

Desastres naturales: evaluación del riesgo y el flujo de derrubios en la quebrada San Idelfonso, Trujillo, La Libertad, Perú

Natural disasters: risk assessment and debris flow of San Idelfonso torrent, Trujillo, La Libertad, Peru

Ana Marlene Guerrero Padilla

Departamento Académico de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s. n., Trujillo, PERÚ.
mguerrero@unitru.edu.pe // <https://orcid.org/0000-0003-0008-3785>

Eric Frank Rodríguez Rodríguez

Herbarium Truxillense (HUT), Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, Jirón San Martín 392, Trujillo, PERÚ.
erodriguez@unitru.edu.pe // <https://orcid.org/0000-0003-0671-1535>

Segundo Leiva González

Facultad de Medicina Humana, Universidad Privada Antenor Orrego, Museo de Historia Natural y Cultural, Casilla Postal 1075, Trujillo, PERÚ.
segundo_leiva@hotmail.com // <https://orcid.org/0000-0002-1856-5961>

Resumen

En condiciones de cambio climático se tuvo como objetivo principal determinar la vulnerabilidad y riesgo por la activación de la quebrada San Idelfonso, Trujillo, La Libertad-Perú. Se realizó mapas temáticos de hidrológico, topográfico con información raster y software ArcGIS 10,4, la metodología basada en estudios técnico-científicas de CENEPRED. Mediante las matrices de la vulnerabilidad en el ámbito social, económico y ambiental, se encontró en siguientes valores ponderados: distrito El Porvenir 0,260, distrito Trujillo 0,179 y distrito Víctor Larco 0,179, correspondiendo a índices de vulnerabilidad muy alto y alto respectivamente. El efecto del cambio climático fue evidente en la costa peruana especialmente la zona norte, por la presencia de fuertes lluvias, incrementando la temperatura del mar y ambiente durante el Evento El Niño, causando daños a la población, infraestructuras, pérdida de la actividad agrícola y la economía en general.

Palabras clave: evaluación del riesgo, cambio climático, quebrada San Idelfonso, vulnerabilidad, desastres naturales

Abstract

Under conditions of climate change, the main objective was to determine the vulnerability and risk assessment due to the activation of San Idelfonso torrent, Trujillo, La Libertad-Peru. Hydrological and topographic maps were made by using raster information and ArcGis 10.4 software, the methodology was based on technical-scientific studies of CENEPRED. Through the matrices of vulnerability in the social, economic and environmental areas. The weighted values found as following: El Porvenir district 0.260, Trujillo district 0.179 and Victor Larco district 0.179, corresponding to very high and high vulnerability indices respectively. It is relevant that on the Peruvian coast, especially the northern zone, there are heavy rains, increase the temperature in sea water and environment during the El Niño event, causing damage to the population, infrastructure, loss agricultural activity and the economy general which corresponding to climate change.

Keywords: risk assessment, climate change, San Idelfonso torrent, vulnerability, natural disasters

Citación: Guerrero, A.; E. Rodríguez & S. Leiva. 2021. Desastres naturales: evaluación del riesgo y el flujo de derrubios en la quebrada San Idelfonso, Trujillo, La Libertad, Perú. *Arnaldoa* 28(3): 557-576 doi: <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.283.28305>

Introducción

El Perú es un país megadiverso referido a flora, fauna y climas; uno de los factores que permite esta diversidad está relacionada con los accidentes geográficos con los que cuenta; elevaciones montañosas que a lo largo del territorio nacional permite la formación de microclimas que desencadena la creación de nuevos ecosistemas. Sin

embargo, estas formaciones orográficas al unirse forman entre ellas las llamadas quebradas, por las cuales suele fluir ríos de poco caudal que se forman en gran parte por la concurrencia de agua de lluvia que discurre de las montañas (ANA, 2017).

El clima es un factor preponderante en la generación de riesgos, desastres naturales y fenómenos causados por efecto

del Cambio Climático (CC). En la última década se realizaron múltiples eventos para tratar esta problemática acerca de los cambios climáticos y su posible mitigación, se hace evidente estudios realizados por Klein *et al.* (2007) y efectos generados por los cambios climáticos (Smit & Pilifosova, 2001; Smit & Wandel, 2006). Por otro lado, estudios enfocados a la vulnerabilidad de los ecosistemas O'Brien *et al.* (2007), así también la capacidad de resiliencia de las ciudades (Barton, 2009; Gallopín, 2003) en las poblaciones afectadas por eventos producidos por cambios climáticos.

El efecto de los cambios climáticos a nivel global, se han producido por el incremento de grandes volúmenes de agua que se ha depositado en las cabeceras de cuencas o cuencas denominadas secas, y debido a las frecuentes tormentas y huracanes tropicales, los cuales en las últimas décadas, su periodo de retorno se ha visto reducido en tiempo provocando grandes desastres naturales (Hernández *et al.*, 2000; Magaña *et al.*, 2004; INE, 2006). Estudios realizados por el Panel de expertos Intergubernamental sobre cambios climáticos indicaron que se produjeron cambios del clima, eventos registrados por largos periodos de tiempo (IPCC, 2001). Los cambios están referidos a la intensidad de los ciclones en zonas tropicales, incrementando ondas de calor, la frecuencia e intensidad de eventos externos, tales como lluvias torrenciales y sequías. Desde 1970, se registraron las más largas e intensas sequías, principalmente a nivel de los trópicos y subtropicos, en tanto se estima que se producirían nuevos eventos extremos de temperatura y precipitaciones con mayor frecuencia, mayor intensidad en ciclones tropicales e incremento de las lluvias en latitudes altas y decremento a nivel de los subtropicos (IPCC, 2007a).

Se han realizado inmensurables

esfuerzos a fin de determinar, evaluar y analizar los impactos generados por intensas variaciones climáticas en las últimas décadas, atribuible al cambio climático global a nivel del ciclo hidrológico, como ha sido expresado por Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), investigaciones realizadas durante los años 1990s (IPCC, 1990). Asimismo, IPCC (2013) realizó estudios relacionados a los cambios climáticos y los efectos sobre el ciclo de los sedimentos realizados por Mullan *et al.* (2012).

Los nutrientes son muy importantes en la recuperación de los suelos y éstos al ser intensamente lavados por altas precipitaciones producen erosión, desertificación y pérdida de suelos agrícolas. Francés & Bussi (2014) afirmaron que los cambios en la frecuencia, magnitud, periodos largos de incrementos de temperatura del suelo, produciría erosión y en consecuencia depositación de los sedimentos. Es evidente, que en diversos lugares del planeta se han producido efectos negativos debido a los cambios climáticos, como es el caso presentado en la Meseta de Loess (China), a nivel de sus cuencas, se originó una reducción alta de los caudales y sedimentos, lo que fue relacionado con el cambio climático (Zhao *et al.* 2013). Por otro lado, en las cuencas ubicadas en la región de Karoo (Sudáfrica) se produjo una mayor concentración de sedimentos debido a la magnitud y frecuencia alta de las precipitaciones en la zona de estudio, presentándose valores superiores de los parámetros evaluados y en relación a épocas anteriores (Foster *et al.*, 2012).

A través de los años, referido a la historia de las poblaciones sudamericanas, los eventos climáticos han provocado efectos catastróficos, como lo ocurrido en el Pacífico Ecuatorial, donde se produjo

un incremento de temperatura a nivel del mar provocando una mortalidad alta en peces, aves, así también de pérdida de vidas humanas, consecuencias devastadoras en forma directa e indirecta en las interacciones a nivel del océano y la atmósfera. A este suceso se le denomina Fenómeno o Evento El Niño, cuyo nombre se debe a su presencia en las costas Sudamericanas (Perú, Chile y Ecuador) en el mes de diciembre y asociado a las fechas navideñas; los cambios climáticos son relacionados directamente y ahora se evidencia en el Pacífico Tropical (Klauer, 2000).

Los principales efectos climáticos del incremento de la temperatura a nivel global estarían asociados a la deglaciación, incremento en frecuencia e intensidad del Evento El Niño y el incremento del nivel del agua en las zonas de rompiente e intermareal. La acumulación e incremento de gases de efecto invernadero, lo cual es evidente por eventos climáticos catastróficos, pérdida de glaciares, especialmente en el Perú. En las últimas tres décadas se ha perdido el 22% de la superficie glaciar (7000 millones de metros cúbicos aproximadamente) como consecuencia del cambio climático. Lo que traería consecuencias nefastas en relación a la disponibilidad hídrica, la mayoría de nuestros ríos presentan sus nacientes (cabecera de cuenca) en los Andes Peruanos. En Cusco y Amazonas, se realizaron el total registro de los eventos, emergencias, huaycos y deslizamientos. Estas regiones en el lapso de 1996 a 2014 presentaron 273 (Cusco) y 247 (Amazonas) emergencias; asimismo en la región Lima se registró una emergencia en 1996, mientras que en 2014 se produjeron 8 eventos (INDECI, 2017a).

Evento El Niño es un evento anómalo, se ha registrado desde 1925, año en el cual se destruyó gran parte de la ciudad de Tru-

jillo (Perú), debido a la activación de las quebradas que se desplazan a lo largo de cauces antiguos denominadas quebradas secas porque solo se activan en El Evento El Niño por las altas precipitaciones en la zona, cuyas aguas se almacenan en la parte alta y luego se produce el rebose y se desplazan con flujo de derrubios llegando a la glamurosa Trujillo, destrozando todo lo que encontraba a su paso. Exactamente lo que ocurrió en 2017, el norte del Perú sufrió el mayor de los eventos catastróficos denominados Evento El Niño muy intenso, uno de los mayores registrados de los últimos años (Narváez *et al.*, 2014).

Según National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), los eventos más catastróficos del evento El Niño se registraron en los años 1925-1926, 1982-1983 y 1997-1998, denominados "Meganiños" los cuales afectaron fuertemente a las poblaciones ecuatorianas y norperuanas (Corporación Andina de Fomento, 1998; Felices, 2011). En ese sentido se tiene un organismo que se hace cargo de la Gestión Reactiva, el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo y Desastres (SINAGERD) creado según Ley N°29664, así como la Ley N°21372 del Sistema Estadístico Nacional (SEN), instituciones encargadas de brindar a la población peruana una preparación, respuesta rápida y el proceso de rehabilitación ante emergencias y desastres (INDECI, 2015).

El estado peruano debe abordar el tema, adoptando políticas de control y mitigación de la contaminación, así como la disminución de los gases de efecto invernadero, en consecuencia contribuir con políticas de control o mitigación del cambio climático (CC), de forma holística, transversal, multidisciplinaria y multisectorial a nivel de instituciones gubernamentales y no gubernamentales. En ese sentido, la Estrategia Nacional frente al

Cambio Climático (ENCC) y la Convención Marco de las Naciones Unidas presentaron metas que deben ser cumplidas, acuerdos internacionales ante el Cambio Climático, las cuales han sido asumidas por Perú (CMNUCC).

Es de gran relevancia para el Perú afrontar los efectos adversos a consecuencia del cambio climático, es evidente la pérdida de glaciares, la disminución de la disponibilidad hídrica, los cambios bruscos de temperatura en aguas marinas y continentales, estos cambios se reportan en relación a la data histórica registrada por SENAMHI de precipitación pluvial, específicamente de las regiones de mayor afectación y a nivel costero. La presencia de Eventos El Niño, en frecuencia e intensidad a lo largo de décadas en nuestro país. Esta problemática afecta a la actividad agrícola, si se enfoca desde el aspecto sociocultural, la percepción del nivel del riesgo está vinculada a las condiciones sociales, económicas y culturales de una población (Patt & Schröter, 2008).

El calentamiento del global causado por las actividades humanas ha exacerbado la variabilidad climática, siendo éste un fenómeno que podría darse naturalmente (IPCC, 2007b). El sistema climático cambió debido al calentamiento global provocando alta variación de los eventos meteorológicos extremos, referente a su frecuencia e intensidad, y como consecuencia alta vulnerabilidad ante desastres naturales, pérdida de ecosistemas, biodiversidad y vidas humanas (IPCC, 2007b; IPCC, 2012).

La quebrada San Idelfonso tiene forma semicircular, con un área aproximada de 23,8 Km² es de forma semicircular, desde el enfoque geomorfológico se presenta una pendiente en el cauce principal de 6,3% que al producirse altas precipitaciones se

presentarían bruscas descargas. En una sección transversal la quebrada presenta cauces amplios a lo largo del curso medio e inferior variando de 40 a 60 m de ancho y en la parte alta de la quebrada presenta una sección angosta de 15 m aproximadamente. Los datos de caudal registrado son estimaciones registradas en los eventos El Niño (ahora denominado ENSO) durante los años 1983 y 1997-1998 se encontró máximos caudales instantáneos, tomando como referencia una posible tormenta con una intensidad de 10 mm/h, de una duración aproximada de 60 minutos correspondiente a tiempo de concentración de la cuenca, se tendría caudales aproximados: evento El Niño del 1983 caudal de 26 m³/s y del 1997-1998 caudal de 60 m³/s. Bajo actuales condiciones de cambio climático se tuvo como objetivo evaluar el riesgo ante desastres naturales y el flujo de derrubios a lo largo de la quebrada San Idelfonso, Trujillo, La Libertad, Perú.

Material y métodos

Ubicación de la zona de estudio

La quebrada San Idelfonso cuya nacimiento se ubica al noreste de la ciudad de Trujillo, descendiendo desde la parte alta de las colinas El Alto y San Idelfonso; en su curso alto presenta cauce rocoso y estrecho atravesando luego potentes depósitos aluviales y erosionables a una distancia promedio de 2,5 Km hasta alcanzar la zona urbana en el distrito El Porvenir; es necesario resaltar que el cauce natural de la quebrada se encuentra urbanizado (Figuras 1 y 2).

Métodos

Se realizó mapas temáticos hidrológico, topográfico basado en información y estudios técnico-científicas realizadas por Autoridad Nacional del Agua

(ANA), CENEPRED, IMARPE. Se utilizó información raster y el software ArcGIS 10,4 teniendo en cuenta la evaluación del riesgo por la activación quebrada San Idelfonso en los distritos El Porvenir, Trujillo y Víctor Larco.

Metodología para la elaboración del mapa de vulnerabilidad por la activación de la quebrada San Idelfonso.

El mapa de vulnerabilidad contiene la construcción de la representación de escenarios de vulnerabilidad, se hace énfasis el uso de herramientas digitales y la cartografía disponible. Se realizó la distribución geográfica de la vulnerabilidad o susceptibilidad en las variables económica, social y ambiental tiene una población de ser afectada en caso de producirse una amenaza o riesgo ante desastres naturales.

Identificación de variables

Social: se correlacionó en base a las condiciones de calidad de vida de una comunidad que involucra los aspectos salud, educación, equidad social, seguridad, entre otros (Thomas, 2013).

Económico: servicio de agua y saneamiento de empresas eléctricas, distribución de combustible (CENEPRED, 2014).

Ambiental: Se evaluó la pérdida de recursos naturales, georreferenciación de centros poblados, capacidad de resiliencia ambiental (CENEPRED, 2014).

Análisis de vulnerabilidad

Relacionada a la vinculación de la dimensión y características que presenta una comunidad vulnerable por la presencia de riesgos en sus múltiples dimensiones (física, ambiental, institucional, cultural, social, económica, política) (INDECI, 2017a). Usando la metodología heurística, aquella que combina lo cualitativo con lo

cuantitativo cuyos pasos a seguir fueron los siguientes: a) elección de las variables en la determinación de la vulnerabilidad por activación de la quebrada San Idelfonso, b) asignación de un peso (ponderación) de acuerdo a su incidencia de cada variable, a mayor peso mayor incidencia (INDECI, 2017b).

Análisis de vulnerabilidad del área de influencia

En la zona de estudio se determinó los niveles de vulnerabilidad de la ciudad de Trujillo, análisis de factores en las diversas dimensiones (ambiental, social y económica), empleando la selección de parámetros para cada sector afectado por el flujo de derrubios en los distritos El Porvenir, Trujillo y Víctor Larco. En la determinación de los pesos ponderados de los parámetros del factor exposición se empleó el proceso de análisis jerárquico (CENEPRED, 2014).

Resultados y discusión

Durante el evento El Niño 2017 en las regiones de Tumbes, Piura y Lambayeque se registraron precipitaciones diarias alcanzando el punto máximo en frecuencia e intensidad en el mes de marzo, siendo las regiones de Piura y Lambayeque las más afectadas por la alta frecuencia y pluviosidad, mientras que en Tumbes se vio afectada en la zona media y baja de la región.

En la segunda semana de febrero y hacia la segunda semana del mes de marzo se encontró una distribución temporal en relación a espacio y tiempo cuya precipitación fue en sentido norte a sur, posteriormente se presentó altas precipitaciones en las regiones de Piura y Tumbes hacia fines de marzo. La variabilidad de las precipitaciones está asociada a las temperaturas a nivel del

mar (TSM), asimismo se presentó alta nubosidad en la zona de convergencia intertropical (ZCIT), la alta nubosidad en primera quincena del mes de marzo la cual fue desapareciendo en dirección norte, casi a finales del mismo mes. Se registraron los caudales ni valores estimados durante el evento El Niño 2017 (INDECI, 2017a), sin embargo por los daños causados y la gran cantidad de flujo de derrubios, afectó al centro histórico de la ciudad de Trujillo, en gran medida los distritos de El Porvenir y Víctor Larco se superó los anteriores desbordes del evento El Niño (INDECI, 2017b).

Entre febrero y marzo se registraron

precipitaciones de fuerte intensidad registrándose en las zonas de La Esperanza y Alto Trujillo (INDECI, 2017b). Las fuertes masas de agua precipitadas produjeron la activación de la quebrada San Idelfonso generando el desborde la quebrada, inundaciones, flujo de derrubios y descargas eléctricas, afectando la salud de los pobladores y negativamente en el factor socioeconómico de la Provincia de Trujillo (CENEPRED, 2017).

Análisis del factor fragilidad

Tabla 1: Valor ponderado de la fragilidad social de los distritos El Porvenir, Trujillo y Víctor Larco, provincia de Trujillo, La Libertad-Perú

DISTRITO	FRAGILIDAD SOCIAL										VALOR
	MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES		ESTADO DE CONSERVACION DE EDIFICACIONES		ANTIGÜEDAD DE CONSTRUCCIÓN		CONFIGURACION DE ELEVACION DE EDIFICACIONES		INCUMPLIMIENTO DE PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS		
	P	D	P	D	P	D	P	D	P	D	
EL PORVENIR		0,035	0,317	0,134		0,068		0,068		0,26	0,098
TRUJILLO	0,43	0,035		0,134	0,042	0,26	0,078	0,503	0,131	0,134	0,125
VICTOR LARCO		0,035		0,134		0,26		0,134		0 0,134	0,096

Tabla 2. Valor ponderado de la fragilidad económica de los distritos El Porvenir, Trujillo y Víctor Larco, provincia de Trujillo, La Libertad-Perú

DISTRITO	FRAGILIDAD ECONÓMICA										VALOR
	MATERIAL DE CONSTRUCCIONES DE EDIFICACIONES		ESTADO DE CONSERVACION DE EDIFICACIONES		ANTIGÜEDAD DE CONSTRUCCION		CONFIGURACION DE ELEVACION DE EDIFICACIONES		INCUMPLIMIENTO DE PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS		
	P	D	P	D	P	D	P	D	P	D	
EL PORVENIR		0,035		0,26		0,068		0,068		0,26	0,1
TRUJILLO	0,386	0,035	0,386	0,134	0,111	0,26	0,086	0,503	0,156	0,134	0,151
VICTOR LARCO		0,035		0,134		0,26		0,134		0,134	0,126

Tabla 3. Valor ponderado de la fragilidad ambiental de los distritos El Porvenir, Trujillo y Víctor Larco, provincia de Trujillo, La Libertad-Perú

DISTRITO	FRAGILIDAD AMBIENTAL						VALOR
	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL SUELO		EXPLOTACION DE RECURSOS NATURALES		LOCALIZACION DE CENTROS POBLADOS		
	P	D	P	D	P	D	
EL PORVENIR		0,134		0,068		0,503	0,367
TRUJILLO	0,283	0,134	0,074	0,134	0,643	0,068	0,088
VICTOR LARCO		0,134		0,134		0,134	0,13

Análisis de vulnerabilidad

Tabla 4. Valores de vulnerabilidad social de los distritos El Porvenir, Trujillo y Víctor Larco, provincia de Trujillo, La Libertad-Perú

DISTRITO	VULNERABILIDAD SOCIAL					VALOR
	EXPOSICION SOCIAL	PESO	FRAGILIDAD SOCIAL	PESO	RESILIENCIA SOCIAL	
EL PORVENIR	0,337		0,098		0,17	0,236
TRUJILLO	0,254	0,5	0,125	0,25	0,131	0,191
VICTOR LARCO	0,124		0,096		0,118	0,116

Tabla 5. Valores de vulnerabilidad económica de los distritos El Porvenir, Trujillo y Víctor Larco, provincia de Trujillo, La Libertad-Perú

DISTRITO	VULNERABILIDAD ECONÓMICA						
	EXPOSICIÓN ECONÓMICA	PESO	FRAGILIDAD ECONÓMICA	PESO	RESILIENCIA ECONÓMICA	PESO	VALOR
EL PORVENIR	0,358		0,1		0,177		0,248
TRUJILLO	0,088	0,5	0,151	0,25	0,197	0,25	0,131
VICTOR LARCO	0,246		0,126		0,207		0,206

Tabla 6. Valores de vulnerabilidad ambiental de los distritos El Porvenir, Trujillo y Víctor Larco, provincia de Trujillo, La Libertad-Perú

DISTRITO	VULNERABILIDAD AMBIENTAL						
	EXPOSICIÓN AMBIENTAL	PESO	FRAGILIDAD AMBIENTAL	PESO	RESILIENCIA AMBIENTAL	PESO	VALOR
EL PORVENIR	0,101		0,367		0,26		0,267
TRUJILLO	0,231	0,5	0,088	0,25	0,261	0,25	0,203
VICTOR LARCO	0,436		0,130		0,180		0,296

Tabla 7. Valores de vulnerabilidad total de los distritos El Porvenir, Trujillo y Víctor Larco, provincia de Trujillo, La Libertad-Perú

DISTRITO	VULNERABILIDAD TOTAL						
	SOCIAL	PESO	ECONÓMICA	PESO	AMBIENTAL	PESO	VALOR
EL PORVENIR	0,236		0,248		0,267		0,260
TRUJILLO	0,191	0,5	0,131	0,25	0,203	0,25	0,179
VICTOR LARCO	0,116		0,206		0,296		0,184

Tabla 8. Rango de vulnerabilidad para los distritos de El Porvenir, Trujillo y Víctor Larco, provincia de Trujillo, La Libertad-Perú

VULNERABILIDAD	RANGO	EL PORVENIR	TRUJILLO	VICTOR LARCO
MUY ALTO	$0,260 \leq R < 0,503$	X		
ALTO	$0,134 \leq R < 0,260$		X	X
MEDIO	$0,068 \leq R < 0,134$			
BAJO	$0,35 \leq R < 0,068$			

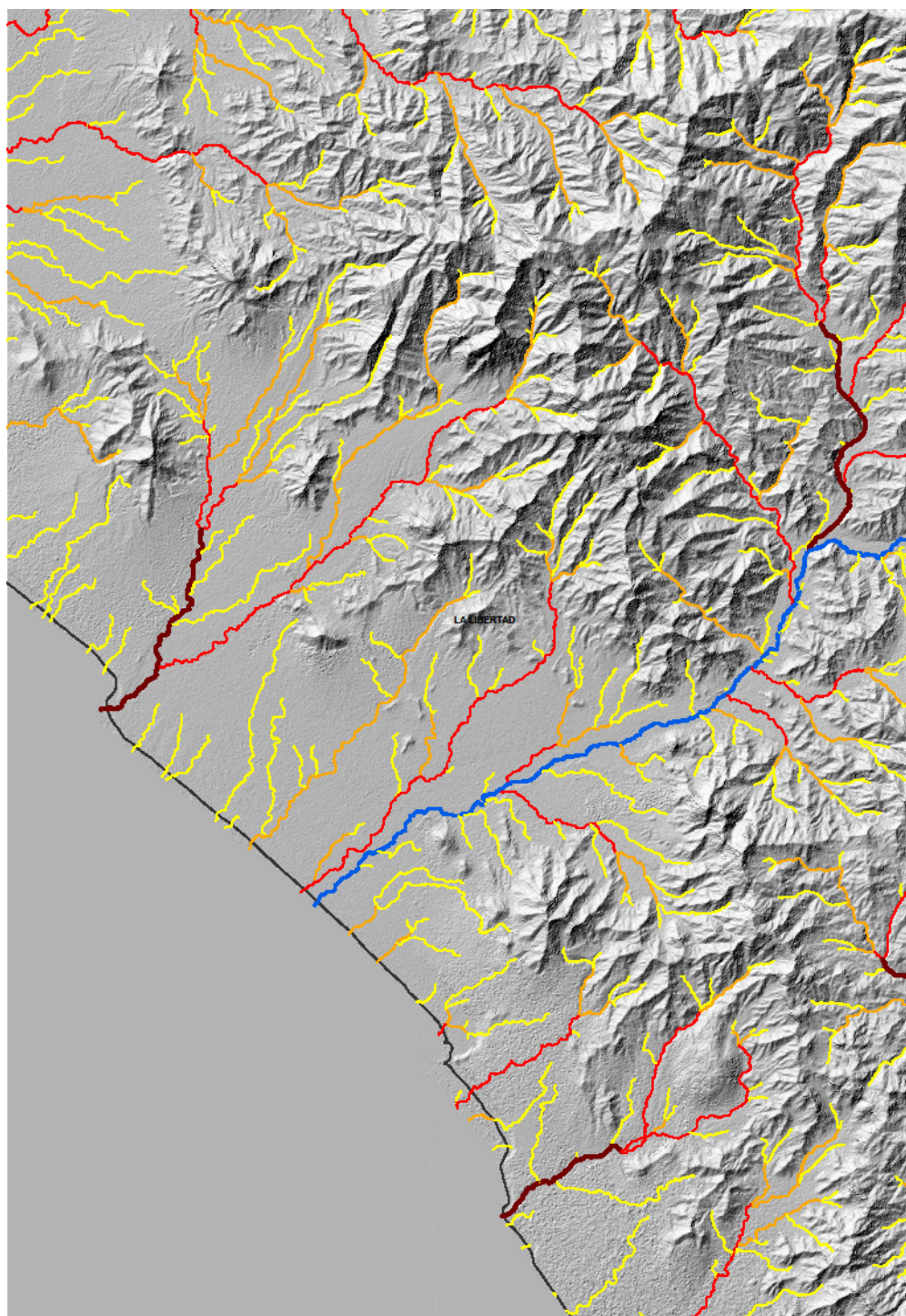


Fig. 1. Mapa del relieve de la quebrada San Idelfonso, La Libertad - Perú.



Fig. 2. Imagen satelital de la quebrada San Idelfonso, La Libertad – Perú.

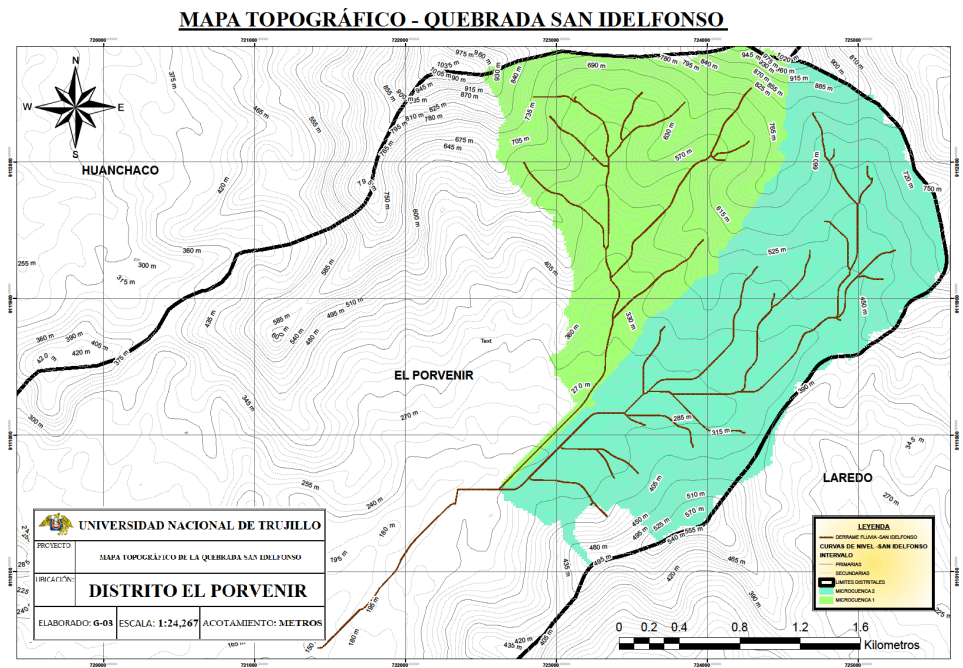


Fig. 3. Mapa topográfico de la cuenca alta de la quebrada San Idelfonso, La Libertad-Perú.

MAPA DE VULNERABILIDAD ANTE DESASTRES NATURALES POR ACTIVACIÓN DE LA QUEBRADA SAN IDELFONSO: EVENTO EL NIÑO 2017, TRUJILLO

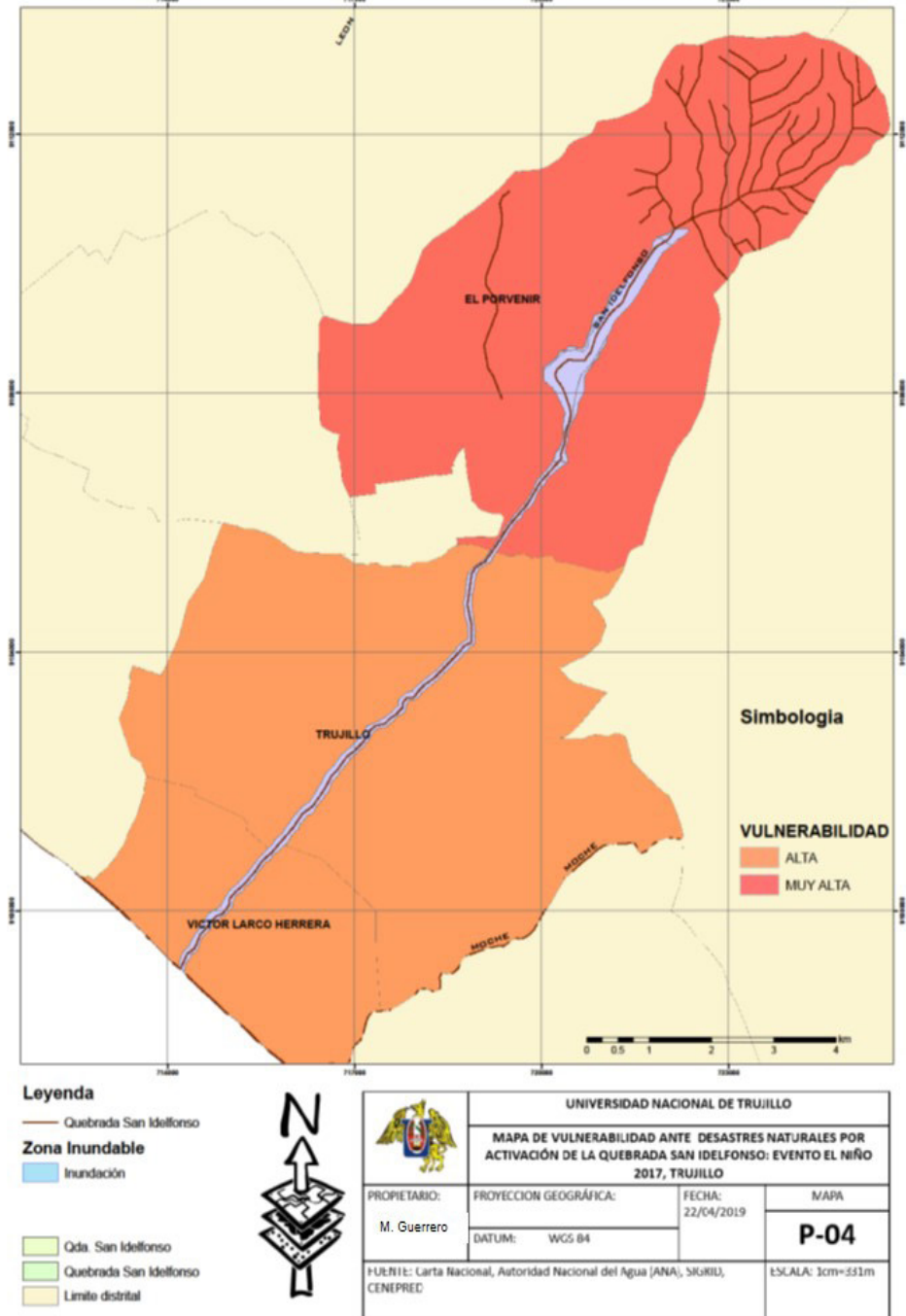


Fig. 4. Mapa de vulnerabilidad producida por el flujo de derrubios de la quebrada San Idelfonso, La Libertad-Perú.

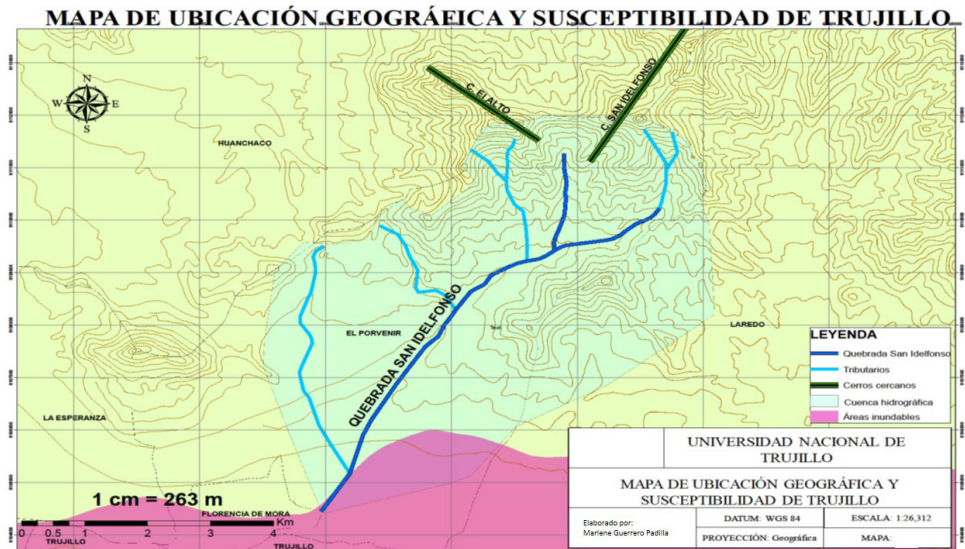


Fig. 5. Ubicación de las zonas riesgo e inundable por escurrimiento del flujo de derrubios de la quebrada San Idelfonso, La Libertad-Perú

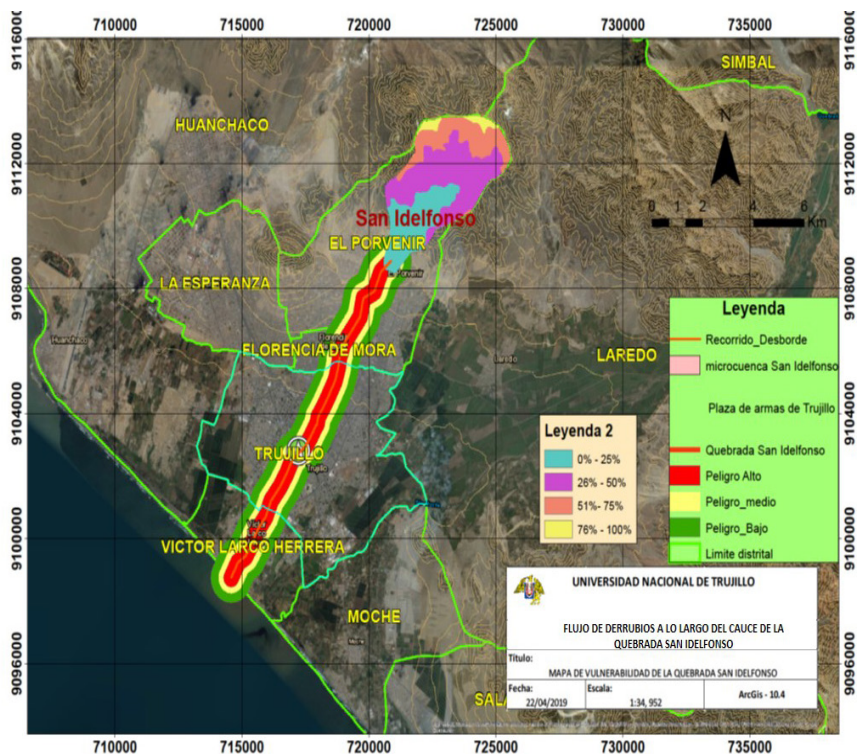


Fig. 6. Niveles de riesgo causado por el flujo derrubios a lo largo del cauce de la quebrada San Idelfonso, La Libertad-Perú

En la evaluación de impactos es importante determinar los eventos que se dan en diversos puntos del territorio, de allí la relevancia de georreferenciar las unidades ambientales, las cuales estarían siendo afectadas y además tener presente la población ubicada en la zona de estudio, indicando el grado de vulnerabilidad. Asimismo, a través del ordenamiento territorial (OT) teniendo presente la planificación y delimitación del área de la zona de estudio, uso del suelo (como territorio o agrícola) a fin de reducir o minimizar los impactos (León, 2009). En este estudio se demostró por la evaluación del factor ponderado de fragilidad en los aspectos económico, sociales y ambiental por lo que al producirse eventos catastróficos causados por desastres naturales en los distritos El Porvenir, Trujillo y Víctor Larco presentan alto valor ponderado de fragilidad (Tablas 1-3).

Lo más relevante presentado durante el evento El Niño en el centro de presión del océano Pacífico (zona norte) fue una baja presión atmosférica, incrementándose a valores mayores que los promedios presentados en los últimos años, mientras que en el Pacífico sur en su centro de presión se dio una presión atmosférica alta, produciendo una variación impredecible entre los centros de presión de la presión atmosférica. Por otro lado, los vientos alisios que van de este a oeste fueron débiles poco densos, cuya tendencia fue de cambio de dirección de los vientos teniendo una variación negativa en sus respectivos centros de presión atmosférica, resultando incrementos de temperatura del agua de mar y en consecuencia se produjo una alta precipitación en sus costas y pérdida de biomasa, afectando directamente a muchas especies en este inmenso ecosistema (Kurtz *et al.*, 2015; IMARPE, 2017a).

En el Pacífico a nivel ecuatorial, en las zonas central y oriental se presentó anomalías de flujos de vientos alisios desde en zona costera oeste de Perú y del golfo de Guayaquil, los cuales disminuían a nivel de la troposfera. Mientras que en el Pacífico oriental se presentó grandes anomalías relacionadas con los fuertes vientos alisios como consecuencia de la circulación descendente de Walker, debido a que en los hemisferios norte y sur se evidenció una circulación anticiclónica. En Sudamérica, frente a la costa oeste fue evidente la presencia de vientos alisios en la costa del Perú.

En la costa del Pacífico ecuatorial hacia el oriente se produjo un incremento térmico debido a las ondas Kelvin presentándose en los primeros días del mes de marzo, esto explica lo que ocurrió al ingreso de aguas ecuatoriales y tropicales superficiales produjeron baja salinidad formándose una gran masa de aguas y el retroceso de masas de aguas calientes con dirección hacia la costa y a su vez la presencia de fuertes vientos ecuatoriales con dirección noroeste. Sin embargo, en la tercera semana del mes de marzo se evidenció un claro ligero descenso térmico de la TSM y ATSM principalmente en el centro y sur de la costa peruana (SENAMHI, 2017; INDECI, 2017a). Esto es exactamente lo que ocurrió en Trujillo, las altas precipitaciones provocaron el rebose de la quebrada San Idelfonso para luego discurrir el flujo de derrubios por el cauce natural y alcanzar la ciudad de Trujillo (Figura 4-5).

Las condiciones de alto incremento de temperatura como son las anomalías TSM persistieron en la parte central y hacia el oeste del Pacífico ecuatorial, en tanto, en el extremo occidental del Pacífico continuaron condiciones frías, mientras que en la costa del Perú y del Ecuador se presentó el evento

El Niño Costero con valores superiores 26°C en la costa central y hacia el norte del Perú y una gran masa de aguas calientes (isoterma de $28,5^{\circ}\text{C}$) a lo largo de línea ecuatorial oriental (SENAMHI, 2017; IMARPE, 2017b).

Durante la evolución del espacio - temporal, en el Pacífico ecuatorial se presentó anomalías de los vientos zonales entre los 10 msnm en el mes de marzo, anomalías que fueron desde el este en la región central y occidental, mientras que en el Pacífico oriental se evidenció anomalías de vientos provenientes del oeste, generando una disminución parcial en los primeros 15 días del mes de marzo e incrementándose a finales del mes. Estas anomalías del oeste muy próximas a la región oriental del Pacífico continuaron con la generación de ondas Kelvin cálida, las cuales presentaron una proyección rápida con dirección a la costa (en menos de una semana) fueron fuentes del calentamiento directo de la TSM aumentando el potencial de calor oceánico. En marzo, se tuvo una isoterma de $28,5^{\circ}\text{C}$ con mayor proximidad a los 80°W en comparación al Niño Costero del año pasado (INDECI, 2006).

El evento Niño Costero, en la costa norte del Perú durante los años 2016 y 2017 generó un sustancial incremento de las TSM y ATSM. En tal sentido, se evidenció que presentaron valores superiores a los 28°C y cuyas anomalías ocurrieron cuando la temperatura tuvo una variación en sus valores normales a valores superiores a 10°C de diferencia en contraste a otros años en especial en las regiones del norte del país. Los flujos de vientos superficiales están relacionados al calentamiento de las aguas del mar, lo que causó la disminución de los vientos alisios hacia el sur, especialmente en la costa norte y central provocando una mayor intensidad en el evento El Niño. Las anomalías provocadas por los fuertes

vientos, de gran intensidad, cuya dirección fue de norte a noroeste y disminuyendo hacia el sur en la línea ecuatorial oriental.

Luego de realizarse cada una de las matrices de la vulnerabilidad (Tablas 4-7) en el ámbito económico, social y ambiental del distrito El Porvenir se encontró 0,260 como resultado de la vulnerabilidad total del distrito ubicándolo en el rango de $0,260 \leq R < 0,503$ (Tabla 8) se consigna como una vulnerabilidad de índice MUY ALTO (Figura 4). En tanto, en la evaluación de las matrices de la vulnerabilidad en el ámbito económico, social y ambiental del distrito de Trujillo fue 0,179 como resultado de la vulnerabilidad total del distrito se encontró en el rango de $0,134 \leq R < 0,260$ (Tabla 8) consignándolo como una vulnerabilidad de índice ALTO (Figura 4). Mientras que en el distrito de Víctor Larco al evaluar las matrices de vulnerabilidad en el ámbito económico, social y ambiental del distrito en mención y 0,179 como resultado de la vulnerabilidad total ubicándolo en el rango de $0,134 \leq R < 0,260$ (Tabla 8) cuyo valor es considerado como una vulnerabilidad de índice ALTO (Figura 4).

Debido a los abundantes daños causados por el último desastre natural generado por las lluvias intensas en el norte de la provincia de Trujillo se confirmó que existe alta vulnerabilidad principalmente en las zonas aledañas del distrito El Porvenir. Con el análisis de la vulnerabilidad se ubicó los puntos o focos por donde se estima que se deslizará la masa agua proveniente de la activación de la quebrada de San Idelfonso así como el nivel de riesgo que posee esta zona basándose en las irregularidades de las construcciones de la población y la inadecuada gestión del gobierno local (CENEPRED, 2014). Considerándose la amenaza de la intensa lluvia ocurrida en ese año se realizó gestión por la Presidencia de

Consejo de Ministros con Decreto supremo N°014-2017-PCM declarando Estado de Emergencia en los departamentos de Áncash, La Libertad y Cajamarca para tener capacidad de respuesta o resiliencia y rehabilitación correspondiente. Por los desastres ocurridos en el año 2017 se procedió a realizar este trabajo con la finalidad de prevenir posibles acontecimientos similares en el futuro. En ese sentido se elaboró el mapa topográfico de la cuenca alta de la quebrada San Idelfonso (Figura 3) para el control o manejo del flujo de derrubios en un evento El Niño en los próximos años por presentar la zona en estudio una vulnerabilidad muy alta (Figura 4).

Según el estado, la situación de emergencia declarado por el Sistema Nacional de Información para la Prevención y Atención de Desastres (SINPAD) debido a la activación de la quebrada San Idelfonso originó desplazamientos de agua y sólidos (huaycos) afectando los distritos de Florencia de Mora, llegando hasta el centro histórico de Trujillo, provocando graves daños a la salud de los pobladores presentándose más de 6000 personas damnificadas, 7000 viviendas afectadas, 370 viviendas colapsadas, de 12 a 14 instituciones educativas que presentan instalaciones dañadas (Centro de Operaciones de Emergencia Regional-COER). Se produjo también corte de energía eléctrica y agua de uso doméstico en determinadas zonas de Trujillo, 48 km de caminos rurales afectados, entre otros problemas (INDECI, 2017b). Y en referencia al distrito Víctor Larco, según la evaluación realizada se encontró con una vulnerabilidad alta (Figura 4) y zona inundable por ser la parte final donde los flujos de agua y flujos de derrubios discurren hasta el mar (Figura 5).

Los desastres naturales presentados en la provincia de Trujillo, región La Libertad son la sumatoria de la exposición a los peligros (sismos, huaycos) y la incapacidad de respuesta por parte del estado, no teniendo el control, manejo o reducción de los impactos. En relación a la contaminación ambiental (agua, suelo, atmósfera), pérdida de biodiversidad, alterando los ecosistemas afectó la calidad de vida de los pobladores, por lo que es importante y determinante la evaluación de riesgos y vulnerabilidad (Figura 6).

La población de bajos recursos económicos están ubicadas en las zonas aledañas a la ciudad de Trujillo, su la precaria y no adecuada ubicación por encontrarse en la cuenca seca de la quebrada San Idelfonso, consideradas zonas de alto riesgo y alta vulnerabilidad ante desastres naturales.

Conclusiones

En 2017, en la costa peruana se evidenció el efecto del Cambio Climático (CC), produciéndose altas precipitaciones e incremento de la temperatura del mar y efecto negativos en ecosistemas marinos y terrestres, provocando daños en la población de la ciudad de Trujillo, pérdida de calidad de vida, deterioro y pérdida de infraestructuras, en consecuencia decremento del nivel socioeconómico, a consecuencia del flujo de derrubios a lo largo de la ciudad de Trujillo, por el rebose de la quebrada San Idelfonso, durante el evento El Niño.

Los valores ponderados e índices de vulnerabilidad en el ámbito social, económico y ambiental en los distritos se encontró: distrito El Porvenir 0,260 (índice de vulnerabilidad MUY ALTO), ubicándolo en el rango de $0,260 \leq R < 0,503$, distrito Trujillo 0,179 (índice de vulnerabilidad

ALTO), se encontró en el rango de $0,134 \leq R < 0,260$ y finalmente el distrito Víctor Larco 0,179 (índice de vulnerabilidad ALTO), encontró en el rango de $0,134 \leq R < 0,260$.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Trujillo por brindar las facilidades para realizar nuestras investigaciones; asimismo, a la Universidad Privada Antenor Orrego por publicar nuestros trabajos de investigación.

Contribución de los autores

AMGP, EFRR & SLG: Desarrollo integral de la investigación y del manuscrito.

Conflicto de intereses

Los autores no tienen conflicto de intereses.

Literatura citada

- Autoridad Nacional del Agua (ANA).** 2017. Complementación de Identificación de poblaciones vulnerables por activación de quebradas 2016-2017, 80pp.
- Barton, J.** 2009. Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones, Revista de Geografía Norte Grande. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Historia, Geografía y Ciencias Políticas, Instituto de Geografía UC, Chile, 45:5-30.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).** 2014. Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales. 2da versión, Lima-Perú, 248pp
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).** 2017. Informe de evaluación de riesgo por inundación pluvial en el área de influencia del distrito de El Porvenir, provincia de Trujillo y departamento de La Libertad, 73pp
- Corporación Andina de Fomento.** 1998. El fenómeno del niño 1997 - 1998. Corporación Andina de Fomento, 4, 304.
- Felices, A. R.** 2011. Las Famosas Lluvias De 1925 y 1926 : ¿El Primer Meganiño Del Siglo XX. 10pp.
- Foster, I.D.I.; K.M. Rowntree; J. Boardman & T.M. Mighall.** 2012. Changing sediment yield and sediment dynamics in the Karoo uplands. South Africa: post – European impacts. Land Degradation & Development, 23:508-522.
- Francés, F. & G. Bussi.** 2014. Análisis del impacto del cambio climático en el ciclo de sedimentos de la cuenca del río Ésera (España) mediante un modelo hidrológico distribuido. Revista Iberoamericana del Agua, 1:14-25.
- Gallopin, G.** 2003. Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico, CEPAL, Santiago de Chile, Chile, 47 pp.
- Hernández, C.; T. Torres & M. Valdez.** 2000. “Sequía meteorológica” en Gay, C. (comp), México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México, Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país, coordinados por el INE con el apoyo del U.S: Country Studies Program, México:INE, SEMARNAP, UNAM, U.S. Country Studies Program, 25-40 pp.
- Instituto del Mar del Perú (IMARPE).** 2017a. Estudio Nacional del Fenómeno del Niño (ENFEN).Comité Multisectorial Encargado Del Estudio Nacional Del Fenómeno El Niño. http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_infctco_informe_tecnico_extraordinario_001_2017.pdf
- Instituto del Mar del Perú (IMARPE).** 2017b. Informe técnico extraordinario N° 001-2017/ENFEN EL NIÑO. Lima-Perú. 31pp
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).** 2006. Manual básico para la estimación de riesgos. INDECI. Lima-Perú.73p
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).** 2015. Compendio estadístico del INDECI2015 en la Preparación, Respuesta y Rehabilitación ante Emergencias y Desastres. Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) Lima 256pp
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).** 2017a. Boletín Informativo del Centro de Operaciones de Emergencia Nacional No. 137, 139 y 141 del 18 al 20 de abril 2017.
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).** 2017b. Informe de activación por el desborde de la quebrada San Idelfonso. Trujillo.
- Instituto Nacional de Ecología (INE).** 2006. México. Tercera comunicación nacional ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, INE-SEMARNAT, México, 252 pp.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).** 1990. Scientific Assessment of Climate Change: World Meteorological Organization/United Nations Environmental Programme. Geneva, Switzerland: Cambridge University Press. Recuperado el 02 mayo, 2017 de: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_first_assessment_1990_wg1.shtml
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).** 2001. IPCC Third Assessment Report. Recuperado el 02 mayo, 2017 de: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).** 2007a. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report (AR4), Cambridge University Press, Cambridge, UK. Recuperado el 02 mayo, 2017 de: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).** 2007b. Cambio climático 2007, Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (equipo de redacción principal: Pachauri, R. K. y A. Reisinger (dirs. de la publicación), IPCC, Ginebra, Suiza, 114 pp. Recuperado el 02 mayo, 2017 de: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).** 2012. "Summary for Policymakers", in Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. M., K. J. Mastrandea, K. J. Mach, G. K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor & P. M. Midgley (eds.), Managing the risk of extreme events and disasters to advance climate change adaptation, A. Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 1-20 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).** 2013. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5), Climate Change 2013), Intergovernmental Panel on Climate Change, The Physical Science Basis, Stockholm. Recuperado el 02 diciembre, 2019 de: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- Klauser, A.** 2000. El Niño – La Niña: El fenómeno oceánico – atmosférico. 1^{era} edición. Lima Perú, 1–76. ISBN: 9972-817-09-1
- Klein, R.J.T.; S. Huq; F. Denton; T.E. Downing; R.G. Richels; J.B. Robinson & F.L. Toth.** 2007. Inter-relationship between adaptation and mitigation. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II. IPCC, 745-777pp
- Kurtz, D.B.; A. Perucca; D.D. Ybarra; C. Fernández; S. Rey & R. Barrios.** 2015. El fenómeno El Niño. *Inta*, 1–18.
- León, C.** 2009. Guía técnica para la incorporación del Análisis de Riesgo en los Ordenamientos Ecológicos Municipales y Regionales, Informe final, Instituto Nacional de Ecología, México. Recuperado el 02 mayo, 2017 de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=3328630&pid=S0188-4611201300010000200020&lng=es
- Lovelock, J.** 2007. La venganza de la Tierra: la teoría de Gaia y el futuro de la humanidad. México. *Invest. Geog.* 64:249
- Narváez, R; G. Jimenes & S. Mora.** 2014. Análisis del comportamiento hidráulico de las estructuras de encauzamiento por activación de la quebrada San Idelfonso. *Pueblo Continente*, 25(1):1-7
- Magaña, V.; J. Méndez; R. Morales & C. Millán.** 2004. Consecuencias presentes y futuras de la variabilidad y el cambio climático en México, en Martínez, J. y A. Fernández (comps.), Cambio climático: una visión desde México, INE-SEMARNAT, México, 203-213 pp.
- Mullan, D.; D. Favis-Mortlock & R. Fealy.** 2012. Addressing key limitations associated with modelling soil erosion under the impacts of future climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 156:18-30.
- O'Brien, K.; S. Eriksen; L.P. Nygaard & A. Schjolden.** 2007. Why different interpretations of vulnerability matter in climate change discourses, *Climate Policy*, 7:73-88.
- Patt, A.G. & D. Schröter.** 2008. Perceptions of climate risk in Mozambique: Implications for the success of adaptations strategies. *Global Environmental Change*, 18:458-467.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).** 2017. FENÓMENO EL NIÑO. 2019, de SENAMHI Sitio web: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=fenomeno-el-nino>.

- Smit, B. & O. Pilifosova.** 2001. Adaptation to climate change in the context of sustainable development and Equity, Contribution of the Working Group to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 36 pp.
- Smit, B. & J. Wandel.** 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability, *Global Environmental Change*, 16:282-292.
- Thomas, J.** 2013. Evaluación de la vulnerabilidad social ante amenazas naturales. Un aporte de método. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM. México*, 81: 79-93.
- Zhao, G.; X. Mu; Z. Wen; F. Wang & P. Gao.** 2013. Soil erosion, conservation and eco-environment changes in the Loess Plateau of China. *Land Degradation & Development*, 24:499-510.