

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA
SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN
DE SUELOS Y AGUA**



**ESTIMACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE DAÑO HUMANO POR
INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA SELVA BAJA DEL PERÚ.**

Tesis

Para optar el título profesional de:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES,
MENCIÓN: CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

PRESENTADO POR:

TELLO FRETTEL, CARLOS ENRIQUE

Tingo María – Perú.

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María – Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 031-2022-FRNR-UNAS

Los que suscriben, miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 27 de junio del 2022 a horas 11:00 a. m. en la Sala de Sesiones de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la Tesis titulada:

“ESTIMACION DE LA PROBABILIDAD DE DAÑO HUMANO POR INUNDACION FLUVIAL EN LA SELVA BAJA DEL PERU”

Presentado por el Bachiller: **CARLOS ENRIQUE TELLO FRETTEL**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 31 de agosto de 2022


Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ
PRESIDENTE


Ing. M. Sc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
MIEMBRO


Ing. M. Sc. ERLE BUSTAMANTE SCAGLIONI
MIEMBRO


Ing. M. Sc. RICARDO MARTÍN CHÁVEZ ASEÑCO
ASESOR





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL
(RIDUNAS)

Correo: repositorio@unas.edu.pe



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 082 - 2023 - CS-RIDUNAS

El Coordinador de la Oficina de Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El trabajo de investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Facultad:

Facultad de Recursos Naturales Renovables

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de investigación	
-------	---	--------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
ESTIMACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE DAÑO HUMANO POR INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA SELVA BAJA DEL PERÚ.	TELLO FRETTEL, CARLOS ENRIQUE	16% Dieciséis

Tingo María, 04 de abril de 2023


Mg. Ing. García Villegas, Christian
Coordinador del Repositorio Institucional
Digital (RIDUNAS)

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES ESCUELA PROFESIONAL EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA



INFORME FINAL

Título	: Estimación de la probabilidad de daño humano por inundación fluvial en la selva baja del Perú.
Programa de investigación:	Gestión de Cuencas Hidrográficas
Línea de investigación	: Gestión del Riesgo
Eje temático	: Evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de desastres
Autor	: Tello Fretel, Carlos Enrique
Asesor(es)	: Ing. M. Sc. Ricardo Martín Chávez Asencio
Lugar de ejecución	: Tingo María
Duración del trabajo	: 6 meses
Financiamiento	: S/. 2693 .00
FEDU	: No
Propio	: Si
Otros	: No

Tingo María – Perú Marzo, 2022.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Objetivos.....	3
1.1.1.	Objetivo general.....	3
1.1.2.	Objetivos específicos	3
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1.	Antecedentes.....	4
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	4
2.1.2.	Antecedentes nacionales	5
2.1.3.	Antecedentes locales.....	6
2.2.	Marco teórico.....	6
2.2.1.	Daños y pérdidas humanas por inundaciones	6
2.2.2.	Bondad de ajuste	8
2.3.	Definiciones conceptuales	8
2.3.1.	Peligro.....	8
2.3.2.	Vulnerabilidad	8
2.3.3.	Riesgo	9
2.3.4.	Damnificados	9
2.3.5.	Afectados	9
2.3.6.	Periodo de retorno.....	9
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1.	Lugar de ejecución.....	10
3.1.1.	Ubicación geográfica	10
3.2.	Metodología.....	11
3.2.1.	Análisis descriptivo de los daños humanos por inundaciones en la selva baja del Perú	11

3.2.2. Distribución de frecuencias de los heridos y muertos causados por las inundaciones en función al número de lotes afectados en la selva baja del Perú	11
3.2.3. Encontrar el modelo de distribución de frecuencia acumulada CDF que mejor se ajuste a los daños históricos registrados mediante la prueba de Kolmogorov – Smirnov	12
3.2.4. Cuantificar las probabilidades de los daños humanos por inundaciones en función a los lotes afectados	13
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
4.1. Análisis descriptivo de los daños humanos por inundaciones en la selva baja del Perú	¡Error! Marcador no definido.
4.1.1. Ocurrencias	14
4.1.2. Afectados	15
4.1.3. Muertos y heridos	17
4.1.4. Viviendas afectadas y destruidas	18
4.2. Modelo de distribución de frecuencia acumulada CDF que mejor se ajuste a los daños históricos registrados mediante la prueba de Kolmogorov – Smirnov	¡Error! Marcador no definido.
4.2.1. Estimación de parámetros de modelos.....	19
4.2.2. Pruebas de bondad de ajuste	22
4.3. Cuantificación de las probabilidades de daños humanos por inundaciones en función a los lotes afectados	23
V. CONCLUSIÓN	25
5.1. Análisis descriptivo de los daños humanos por inundaciones en la selva baja del Perú	25
5.2. Evaluar los modelos de distribución de frecuencias acumuladas CDF que mejor se ajuste a los daños históricos registrados mediante la prueba de Kolmogorov – Smirnov y Chi cuadrado	25
5.3. Cuantificación de las probabilidades de daños humanos por inundaciones en función a los lotes afectados	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	Página
1. Modelos CDF de prueba para la distribución de daños ocasionados por las inundaciones en la selva alta	12
2. Descripción cualitativa de las probabilidades	13
3. Prueba de diferenciación estadística de tuckey ($\alpha = 0.05$) aplicada a la ocurrencia anual de inundaciones en las regiones naturales del Perú	15
4. Prueba de diferenciación estadística de tuckey ($\alpha = 0.05$) aplicada a la cantidad anual de afectados por inundaciones en las regiones naturales del Perú.....	16
5. Prueba de diferenciación estadística de tuckey ($\alpha = 0.05$) aplicada a la cantidad anual de afectados por inundaciones en las regiones naturales del Perú.....	19
6. Parámetros del ajuste de las distribuciones para los fallecidos	20
7. Parámetros del ajuste de las distribuciones para los heridos.....	22
8. Pruebas de bondad de ajuste de la distribución de frecuencia acumulada de heridos y fallecidos (Kolmogorov – Smirnov y Chi cuadrado respectivamente) y coeficiente de determinación R^2	22
9. Probabilidad cuantitativa y cualitativa de que una o más personas fallezcan a causa de una inundación en función a la cantidad de viviendas inundadas	23
10. Probabilidad cuantitativa y cualitativa de que una o más personas resulten heridas a causa de una inundación en función a la cantidad de viviendas inundadas	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Tablas	Página
1. Ubicación geográfica de la zona de estudio	10
2. Ocurrencias anuales de inundaciones en las regiones naturales del Perú	14
3. Proporción de ocurrencias de las inundaciones durante el periodo 2003 – 2018 por región natural en Perú	15
4. Cantidad de afectados anuales por inundaciones en las regiones naturales del Perú	16
5. Correlación entre la cantidad de afectados y el número de ocurrencias de inundaciones	17
6. Total, de ocurrencias de heridos y muertos a causa de las inundaciones en el Perú durante el periodo 2003 – 2018.....	18
7. Proporción de ocurrencias de las inundaciones durante el periodo 2003 – 2018 por región natural en Perú	19
8. Distribución de frecuencia acumulada de fallecidos en función a la cantidad de viviendas y ajuste a la distribución normal	¡Error! Marcador no definido.
9. Distribución de frecuencia acumulada de fallecidos en función a la cantidad de viviendas y ajuste a la distribución lognormal	¡Error! Marcador no definido.
10. Distribución de frecuencia acumulada de fallecidos en función a la cantidad de viviendas y ajuste a la distribución logística	¡Error! Marcador no definido.
11. Distribución de frecuencia acumulada de fallecidos en función a la cantidad de viviendas y ajuste a la distribución loglogística	20
12. Proporción de ocurrencias de las inundaciones durante el periodo 2003 – 2018 por región natural en Perú	¡Error! Marcador no definido.
13. Proporción de ocurrencias de las inundaciones durante el periodo 2003 – 2018 por región natural en Perú	¡Error! Marcador no definido.
14. Proporción de ocurrencias de las inundaciones durante el periodo 2003 – 2018 por región natural en Perú	¡Error! Marcador no definido.
15. Proporción de ocurrencias de las inundaciones durante el periodo 2003 – 2018 por región natural en Perú	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

Las inundaciones es uno de los desastres más recurrentes en el Perú y el mundo y una de las principales herramientas para la gestión de riesgos es la evaluación de riesgos, sin embargo, la metodología actual aplicable al Perú, no trabaja a la evaluación de riesgo con un enfoque probabilístico sino que lo hace por el análisis de criterios múltiples de características relacionadas al peligro y vulnerabilidad y a partir de estos se determina el riesgo, el problema con este enfoque, es que es muy difícil poder interpretar los daños probables del riesgo de manera cuantitativa y es que en realidad la metodología actual vigente del CENEPRED, no nos permite hallar la probabilidad de algún daño (probabilidad de heridos por un peligro o probabilidad de muertos, probabilidad de destrucción de infraestructuras, etc.). Por ello en esta investigación se pretende establecer un esquema de cómo estimar la probabilidad de daños humanos por inundaciones para la selva baja peruana, para ello primero se extrajeron datos históricos sobre inundaciones del INDECI para el periodo 2003 – 2018, registrando los eventos de inundaciones ocurridos, la cantidad de personas fallecidas por evento y la cantidad de viviendas afectadas en dicha inundación, posteriormente se relacionaron ambas variables en una curva de distribución acumulada de frecuencia. La mayor cantidad de número de inundaciones y afectados por inundaciones ocurre en la región Omagua o Selva Baja del país, en promedio con 87 inundaciones por año, en esta región ocurrieron cerca del 30% de las inundaciones totales del país durante el periodo 2003 – 2018. La región Quechua y Omagua o Selva baja son las zonas más inundables del país. La mayor cantidad de afectados por inundaciones sucedió en la región de Omagua o Selva baja, en promedio con 78658.31 afectados por año durante el periodo 2003 – 2018. La cantidad de muertos y heridos en la región es de Selva baja 45 y 65 respectivamente para el periodo de estudio. Las viviendas afectadas en la región Omagua o Selva Baja fue en promedio anual de 19771.94. En cuanto a las probabilidades, si en una inundación resulta inundados 28 o menos viviendas, existe una probabilidad menor del 30% de que una persona fallezca a causa de este evento, es decir es muy poco probable que una o más personas mueran en esta inundación, si en una inundación resultan inundados de 28 a 72 viviendas, existe una probabilidad entre 30% y 50% de que una persona fallezca a causa de este evento, es decir, lo más probable es que no ocurra que una o más personas mueran en esta inundación, si en una inundación resultan inundados de 72 a 187 viviendas, existe una probabilidad entre 50% y 70% de que una persona fallezca a causa de este evento, es decir, es posible que ocurra que una o más personas mueran en esta inundación, si en una

inundación resultan inundados de 187 a 748 viviendas, existe una probabilidad entre 70% y 90% de que una persona fallezca a causa de este evento, es decir, es posible que probablemente ocurra que una o más personas mueran en esta inundación y si en una inundación resultan inundadas 748 o más viviendas, existe una probabilidad mayor al 90% de que una persona fallezca a causa de este evento, es decir, es posible que muy probablemente ocurra que una o más personas mueran en esta inundación.

Palabras clave: Daños humanos, probabilidad, riesgo, selva alta

Abstract

Flooding is one of the most frequently occurring disasters in Peru and the world, and one of the principal tools for risk management is the evaluation of risks. Notwithstanding, the method that is currently applied in Peru does not use the evaluation of risk with a probabilistic focus; rather, it is done with a multi-criteria analysis of characteristics related to the danger and vulnerability, and from this, the risk is determined. The problem with this focus is that it is very difficult to be able to interpret probable damage from the risk in a quantitative fashion. In reality, CENEPRED's (acronym in Spanish) current valid method does not allow for the discovery of any damage (the probability of those hurt by a danger or the probability of death, the probability of the destruction of infrastructure, etc.). Thus, in this research, the intent was to establish an outline for how to estimate the probability of the human impact from flooding in the low Peruvian jungle. In order to do this, historic data regarding flooding was extracted from INDECI (acronym in Spanish) for the period from 2003 to 2018; registering the flooding events that occurred, the number of people that died per event, and the number of homes affected in said flood. After this, both variables were compared on a cumulative frequency distribution curve. The greatest number of floods and those affected by flooding occurred in the Omagua or low jungle region of the country. On average there were eighty seven floods per year; close to 30% of all of the floods in the country during the 2003 – 2018 period occurred in this region. The Quechua and Omagua or low jungle regions are the most frequently flooded zones in the country. The greatest number of those affected by floods occurred in the Omagua or low jungle region, with an average of 78,658.31 affected per year during the 2003 – 2018 period. The number of deaths and those harmed in the region was from the low jungle, with forty five and sixty five, respectively, for the period in study. The homes affected in the Omagua or low jungle region were an average of 19,771.94 yearly. With respect to the probabilities, if a flood resulted in twenty eight or less homes flooded, a probability of less than 30% existed that someone died as a result of the event; which is to say, it was very improbable that one or more people died in the flood. If in a flood, twenty eight to seventy two homes were flooded, a 30% to 50% probability existed that someone died due to the event; which is to say, more than likely, not one nor more people died in that flood. If the flood resulted in seventy two to one hundred and eighty seven homes flooded, a probability between 50% and 70% existed that someone died as a result of the event; which is to say, it was possible that one or more people died in that flood. If a flood resulted in one hundred eighty seven to seven hundred forty eight homes flooded, a 70% to 90% probability existed that

someone died as a result of the event; which is to say, it was possible that one or more people probably died in that flood. [Finally], if a flood resulted in seven hundred forty eight or more homes flooded, the probability that someone died as a result of the event was greater than 90%; which is to say that it was possible that it was highly probable that one or more people died in that flood.

Keywords: human impact, probability, risk, low jungle

I. INTRODUCCIÓN

En todo el mundo, el desastre natural más común y que tiene mayores impactos en pérdidas materiales y de vidas humanas son las inundaciones. De acuerdo con el Centro de Investigación en Epidemiología de Desastres, CRED, (2015) en los años 1994 – 2013 el desastre más frecuente fue las inundaciones y alcanzó el 43% de todos los sucesos relacionados con desastres, con respecto al número de personas afectadas por inundaciones la cifra alcanzó el 55% del total mundial (alrededor de 2500 millones de personas), cifra que es mayor que todos los demás tipos de desastres naturales juntos. La frecuencia de las inundaciones también aumentó, teniendo de un promedio por año de inundaciones de 123 ocurrencias desde el año 1994 hasta el año 2003, creciendo hasta un promedio anual de 171 ocurrencias de inundaciones para un período de 10 años desde el año 2004. En Sudamérica, 500,000 personas estuvieron damnificadas por la inundación desde el año 1994 hasta el año 2003 y solo en los siguientes 12 años (2004 – 2013), la cantidad de personas afectadas por inundación se incrementó hasta los 2 millones de personas (se cuadruplicó).

Por otra parte, según el Aquaduct Global Flood Analyzer, una herramienta interactiva en línea de seguimiento de inundaciones, se espera que hasta el 2030, las pérdidas económicas debido al daño urbano por las inundaciones en Perú asciendan a la suma de 2300 millones de dólares (CASEY, 2015)

Una herramienta para la prevención ante estos desastres por inundación es la evaluación del riesgo. Actualmente el organismo encargado de establecer la metodología y evaluar el riesgo es el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo CENEPRED. En la metodología del CENEPRED se debe calcular el peligro y la vulnerabilidad y producto de estas dos variables se estima el riesgo, sin embargo, el método para determinar riesgo es muy ambiguo ya que se vale de indicadores como factores condicionantes, desencadenantes e información socioeconómica para medir el probable daño humano y material. Según CENEPRED (2015) el riesgo se define como “la probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro”, sin embargo, la metodología

CENEPRED no mide la probabilidad directa de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas. Una probabilidad es posibilidad de que ocurra un evento determinado dado un número de sucesos y una forma empírica de estimar probabilidades consiste en obtener la frecuencia con la que sucede un determinado acontecimiento mediante la repetición de experimentos aleatorios, en este sentido, una manera directa de medir la probabilidad del riesgo de un daño por un evento de inundación, sería primero definiendo el tipo de daño (número de muertes, de heridos, de hectáreas perdidas, de cabezas de ganado perdida, etc.) y realizar un conteo de las veces que ocurrieron estos daños para eventos de inundaciones.

Uno de los daños más preocupantes por inundaciones, son las pérdidas de vidas humanas, por ello, un análisis de este daño merece un análisis individual. Aunque se considera que la pérdida de vidas es una consecuencia importante de las inundaciones, existe un número limitado de métodos disponibles para estimar el número de muertes causadas por las inundaciones (JONKMAN et al., 2005), y tal consideración a menudo se excluye de los análisis de costo-beneficio. Una importante explicación racional de esta exclusión es que se ha considerado que "es difícil predecir la pérdida de vidas, porque la pérdida depende de los elementos naturales como el momento de la ocurrencia de la inundación y de elementos sociales como el sistema de alerta temprana y las medidas de evacuación"

Una de las variables que frecuentemente se contabiliza en estos eventos son los lotes afectados, por otra parte, estos se pueden estimar mediante simulación hidráulica.

Conocer de manera más precisa la probabilidad de los daños humanos y materiales permitirá a los gestores tomar las medidas más adecuadas ante estos eventos, por otra parte, presentar los riesgos en términos más comunes y entendibles como "X% de probabilidad de encontrar al menos un muerto" ayudará a despertar las conciencias de las personas, ya que muchas veces ignoran los términos técnicos en los que se presentan estos informes.

La selva baja peruana es una región en la que convergen los afluentes de los cuerpos de agua que bajan desde la cordillera de los andes, por lo que estas regiones suelen presentar muchas inundaciones, volviéndose importante poder determinar el riesgo de daño humano por inundación, ya que como se mencionó anteriormente, la evaluación del riesgo es una herramienta primaria en la gestión del riesgo.

Por lo expuesto anteriormente se plantea la siguiente interrogante: ¿Cuáles son las probabilidades de daños humanos por inundación fluvial en la selva baja del Perú?

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Estimar los daños humanos por inundaciones en función a los lotes afectados en la selva baja del Perú.

1.1.2. Objetivos específicos

- Realizar el análisis exploratorio de datos lotes y afectados por inundaciones en la selva peruana
- Ajustar a una distribución de probabilidad la frecuencia acumulada de daños humanos en función de los lotes afectados para la selva baja peruana
- Estimación de la probabilidad de daños humanos por inundaciones en función de los lotes afectados para la selva baja peruana

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

En la investigación de CUREBAL et al., (2016) tuvo como objetivo explicar el mecanismo de formación de las inundaciones que ocurrieron en la cuenca de Keçidere en 2009. En este estudio, se utilizaron datos de descargas de precipitaciones entre 1981 y 2009, modelo de elevación digital (DEM), imágenes de satélite y trabajos de campo como las principales fuentes de datos. El modelo LPT3 se aplicó a datos de flujo máximo de 29 años para producir diferentes períodos de retorno de inundación, como inundaciones de 2, 5, 50, 100, 200, 500 y 1000 años. El DEM se creó utilizando contornos topográficos 1: 25,000 con técnicas de interpolación Topo a Ráster en sistemas de información geográfica (SIG). El uso de la tierra y algunos datos geométricos se digitalizaron utilizando imágenes satelitales de alta resolución para fines de modelado hidráulico. La simulación del evento de inundación repentina de 2009 y los diferentes datos de flujo de los períodos de retorno se realizaron mediante modelado hidráulico unidimensional con HEC-RAS. En la última fase Los resultados obtenidos de las simulaciones y los trabajos de campo se compararon con base en estadísticas de ajuste y error absoluto medio en términos de extensión y profundidad. Un análisis de las características de extensión y profundidad del agua observadas durante el flujo más alto jamás medido en la cuenca reveló que el resultado se superpuso con una extensión de inundación de 500 años. En general, los resultados de la investigación indican que el SIG es un entorno efectivo para el mapeo y análisis de llanuras de inundación.

En la investigación de ROMALI, YUSOP, y ISMAIL, (2018), se elaboran mapas de inundación con el modelo HEC – RAS para la ciudad de Segamat, Malasia. para obtener los datos de caudales e información topográfica se obtuvo del satélite IFSAR. Se aplicó un centro de distribución de frecuencia para los caudales, obviamente esta información el proyecto el mejor modelo seleccionados a partir del test de Kolmogorov – Smirnov, proyectándose los caudales para diferentes periodos de retorno. Esta información al modelo de qué raza también se consideró cobertura vegetal que sirvió como insumo para

determinar el coeficiente de rugosidad de Manning, topografía se procesaron en el software ArcGIS mediante la extensión HecGeoRAS. Para el tiempo de retorno de 100 años se estimó que el área inundada 5 veces grande con respecto a las inundaciones causadas en un período de retorno de 10 años.

2.1.2. Antecedentes nacionales

También podemos mencionar la tesis de HUARACC, (2018) en donde el objetivo fue evaluar el riesgo por inundación fluvial por desborde de la quebrada Tarahuayco en Ayacucho. Esta investigación se realizó porque en el área de estudio ocurren precipitaciones muy intensas y un porcentaje alto de las viviendas urbanas se encuentran muy cerca a la quebrada. Para lograr determinar el nivel de riesgo se trabajó con información histórica de datos meteorológicos y de esta manera se determinaron los umbrales de peligrosidad en función a las precipitaciones y a partir de estos umbrales máximos se desarrolló el mapa de inundación siendo este mapa considerado como un parámetro de evaluación general. Con respecto a los anteriores de exposición se consideró a la población en el área de influencia, características como los grupos etarios, los centros educativos y de salud expuestos, los ingresos económicos como factores de resiliencia, la actitud ante el riesgo y el grado de instrucción académica. El resultado de la investigación permitió identificar las áreas y la cantidad de personas expuestas al riesgo de inundación y a partir de éstas proponer alternativas y priorizar el nivel de riesgo.

En otro informe técnico sobre la evaluación del riesgo de inundación pluvial y fluvial originado por lluvias intensas en el área urbana del distrito de Piura realizado por SIHUAY (2017) se aplicó la metodología CENEPRED. En el cálculo del peligro se tomó como factor desencadenante a el número de eventos de precipitación causados por el fenómeno del niño y para los factores condicionantes se tomaron en cuenta la pendiente, distancias a drenajes deficientes, la geología y geomorfología; con respecto al análisis de vulnerabilidades en los elementos expuestos se identificaron a la población, viviendas, centros de salud y centros educativos para la fragilidad se usó a los grupos etarios, grupos con discapacidad, material predominante en las paredes y material predominante en los techos, por otra parte para la resiliencia se analizó el grado de instrucción, el tipo de seguro, el beneficio a programas sociales, el tipo de vivienda y el régimen de tenencia. Los resultados del estudio para la zona de estudio arrojan un riesgo muy alto con pérdidas aproximadas de S/. 2,015'986,940.93 soles.

2.1.3. Antecedentes locales

En el trabajo de TAPULLIMA (2018) titulado "Análisis del riesgo de inundación en la cuenca del río Supte Chico a través del modelado geoespacial". La investigación se llevó a cabo en la cuenca Supte San Jorge, ubicada en el distrito Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado, departamento Huánuco, con el objetivo de evaluar el riesgo de inundación por el río Supte. La metodología consistió en recolectar datos de la oficina, determinar parámetros morfométricos, curvas IDF y datos de campo para estimar flujos máximos, riesgos con sus respectivos escenarios, análisis de vulnerabilidad social, económica y ambiental y riesgos de inundación de la ubicación. Sute Chico; Los resultados fueron analizados e interpretados para traducirlos en los mapas temáticos respectivos. Los resultados fueron: tiene un área aproximada de 15.38 km², perímetro 18.79 km, ancho promedio 2.16 km, forma alargada, drenaje lento, 3161 mm de precipitación, la correlación negativa entre precipitación y altitud fue de 0.94, El modelo para un Tr es confiable por 30, 50 y 140 años y el flujo máximo promedio para un período de retorno de 140 años es 134.18 m³ / s. en 7 sectores, presentan riesgo alto y muy alto con 12.44% y 87.56%, vulnerabilidad social alta y muy alta con 83.98% y 16.02%, vulnerabilidad económica alta y muy alta con 90.88% y 9.12% y 100% de vulnerabilidad ambiental muy alta, y presenta un riesgo alto y muy alto en 12.44% y 87.56% del área evaluada, respectivamente. Finalmente, se calculó el costo de las probables pérdidas económicas en S / 11,088,000.00.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Daños y pérdidas humanas por inundaciones

El Peligro es la "Probabilidad de que un fenómeno, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un período de tiempo y frecuencia definidos" (CENEPRED, 2015). En el estudio de ZHAI et al., (2006) se proporciona un marco para analizar las muertes y lesiones causadas por las inundaciones, y describe la derivación de una función de riesgo de inundación generalizada (es decir, las consecuencias de las inundaciones y sus probabilidades) mediante la introducción de un índice integrado (el número de edificios residenciales afectados por una inundación) que representa el principal cambio en la relación de poder entre la intensidad de la inundación, la vulnerabilidad regional y la resiliencia.

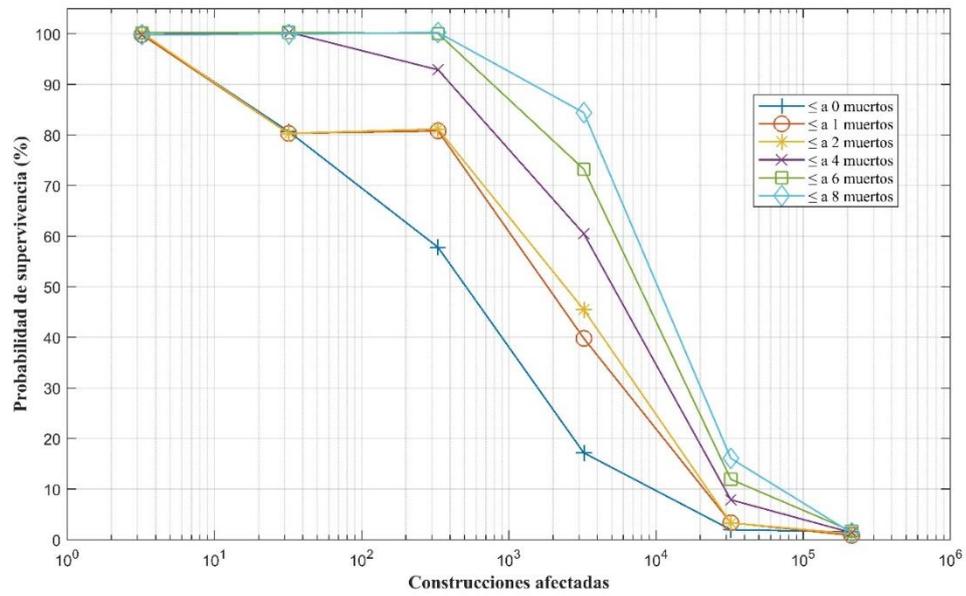


Figura 1. Relación de la probabilidad de supervivencia de individuos en función al número de construcciones afectadas por inundaciones

FUENTE: ZHAI et al., (2006)

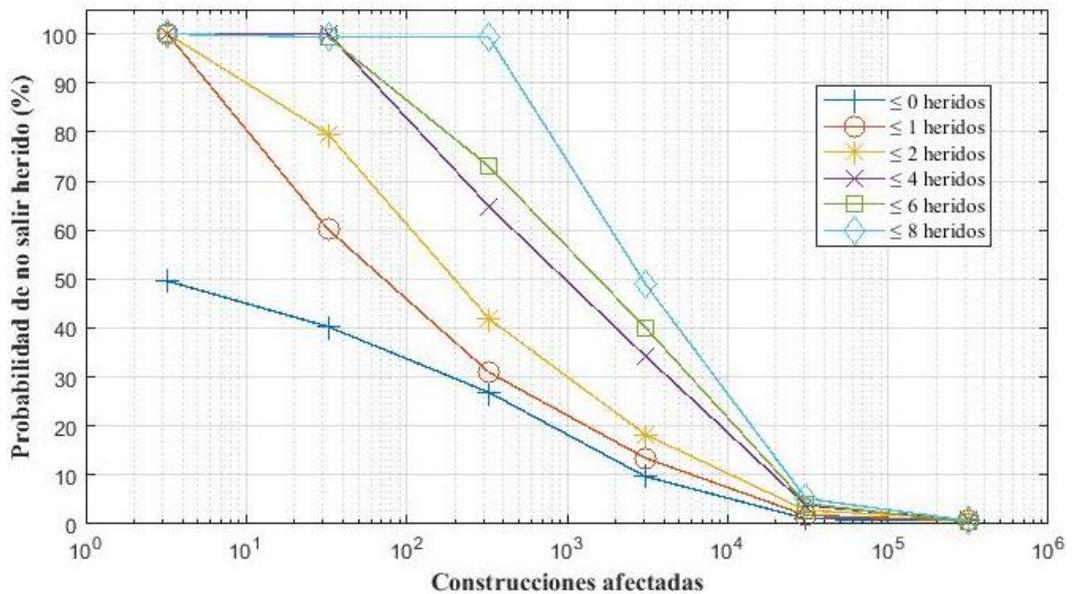


Figura 2. Relación de la probabilidad de no salir herido en función al número de construcciones afectadas por inundaciones

FUENTE: ZHAI et al., (2006)

En ese mismo estudio, los autores proponen un modelo empírico de que al menos una persona muera en función al número de construcciones afectadas y también de que al menos una persona salga herida en función al número de construcciones afectadas

$$\text{Prob}(\text{N}^\circ \text{ Muertos} \geq 1) = \frac{1}{1 + e^{[3.319 - 1.595 \times \text{Log}_{10}(\text{CI})]}} \quad (1)$$

$$\text{Prob}(\text{N}^\circ \text{ Heridos} \geq 1) = \frac{1}{1 + e^{[1.227 - 1.212 \times \text{Log}_{10}(\text{CI})]}} \quad (2)$$

En resumen, se puede estimar la probabilidad de al menos una muerte producto de una inundación teniendo en cuenta la cantidad de construcciones afectadas y la cantidad de construcciones afectadas se puede conocer con relativa precisión mediante la simulación de inundación

2.2.2. Bondad de ajuste

Una prueba de bondad de ajuste básicamente es la comparación gráfica de los datos observados de la distribución de frecuencia acumulada con respecto a un modelo de distribución de frecuencia estadístico, si los datos observados son similares a los que se predicen en los modelos de distribución de frecuencia estadísticos, entonces se dice que los datos se ajustan.

Para poder comprobar de manera segura si es que los datos observados se ajustan a la distribución estadística, es necesario utilizar herramientas estadísticas entre las más comunes, tenemos a la prueba de Chi – cuadrado y a la prueba de Kolmogorov Smirnov.

2.3. Definiciones conceptuales

2.3.1. Peligro

“Es la probabilidad de que un fenómeno físico, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana se presente en un lugar específico con una cierta intensidad y en un periodo de tiempo y frecuencia definidos” (CENEPRED, 2015)

2.3.2. Vulnerabilidad

Según el CENEPRED (2014) la vulnerabilidad “es la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro. La vulnerabilidad puede ser explicada por tres factores: Exposición, Fragilidad y Resiliencia”.

2.3.3. Riesgo

Es la probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro. (CENEPRED, 2015)

2.3.4. Damnificados

Persona afectada parcial o íntegramente por una emergencia o desastre y que ha sufrido daño o perjuicio a su salud o en sus bienes, en cuyo caso generalmente ha quedado sin alojamiento o vivienda en forma total o parcial, permanente o temporalmente, por lo que recibe refugio y ayuda humanitaria temporales. No tiene capacidad propia para recuperar el estado de sus bienes y patrimonio (INDECI, 2005)

2.3.5. Afectados

Persona, animal, territorio o infraestructura que sufre perturbación en su ambiente por efectos de un fenómeno. Puede requerir de apoyo inmediato para eliminar o reducir las causas de la perturbación para la continuación de la actividad normal (INDECI, 2005)

2.3.6. Periodo de retorno

Periodo de retorno, intervalo de tiempo promedio, dentro del cual un evento de magnitud x , puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio. Representa el inverso de la frecuencia. (VILLÓN, 2002)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación geográfica

La ubicación del análisis de la presente investigación se llevará a cabo en la región peruana Omagua o Selva baja ubicada en la zona oriental del país abarcando una extensión de 542983.97 km² con coordenadas Este 30609.0 hasta 1166747.8 y coordenadas Norte 8425101.7 hasta 9660565.2, con altitudes desde 80 a 400 msnm.

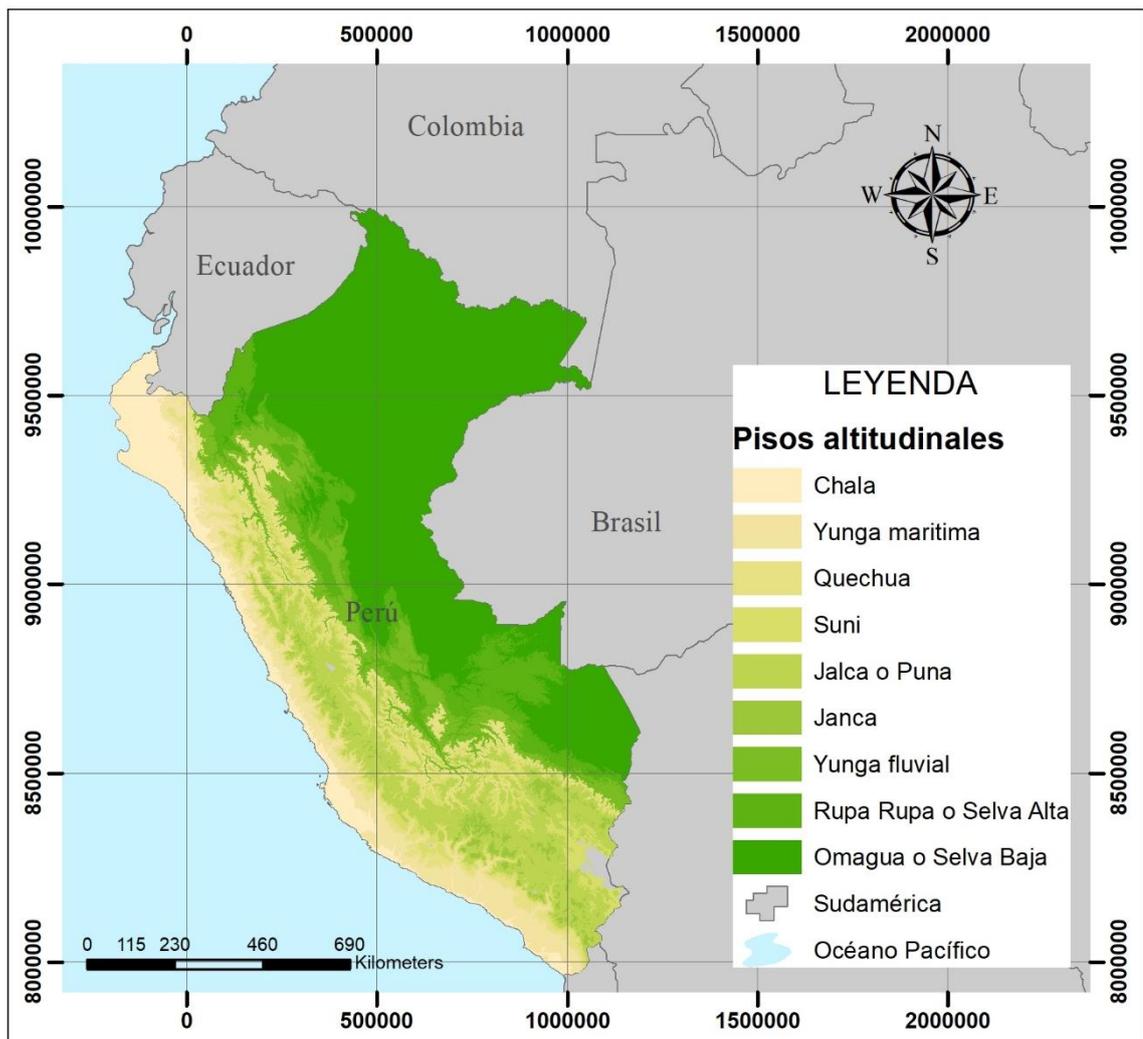


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio

3.2. Metodología

3.2.1. Análisis descriptivo de los daños humanos por inundaciones en la selva baja del Perú

A partir de los datos históricos de INDECI y los pisos altitudinales del Perú se tomarán los registros de los daños causados por las inundaciones juntamente con la cantidad de lotes afectados en cada evento. La data histórica corresponde al periodo 2003 – 2018 y los datos a procesar se definen de la siguiente manera:

- **Afectados:** Persona, animal, territorio o infraestructura que sufre perturbación en su ambiente por efectos de un fenómeno. Puede requerir de apoyo inmediato para eliminar o reducir las causas de la perturbación para la continuación de la actividad normal (INDECI, 2005)
- **Heridos:** Son las personas que, producto de un fenómeno (en este caso inundaciones), sufren lesiones desde leves a severas pero que no causan la muerte.
- **Muertos:** Son las personas que, producto de un fenómeno (en este caso inundaciones), perdieron la vida.
- **Lotes afectados:** Es el número total de lotes que sufren perturbación en su ambiente por efectos de un fenómeno, en este caso particular, por el fenómeno de inundación.
- **Lotes destruidos:** Son aquellos lotes que, producto de un fenómeno (en este caso inundaciones), están parcial o totalmente destruidos

Para cada uno de los elementos descritos anteriormente se realizaron análisis comparativo entre los distintos pisos altitudinales, también se utilizarán estadísticas de descripción. A partir del ANOVA se determinarán las diferencias estadísticas de las siguientes variables: Número de heridos, número de muertos, número de lotes afectados, número de lotes destruidos y número de eventos registrados

3.2.2. Distribución de frecuencias de los heridos y muertos causados por las inundaciones en función al número de lotes afectados en la selva baja del Perú

Para la obtención de las frecuencias de los heridos y muertos causados por las inundaciones en función al número de lotes afectados en la selva baja del Perú se considera lo siguiente:

- **Daño humano:** esta variable se construirá a partir del registro de número de heridos y muertos por evento de inundación:
 - **Evento donde ocurre al menos un herido (EA1H)**, se considerará EA1H = 1 si en la inundación se han registrado 1 o más heridos y EA1H = 0 si en la inundación no se han registrado heridos
 - **Evento donde ocurre al menos un muerto (EA1M)**, se considerará EA1M = 1 si en la inundación se han registrado 1 o más muertos y EA1H = 0 si en la inundación no se han registrado muertos
- **Correlación de Pearson:** Se realizará una prueba de correlación de Pearson entre la cantidad de lotes inundados con la cantidad de heridos y con la cantidad de muertos.
- **Construcción de la tabla de frecuencias acumuladas:** Se realizará un conteo de viviendas que se agruparán por rangos y se contabilizarán el número de **EA1H y EA1M** y a partir de esta tabla de frecuencias, se construirá la distribución de frecuencias acumuladas

3.2.3. Encontrar el modelo de distribución de frecuencia acumulada CDF que mejor se ajuste a los daños históricos registrados mediante la prueba de Kolmogorov – Smirnov

Los daños históricos registrados se agruparán por el número de lotes afectados y se construirán las frecuencias relativas acumuladas de los daños humanos (1 o más heridos y 1 o más muertos), posteriormente se probarán algunos modelos CDF para realizar la prueba de máxima verosimilitud. Considerando la investigación de (Zhai, Fukuzono, & Ikeda, 2006), los modelos CDF de prueba serán los siguientes

Tabla 1. Modelos CDF de prueba para la distribución de daños ocasionados por las inundaciones en la selva alta

Nombre	Modelo
Normal	$\frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x - \mu}{\sigma\sqrt{2}} \right) \right]$
Log - Normal	$\frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\operatorname{Ln}(x) - \mu}{\sigma\sqrt{2}} \right) \right]$
Logístico	$\frac{1}{1 + e^{-(x-\mu)/s}}$
Log – Logístico	$\frac{1}{1 + (x/\alpha)^{-\beta}}$

Posteriormente se aplicará la prueba de Kolmogorov – Smirnov a un nivel de $\alpha = 0.05$.

$$D = \sup_{1 \leq i \leq n} |\hat{F}_n(x_i) - F_0(x_i)|$$

Donde:

- x_i es el i -ésimo valor observado en la muestra (cuyos valores se han ordenado previamente en orden creciente)
- $\hat{F}_n(x_i)$ es un estimador de la probabilidad de observar valores menores o iguales que x_i
- $F_0(x_i)$ es la probabilidad de observar valores menores o iguales que x_i

3.2.4. Cuantificar las probabilidades de los daños humanos por inundaciones en función a los lotes afectados

Según ZECKHAUSER y SUNSTEIN, (2010) las probabilidades numéricas cuantitativas, pueden describirse de manera cualitativa, a continuación, se presenta un cuadro de equivalencias.

Tabla 2. Descripción cualitativa de las probabilidades

Probabilidad relativa	Valor numérico	Descripción
Muy bajo	0.1 - 0.3	Muy poco probable que ocurra.
Bajo	0.3 - 0.5	Lo más probable es que no ocurra
Moderado	0.5 - 0.7	Posible ocurrir
Alto	0.7 - 0.9	Probable que ocurra
Muy alto	0.9 - 1	Muy probable que ocurra

FUENTE: ZECKHAUSER y SUNSTEIN, (2010)

Una vez realizado el ajuste se hará la descripción cualitativa de las probabilidades calculadas considerando estudios de simulación de inundación en las zonas de selva baja del país.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis exploratorio de datos (lotes y afectados)

4.1.1. Ocurrencias

Con respecto a las inundaciones ocurridas en las regiones naturales del Perú se puede apreciar que la mayor cantidad de ocurrencias sucedió en la región de Omagua o Selva Baja, en promedio con 87 inundaciones por año, en esta región ocurrieron cerca del 30% de las inundaciones totales del país durante el periodo 2003 – 2018 (Figura 3). Esto puede explicarse porque en las partes bajas de las cuencas suelen converger todos los afluentes de manera que los caudales son más altos por lo cual hay más probabilidad de desborde. Es por ello que en la región Omagua observa baja (0 – 400 msnm) es más frecuente las inundaciones.

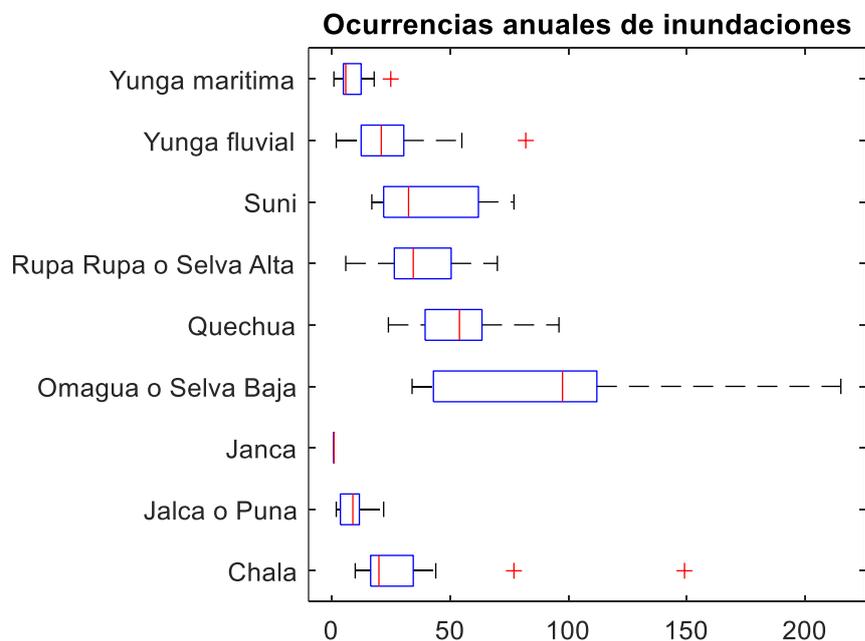


Figura 2. Ocurrencias anuales de inundaciones en las regiones naturales del Perú

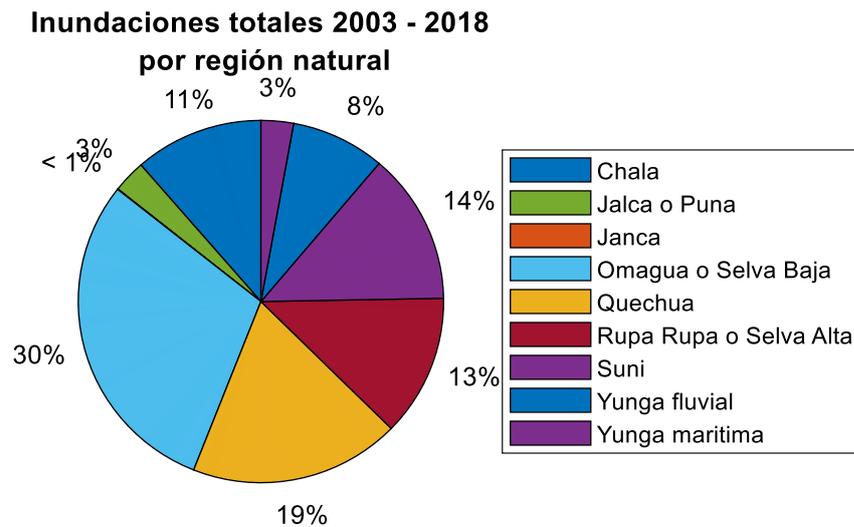


Figura 3. Proporción de ocurrencias de las inundaciones durante el periodo 2003 – 2018 por región natural en Perú

De acuerdo con la Tabla 3, mediante la prueba de Tuckey a un nivel $\alpha = 0.05$, existen 2 grupos estadísticos claramente diferenciados (grupo A y D), pudiendo afirmar que la región Quechua y Omagua o Selva baja son las zonas más inundables del país.

Tabla 3. Prueba de diferenciación estadística de tuckey ($\alpha = 0.05$) aplicada a la ocurrencia anual de inundaciones en las regiones naturales del Perú

Región	Medias	E.E.	Grupos			
Janca	1	17.9	A			
Yunga marítima	9	6.54	A	B		
Jalca o Puna	9.13	6.54	A	B		
Yunga fluvial	24.44	6.33	A	B	C	
Chala	33.5	6.33	A	B	C	
Rupa Rupa o Selva Alta	37.13	6.33	A	B	C	
Suni	39.69	6.33		B	C	
Quechua	54.75	6.33			C	D
Omagua o Selva Baja	87	6.33				D

4.1.2. Afectados

Con respecto a la cantidad de afectados por inundaciones en las regiones naturales del Perú se puede apreciar que la mayor cantidad sucedió en la región de Omagua o Selva alta, en promedio con 78658.31 afectados por año durante el periodo. La Cantidad de afectados por año a causa de las inundaciones está relacionado con el número de ocurrencias de la misma tal y como se muestra en la Figura 7, existe una correlación directa entre la

cantidad de ocurrencia de inundaciones y el número de afectados, Es por ello que la mayor cantidad de personas afectadas por inundaciones también se encuentre en la región Omagua o Selva Baja.

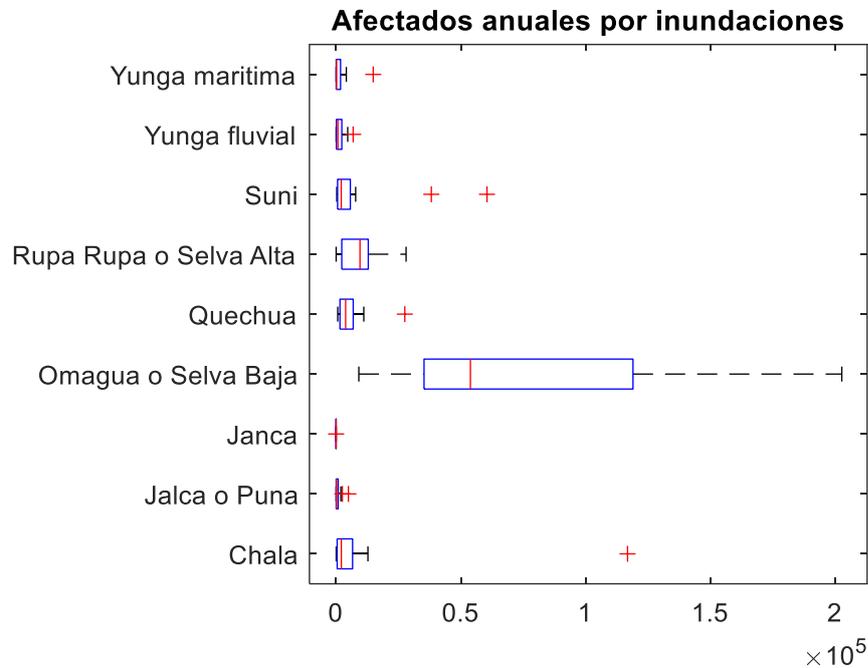


Figura 4. Cantidad de afectados anuales por inundaciones en las regiones naturales del Perú

Tabla 4. Prueba de diferenciación estadística de tuckey ($\alpha = 0.05$) aplicada a la cantidad anual de afectados por inundaciones en las regiones naturales del Perú

Región	Medias	E.E.	Grupos
Janca	1.5	6232.62	A
Jalca o Puna	757.06	6232.62	A
Yunga fluvial	1544.94	6232.62	A
Yunga marítima	1640.38	6232.62	A
Quechua	5623.38	6232.62	A
Suni	8332.38	6232.62	A
Rupa Rupa o Selva Alta	10075.38	6232.62	A
Chala	10580.38	6232.62	A
Omagua o Selva alta	78658.31	6232.62	B

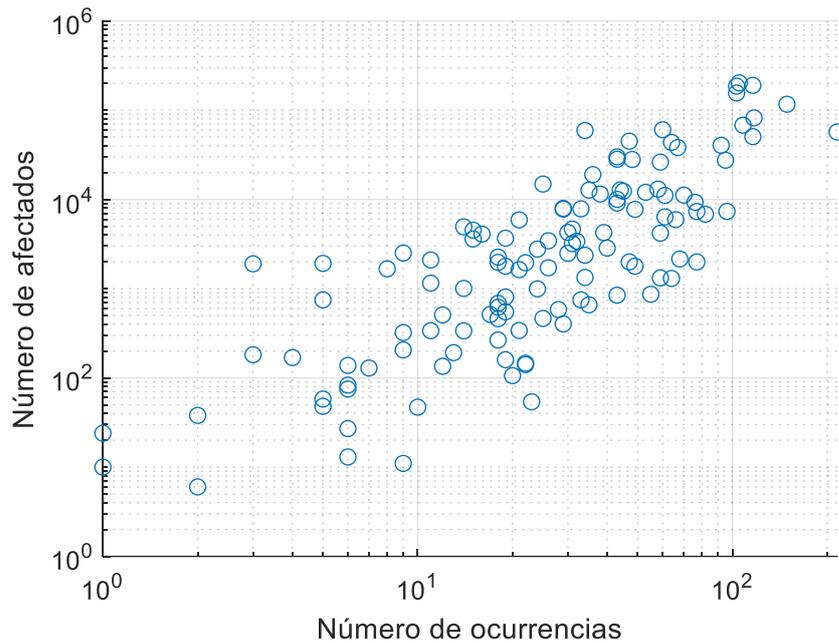


Figura 5. Correlación entre la cantidad de afectados y el número de ocurrencias de inundaciones

4.1.3. Muertos y heridos

De acuerdo con la Figura 6, la cantidad de heridos y muertos en total durante el periodo 2003 – 2018 a causa de las inundaciones es relativamente igual en la zona de Rupa Rupa o Selva alta y la región de Omagua o Selva baja.

A pesar de que en la región de selva baja ocurre en promedio menor cantidad de inundaciones y también menor cantidad de afectados por las inundaciones, la cantidad de heridos y muertos ocurridos en total durante el periodo 2003 – 2018, es prácticamente igual a la cantidad de heridos y muertos ocurridos en la región de selva alta, lo que significa que las inundaciones en la región de la selva alta son más letales que las inundaciones en las zonas de selva alta.

De acuerdo con CENEPRED, las inundaciones rápidas son más letales que las inundaciones lentas, en la región selva baja del país las pendientes son más pronunciadas por lo que la energía cinética del desborde también es mayor, esto puede explicar el porqué de que a pesar de que la cantidad de inundaciones por año sea mucho menor en la región de selva baja en comparación con la región de selva alta, la cantidad de fallecidos y heridos acumulados durante el periodo 2003 – 2018, son prácticamente iguales, es decir, las

inundaciones en la región de selva baja del Perú son más letales (más muertos y heridos relativos) en comparación con las inundaciones la zona de selva baja.

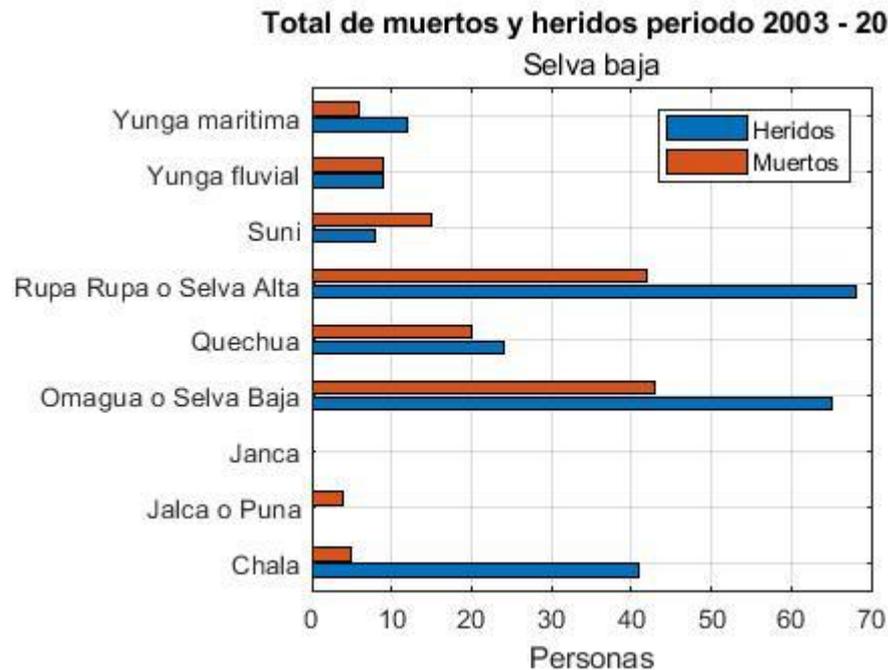


Figura 6. Total, de ocurrencias de heridos y muertos a causa de las inundaciones en el Perú durante el periodo 2003 – 2018.

4.1.4. Viviendas afectadas y destruidas

De acuerdo con la Figura 7, la cantidad de viviendas afectadas en total durante el periodo 2003 – 2018 a causa de las inundaciones es mayor en la región Omagua o Selva Baja, con un promedio anual de 19771.94 viviendas inundadas.

Al igual que con la cantidad de personas afectadas, la cantidad de viviendas inundadas en total por año está correlacionada con la cantidad de inundaciones ocurridas y sabemos que en la región Omagua o Selva Baja, ocurre la mayor cantidad de inundaciones por año y por ello era de esperarse que también ocurra la mayor cantidad de viviendas inundadas por año.

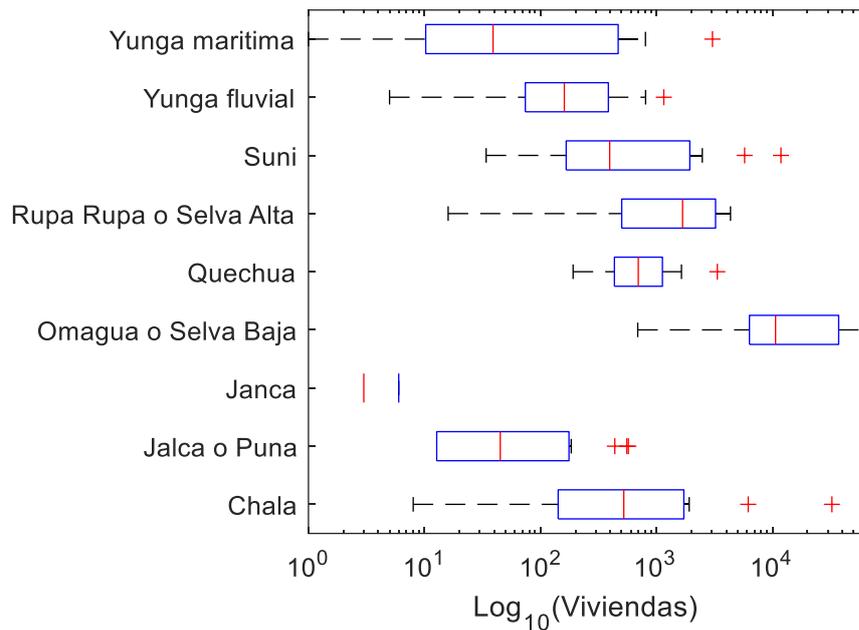


Figura 7. Proporción de ocurrencias de las inundaciones durante el periodo 2003 – 2018 por región natural en Perú

Tabla 5. Prueba de diferenciación estadística de tuckey ($\alpha = 0.05$) aplicada a la cantidad anual de afectados por inundaciones en las regiones naturales del Perú

Región	Medias	E.E.	Grupos
Janca	3	5114.57	A
Jalca o Puna	147.13	1867.58	A
Yunga fluvial	288.56	1808.27	A
Yunga marítima	896.56	1808.27	A
Quechua	1027.77	1299.1	A
Suni	1719.25	1808.27	A
Rupa Rupa o Selva Alta	1841.06	1808.27	A
Chala	3017.75	1808.27	A
Omagua o Selva alta	19771.94	1808.27	B

4.2. Ajuste a una distribución de probabilidad

4.2.1. Estimación de parámetros de modelos

4.2.1.1. Fallecidos

Para la distribución de frecuencia acumulada de fallecidos en función de la cantidad de viviendas inundadas como se puede apreciar en las Figuras 10 – 13. En todos los casos las pruebas de Kolmogorov – Smirnov, rechaza la hipótesis de que la distribución de frecuencia acumulada de fallecidos provenga de una distribución normal, log – normal,

logístico y log – logístico ($p < 0.01$ en todos los casos), sin embargo, mediante las pruebas de chi cuadrado, se acepta que la distribución de frecuencia acumulada de fallecidos proviene de distribuciones log – normal y log – logística ($p < 0.01$). La distribución que mejor coeficiente de determinación tuvo fue la distribución log – normal ($R^2 = 0.89$) y el que tuvo menor coeficiente de determinación fue la distribución normal ($R^2 = 0.88$).

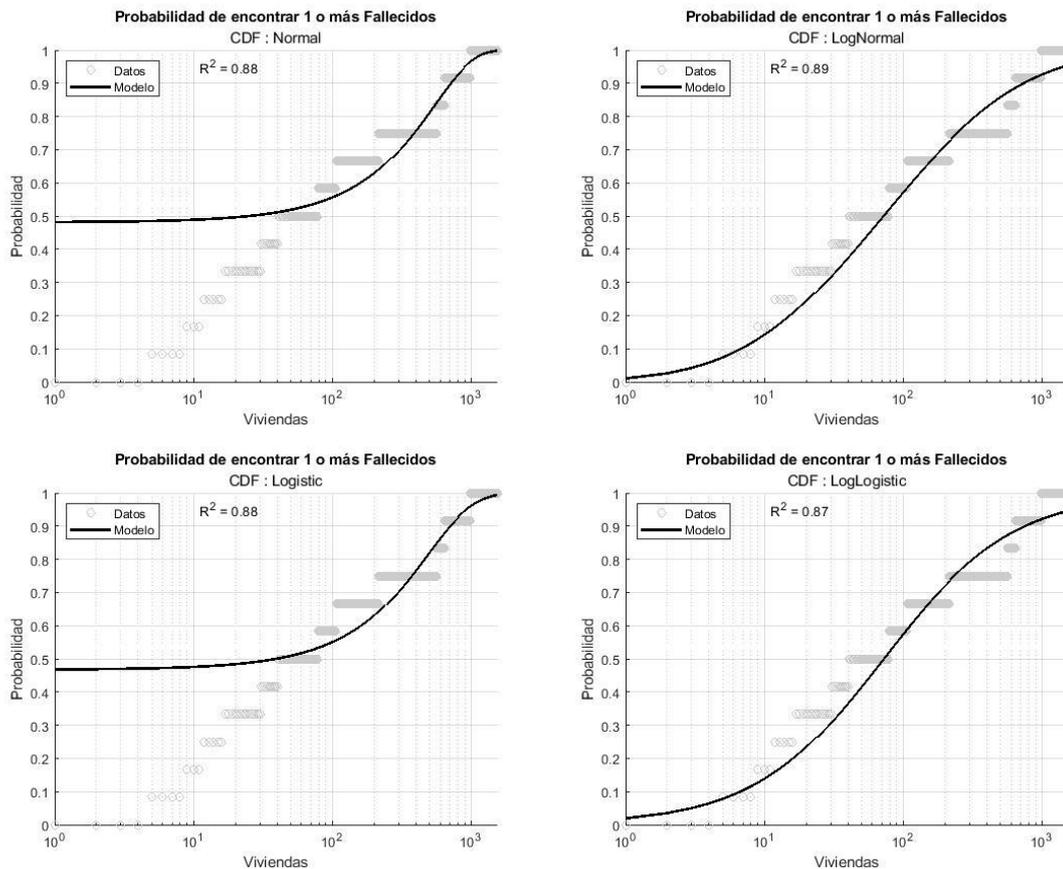


Figura 8. Distribución de frecuencia acumulada de fallecidos en función a la cantidad de viviendas y ajuste a la distribución normal, log-normal, logística y log-logística

Tabla 6. Parámetros del ajuste de las distribuciones para los fallecidos

Distribución	Parámetros	Valor	Confianza (95%)	
			Li	Ls
Normal	μ	25.836	15.271	36.400
	σ	536.000	520.660	551.340
Log-Normal	μ	4.273	4.235	4.311
	σ	1.829	1.788	1.870
Logística	μ	40.182	30.710	49.655
	s	302.969	294.204	311.735
Log-Logística	μ	4.280	4.240	4.320
	s	1.075	1.048	1.102

4.2.1.2. Heridos

Para la distribución de frecuencia acumulada de heridos en función de la cantidad de viviendas inundadas como se puede apreciar en las Figuras 14 – 17. En todos los casos las pruebas de Kolmogorov – Smirnov, rechaza la hipótesis de que la distribución de frecuencia acumulada de heridos provenga de una distribución normal, log – normal, logístico y log – logístico ($p < 0.01$ en todos los casos), sin embargo, mediante las pruebas de chi cuadrado, se acepta que la distribución de frecuencia acumulada de heridos proviene de distribuciones log – normal y log – logística ($p < 0.01$). La distribución que mejor coeficiente de determinación tuvo fue la distribución log – normal ($R^2 = 0.91$) y el que tuvo menor coeficiente de determinación fue la distribución normal ($R^2 = 0.79$).

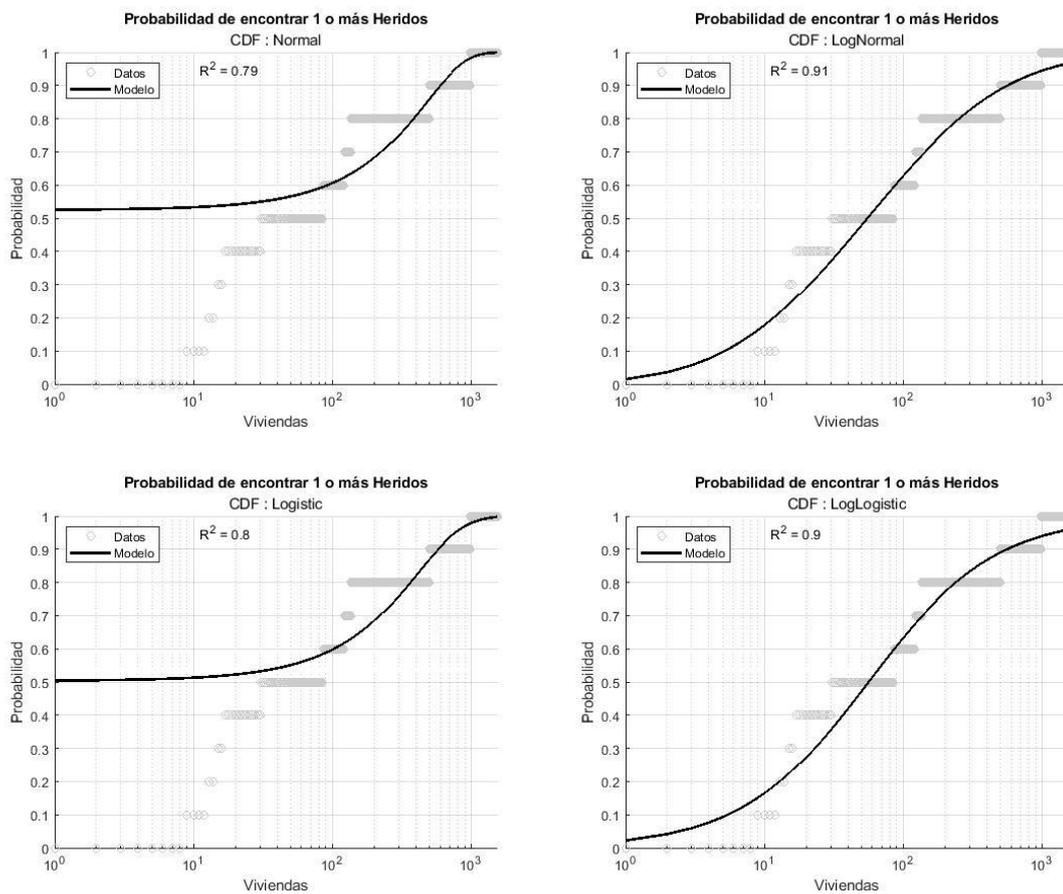


Figura 9. Distribución de frecuencia acumulada de heridos en función a la cantidad de viviendas y ajuste a la distribución normal, lognormal, logística y loglogística

Tabla 7. Parámetros del ajuste de las distribuciones para los heridos

Distribución	Parámetros	Valor	Confianza (95%)	
			Li	Ls
Normal	μ	-30.485	-45.223	-15.747
	σ	491.226	471.134	511.317
LogNormal	μ	4.005	3.970	4.039
	σ	1.830	1.795	1.865
Logística	μ	-3.356	-15.397	8.685
	s	264.855	254.304	275.407
LogLogística	μ	4.026	3.991	4.061
	s	1.055	1.033	1.077

4.2.2. Pruebas de bondad de ajuste

En el estudio de ZHAI *et al.*, (2011), también se compararon las distribuciones normales y logísticas tanto en sus versiones convencionales como en las versiones logarítmicas, sin embargo, en el estudio del autor mencionado, la distribución de frecuencia acumulada de heridos y fallecidos se ajustó mejor a la distribución log – logística ($R^2 = 0.98$ y $R^2 = 0.99$). Esto puede explicarse por la diferencia en los volúmenes de datos, mientras que en el estudio del autor mencionado las curvas probabilísticas se construyeron con 32789 eventos de inundación, en este estudio sólo se trabajaron con 1495 eventos los cuales fueron registrados por el INDECI durante el periodo 2003 – 2018.

Tabla 8. Pruebas de bondad de ajuste de la distribución de frecuencia acumulada de heridos y fallecidos (Kolmogorov – Smirnov y Chi cuadrado respectivamente) y coeficiente de determinación R^2

Variables	Modelo	p - valor	R^2
Heridos	Normal	< 0.01	0.79
		0.59	
	Log - Normal	< 0.01	0.91
		0.023	
Logístico	< 0.01	0.80	
	0.196		
Log - Logístico	< 0.01	0.90	
	0.032		
Fallecidos	Normal	< 0.01	0.88
		0.44	
	Log - Normal	< 0.01	0.89
		0.0012	
Logístico	< 0.01	0.88	
	0.67		
Log - Logístico	< 0.01	0.89	
	0.019		

4.3. Cuantificación de las probabilidades de daños humanos por inundaciones en función a los lotes afectados

De acuerdo con la Tabla 9, si en una inundación resulta inundados 28 o menos viviendas, existe una probabilidad menor del 30% de que una persona fallezca a causa de este evento, es decir es muy poco probable que una o más personas mueran en esta inundación, si en una inundación resultan inundados de 28 a 72 viviendas, existe una probabilidad entre 30% y 50% de que una persona fallezca a causa de este evento, es decir, lo más probable es que no ocurra que una o más personas mueran en esta inundación, si en una inundación resultan inundados de 72 a 187 viviendas, existe una probabilidad entre 50% y 70% de que una persona fallezca a causa de este evento, es decir, es posible que ocurra que una o más personas mueran en esta inundación, si en una inundación resultan inundados de 187 a 748 viviendas, existe una probabilidad entre 70% y 90% de que una persona fallezca a causa de este evento, es decir, es posible que probablemente ocurra que una o más personas mueran en esta inundación y si en una inundación resultan inundadas 748 o más viviendas, existe una probabilidad mayor al 90% de que una persona fallezca a causa de este evento, es decir, es posible que muy probablemente ocurra que una o más personas mueran en esta inundación.

Tabla 9. Probabilidad cuantitativa y cualitativa de que una o más personas fallezcan a causa de una inundación en función a la cantidad de viviendas inundadas

Viviendas inundadas	Valor numérico	Probabilidad de que la inundación cause 1 o más fallecidos
< 28	< 0.3	Muy poco probable que ocurra.
28 - 72	0.3 - 0.5	Probable que no ocurra
72 - 187	0.5 - 0.7	Es posible que ocurra
187 - 748	0.7 - 0.9	Probable que ocurra
> 748	> 0.9	Muy probable que ocurra

De acuerdo con la Tabla 10, si en una inundación resulta inundados 21 o menos viviendas, existe una probabilidad menor del 30% de que una persona resulte herida a causa de este evento, es decir es muy poco probable que una o más personas resulten heridas en esta inundación, si en una inundación resultan inundados de 21 a 55 viviendas, existe una probabilidad entre 30% y 50% de que una o más personas resulten heridas a causa de este evento, es decir, lo más probable es que no ocurra que una o más personas resulten heridas en esta inundación, si en una inundación resultan inundados de 55 a 143 viviendas, existe

una probabilidad entre 50% y 70% de que una o más personas resulten heridas a causa de este evento, es decir, es posible que ocurra que una o más personas resulten heridas en esta inundación, si en una inundación resultan inundados de 143 a 572 viviendas, existe una probabilidad entre 70% y 90% de que una o más personas resulten heridas a causa de este evento, es decir, es posible que probablemente ocurra que una o más personas resulten heridas en esta inundación y si en una inundación resultan inundadas 572 o más viviendas, existe una probabilidad mayor al 90% de que una o más personas resulten heridas a causa de este evento, es decir, es posible que muy probablemente ocurra que una o más personas resulten heridas en esta inundación.

Tabla 10. Probabilidad cuantitativa y cualitativa de que una o más personas resulten heridas a causa de una inundación en función a la cantidad de viviendas inundadas

Viviendas inundadas	Valor numérico	Probabilidad de que la inundación cause 1 o más heridos
< 21	< 0.3	Muy poco probable que ocurra.
21 - 55	0.3 - 0.5	Lo más probable es que no ocurra
55 – 143	0.5 - 0.7	Es posible que ocurra
143 – 572	0.7 - 0.9	Probable que ocurra
> 572	> 0.9	Muy probable que ocurra

Esta manera de representar el riesgo resulta más comprensible en cuánto al posible daño que pueda causar una determinada inundación en comparación con los estudios de los antecedentes, los resultados de las simulaciones de inundación sólo muestran riesgos en términos numéricos, sin embargo, no expresan claramente cuál es el daño humano a causa de estos eventos.

V. CONCLUSIÓN

5.1. Análisis descriptivo de los daños humanos por inundaciones en la selva baja del Perú

La mayor cantidad de número de inundaciones y afectados por inundaciones ocurre en la región Omagua o Selva Baja del país, en promedio con 87 inundaciones por año, en esta región ocurrieron cerca del 30% de las inundaciones totales del país durante el periodo 2003 – 2018. La región Quechua y Omagua o Selva baja son las zonas más inundables del país. La mayor cantidad de afectados por inundaciones sucedió en la región de Omagua o Selva baja, en promedio con 78658.31 afectados por año durante el periodo 2003 – 2018. La cantidad de muertos y heridos en la región es de Selva baja 45 y 65 respectivamente para el periodo de estudio. Las viviendas afectadas en la región Omagua o Selva Baja fue en promedio anual de 19771.94.

5.2. Evaluar los modelos de distribución de frecuencias acumuladas CDF que mejor se ajuste a los daños históricos registrados mediante la prueba de Kolmogorov – Smirnov y Chi cuadrado

Las distribuciones estadísticas que mejor se ajustaron a la distribución de frecuencias acumuladas de heridos y fallecidos, fue en ambos casos la distribución Log – Normal ($R^2 = 0.91$ y $R^2 = 0.89$) y mediante la prueba de Chi2 se determinó que la distribución de frecuencias acumuladas de heridos y fallecidos provienen de la distribución Log – Normal ($p < 0.05$). Los parámetros de la distribución de Log-Normal ajustada a la distribución de fallecidos y heridos fueron $\mu = 4.273$, $\sigma = 1.829$ y $\mu = 4.005$, $\sigma = 1.830$ respectivamente.

5.3. Cuantificación de las probabilidades de daños humanos por inundaciones en función a los lotes afectados

En la región Omagua o Selva Baja, es muy poco probable encontrar uno o más fallecidos si es que la inundación alcanza hasta 28 viviendas, es probable no encontrar uno o más fallecidos si es que la inundación alcanza entre 28 y 72 viviendas, es posible encontrar uno o más fallecidos si es que la inundación alcanza entre 72 y 187 viviendas, es probable

encontrar uno o más fallecidos si es que la inundación alcanza entre 187 y 748 viviendas y es muy probable encontrar uno o más fallecidos si es que la inundación alcanza más de 748 viviendas.

En la región Omagua o Selva Baja, es muy poco probable encontrar uno o más heridos si es que la inundación alcanza hasta 21 viviendas, es probable no encontrar uno o más heridos si es que la inundación alcanza entre 21 y 55 viviendas, es posible encontrar uno o más heridos si es que la inundación alcanza entre 55 y 143 viviendas, es probable encontrar uno o más heridos si es que la inundación alcanza entre 143 y 572 viviendas y es muy probable encontrar uno o más heridos si es que la inundación alcanza más de 572 viviendas.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

Se recomienda la implementación de investigaciones como estas en las evaluaciones de riesgo por inundaciones, ya que, a partir de trabajos como este, es posible determinar cuantitativamente la probabilidad de los daños humanos. Esto es muy importante debido a que, en las actuales guías para la evaluación de riesgo, el enfoque de evaluación no es probabilístico, sino que es la suma de criterios seleccionados que se ponderan para obtener un valor al cual se le asigna la categoría de bajo, medio alto o muy alto, sin embargo, las asignaciones son bastante relativas e incluso hasta arbitrarias.

Se recomienda utilizar el esquema probabilístico de esta investigación para las otras dimensiones que potencialmente pueden sufrir daños en las inundaciones como las zonas agrícolas, las estructuras, las pistas, etc. De esta forma se estimarían probabilísticamente todas las dimensiones de los daños y se tendría una estimación mas exacta de los daños como, por ejemplo: probabilidad de que una o más personas mueran o probabilidad de que X hectáreas agrícolas resulten destruidas, etc.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- BLADÉ, E., SANCHEZ, M., SANCHEZ, H., NIÑEROLA, D., & GÓMEZ, M. (2009). Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable. Una visión a partir del modelo HEC-RAS. Madrid: Universidad Politécnica de Catalunya.
- CASEY, M. (5 de Marzo de 2015). *Global cost of flooding to increase tenfold by 2030*. Obtenido de CBS News: <https://www.cbsnews.com/news/global-cost-of-flooding-to-increase-tenfold-by-2030/>
- CENEPRED. (2014). *MANUAL PARA LA EVALUACION DE RIESGOS ORIGINADOS POR INUNDACIONES FLUVIALES*. Lima .
- CENEPRED. (2017). *INFORME DE EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN PLUVIAL Y FLUVIAL ORIGINADO POR LLUVIAS INTENSAS EN EL AREA URBANA DEL DISTRITO DE TAMBOGRANDE PIURA*. Piura: Municipalidad distrital de Tambogrande.
- CRED. (2015). *The human cost of natural disasters: A global perspective*. Centre of Research on the Epidemiology of Disasters.
- CUREBAL, I., EFE, R., OZDEMIR, H., SOYKAN, A., & SÖNMEZ, S. (2016). GIS-based approach for flood analysis: case study of Keçidere flash flood event (Turkey). *Geocarto International*, 31(4), 355-366.
- DIAZ, D., OCHOA, C., & PEREZ , J. (2005). Ecuaciones de lluvia intensa generalizada para obtener precipitaciones máximas de corta duración. *GEOS*, Vol 25 - 2.
- HUARACC, R. (2018). *Nivel de riesgo a inundaciones en la quebrada Tarahuayco en el distrito de Ayacucho*. Tesis de grado, Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga, Ayacucho.
- INDECI. (2005). *Definición de términos*. Lima: SISTEMA NACIONAL DE DEFENSA CIVIL.

- INDECI. (2005). *Glosario de términos*. Obtenido de Instituto Nacional de Defensa Civil: https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/doc322_8.pdf
- JONKMAN, S. N., & KELMAN, L. (2005). An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths. *Disasters*, 29(1), 75-97.
- ROMALI, N. S., YUSOP, Z., & ISMAIL, A. Z. (2018). Application of HEC-RAS and Arc GIS for floodplain mapping in Segamat town, Malaysia. *International Journal*, 14(43), 125-131.
- SIHUAY, D. (2017). *Informe de evaluación del riesgo de inundación pluvial y fluvial originado por lluvias intensas en el área urbana del distrito de Piura*. Municipalidad distrital de Piura. Piura: CENEPRED.
- TAPULLIMA, J. M. (2018). *Análisis de riesgo por inundación en la cuenca del río Supte Chico mediante modelamiento geoespacial*. Tesis para optar el grado de Ingeniero en conservación de suelos y agua, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María.
- VILLÓN, M. (2002). *HIDROLOGÍA*. Lima: Villón.
- ZECKHAUSER, R., & SUNSTEIN, C. R. (2010). Dreadful possibilities neglected probabilities. *The irrational economist: making decisions in a dangerous world*, 116-122.
- ZHAI, G., FUKUZONO, T., & IKEDA, S. (2006). An empirical model of fatalities and injuries due to floods in Japan. *Journal of the American Water Resources Association*, 42(4), 863-875.