012, 2016, 2017, se produjeron las más fuertes series de inundaciones, superando los niveles promedios alcanzados en años anteriores, provocando grandes daños que acarrea este fenómeno natural.

Por otra parte, la gestión de inundaciones en la parroquia Puerto Napo se dificulta por la deficiencia en el manejo de datos hidrometeorológicos y la escasez de datos morfológicos; los cuales no se han obtenido por aspectos económicos y técnicos, esto sumada a la variabilidad geológica, la extensión del sitio, el comportamiento de caudal, factores climáticos y tormentas de gran duración e intensidad, dan lugar a la presencia de hidrogramas con picos pronunciados y que se desplazan a lo largo de la red de drenaje natural, lo que significa que la probabilidad de inundaciones a lo largo del río es sumamente alta.

1.2 Justificación

La relevancia social y trascendencia de la investigación se sustenta en la Constitución Política del Ecuador, la cual reconoce en su artículo 389 que el Estado “protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad” (Constitución Ecuador, 2008).

El estudio nace a partir de una problemática real, que es la de evaluar el nivel de riesgo de inundación al cual las personas del área de estudio están expuestas. Desde esta perspectiva, el presente trabajo tiene como objetivo general identificar el riesgo de inundación de los poblados aledaños a la microcuenca del río Jatunyacu, mediante el uso y aplicación de las herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG) y el modelo matemático HEC-RAS, estos resultados servirán para proponer mecanismos de prevención y ordenamiento territorial.

Las nuevas tendencias de uso de modelos mediante sistemas de información geográfica por su naturaleza integradora, se ha categorizado a la cartografía de las zonas con peligro de inundaciones, como una tarea de suma importancia para preservar la vida y la propiedad pública y privada, durante la planificación parroquial para el desarrollo y constituirá a su vez punto de partida para: decidir sobre posibles inversiones, políticas de control, medidas mitigación de los riesgos y evaluar las posibles pérdidas por este peligro natural.

El medio ambiental analizado corresponde al río Jatun Yacu, y a las comunidades aledañas al mismo. El alcance es el análisis del riesgo mediante la modelación del sistema natural.

2. OBJETIVOS

2.1 General

Realizar un análisis espacio-temporal de riesgo de inundación mediante simulación espacial en la parroquia Puerto Napo.

2.2 Específicos

- Caracterizar la amenaza mediante datos geométricos e hidrográficos.
- Simular el riesgo de inundación mediante el sistema de análisis de ríos (HEC-RAS) del Centro de ingeniería hidrológica (CEIWR-HEC).
- Determinar zonas de inundación de riesgo alto, medio y bajo.
- Realizar un diagnóstico situacional de la vulnerabilidad de los poblados aledaños a la amenaza.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 El ciclo hidrológico en la Tierra

El agua en la naturaleza no permanece estática, demuestra un constante dinamismo (Maderey, 2015), se presenta en un espacio llamado hidrósfera, que se extiende desde unos quince kilómetros arriba en la atmósfera hasta un kilómetro por debajo de la litosfera o corteza terrestre (Vázquez, Conde, & Rosalino, 2017)

El ciclo hidrológico es el foco central de la hidrología, no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua. (Chow, Maidment, & Mays, 2010), y es el proceso por el cual se realiza el abastecimiento de agua para los seres vivos (Maderey, 2015)

El ciclo hidrológico es la sucesión de fases por las que pasa el agua en su movimiento de la atmósfera a la Tierra y en su retorno a la misma. (Organización Meteorológica Mundial, 2012).

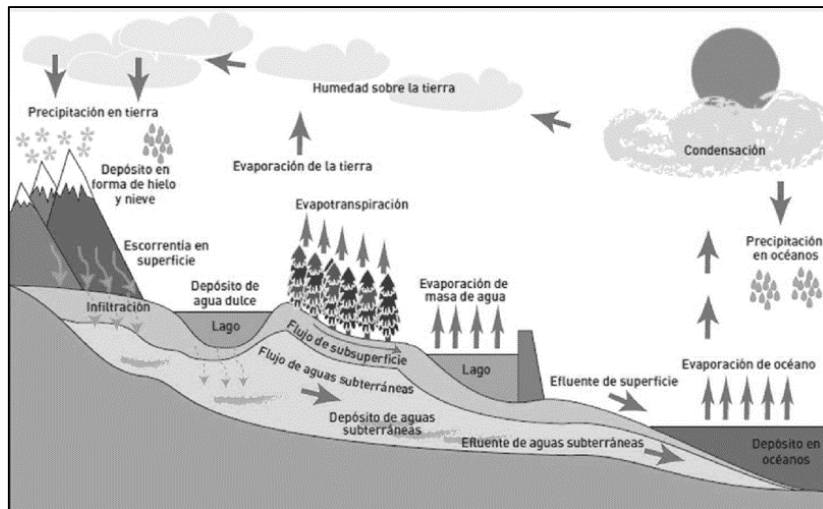


Figura 1. Representación gráfica del ciclo hidrológico, el ciclo hidrológico es fundamental para entender los procesos de inundación en la tierra.

Fuente: Tunza, 2010

En la figura 1, se muestra en forma esquemática cómo el agua se *evapora* desde los océanos y desde la superficie terrestre para volverse parte de la atmósfera; el vapor de agua se transporta y se eleva en la atmósfera hasta que se condensa y *precipita* sobre la superficie terrestre o los océanos; el agua precipitada puede ser *interceptada* por la vegetación, convertirse en *flujo superficial* sobre el suelo, *infiltrarse* en él, correr a través del suelo como *flujo subsuperficial* y descargar en los ríos como *escorrentía superficial*. (Martínez Santa, 2018)

La mayor parte del agua interceptada y de escorrentía superficial regresa a la atmósfera mediante la evaporación. El agua infiltrada puede percolar profundamente para *recargar* el agua subterránea de donde emerge en manantiales o se desliza hacia ríos para formar la escorrentía superficial, y finalmente fluye hacia el mar o se evapora en la atmosfera a medida que el ciclo hidrológico continúa. (Chow, Maidment, & Mays, 2010)

3.1.1 Características hidrológicas

Las características hidrológicas de una región están determinadas por su estructura geológica, geográfica y, en forma dominante, su clima. Entre los factores climatológicos que afectan las características hidrológicas de una región están la cantidad y distribución de la precipitación y temperatura principalmente. (Linsley, Kohler, & Paulus, 2011)

Los problemas hidrológicos en los cuales la meteorología juega un papel importante incluyen la determinación de la precipitación máxima probable y predicción de la precipitación. (Sociedad Geográfica de Lima, 2011)

3.1.2 Agua superficial

Horton (2014), describió el flujo superficial de la siguiente manera: “Despreciando la interceptación por vegetación, la escorrentía superficial es aquella que parte de la lluvia que no es absorbida por el suelo mediante infiltración (figura 2). Si el suelo tiene una capacidad de infiltración f , que se expresa en pulgadas absorbidas por hora, entonces cuando la intensidad de la lluvia i , es menor que f , la lluvia es absorbida completamente y no existe escorrentía superficial.”

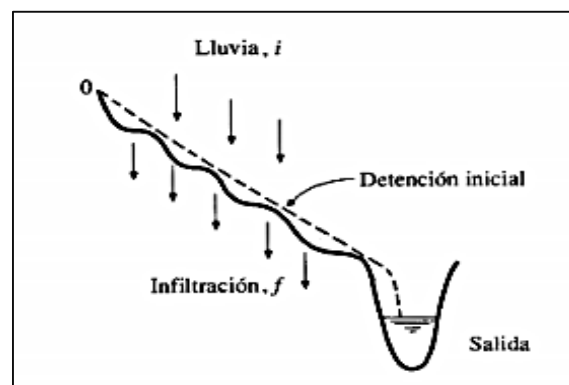


Figura 2 Flujo superficial en una pendiente producido por un exceso, de lluvia sobre infiltración
Fuente: Horton, 2014

Se puede decir como una primera aproximación que si i es menor que f , la escorrentía superficial ocurrirá a una tasa de $(i-f)$ Horton le dio nombre de “exceso de lluvia”. Horton consideró que la escorrentía superficial tomaba la forma de flujo de láminas cuya profundidad podía medirse. A medida que el flujo se acumulaba moviéndose a lo largo de la pendiente, su profundidad aumentaba hasta que se descargaba en un canal.

3.2 Precipitación

3.2.1 Antecedentes históricos

La precipitación fue medida en la India desde el siglo IV A.C. Frontino, quien fue comisionado hidráulico de Roma en el año 97 de nuestra era, basó los estimativos de flujo en el área de secciones transversales sin tener en consideración la velocidad de éste. En los Estados Unidos, las medidas organizadas de precipitación se iniciaron en 1819 bajo

el cirujano general del Ejército; fueron transferidas al Signal Corps en 1870 y finalmente, en 1891, fueron encargadas al organismo recientemente creado llamado U. S. Weather Bureau, el cual lleva el nombre de National Weather Service a partir de 1970. En el río Mississippi se llevaron a cabo medidas aisladas de escurrimiento a partir de 1846 pero sólo comenzó un programa sistemático en 1888 cuando el U.S. Geological Survey se hizo cargo de esta labor. No es sorprendente el hecho de que se haya efectuado poco trabajo cuantitativo en hidrología con anterioridad a los primeros años del presente siglo cuando hombres tales como Horton, Mead y Sherman empezaron a explorar el campo. La gran expansión de la actividad en control de inundaciones, irrigación, conservación de suelos y otros campos relacionados que comenzó alrededor de 1930 originó el primer impulso real hacia la investigación organizada en hidrología ya que la necesidad de datos más precisos para el diseño de estas obras se hizo más evidente. La mayoría de los conceptos actuales de la hidrología datan en 1930.

3.2.2 Formación de precipitación

Las nubes son arrastradas por los vientos, algunas permanecen sobre los océanos y, otras, son trasladadas hacia los continentes. En estos movimientos pueden enfriarse, por medio de los cuales las gotitas que forman las nubes se pueden agrandar, ya sea porque se juntan entre ellas o porque se aglomeran alrededor de partículas que flotan en la atmósfera. Al agrandarse, las gotas de agua caen por su propio peso hacia la superficie de la Tierra, provocando las precipitaciones. (Díaz, 2015)

Las precipitaciones que se producen con temperaturas sobre 0°C, caen en forma de lluvia. En relación al diseño hidrológico, la lluvia tiene mayor importancia por el sitio de estudio. (Encalada, 2016)

Para que la humedad, presente en la atmósfera, se transforme en precipitación, se requieren tres condiciones: producirse un estado de saturación (generalmente por enfriamiento), un cambio de fase del vapor de agua a líquido, y un crecimiento de las pequeñas gotas que permitan su caída. Como resultado de las dos primeras condiciones se forman las nubes, pero no necesariamente la precipitación, para que se formen gotas, de suficiente tamaño y peso deben existir núcleos de condensación, constituidos por polvo atmosférico o cristales de sales. (Fatorelli & Pedro, 2011)

El enfriamiento se produce por efecto de ascenso de una masa de aire, el cual define los tipos de precipitaciones. Existen tres tipos de precipitaciones: ciclónica, orográfica y convectiva. (Bateman, 2009)

3.2.3 Interpretación de datos de lluvia

Para realizar una adecuada interpretación de los registros de precipitación se deben tener en cuenta la lámina, la intensidad y la duración de la lluvia, con las cuales se construyen diagramas como el hietograma que considera la distribución en el tiempo de la lluvia, o gráficos como la curva de masa de lluvia, útiles en el diseño hidrológico. (Fatorelli & Pedro, 2011)

3.2.4 Estimación de la distribución espacial de las precipitaciones

La precipitación media en una zona o en una cuenca es motivo de considerable interés en el diseño hidrológico y su correcta evaluación es muy importante en la modelación de los procesos de lluvia y escorrentía, tanto en modelos de pronóstico como en diseño. (Maderey, 2015)

Según sean las necesidades del estudio, puede usarse el valor de la precipitación media anual, mensual, diaria o de una tormenta distribuida sobre un área.

3.2.5 Fenómeno natural de inundación

Las inundaciones tienen una función natural en el ciclo terrestre, cuando estas son de carácter fluvial, son eventos que se han producido periódicamente y que han sido la causa de la formación de las llanuras en los valles de los ríos, se encargan de nutrir la tierra para que esta sea fértil arrastrando nutrientes hasta ella. (Pimiento Avella & Trujillo Osorio, 2015)

El agua es un recurso natural imprescindible para la vida y para el desarrollo de la sociedad, pero también puede provocar grandes desastres cuando los caudales presentes en una región, exceden la capacidad de infiltración de la misma y sus posibilidades de evacuación del agua en exceso. (Rodríguez M & Valcarce O, 2017)

Según el Glosario Hidrológico Internacional inundación es el desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua, acumulación de agua

procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas. (Organización Meteorológica Mundial , 2012), entendemos “nivel normal” como el nivel al que se está acostumbrado y que no causa ningún perjuicio.

Las inundaciones son la ocupación anormal por parte del agua a zonas que de manera normal están libres de esta. Las inundaciones están asociadas a desbordamientos de ríos, lluvias torrenciales, entre otros (Pimiento Avella & Trujillo Osorio, 2015)

El presente trabajo se destina al estudio de la unidad ecológica río, el cual no es un sistema cerrado es un sistema que mantiene intercambio, y el agua contenida en esta no se encuentra inmóvil, si no que modifica su posición y estado físico en una serie de procesos denominados ciclo del agua, que implica en cada uno transporte, almacenamiento, y cambio de estado. (Chow, Maidment, & Mays, 2010)

El cauce del río puede definirse como un canal alargado que ha sido modelado por acción del agua y que permite el movimiento de la misma, hay varias formas de caracterizar un cauce: en función de su profundidad, área en la sección transversal, de la pendiente (o ángulo que forma la superficie del agua con el plano horizontal), para designar el flujo de una corriente de agua se designa el termino caudal. Se define como la cantidad de agua que pasa por una sección transversal del cauce en un tiempo dado. (Vicuña, Morales, & Escudero, 2009)

Un parámetro relacionado con el caudal es la velocidad media, que se halla considerando todas las velocidades en los distintos puntos del río, En la orilla por ejemplo la velocidad es menor que en el centro del cauce debido a que existe mayor rozamiento: la turbulencia afecta a las corrientes medias y rápidas y consiste en la formación de remolinos. El caudal varía en función del clima (p.ej., en épocas frías aumenta las precipitaciones. (Vicuña, Morales, & Escudero, 2009)

Cuando un río sufre un incremento en su caudal de modo que las aguas se salen del cauce invadiendo las zonas ribereñas, nos encontramos frente al fenómeno conocido como crecidas. Los estragos causados por estas avenidas de agua se convierten en verdaderas catástrofes cuando hay asentamiento junto al río (Vicuña, Morales, & Escudero, 2009)

El río como cuerpo de agua en movimiento, confinado a un canal, que se mueve por la influencia de la gravedad se conforme de:

- Cabeceras - Fuentes del río, en las montañas
- Desembocadura - lugar donde el río entra a un cuerpo de agua (lago o mar)
- Canal - una depresión larga, angosta y alargada, erosionada por una corriente en roca o en sedimento.
- Bancos - los lados del canal
- Lecho - fondo del canal
- Planicie de inundación - fondo de un valle, plano, compuesto de sedimento depositado por una corriente.

3.3 Riesgo

Probabilidad de que un fenómeno, de origen natural o humano, se produzca en un determinado tiempo y espacio. Peligro (potencial) de que las vidas o los bienes materiales humanos sufran un perjuicio o daño. Posibilidad a la que están expuestos los pobladores de un determinado lugar. (Evans, Bremauntz, Gavilán, & Lema, 2013)

3.3.1 Riesgo de inundación

Según la Estrategia Internacional de Reducción de Riesgos de Desastres (EIRD), se entiende que Riesgo: “es una función de la amenaza de inundación, la exposición de la población y sus bienes a la amenaza, y de la situación de vulnerabilidad a la que se expone la población y sus activos”. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2017). Estos factores no son estáticos y se pueden mejorar, dependiendo de la capacidad institucional e individual de hacer frente y/o de actuar para reducir el riesgo. Los modelos sociales y ambientales de desarrollo pueden aumentar la exposición y la vulnerabilidad, por lo tanto pueden agravar el riesgo. Ahí radica la importancia de una correcta identificación del riesgo como se lo puede ver en la tabla 1.

Tabla 1 Definición de riesgo

FACTOR	DEFINICIÓN
Amenaza → ×	Es un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros.
Vulnerabilidad → ×	La población, las propiedades, los sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existen amenazas y por consiguiente, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales.

Exposición →	Condiciones de una comunidad que determinan su predisposición, susceptibilidad y exposición al impacto negativo de un fenómeno físico destructor y a reponerse después de un desastre.
÷	
Resiliencia o capacidad de afrontamiento →	Capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas.
=	
RIESGO DE DESASTRE →	Función de la amenaza, la exposición de la población y sus bienes a la amenaza y de la situación de vulnerabilidad a la que se expone la población y sus activos.

Fuente: (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2017)

Elaborado por: Lapo, C., 2019

3.3.2 Gestión de riesgo de inundación

En el proceso Riesgo-Desastre se identifican cuatro hitos fundamentales: (1) la creación del riesgo futuro, que consiste en la creación de factores/condiciones de riesgo a futuro; en este hito, el determinante fundamental tiene que ver con la probable exposición de elementos socioeconómicos en condiciones de vulnerabilidad frente a fenómenos físicos potencialmente peligrosos y la creación misma de los peligros y vulnerabilidades, como una expresión de condiciones inseguras como consecuencia de presiones dinámicas y causas de fondo que son sociales, políticas y económicas; (2) la consolidación y/o permanencia del riesgo actual, que se refiere a la verificación de los factores/condiciones de riesgo en el territorio como hechos ya creados, caracterizado por la probabilidad de pérdidas a futuro, y que son igualmente condicionados por causas políticas, sociales y económicas; (3) la actualización del riesgo o la ocurrencia del desastre, que se refiere al hito en donde el fenómeno peligroso se manifiesta impactando los elementos socioeconómicos expuestos en condiciones de vulnerabilidad; en este hito se actualiza el escenario de riesgo, evidenciando efectivamente los daños y las pérdidas que están en función de las condiciones inseguras en relación con el fenómeno físico detonante; y (4) la transformación del escenario de riesgo como consecuencia del impacto del fenómeno físico. Tal impacto, está determinado por la vulnerabilidad de los elementos socioeconómicos expuestos. Este hito se caracteriza por la presencia de un nuevo escenario de riesgo post desastre. (PREDECAN, 2009)

De este modo se presenta el siguiente esquema de gestión en la tabla 2.

Tabla 2 Gestión de riesgo basado en procesos

1. Generar conocimiento sobre el riesgo de desastre en sus diferentes ámbitos.	2. Prevenir el riesgo futuro
	3. Reducir el riesgo existente
	4. Preparar la respuesta

-
5. Responder y rehabilitar
 6. Recuperar y reconstruir
-

Fuente: (PREDECAN, 2009)

3.4 Modelación

Un modelo hidrológico, busca representar los procesos involucrados en la distribución de la lluvia y la generación de caudales en una determinada cuenca. (Mendoza, Aldana Alonso, & Castolo, 2017).

La modelación hidrológica comienza a principios del siglo XIX utilizándose para el diseño de obras hidráulicas y hasta mediados del siglo XX se limitó a expresiones matemáticas simples para representar mecanismos individuales involucrados en los procesos del ciclo hidrológico. (Jorquera, Weber, & Reyna, 2014)

En la década de los 60, con el advenimiento de la revolución digital, se realizó el primer intento por representar casi en su totalidad al ciclo hidrológico en una cuenca. Surge así el Standford Watershed Model-SWM de Crawford y Linsley en 1966 (Singh, 2015)

La aparición de computadoras más potentes, la mayor disponibilidad de datos distribuidos provenientes de sensores remotos y las herramientas proporcionadas por los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han permitido el desarrollo de este campo. (Jorquera, Weber, & Reyna, 2014).

La modelación matemática de la hidrología tiene una gran importancia en la interpretación de las interacciones dinámicas producidas entre los sistemas climáticos, terrestres, edafológicos, litológicos e hidrosféricos (Fatorelli & Pedro, 2011)

Otra técnica que ha producido un verdadero cambio en el procesamiento y manejo de datos geográficos es el desarrollo de los “Sistemas de Información Geográfica” (SIG), facilitando la implementación, calibración, evaluación y comparación de modelaciones de cuencas. El modelo HEC-Geo RAS (HEC, 2009) es un claro ejemplo de uso práctico de los SIG en los modelos hidráulicos.

3.4.1 Clasificación de los modelos

Los modelos son de distintos tipos y han sido desarrollados para diferentes propósitos. Sin embargo muchos modelos comparten similitudes estructurales, debido a que sus hipótesis básicas son las mismas, y otros son diferentes (Fatorelli & Pedro, 2011).

Los modelos de la cuenca pueden ser clasificados en función de distintos criterios:

3.4.1.1 Proceso de descripción

Estos modelos incluyen a todos los procesos hidrológicos que contribuyen a la salida del sistema (cuenca). Basados en la descripción de los procesos, en conjunto con las características del sistema, (Lagrost, 2014) los modelos se describen como se detalla en la tabla 3:

Tabla 3 Clasificación de modelos

Clasificación	Tipos
Determinístico	Lineales
	No lineales
	Conceptuales
	Caja negra
	Respecto al espacio (de parámetros concentrados o distribuidos)
	Respecto al tiempo (de modelación por eventos o continua)
Estadístico/Estocástico	Generación de series de tiempo
	Regresión
Modelos de Optimización	Probabilísticos
	Programación lineal
	Programación dinámica

Fuente: (Fatorelli & Pedro, 2011)

La respuesta natural de una cuenca a un impulso de entrada (precipitación) es siempre continua o sea varía permanentemente en el tiempo. En la modelación de cuencas, en la simulación de las relaciones precipitación-escorrentía por razones prácticas existen dos métodos de modelación: por eventos y continua. (Zubieta, Wilber, & Waldo, 2018)

3.4.1.2 Escala de tiempo y espacio

La escala de tiempo puede ser definida como una combinación de dos intervalos de tiempo. Uno de los intervalos se utiliza para los datos de entrada y para cálculos internos. El segundo se utiliza para los datos de salida y la calibración del modelo. Basados en esta descripción los modelos se distinguen según (Fatorelli & Pedro, 2011), como se visualiza en la tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de los modelos de espacio y tiempo
Escala

Espacio			Tiempo		
Subcuenca	Fajas aritméticas	Celdas	Evento	Continuo	Gran escala

Fuente: (Fatorelli & Pedro, 2011)

- En la modelación por eventos (discretos) se consideran la simulación de eventos aislados, por ejemplo, el período de tiempo de una determinada creciente. (Bateman, 2009)
- En la modelación continua se representa la respuesta de la cuenca a un impulso de entrada continua, lluvia o no lluvia, evapotranspiración, infiltración, percolación, temperatura, etc. (Bateman, 2009)

3.4.2 Criterios de selección del modelo

Para la selección de modelos se busca que posean las siguientes características:

- Representatividad: estos modelos tienen la capacidad de representar un amplio rango de problemas hidrológicos e hidráulicos.
- Compresibilidad: en el sentido que el procesamiento de cada una de las fases del ciclo.
- Aplicabilidad
- Accesibilidad y conectividad

3.4.3 Modelo HEC-RAS

3.4.3.1 Definición

HEC-RAS es un modelo que permite la realización de simulaciones hidráulicas unidimensionales en una red natural o artificial. (Fatorelli & Pedro, 2011)

El sistema contiene tres componentes de simulación hidráulica unidimensional:

- Cálculo de perfiles de superficie de agua en flujo permanente
- Cálculo de perfiles de superficie de agua en flujo no permanente
- Cálculo de transporte de sedimentos

El objetivo principal del HEC-RAS es calcular las elevaciones de las superficies de agua en cualquier ubicación de interés ya sea para un conjunto dado de datos de flujo (simulación de flujo permanente) o través de tránsito de hidrogramas a través del sistema (simulación de flujo no permanente). (Fatorelli & Pedro, 2011)

3.4.3.2 Datos de ejecución

Los datos necesarios para ejecutar estos cálculos están divididos en las siguientes categorías:

Datos geométricos: son requeridos para cualquiera de los análisis desarrollados dentro del HEC-RAS. Estos datos establecen la conectividad del sistema de río, datos de secciones transversales, longitudes de los tramos, coeficientes de pérdida de energía y la información de uniones de ríos. Dentro de esta categoría también se incluyen a las distintas estructuras hidráulicas existentes en la red. (Organización Meteorológica Mundial , 2012)

El esquema del sistema del río define como los distintos tramos se encuentran conectados entre sí. La geometría de borde para el análisis del flujo en cauces naturales se especifica en función de las secciones transversales y la distancia entre ellas. Estas secciones deben representar lo mejor posible a la geometría del cauce y a la llanura de inundación, y además, todas ellas deben estar conectadas topográficamente de modo que también se defina el perfil longitudinal. (Rodríguez M & Valcarce O, 2017)

Las secciones transversales se pueden establecer a distancias fijas o variables y deben estar ubicadas en lugares representativos donde se producen cambios ya sea por descarga, pendiente, forma o rugosidad. Las secciones transversales se pueden definir con hasta 500 puntos. (Fatorelli & Pedro, 2011)

Los distintos coeficientes de pérdidas utilizados para evaluar la pérdida son los siguientes:

- Coeficiente n de manning
- Coeficiente de contracción o expansión
- Coeficientes de pérdidas

Datos de flujo permanente

Para realizar los cálculos de perfiles de superficie de agua en flujo permanente se necesitan los siguientes datos:

Régimen de flujo: Los cálculos de los distintos caudales comienzan en una sección transversal con condiciones iniciales conocidas o supuestas, y procede aguas arriba, si el flujo es subcrítico, o aguas abajo si es supercrítico. Los caudales subcríticos calculados por el programa están limitados a profundidades iguales a la crítica o menores. En el caso de que flujo pueda pasar de crítico a supercrítico o viceversa el programa debe correrse en el modo de régimen mixto. (Perez & Rodriguez, 2009)

Condiciones de borde: En régimen sub crítico (super crítico) la condición de borde se necesita solo en el extremo aguas abajo (aguas arriba), y en el caso de flujo mixto serán necesarias en todos los extremos del sistema. Las condiciones de borde disponibles son: elevación conocida de la superficie de agua, la profundidad crítica, la profundidad normal y la curva altura-caudal. (Fatorelli & Pedro, 2011)

Información de descarga debe ser introducida para cada una de las secciones transversales para calcular el perfil de la superficie de agua. Los datos de caudal se introducen desde aguas arriba hasta aguas abajo para cada tramo, y se supone que permanece constante en el mismo. (Zubieta, Wilber, & Waldo, 2018)

3.4.3.3 Algoritmo de cálculo

El algoritmo de cálculo para perfiles de superficie de agua en flujo permanente, se basa en la ecuación de energía unidimensional, las pérdidas de energía son evaluadas en función de la fricción (ecuación de Manning) y de la contracción/expansión (coeficiente multiplicado por el cambio en la altura de velocidad). (Chow, Maidment, & Mays, 2010)

Los perfiles de superficie de agua se calculan a partir de una sección transversal a la próxima resolviendo la ecuación de la energía, (U.S Army Corps of Engineers, 2018) la cual se da a continuación:

$$Y_{j+1} + Y_{j+1} + \frac{\alpha_{i+1} V_{i+1}^2}{2g} = Y_i + Z_i + \frac{\alpha_i V_i^2}{2g}$$

Donde:

$Y_i, Y_{(I+1)}$: profundidad del agua en las secciones transversales, Y_i, Y_{I+1} : profundidad del agua en las secciones transversales, $Z_i, Z_{(I+1)}$: elevación del fondo del canal con respecto al plano de comparación, $\alpha_i, \alpha_{(I+1)}$: coeficiente de ponderación de velocidad, g : aceleración de la gravedad y h_c : altura de pérdida de energía.

La pérdida de altura de energía entre dos secciones transversales se debe a las pérdidas por fricción y a las pérdidas por contracción o expansión, y está dada por la siguiente ecuación:

$$h_c = LS_f + C \left| \frac{\alpha_{i+1} \widehat{V_{i+1}^2}}{2g} - \frac{\alpha_{i+1} V_i^2}{2g} \right|$$

Donde:

L : Longitud de tramo ponderada según el caudal en el mismo.

$\widehat{S_f}$: Pendiente de fricción entre dos secciones

C : coeficiente de pérdida por contracción o expansión

El programa de flujo permanente se aplica bajo las siguientes hipótesis:

- a. Flujo permanente: en la ecuación de energía no se incluyen términos en función del tiempo.
- b. Flujo gradualmente variado: se basa en la premisa de que existe una distribución de presiones hidrostáticas en cada sección transversal. Para flujo rápidamente variado cambia a la ecuación de movimiento.
- c. Flujo unidimensional; se supone que la energía total es la misma para todos los puntos en la sección transversal.
- d. Cauces con pendientes pequeñas: ya que la altura de presión está representada verticalmente por la profundidad del agua. (U.S Army Corps of Engineers, 2018)

4. METODOLOGÍA

4.1 Modalidad

Cualitativa - cuantitativa: el proyecto de investigación será aplicada al análisis de riesgo de inundación mediante algoritmos de cálculos, diagnóstico mixto de la vulnerabilidad, amenaza y riesgo.

4.2 Tipos de Investigación

Por el propósito o las finalidades perseguidas la investigación

Investigación Aplicada: Servirá como herramienta para resolver problemas prácticos concretos, se caracteriza porque busca la aplicación en las entidades de control.

Investigación Documental: Se presenta información relevante de diversas fuentes confiables como libros, artículos científicos, informes de entidades gubernamentales, sin tratar de aprobar u objetar ideas.

Según la clase de medios utilizados para obtener los datos

Investigación de campo: La estrategia que cumple el investigador se basó en métodos que permitieron recoger los datos en forma directa de la realidad donde se presenta.

Nivel de conocimientos que se adquieren

Investigación Correlacional: Se relacionaron una serie de cuestiones y midieron cada una de ellas independientemente para así describir lo que se investiga. Consistió en reflejar lo que aparece, tanto en el ambiente natural como social.

4.3 Metodología de la investigación

La ejecución metodológica del modelo espacio-temporal de riesgo de inundación mediante simulación espacial en la parroquia Puerto Napo, parte de la definición de riesgo como la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas, los factores que lo componen son la amenaza y la vulnerabilidad. (CIIFEN, 2019)

$$R = Ax V \text{ Ecuación 2}$$

$R=\text{riesgo}, A=\text{Amenza}, V=\text{vulnerabilidad}$

4.3.1 Delimitación del escenario de exposición

Delimitación por criterio del autor

Se consideró como amenaza el río Jatunyacu ubicado en la provincia de Napo, cantón Tena que posee una extensión del estudio será de 54 km, razón por la cual se procedió a una delimitación de un tramo del río mediante la identificación de dos estaciones hidrológicas, una en la denominada zona alta del río (Estación Hidrológica Jatunyacu), y la otra en la zona baja del río (Estación Hidrológica Ahuano).

Delimitación espacial

El modelo abarcó 58 km del Río Jatunyacu, geográficamente se ubicó en 4 parroquias rurales del cantón Tena: Parroquia Talag, Puerto Napo, Misahualli, y Ahuano.

Hidrográficamente se ubicó en dos microcuencas: Drenajes menores y Jatunyacu.

Delimitación temporal

Se realizó un análisis desde el año 1998 hasta el año 2017 y una proyección para el año 2018 hasta el año 2025.

4.3.2 Modelo

- Nombre del modelo: HEC-RAS del El Centro de Ingeniería Hidrológica Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU.
- Tipo según proceso: Proceso concentrado, mixto (determinístico y estocástico)
- Tipo según escala: espacial (transepto de río) y temporal (evento y continuo)
- Algoritmo de Cálculo: Perfil de superficie de agua en flujo permanente
- Datos necesarios para ejecutar los cálculos: Datos geométricos y Datos de flujo permanente (régimen de flujo, condiciones de borde, información de descarga)

4.3.3 Caracterización de la amenaza

- Se identificaron parámetros de temperatura y precipitación mediante los datos meteorológicos y climatológicos, del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – Ecuador (INAMHI) para períodos comprendidos entre los años de 1998-2017. Además se tomaron datos de caudales de los anuarios hidrográficos de la misma institución.

- Se midieron profundidades in situ cada 500m durante la longitud de 54 km durante el transecto de estudio.
- Se utilizaron curvas de nivel del Instituto Geográfico Militar y además se tomaron puntos de referencia para definir con mayor precisión la hipsometría del área de estudio.
- Se identificó el respectivo coeficiente de manning. (Fatorelli & Pedro, 2011)

4.3.4 Simulación de la amenaza

Se procedió a ingresar los datos en un software SIG, que es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG, con apoyo de la herramienta HEC GeoRAS, así se generó el mapa de simulación de la amenaza (alta, media y baja).

Para el desarrollo de la investigación se consideró el siguiente proceso metodológico:

Identificación del área de estudio

En la fase se determinó la ubicación geográfica, desde los puntos en la determinación del caudal y obtención de los datos batimétricos; utilizados las técnicas observación directa por medio de los instrumentos de investigación como registro de campo, registro fotográfico, equipo GPS y observación directa en el entorno.

Determinación parámetro geomorfológicos

El procesamiento espacial de los modelos de elevación del terreno (MDT) con sistemas de información geográfica, por medio de un análisis espacial de la red hidrológica determinada entre las estaciones hidrográficas, delimitado en el área de estudio con el uso de las herramientas SIG, determinado la pendiente, calculó de la superficie, cobertura vegetal.

Establecimiento de topográficos y batimétricos

La batimetría refiere al levantamiento topográfico del relieve de superficies del terreno cubierto por el agua, (Méndez, 2019), se realizó la modelación geométrica del río Jatun Yacu

Para el levantamiento batimétrico, se realizó secciones transversales cada 500 m, durante un tramo de 58 km de río, en cada sección se midió el ancho (espejo de agua) y

posteriormente se dividió en 10 partes, y en cada extremo se midió la profundidad, se georreferenciaron los puntos de estudio y los datos obtenidos se correlacionaron con los datos de curvas de nivel otorgados por el IGM 2019, para posteriormente generar un modelo de elevación digital del terreno mediante sistemas de información geográfica HEC-RAS 5.0.3 y HEC-GeoRAS.

Zonas de inundaciones (alto, medio y bajo)

Para determinar las zonas de inundación se utilizó programas de SIG y HEC-RAS donde se ejecutó el siguiente procedimiento:

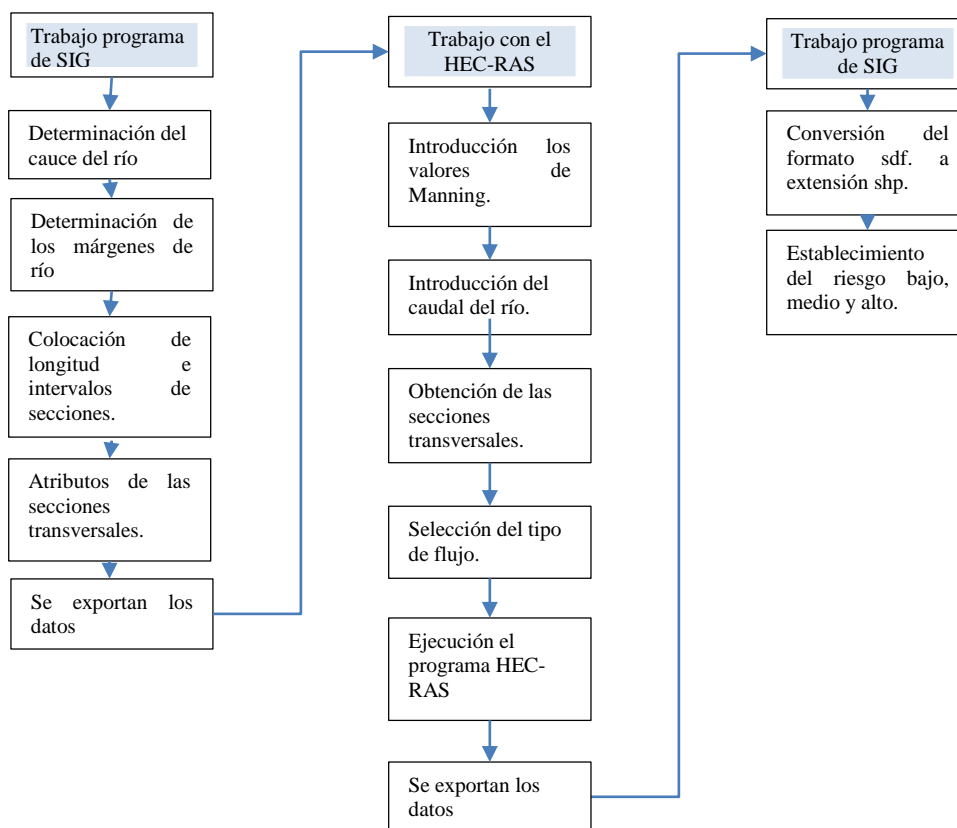


Figura 3 Procedimiento de simulación HEC-RAS.
Elaborado por: Lapo C., 2019

Pre-proceso

El diseño del modelo digital de elevación – DEM se realizó por medio de herramientas de SIG y la extensión HEC-GeoRAS, mediante la definición del cauce principal (stream centerline), los bancos del río (banks), el área de posibles inundaciones (flowpaths) y cortes transversales sobre el cauce (Xs Cutlines).

Relacionando el DEM del cantón Tena con la batimetría obtenida de la zona de estudio, se generó un nuevo modelo de elevación, el cual fue la base para realizar los cortes transversales a lo largo del río Jatun Yacu, para luego desarrollar el proceso con HEC-RAS 5.0.3 con apoyo de programas SIG.

Modelación

El sistema de simulación de HEC-RAS contiene cuatro componentes de análisis río unidimensionales en este caso se acudió a cálculos del perfil de la superficie del agua de flujo no permanente, donde se utilizó una representación geométrica de datos y rutinas de cálculos geométricos e hidráulicas comunes.

Los datos de flujo se realizaron para tres perfiles: caudal base, caudal máximo y caudal de inundación, que se introducen en el paquete de datos de flujo.

En la determinación del caudal se utilizó la fórmula:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3,6}$$

Dónde: **Q:** es el caudal (m³/s), **C:** coeficiente de escorrentía (típicamente 0,1 a 0,7) **I:** intensidad de precipitación (mm/h), **A:** superficie (km²).

Caudales que se calcularon y se identifican en la **tabla 9** Caudales (1998-2018), posteriormente se obtuvieron los caudales altos, medios y bajos **tabla 10**.

Post-procesado

En la generación de las superficies de inundación para una amenaza alta, media y baja, y elaboración de la cartografía final, obteniendo una salida gráfica y numérica que permite verificar los sitios más críticos donde se presentarían inundaciones si las condiciones de caudal máximos se incrementan según el período de análisis.

La presentación de la cartografía se la ejecutó conforme lo establecen los estándares de Información Geográfica de Senplades, en el Formato del Anexo A “Diseño Gráfico para Presentación de los Requisitos Mínimos de Información Marginal para Cartografía Temática”

4.3.5 Caracterización de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad es el factor interno de una comunidad o sistema, y comprende las características de la sociedad acorde a su contexto que la hacen susceptibles de sufrir un daño o pérdida grave en caso que se concrete una amenaza. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2017)

De este modo, a partir de la amenaza se identificaron los poblados vulnerables, poniendo énfasis en las infraestructuras, cada infraestructura en riesgo se identificó mediante puntos GPS, coordenadas WGS 84 The Universal Transverse Mercator (UTM) con apoyo de cartografía actualizada facilitada por el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Napo y la Secretaría de Planificación y Desarrollo Zona 2 se procedió también a la corrección de puntos in-situ.

Se aplicaron encuestas a estas infraestructuras, y se aplicó técnicas de muestreo para determinar una muestra idónea para ejecutar el respectivo análisis social.

4.3.6 Simulación de riesgo

Mediante la cartografía de la amenaza y la identificación de la vulnerabilidad del poblado se ejecutó la simulación de riesgo (alto, medio, bajo) y su respectiva interpretación.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Caracterización de la amenaza

Para el análisis del área de estudio fue importante determinar las características de planimetría y altimetría en la red de drenajes que influye en las microcuencas del río Jatunyacu y drenajes menores con las variaciones climáticas que intervienen en las zonas afectadas por las inundaciones.

El área de estudio determinado por dos estaciones hidrográficas como se identifica en la tabla 5:

Tabla 5 Estaciones hidrográficas
UTM WGS 1984 Zona 17

Estación	x	y
Jatun yacu	884811	9882774
Ahuano	842857	9879599

Elaborado por: Lapo C., 2019

Entre estaciones se presenta una distancia de 58 km. se realizó la toma de datos de profundidad por transectos cada 500 metros, y mediciones a lo ancho del río cada 5 metros para la determinación de profundidad.

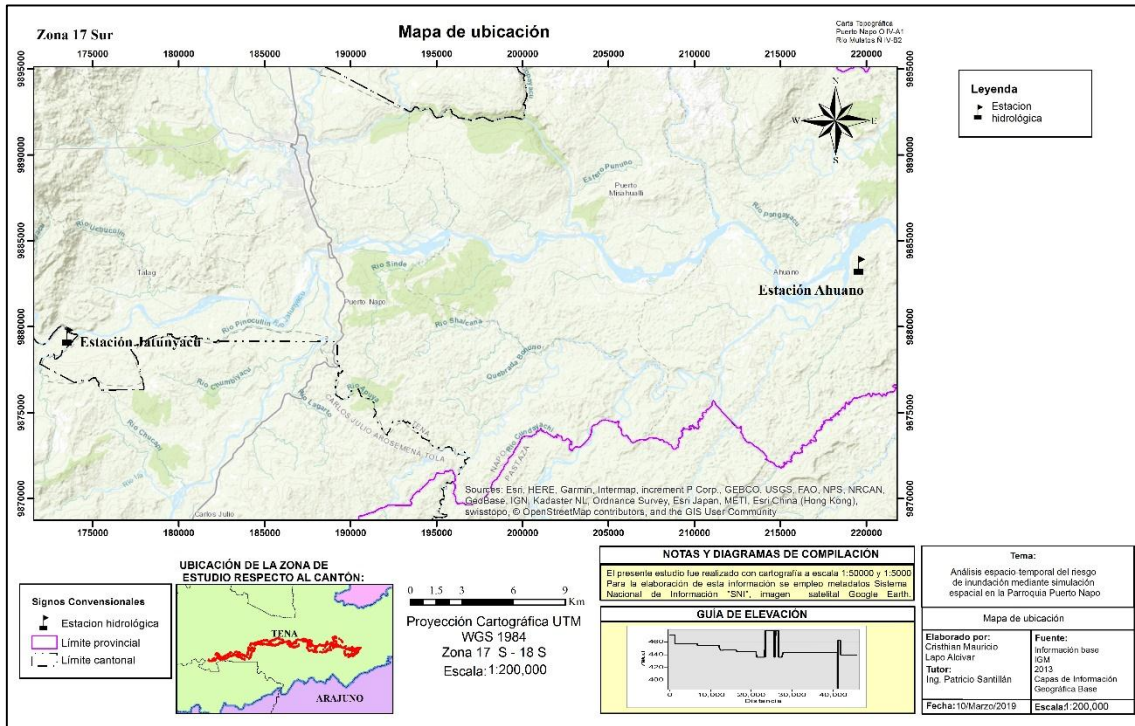


Figura 4 Ubicación de las estaciones hidrológicas.
Elaborado por: Lapo C., 2019

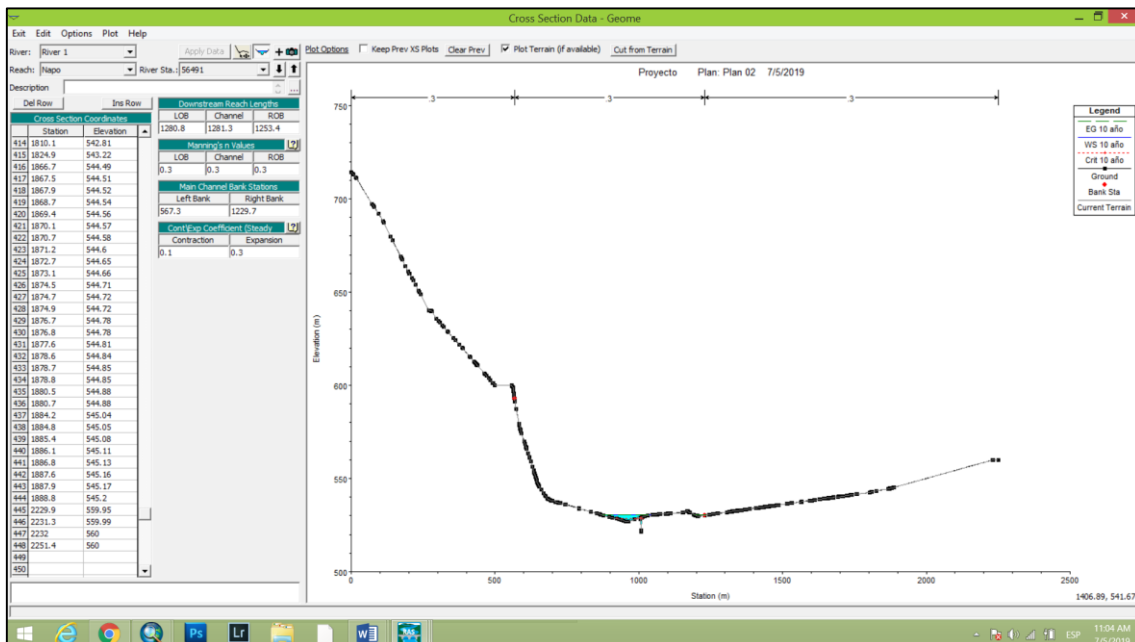


Figura 5 Determinación de transecto en HEC-RAS
Elaborado por: Lapo C., 2019

La utilización del software libre de sistema de información geográfica y HEC-RAS, permitió realizar el diseño topográfico de la zona de estudio y añadir la capa de batimetría del transecto generado una mejor caracterización de la zona de estudio permitiendo el conocimiento más real de la planimetría y altimetría.

El sitio de estudios se conforma por una área de 317.87 km², y características geomorfológicas del área de estudios en la tabla 6.

Tabla 6 Parámetros geomorfológicos del área de estudio

UTM WGS 1984 Zona 17		
Nombre	Sigla	Valor
Área de estudio	A (km ²)	317.87
Perímetro	P (km)	174.60
Cota máxima	Cmax (m.s.n.m)	524
Cota mínima	Cmin (m.s.n.m)	359
Índice de compacidad	Ic	1.25
Longitud	L (km ²)	58
Pendiente	Sm	2.93

Elaborado por: Lapo C., 2019

Topografía y batimetría

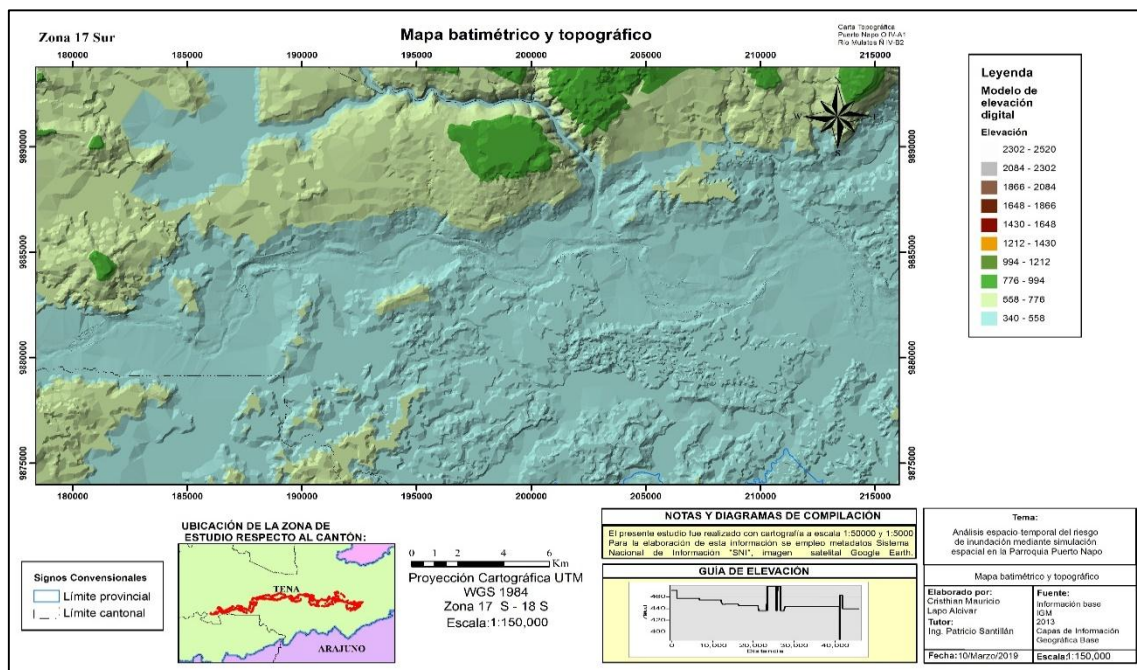


Figura 6 Ubicación de las batimétrico y topográfico.
Elaborado por: Lapo C., 2019

El mapa batimétrico y topográfico del área de estudio se muestra en la figura 6 que ocupa un área de 317.87 km de longitud por 58 km entre las estaciones hidrográficas, con una orientación en dirección Oeste, en el fondo del río presento mediciones desde los 0,40 cm hasta profundidades de 8 m., si bien está suavemente inclinado, donde alcanza una altitud desde los 521 msnm en el sector de Serena hasta una altitud en la estación Ahuano con una altitud de 352 msnm.

Los márgenes del río no son uniformes; se definen rampas extremadamente suaves (~0.4° de pendiente), los márgenes occidental y oriental son más pronunciados (~0.9° de pendiente) y definen sendos taludes de dirección aproximada N-S.

Análisis de precipitación

Los datos de precipitación utilizados por las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrografía (Inamhi) fueron de la tabla 7.

Tabla 7 Estaciones meteorológicas

Año	Provincia	Napó			Orellana
	Estación	M1124	M1219	M0485	M0710

Fuente: Inamhi, 2019

Elaborado por: Lapo C., 2019

La aplicación del polígono de Thiessen para permitir determinar la carga de precipitación en la zona de estudio determinó datos de precipitación que superan los 500 milímetros en la mayoría de los meses del año típico considerado de la zona del Oriente Alto

Tabla 8 Precipitación máximas y mínimas (1998-2017)

Año Mayor Precipitación

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
PROM	414.30	405.59	496.16	536.93	558.78	517.75	446.24	351.96	381.34	350.50	444.35	541.42	4514.11
DESV. STA	41.38	27.43	77.62	62.17	50.03	66.07	20.74	22.48	32.99	15.06	46.25	70.60	508.20
MAX.	453.23	439.65	576.19	641.17	613.04	623.66	467.44	374.28	406.66	369.92	516.70	642.84	5403.89
MIN.	367.75	334.24	420.28	485.13	503.77	455.18	417.53	325.32	326.88	327.79	402.16	462.59	4174.34

Año Menor Precipitación

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
PROM	160.58	200.06	243.10	310.83	334.84	280.43	225.46	170.59	216.06	220.86	213.23	205.92	3383.00
DESV. STA	35.33	26.50	47.98	20.93	47.14	48.06	24.59	17.17	22.26	25.92	43.73	20.68	131.87
MAX.	211.01	231.73	300.06	333.46	382.67	317.18	250.25	193.60	236.77	252.96	237.43	232.71	3494.91
MIN.	129.82	159.75	207.99	288.75	273.02	202.96	193.20	146.36	181.25	182.20	135.56	185.02	3163.01

Elaborado por: Lapo C. 2019

Las precipitaciones en la zona de estudio presentan rango máximos en los meses de marzo, abril, mayo, junio, noviembre y diciembre con precipitaciones que superan mensuales a 300 mm de precipitación, y mínimas en los meses enero, febrero, julio, agosto, septiembre, octubre como se observa en la figura 7.

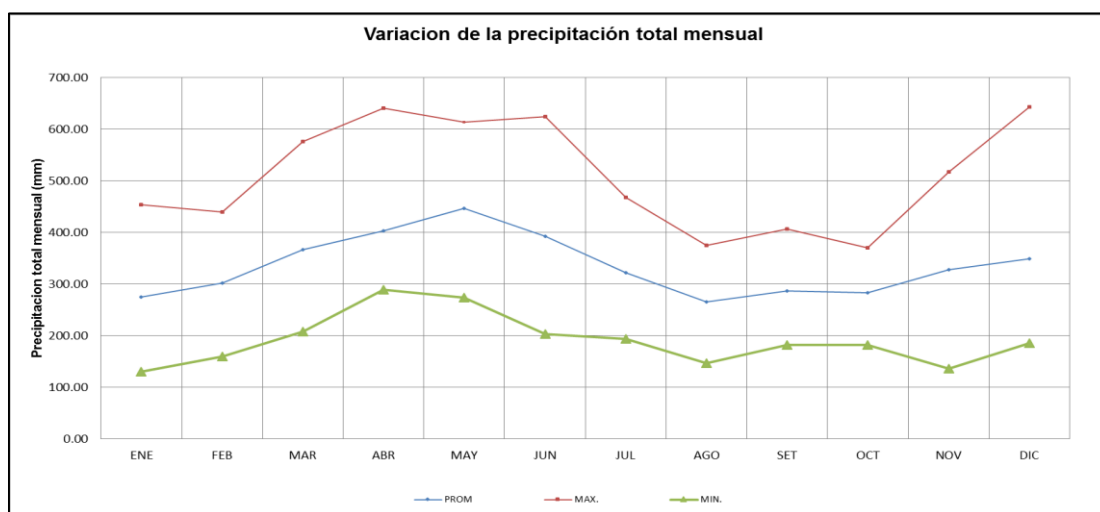


Figura 7 Variación de precipitación (1998-2017)

Elaborado por: Lapo C., 2019

Análisis de caudal

La estación Jatunyacu DJ ubicada en el río Jatunyacu en la comunidad de Serena, siendo uno de los ríos con una topografía variada y caudal que supera a los 1600 m³/s y una precipitaciones mensuales de 400 mm.

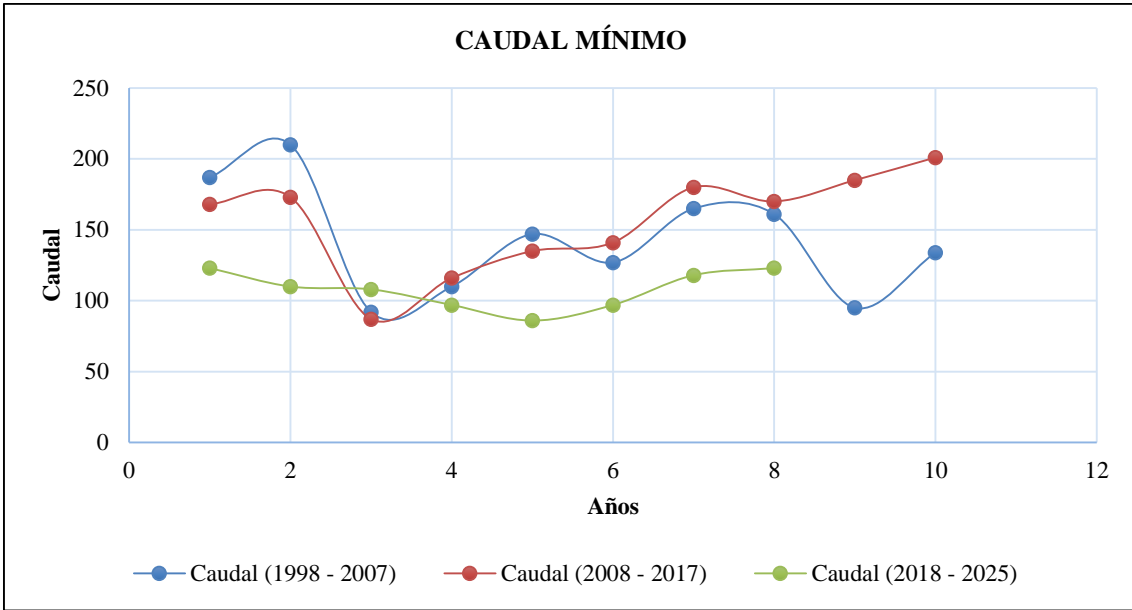


Figura 8 Caudales mínimo (1998-2025)
Fuente: INAMHI
Elaborado por: Lapo C, 2019

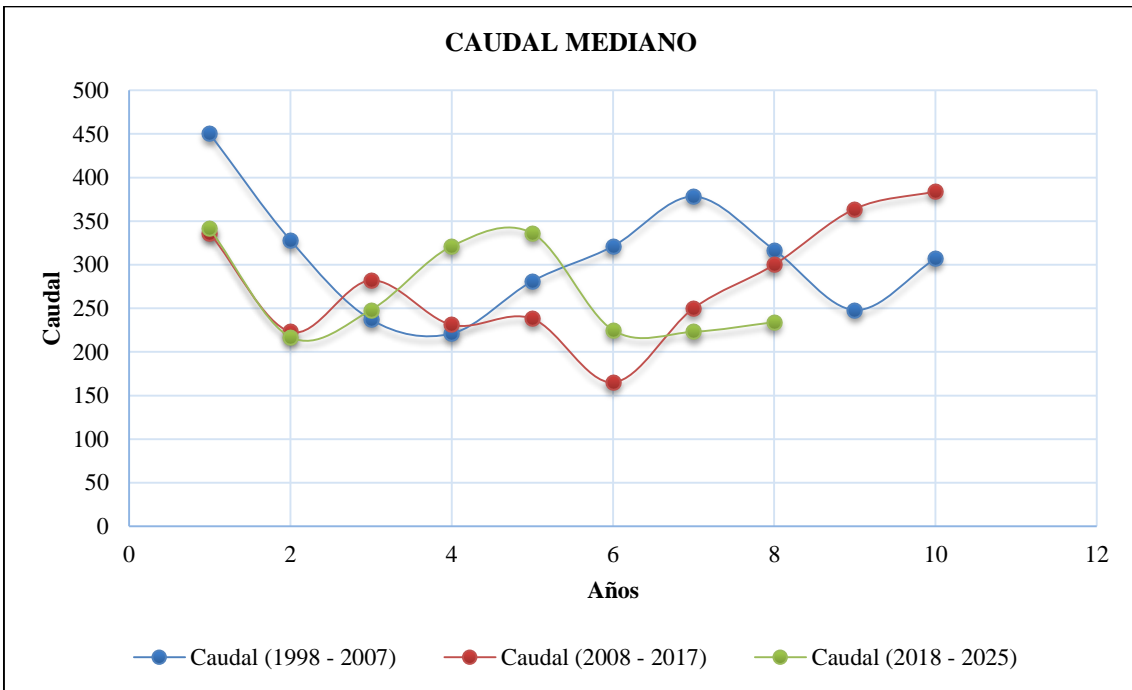


Figura 9 Caudales medio (1998-2025)
Fuente: INAMHI
Elaborado por: Lapo C, 2019

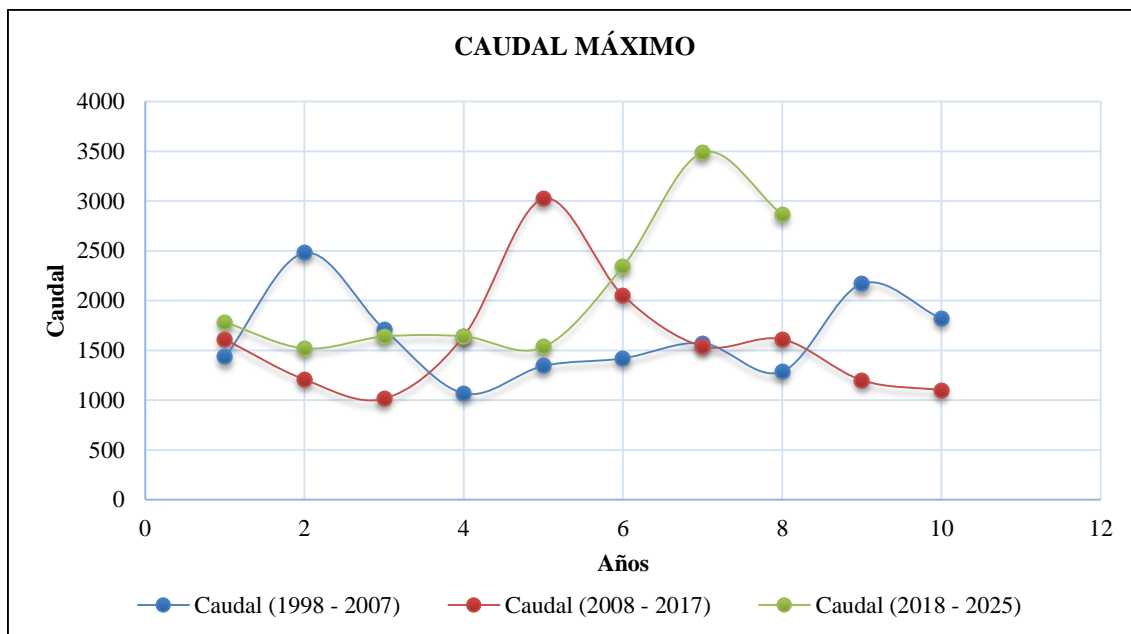


Figura 10 Caudales máximo (1998-2025)
Fuente: INAMHI
Elaborado por: Lapo C. 2019

Los índices de caudales máximo obtenidos por INAMHI y la presencia de una mayor frecuencia ha generado una amenaza latente de inundaciones en las zonas Talag, Puerto Napo, Misahualli y Ahuano, teniendo como resultado un registro histórico sobre la torrentes registradas en los últimos años que se mencionan en los medios de comunicación con los siguientes titulares:

- Inundación en los cantones Tena, Archidona y poblados de riberas. (El Comercio, 2010).
- Sectores de Napo en alerta amarilla por aguaceros e inundaciones. (El Universo, 2012).
- Crecimiento
- del nivel del río por presencia precipitación prolongadas. (El Comercio, 2016).
- Evacuan a pobladores tras el aumento del caudal del Río Napo (El Comercio, 2017).

Tabla 9 Caudales (1998-2018)

Años	Caudales mínimos		Caudales medios			Caudales máximo			
1998	187	Mix	210	450	Mix	450	1434	Mix	2479
1999	210			328			2479		
2000	92			237			1714		
2001	110			221			1070		
2002	147	Promedio	142,8	281	Promedio	308,8	1345	Promedio	1631,4
2003	127			321			1421		
2004	165			378			1574		
2005	161	Min	92	317	Min	221	1287	Min	1070
2006	95			248			2170		
2007	134			307			1820		
2008	168	Mix	201	336	Mix	384	1610	Mix	3023
2009	173			223			1207		
2010	87			282			1015		
2011	116			231			1643		
2012	135	Promedio	155,6	238	Promedio	277,3	3023	Promedio	1600,3
2013	141			165			2052		
2014	180			250			1541		
2015	170	Min	87	300	Min	165	1612	Min	1015
2016	185			364			1200		
2017	201			384			1100		
2018	123	Max	123	341	Max	341	1784	Max	3487
2019	110			217			1521,4		
2020	108			248			1641,1		
2021	97	Promedio	107,75	321	Promedio	268,125	1643	Promedio	2102,3125
2022	86			336			1534		
2023	97	Min	86	225	Min	217	2345	Min	1521,4
2024	118			223			3487		
2025	123			234			2863		
Promedio	137,35			285,92			1754,83		
Mediana estándar	128,14			272,03			1598,89		
Min	87			165			1015		
Max	210			450			3023		

Fuente: INAMHI
Elaborado por: Lapo C., 2019

Tabla 10 Determinación de caudales altos, medios y bajos

Caudal	(m³/s)
Bajo	210
Medio	450
Alto	3023
Proyección	3487

Elaborado por: Lapo C., 2019

Determinación de la amenaza

La amenaza en la zona de estudio delimitado por dos estaciones hidrográficas en la parte alta la estación Jatunyacu y en la parte baja la estación Ahuano, pasando por los poblados de Talag, Puerto Napo, Misahualli y Ahuano fue establecidos caudales normales, crecimiento e inundación.

Tabla 11 Determinación de la amenaza

Amenaza	Caudal (m ³ /s)	Superficie (Ha)	Porcentaje de incremento (%) en superficie
Baja	210	1220.52	-
Media	450	1709.51	40%
Alta	3023	3337.78	173%
Proyección	3487	3781.81	209%

Elaborado por: Lapo C., 2019

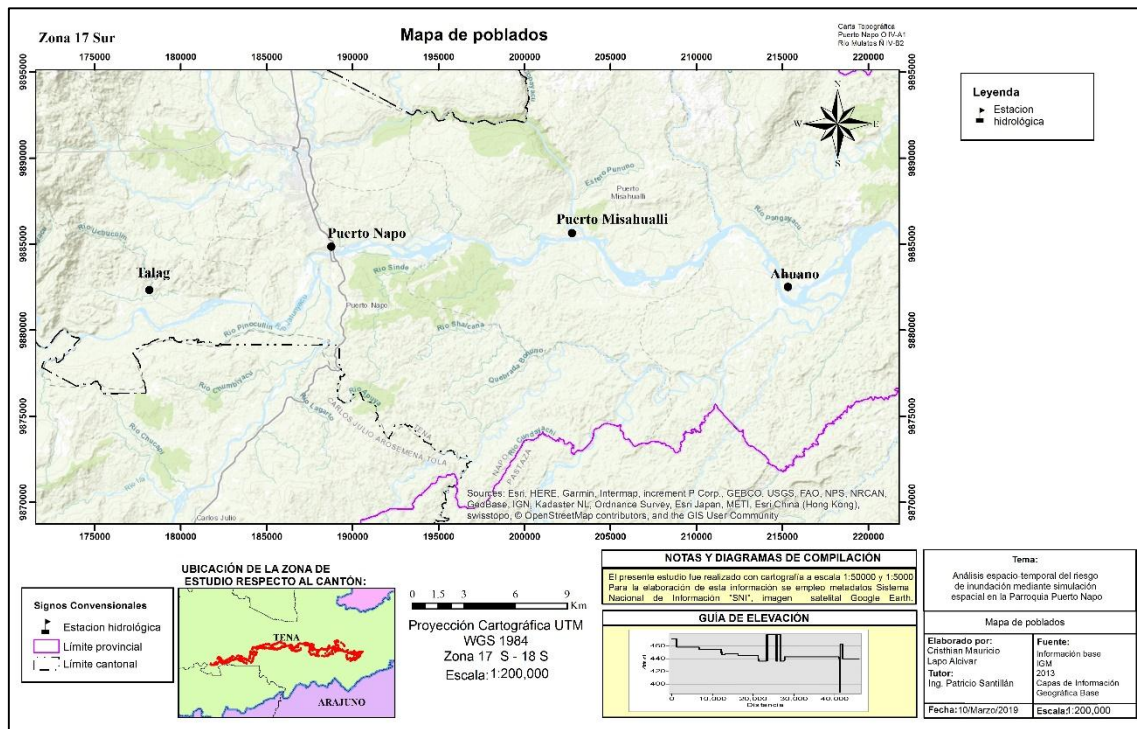


Figura 11 Mapa de poblados
Elaborado por: Lapo C. 2019

Las zonas con mayor cobertura por una amenaza alta son los poblados de Ahuano, Puerto Napo y Talag y pequeñas zonas en el poblado de Misahualli.

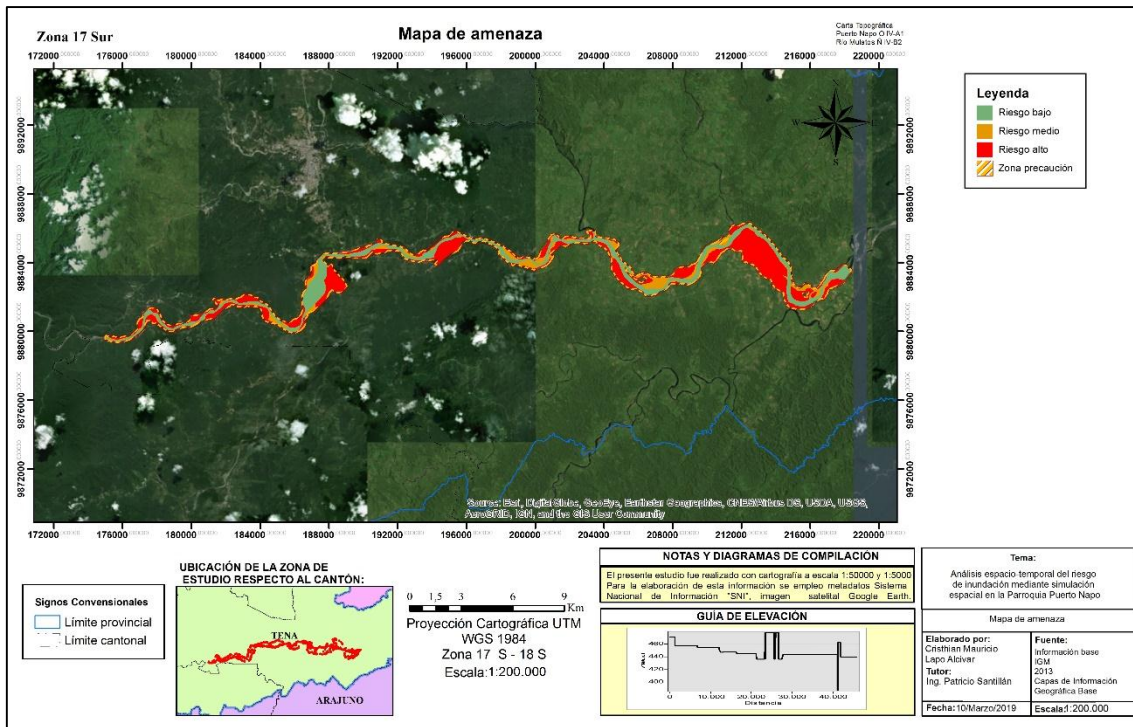


Figura 12 Amenaza del área de estudio
Elaborado por: Lapo C. 2019

La Figura 12 presenta una longitud de 58 km desde la estación Jatunyacu hasta la estación Ahuano, graficando la amenaza baja de color verde, amenaza media de color naranja y la amenaza alta representado por un color rojo, y como consecuencia son afectadas las viviendas, cultivos, vías; siendo la región Oriente Alta un sitio por sus precipitaciones superior a los 1500 mm anual y sin una estación climática fija diferencia sea verano o invierno.

5.2 Diagnóstico situacional de la vulnerabilidad de los poblados aledaños a la amenaza

- **Levantamiento de información**

El levantamiento de información a través de sistemas de información geográfica con la imagen satelital nos permite reconocer e identificar las infraestructuras cercanas a la ribera del río Jatun Yacu, considerando un levantamiento de 2082 viviendas

Se realizó encuestas a los pobladores cercanos a la ribera del río, por cada vivienda identifica para conocer la realidad de la zona y su conocimiento acerca de los riesgos por inundación.

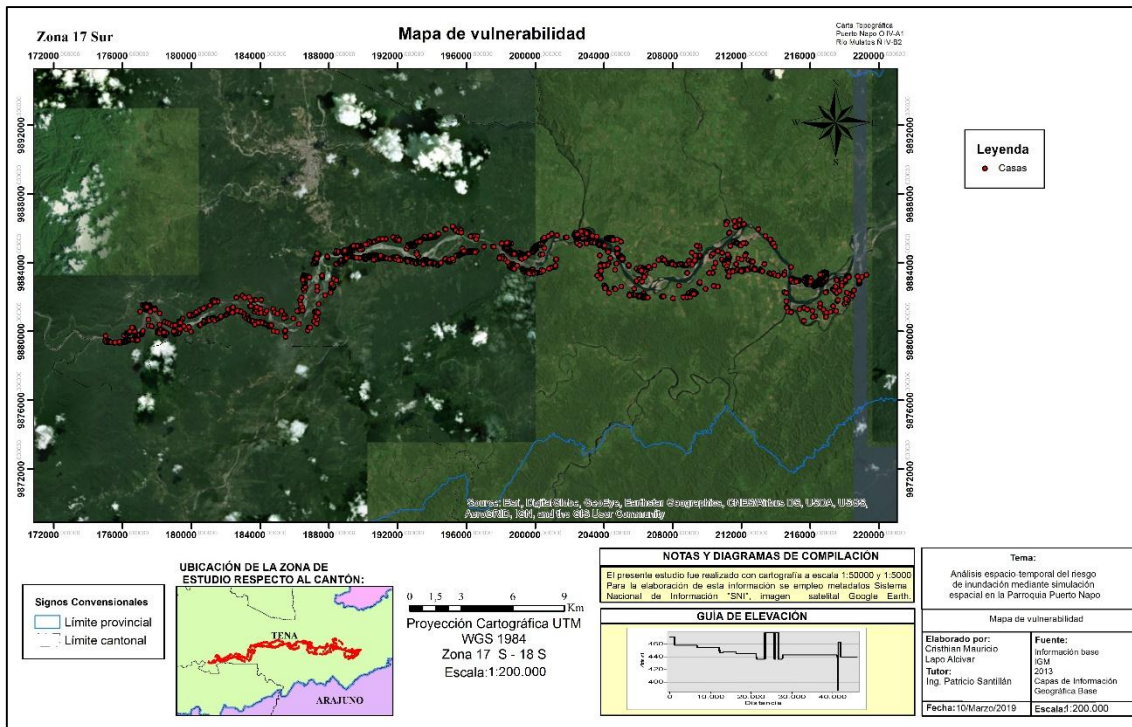


Figura 13 Mapa de vulnerabilidad
Elaborado por: Lapo C. 2019

Población: Se identificó las viviendas cercanas a la ribera del río un total de 2082.

Muestra: El muestreo en poblaciones finitas o encuesta por muestreo consiste en la selección de una parte de los elementos de una población estadística, con el objetivo de sacar conclusiones de dicha población.

Para ello el muestreo a realizar en las encuestas será finito, se procede a aplicar la siguiente fórmula estadística para el cálculo.

$$n = \frac{N}{e^2(N - 1) + 1}$$

$$n = \frac{2082}{0.10^2(2082 - 1) + 1}$$

$$n = 95.46 \text{ (Anexo 4).}$$

Análisis e interpretación de resultados a encuestas

Para conocer la percepción del poblado aledaño al río Jatunyacu, se encuestó a 95 habitantes (100%) de ellos 60 (63%) fueron hombres y 35 (37%) mujeres; Se auto identificaron como indígenas el 66%, como mestizos el 30% y como blancos el 4%.

En el 50% de viviendas habitan de 1 a 4 individuos, considerados hogares nuevos en el 37% residen de 5 a 8 habitantes; en el 13% llegan a vivir más de 10 personas; es decir el índice de habitantes por vivienda supera el promedio nacional el cual se ubica en 3,78 hab. /vivienda (INEN, 2010)

En el 62% de viviendas poseen de 1 a 4 dormitorios, en el 38% tienen de 5 a 8 habitaciones; ninguna persona indicó tener más de 10 habitaciones en su hogar; se calculó el índice de hacinamiento y se determinó que el 45% viviría sin hacinamiento pero el 55% podría estar en un rango de hacinamiento medio.

El 47% de viviendas están hechas de madera, lo cual es representativo de la zona cercana al río, por la accesibilidad de los pobladores al recurso natural, además se asocia a un nivel adquisitivo bajo; la presencia de infraestructura mixta se da en el 26% de viviendas y en bloque el 24% de hogares y están asociados a un mayor nivel socioeconómico.

El 55% de habitantes se dedican a actividades primarias como agricultura, ganadería, pesca, minería y explotación forestal, el 32% se dedica a actividades terciarias, son empleados en empresas públicas, privadas y dan prestación como guías turísticos tan solo el 13% se dedica a transformar los productos primarios en manufacturas.

El 58% de los habitantes han determinado que la frecuencia con que se producen inundaciones es alta; el restante 42% considera el evento de frecuencia media; nadie lo considera bajo.

El 62% de personas manifiestan que el impacto más importante es el daño que se produce a la infraestructura que incluye pérdidas en electrodomésticos, equipos, enseres de las viviendas, y consecuencias en las actividades de servicio turístico, el 33% identifica pérdidas de plantaciones y animales de cría y solo el 5% indica el peligro a la vida de los pobladores.

El 88% de la población encuestada manifiesta un desconocimiento de los protocolos o instrumentos para prevenir riesgos de inundación con un 12%, indicó conocer temas de protocolo de prevención familiar por avisos de las entidades gubernamentales que a su vez no se consideran eficientes.

Tras los eventos históricos sucedidos entre 1998 hasta el 2018, el 94% de los pobladores conocen los albergues para recurrir ante eventos peligrosos como inundaciones, el 6% de

los pobladores indican no conocer los albergues e indican preferir mantenerse en sus hogares.

Los pobladores han considerado el riesgo de inundación como un peligro latente por la cercanía de sus viviendas a las riberas del río, declarando el 100% la necesidad de identificar el riesgo de sus viviendas, para que las autoridades brinden la debida capacitación en medidas de mitigación y protección.

5.3 Determinación zonas de inundación de riesgo alto, medio y bajo.

La determinación del riesgo de inundación en la zona estudio es el cumplimiento de la siguiente formula:

$$R = Ax V \text{ Ecuación 3}$$

R=riesgo, A=Amenza, V=vulnerabilidad

La utilización de los paquetes informaticos de sistemas de información geográfica y Hec-ras, permitió el anlisis de la amenaza y la vulnerabilidad, siendo que la amenaza de forma latante por la varibilidad de tipo de clima del sector y la incidencia en el crecimiento del caudal por la relacion a sus precipitaciones. La identificación de la vulnerabilidad permitio la identificación de las viviendas que se encontraron cercana a la ribera del río. Ahora en la identificación del riesgo de inundación como resultado ha manisfestado entre la amenaza y la vulnerabilidad lo siguiente:

Tabla 12 Riesgo de inundación

Amenaza (Nivel de amenaza)	Vulnerabilidad (Número de viviendas)	Riesgo (Grado de riesgo)
Baja	0	Riesgo bajo
Media	5	Riesgo medio
Alta	221	Riesgo alto

Elaborado por: Lapo C. 2019

Los pobladores son afectados en forma directa, en relación a la vulnerabilidad estructural se cuantificaron un total de 226 viviendas en zonas de amenaza por inundación, y de ellas el 97,78% se encuentra en un riesgo alto, el 2,22% se encuentra en un riesgo medio y el 0% de viviendas se encuentran en zona de riesgo bajo, cifras alarmantes considerando la encuesta realizada el 50% de las viviendas son elaboradas con madera, el 26% construcción mixta (bloque y madera) y el 24% son construidas con bloques y cemento, materiales que no presentan la seguridad necesaria, se ha indicado además que las viviendas son edificadas por sus dueños sin conocimiento técnico alguno.

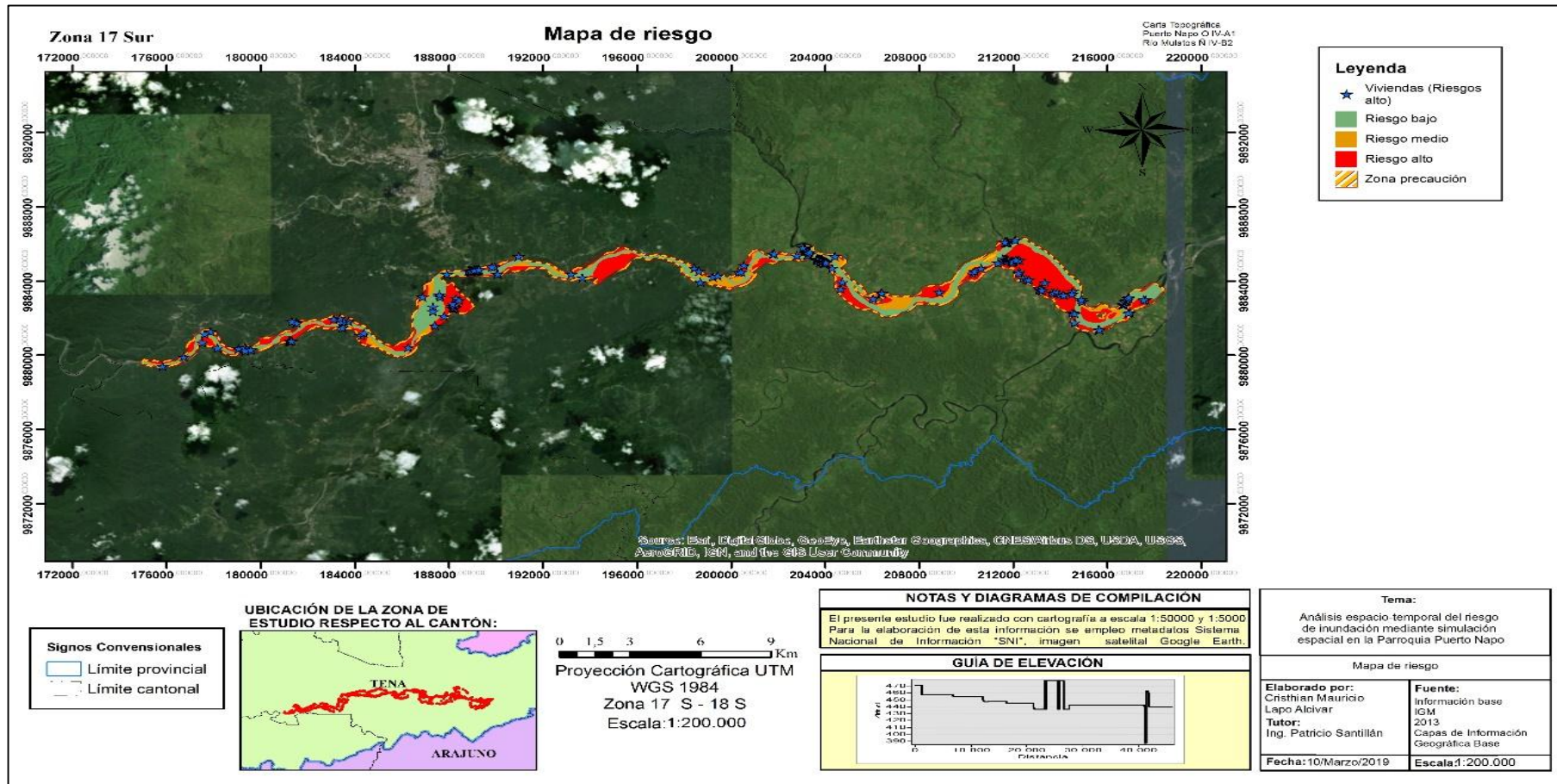


Figura 14 Mapa de riesgos
Elaborado por: Lapo C. 2019

6. CONCLUSIONES

- La determinación de la amenaza en el río Jatunyacu, se relaciona directamente con el caudal presente, este modo se ha catalogado como una amenaza baja cuando el río tiene un caudal de hasta 210 m³/s; una amenaza media con un caudal mayor a 210 m³/s hasta 450m³/s representando un incremento de superficie normal de hasta el 40% y una amenaza alta con un caudal mayor a los 2500 m³/s, además el estudio determino un caudal máximo del río Jatunyacu de 3023m³/s lo que significa que el río puede llegar a un incremento alto de hasta el 173% de su superficie.
- Los pobladores son afectados en forma directa, en relación a la vulnerabilidad estructural se cuantificaron un total de 226 viviendas en zonas de amenaza por inundación, y de ellas el 97,78% se encuentra en un riesgo alto, el 2,22% se encuentra en un riesgo medio y el 0% de viviendas se encuentran en zona de riesgo bajo, cifras alarmantes considerando la encuesta realizada el 50% de las viviendas son elaboradas con madera, el 26% construcción mixta (bloque y madera) y el 24% son construidas con bloques y cemento, materiales que no presentan la seguridad necesaria, se ha indicado además que las viviendas son edificadas por sus dueños sin conocimiento técnico alguno.
- De acuerdo al análisis espacio-temporal del riesgo de inundación por medio de simulación espacial mediante las herramientas de sistema de información geográfica y HEC-RAS, se determinó que la zona de estudio se encuentra en un riesgo alto definido por una amenaza alta y una vulnerabilidad alta, hecho que se corrobora con la alta incidencia en la pérdidas de vidas, viviendas, áreas productivas y animales cuando existen crecidas considerables de lluvias en localidades de Puerto Napo, sucesos identificado en diferentes años por la prensa en el Ecuador. (El Comercio, 2010) (El Universo, 2012) (El Comercio, 2016) (El Comercio, 2017) (Telégrafo, 2018) (El Comercio, 2019).

7. RECOMENDACIONES

- Al tener una primera experiencia positiva con el estudio se recomienda la aplicación de los modelo de inundación a lo largo de los 187.56 km que representa la totalidad del río Jatunyacu.
- A nivel gubernamental realizar un levantamiento de información topográfica y batimétrica en una escala que permita una mejor precisión en la aplicación de los modelo de inundación.
- Aplicar herramientas que permitan identificar el grado de riesgo y las posibles acciones para que las entidades gubernamentales desde el nivel comunitario hasta provincial puedan prevenir los daños ocasionados por los riesgos de inundación, y así se incorpore la verdadera situación en los planes de ordenamiento territorial.
- El levantamiento de información in-situ requiere un conocimiento técnico del sector y la aplicación de medidas de seguridad pertinentes para precautelar la vida del personal.
- Sería importante profundizar la presente investigación mediante un modelo 2D, dicha modelación posee altos requerimientos de datos, hardware y software. Sin embargo facilitan la determinación de flujo sobre los bancos, considerados tecnología de punta para la modelación de inundaciones.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Bateman, A. (2009). *Hidrología Básica y Aplicada*. Grupo de Investigación en transporte de sedimentos.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (2010). *Hidrología Aplicada*. Santa Fe de Bogotá: Mg. Graw-Hill Interamericana S.A.
- CIIFEN. (16 de marzo de 2019). *Centro Internacional para la investigación del Fenómeno del Niño*. Obtenido de http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&id=84&Itemid=111&lang=es
- Constitución, & Ecuador. (2018). Montecristi, Manabí, Ecuador.
- Díaz, H. S. (2015). Riesgo de inundación de la ciudad de Iquitos, Perú. *Iquitos*, 14.
- El Comercio. (8 de Abril de 2010). Decretan emergencia en Napo por inundaciones. Tena, Napo, Ecuador.
- El Comercio. (13 de Marzo de 2016). La creciente de tres ríos en Tena ocasionó inundaciones con agua, lodo y piedras. Tena, Napo, Ecuador.
- El Comercio. (6 de Enero de 2017). Evacúan a pobladores tras el aumento del caudal del río Napo . Puerto Napo, Napo, Ecuador.
- El Comercio. (2019). *4 personas atrapadas en islote por la crecida del Río Jatunyacu*.
- El Universo. (19 de Julio de 2012). Sectores de Napo en alerta amarilla por aguaceros e inundaciones. Napo, Ecaudor.
- Encalada, A. (2016). Funciones Ecosistémicas y Diversidad de los ríos. *Universidad San Francisco de Quito* , 8.

- Evans, J., Bremauntz, A. F., Gavilán, G. A., & Lema, I. I. (2013). *Introducción al análisis de riesgos ambientales*. Mexico: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).
- Fatorelli, S., & Pedro, F. (2011). *Diseño Hidrológico*. Zaragoza: Water Assessment & Advisory Global Network.
- GAD Tena. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Tena.
- Herald. (15 de Enero de 2018). El calentamiento global y su efecto en el aumento de las inundaciones. *El Herald*.
- Jorquera, E., Weber, J., & Reyna, S. (2014). *Revisión del estado del arte en la modelación hidrológica distribuida e integrada*. Argentina.
- Lagrost, L. (2014). *Modelos Hidrológicos*.
- Linsley, R. K., Kohler, M. A., & Paulus, J. L. (2011). *Hidrología para ingenieros. Segunda Edición*. Bogotá: Mc Graw-Hill Latinoamericana S.A.
- Londoño Amaguay, E. A. (2018). *Diseño de un sistema de alerta temprana (SAT) para la prevención de inundaciones en el cantón Tena, provincia de Napo*. Quito.
- Maderey, R. L. (2015). *Principios de Hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico*. Serie Textos Universitarios, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Martínez Santa, P. (2018). *Hidrogeología. Principios y aplicaciones*. Madrid: Mc Graw-Hill Education.
- Méndez, D. (2019). “*BATIMETRÍA EN EL RÍO UPANO TRAMO TUNTAIME - SERA PARA EL MANEJO DE MATERIAL PÉTREO, ENFOCADO A LA EXPLOTACIÓN CON REPOSICIÓN DEL MATERIAL EN LOS SECTORES DE TUNTAIME Y CENTRO SERA*”. Macas.
- Mendoza, G. E., Aldana Alonso, S. E., & Castolo, R. C. (2017). Modelación hidrológica e hidráulica del manejo de las aguas pluviales urbanas en la parte alta de la subcuenca del río San Juan de Dios, Guadalajara, Jalisco. 22.

- Muñoz, P. (2017). *Agenda Zonal Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo* . Quito .
- Organización Meteorológica Mundial . (2012). *INTERNATIONAL GLOSSARY OF HYDROLOGY* . United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (ISBN 978-92-63-03385-8).
- Perez, G., & Rodriguez, A. (2009). *Hidrología Superficial*.
- Pimiento Avella, M. A., & Trujillo Osorio, D. E. (2015). *Análisis espaciotemporal de la zona de inundación en la Mojana-Colombia*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- PREDECAN. (2009). *La Gestión del Riesgo. Un Enfoque basado en procesos*. Lima: Secretaría General de la Comunidad Andina.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2017). *Manual para la elaboración de mapas de riesgo*. Argentina.
- Rodríguez M, W., & Valcarce O, R. M. (2017). *APLICACIÓN SIG PARA EVALUAR EL PELIGRO DE INUNDACIONES*. Cuba: Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría".
- Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (2014). *Amenazas en el Ecuador*.
- Singh, V. P. (2015). *Computer models of watershed hydrology*. *Water Resources Publications*.
- Sivincha, V. (27 de 05 de 2017). *In Slide shar, Informe de peligros, riesgos, y vulnerabilidad de la provincia de Chalhuanca*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/victorsivinchaalcca/peligros-riesgos-y-vulnerabilidad-de-la-provincia-de-chalhuanca-apurmac-2015>
- Sociedad Geográfica de Lima. (2011). *Balance Hídrico Superficial "Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico"*. Lima: Global Water Partnership.

- Soria-Díaz, H. F. (s.f.). Riesgo de inundación de la ciudad de Iquitos, Perú . *Iquitsps*.
- Telégrafo, E. (2018). *20 personas fueron rescatadas de una isla tras inundaciones en Napo*.
- Torres, A. Q. (2018). *EVALUACIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL EN AMBAS MARGENES DEL RIO HUARMAMAYO ENTRE LAS LOCALIDADES DE NINABAMBA Y ACCOBAMBA DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL, PROVINCIA LA MAR* . San Miguel.
- U.S Army Corps of Engineers. (2018). *Hydrologic Engineering Center, HEC*.
- Vázquez, Conde, & Rosalino. (2017). *Ecología y medio ambiente*. Grupo Editorial Patria.
- Vicuña, R., Morales, A., & Escudero, B. (2009). *El Río Aspectos Limnológicos*. Salamanca: Centro de edafología y biología aplicada.
- Zubieta, R., Wilber, L., & Waldo, L. (2018). *Modelación hidrológica de la cuenca del río Ilave a partir de datos de precipitación observada y de satélite, periodo 2011-2015*. Puno: Tecnología y Ciencias del Agua.

9. ANEXOS

Anexo 1. Datos de Precipitación

Tabla 13 Datos precipitación (1998-2017)

Año	Provincia	Napó				Orellana
	Estación	M1124	M1219	M0485	M0710	M1171
	Distancia	20	8	15	15	25
2017	Enero	157	113.4	280.6	73.1	87
	Febrero	197.5	214.6	274.4	182.4	190
	Marzo	374.4	325	196.5	147.9	81.1
	Abril	456.8	619	488.5	510.7	447.6
	Mayo	443.6	487.6	617.2	206	341.8
	Junio	539.2	307.7	352	270.1	330.6
	Julio	386.5	334.8	568.8	133	166.2
	Agosto	258	118.3	254.5	109.3	115.9
	Septiembre	285.8	278.3	196.4	229.2	229
	Octubre	322.2	261.6	226.4	209.9	250.1
	Noviembre	196.3	318.1	290.9	377.3	189.1
	Diciembre	230.5	452.3	426.7	284.8	409.5
	SUMA	3847.8	3830.7	4172.9	2733.7	2837.9
	MAX 24 H	-	-	154	-	-
2016	Enero	217.3	87.9	417.9	147.4	159.4
	Febrero	456.6	431.9	162.7	238.6	326
	Marzo	244.2	356.2	430.1	288.7	471.2
	Abril	342.4	483.1	398.4	263.1	384
	Mayo	409.6	353.5	371.9	416.5	414.1
	Junio	421.7	514.4	407	313.5	548
	Julio	497.6	433.9	495.2	208.8	534
	Agosto	342.4	378.2	558.5	4.76	98.7
	Septiembre	528	235.9	374	214.9	234
	Octubre	215.6	246.4	453	361.2	317
	Noviembre	178.3	311.2	221.2	197.9	294.6
	Diciembre	194.9	325.2	178.9	163.9	148.6
	SUMA	4048.6	4157.8	4468.8	2819.26	3929.6
	MAX 24 H	87.6	-	123	-	-
2015	Enero	187.9	157.6	241.5	318	264.5
	Febrero	238.6	196.7	40.8	222.6	446.6
	Marzo	385.4	318.9	630.1	230.3	245.6
	Abril	202.8	285.5	68.4	370.5	441.7
	Mayo	142.5	368.4	524.7	278.4	556.7
	Junio	122.8	433.9	361	153.2	337.4
	Julio	194.2	347	409	207.1	492.7
	Agosto	332.1	243	387	273.6	476.7
	Septiembre	191.2	198.9	346	316.3	626.2
	Octubre	366.4	398.3	167.9	446.2	378.9

	Noviembre	340.2	377	105.4	316.2	689.4
	Diciembre	423.7	148.3	95.5	274.6	495.3
	SUMA	3127.8	3473.5	3377.3	3407	5451.7
	MAX 24 H	107	78	-	-	178
2014	Enero	288.2	413.6	415.4	98.8	203.1
	Febrero	95.6	547.2	125.6	238.6	326
	Marzo	361.2	519.5	316.9	288.7	471.2
	Abril	247.5	360.2	398.4	263.1	371
	Mayo	262.1	185.2	495	416.5	414.1
	Junio	278.7	71.7	407	313.5	477.8
	Julio	129.6	52.9	194	208.8	321
	Agosto	146	354.9	175	350.2	100.8
	Septiembre	202	175	314	214.9	234
	Octubre	164.1	118.4	314	381.2	320.2
	Noviembre	67.1	38.9	187	197.9	153
	Diciembre	221.2	164.5	269.6	163.9	128.9
	SUMA	2463.3	3002	3611.9	3136.1	3521.1
	MAX 24 H	-	-	-	-	-
2013	Enero	159.3	122.8	162.7	124.7	159.4
	Febrero	456.6	431.9	430.1	238.6	326
	Marzo	244.2	356.2	398.4	288.7	471.2
	Abril	368.9	483.1	495	263.1	661.6
	Mayo	409.6	353.5	407	416.5	414.1
	Junio	421.7	514.4	853.7	313.5	477.8
	Julio	504.1	433.9	558.5	208.8	534
	Agosto	342.4	378.2	630.1	350.2	113.3
	Septiembre	239.2	235.9	453	214.9	234
	Octubre	199.5	246.4	221.2	381.2	320.2
	Noviembre	164.6	311.2	269.6	197.9	359.4
	Diciembre	194.9	325.2	367	163.9	148.6
	SUMA	3705	4192.7	5246.3	3162	4219.6
	MAX 24 H	107.6	125.9	154.2	96.7	-
2012	Enero	322.4	460.2	522.6	263.8	627.7
	Febrero	192.9	194.7	526.5	438	484.2
	Marzo	351.7	577.2	624	602.8	710.8
	Abril	278.3	494.8	407.8	353.6	376.9
	Mayo	225.2	320.4	330.5	274.2	346.4
	Junio	279.8	401.5	372.5	320.9	378.4
	Julio	302.2	426.2	466.6	189.9	356.4
	Agosto	472.3	430.9	567.2	116.6	316.6
	Septiembre	211.3	208.1	182.1	139.4	263.1
	Octubre	174	549.6	391.8	378.2	382.3
	Noviembre	114	331.4	243	211.7	312
	Diciembre	219.3	225.2	169.9	311.9	339.6
	SUMA	3143.4	4620.2	4804.5	3601	4894.4
	MAX 24 H	88	104.5	163.4	141.2	118.4

2011	Enero	108.1	246.5	338.2	235.3	295.7
	Febrero	96.9	310.4	464.7	287.7	339.5
	Marzo	177.1	251	319.3	361.3	378.6
	Abril	307.9	404.4	443.1	281.1	337
	Mayo	261.6	597.6	781.4	521.2	490.1
	Junio	299	405.4	370.3	156.7	367.9
	Julio	429	404.8	369.9	275.2	692.1
	Agosto	384.4	248.7	220.2	215.2	323.9
	Septiembre	337.6	285.9	373.9	337.7	181.8
	Octubre	179.4	320.6	393.7	200.6	287.7
	Noviembre	243.7	357.5	366	448.3	549.2
	Diciembre	239.1	363	398.5	350.7	558.8
	SUMA	3063.8	4195.8	4839.2	3671	4802.3
MAX 24 H	108.6	175.3	73.5	126.3	132	
2010	Enero	157	113.4	280.6	73.1	87
	Febrero	197.5	214.6	274.4	182.4	190
	Marzo	374.4	325	196.5	147.9	81.1
	Abril	657.1	619	488.5	510.7	447.6
	Mayo	443.6	513	617.2	341	341.8
	Junio	539.2	307.7	352	270.1	330.6
	Julio	386.5	334.8	568.8	133	166.2
	Agosto	258	118.3	254.5	109.3	115.9
	Septiembre	285.8	278.3	196.4	229.2	229
	Octubre	322.2	261.6	226.4	209.9	250.1
	Noviembre	196.3	318.1	290.9	377.3	189.1
	Diciembre	230.5	452.3	426.7	284.8	409.5
	SUMA	4048.1	3856.1	4172.9	2868.7	2837.9
MAX 24 H	193	223	203	86.7	-	
2009	Enero	107	375.2	762.2	273.7	599.7
	Febrero	124.2	312.9	438.2	387.6	295.1
	Marzo	249.8	319.6	305.5	323.7	422.6
	Abril	4.46	504.3	469	455.6	334.6
	Mayo	177.7	437.9	487.5	302	598.3
	Junio	665.6	519.5	710.8	246.8	489.7
	Julio	189.5	271	273.1	233.8	243.9
	Agosto	388.5	397.5	428.4	202.4	390.4
	Septiembre	322.5	228.2	167.2	210.2	274.2
	Octubre	351.3	398.9	344.8	289.1	283.3
	Noviembre	169	271	330.1	295.2	146
	Diciembre	213	324.5	259.1	281.5	87
	SUMA	2962.56	4360.5	4975.9	3501.6	4164.8
MAX 24 H	-	110.6	87	99.9	-	
2008	Enero	148	292.4	299.9	271.4	282.2
	Febrero	358.1	353.8	385.8	485.5	462.7
	Marzo	122.8	205.4	331	199.6	208.2
	Abril	278.9	255.9	531.8	197.5	364.5
	Mayo	433.2	472.6	874.6	335.8	448.5

	Junio	331.1	347.3	616.5	453.3	473.1
	Julio	403	445.4	634.8	235.3	399.2
	Agosto	291.9	303.6	435.8	208.2	309.2
	Septiembre	286.3	314.6	496.8	346.8	487.5
	Octubre	247.2	355.1	367.6	264.8	149
	Noviembre	308	302.6	609.6	260.9	307.4
	Diciembre	178	242.3	549.8	197.4	258.7
	SUMA	3386.5	3891	6134	3456.5	4150.2
MAX 24 H	118.5	-	119.2	-	103	
2007	Enero	310.1	452.1	300.2	260.4	343.9
	Febrero	146	359	295.5	194.6	114.1
	Marzo	293.9	573	516.9	361.7	449.7
	Abril	478.4	599.6	340	325.5	390.4
	Mayo	257.6	369.6	697	548.9	611.8
	Junio	356.8	661.6	760	232.1	418.8
	Julio	200.7	313.3	609.8	241.7	203.8
	Agosto	455.5	273.9	389.5	230.7	255.9
	Septiembre	329.9	471.1	496.9	405.6	375.2
	Octubre	265.5	481.8	378.5	195	365.6
	Noviembre	286.2	421.1	468.2	184.3	123.4
	Diciembre	356.8	489.7	489.5	374.4	575.3
	SUMA	3737.4	5465.8	5742	3554.9	4227.9
MAX 24 H	107.5	41.4	-	-	-	
2006	Enero	417.9	448.3	46.8	278.1	548.2
	Febrero	127.2	196.7	40.8	222.6	446.6
	Marzo	385.4	318.9	125.7	230.3	382.2
	Abril	202.8	285.5	68.4	370.5	441.7
	Mayo	142.5	137	6.8	313	556.7
	Junio	122.8	111	44.1	293.7	337.4
	Julio	143	146	2.1	292.9	492.7
	Agosto	284	243	19.9	228	476.7
	Septiembre	191.2	198.9	8.9	316.3	626.2
	Octubre	366.4	398.3	35.1	446.2	378.9
	Noviembre	340.2	377	105.4	316.2	689.4
	Diciembre	100.5	148.3	95.5	274.6	495.3
	SUMA	2823.9	3008.9	599.5	3582.4	5872
MAX 24 H	-	41.4	-	157	-	
2005	Enero	328.6	235.6	149.5	307.2	180.4
	Febrero	410.7	377.4	213.8	327.6	335.5
	Marzo	246.7	284.6	397.2	363.9	251.1
	Abril	420.4	319.6	894.5	417.6	537.7
	Mayo	371.1	256.6	654.4	326.1	192.3
	Junio	203.5	488.6	558.7	161.1	242.3
	Julio	212.3	482.4	580	140.2	159.5
	Agosto	182.2	163.4	256.8	229	228.7
	Septiembre	390.7	331.6	466.6	94.2	237.8
	Octubre	292.3	292	623.7	423.1	219.3

	Noviembre	182	263	704.7	148.9	459.4
	Diciembre	948.6	338.2	835.8	453.6	493.5
	SUMA	4189.1	3833	5972.4	3392.5	3537.5
	MAX 24 H	126.5	51	-	-	-
2004	Enero	24.7	92.1	223	155.6	154.6
	Febrero	124.3	96.3	132.8	95.7	263
	Marzo	212.3	124.3	629.3	321	296.9
	Abril	272.7	322.7	255.3	387.7	541.1
	Mayo	536.7	697.1	610	390.6	214.4
	Junio	484.1	569.5	370.7	379.1	49.8
	Julio	357.5	484.7	673.4	197.4	108.3
	Agosto	129.6	354.8	433.3	194.4	48.9
	Septiembre	236.4	397.8	468	132.4	61.5
	Octubre	203.1	190.4	528.8	252.9	25.7
	Noviembre	310.2	417.9	521.6	308.1	270.8
	Diciembre	364	164	375	167.8	418.7
	SUMA	5221.2	3911.6	5221.2	2982.7	2453.7
MAX 24 H	-	-	-	-	-	
2003	Enero	154	216.2	293.8	75.6	286.5
	Febrero	375	289.6	341.4	241.8	324.1
	Marzo	556.2	177.4	420.7	219.3	362.5
	Abril	255	365.2	531	363.3	524.7
	Mayo	184	428.9	774.1	415.2	289.7
	Junio	203	444.4	527.5	359.7	234.9
	Julio	92	399.9	279.4	209.5	146.5
	Agosto	29	273.7	204.5	232.4	113
	Septiembre	103	224.6	360	225.8	96
	Octubre	137	314.8	353.1	295.2	173.4
	Noviembre	660	318.5	575.5	356.7	526.2
	Diciembre	562	309.4	398.3	429.8	572.6
	SUMA	3310.2	3762.6	5059.3	3424.3	3650.1
MAX 24 H	18.6	-	140.5	-	-	
2002	Enero	176.9	392.6	315.7	269.4	125.2
	Febrero	231.1	247.3	279.8	221.3	302.8
	Marzo	333.3	300.3	371	524.9	315.7
	Abril	329.6	446.1	547.3	399.5	260.7
	Mayo	417.3	284.1	578.3	368.5	322.5
	Junio	212.5	292	484.1	336.7	296
	Julio	575	258.6	799	235	276.5
	Agosto	334.1	358.6	361.9	157.9	332.6
	Septiembre	268.1	254.7	321.9	294.3	250.1
	Octubre	333.1	187.6	432.7	512	334.8
	Noviembre	341	319.1	483.1	324	241.5
	Diciembre	328.9	128.4	251.3	186.2	205.9
	SUMA	3880.9	3469.4	5226.1	3829.7	3264.3
MAX 24 H	-	-	-	-	-	

2001	Enero	229.6	182.8	267.5	148.1	120.4
	Febrero	400.3	219.2	519.6	127.7	191.2
	Marzo	262.1	244.9	256.8	276.1	358.4
	Abril	354.2	228.7	356.3	211.3	425.5
	Mayo	537.1	589.8	614.6	487.8	664.5
	Junio	526	503.8	507.4	340.5	182.6
	Julio	507.5	269.2	319.4	180.9	327.3
	Agosto	97.2	221.9	260.9	99.5	181.3
	Septiembre	278.1	294	492.3	323.6	85.4
	Octubre	299.8	204.3	400.1	172.4	229.8
	Noviembre	183	158.6	369.6	200.4	624.3
	Diciembre	198.1	597.5	611	297.6	945.1
	SUMA	3873	3714.7	4975.5	2865.9	4335.8
MAX 24 H	-	150	-	-	-	
2000	Enero	390.2	246.9	256.2	131.1	205.2
	Febrero	247.6	335.6		161.4	520.7
	Marzo	344.8	177.8	392.7	203.9	710.7
	Abril	324.8	295.9	414.5	448.2	456.2
	Mayo	696.3	491.9	848.8	468.8	530.3
	Junio	346.3	392.9	724.5	275.8	322.1
	Julio	359.8	356.3	586.2	228.6	112.8
	Agosto	325.2		415.9	191.4	133.6
	Septiembre	344.4	202.1	209.1	222.2	187.1
	Octubre	220.2	131.3	218.2	190.7	141.4
	Noviembre	288.4	319.8	465.2	321.6	674.7
	Diciembre	510.7	314.6	341	85	561.3
	SUMA	4398.7	3265.1	4872.3	2928.7	4556.1
MAX 24 H	-	-	-	-	-	
1999	Enero	494.6	408.6	749.5	321.6	319.6
	Febrero	277.6	333.6	208.5	298.5	826.6
	Marzo	312.7	502.9	374.1	348.7	769.9
	Abril	614.3	521.8	332.8	521	958
	Mayo	523.2	390	236.1	393.2	592.6
	Junio	531.6	561.8	610.3	549.2	769.8
	Julio	477.6	439.8	278.1	300.1	343.2
	Agosto	302.1	380.1	416.3	154.3	307.5
	Septiembre	494.5	282.5	352.8	298.7	473.2
	Octubre	158.1	231.7	225.1	225.7	259.5
	Noviembre	210.1	285.8	229.4	292.4	926.1
	Diciembre	291.8	427.4	472.4	587.6	853.4
	SUMA	4688.2	4766	4485.4	4291	7399.4
MAX 24 H	-	72.6	-	85.5	126	
1998	Enero	204.1	132.3	232.3	439	627.7
	Febrero	450.9	346.4	153.3	779.7	346.4
	Marzo	354	299.9	296.7	1073.3	710.8
	Abril	402	334	283.5	1106.2	376.9
	Mayo	559.9	744.6	323.8	599.1	700

Junio	512.7	426.2	584.9	489.8	378.4
Julio	284	378.2	123.4	36.8	356.4
Agosto	217.7	176.9	146.3	23.4	316.6
Septiembre	381.7	130.9	168.8	39.4	484.2
Octubre	306.8	183.4	225.8	31.6	382.3
Noviembre	335.2	340.2	115.4	29.7	312
Diciembre	381.9	277	328.2	14.3	339.6
SUMA	4390.9	3770	2982.4	4662.3	5331.3
MAX 24 H	-	67	-	80	-

Fuente: INAMHI 2018

Elaborado por: Lapo C., 2019

Tabla 14 Precipitación mensual

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1998	372.32	414.99	575.89	493.73	584.32	472.82	241.19	195.54	288.06	253.27	233.76	282.91	4408.8
1999	448.40	439.65	486.35	641.17	455.89	623.66	365.34	305.17	406.66	220.06	451.42	560.12	5403.9
2000	249.62	278.02	422.11	400.10	613.04	399.11	302.27	228.36	236.77	182.20	445.73	399.44	4156.8
2001	184.32	292.16	291.02	338.13	585.65	383.54	337.24	164.55	268.52	264.61	350.44	554.20	4014.4
2002	223.92	261.29	366.26	372.05	396.18	316.84	433.63	309.19	275.84	369.92	331.53	232.71	3889.4
2003	211.00	321.29	375.97	416.31	387.87	322.84	193.20	146.36	181.25	232.75	516.70	487.37	3792.9
2004	129.82	159.75	324.31	376.00	441.93	322.05	322.86	193.60	222.34	216.30	346.54	327.73	3383.2
2005	238.76	334.24	300.06	531.19	349.27	299.20	275.85	216.33	299.08	353.81	361.84	642.84	4202.5
2006	367.75	231.73	303.06	288.75	273.02	202.96	250.25	280.24	312.63	327.79	402.16	254.58	3494.9
2007	323.20	192.72	420.28	410.93	507.14	455.18	293.83	325.32	401.02	324.18	264.64	462.59	4381.0
2008	252.09	417.22	207.99	333.46	503.77	449.10	417.53	309.12	398.61	252.96	353.29	279.20	4174.3
2009	429.79	298.21	332.00	317.56	407.92	531.02	236.86	363.52	250.50	322.99	223.83	206.51	3920.7
2010	138.89	208.06	208.21	533.40	432.46	371.59	302.29	174.23	241.58	257.03	255.68	351.07	3474.5
2011	242.52	291.50	303.90	345.56	503.67	317.18	467.44	292.84	292.27	268.19	405.77	396.31	4127.1
2012	453.23	385.40	576.19	365.88	298.77	345.41	339.89	374.28	208.32	349.21	235.56	263.91	4196.0
2013	150.17	370.70	359.28	471.74	406.33	506.05	462.80	330.25	271.56	277.13	262.40	219.01	4087.4
2014	263.41	239.79	388.48	325.65	370.47	348.19	205.81	194.67	231.61	273.04	135.56	186.33	3163.0
2015	241.25	258.57	353.07	288.75	382.67	265.97	339.99	366.42	373.55	351.79	402.16	332.46	3956.6
2016	211.01	322.37	365.01	364.28	399.98	446.47	449.80	250.48	326.88	318.33	237.43	185.02	3877.1
2017	138.89	208.06	208.21	485.13	405.61	371.59	302.29	174.23	241.58	257.03	255.68	351.07	3399.4
PROM	275.25	302.16	366.36	402.80	446.70	392.16	321.57	265.00	286.68	283.18	327.18	348.77	3975.20
DESV. STA	106.06	83.04	102.95	96.46	99.02	102.98	83.33	75.67	68.32	54.90	97.59	133.78	485.62
MAX.	453.2	439.6	576.2	641.2	613.0	623.7	467.4	374.3	406.7	369.9	516.7	642.8	5403.9
MIN.	129.8	159.7	208.0	288.7	273.0	203.0	193.2	146.4	181.3	182.2	135.6	185.0	3163.0

Elaborado por: Lapo C., 2019

Tabla 15 Precipitación máximas y mínimas (1998-2017)
AÑO MAYOR PRECIPITACIÓN

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
PROM	414.30	405.59	496.16	536.93	558.78	517.75	446.24	351.96	381.34	350.50	444.35	541.42	4514.11
DESV. STA	41.38	27.43	77.62	62.17	50.03	66.07	20.74	22.48	32.99	15.06	46.25	70.60	508.20
MAX.	453.23	439.65	576.19	641.17	613.04	623.66	467.44	374.28	406.66	369.92	516.70	642.84	5403.89
MIN.	367.75	334.24	420.28	485.13	503.77	455.18	417.53	325.32	326.88	327.79	402.16	462.59	4174.34

AÑO MENOR PRECIPITACIÓN

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
PROM	160.58	200.06	243.10	310.83	334.84	280.43	225.46	170.59	216.06	220.86	213.23	205.92	3383.00
DESV. STA	35.33	26.50	47.98	20.93	47.14	48.06	24.59	17.17	22.26	25.92	43.73	20.68	131.87
MAX.	211.01	231.73	300.06	333.46	382.67	317.18	250.25	193.60	236.77	252.96	237.43	232.71	3494.91
MIN.	129.82	159.75	207.99	288.75	273.02	202.96	193.20	146.36	181.25	182.20	135.56	185.02	3163.01

Elaborado por: Lapo C., 2019

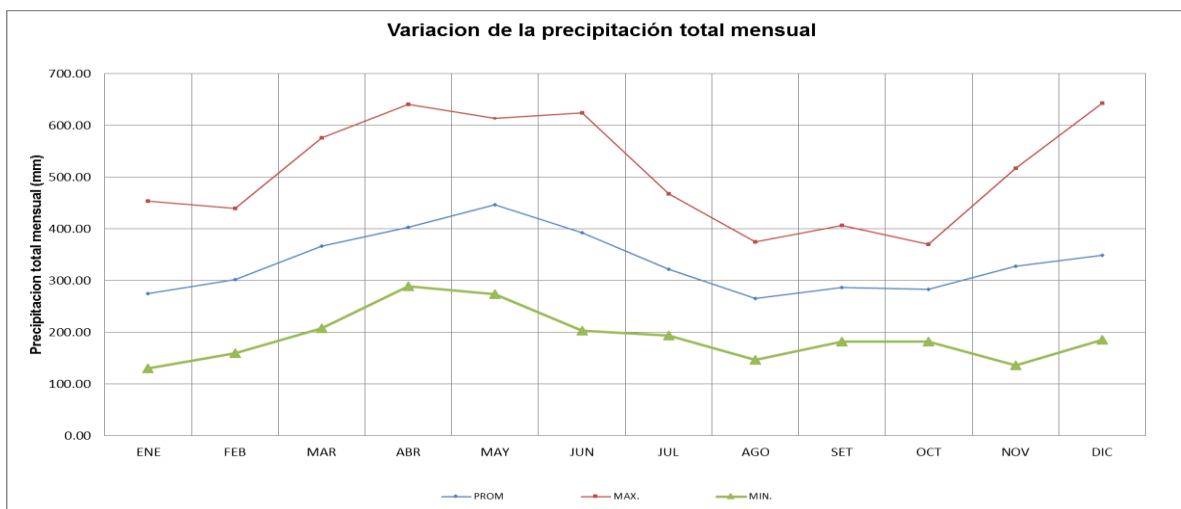


Figura 15 Variación de precipitación (1998-2017)

Elaborado por: Lapo C., 2019

Tabla 16 Precipitación máximo 24 horas

N°	AÑO	SIERRAZUL	TENA HDA. CHAUPI SHUNGO	ZATZAYAC U (AROSEME NA TOLA)	CHONTA PUNTA	HUATICOC HA	P _{MAX24}	MES
		mm	mm	mm	mm	mm		
1	1998	-	67.0	-	80.0	-	80.0	3.0
2	1999	-	72.6	-	85.5	126.0	126.0	
3	2000	-	-	-	-	-	0.0	2.0
4	2001	-	150	-	-	-	0.0	
5	2002	-	-	-	-	-	0.0	4.0
6	2003	18.6	-	140.5	-	-	140.5	10.0
7	2004	-	-	-	-	-	0.0	
8	2005	126.5	51.0	-	-	-	126.5	1.0
9	2006	-	41.4	-	157.0	-	157.0	3.0
10	2007	107.5	41.4	-	-	-	107.5	7.0
11	2008	118.5	-	119.2	-	103.0	119.2	
12	2009	-	110.6	87.0	99.9	-	110.6	4.0
13	2010	193.0	223.0	203.0	86.7	-	223.0	
14	2011	108.6	175.3	73.5	126.3	132.0	175.3	7.0
15	2012	88.0	104.5	163.4	141.2	118.4	163.4	
16	2013	107.6	125.9	154.2	96.7	-	154.2	4.0
17	2014	107.0	78.0	-	-	178.0	178.0	
18	2015	87.6	-	123.0	-	-	123.0	1.0
19	2016	87.6	-	123.0	-	-	123.0	4.0
20	2017	-	-	154.0	-	-	154.0	

Fuente: INAMHI 2018

Anexo 2. Cuestionario de Encuesta

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Objetivo: Conocer características del área de influencia al río Jatunyacu, para la determinación de la vulnerabilidad ante riesgo de inundación

Instrucciones: Estimado sírvase a responder con una X, las siguientes preguntas

1. Género
Masculino
Femenino

2. Número de personas por casa
0-2 hab.
3-6 hab.
7-10 hab.
Mayor a 10 hab.

3. Tipo de vivienda
Madera
Bloques
Mixta

4. Tipo de actividad económica que realiza
Primaria
Secundaria
Terciaria

5. ¿Conoce usted sobre los riesgos naturales y sus consecuencias?
Si
No

6. Grado de impacto de los eventos de inundación.
Bajo
Medio
Alto

7. ¿Conoce usted sobre los riesgos naturales y sus consecuencias?
Pérdidas de vidas
Vivienda
Actividad económica

8. Se ha capacitado en protocolos de prevención familiar ante eventos peligrosos
Si

No

Anexo 3. Resultado de la encuesta aplicada a la población

TABULACIÓN DE LA ENCUESTA

Datos informativos:

Tabla 17. Género

Género	Número
Masculino	60
Femenino	35

Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

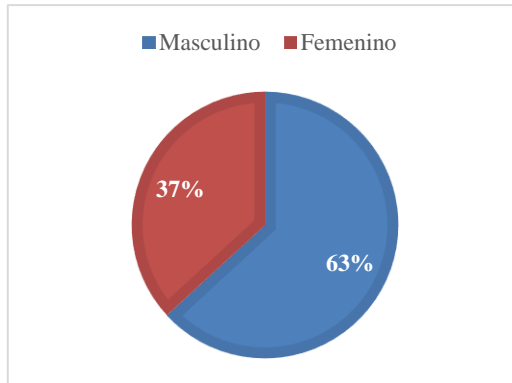
Tabla 18. Auto identificación étnica

Étnica	Número
Indígena	63
Mestiza	28
Blanca	4
Total	95

Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

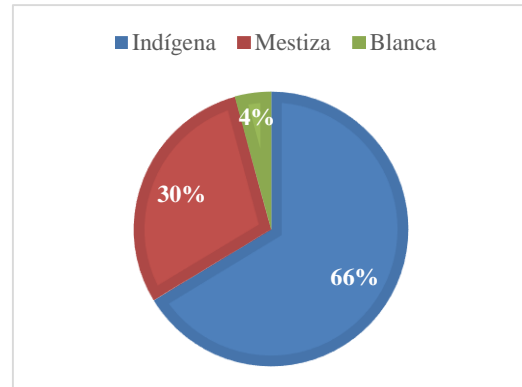
Gráfico 1. Género



Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

Gráfico 2. Auto identificación étnica



Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

Número de habitantes por vivienda.

- **Pregunta 1.** ¿Cuántas personas habitan en su vivienda?

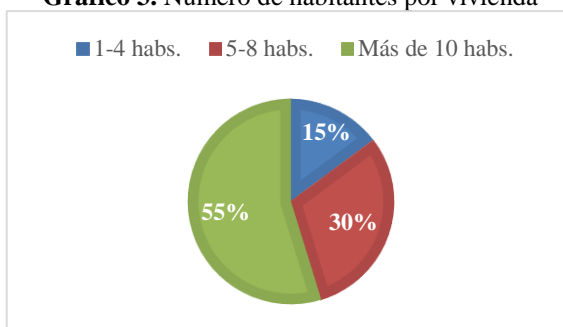
Tabla 19 Número de habitantes por vivienda

Hab/ Vivienda	Número
1-4 habs.	14
5-8 habs.	29
Más de 10 habs.	52
Total	95

Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

Gráfico 3. Número de habitantes por vivienda



Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

- **Pregunta 2.** ¿Cuántos dormitorios tiene su vivienda?

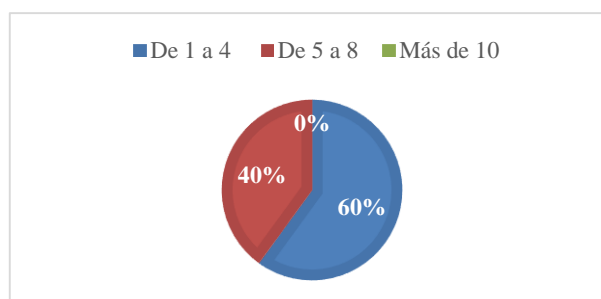
Tabla 20 Dormitorios por vivienda

Dormitorios / Vivienda	Número
De 1 a 4	36
De 5 a 8	24
Más de 10	0
Total	60

Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

Gráfico 4. Dormitorios por vivienda



Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

Tipo de vivienda

- **Pregunta 3.** ¿De qué materiales está conformada su vivienda?

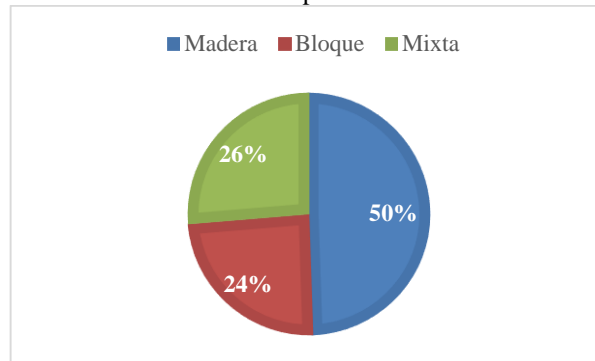
Tabla 21 Tipo de vivienda

Material	Número
Madera	47
Bloque	23
Mixta	25
Total	95

Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

Gráfico 5. Tipo de vivienda



Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

Tipo de actividad económica

- **Pregunta 4.** ¿Qué tipo de actividad económica desarrolla para su sustento?

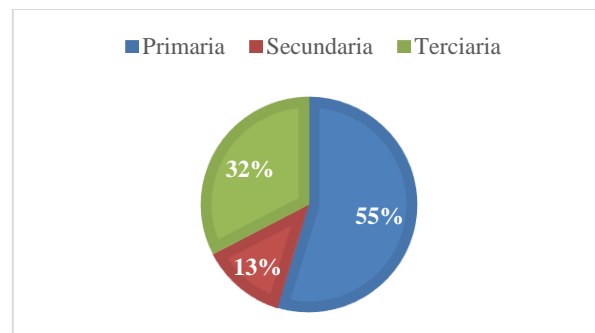
Tabla 22 Tipo de actividad económica local

Actividad económica	Número
Primaria	52
Secundaria	12
Terciaria	31
Total	95

Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

Gráfico 6. Tipo de actividad económica local



Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

Frecuencia de los eventos de inundación

- **Pregunta 5.** Identifique la frecuencia en la que se han producido inundaciones en el sitio en el que habita

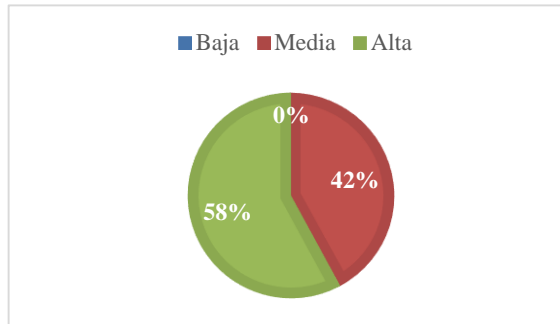
Tabla 23 Frecuencia de los eventos de inundación

Frecuencia	Número
Baja	0
Media	40
Alta	55
Total	95

Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

Gráfico 7. Frecuencia de los eventos de inundación



Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

Impacto por eventos de inundación

- **Pregunta 6.** Identifique que impacto se produce con más magnitud en los eventos de inundación

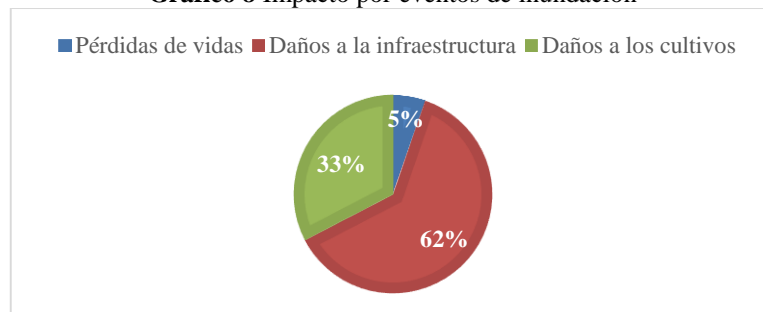
Tabla 24 Impacto por eventos de inundación

Impactos	Número
Pérdidas de vidas	5
Daños a la infraestructura	59
Daños a los cultivos	31
Total	95

Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

Gráfico 8 Impacto por eventos de inundación



Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

Medidas de prevención

Pregunta 7. ¿Conoce protocolos de prevención familiar ante eventos naturales?

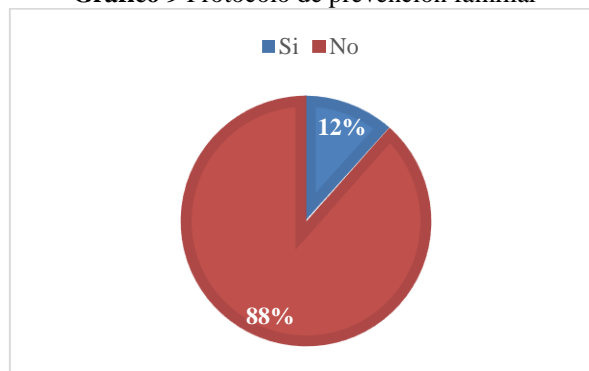
Tabla 25 Protocolo de prevención familiar

Criterio	Número
Si	11
No	84
Total	95

Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

Gráfico 9 Protocolo de prevención familiar



Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

Albergues

Pregunta 8. ¿Conoce los albergues en el cantón Tena?

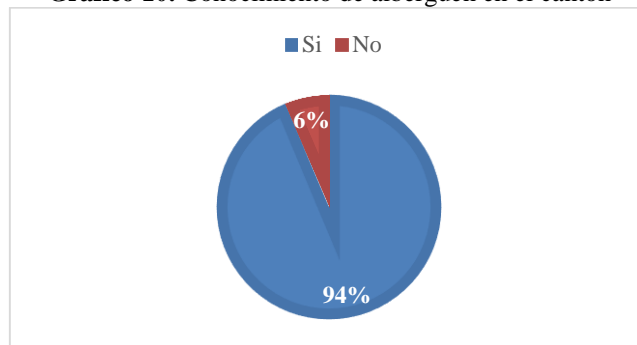
Tabla 26 Conocimiento de alberguen en el cantón

Criterio	Número
Si	89
No	6
Total	95

Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

Gráfico 10. Conocimiento de alberguen en el cantón



Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

Necesidad de identificación de riesgo

Pregunta 9. ¿Le gustaría conocer si su vivienda está en situación de riesgo alto medio o bajo?

Tabla 27 Necesidad de identificación de riesgo

Criterio	Número
Si	95
No	0
Total	95

Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

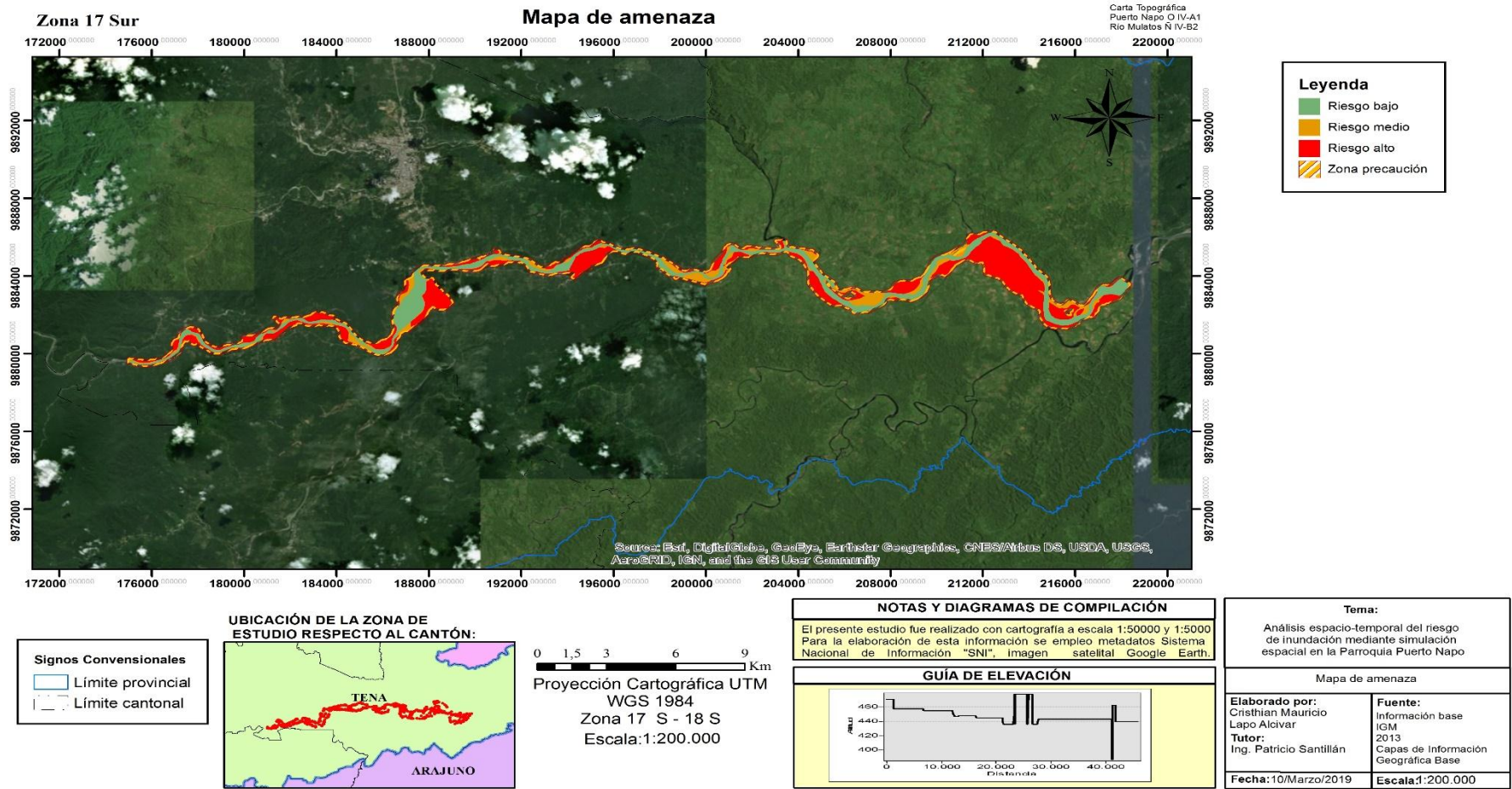
Gráfico 11 Necesidad de identificación de riesgo



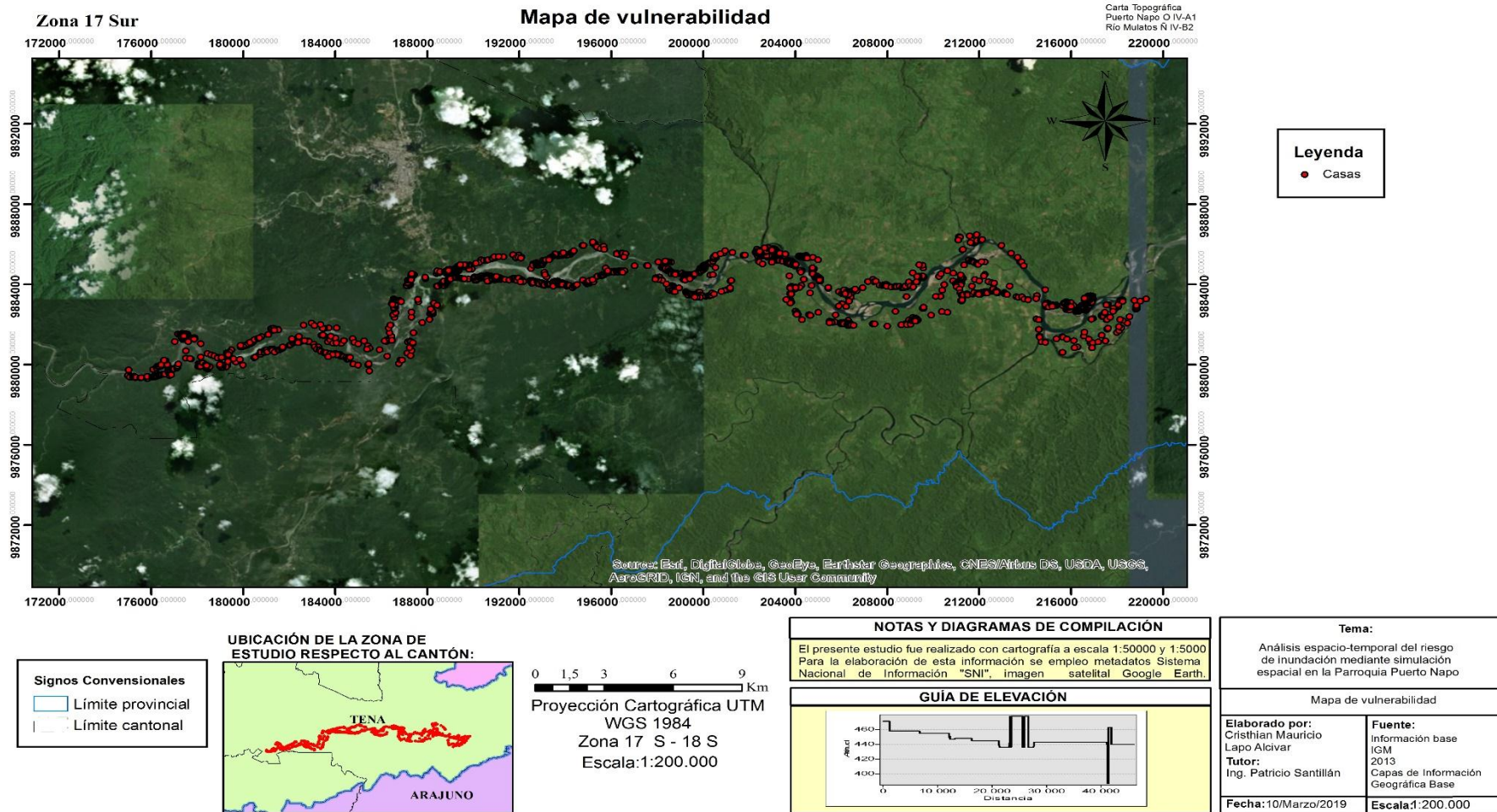
Elaborado por: Lapo C., 2019

Fuente: Encuesta

Anexo 4. Mapa de amenaza



Anexo 5. Mapa de vulnerabilidad



Anexo 6. Mapa de riesgo

