



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Instituto  
Geofísico del Perú

Dirección de Asuntos  
Académicos

ISSN:2079-696X

# COMPENDIO DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADO POR ESTUDIANTES DURANTE EL AÑO 2012

**VOLUMEN 14**



**Editora:**  
Yamina Silva Vidal

Lima, Perú  
2013

ISSN: 2079-696X

COMPENDIO DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN  
REALIZADO POR ESTUDIANTES DURANTE EL AÑO 2012

Volumen 14



Dirección de Asuntos Académicos  
Instituto Geofísico del Perú

Lima, Perú  
2013

**Título:** Compendio de trabajos de investigación realizado por estudiantes durante el año 2012.

**Título clave abreviado:** Compend. trab. investig. realiz. estud. durante año 2012

**Volumen:** 14

**Autor:** Dirección de Asuntos Académicos, IGP

**Editora:** Yamina Silva Vidal

**ISSN:** 2079-696X

Hecho en el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2013-13624

Copyright © 2013 Instituto Geofísico del Perú. Dirección de Asuntos Académicos

Correo electrónico: [daa@igp.gob.pe](mailto:daa@igp.gob.pe)

<http://www.igp.gob.pe>

Calle Badajoz N° 169-171

Urbanización Mayorazgo, IV Etapa

Lima 3, Perú

Teléfono: (01) 317-2300

Tiraje: 500 ejemplares

Fecha de impresión:

Impreso en el Perú

Impreso en: Consorcio 2001 Offset Industry S.R.L. y Comercializadora Cartolan E.I.R.L.

Dirección: Av. Los Corales N° 375, Urb. Balconcillo - La Victoria

Teléfono: 265-7350

Correo electrónico: [2001srlprocesos@gmail.com](mailto:2001srlprocesos@gmail.com)

La información estadística, los mapas y figuras en esta publicación son referenciales, no tienen valor oficial y son de completa responsabilidad de los autores.

El contenido del documento puede ser reproducido total o parcialmente mencionando la fuente: Dirección de Asuntos Académicos, IGP

# Ministerio del Ambiente

Dr. Manuel Pulgar-Vidal Otárola

## INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

Dr. Ronald Woodman Pollitt, Presidente Ejecutivo

Dr. José Macharé Ordoñez, Director Técnico

Dra. Yamina Silva Vidal, Directora de Asuntos Académicos

### Investigadores responsables de los trabajos publicados:

#### Sismología

Dr. Hernando Tavera Huarache

#### Variabilidad y Cambio Climático

Dr. Jhan Carlo Espinoza Villar

Mg. Grace Trasmonte Soto

#### Aeronomía

Dr. Marco Milla Bravo

#### Geofísica y Sociedad

Mg. Alejandra Martínez Grimaldo

#### Geodesia Espacial y Peligro Geofísico

Ing. Juan Carlos Gómez Ávalos



# ÍNDICE

<b>Presentación</b> .....	7
<b>1. Análisis de la actividad sísmica en los alrededores del volcán Misti en el año 2011</b> <i>Analysis of seismic activity registered near Misti volcano in 2011</i> Rosa Maria Anccasi Figueroa .....	9
<b>2. Dinámica y modelado numérico de tsunamis en cauce de ríos: aplicación al río Rímac (Parte II)</b> <i>Dynamics and numerical modeling of tsunamis in riverbed: application to Rimac river (Part II)</i> Julio César Martínez Herrera .....	15
<b>3. La Laguna Azul y su influencia en la ocurrencia de movimientos en masa que afectan la seguridad física de los poblados de La Laguna, Barrio Chino y Las Catahuas, Región Cajamarca</b> <i>La Laguna Azul and its influence on the occurrence of mass movement affecting physical security of the La Laguna, Barrio Chino and Las Catahuas villages, Cajamarca Region</i> Abraham Gamonal Sánchez.....	23
<b>4. Escenarios de gestión de riesgo del distrito de Punta Negra</b> <i>Risk management scenarios of Punta Negra district</i> Luz Marina Ojeda Paredes .....	30
<b>5. Aplicación de la evaluación multicriterio para el análisis de riesgo de multi amenazas climáticas</b> <i>Application of multicriteria evaluation for risk analysis of climatic multi hazards</i> Marysussan Disa Celis Gómez.....	42
<b>6. Gestión de riesgo por peligros naturales y antrópicos en el distrito de Punta Hermosa</b> <i>Risk management of natural and anthropic hazards in the district of Punta Hermosa</i> Rubén Castro Mendoza.....	48
<b>7. Balance de flujo de humedad y variabilidad hidrológica en la cuenca Amazónica Peruana</b> <i>Water vapor flux balance and hydrologic variability in the Peruvian Amazon basin</i> Anais Villacorta Gonzales.....	58
<b>8. Estudio de tendencias de la altura de la densidad máxima de electrones en la región f sobre Jicamarca</b> <i>A long-term trend study of the f-region peak height above Jicamarca</i> Enrique Luis Alfonso Rojas Villalba.....	64
<b>9. Modelamiento numérico de una onda de rotura de presa y su estimación de riesgo en Yuracmayo</b> <i>Numerical modeling of a dam break wave and risk estimation in Yuracmayo</i> Yonatan Anibal Bustamante Huamán .....	69
<b>10. La cobertura periodística del Fenómeno El Niño de 1925-1926 a través de las páginas de El Comercio de Lima</b> <i>Newspaper coverage of the 1925-1926 El Niño phenomenon through the pages of El Comercio of Lima</i> Antonio José Chang Huayanca.....	78



## PRESENTACIÓN

El Compendio de Trabajos de Investigación es una publicación anual editada por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), cuyos inicios se dio en el año 1999. El Compendio nació por iniciativa del Dr. Hernando Tavera, quien al ver que muchos jóvenes eran entrenados y capacitados en Geofísica, vio la necesidad de publicar los resultados de los trabajos de investigación que realizaban los estudiantes durante su estancia en el IGP.

El IGP, desde hace varias décadas, permanentemente viene ofreciendo a los jóvenes estudiantes de los últimos ciclos y egresados universitarios, la oportunidad de realizar investigación en la modalidad de tesis de grado y posgrado. Varias generaciones de jóvenes han pasado por el IGP, muchos de ellos se graduaron con las tesis que desarrollaron en esta institución y hoy son profesionales exitosos, algunos se formaron como investigadores y se desempeñan como tal, en el Perú y otros en el extranjero.

En el presente volumen, se publican 10 trabajos de investigación que abarcan diferentes ramas de la Geofísica, tales como: Sismología, Vulcanología, Geología, Climatología, Hidrología y Alta Atmósfera. Entre los trabajos publicados tenemos: la evaluación del riesgo por peligros asociados a sismos y tsunamis, análisis de la sismicidad del volcán Misti, modelado numérico del impacto de un tsunami en el cauce de un río, movimientos en masa provocados por la ubicación de una laguna en Cajamarca, análisis del riesgo de multiamenazas climáticas, variabilidad hidrológica y balance de humedad en el Amazonas, así como tendencias en la altura de la densidad de electrones. Es importante destacar que, si bien el trabajo del IGP se encuentra sobre la base de las ciencias duras, también hay cabida para otras ramas del conocimiento, como es el caso del estudiante de Maestría en Historia, quien recopiló y analizó información periodística referente al Fenómeno El Niño 1925-26.

El IGP pone a vuestra disposición el presente volumen, y se espera que sea de utilidad, no sólo para mostrar los avances en las investigaciones realizadas por estudiantes, sino también para impulsar a los actuales estudiantes a interesarse por la Geofísica, desde el lado de la prevención de los desastres que podrían ser ocasionados por algún evento natural, así como aprovechar sus efectos positivos.

Yamina Silva  
Editora  
Dirección de Asuntos Académicos





# ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA EN LOS ALREDEDORES DEL VOLCÁN MISTI EN EL AÑO 2011

## ANALYSIS OF SEISMIC ACTIVITY REGISTERED NEAR MISTI VOLCANO IN 2011

ROSA MARÍA ANCCASI FIGUEROA

Universidad Nacional San Agustín de Arequipa  
Facultad de Geología, Geofísica y Minas  
rmrosi15@hotmail.com

Asesor: Dr. Orlando Macedo S.  
Área de Vulcanología, Arequipa

## Resumen

El presente estudio consiste en el análisis de la sismicidad tectónica o volcano-tectónica registrada por un total de 46 estaciones sísmicas de periodo corto y banda ancha instaladas durante el periodo marzo-diciembre del 2011. Se registraron y localizaron 87 eventos sísmicos. Como resultado se determinó 2 zonas sismogénicas principales: ZONA 1 entre los volcanes Misti y Chachani y ZONA 2 en las inmediaciones del batolito de la Caldera. Los eventos sísmicos de la zona 1 se caracterizan por presentarse agrupados espacialmente superficiales, con profundidades <12 km, con magnitudes entre 0,1 y 1,3 ML. Por su parte, los eventos de la zona 2 se presentan mucho más dispersos, tienen profundidades más importantes, de hasta 50 km, y presentan magnitudes mayores que alcanzan 2,1 ML. La zona 1, bastante restringida y de sismicidad relativamente superficial es considerada como zona que podría estar asociada a la actividad hidrotermal de los volcanes activos de la zona. Es necesario tener en cuenta a esta zona sismogénica en la vigilancia del volcán Misti.

**Palabras clave:** volcán Misti, vigilancia volcánica, red sísmica.

## Abstract

*We study the tectonic and volcano-tectonic seismicity recorded near Misti and Chachani volcanoes (South Peru) by 46 short-period and broadband seismic stations. These stations operated from March to December 2011. During this period there were registered and located 87 seismic events. The results evidenced two main seismogenic zones: ZONE 1 situated near the Misti and Chachani volcanoes, and ZONE 2 situated near the Caldera batholiths. The seismic events of ZONE 1 appear grouped, and these events are superficial with <12 km deep and magnitudes between 0.1 and 1.3 ML. The events of ZONE 2 are dispersed, deeper and with depths reaching 50 km, and with magnitudes reaching 2.1 ML. After these characteristics the zone 2 may correspond to be associated to hydrothermal activity in relation with near active volcanic center as Misti volcano is. This seismogenic zone must be taken in consideration on the surveillance of Misti volcano.*

**Keywords:** Misti volcano, volcano surveillance, seismic network.

## 1. Introducción

El volcán Misti se encuentra al sur del Perú, ubicado al NE de la ciudad de Arequipa (16°17'47"S y 71°24'38"O). Se eleva a 5822 m.s.n.m. Forma parte de la Cordillera Occidental de los Andes y está considerado dentro de la zona volcánica de los Andes Centrales (ZVC).

La actividad sísmica asociada a la actividad de un volcán no siempre ocurre en el cono volcánico, sino que frecuentemente ocurre fuera de esta zona, en los alrededores. En este trabajo se muestra el resultado del análisis de datos sísmicos que permiten conocer cómo se encuentra la actividad sísmica alrededor del Volcán Misti y las posibles fuentes sísmicas.



Figura 1. Mapa de ubicación de volcanes en el Perú.

## 2. Red sísmica

Entre marzo y diciembre del año 2011, se instalaron 13 estaciones de periodo corto y 10 de banda ancha, para estudiar la sismicidad asociada con el volcán Misti. Los datos registrados en esta campaña, así

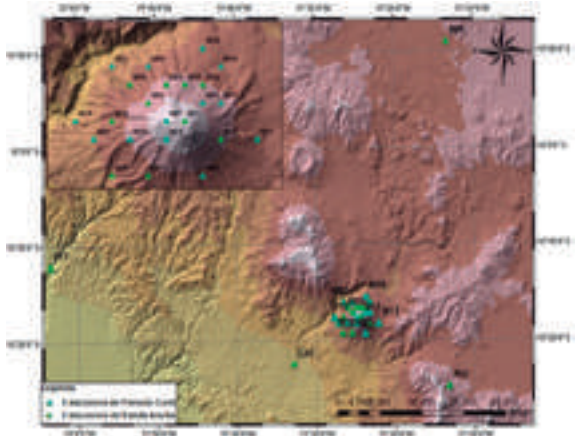


Figura 2. Mapa de localización de las estaciones de la campaña sísmica 2011

como los datos de las estaciones sísmicas locales de la zona, tales como CAY (Cayma), PIC (Pichupichu), PIT (Pitay) y RPI (Represa de Pillones) han sido utilizados para nuestra investigación. En el siguiente mapa se muestra la ubicación de las estaciones antes mencionadas.

La tabla 1 muestra las características de los equipos utilizados.

Tabla 1. Datos generales de las estaciones instaladas en la campaña sísmica del 2011.

Estación	Longitud	Latitud	Elev. (km)	Digitizer	Obs.
CAY	71,545734W	16,376566S	2,429	Guralp_6TD	Banda ancha
M01	71,448470W	16,267190S	3,168	RefTek130	Periodocorto
M03	71,425104W	16,289895S	5,000	Guralp_6TD	Banda ancha
M04	71,415673W	16,281533S	4,943	Guralp_6TD	Banda ancha
M05	71,423550W	16,266220S	3,929	RefTek72	Periodocorto
M06	71,432321W	16,276692S	4,100	Guralp_6TD	Banda ancha
M07	71,420680W	16,299180S	5,202	RefTek72	Periodocorto
M08	71,449230W	16,305420S	3,889	RefTek130	Periodocorto
M09	71,397739W	16,326075S	4,169	TITAN	Periodocorto
M11	71,402692W	16,299726S	5,683	Guralp_6TD	Banda ancha
M12	71,386523W	16,308030S	4,531	TITAN	Banda ancha
M13	71,383823W	16,290180S	4,693	TITAN	Periodocorto
M14	71,386947W	16,270425S	4,288	TITAN	Periodocorto
M15	71,400835W	16,258332S	4,076	TITAN	Periodocorto
M16	71,407086W	16,277631S	4,732	KEPHREN	Banda ancha
M17	71,366045W	16,302736S	4,154	TITAN	Periodocorto
M18	71,440558W	16,295392S	4,232	Guralp_6TD	Banda ancha
M19	71,463333W	16,300000S	3,510	TITAN	Periodocorto
M20	71,448943W	16,323213S	3,624	Guralp_6TD	Banda ancha
M22	71,415210W	16,309180S	4,923	RefTek72	Periodocorto
M23	71,421719W	16,326415S	4,128	Guralp_6TD	Banda ancha
M24	71,431950W	16,304960S	4,445	RefTek72	Periodocorto
M25	71,397076W	16,282408S	4,764	Guralp_6TD	Banda ancha
M26	71,400581W	16,291506S	5,376	TITAN	Periodocorto
PIC	71,218442W	16,415880S	4,780	Guralp_6TD	Banda ancha
PIT	72,057121W	16,201141S	1,733	Guralp_6TD	Banda ancha
RPI	71,219570W	15,819273S	4,389	Guralp DM24	Banda ancha

## 3. Procesamiento de datos

Se discriminaron los eventos registrados en la red, identificando y separando los eventos de carácter regional (subducción y otros de origen intermedio a lejano), se hizo el análisis y la lectura de los tiempos de fases de P y S de los eventos seleccionados.

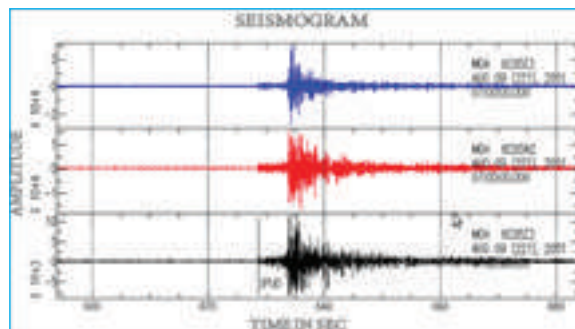


Figura 3. Ejemplo de un sismo registrado el día 09 de agosto a las 07:00 horas por la estación M04. Representa un sismograma con sus tres componentes y fases P y S.

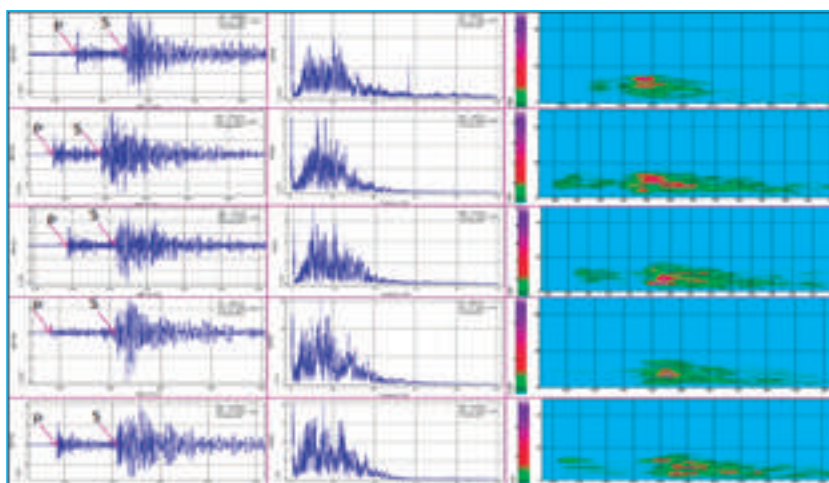


Figura 4. Ejemplo de un sismo registrado por la estación CAY, M20, M06, PIC y M18 el día 31 de agosto a la 01:00 horas, A) Sismograma, B) Espectro, C) Espectrograma.

### 3.1 Modelo de velocidad

Grange (1984) propuso un modelo regional de velocidades para la zona Sur del Perú (Tabla 2). Si bien este modelo es útil para grandes distancias, las zonas en o próximas a aparatos volcánicos tienen velocidades particulares; Métaxian (1998) determinaron un modelo que es utilizado actualmente en áreas de volcanes andesíticos peruanos.

Tabla 2. Modelo de velocidad de Grange (1984).

Grange (1984)	
Vp (km/s)	Prof (km)
5,5	0,0
6,0	5,0
6,8	30,0
8,0	50,0

Tabla 3. Modelo de velocidad de Métaxian (1998).

Métaxian et al. (1998)	
Velocidad del semi-espacio (km/s)	Semi-espacio (km)
2,5	0 - 3
4,5	> 3

En el modelo de Métaxian se consideran capas planas que tienen velocidades crecientes en función de la profundidad, de la misma manera como se muestra en el ejemplo de la Figura 5, donde se observa que el modelo de velocidad en un medio volcánico ha sido tomado como tope del modelo de velocidad la altura del volcán.

Teniendo en cuenta la extensión intermedia de nuestra área de estudio, en el presente trabajo se ha considerado un modelo intermedio, en el cual se tiene tres medios de velocidades crecientes en profundidad. El modelo empleado se puede observar en la Tabla 4 y la Figura 6.

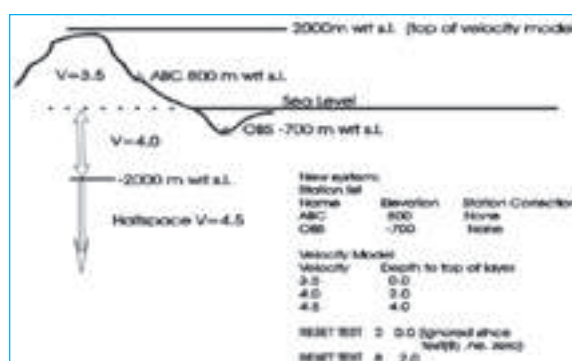


Figura 5. Ejemplo de modelo de velocidades usados en el programa Hypoellipse.

Tabla 4. Modelo de velocidades

Vp(km/s)	Prof.(km)	Vp/Vs
3,50	0,0	1,68
6,0	5,0	1,68
6,80	30,0	1,69

### 3.2 Curva de Wadati

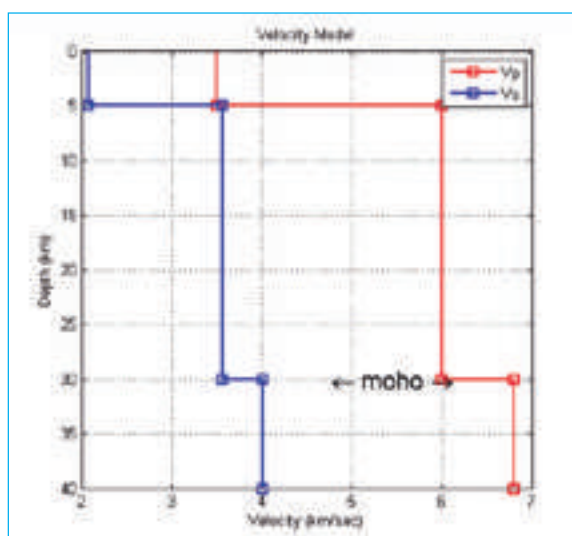


Figura 6. Gráfica del modelo de velocidad empleado para la onda P y S.



Los modelos de velocidad consideran solo capas planas con velocidades para la onda P; la velocidad de la onda S es determinada mediante la relación de velocidades  $V_p/V_s$  a partir de la curva de Wadati. Para construir la curva de Wadati, se ha utilizado los tiempos de llegada de las fases P y S de los eventos sísmicos registrados.

Los valores para el ajuste corresponden a la diferencia, entre el valor del tiempo de llegada mínimo y los tiempos de llegada mayores para cada uno de los eventos sísmicos, tanto para la onda P como para la S ( $T_{s2}-T_{s1}$  y  $T_{p2}-T_{p1}$ ).

En la Figura 7 se observa que el ajuste lineal de los datos considera una recta con pendiente

igual a 1,7; siendo este valor correspondiente a la relación  $V_p/V_s$ .  $T_{s2}$  y  $T_{p2}$  corresponden a los tiempos de llegada de las ondas P y S;  $T_{p1}$  y  $T_{s1}$  los tiempos mínimos de llegada para cada eventos sísmico y  $V_p/V_s$  la relación de velocidades.

### 3.3 Cálculo de la magnitud

Para el cálculo de la magnitud local (ML) de los eventos sísmicos, se utilizó la relación de Richter (1935):

$$ML = \log_{10}(A) + \log_{10}(D) + 0.00301 * (D) + 3.0$$

Dónde:

A: Máxima amplitud de la traza en nm (nanómetros) que se mide en las componentes horizontales (Bormann and Dewey, 2012).

D: Distancia hipocentral en km (kilómetros).

En la figura 8 se muestra la distribución espacial de los 87 eventos sísmicos registrados. Los eventos sísmicos presentan magnitudes entre -0,04 y 2,1 ML.

### 3.4 Análisis de distribución espacial de la sismicidad

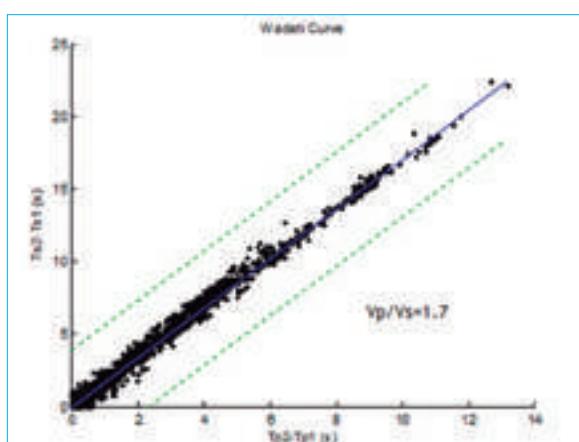


Figura 7. Curva de Wadati obtenida para los eventos sísmicos registrados en la campaña sísmica 2011 y 2012.

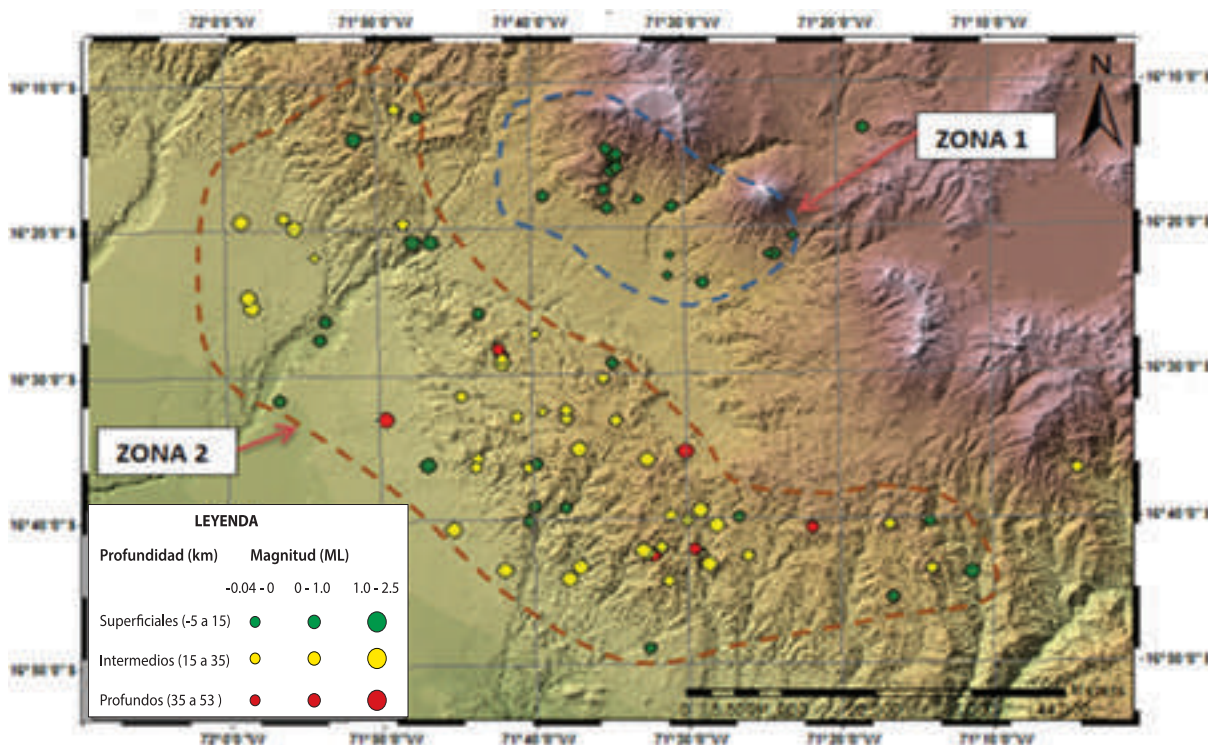


Figura 8. Mapa de distribución de la sismicidad; se ha dividido en sísmos superficiales (5-15 km, círculos verdes), intermedios (15-35 km, círculos amarillos) y profundos (35-53 km, círculos rojos).

En la Figura 8 se observa que los sismos se distribuyen principalmente en dos zonas: "ZONA 1", entre los volcanes Misti y Chachani y "ZONA 2" a grosso modo alineados NW-SE, próximos al batolito de la caldera.

Asimismo, en esta misma figura se puede observar que en la ZONA 1 todos los eventos son superficiales (círculos color verde), mientras que la ZONA 2 se caracteriza porque la mayor parte de ellos tienen profundidades mayores de 15 km (círculos amarillos y rojos).

Por su parte, los eventos de la ZONA 2 se presentan agrupados y con profundidades

superficiales. Las figuras 9 y 10 muestran secciones N-S y E-W con la distribución de los eventos en profundidad.

En la figura 10 se observa que los sismos son superficiales, distribuyéndose hasta profundidades cercanas a los 12 km por debajo del nivel del mar. Se observa una concentración de eventos por debajo del volcán Chachani, así como algunos eventos bajo el volcán Misti.

## 4. Discusión

La distribución espacial de los eventos sísmicos de la

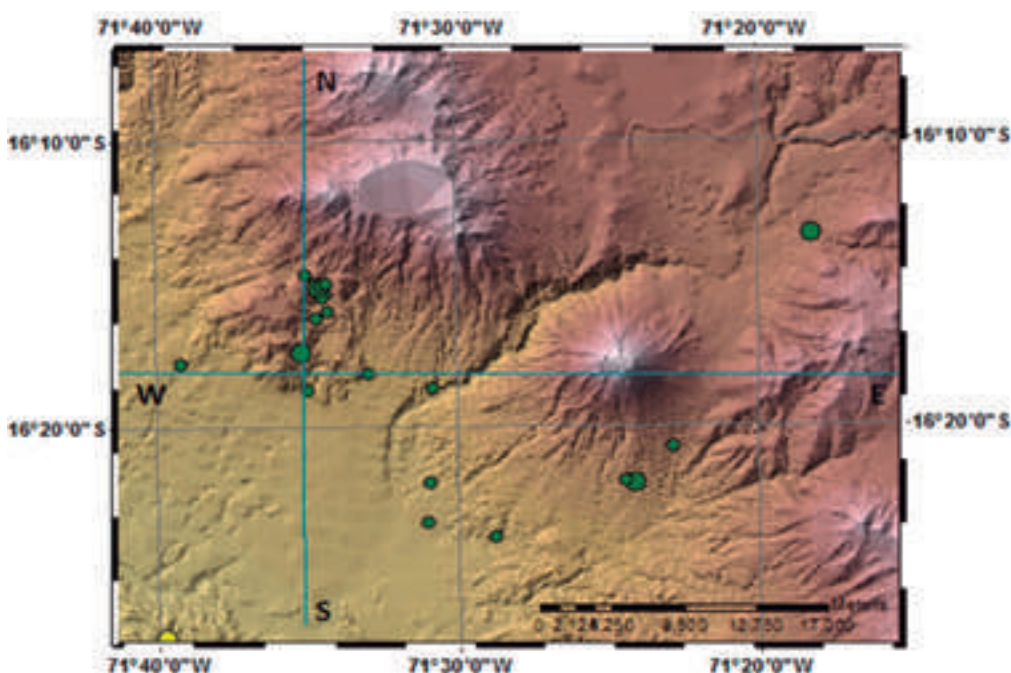


Figura 9. Mapa de secciones sísmicas N-S y E-W dentro de la ZONA 1.

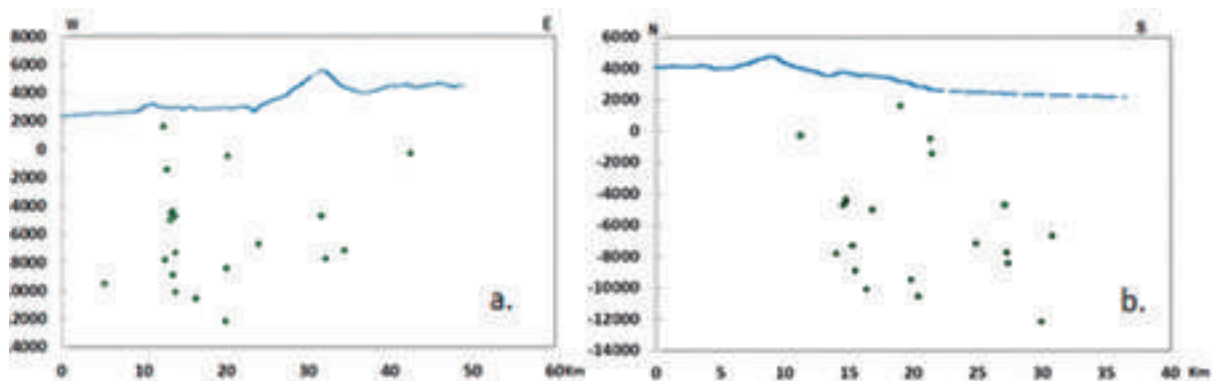


Figura 10. Secciones verticales de la zona 1. a) Sección Oeste-Este; b) Sección Norte-Sur. En la ordenada se tienen las altitudes en metros. El nivel 0 indica el nivel medio del mar.

campaña del 2011 analizadas en este estudio sugiere la existencia de dos fuentes sismogénicas, la zona más dispersa y alejada (ZONA 2) es de carácter mucho más profundo que la ZONA 1. Esta zona correspondería a actividad preferencialmente tectónica regional. En efecto, las grandes estructuras geológicas y en particular el tectonismo en el sur del Perú siguen una alineación NW-SE, en esta zona se observa también la misma orientación en lo que respecta al batolito de la caldera.

Contrariamente a la anterior, la ZONA 1 es mucho más concentrada, superficial y cercana a los volcanes Misti y Chachani. Estas características indicarían que la sismicidad tendría una probable influencia de origen volcánico, que podría estar asociado al hidrotermalismo de los aparatos volcánicos próximos activos, es decir al volcán Misti (y tal vez Chachani). En la distribución de la sismicidad de la Figura 8 se observa una concentración de sismos al SW del volcán Chachani, que son superficiales y de bajos valores de magnitud.

Diversos estudios sobre sismicidad ocurrida durante procesos eruptivos dan cuenta de la ocurrencia de eventos de tipo VT o fractura que ocurren no bajo el volcán, sino a distancias de aproximadamente 10 a 20 km y con profundidades típicas próximas a los 15 km (White and McCausland, 2013). Son los denominados dVT o volcanos tectónicos distales, lo cuales estarían asociados a la importante presión hidrostática en zonas de hidrotermalismo. Si bien la sismicidad encontrada en inmediaciones del volcán Chachani no corresponde a los dVT, el hecho de ocurrir sismos agrupados en una zona próxima a un volcán activo y de carácter superficial, puede constituir indicios de presencia de una zona de mayor debilidad comparativamente con los alrededores del volcán Misti. La zona identificada debe ser, por tanto, objeto de vigilancia, sobre todo si en el futuro se producen eventos de magnitudes mucho mayores.

## 5. Conclusiones

Se localizaron 87 eventos sísmicos durante la campaña sísmica del 2011, pudiéndose determinar dos zonas sismogénicas: ZONA 1 y ZONA 2.

La ZONA 1 es superficial y relativamente concentrada espacialmente, y está situada a proximidad de los volcanes Misti y Chachani. Dentro de esta zona se registraron sismos de menor profundidad, entre 5-12 km.

La ZONA 2 es mucho más dispersa en área y ocurre a distintas profundidades, que llegan hasta los 50 km. Esta zona se presenta, además, con alineamiento similar al de las estructuras andinas NW-SE, y localmente al batolito de la caldera.

Por su concentración espacial, y por su proximidad a los volcanes Misti y Chachani, la sismicidad hallada en la ZONA 1 podría estar asociada a la influencia de la amplia zona hidrotermal del volcán Misti y posiblemente Chachani.

## 6. Agradecimientos

Agradezco a Instituto Geofísico del Perú por haberme brindado facilidades para desarrollar mi tema de tesis, así como también mi gratitud al Dr. Orlando Macedo por su apoyo en el proceso, por guiarme en esta investigación.

## 7. Bibliografía

Antayhua, Y. y Tavera, H. (2003). Volcanes y sismicidad en la región del volcán Sabancaya (Arequipa). Monografía, Instituto Geofísico del Perú. Lima, Perú. 82 pag.

Taipe E. (2008). Análisis de la actividad sísmica del volcán Ubinas para el periodo marzo-abril de 1998. Tesis para optar el título de Ingeniero Geofísico. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, 157 p.

Lahr, J.C. (1999). Quick-start manual for Hypoellipse, a computer program for determining local earthquake hypocentral parameters, magnitude, and firstmotion pattern (Y2K compliant version), Version 1.0. U.S. Department of the Interior U.S. Geological.

Dewey, J. and Topic, W. (2012). The new IASPEI standards for determining magnitudes from digital data and their relation to classical magnitudes. Version March 2012; DOI: 10.2312/GFZ.NMSOP-2-IS\_3.3, pages 6.

White, R. and McCausland, W. (2013). Estimating intrusive volumes and forecasting eruptions using distal volcano-tectonic earthquakes, submitted to JVGR.

Grange, F., Hatzfeld, D., Cunningham, P., Molnar, P., Roecker, S. W., Suarez, G., ... & Ocola, L. (1984). Tectonic implications of the microearthquake seismicity and fault plane solutions in southern Peru. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978–2012), 89(B7), 6139-6152. (ISSN 0148-0227), vol. 89, July 10, 1984, p. 6139-6152.

Métaxian, J. P., O'Brien, G. S., Bean, C. J., Valette, B., & Mora, M. (2009). Locating volcano-seismic signals in the presence of rough topography: wave simulations on Arenal volcano, Costa Rica. *Geophysical Journal International*, 179(3), 1547-1557. *Geophys. J. Int.* doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04364.x



# DINÁMICA Y MODELADO NUMÉRICO DE TSUNAMIS EN CAUCE DE RÍOS: APLICACIÓN AL RÍO RÍMAC (PARTE II)

## DYNAMICS AND NUMERICAL MODELING OF TSUNAMIS IN RIVERBED: APPLICATION TO RIMAC RIVER (PART II)

JULIO CÉSAR MARTÍNEZ HERRERA

Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Facultad de Ciencias Físicas, E.A.P. Ingeniería Mecánica de Fluidos  
juser\_martinez@hotmail.com

Asesor: Dr. Hernando Tavera  
Área de Sismología

### Resumen

Un modelo numérico es una representación teórica de un fenómeno natural, por ejemplo los tsunamis, el cual es típicamente expresado en forma matemática, a fin de generar escenarios de riesgo para una mayor comprensión del comportamiento y desarrollo del peligro. En el caso de un tsunami producido en la zona de subducción, el comportamiento es controlado por las ecuaciones asociadas a la dinámica de fluidos y otros procesos geofísicos como la interacción entre las placas y el océano, la sismicidad, etc. En general, estas ecuaciones se expresan en diferenciales parciales, las cuales describen la evolución de las diferentes variables relevantes en función de los valores considerados como condiciones de contorno. Este estudio se desarrolló en dos etapas. La primera, consistió en evaluar el riesgo de un tsunami en el Callao y en la segunda, el comportamiento del mismo a lo largo del cauce del río Rímac y su efecto al Terminal Portuario del Callao. Los resultados obtenidos indican que para un sismo de magnitud de 8,5 Mw, el tsunami llega a la costa del Callao en un tiempo de 18-20 minutos con olas del orden de 6-8 metros de altura, la inundación en costa llega en promedio a 1.50 km mientras que en el río Rímac la inundación llega a 2 km.

**Palabras clave:** Tsunami, modelación numérica, Callao.

### Abstract

*A numerical model is a theoretical representation of a natural phenomenon, e.g. tsunamis, which is typically expressed in mathematical form, in order to generate risk scenarios for a best comprehension of risk behavior and development. In the case of a tsunami occurred in the subduction zone, the behavior is controlled by the associated equations of fluid dynamics and other geophysical processes as the interaction between the plates and the ocean, seismicity, etc. In general, these equations are expressed in partial differential, which describe the evolution of the relevant different variables as a function of the values considered as boundary conditions. This study was conducted in two stages. The first was to assess the risk of a tsunami of Callao and in the second, the same behavior along the Rímac river channel and its effect at Callao Port Terminal. The results indicate that an earthquake of magnitude 8.5 Mw, the tsunami reaches the coast of Callao in a time of 18-20 minutes with waves of around 6-8 meters in height, the flood comes at coast average 1.50 km while the Rímac River flooding reaches 2 km.*

**Keywords:** *Tsunami, numerical modeling, Callao.*



## 1. Introducción

El océano pacífico tiene el más alto riesgo de presencia de terremotos y tsunamis por encontrarse dentro de un cinturón de gran actividad tectónica y volcánica el cual recibe el nombre de “Cinturón

de Fuego del Pacífico”. En tal sentido, el océano pacífico está estructural, topográfica y sísmicamente acondicionado para servir de campo propicio al desfogue de las tensiones tectónicas, convirtiéndose así, en el sistema generador de tsunamis más activo de nuestro planeta (Figura 1).



Figura 1. Ubicación del “Cinturón de Fuego” del Pacífico.

Tsunami es una palabra de origen japonés que proviene de dos vocablos: Tsu (puerto) y nami (ola). Literalmente significa grandes olas en el puerto. No causa daños en alta mar, pero es destructivo en las costas (Figura 2).

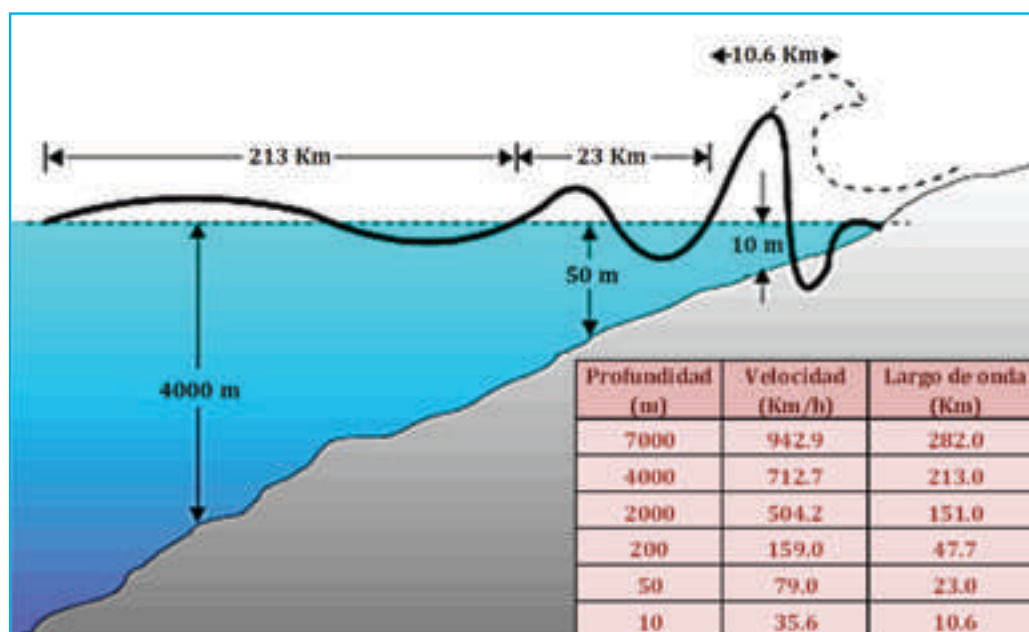


Figura 2. Conforme la profundidad del mar disminuye, la longitud de onda del tsunami también disminuye, pero aumenta la amplitud de la misma cerca de la costa. Fumihiko Imamura. (1995).

Los tsunamis son una serie de ondas marinas de gran tamaño generadas por una perturbación en el océano, al ocurrir principalmente un movimiento sísmico superficial (< 60 km de profundidad) bajo el fondo marino y de magnitud mayor a 7,0 Mw (Magnitud Momento).

## 2. Datos y selección de los dominios de integración

Para modelar el proceso de generación, propagación e inundación de un tsunami se necesita de los siguientes datos:

### 2.1 Batimetría

- a. **Batimetría global.** Para simular la grilla más grande donde se propaga el tsunami. Los datos son tomados del modelo Etopo2, con una resolución de 3,60 km. y Etopo1, con una resolución de 1,80 km.
- b. **Batimetría local.** Estos datos corresponden a una batimetría fina, y se obtienen a partir de sondeos realizados en la zona.

### 2.2 Topografía

- a. **Topografía global.** Para simular la ubicación de los mareógrafos, para generar mareogramas sintéticos a lo largo del litoral. Los datos son tomados del modelo Etopo2, con una resolución de 3,60 km. y Etopo1, con una resolución de 1,80 km.
- b. **Topografía local.** Para modelar la inundación producida por el tsunami.

Se toman datos de topografía satelital de la misión "Shuttle Radar Topography Mission" (SRTM), con una resolución de 90 m., "Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer" (ASTER) con una resolución de 30 m y de las cartas nacionales del Perú a escala 1:100000, con curvas de nivel cada 25 m. Además, se realizó el levantamiento topográfico del cauce del río Rímac obteniendo curvas de nivel cada 1 m.

Al correlacionar los datos batimétricos y topográficos se obtiene un DEM (digital elevation model) o modelo de elevación digital y se procede a elaborar 4 grillas anidadas: A, B, C y D, ver Figuras 3. La grilla A es la más grande y contiene al área de ruptura del sismo. La grilla D es la más pequeña, pero los datos son más densos y contiene la región donde se desea evaluar la inundación, ver Figura 4. Los límites de las grillas se expresan en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas de las grillas (Grados).

	Sur	Norte	Oeste	Este
Grilla D	-12,06	-12,02	-77,215	-77,115
Grilla C	-12,30	-11,80	-77,558	-76,950
Grilla B	-12,99	-11,19	-78,998	-76,801
Grilla A	-19,00	-05,00	-85,001	-69,993

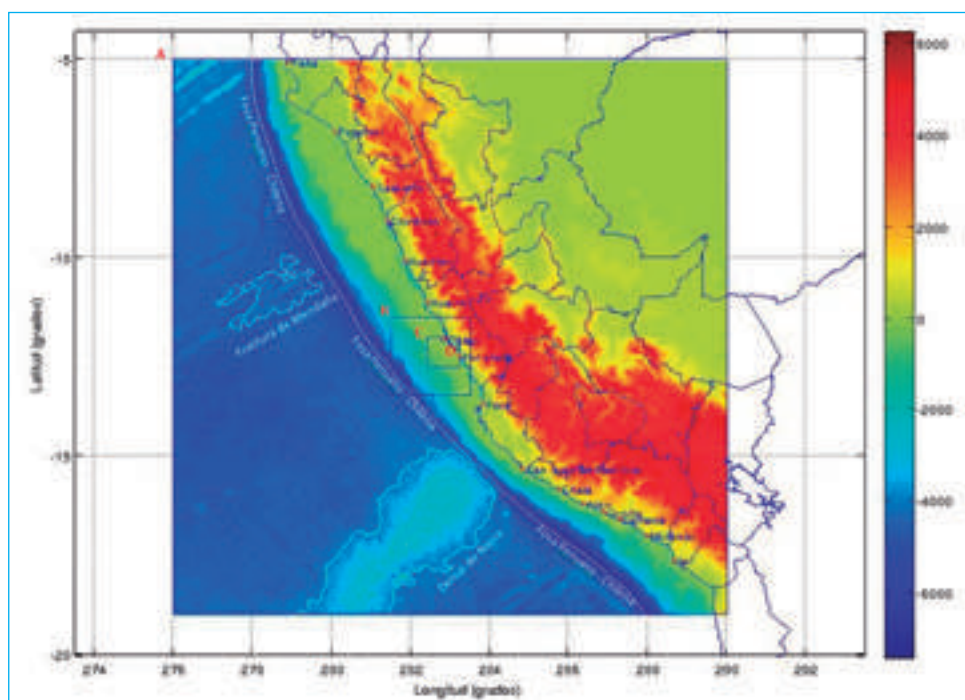


Figura 3. Representación de las grillas anidadas para el presente modelo.



Figura 4. Ubicación del área de estudio obtenida de Google Maps.

### 2.3 Parámetros hipocentrales

Para este estudio se ha visto por conveniente tomar en cuenta los datos correspondientes al sismo de 1746, ver Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros hipocentrales

Latitud	12,0° S
Longitud	77,2° O
Profundidad	30 km.
Magnitud	8,5Mw
Intensidad	X en Lima, Callao
Localización	9 km. al N-O del Callao

### 2.4 Parámetros de la fuente

Los parámetros se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de la fuente

Strike (°)	326°
Dip (°)	20°
Slip (°)	90°
Length (km)	320 km
Width (km)	110 km
Slip (m)	5.0 m
Top depth (km)	30.0 km

## 3. Fases de un tsunami

Un tsunami tiene tres fases, las cuales son:

### 3.1 Generación de un tsunami

Para alimentar el modelo numérico es

necesario conocer los parámetros que definen una falla y ellas son: (1) rumbo o azimut, (2) dirección de buzamiento, (3) ángulo de buzamiento, (4) dislocación, (5) área de ruptura, e (6) hipocentro del sismo, en otras palabras se debe conocer los "Parámetros Focales de la Fuente", ver Figura 5.

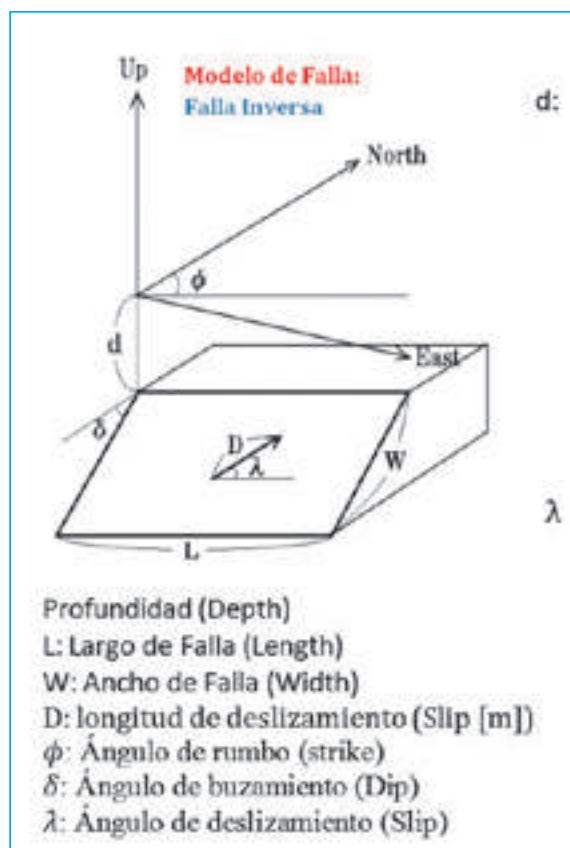


Figura 5. Representación de los parámetros de la falla.

Para el presente modelo la máxima altura de la deformación es de 4,75 m, lo cual, genera el denominado “efecto pistón” que desestabiliza la columna de agua produciendo las ondas del tsunami, ver Figura 6.

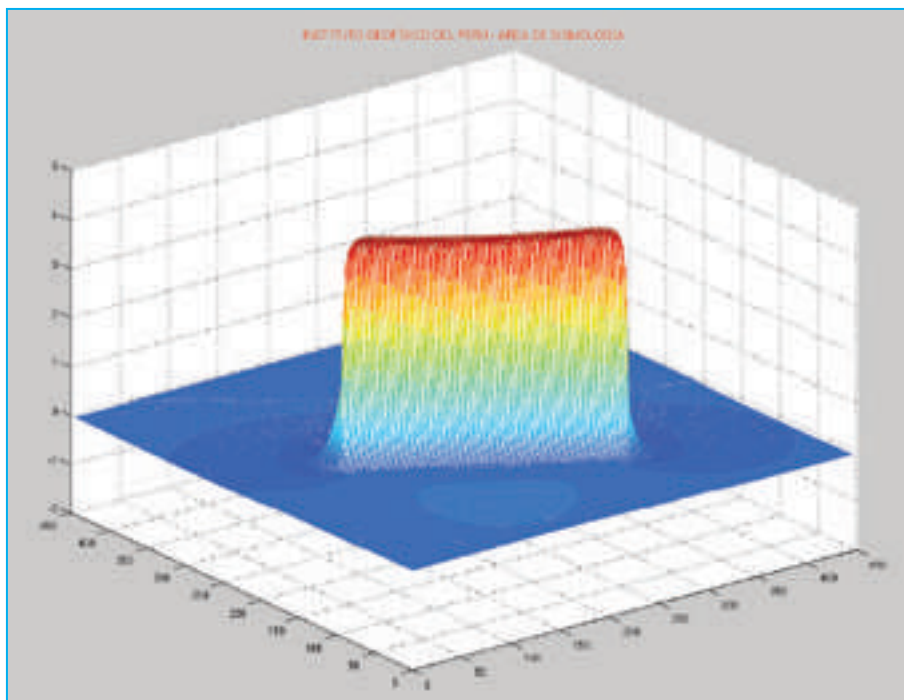


Figura 6. Se muestra el campo de deformación en 3D, calculado para el mecanismo focal proporcionado por el IGP y los parámetros focales L, W y U.

### 3.2 Propagación del tsunami

Mayores detalles en Dinámica y Modelado Numérico de Tsunamis en Cauce de Ríos: Aplicación Al Río Rímac (Parte I), Martínez (2012).

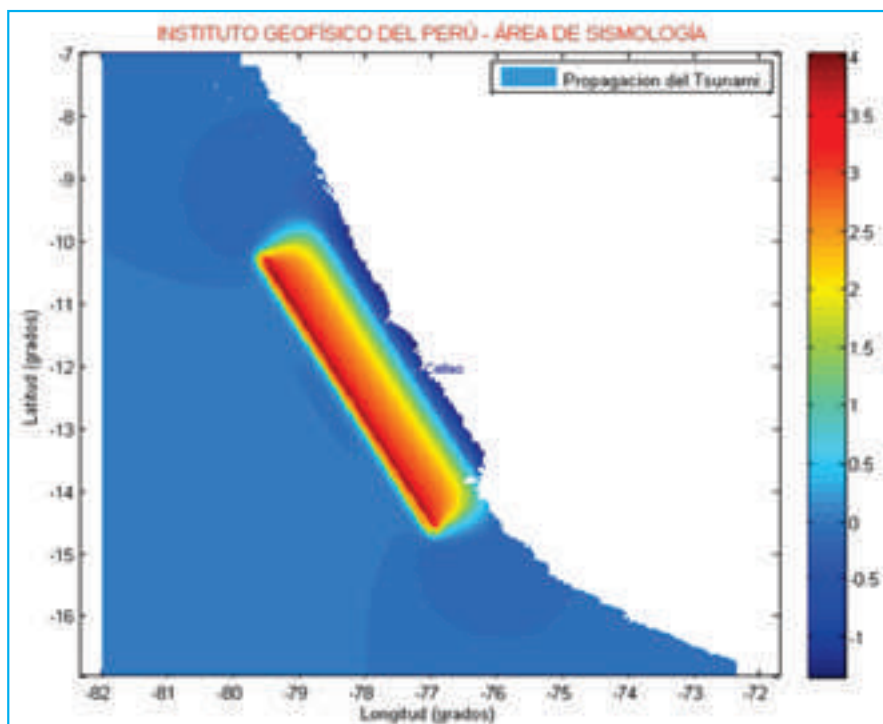


Figura 7. Vista de planta del momento en que se produce el sismo (En la zona de subducción).



### 3.3 Inundación por tsunami

La altura alcanzada por un tsunami al arribar a la costa se debe a la interacción de varios factores físicos y morfológicos tales como: características de las ondas en mar abierto, batimetría, pendiente del fondo marino, configuración del contorno de la costa, presencia de islas, difracción, refracción, reflexión, dispersión de las olas, de los modos normales de resonancia de las formaciones costeras, y formación de bordes en playas, estuarios, fluviales y lagunas costeras. Estos factores determinan que el arribo del tsunami a la línea de costa sea un proceso complejo, lo cual genera diferencias notables en la altura del tsunami aún a distancias cortas.

En la Figura 8 se puede observar que la máxima altura de la ola, según el modelo, en la línea de costa fue de 8 m en la posición correspondiente al Terminal Portuario del Callao. Así mismo, se aprecia que en la desembocadura del río Rímac también se presenta el aumento en la altura de ola del tsunami, debido a que la batimetría en ambas zonas es más profunda producto de la erosión fluvial y del dragado en el terminal portuario.



Figura 8. Máxima altura de la ola a lo largo de la costa.

En la Figura 9, se observar el mapa de inundación por tsunami a escala regional, el cual fue realizado en la primera etapa del presente estudio, con una resolución espacial de 30 m, para la zona del Callao, considerando un sismo de magnitud 8,5 Mw. En una primera impresión, se aprecia la ausencia de la influencia del río Rímac en la inundación, lo cual se debe a la resolución espacial. La Figura 10 muestra el mapa de inundación por tsunami a escala local, realizado con una resolución espacial de 10 m y en el cual, se aprecia la influencia del río Rímac y el riesgo que presenta el Terminal Portuario del Callao.

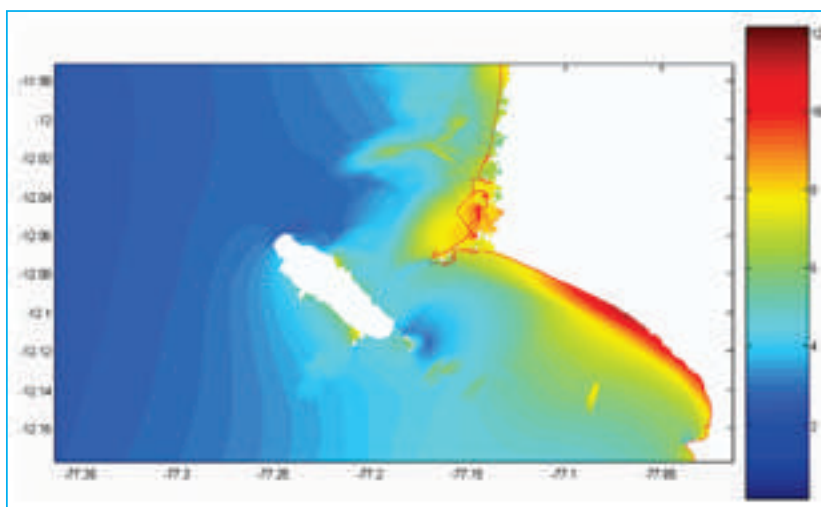


Figura 9. Mapa de inundación según el presente modelo para Mw=8,5. (Escala Regional).

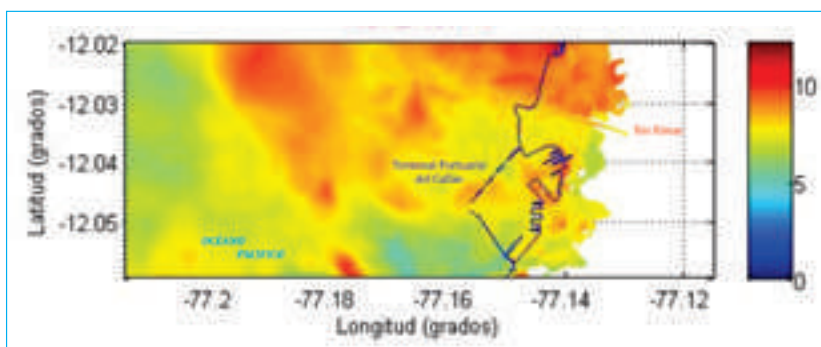


Figura 10. Mapa de inundación según el presente modelo para Mw=8,5. (Escala Local).

A continuación se muestra la zona de inundación en el mapa catastral del área de estudio, ver Figura 11. Además se obtuvo el campo de velocidades con la cual el tsunami avanza en tierra hasta detenerse, el cual servirá para realizar el análisis de estabilidad estructural en edificaciones costeras, ver Figura 12.

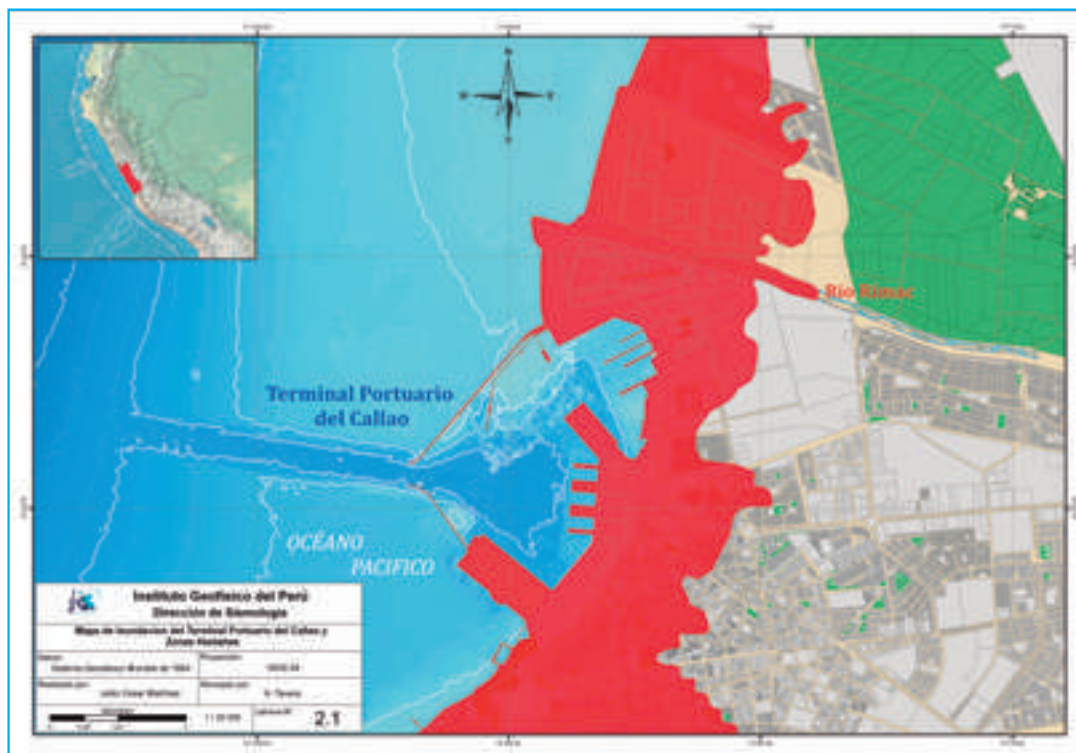


Figura 11. Mapa de inundación.

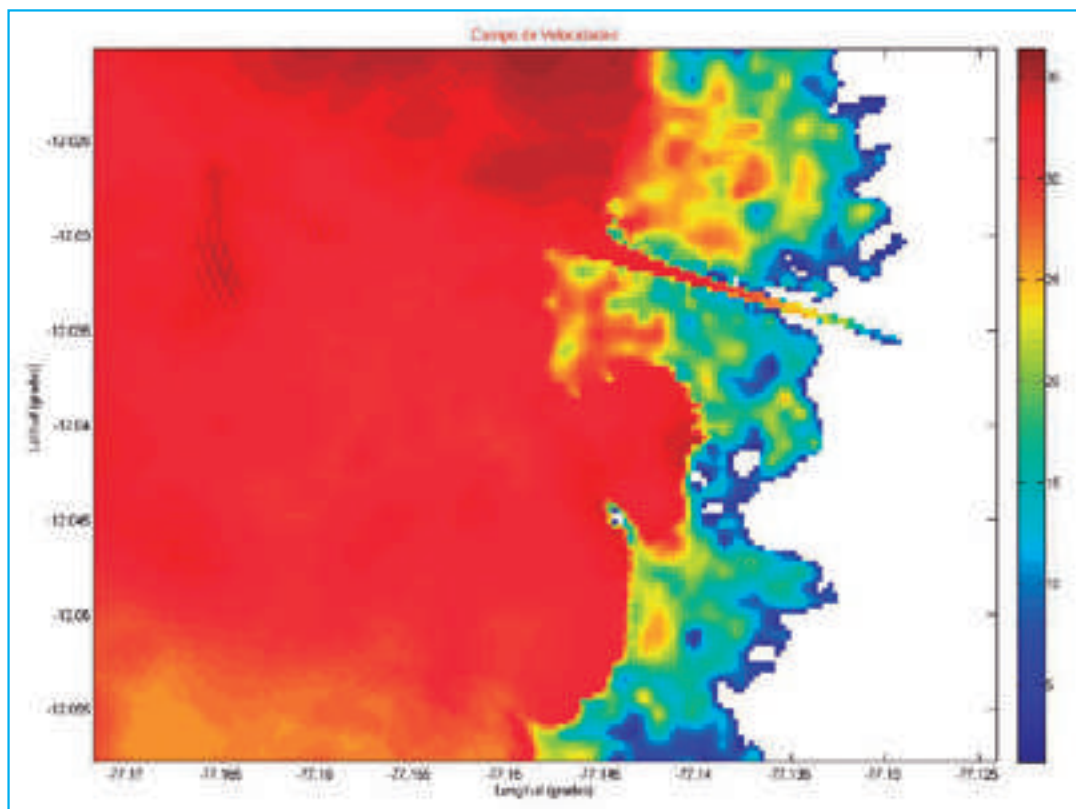


Figura 12. Campo de velocidades con la cual el tsunami avanza en la costa.

## 4. Resultados

Obtenido el mapa de inundación para el Callao a una resolución espacial de 10 m, se observa que el tsunami aprovecha el cauce del río Rímac para avanzar 2 km. Así mismo, se aprecia que el Terminal Portuario del Callao es afectado considerablemente, por lo cual se debe tomar medidas para gestionar el riesgo por Tsunami.

## 5. Conclusiones

Los resultados permiten deducir lo siguiente:

La provincia constitucional del Callao está asentada en una zona altamente vulnerable ante la ocurrencia de un tsunami.

La máxima altura de la ola en la línea de costa para la zona del Callao (Chuchito y La Punta) es de alrededor de los 6 y 8 m respectivamente (para el escenario sísmico más probable de 8,5 Mw).

La presencia de la desembocadura del río Rímac y el Terminal Portuario del Callao han afectado la configuración batimétrica del área de estudio, por lo cual, se incrementó la altura de ola, y en el caso del río Rímac, la baja pendiente que éste presenta, favorece el ingreso de las olas del tsunami e inunda 2 km a lo largo de su cauce.

## 6. Recomendaciones

Las autoridades correspondientes deben elaborar planes para mitigación de un desastre en el caso de un tsunami que afecte la costa del Callao. La población costera debe informarse para estar prevenida ante la ocurrencia de estos eventos.

## 7. Agradecimientos

Al Instituto Geofísico del Perú por brindarme las facilidades para desarrollar mi tema de tesis.

Al Dr. Hernando Tavera por estar a cargo de mi capacitación en el Instituto Geofísico del Perú.

Al todo el personal del Área de Sismología, quienes han tenido mucho que ver con el desarrollo de la presente tesis.

## 8. Bibliografía

Okal, E., Dengler, L. (2002). Field Survey of the Camaná, Perú tsunami of 23 June 2001. *Seismological Research Letters*, vol. 73, number 6, p. 907-920.

Papazachos, B., (2004). Global relations between seismic fault parameters and moment magnitude

of earthquakes. *Bulletin of the Geological Society of Greece* vol. XXXVI, p. 1482-1489.

Talandier J., (1993). French Polynesia Tsunami Warning Center (CPPT). *Natural Hazards and Earth System Sciences* 7, p. 237-256.

Carpio, J., Tavera, H. (2002). Estructura de un catálogo de tsunamis para el Perú basado en el catálogo de Gusiakov. *Boletín de la sociedad geológica del Perú* v. 94.

Jiménez, C., Ortega, E. (2008). Cálculo de la inundación del maremoto del Callao de 1746. *Revista de Investigación de Física*, vol. 11, Nº 1, p. 20-26

Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú. *Tsunamis*. Revista de tsunamis., v. (2010).

Fumihiko Imamura. (1995). *Tsunami modelling manual*. School of Civil Engineering, Asian Inst. Tech. (1993-1995) and Disaster Control Research Center, Tohoku University., Sendai, Japan.

Instituto Geofísico del Perú. (2002). El terremoto de la región sur de Perú del 23 de junio de 2001. Publicación de la Dirección de Sismología – CNDG.

Instituto Geofísico del Perú (2008). El terremoto de Pisco (Perú) del 15 de agosto de 2007. Publicación de la Dirección de Sismología – CNDG.

# LA LAGUNA AZUL Y SU INFLUENCIA EN LA OCURRENCIA DE MOVIMIENTOS EN MASA QUE AFECTAN LA SEGURIDAD FISICA DE LOS POBLADOS DE LA LAGUNA, BARRIO CHINO Y LAS CATAHUAS, REGIÓN CAJAMARCA

## LA LAGUNA AZUL AND ITS INFLUENCE ON THE OCCURRENCE OF MASS MOVEMENT AFFECTING PHYSICAL SECURITY OF THE LA LAGUNA, BARRIO CHINO AND LAS CATAHUAS VILLAGES, CAJAMARCA REGIÓN

ABRAHAM GAMONAL SÁNCHEZ

Universidad Nacional de Cajamarca  
Facultad de Ingeniería  
agasa\_15@hotmail.com

Asesor: Ing. Juan Carlos Gómez Ávalos  
Área de Geodesia Espacial y Peligro Geofísico

## Resumen

La Laguna Azul, es un cuerpo de agua de 500m de largo y 300m de ancho respectivamente, y los poblados de La Laguna, Barrio Chino y Las Catahuas, se asientan en la ladera Este del cerro La Laguna, en el distrito de Huarango, provincia de San Ignacio, Región Cajamarca, cuyo substrato rocoso está compuesto por rocas sedimentarias de naturaleza calco-lutácea de edad Cretácica. Esta zona es de clima tropical, donde se han reportado varios movimientos sísmicos en los últimos años. En esta ladera ocurren movimientos en masa (deslizamientos y reptación de suelos), los cuales se distribuyen de forma no aleatoria a lo largo de toda la ladera, siendo recurrentes en época lluviosa cada año, afectando la seguridad física de los habitantes de la zona. En la parte media de la ladera, se ubica la laguna Azul, cuyo origen se infiere producto de procesos kársticos que incluye disolución de rocas calcáreas. Evidencias de estos procesos son concreciones de óxidos de hierro encontrados en el borde sur este de la laguna (dique natural). Por tal motivo, la laguna Azul ejerce un control hidrológico e hidrogeológico que junto a las condiciones litológicas del terreno predisponen la ocurrencia de movimientos en masa, convirtiendo en zonas vulnerables ante estos eventos a los poblados de La Laguna, Barrio Chino y Las Catahuas, este último calificado como área de vulnerabilidad alta por ubicarse en la parte baja de la ladera.

**Palabras clave:** Movimientos en masa, Laguna Azul, erosión kárstica, concreciones.

## Abstract

*La Laguna Azul, body of water across 500x300 m respectively, and the villages of La Laguna, Barrio Chino and Las Catahuas; settle on the eastern slope of Mount La Laguna, Huarango district, in the province of San Ignacio, Cajamarca Region, bedrock which consists of sedimentary rocks of calcareous-clay nature of Cretaceous age. This area is de tropical climate where there have been several earthquakes in recent years. In this hillside mass movement occur (landslides and soil creep), which are distributed non-randomly along the entire slope, with recurring each year during the rainy season, affecting the physical security of the inhabitants of the area. In the middle of the slope, lies the Laguna Azul, whose origin is inferred product of karst processes including dissolution of limestone. Evidence of these processes are iron oxide concretions found the SE edge of the Laguna Azul (natural dam). For this Laguna Azul has control hydrological and hydrogeological conditions with terrain lithological predispose the occurrence of mass movements, becoming areas vulnerable to these events to the villages of La Laguna, Barrio Chino and Las Catahuas, latter classified as high vulnerability area to be located lower on the slope.*

**Keywords:** Mass Movement, Laguna Azul, karst processes, concretions.

Gamonal, A. y Gómez, J. (2013). La Laguna Azul y su influencia en la ocurrencia de movimientos en masa que afectan la seguridad física de los poblados de La Laguna, Barrio Chino y Las Catahuas, Región Cajamarca. Compendio de trabajos de investigación realizado por estudiantes durante el año 2012, Vol. 14, IGP, Lima, Perú.



## 1. Introducción

Los movimientos en masa (MM), constituyen una de las causas más frecuentes de pérdidas humanas y económicas alrededor del mundo (Schuster, 1996; Sidle & Ochiai, 2006). Para que estos eventos ocurran se consideran dos factores, que son los agentes condicionantes o determinantes y los detonantes o disparadores, en los primeros son considerados la topografía, litología, geomorfología y pendientes, etc. Comúnmente la precipitación pluvial o un sismo son considerados como los agentes detonantes capaces de desencadenar un MM, al igual que la acción del hombre pero en menor medida y frecuencia.

El Perú forma parte de la región sísmica más activa del mundo debido a que se encuentra ubicado dentro del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, donde se libera más del 80% de la energía sísmica a nivel mundial. En el Perú la actividad sísmica está directamente asociada al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana (Tavera & Buforn, 2001)

Las regiones cercanas a la línea ecuatorial, que conforman los trópicos, presentan precipitaciones pluviales constantes e intensas en gran parte del año.

## 2. Metodología

El desarrollo de la investigación ha conllevado a realizar las siguientes actividades:

- Reconocimiento del área de estudio y el inventario de deslizamientos ocurridos en el área, esta información es levantada en un mapa topográfico a escala 1:5000, lo que ha permitido sistematizar la información en una base de datos que será trabajada en un Sistema de Información Geográfica (SIG).
- Fotointerpretación de la fotografía aérea N° 222-72, vuelo 1291 del año 1974, con la finalidad de reconocer rasgos estructurales, litológicos y geomorfológicos.
- Exploración del subsuelo, por medio de la excavación de calicatas de 1x1 m de ancho y largo, y una profundidad de 3 m, éstas se localizan en la parte frontal de La Laguna Azul (borde SE), de la cual se recolectó una muestra del material para ensayos geotécnicos.
- Ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos, las muestras recolectadas fueron sometidas a los ensayos de granulometría, límites de Atterberg y corte directo, los dos primeros para determinar el tipo de suelo y el último para determinar los parámetros de resistencia.

## 3. Características generales del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada entre los 580 y 1330 m sobre el nivel del mar, localizada al norte del territorio peruano, en el departamento de Cajamarca, provincia de San Ignacio, distrito de Huarango (Figura 1), y comprende los poblados de La Laguna, Barrio Chino y Las Catahuas.



Figura 1. Mapa político del Perú, el cuadro de color negro indica la ubicación del área de estudio.

### 3.1 Aspectos climáticos

El clima corresponde a semi-tropical lluvioso, con precipitaciones pluviales continuas entre los meses de enero a abril, con precipitaciones anuales que varían entre 1000 y 1500 mm (Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente (RENAMA)-Cajamarca, 2010).



Foto 1. Poblado La Laguna, asentada en la parte alta del cerro del mismo nombre.

### 3.2 Aspectos geomorfológicos

Colinas onduladas y laderas moderadamente empinadas son las unidades geomorfológicas que caracterizan en la zona de estudio, distinguiéndose también terrazas, laderas empinadas y el valle fluvial formado por la quebrada El Porvenir.

El vaso de La Laguna Azul se ubica en una depresión natural en la parte media de la ladera Este del cerro La Laguna (foto 1), es recargada por precipitaciones pluviales en época lluviosa y por infiltración de agua subterránea en época de estiaje. La Laguna Chica (foto 2) se ubica a 650 m al SE de La Laguna Azul, al igual que la primera es recargada por lluvias en época lluviosa y por infiltración de agua desde ésta en época seca.



Foto 2. Vista de La Laguna Chica, ubicada topográficamente debajo de La Laguna Azul.

### 3.3 Aspectos geotécnicos

Se realizaron ensayos geotécnicos de granulometría y límites de Atterberg para clasificar los suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); los suelos que conforman la parte frontal de La Laguna Azul, resultando que son suelos arcillosos (CL) y limosos (ML) con escaso contenido de arena. Así también se realizó el ensayo de corte directo para determinar los parámetros de resistencia de los suelos, los resultados obtenidos de las muestras 4 y 5 se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de resistencia del suelo de las calicatas 4 y 5.

Calicata	Suelo	Cohesión(kg/m <sup>2</sup> )	Θ(°)
4	CL	0,13	12.5°
5	ML	0,01	13.8°

### 4. Aspectos geodinámicos

Los movimientos en masa que han sido reconocidos en campo son: reptación de suelos y deslizamientos.

Los eventos B y C (foto 3), son movimientos lentos del terreno, reptación de suelos, (Figura 2), ubicados en la parte alta de la ladera (parte alta del poblado La Laguna), al NW a 1,2 y 2 km aproximadamente de la laguna Azul, son evidenciados por los árboles de tallo torcido (foto 3) y cercos inclinados.



Foto 3. Tallo de árbol inclinado, ubicado en el camino de ascenso al Oeste del cerro La Laguna.

Como deslizamientos, se han distinguido dos tipos: traslacionales y rotacionales, superficiales (superficie de ruptura < 2 m) y profundos (superficie de ruptura > 2 m). El evento A (figura 3, foto 4), ubicado en la parte alta de la ladera, corresponde a un deslizamiento traslacional, donde la superficie de ruptura coincide con el plano de estratificación del afloramiento de caliza que buza en favor de la pendiente.



Foto 4. Deslizamiento traslacional, obsérvese la separación entre el escarpe principal y el material deslizado.

Deslizamientos superficiales, eventos E (foto 5) y G (figura 3), han sido observados en la parte media de la ladera, al Sur de La Laguna Azul a 0,3 y 1,2 km respectivamente (parte baja del poblado Barrio Chino), producidos en depósitos coluviales arcillo-limosos, estos eventos son recurrentes y se presentan con mayor frecuencia en temporada lluviosa.



Foto 5. Deslizamiento superficial rotacional, producido en material coluvial ubicado en el poblado de Barrio Chino.

Deslizamientos del tipo rotacional, son los eventos F y H, (Figura 3), el primero (foto 6) se localizan la parte media de la ladera (al Sur a 750 aproximadamente de La Laguna Azul) en la parte baja de Barrio Chino, mientras que el segundo se localiza en la cercana a

la ribera de la quebrada El Porvenir (parte baja del poblado Las Catahuas). Ambos deslizamientos se han producido en materiales coluviales, de matriz arcillo-limosa, con escasos clastos angulosos de caliza margosa.

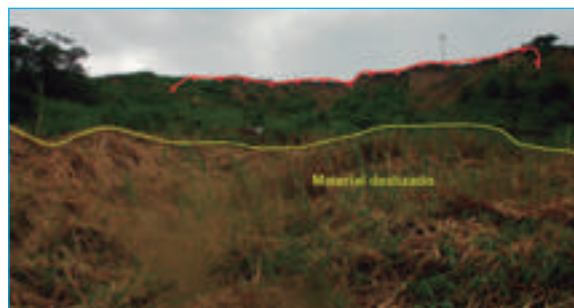


Foto 6. Deslizamiento rotacional, ubicado en el poblado Barrio Chino.

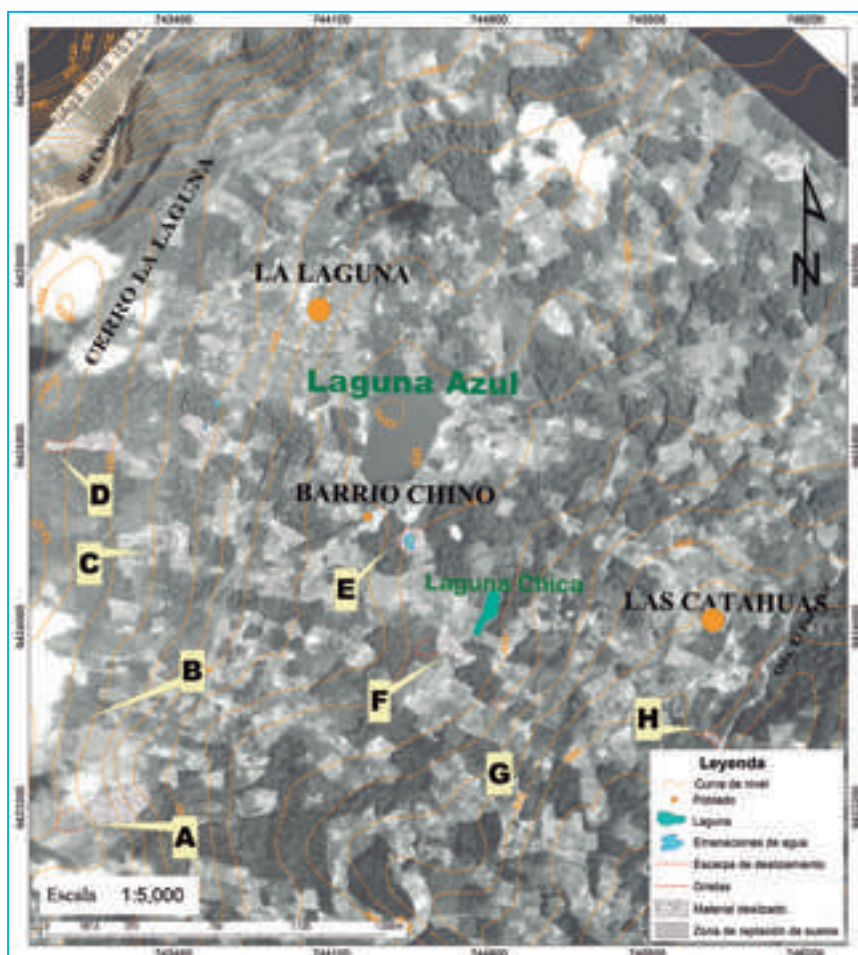


Figura 2. Distribución espacial de los MM cartografiados en campo.

Por otra parte, se han observado agrietamientos a 50 m en el terreno que comprende el borde SE de La Laguna Azul, éstos se forman por la desecación del

material arcilloso saturado (foto 7). Estas permiten la infiltración rápida de agua de lluvia en el terreno, pero solamente hasta niveles someros (1 a 2 m).





Foto 7. La flecha de color rojo muestra una grieta de desecación, de 3 cm de abertura, ubicada en la parte frontal de la laguna Azul.



Foto 8. Terrazas antrópicas, saturadas de agua.

El desarrollo de la agricultura en la ladera (cultivo de arroz, foto 8) afecta la estabilidad del terreno, disminuyendo la resistencia al corte de los materiales, condición favorable para la ocurrencia de deslizamientos.

## 5. Aspectos geológicos

Las formaciones geológicas que afloran en el área de estudio son rocas sedimentarias de edad Cretácica, (figura 3). Estas son la Formación. Chúlec, Grupo Pullucana y Grupo Quilquiñan. La formación Chúlec está conformada por calizas grises y calizas margosas, cuyos afloramientos son observados a 1,4

km al NW de La Laguna Azul. El Grupo Pullucana suprayace a la Formación. Chúlec, está conformada por las formaciones Yumagual y Mujarrum (no se distingue contacto en campo), está conformada por calizas y margas grises siendo los niveles inferiores más arcillosos. El Grupo Quilquiñan, suprayace al Grupo Pullucana, está conformado por lutitas grises y margas amarillentas. Debido a que no se observa en campo, se infiere que sobre el contacto entre los Grupos Pullucana y Quilquiñan, se asienta el vaso de La Laguna Azul. Superficialmente el borde NW de la laguna está delimitada por estratos de margas, que buzanan a favor de la pendiente, del Grupo Pullucana y limitadas en el borde SE por depósitos coluviales, de matriz arcillo-limoso.

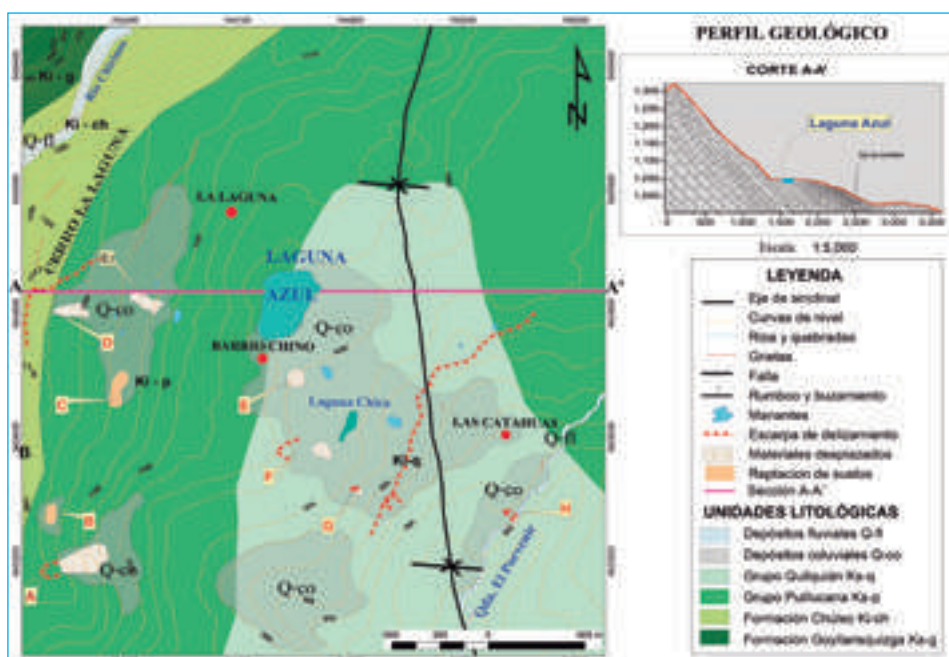


Figura 3. Mapa geológico regional y perfil geológico que muestran las principales formaciones geológicas del área de estudio.

Como se describe en el párrafo anterior, las formaciones geológicas están conformadas en su mayoría por calizas, margas y lutitas, las primeras contienen minerales como calcita y dolomita, minerales solubles por aguas ácidas (karstificación). Este proceso, en ocasiones origina reemplazamiento de espacios dejados por la disolución de rocas carbonatas (generalmente reemplazadas por óxidos), a lo que se denomina "concreción" (foto 9). También los procesos kársticos pueden formar lagos o lagunas, esto se da por subsidencia o colapso del techo de cavernas, debido al flujo constante de aguas subterráneas dentro de la formación rocosa.

Las evidencias en campo de los procesos kársticos son generalmente las geoformas que originan, como dolinas, lenares, uvalas, etc.; en el caso del área de investigación no se observan tales formas. Sin embargo, se ha observado en la margen SE de La Laguna Azul, concreciones de óxidos de hierro.



Foto 9. Las flechas amarillas muestran las concreciones de óxidos de hierro, obsérvese que se ubican al mismo nivel.

Las surgencias de agua que se observan a diferentes niveles de la ladera (foto 10), puede ser debido a la infiltración del agua de lluvia en el terreno que se muestra permeable superficialmente, pero hacia niveles profundos la infiltración es lenta debido al componente arcilloso de la matriz del material, el cual funciona como una capa impermeable. Estas emanaciones pueden ser también, debido al aporte de aguas subterráneas que discurren por los canales formados por un proceso kárstico incipiente.

El principal agente desencadenante de MM, es la precipitación pluvial, gran parte del agua discurre sobre la superficie hacia quebradas y ríos, otra parte se infiltra en el terreno, la velocidad de infiltración depende del tipo de material, siendo lento en suelos con contenido de arcillas. Este proceso, en el caso del área de estudio, puede ser la causa principal de los deslizamientos superficiales.

Los deslizamientos de mayor profundidad, son también originados por el agua, que sobrecarga el material disminuyendo su resistencia al corte; la fuente de agua no es debido a lluvias ya que como

explicamos anteriormente el componente arcilloso no permitiría que el agua llegue hasta niveles profundos. En este caso, se puede formular que la fuente es subterránea, proveniente de los flujos de agua de los canales formados por procesos kársticos, el agua llega a niveles superiores aprovechando el fracturamiento de las rocas, convirtiéndose en una fuente constante de agua en el tiempo.



Foto 10. Mamante de agua, ubicada en la parte alta de la ladera sur este del cerro La Laguna, condición desfavorable para la estabilidad del terreno.

## 6. Resultados

Los deslizamientos superficiales han sido observados en la parte media y baja de la ladera sur este del cerro La Laguna, donde la litología está conformada por gruesos depósitos coluviales, mientras que en la parte alta de la ladera no hay evidencia de estos eventos.

Deslizamientos del tipo traslacional se presentan en afloramientos rocosos de caliza y marga, mientras que los deslizamientos rotacionales ocurren en materiales coluviales.

Las grietas de desecación observadas en el área de estudio, permiten la infiltración de agua hacia niveles subsuperficiales.

Los suelos del área de estudio según la clasificación del Sistema Internacional de Clasificación de Suelos (SUCS, sigla en inglés) son suelos arcillosos (CL) y limosos (ML).

Los poblados de La Laguna y Barrio Chino presentan vulnerabilidad media a deslizamientos, mientras que para el poblado Las Catahuas la vulnerabilidad es alta, debido a que ésta se encuentra en la parte baja de la ladera.

## 7. Discusión

En el área de estudio la evidencia de procesos

kársticos son las concreciones de óxidos, mas no se han observado otras evidencias como dolinas, lenares, etc., que corroboren el origen kárstico de La Laguna Azul y la aparición de manantes de agua (ambos principales factores que condicionan los movimientos en masa) a diferentes niveles en la ladera. Por tal, se requiere realizar mayores trabajos de campo y geofísica para determinar las características del substrato rocoso, que muestren otras evidencias del proceso kárstico.

## 8. Conclusiones

La presente investigación ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

La Laguna Azul, ejerce un control hidrológico e hidrogeológico para que se produzcan movimientos en masa, debido a que funciona como fuente de agua constante que a su vez satura y sobrecarga el terreno ubicado en la parte media y baja de la ladera sur este del cerro La Laguna.

Los agrietamientos por desecación de los suelos arcillo-limosos, permiten una rápida infiltración de agua de lluvia hacia niveles sub-superficiales, esto satura los materiales, aumentando la sobrecarga y disminuyendo la resistencia al corte del suelo; condición que predispone la ocurrencia de deslizamientos superficiales.

La actividad antrópica, específicamente debido a la mala práctica del regadío por inundación para cultivar arroz, satura y desestabiliza el terreno de la ladera, aumentando la susceptibilidad a que ocurran movimientos en masa.

El déficit de infraestructura de riego apropiada influye en gran medida a la inestabilidad del terreno.

## 9. Recomendaciones

Es necesario implementar una estación pluviométrica para registrar los niveles de precipitación que se producen en la zona, con el fin de contar con una base de datos, para determinar umbrales de precipitación que aunado con las condiciones intrínsecas del terreno podrían desencadenar movimientos en masa.

Se requieren para delimitar el posible plano de deslizamiento profundo, aplicar métodos indirectos, como la geofísica, que permitan determinar en profundidad las características de los materiales.

Proyectar obras de drenaje, como zanjas de coronación en la parte alta de la ladera que permitan evacuar el agua de escorrentía y evitar que se infiltre en el terreno; así también revestir de concreto el canal de regadío que cruza por debajo de La Laguna Azul.

Finalmente, se recomienda cambiar la técnica de regadío (inundación) de los cultivos de arroz en la ladera, por otro que optimice el uso del agua.

## 10. Agradecimientos

Mi agradecimiento al Instituto Geofísico del Perú, por haberme permitido realizar los primeros pasos profesionales, con la realización de esta investigación, bajo el asesoramiento del Mg. Juan Carlos Gómez Ávalos, a quien le expreso mi gratitud.

## 11. Bibliografía

Aristizábal, E., Martínez, H. & Vélez, J. (2010). Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonadas por lluvias. Rev. Acad. Colombia. Cienc: Volúmen XXXIV N° 131. 209-227.

Braja, M. (1999). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. International Thomson Editores. México.

De la Cruz, W. (1995). Geología de los cuadrángulos del Río Santa Águeda, San Ignacio y Aramango, INGEMMET, serie A, Boletín N° 57.

Alexander, D. E. (2008). A brief survey of GIS in mass-movement studies, with reflections on theory and methods. Geomorphology, 94(3), 261-267.

Jiang, H., Wang, B., Inyang, H. I., Liu, J., Gu, K., & Shi, B. (2012). Role of expansive soil and topography on slope failure and its countermeasures, Yun County, China. Engineering Geology.

Suarez, J. (2001). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.

Tavera, H. & Buforn, E. (2001). Source Mechanism of Earthquakes in Perú. Journal of Seismology 5:519-539.

Gobierno Regional Cajamarca (GRC). (2010) Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente (RENAMA).

# ESCENARIOS DE GESTIÓN DE RIESGO DEL DISTRITO DE PUNTA NEGRA

## RISK MANAGEMENT SCENARIOS OF PUNTA NEGRA DISTRICT

LUZ MARINA OJEDA PAREDES

---

Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Escuela Académica Profesional de Ingeniería Geográfica  
lmop\_1618@gmail.com

---

Asesor: Dr. Hernando Tavera  
Área de Sismología

### Resumen

Para la evaluación de escenarios de riesgo en el distrito de Punta Negra se plantea en primer lugar evaluar la vulnerabilidad del distrito; así como identificar los peligros naturales y antrópicos. La información utilizada proviene del trabajo de campo a fin de identificar aspectos físicos de las viviendas, características socio ambientales y encuestas a pobladores. Como resultado, con la información se generó una base de datos que será correlacionado con el mapa de zonificación sísmica-geotécnica, a fin de determinar los niveles de vulnerabilidad del distrito de Punta Negra ante la posible ocurrencia de un sismo.

**Palabras clave:** Escenarios de riesgo, vulnerabilidad, características socio ambientales, peligros.

### Abstract

*For the assessment of risk scenarios in the district of Punta Negra arises first assess the vulnerability of the district; and identify natural and human hazards. The information used comes from fieldwork to identify physical aspects of housing, environmental and socio settlers surveys. As a result, the information generated a database that will be correlated with the seismic zoning map, geotechnical, to determine the levels of vulnerability of the district of Punta Negra on the possible occurrence of an earthquake.*

**Keywords:** Risk scenarios, vulnerability, environmental socio characteristics, hazards.



## 1. Introducción

Nuestro país se encuentra ubicado dentro del denominado "Cinturón de Fuego del Pacífico" y casi al borde del encuentro de dos placas tectónicas, la Sudamericana y la de Nazca, en donde se produce el efecto de subducción, que ha provocado un gran número de sismos de gran poder destructivo en la parte occidental de nuestro territorio. Por otro lado, se producen sismos locales y regionales que tienen su origen en la existencia de fallas geológicas locales, estos movimientos telúricos son de menor magnitud, pero al producirse muy cerca de la superficie y la alta vulnerabilidad física, tienen un gran poder destructor (INDECI, 2010).

Ante la ocurrencia de un desastre existe un mayor riesgo si no hay estudios técnicos que permitan afrontar los daños físicos, sociales, económicos, ambientales, institucionales y culturales a los que la población se encuentra expuesta.

Si se hace referencia a los asentamientos humanos ubicados al borde de las zonas costeras el riesgo es mayor si se manifiesta un maremoto. Los maremotos son ondas marinas producidas por un desplazamiento vertical del fondo marino como resultado de un terremoto superficial, por una

actividad volcánica o por el desplazamiento de grandes volúmenes de material de la corteza en las pendientes de la fosa marina. Así, como fase final de un maremoto cuando llega a la costa, a un puerto se le denomina "tsunami", es un término japonés ("Tsu" significa "puerto" y "nami" "ola") (INDECI, 2006).

Debido a la ocupación territorial sin un plan de ordenamiento territorial, el riesgo sísmico al que estaría expuesto Lima es mayor; por lo tanto, la medida adecuada para evitar daños sobre las vidas humanas es realizar estudios de gestión de riesgo que minimicen los daños.

En este estudio se ha realizado la evaluación del riesgo sísmico en el distrito de Punta Negra, ubicada a 38 km al SO del centro de Lima. El Distrito tiene una extensión de 130,5 km<sup>2</sup> y limita por el norte con el distrito de Punta Hermosa, al este con la provincia de Huarochirí, al sur con el distrito de San Bartolo y al oeste con el océano Pacífico (Figura 1).

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2007), el Distrito tiene una población cercana a los 4473; además cuenta con gran diversidad de tipos de viviendas (concreto, mampostería, madera, estera, etc.) lo cual la hace de alto riesgo.



Figura 1. Mapa de ubicación y límites del Distrito de Punta Negra.



## 2. Objetivos

Proponer escenarios de riesgo sísmico para el distrito de Punta Negra a partir de la evaluación de la vulnerabilidad estructural, el mapa de zonificación sísmica-geotécnica e identificación de peligros naturales y antrópicos. Se pretende identificar las zonas de mayor vulnerabilidad con la finalidad de aportar a las autoridades y población con información relevante para la gestión de riesgo.

## 3. Marco Conceptual

A continuación las definiciones del Instituto Nacional de Defensa Civil. (INDECI, 2006).

### 3.1 Desastres

Es una interrupción severa del funcionamiento de una comunidad causada por un peligro, de origen natural o inducido por la actividad del hombre, ocasionando pérdidas de vidas humanas, considerables pérdidas de bienes materiales, daños a los medios de producción, al ambiente y a los bienes culturales. La comunidad afectada no puede dar una respuesta adecuada con sus propios medios a los efectos del desastre, siendo necesaria la ayuda externa ya sea a nivel nacional y/o internacional.

### 3.2 Gestión del riesgo de desastres

Es el conjunto de conocimientos, medidas, acciones y procedimientos que, conjuntamente con el uso racional de recursos humanos y materiales, se orientan hacia la planificación de programas y actividades para evitar o reducir los efectos de los desastres. La Gestión de Desastres, sinónimo de la Prevención y Atención de Desastres, proporciona además todos los pasos necesarios que permitan a la población afectada recuperar su nivel de funcionamiento, después un impacto.

### 3.3 Estimación del riesgo

La Estimación del Riesgo en Defensa Civil, es el conjunto de acciones y procedimientos que se realizan en un determinado centro poblado o área geográfica, a fin de levantar información sobre la identificación de los peligros naturales y/o tecnológicos y el análisis de las condiciones de vulnerabilidad, para determinar o calcular el riesgo esperado (probabilidades de daños:

pérdidas de vida e infraestructura).

En tal sentido, sólo se puede hablar de riesgo (R) cuando el correspondiente escenario se ha evaluado en función del peligro (P) y la vulnerabilidad (V), que puede expresarse en forma probabilística, a través de la fórmula siguiente:

$$R=P \times V$$

#### Peligro

El peligro, es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por la actividad del hombre, potencialmente dañino, de una magnitud dada, en una zona o localidad conocida, que puede afectar un área poblada, infraestructura física y/o el medio ambiente.

#### Vulnerabilidad

Es el grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o entrópico de una magnitud dada. Es la facilidad como un elemento (infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta y desarrollo político institucional, entre otros), pueda sufrir daños humanos y materiales. Se expresa en términos de probabilidad, en porcentaje de 0 a 100.

## 4. Datos

El mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica es resultado del estudio realizado por el IGP (Tavera et al, 2010).

El mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica (ver Anexo I), se obtuvo como resultado de la evaluación del comportamiento dinámico del suelo y evaluación geotécnica, de esta manera se identificaron tres zonas.

#### Zona I

Esta zona está conformada por afloramientos rocosos conformados de calizas y rocas clásticas e intercaladas con derrames volcánicos, depósitos coluvial-aluvial en los pies de las laderas hasta niveles superficiales, cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento rígido con periodos de vibración natural determinados por las mediciones de vibración ambiental que varían entre 0,1 y 0,2 s. En esta zona se identifica la presencia de tres áreas donde se concentran periodos de 0,2 s, lo que refleja la irregularidad de estos suelos.

## Zona II

Esta zona considera áreas de depósitos fluvio-aluvial con potencias que varían entre 3,0 y 10,0 m. Los periodos dominantes del terreno determinados por las mediciones de vibración ambiental en esta zona varían entre 0,3 y 0,5 s. El 70% del Distrito se encuentra en esta zona. Los periodos predominantes tienden a incrementarse conforme tienden hacia su extremo Sur, lo que indica que estos estratos aumentan progresivamente su potencia.

De acuerdo a los resultados de geotécnica, se clasifica a esta zona como de regular resistencia al corte y falla.

## Zona III

Esta zona está conformada por depósitos marino-aluvial. Los periodos predominantes encontrados en estos suelos varían entre 0,5 y 0,6 s. Esta zona se localiza en el extremo sur del Distrito con predominio de periodos de vibración natural de 0,6s.

## 5. Metodología

Para la evaluación de riesgo sísmico en el distrito de Punta Negra se ha tomado en cuenta principalmente lo observado en campo y el testimonio de los pobladores. También se ha utilizado la información producto del estudio de Zonificación Sísmica- Geotécnica realizado por el Instituto Geofísico de Perú (Tavera et. al 2010).

La metodología aplicada se resume en los siguientes pasos:

### Trabajo de campo

Para obtener información física y caracterizar aspectos socioeconómicos se realizó el trabajo de campo por un periodo de dos meses (octubre-noviembre del 2012). La información fue recopilada en una ficha técnica (ver Anexo II), la misma que contenía información de tipo catastral. Los datos recopilados caracterizaban aspectos físicos de las viviendas como: tipo de uso, estado, número de pisos, antigüedad, tipo de vivienda, material estructural, sistema estructural, tipo de techo, tipo de alero, pendiente y tipo de suelo. A manera de encuesta se realizaron unas preguntas para saber si la población se encuentra preparada en caso de ocurrencia de un sismo, también el número de habitantes por vivienda y los servicios básicos con los que cuentan.

### Generación de la base de datos

Las fichas técnicas recopiladas fueron registradas en Microsoft Excel, debido a la gran cantidad de lotes registrados. Posteriormente fueron exportados

al Software ArcGIS 10,0 a fin de superponer la caracterización física de las viviendas sobre el plano catastral del distrito de Punta Negra. (Ver Anexo III).

## 6. Identificación de peligros y evaluación de vulnerabilidades

En las observaciones de campo se han identificado posibles peligros naturales; además de algunas características físicas en las viviendas que podrían ser vulnerables ante la ocurrencia de un sismo, el cual causaría desastres.

### Identificación de peligros

#### a. Tsunamis

Por evidencias históricas, una buena parte de los epicentros de los sismos ocurren en el mar, por lo cual la posibilidad de ocurrencia de un maremoto (o tsunami) es alta. La fosa marina se encuentra a una distancia de alrededor de 150 km de la línea de costa.

La probabilidad de que ocurra un tsunami en el distrito de Punta Negra es mayor por su cercanía al océano Pacífico.

#### b. Deslizamientos

Los deslizamientos de tierra se producen por la erosión del suelo o filtraciones de agua (INDECI, 2006). La pendiente y la composición del suelo contribuyen a la acción del deslizamiento.

En el distrito de Punta Negra se ha identificado el A.H. Villa Mercedes, asentada sobre pendiente alta y en la parte baja, se ubica la urbanización La Merced. Esta última, queda expuesta a un deslizamiento de arena por la pendiente y por no existir muros que puedan impedir el daño (Figura 2).



Figura 2. Parte alta A.H. Villa Mercedes, parte baja la urbanización La Merced.

## Identificación de vulnerabilidades

### a. Vulnerabilidad de las viviendas por su ubicación

Las viviendas ubicadas frente al malecón presentan pendiente baja, sobre todo en la zona norte y centro del distrito; por su ubicación las viviendas se encuentran expuestas por lo tanto son vulnerables a sufrir daños ante la ocurrencia de un tsunami (Figura 3).



Figura 3. Malecón de Punta Negra zona norte.

Las viviendas construidas sobre pendiente fuerte con más de tres pisos son vulnerables por la inestabilidad del suelo. En la fotografía de abajo (Figura 4) se observa una vivienda de 5 pisos construida sobre pendiente muy fuerte ubicada en la asociación de vivienda Costa Azul zona A.



Figura 4. Vivienda de 5 pisos ubicada en pendiente muy fuerte (50% de pendiente).

### b. Vulnerabilidad de las viviendas por antigüedad y material de construcción

En el distrito de Punta Negra se han identificado que las zona norte, centro y sur del malecón la constituyen viviendas con más de 45 años

de antigüedad, la mayoría afectadas por la humedad (Figura 5 y 6). Por testimonios de los pobladores, la base se encuentra asentada a 1 metro de profundidad; sin embargo, el deterioro, producto de la salinidad podría causar daños en su estructura lo cual la debilita.



Figura 5. Vivienda ubicada en el malecón de Punta Negra zona norte.



Figura 6. Vivienda ubicada en Punta Negra zona centro.

En la asociación de vivienda Costa Azul, La Merced y A.H. Villa Mercedes se encuentran viviendas ocupadas hace 10 a 25 años, mostrando gran precariedad (construcciones de estera y madera), lo que las hace más vulnerables (Figura 7 y 8).



Figura 7. Vivienda de madera ubicada en la Asoc. de Viv. Costa Azul zona A.



Figura 8. Vivienda ubicada en el A.H. Villa Mercedes.

**c. Vulnerabilidad social**

El distrito de Punta Negra no cuenta con instalaciones de agua y desagüe. Ante un posible desastre los pobladores se verían afectados seriamente porque se encontrarían expuestos a focos infecciosos (Figura 9).



Figura 9. Malas instalaciones de desagüe en la urbanización La Merced.

## 7. Resultados del trabajo de campo

En el distrito de Punta Negra se identificaron 3468 viviendas registradas en la base de datos con la caracterización física tomadas en el trabajo de campo, además 649 terrenos sin construcción y en otros usos, 340 áreas en los que se encuentran lozas deportivas, parques, plazas, propiedad privada y otros.

A continuación los resultados obtenidos del trabajo de campo:

**Estado de las viviendas**

Se clasificó en mal estado aquellas viviendas deterioradas por el tiempo y por su ubicación cercana al borde del litoral, además de encontrarse afectadas por la humedad; así se encontró un 14,71 % en mal estado. El 65,14% de las viviendas se encuentran en estado regular, éstas se caracterizaron por no

presentar rajaduras en su estructura y en algunos casos estar afectadas levemente por la humedad y el 20,16 % se encontró en buen estado, caracterizadas por ser viviendas recientes, ver Figura 10).

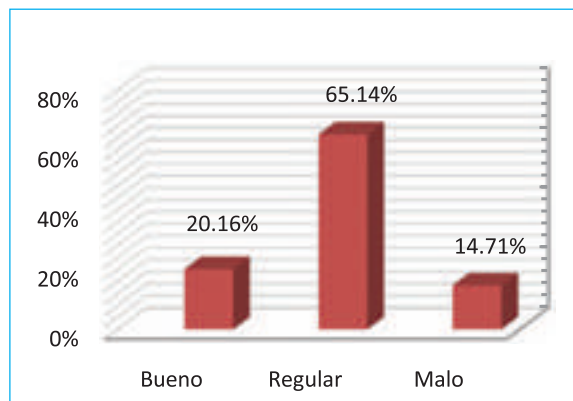


Figura 10. Porcentaje de las viviendas según su estado de conservación.

**a. Tipo de uso**

EL 72,72% de las construcciones son usadas como viviendas. Son pocos los pobladores que habitan durante la temporada de invierno; así el comercio es escaso durante estas fechas. Los hospedajes se encuentran en mantenimiento y solo se encuentra un mercado ubicado en la zona central del distrito. Las viviendas deshabitadas son el 14.94%, estas son aquellas viviendas que se encuentran deterioradas, en algunos casos abandonadas por sus dueños. El 7.12% son viviendas tipo depósito, éstas son lotes amplios, algunos sin techo completo, ver Figura 11.

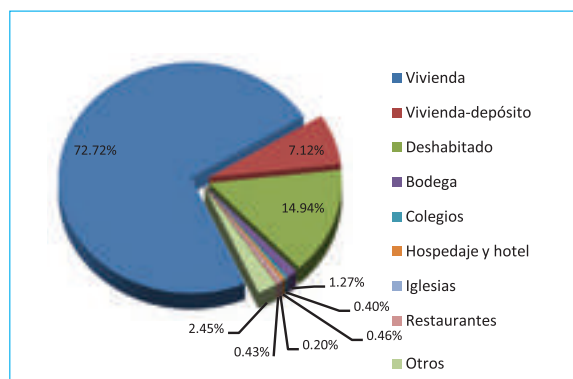


Figura 11. Porcentaje de las viviendas según su tipo de uso.

**b. Número de pisos**

El 76.79% de las viviendas en el Distrito de Punta Negra presentan 1 nivel, las viviendas de tres pisos o más son usados como hospedaje, ver Figura 12.



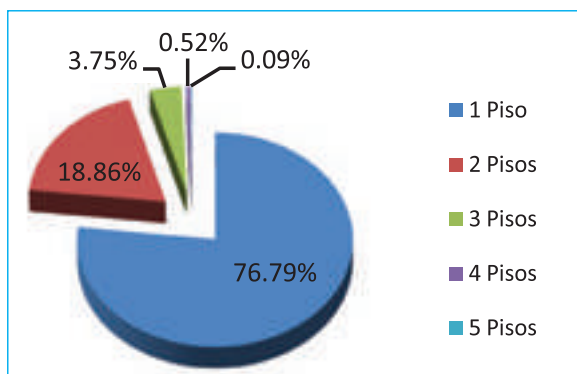


Figura 12. Porcentaje de las viviendas según su número de pisos.

**c. Antigüedad**

Los resultados estadísticos muestran que las viviendas de más de 45 años (representada por el 14.50%) de antigüedad se encuentran a lo largo de Punta Negra zona norte y centro. Según testimonios de los propietarios fueron estas zonas las primeras en poblarse. Las viviendas más recientes (representadas por el 20.91%) se encuentran entre la nueva y antigua autopista Panamericana Sur, ver Figura 13.

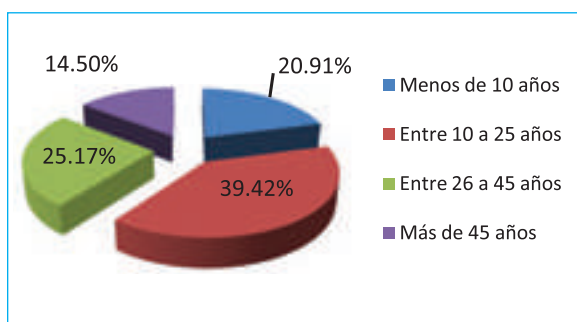


Figura 13. Porcentaje de las viviendas según su antigüedad.

**d. Tipo de vivienda**

Sobre el tipo de vivienda, las de uno y dos niveles son de tipo unifamiliar; mientras que los edificios multifamiliares presentan dos niveles o más, en otros usos corresponde a viviendas-depósito, comercio (bodegas, restaurantes, etc.), instituciones públicas y privadas (colegios y hospitales), ver Figura 14.

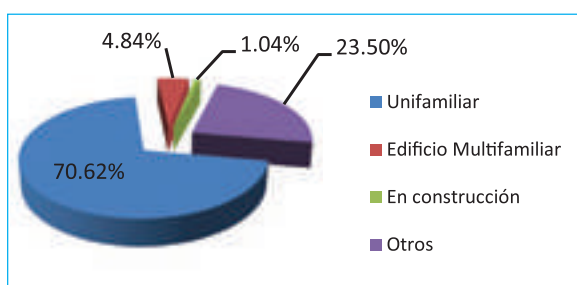


Figura 14. Porcentaje de las viviendas según su tipo.

**e. Material estructural**

En el distrito de Punta Negra las viviendas construidas con ladrillo y cemento son albañilería confinada, se ha encontrado la mayoría de este tipo de construcción sobretodo en las edificaciones de más de 2 pisos. Las construcciones de mampostería corresponden a las viviendas más antiguas, se encuentran en la zona norte, centro y sur del distrito, ver Figura 15.

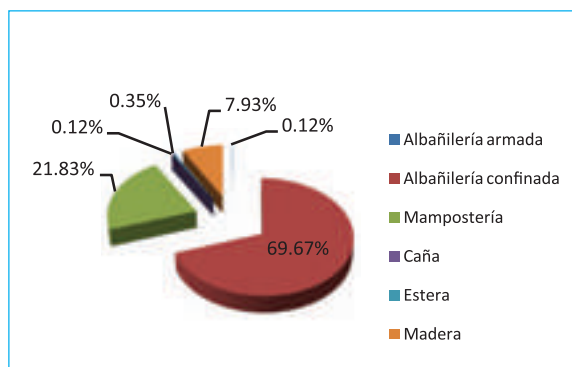


Figura 15. Porcentaje de las viviendas según su material estructural

**f. Sistema estructural**

En el distrito de Punta Negra la mayoría de las viviendas presentan columnas; mientras que las viviendas con vigas y columnas resulta ser las de reciente construcción, ver Figura 16.

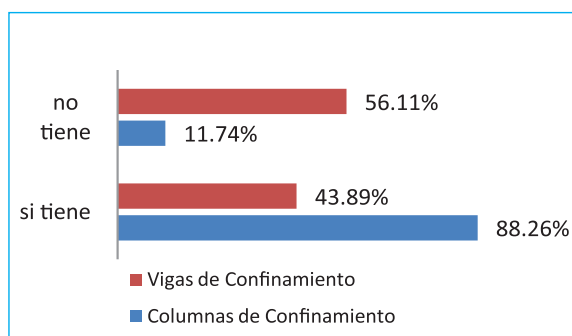


Figura 16. Porcentaje de las viviendas según su sistema estructural

**g. Tipo de techo**

En el distrito de Punta Negra, las viviendas con techo tipo torta son las más antiguas, además de las de concreto armado. Las viviendas con techo de material precario (madera, estera, calamina y otros) se encuentran entre la nueva y antigua autopista Panamericana Sur, ver Figura 17.

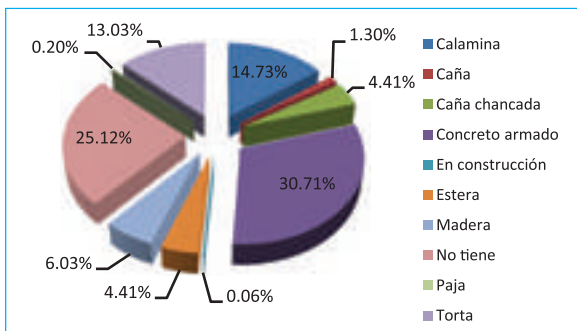


Figura 17. Porcentaje de las viviendas según su tipo de techo

### h. Tipo de alero

Se observó en el distrito de Punta Negra que la mayoría de las viviendas no tienen alero; un porcentaje menor presentan alero de concreto. Además se observó que las viviendas más antiguas no presentan alero; son las viviendas más recientes y las de más de 2 pisos las que tienen alero de concreto, ver Figura 18.

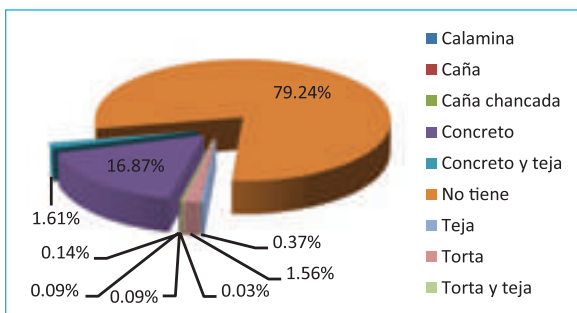


Figura 18. Porcentaje de las viviendas según su tipo de alero

### i. Pendiente

En el caso de las viviendas ubicadas en zonas pendiente fuerte y muy fuerte se encuentran en las zonas de Santa Rosa Alta, A.H. Villa Mercedes, A.H. Villa Mercedes- Las Lomas y Costa Azul, tal como se ve en la Figura 19.

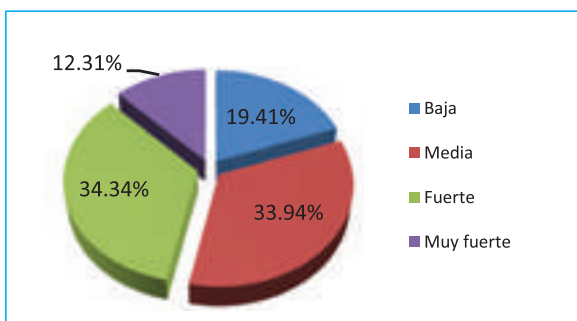


Figura 19. Porcentaje de las viviendas según su ubicación sobre el tipo de pendiente

### j. Tipo de suelo

Según lo observado en campo en el distrito de Punta Negra, el tipo de suelo sobre el que se asientan todas las viviendas del distrito es arena. El porcentaje menor para viviendas asentadas sobre roca corresponde en el mapa de suelos a áreas con afloramiento rocoso, ver Figura 20.

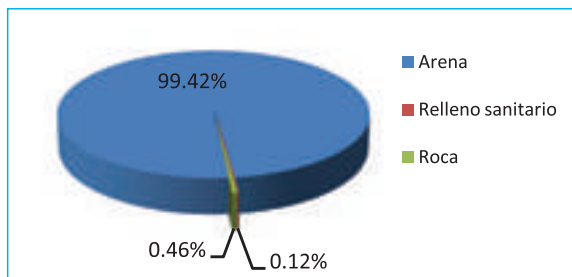


Figura 20 : porcentaje de las viviendas según su ubicación sobre el tipo de suelo

## 8. Conclusiones

El trabajo de campo permitió identificar en el distrito de Punta Negra la presencia de peligros de origen entrópico. Por ejemplo la ubicación de un grifo en la asociación Costa Azul.

Las características físicas de las viviendas y el mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para el distrito de Punta Negra permitirán determinar los niveles de vulnerabilidad que presentaría el distrito de Punta Negra; de esta manera proponer escenarios de riesgos, evaluando los peligros identificados en la zona.

Identificados los niveles de vulnerabilidad en el distrito de Punta Negra, se pretende mitigar los peligros a los que estaría expuesto, para esto se pretende localizar aquellas zonas que requieren de señalizaciones y evacuación adecuadas para salvaguardar la seguridad de los pobladores.

## 9. Bibliografía

Tavera, et al., (2010). Zonificación Sísmico-Geotécnica para Siete Distritos de Lima Metropolitana (Comportamiento Dinámico del Suelo). Proyecto SIRAD (Sistema de Información sobre Recursos para la Atención de Desastres). Lima -Perú. Págs. 28-45.

Ochoa, A. (2012). Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica para la Determinación de Escenarios de Riesgo en el Balneario de Pucusana. Tesis para optar el título de la de Universidad

Nacional Mayor de San Marcos, Lima -Perú. Págs. 1-6.

INDECI (2010). Plan de prevención por sismo 2010 - distrito de Lurigancho Chosica". Estudio para determinar el nivel de vulnerabilidad física ante la probable ocurrencia de un sismo de gran magnitud. Lima- Perú. Pág. 3.

INDECI (2006). Manual básico para la estimación del riesgo. Unidad de estudios y evaluación de riesgos. Lima -Perú. Págs. 11-18.

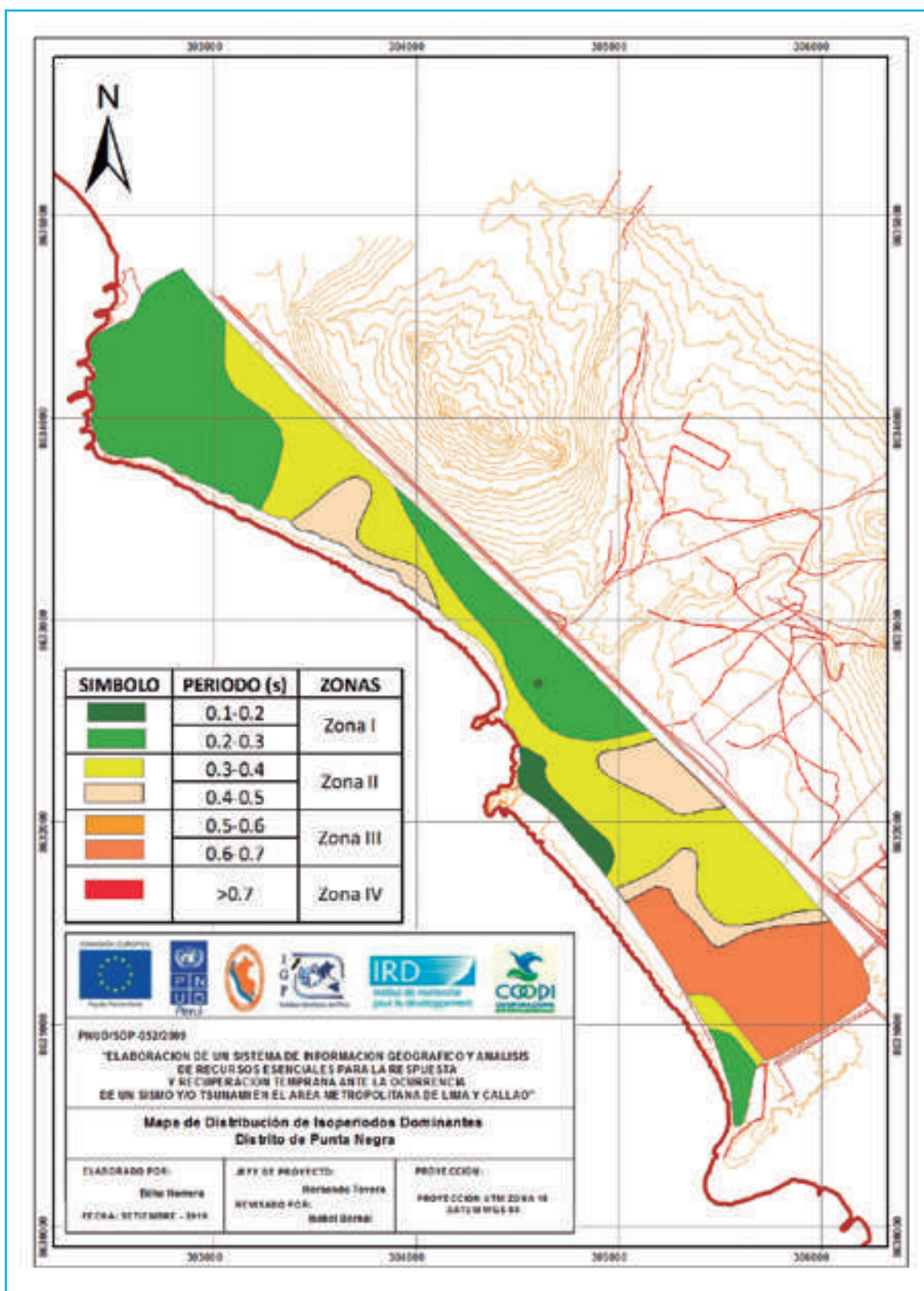
## 10. Anexos

Anexo I. Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica del distrito de Punta Negra (Tavera et. al 2010).

Anexo II. Ficha técnica del trabajo de campo.



Anexo III. Plano catastral del distrito de Punta Negra (Municipalidad distrital de Punta Negra) y el registro de la caracterización física de lotes, generado en la base de datos.

## ANEXO I

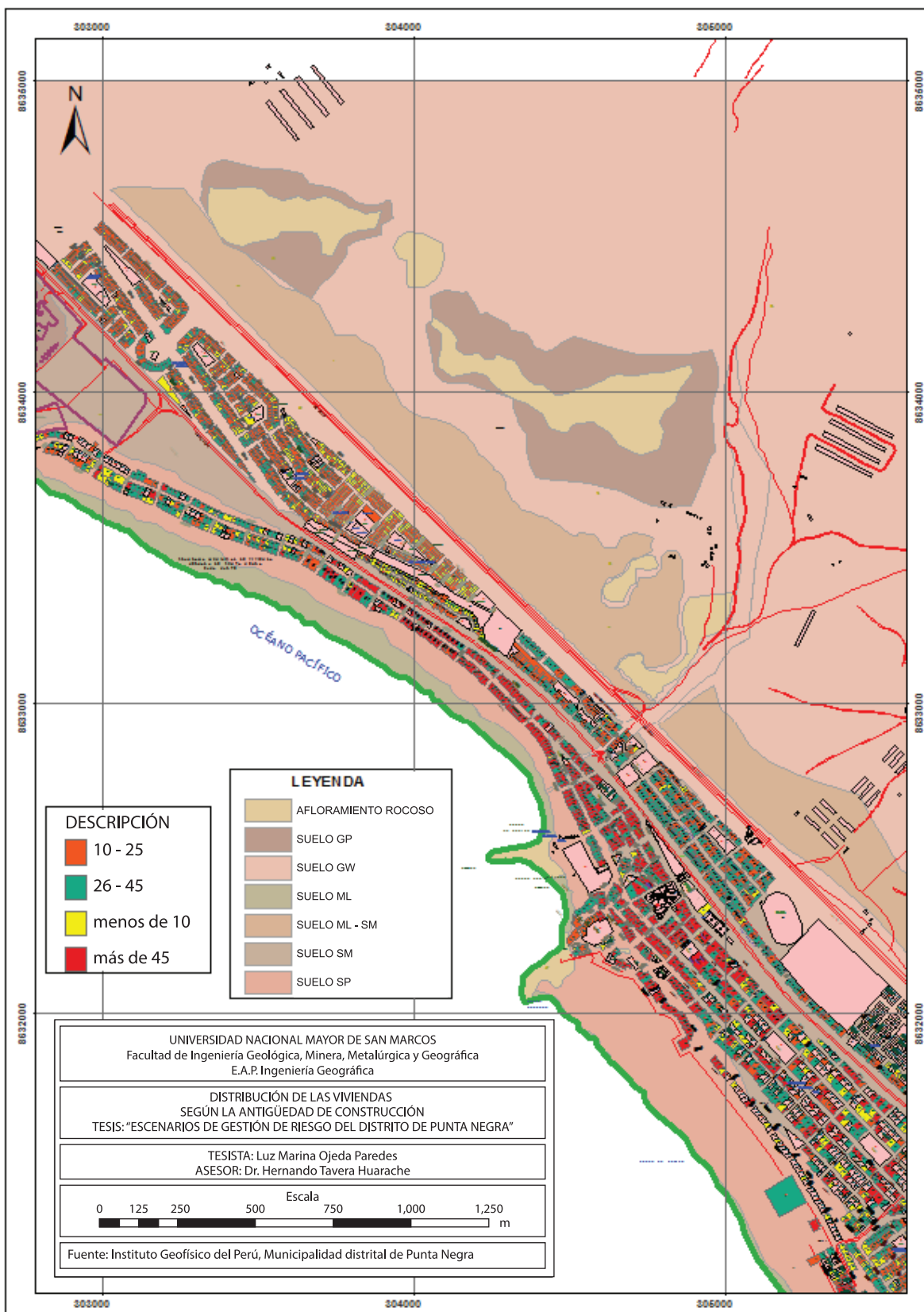




**ANEXO II**

<b>FECHA:</b> 01 de octubre de 2012		<b>HORA:</b> 09:00 am	
<b>TRABAJO DE CAMPO REALIZADO POR:</b> Luz Marina Ojeda Paredes			
<b>UBICACIÓN</b>			
DISTRITO: Punta Negra		MANZANA: A2	LOTE: 1
URBANIZACIÓN: Punta Negra Zona Central (PN-ZC)			
<b>CARACTERIZACIÓN DE LA VIVIENDA</b>			
TIPO DE USO: vivienda		ESTADO: <input type="checkbox"/> Bueno <input checked="" type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Malo	
N° DE PISOS: 1		AFECTADO EN SISMOS ANTERIORES: <input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No	
ANTIGÜEDAD: <input type="checkbox"/> Menos de 10 años <input checked="" type="checkbox"/> 10 – 25 años <input type="checkbox"/> 26 - 45 <input type="checkbox"/> Más de 45 años			
N° HABITANTES: 4			
<b>DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA</b>			
TIPO DE VIVIENDA:	MATERIAL ESTRUCTURAL:	SISTEMA ESTRUCTURAL:	
<input checked="" type="checkbox"/> Unifamiliar	<input type="checkbox"/> Albañilería o Mampostería	<input checked="" type="checkbox"/> Vigas	
<input type="checkbox"/> Edificio Multifamiliar	<input type="checkbox"/> Albañilería Armada	<input checked="" type="checkbox"/> Columnas	
<input type="checkbox"/> Quinta	<input checked="" type="checkbox"/> Albañilería Confinada		
<input type="checkbox"/> Otros.....	<input type="checkbox"/> Otros.....		
TIPO DE TECHO: concreto armado		ALERO: <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Si	
PENDIENTE: <input checked="" type="checkbox"/> Baja (1 -2 %) <input type="checkbox"/> Medio (5 -10 %) <input type="checkbox"/> Fuerte (10 -20) <input type="checkbox"/> Muy Fuerte (>20 %)			
TIPO DE SUELO: <input type="checkbox"/> Roca <input type="checkbox"/> Arcilla <input checked="" type="checkbox"/> Arena <input type="checkbox"/> Relleno Sanitario <input type="checkbox"/> Otros.....			
ACCESIBILIDAD A SERVICIOS BÁSICOS: <input type="checkbox"/> Agua potable <input type="checkbox"/> Desagüe <input checked="" type="checkbox"/> Energía eléctrica			
<b>NIVEL DE PREPARACIÓN ANTE UN SISMO</b>		<b>SI</b>	<b>NO</b>
Podría afrontar económicamente un sismo hasta que llegue la ayuda.		x	
Usted y su familia saben qué hacer en caso de sismo.		x	
Ha participado de algún simulacro.		x	
Considera que el simulacro ha sido eficiente.		x	
<b>FOTOGRAFÍA</b>		<b>UBICACIÓN DEL LOTE EN LA MANZANA</b>	
			

### ANEXO III



# APLICACIÓN DE LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO MULTI AMENAZAS CLIMÁTICAS

## APPLICATION OF MULTICRITERIA EVALUATION FOR RISK ANALYSIS OF CLIMATIC MULTHAZARDS

MARYSUSSAN DISA CELIS GÓMEZ

---

Universidad Nacional Federico Villareal  
Escuela Académica Profesional de Ingeniería Geográfica  
disa.celisgomz@yahoo.com

---

Asesora: Mg. Grace Trasmonte Soto  
Área de Variabilidad y Cambio Climático

### Resumen

El presente estudio se basa en el análisis de eventos meteorológicos extremos como lluvias intensas, heladas, veranillos y granizos, identificando su frecuencia, intensidad e impactos en la población del área de influencia de la Estación Climatológica de Huayao (12°04' S, 75°32'W, 3313 m.s.n.m), para la posterior estimación del riesgo ante dichas amenazas múltiples. Para ello, se ha aplicado metodologías apropiadas para el análisis multicriterio para el cálculo de la vulnerabilidad y el riesgo por multi amenazas climática, tales como la Evaluación Multicriterio (EMC) posible de aplicar con herramientas SIG.

**Palabras clave:** Análisis multicriterio, amenazas multiclímáticas, heladas, precipitaciones intensas, vulnerabilidad, evaluación del riesgo.

### Abstract

*This study is based on analysis of extreme weather events such as heavy rains, frosts, hails and dryspell in the area of influence of Huayao Weather Station (12°04' S, 75°32'W, 3313 m),, identifying its frequency, intensity and impacts on the population for subsequent risk assessment. To do this, we applied appropriate methodologies for multicriteria decision analysis to calculate the vulnerability, and climatic multi-hazard risk such as Multicriteria Evaluation (EMC), easily used with GIS tools.*

**Keywords:** Multi-criteria analysis, climatic multi-hazards, frost, heavy rains, vulnerability assessment, risk assessment

## 1. Introducción

El 71% de los desastres naturales que suceden en la región andina son de origen hidrometeorológico (CAN, 2009), estos eventos climáticos no impactan necesariamente de manera aislada sobre una zona, sino una sucesión o grupo de eventos. En los Andes las amenazas son múltiples, pueden presentarse una tormenta o una lluvia intensa, granizada, heladas, veranillos, etc, esto debe cambiar el enfoque con el que se gestione el riesgo para esta zona, no sólo realizar un análisis específico para una amenaza en particular, sino que aborde el análisis de riesgo de una forma más integral, tomando las amenazas que tienen mayor repercusión en el área de estudio.

El escenario climático actual muestra que las temperaturas máximas y mínimas se han incrementado hasta en 0,2 °C/ década en casi todo el territorio nacional, las sequías por su parte, no muestran tendencia, ya sea de incrementos o disminuciones de dichos eventos en el transcurso del tiempo (SENAMHI, 2009). En el valle del Mantaro las tendencias en los extremos climáticos muestran un incremento de las condiciones cálidas, mucho más marcado en las temperaturas máximas que en las mínimas, siendo el 2010 el año que registró el mayor número de días cálidos; en cuanto a las precipitaciones, se observa que la intensidad de la precipitación diaria para el periodo 1922-2010 prácticamente no presenta tendencia, mientras que para el periodo 1976-2010 hay una tendencia de

-0,4mm día por década (Silva y Trasmonte, 2012).

Este escenario climático sumado a las condiciones socio-económicas que presentan los distritos de estudio, hace referencia a condiciones de vulnerabilidad de la población, lo que de no identificarse, podría desestabilizar más la ya precaria situación económica del valle del Mantaro.

El principal objetivo del trabajo es identificar, analizar y evaluar los riesgos frente a las multiamenazas climáticas, (precipitaciones intensas, heladas, granizo y veranillos) en el área próxima a la estación climatológica de Huayao, perteneciente al distrito de Huachac, Provincia de Chupaca.

## 2. Ubicación del área de estudio

El área de estudio pertenece al valle del río Mantaro geográficamente está ubicado entre los paralelos 12°04'0"S y 12°0'39"S y 75°21'03"W y 75°17'41"W.

Los distritos que componen el área de estudio son: Sicaya, perteneciente a la provincia de Huancayo y los distritos de Huachac, Ahuac y Chupaca pertenecientes a la provincia de Chupaca.

El área de estudio abarca los 3km de proximidad espacial a la estación climatológica de Huayao, esta área se tomó como piloto en función a la altitud de la zona, haciendo uso de los datos de la estación para el análisis de las amenazas climáticas.

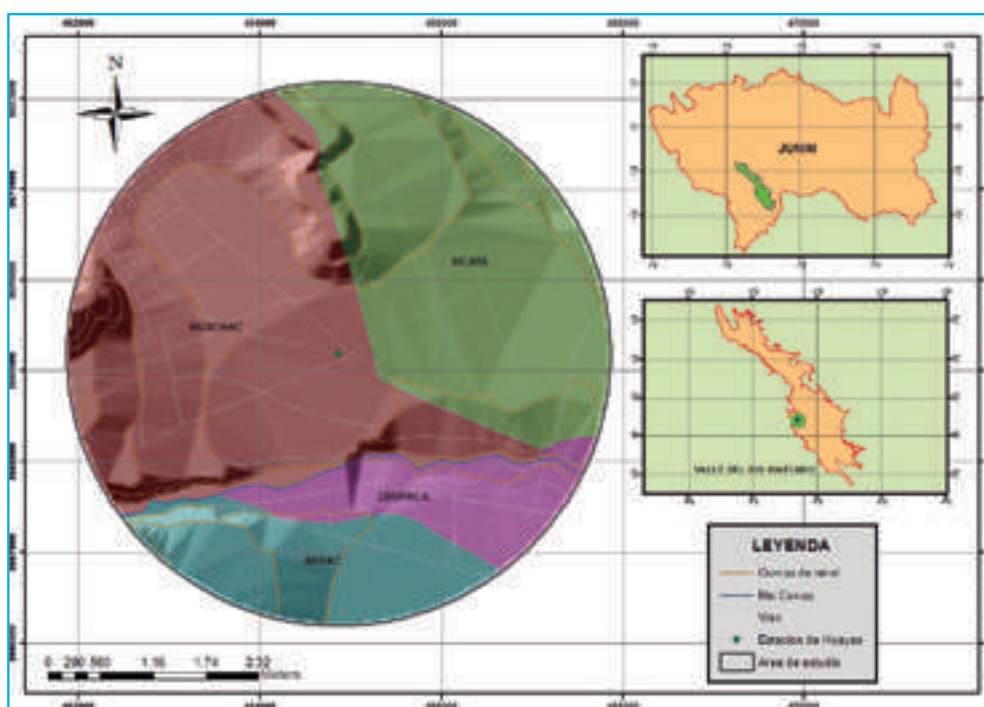


Figura1. Mapa de ubicación del área de estudio

### 3. Metodología

Se revisaron diversas metodologías para ser empleadas en el análisis de riesgo para peligros múltiples, que aplican a su vez técnicas de ponderación multi criterio, como en el caso de la metodología propuesta por Greiving (2006), sin embargo en la ponderación de pesos aplicado en esta metodología se hace uso del método Delphi (método basado en discusión entre expertos) y la escala de aplicación es a nivel departamental.

Otras metodologías hacen uso de base de datos históricos para generar su mapa multi riesgos, como el presentado por Mosquera (2005), sin embargo para nuestra zona de estudio solo se cuenta con información recopilada del diario Correo de Huancayo, DESINVENTAR, MINAG e INDECI y que para la zona de estudio no representa mucha información.

La metodología aplicada dada nuestra área de estudio, se basa en el análisis cualitativo y cuantitativo y en la Evaluación Multicriterio (EMC) mediante herramientas SIG, que será aplicada en diversas fases del proceso para el análisis del riesgo.

La vulnerabilidad y el grado de amenaza de los peligros, se clasificaron de acuerdo a la estratificación que sigue el INDECI (2006), la cual considera cuatro categorías: bajo, medio, alto y muy alto.

#### 3.1 Evaluación Multicriterio

##### 3.1.1 Método de Jerarquías Analíticas (AHP)

Los métodos multicriterio se fundamentan a partir del proceso de decisión, para ello requiere la aplicación de métodos de comparación que apoye al tomador de decisiones, de tal manera que los juicios tomados sean consistentes, la característica más importante en la evaluación de multicriterio consiste en cómo combinar la información de diversos criterios para formar un índice de evaluación único (Eastman, 1995).

La técnica empleada del EMC, es el método de Jerarquías analíticas (AHP-Analytic Hierarchy Process) de Saaty, la metodología consiste en hacer comparaciones pareadas valorando cada criterio de acuerdo a la escala establecida por Saaty.

Este método se ha extendido a la

programación matemática, lo que nos indica la flexibilidad de esta técnica (Gómez, 2005) y su aplicación en las herramientas de los SIG.

#### 3.2 Submodelos de Peligros y vulnerabilidad

Para el diseño conceptual de los modelos de peligros y vulnerabilidad se analizó la estructura general de un análisis de riesgo (Figura 2).

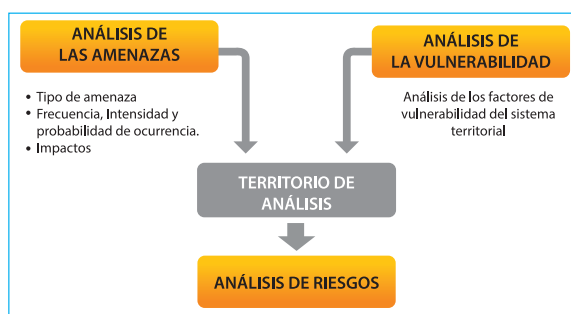


Figura 2. Estructura del Análisis del Riesgo. Fuente: PDRS-GTZ (2010)

Para el análisis de la amenaza se trabajó con las amenazas que tiene un mayor impacto en la zona de estudio como son las heladas, lluvias intensas, granizos y veranillos.

##### 3.2.1 Sub Modelo de peligros Múltiples Climáticos

Las amenazas ya procesadas se usaron para la generación del mapa de peligros múltiples, como se muestra en la Figura 3.

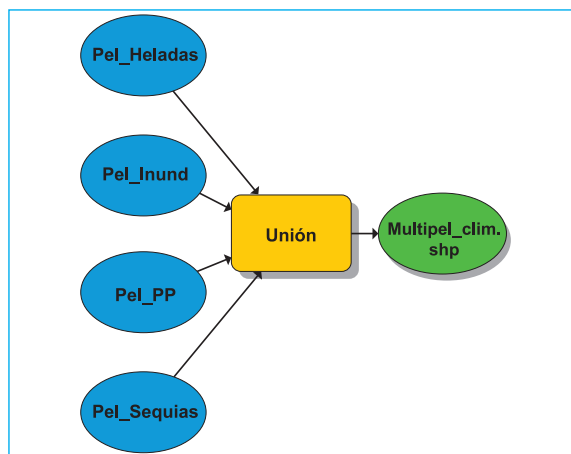


Figura 3. Modelo de desarrollo para la generación de un mapa de Peligros Múltiples. Fuente: Elaboración propia



### 3.3 Vulnerabilidad

El análisis y evaluación de la vulnerabilidad socio-económica de los 4 distritos de estudio, se ha realizado en base a ponderaciones de acuerdo a los datos obtenidos del Censo Nacional 2007 (INEI, 2007).

Siendo los peligros estudiados del tipo climático, se optó por estudiar básicamente la vulnerabilidad socioeconómica de la población, los indicadores con lo que se trabajó fueron:

1. Número de niños menores de 6 años
2. Número de personas mayores de 60 años
3. Número de mujeres
4. Unidades de vivienda
5. Ingreso familiar per cápita
6. Índice de Desarrollo Humano (IDH)
7. Número de viviendas con acceso al agua potable
8. Número de viviendas con acceso a instalaciones de saneamiento

Para la ponderación del IDH, se usó la escala de medición realizada por el PNUD (2002).

### 3.4 Mapa integrado de amenazas

Los datos usados en el análisis de las amenazas climáticas fueron diarios, provenientes de la estación climatológica del Huayao (IGP) para el periodo 1991-2007.

Los criterios de clasificación utilizada en las amenazas, fueron:

1. En el caso de Heladas se siguió la clasificación de Severidad de Heladas, publicado por el SENAMHI (2005) en el Atlas de Heladas para el Perú.
2. En el caso de amenaza de granizo, la clasificación se realizó utilizando terciles de las series de duración, de eventos ocurridos entre enero-diciembre.
3. Para los veranillos, la clasificación se realizó en base al trabajo de "Identificación de veranillos en el valle del Mantaro" de Sulca(2010), considerando adicionalmente una categoría de Suave o Débil.
4. Para las precipitaciones intensas se trabajó con la precipitación acumulada para el año lluvioso (1973) desarrollado por el IGP (2005), en el cual, a nivel del valle del Mantaro varía entre 800 y 1000 mm/año.

## 4. Resultados preliminares

Los resultados preliminares obtenidos del presente estudio corresponden a la Vulnerabilidad socioeconómica y al análisis de las amenazas climáticas múltiples.

### 4.1 Análisis de la vulnerabilidad socioeconómica

De acuerdo al análisis realizado para los cuatro distritos que conforman nuestra área de estudio, se tiene que Sicaya tiene una vulnerabilidad "baja", mientras que Huachac y Ahuac presentan una vulnerabilidad "media" y Chupaca es de nivel "alto".

De la población evaluada el 52,5% son mujeres, mientras que la población infantil (menores de 6 años) representa el 11,62% y la población adulto mayor (mayores de 60 años) el 11,20% del total evaluado.

En cuanto al acceso a los servicios básicos se tiene que el 65.08% de las viviendas de los distritos evaluados cuentan con acceso al agua potable y el 48.10% cuenta con acceso a instalaciones de saneamiento, cabe destacar que en estas instalaciones se asumen las que se encuentran fuera de las viviendas, pero dentro de la edificación. Asimismo el IDH para estos 4 distritos es medio alto.

### 4.2 Análisis de las amenazas

De las amenazas analizadas se tiene que:

1. En el análisis por amenazas de helada radiactivas, se evaluó en función a la pendiente, pisos altitudinales y temperatura.
2. Las precipitaciones en un año lluvioso en el área de estudio, corresponden a valores de 800-900 mm/año, en una zona de poca variación altitudinal (3250-3500 msnm), la precipitación para esta zona es más o menos uniforme en cuanto a valores promedios. Estos valores también se compararon con el promedio multianual de la precipitación acumulada (IGP, 2005), encontrándose en este caso, que los valores de precipitación para nuestra zona de estudio son un poco menores (entre 650 mm y 800 mm/año).
3. En el análisis por amenazas de veranillo se evaluó en función a la precipitación y pisos altitudinales, los pesos asignados para los

pisos altitudinales tanto para la helada y veranillo fue Alto para zona Quechua y muy alto para zona Suni.

- Se evaluó la amenaza de granizo, pero esta amenaza no fue incluida en el proceso para la generación del mapa, por no disponer de datos relacionados a nivel espacial, pero si entró en el análisis de ponderación de la importancia del impacto de las amenazas (según EMC).
- De la EMC realizada para las amenazas de granizo, heladas, veranillo y precipitaciones intensas, se tienen los siguientes pesos en función a la frecuencia e intensidad de impacto en la zona de estudio:

Tabla 1. Pesos obtenidos de la EMC

PELIGRO	PESO
Heladas	0,6223
Granizos	0,2019
Veranillos	0,1155
Pp Intensas	0,0603

Fuente: Elaboración propia

Lo que indica que la helada es la amenaza más significativa en el área de estudio, seguido en menor cuantía por el granizo, los veranillos y finalmente las precipitaciones intensas.

- El mapa de peligros múltiples, muestra para nuestra área de estudio que la mayor peligrosidad (peligrosidad alta) se da en las zonas más bajas 3250-3300 msnm, en comparación de las demás. Dichas zonas son en las que mayormente se realiza actividades agropecuarias de la región.

## 5. Conclusiones preliminares

Se ha utilizado el método AHP (Análisis de jerarquías analíticas) de la evaluación multicriterio, debido que lo que se busca en el presente estudio es integrar diversos criterios, en base a los datos meteorológicos obtenidos en el IGP y SENAMHI.

De lo expuesto en el análisis de vulnerabilidad vemos que el 58,13% del área de estudio presenta vulnerabilidad socioeconómica media, presentando sólo el distrito de Chupaca una vulnerabilidad alta, esto debido principalmente a que este distrito cuenta con la mayor tasa de grupos humanos vulnerables (principalmente infantes y adultos mayores).

Según el mapa de peligros múltiples obtenido el área a sufrir un mayor daño por multipeligros climáticos corresponde a aquellas dedicadas a la agricultura, las cuales están expuestas a más de un peligro meteorológico o climático (heladas, granizos, veranillos y precipitaciones intensas), siendo las heladas el de mayor impacto debido a su mayor frecuencia e intensidad.

## 6. Recomendaciones

Para futuros estudios que intervenga el análisis de multi amenazas, sería importante contar con datos de población afectada por cada evento meteorológico, esto nos daría un mejor indicador de impactos para el cálculo del riesgo integral.

Se debe considerar el enfoque desde el cual se va a trabajar los riesgos múltiples, ya que puede referirse a: (1) que las diferentes fuentes de riesgo pueden poner en peligro los mismos elementos expuestos (con o sin coincidencia temporal), o (2)

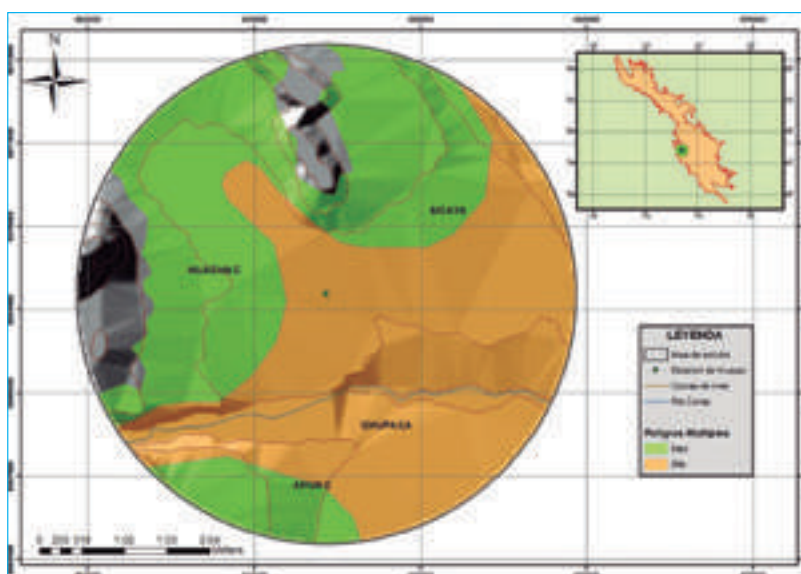


Figura 4. Mapa de peligros múltiples

un evento peligroso puede desencadenar otros eventos peligrosos (efecto cascada) (Matrix, 2011). Se requeriría estudios más detallados sobre esas formas de impacto.

## 7. Agradecimientos

Al Instituto Geofísico del Perú por brindarme las facilidades para desarrollar mi tema de tesis. A la Mg. Grace Trasmonte por los conocimientos impartidos y el apoyo constante a la realización de la presente investigación.

## 8. Bibliografía

Aneas, S. (2000). Riesgos y Peligros: Una Visión desde la Geografía. Revista Electrónica de Geografía, N°60. Pp. 1-15.

CAN (2009). Atlas de las dinámicas del territorio andino: Población y bienes expuestos a amenazas naturales. pp. 63-65

Eastman, J., Jin, W., Kyem, P., y Toledano, J. (1995). Raster procedures for multicriteria/multi objective decisions. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing .USA. pp. 539-547.

Gómez, M, Barredo J. (2005). Sistemas de Información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Mexico. Pp 43-89, 114-137

Greiving, S. (2006). Integrated risk assessment of multi-hazards: A new methodology. Geological Survey of Finland, Special Paper42.p. 75-82

IGP (2005). Atlas climático de precipitación y temperatura del aire de la Cuenca del Rio Mantaro. Perú. Fondo Editorial CONAM. pp 27-34 y Mapa N°3.

Silva, Y., Trasmonte, G. (2012). Tendencias en los extremos climáticos del valle del Mantaro. En Eventos Meteorológicos Extremos (sequías, heladas y lluvias intensas) en el Valle del Mantaro, Proyecto MAREMEX- IGP. Lima-Perú. pp 63-71.

Sulca, J. (2010). Identificación de veranillos en el valle del Mantaro. En: Cambio Climático en la cuenca del río Mantaro Balance de 7 años de estudio. IGP. Lima-Perú. pp 205-213.

INDECI (2006). Manual Básico para la estimación del riesgo. Perú. pp 17-26.

INEI (2008). Principales indicadores demográficos, sociales y económicos a nivel provincial y distrital- Junín. Censos 2007. Perú.

Matrix, (2011). Project New methodologies for

multi-hazard and multi-risk assessment methods for Europe. Multi-risk evaluation and mitigation strategies. pp

Mosquera, S. (2005). Análisis multiriesgos de los desastres naturales del Chocó, durante las tres últimas décadas: 1970-2000. International Research Institute for Climate Prediction-IRI. pp 9-32.

PDRS-GTZ (2010). Incorporar la gestión del riesgo en la planificación territorial. Perú. pp. 16-21, 38-41.

PNUD (2002). Informe sobre desarrollo humano, Perú. Pp. 4, 52, 55.

SENAMHI-MINAG (2005). Atlas de Heladas, pp. 13-15.

SENAMHI (2009). Escenarios climáticos en el Perú para el año 2030. Perú. pp. 6-8, 19-30.

# GESTIÓN DE RIESGO POR PELIGROS NATURALES Y ANTRÓPICOS EN EL DISTRITO DE PUNTA HERMOSA

## RISK MANAGEMENT OF NATURAL AND ANTHROPIC HAZARDS IN THE DISTRICT OF PUNTA HERMOSA

RUBÉN CASTRO MENDOZA

---

Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Escuela Académica Profesional de Ingeniería Geográfica  
Ruthhop7@hotmail.com

---

Asesor: Dr. Hernando Tavera  
Área de Sismología

### Resumen

El distrito de Punta Hermosa se encuentra ubicada en la zona de subducción de la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana, lo que ocasiona una intensa actividad sísmica por ser parte del Anillo de Fuego del Pacífico, por lo tanto, está en riesgo de sufrir un desastre por sismo y/o tsunami causando pérdidas humanas y económicas.

Los resultados preliminares obtenidos son relativamente alentadores ya que el 80% de las viviendas está en buen estado, el 15% regular y solo el 5% en mal estado. El material predominante en las construcciones es la albañilería mixta entre aporcada y confinada con 2508 viviendas que representa el 94%, el 6% restante son de madera, cartón prensado entre otros. Sin embargo, cabe resaltar que muchas edificaciones han sufrido daño estructural por el sismo de Pisco del año 2007. También se identificó los peligros antrópicos del distrito como antenas de telefonía en peligro de colapsar, quebradas cuyos cauces fue estrechado por las edificaciones o que fueron bloqueados en su totalidad para la construcción de pistas y estacionamiento de vehículos.

**Palabras clave:** Vulnerabilidad, peligro, gestión, resiliencia.

### Abstract

*The district of Punta Hermosa is located in the subduction zone of the Nazca Plate and the South American Plate, causing intense seismic activity as being part of the Pacific Ring of Fire, therefore, is at risk of a disaster as quake and/or tsunami causing human and economic losses.*

*Preliminary results are relatively encouraging because 80% of the housing is in good condition, 15% regularly and only 5% in poor condition. The predominant material in construction is mixed between masonry confined and masonry aporcada with 2508 housing that represent of 94%, 6% are wood, hardboard and others. However, it should be noted that many buildings suffered structural damage in the earthquake of Pisco in 2007. Also, was an identified anthropic hazard as phone masts in danger of collapsing, streams whose channels was narrowed by the buildings or were blocked in its entirety for the construction of tracks and parking of vehicles.*

**Keywords:** Vulnerability; hazard; management; resilience.

## 1. Introducción

La humanidad siempre ha estado bajo amenaza de peligros naturales o por el mal accionar del hombre que han ocasionado pérdidas humanas y económicas, llevando al atraso de una comunidad o región, por tal motivo es de vital importancia hacer un estudio para identificar las zonas más vulnerables y mitigar los efectos frente a un desastre provocado por la naturaleza o por acciones humanas.

La gestión de riesgo visto de una forma integral es un trabajo multidisciplinar que trata de analizar espacios ocupados por el hombre y las posibles consecuencias que implica las construcciones humanas y el asentamiento en un determinado territorio.

La gestión de riesgos tiene que explicarse de diversas maneras a los diferentes órganos que toman decisiones responsables para el desarrollo de un país, región o a nivel local. Se tiene que hacer de manifiesto de tal manera que preocupe a todos los actores involucrados en un espacio y los que toman las decisiones deben tener acceso a información relevante para que tomen acciones adecuadas para reducir la vulnerabilidad y acrecentar la resiliencia.

### Definiciones básicas

La definición y normalización de la terminología aplicable a las funciones institucionales y procesos de la Gestión del Riesgo de Desastres es establecida por el reglamento de ley N° 29664, ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de desastres (SINAGER).

### Desastre

Conjunto de daños y pérdidas, en la salud, fuentes de sustento, hábitat físico, infraestructura, actividad económica, y medio ambiente, que ocurre a consecuencia del impacto de un peligro o amenaza cuya intensidad genera graves alteraciones en el funcionamiento de las unidades sociales, sobrepasando la capacidad de respuesta local para atender eficazmente sus consecuencias, pudiendo ser de origen natural o inducido por la acción humana.

### Riesgo de desastre

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.

### Peligro

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.

### Vulnerabilidad

Es la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza.

### Análisis de vulnerabilidad

Proceso mediante el cual se evalúa las condiciones existentes de los factores e la vulnerabilidad: exposición, fragilidad y resiliencia de la población y de sus medios de vida.

### Resiliencia

Capacidad de las personas, familias y comunidades, entidades públicas y privadas, las actividades económicas y las estructuras físicas, para asimilar, absorber, adaptarse, cambiar, resistir y recuperarse, del impacto de un peligro o amenaza, así como de incrementar su capacidad de aprendizaje y recuperación de los desastres pasados para protegerse mejor en el futuro.

## 2. Ubicación del Área de estudio

El distrito de Punta Hermosa se encuentra ubicada a 35 km al sur de Lima comprendida entre los distritos de Lurín y Punta Negra, con una población de 5 762 habitantes según el censo del año 2007 por el Instituto de Estadística e Informática (INEI).

El área de estudio está comprendida entre las siguientes coordenadas geográficas:

12°18'44" Lat. S – 76°50'38" Long. Oeste.

12°20'43" Lat. S – 76°48'52" Long. Oeste.

## 3. Metodología

### 3.1 Estudio de suelos

Fue hecho utilizando la técnica de Nakamura (1989) por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) haciendo uso de registros de vibración ambiental, y aplicando la técnica de razones espectrales (H/V), además, estudios de



geotecnia mediante el análisis de suelos. El resultado es el mapa de zonificación de suelos, sobre lo cual se superpondrá la información

catastral recolectada en campo generando finalmente el mapa de vulnerabilidades del distrito de Punta Hermosa.

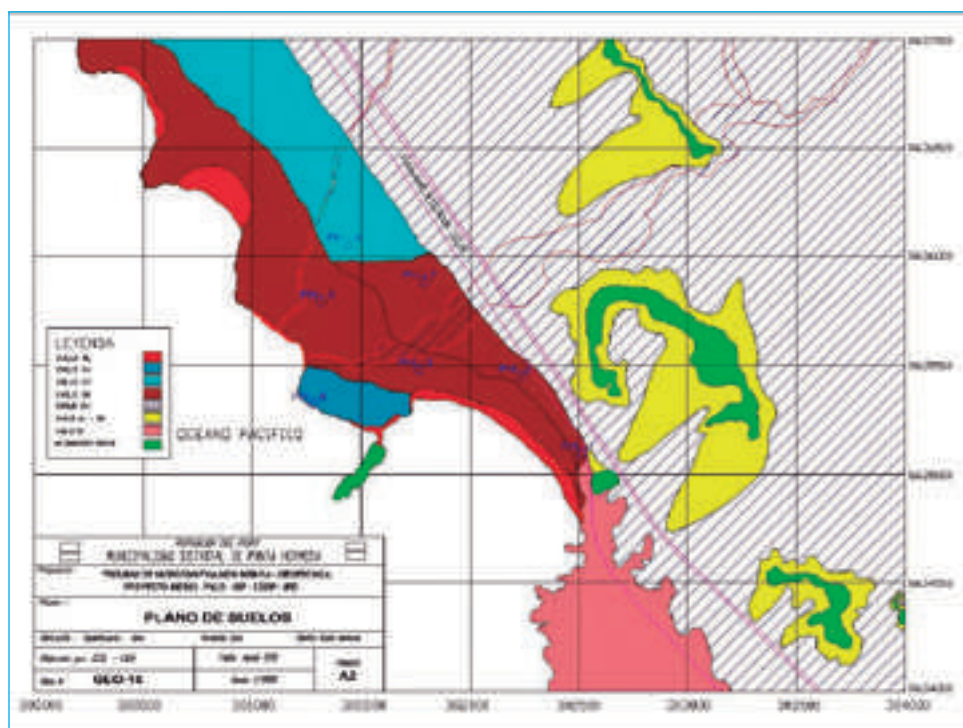


Figura 1. Plano de suelos realizado por el IGP.

### 3.2 Trabajo de campo y elaboración de la base de datos

Se obtuvo información de campo, para lo cual se elaboró una ficha censal, considerando el tipo de estructura de las viviendas como: columnas vigas, material del techo, configuración en planta, configuración en elevación, etc. (ver anexo) y se hizo una encuesta a la población para ver el grado de preparación frente a un sismo y tsunamis de gran magnitud para el balneario.

Con los datos de campo se genera una base de datos en el software ArcGIS 10,0 obteniendo mapas temáticos y que conjuntamente con el mapa de suelos se obtendrá las zonas más vulnerables frente a un sismo que ocurra en la costa del departamento de Lima.

### 3.3 Proceso analítico jerárquico

El Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP), propuesto por Thomas L. Saaty en 1999, se basa en la toma de decisiones con criterios múltiples

para lo cual estableció una escala (Tabla 1) para la valoración de juicios por el decisor. Esta metodología ha sido extensivamente estudiada y refinada, desde entonces.

Esta técnica es usada para ponderar variables según el orden jerárquico del decisor.

Tabla 1. Escala propuesta por Thomas Saaty (1999).

Intensidad de la importancia	Definición	Explicación
1	Igual Importancia	Dos actividades contribuyen igualmente al objetivo
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio están moderadamente a favor de una actividad sobre la otra
5	Importancia Fuerte	La experiencia y el juicio están fuertemente a favor de una actividad sobre la otra
7	Importancia muy fuerte	Una actividad está muy fuertemente favorecida y su dominio ha sido demostrado en la práctica
9	Importancia extrema	Es máxima la importancia de una actividad sobre la otra
2,4,6,8	Valores intermedios entre los dos juicios contiguos	Cuando un término medio es necesario
Recíproco de los números de arriba	Si al elemento i le fue asignado alguno de los números de arriba al compararse con el elemento j, entonces j tiene el valor recíproco cuando se compara con el elemento i	

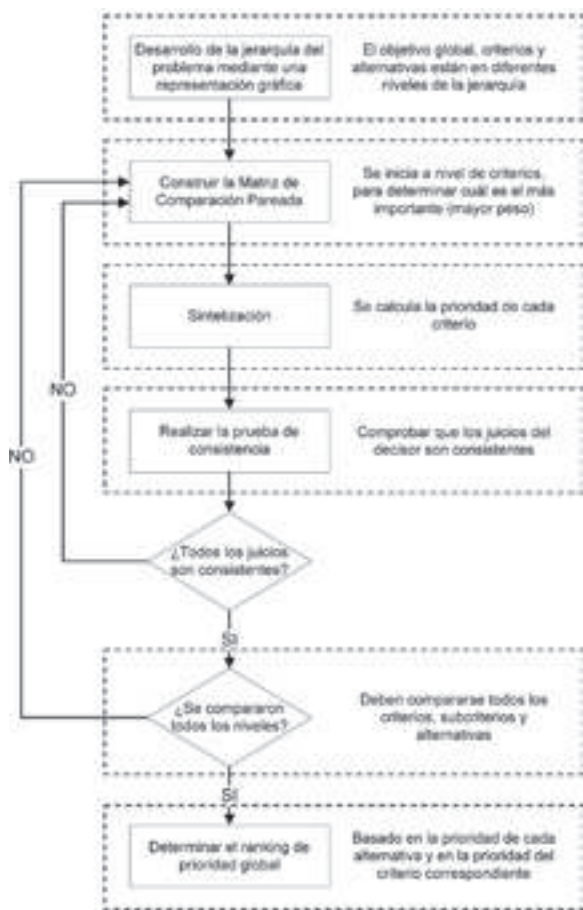


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso analítico jerárquico  
Fuente: Ho, Dey y Higson

Para explicar mejor el procedimiento pondremos como ejemplo los criterios A, B y C y necesitamos saber qué peso asignaremos a cada uno de ellos de acuerdo a la importancia que los expertos asignan a cada variable. Luego se construye una matriz para hacer una comparación pareada y asignarle valores según la escala de Saaty (Ver Tabla 1).

Tabla3. Matriz de Valores

AHP	A	B	C
A	1	1/2	1/7
B	2	1	1/8
C	7	8	1

a. Matriz original

AHP	A	B	C	Row Sum	Priority Vector
A	0,10	0,05	0,11	0,27	0,09
B	0,20	0,11	0,10	0,40	0,13
C	0,70	0,84	0,79	2,33	0,78
Column sum	1,000	1,000	1,000	3,000	1,000

b. Matriz normalizada

AHP	A	B	C	Row Totals
Bueno	0,09	0,07	0,11	0,27
B	0,18	0,13	0,10	0,41
C	0,63	1,04	0,78	2,45

Multiplicación de la matriz original por el vector prioridad.

0,27		0,09		2,96
0,41	divide	0,13	=	3,13
2,45		0,78		3,14

Obtenemos:

$$\lambda_{max} = \frac{2.96+3.13+3.14}{3} = 3,08$$

Índice de consistencia  $CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1}$

$CI = 0.04$

Luego

$$RC = \frac{CI}{RI}$$

Donde RI toma valores de:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

En este ejemplo tenemos:

$$RC = \frac{0,04}{0,52} = 0,07$$

SI  $RC > 0,1$ ; los juicios son inconsistentes

SI  $RC < 0,1$ ; es consistente

SI  $RC = 0$ ; es inconsistente

Si sería inconsistente volvemos a evaluar los juicios y obteniendo una nueva matriz original.

En este ejemplo tenemos  $RC < 0,1$  por lo tanto los pesos son:

$A=0,09$ ;  $B=0,13$ ; y  $C=0,78$

#### 4. Resultados preliminares

Este estudio aún está en proceso y por lo tanto, se presenta resultados preliminares obtenidos hasta el momento y las observaciones directas hechas en campo.

### Antigüedad de las viviendas

Las viviendas más antiguas se encuentran en el balneario central con más de 50 años de edificadas las cuales son más afectadas por la humedad y cada año son remodeladas con la finalidad de ser alquiladas o habitadas por los propietarios en los meses de verano. Muchas de estas viviendas esconden el daño sufrido a través de los años.

Otro aspecto importante es que muchas viviendas fueron afectadas por el terremoto de Pisco en el año 2007, pero al ser observada desde el exterior aparentan no haber tenido mayor daño porque fueron resanadas por fuera. Al ingresar a las

viviendas se observan que muchas viviendas tienen fracturas en las vigas y columnas, tal es el caso de la propia municipalidad de Punta Hermosa que el techo de losa aligerada se encuentra fracturada por el sismo del 2007.

De 3110 lotes registrados en la base de datos 94 viviendas tienen una antigüedad no mayor de 2 años, 1381 tienen una antigüedad entre 3 y 19 años, 954 entre 20 y 49 años, 227 mayor a 50 años, 6 viviendas en construcción y 448 lotes sin construir.

La mayor parte de las edificaciones del distrito se encuentran en buen estado aunque en varios casos podría ser engañoso ya que por dentro muchas han sufrido daño estructural (Figura 4).



Figura 3. La imagen del lado izquierdo muestra una vivienda de la Urb. Santa Cruz sin mayor daño aparente, pero al ingresar se observa daño estructural en vigas y columnas (imagen derecha).

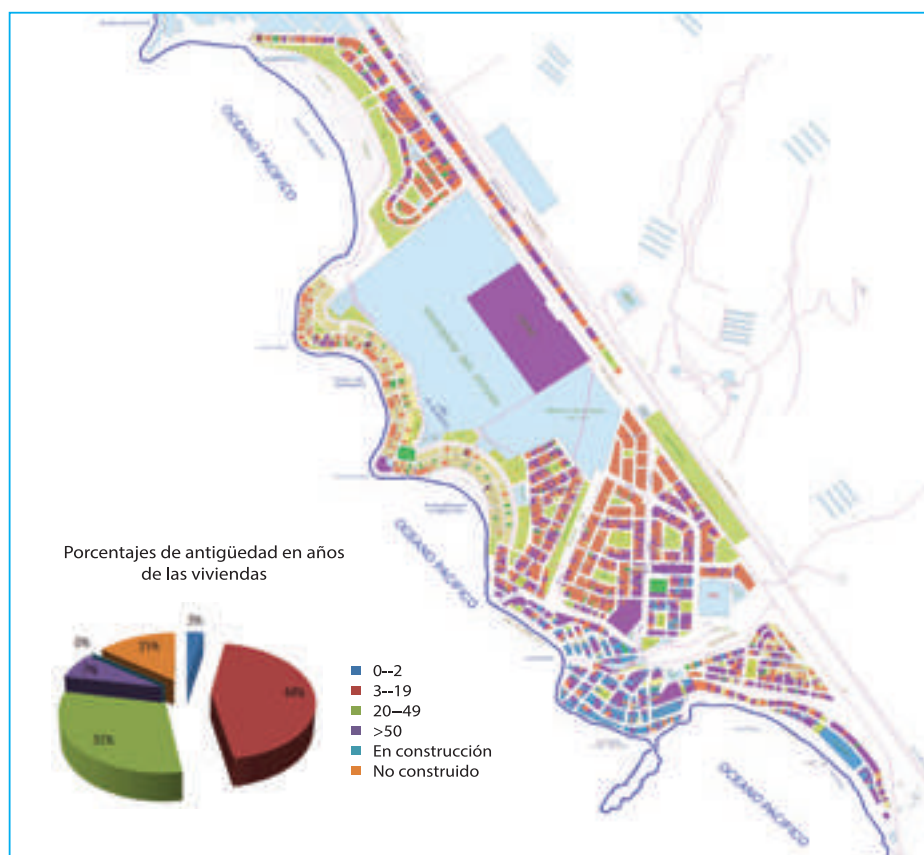


Figura 4. Porcentajes y plano de distribución espacial de las viviendas según la antigüedad de construcción en años.



### Material predominante

El material predominante en las construcciones del distrito de Punta Hermosa es la albañilería mixta entre aporticada y confinada con 2508 viviendas que representa el 95%, 88 viviendas son de madera, 51 viviendas de albañilería netamente aporticada, 4 de concreto armado, 1 vivienda de fierro y 4 de cartón prensado (Figura 5).

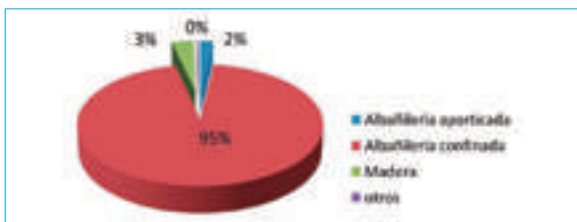


Figura 5. Material predominante de las viviendas del distrito de Punta Hermosa.

### Conservación de las viviendas

El estado de conservación de las viviendas se clasificó en tres: Bueno, regular y malo. Para esta clasificación se consideró como "BUENO" a las viviendas que no presentaban ninguna fisura en muros y columnas, "REGULAR" cuando presentaban pequeñas fisuras en los muros y en alguna columna o techos. Se consideró "MALO" cuando presentaba rajaduras fuertes en muros columnas o techos.

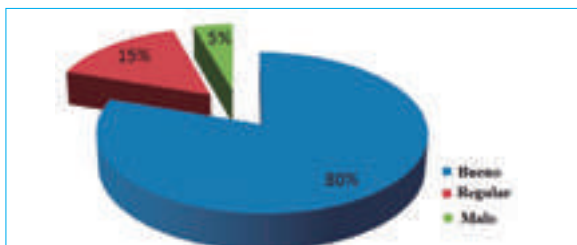


Figura 6. Estado de conservación de las viviendas.

### Peligros antrópicos

Los peligros antrópicos son básicamente por estaciones de combustible, ferreterías que venden productos químicos tóxicos, y antenas de telefonía que están en peligro de colapsar (Figura 7).



Figura 7. Antena de telefónica ubicada en la Mz. A de la Urb. Miramar cuyas bases descansan en las columnas en mal estado de una edificación donde se observa el acero corroído por la humedad.

Se identificaron problemas de rajadura de muros de algunas viviendas en el sector La Planicie como consecuencia de silos construidos en la calle donde se vierten las aguas residuales ya que no cuentan con los servicios básicos de desagüe. Estas construcciones de depósitos de aguas servidas están ocasionando que ceda el suelo arenoso y resquebraje las viviendas en la parte frontal (figura 8).



Figura 8. Una de las viviendas de la Mz. J de la Urb. La Planicie que tiene rajaduras en los muros porque la fachada está cediendo hacia la calle como consecuencia de los silos.

También existe el problema de evacuación de la playa sur, donde para poder salir a las partes altas de Miramar, frente a un tsunami, la población tiene que caminar más de 700 m para tener una salida.

El Reglamento Nacional de Edificaciones capítulo III Art. 23, dice lo siguiente: La longitud mayor de cada manzana en habilitaciones para vivienda taller no debe exceder de 200 m, y en otros tipos de habilitaciones para vivienda no deberá exceder de 300 m. En este caso no se cumple el reglamento (figura 9).





Figura 9. En el lado izquierdo el tramo de la línea roja es de 739 m, que no hay acceso a la playa y el círculo amarillo indica donde está ubicada la escalera clausurada. En el lado derecho la escalera clausurada por la municipalidad en el parque Espichan.

La concurrencia de adultos y niños a esta playa en los meses de verano es considerablemente alta en número y es necesario contar con salidas rápidas frente a un tsunami (figura 10).



Figura 10. Vista de la playa central en el mes de febrero.

Otro problema que hay que mencionar son los centros de diversión como discotecas donde se permite el ingreso de personas más de lo establecido y por ser construido de materiales inflamables, tal es el caso de la discoteca Play cuyo techo es de estera y que fue clausurada por Defensa Civil por no contar con entradas y salidas suficientes frente a una posible emergencia (Figura 11).



Figura 11. Cierre de la discoteca Play en el sector de Mártir Olaya por defensa civil del distrito. Fuente: Perú 21.

## Malas construcciones

Otras observaciones en campo fueron de viviendas mal edificadas así como también de sobrecarga en los niveles superiores que podrían ocasionar accidentes a sus habitantes como a personas transeúntes. Se observan viviendas con niveles superiores que no cuentan con columnas lo cual hace inestable la edificación frente a un movimiento sísmico (figura 12).



Figura 12. Viviendas con cargas inestables en el nivel superior en la Urb. Santa Cruz y algunas de ellas no cuentan con columnas y la loza aligerada no tiene el espesor adecuado según las normas de edificaciones.

Otro de los problemas encontrados es la reducción de espacios destinados para áreas verdes. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el área verde debe ser de 8m<sup>2</sup> por habitante lo cual Lima está muy por debajo de ese índice. En el distrito de Punta Hermosa existen áreas destinadas a áreas verdes pero que vienen continuamente



recortándose debido al boom de la construcción de edificios y viviendas lo cual aminora la calidad de vida de sus habitantes (Figura 13).



Figura 13. Espacio destinado para área verde (15 000 m2 aprox.) en la Urb. Miramar que ahora está en construcción para el estacionamiento del club náutico y nuevas viviendas.

### Peligros naturales

Los peligros naturales es como los sismos y tsunamis que ocurren principalmente frente a las costas de Lima. Se encontró que el distrito no tiene una señalización de las vías de evacuación. Además, las personas de los sectores el Carmen, Mártir Olaya, Urb. Miramar, Santa Cruz, Nueva Generación mencionan no haber participado en los simulacros de sismo y tsunami ya que estos solo se hacen en la playa central, sur y norte del distrito.

También se menciona como peligro la activación de las quebradas que pasan por el distrito y cuyos cauces fueron bloqueados o estrechados por las viviendas. Las quebradas o ríos donde hay evidencia que en algún momento en el pasado tiempo estuvo activa, podría nuevamente recuperar su cauce. Es importante respetar el cauce de ríos y quebradas por si nuevamente arrastre materiales como agua o lodo y evitar daños a la población (Figura 14).



Figura 14. Quebrada de la Planicie que fue bloqueado el cauce por la construcción de la garita de control y vaciado de concreto para el estacionamiento de vehículos.

## 5. Conclusiones

El ser humano debe vivir siempre con el riesgo que representan los peligros naturales, sin embargo, se puede tener una cultura de todos los actores involucrados en la prevención de desastres y resiliencia y reducir la vulnerabilidad de las sociedades.

De suceder un sismo de gran magnitud en los meses de verano las pérdidas de vidas humanas serían mayores ya que en estos meses llegan al distrito turistas nacionales y extranjeros y es cuando las viviendas estas totalmente ocupadas.

La humedad es uno de los factores que va debilitando las bases, columnas y muros de las edificaciones, por eso muchas de las edificaciones nuevas antes de vaciar el concreto de las bases hacen un embolsado con material plástico para proteger de la humedad y el salitre deteriore los cimientos (Figura 15).





Figura 15. La humedad es uno de los factores que va deteriorando las viviendas.

Este estudio es importante para la planificación del desarrollo en el municipio de Punta Hermosa para asegurar las inversiones tanto de la empresa privada como las inversiones públicas, pero sobre todo para proteger la integridad de la población.

Al encuestar a la población sobre si su vivienda fue diseñada y construida por un profesional o técnico en edificaciones la respuesta en su mayoría fue que solo un maestro empírico diseño y construyó la vivienda tal es el caso de la Urb. El Carmen, Santa Cruz, Miramar, Mártir Olaya y parte del sector de La Planicie. Esto hace que aumente el grado de vulnerabilidad de las viviendas frente a un desastre por sismo ya que las construcciones no son sismo resistentes.

## 6. Recomendaciones

Toda la costa peruana está expuesta a sismos constantes por encontrarse en la zona de subducción de la Placa de Nazca y la Sudamericana, por consiguiente las autoridades como la población debemos estar en constante preparación y comunicación maximizando la resiliencia y evitar o minimizar el riesgo de desastres que puede suceder.

Las autoridades de los Gobiernos Locales deben entender que existen zonas de riesgo que son establecidas por las instituciones técnicas del Estado y no debería permitirse el asentamiento de la población para prevenir la pérdida de vidas humanas y económicas.

La única escalera de salida que se encuentra en el parque Espichan no solo debería abrirse sino que también debería ser ensanchada para el acceso y salida de la población concurrente a la playa sur del distrito.

## 7. Agradecimientos

Agradezco al Instituto Geofísico del Perú (IGP) por acogerme en sus instalaciones como tesista y al Dr. Hernando Tavera por su comprensión y asesoramiento.

## 8. Bibliografía

Saaty, T.L. (1999). Basic Theory of the Analytic Hierarchy Process. University of Pittsburgh.

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, Dirección de construcción (2006). Reglamento Nacional de Edificaciones.

Diario oficial el peruano (2011). Normas Legales. Decreto supremo que aprueba el reglamento de la ley N° 29664, que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD).

Nakamura, T., Nishizawa, T., Hagiya, M., Seki, T., Shimonishi, M., Sugimura, A., ... & Shimizu, S. (1989). Molecular cloning and expression of human hepatocyte growth factor.

## 9. Anexo

Ficha técnica de levantamiento de información.

## ANEXO

### FICHA TÉCNICA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN ESTRUCTURAL Y NIVEL DE PREPARACIÓN FRENTE A UN SISMO DE GRAN MAGNITUD EN EL DISTRITO DE PUNTA HERMOSA.

FECHA: 02/10/12	HORA:	OBSERVADOR: Rubén Castro Mendoza																							
<b>UBICACIÓN POLITICA</b> DEPARTAMENTO : Lima PROVINCIA : Lima DISTRITO : Punta Hermosa		<b>UBICACIÓN A NIVEL DE DISTRITO</b> CÓD. DE URB : ZONA NORTE COD. DE MZ : 0 COD. DE LT :																							
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA</b>																									
<b>TIPO DE EDIFICACIÓN</b> Multifamiliar horizontal <input type="checkbox"/> Multifamiliar vertical <input type="checkbox"/> Casa habitación <input type="checkbox"/> Tienda depósito <input type="checkbox"/> Edificio <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	<b>MATERIAL PREDOMINANTE</b> Concreto armado <input type="checkbox"/> Albañilería confinada <input type="checkbox"/> Fierro <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	<b>CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA</b> <b>EN PLANTA</b> Regular <input type="checkbox"/> Irregular <input type="checkbox"/> <b>EN ELEVACIÓN</b> Regular <input type="checkbox"/> Irregular <input type="checkbox"/> <b>ESTADO DE CONSERVACIÓN:</b> Bueno <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Malo <input type="checkbox"/>																							
<b>TIPO DE USO:</b> Fue afectada la vivienda en sismos anteriores: No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/>	<b>ANTIGÜEDAD EN AÑOS</b> De 0 a 2 <input type="checkbox"/> De 3 a 19 <input type="checkbox"/> De 20 a 49 <input type="checkbox"/> De 50 a más <input type="checkbox"/>	Material de techo: _____ N° de niveles: _____ N° de habitantes: _____ Tiene alero? <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Si Material _____																							
<b>CARACTERÍSTICAS DEL SUELO</b>		<b>PRINCIPALES ELEMENTOS ESTRUCTURALES QUE SE OBSERVAN</b>																							
<b>PENDIENTE DEL TERRENO</b> Baja (1-2%) <input type="checkbox"/> Medio (5-10%) <input type="checkbox"/> Fuerte (10-20%) <input type="checkbox"/> Muy fuerte (20% a más) <input type="checkbox"/>	<b>TIPO DE SUELO</b> Roca <input type="checkbox"/> Arcilla <input type="checkbox"/> Arena <input type="checkbox"/> Relleno sanitario <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>	Cimientos <input type="checkbox"/> Columnas <input type="checkbox"/> Muros portantes <input type="checkbox"/> Vigas peraltadas <input type="checkbox"/> Techos <input type="checkbox"/>																							
<b>INFORMACIÓN SOCIAL</b>																									
<b>NIVEL DE PREPARACIÓN ANTE UN SISMO DE GRAN MAGNITUD</b>		<b>OBSERVACIONES</b>																							
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;"></td> <td style="text-align: center;">SI</td> <td style="text-align: center;">NO</td> </tr> <tr> <td>1. ¿Tiene preparada su mochila de emergencia? _____</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>2. ¿Sabe usted y su familia que hacer en caso de sismo y tsunami? _____</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>3. ¿Reconoce usted y su familia la zona interior y exterior de seguridad? _____</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>4. ¿A participado usted de algún simulacro? _____</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>5. ¿Su vivienda es afectada por la humedad? _____</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>6. ¿La edificación contó con un profesional en el diseño y construcción? _____</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>7. ¿Cuenta con otra vivienda donde podría ir temporalmente? _____</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>				SI	NO	1. ¿Tiene preparada su mochila de emergencia? _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2. ¿Sabe usted y su familia que hacer en caso de sismo y tsunami? _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3. ¿Reconoce usted y su familia la zona interior y exterior de seguridad? _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4. ¿A participado usted de algún simulacro? _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5. ¿Su vivienda es afectada por la humedad? _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6. ¿La edificación contó con un profesional en el diseño y construcción? _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7. ¿Cuenta con otra vivienda donde podría ir temporalmente? _____	<input type="checkbox"/>
	SI	NO																							
1. ¿Tiene preparada su mochila de emergencia? _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																							
2. ¿Sabe usted y su familia que hacer en caso de sismo y tsunami? _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																							
3. ¿Reconoce usted y su familia la zona interior y exterior de seguridad? _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																							
4. ¿A participado usted de algún simulacro? _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																							
5. ¿Su vivienda es afectada por la humedad? _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																							
6. ¿La edificación contó con un profesional en el diseño y construcción? _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																							
7. ¿Cuenta con otra vivienda donde podría ir temporalmente? _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																							
<b>CROQUIS DE UBICACIÓN DEL LOTE</b>	<b>FOTO DE LA VIVIENDA</b>																								
																									

Fuente: Elaboración propia, tomado como referencia la ficha del verificador del INDECI.

# BALANCE DE FLUJO DE HUMEDAD Y VARIABILIDAD HIDROLÓGICA EN LA CUENCA AMAZÓNICA PERUANA

## WATER VAPOR FLUX BALANCE AND HYDROLOGIC VARIABILITY IN THE PERUVIAN AMAZON BASIN

ANAIS VILLACORTA GONZALES

Universidad Nacional Agraria La Molina  
Facultad de Ciencias  
anais.villacorta@gmail.com

Asesor: Dr. Jhan Carlo Espinoza Villar  
Área de Variabilidad y Cambio Climático

### Resumen

Esta investigación propone un modelo de balance de flujo de humedad que busca mejorar el entendimiento de los procesos atmosféricos que intervienen en los eventos de crecidas extraordinarias sobre la cuenca amazónica peruana. El modelo explica acertadamente los eventos de crecidas más importantes a partir de los años 80, con excepción de la crecida de 1999, la cual requiere de mayor investigación. Por otro lado, se encontró una correlación significativa entre la serie de caudales de creciente (marzo-mayo) de la estación Tamshiyacu (1970-2012) y la serie temporal del flujo de humedad proveniente del este. Finalmente se observa que los años de crecidas extraordinarias se caracterizan por presentar un retenido flujo de monzón que favorece la convergencia sobre la región amazónica peruana.

**Palabras clave:** flujos de vapor de agua, crecidas extraordinarias, cuenca amazónica peruana.

### Abstract

*This study proposes a water vapor flux balance model that aims to improve understanding of the atmospheric processes related to heavy floods on the Peruvian Amazon basin. The model explains the most important floods since 1980, with exception of 1999 which needs further investigation.*

*On the other hand, a significant correlation between discharge time series (March to May) at Tamshiyacu station (1970-2012) and eastern humidity flux time series has been found. Finally, it is observed that extreme flood years are characterized by a maintained monsoon flux which favors convergence over the Peruvian amazon region.*

**Keywords:** Water vapor flux, floods, Peruvian Amazon basin.

Villacorta, A. y Espinoza, J. (2013). Balance de flujo de humedad y variabilidad hidrológica en la cuenca amazónica peruana. En compendio de trabajos de investigación realizado por estudiantes durante el año 2012, Vol.14, IGP, Lima, Perú.



## 1. Introducción

Desde el punto de vista hidrológico, uno de los principales problemas que afrontan los ríos amazónicos es la ocurrencia de caudales extremos. Estudios científicos han documentado una intensificación de la frecuencia de los eventos extremos hidrológicos en la cuenca hidrológica del Amazonas a partir de la década de los 90 (Espinoza et al., 2009). De la misma manera, la cuenca amazónica peruana ha sido escenario de fuertes eventos de sequía como los ocurridos en los 1995, 1998, 2005 y 2010 (Espinoza et al., 2011), y de grandes crecidas como las ocurridas durante 1986, 1993, 1999 y 2012 (Espinoza et al., 2013), siendo ésta última especialmente desastrosa para la región amazónica peruana (Figura 1).

Si bien, se conocen a mayor profundidad los factores climáticos que intervienen en la ocurrencia de sequías sobre el conjunto de la cuenca, el origen de las crecidas es aún un tema poco investigado y que requiere de mayor análisis. Estudios previos han asociado la ocurrencia de fuertes inundaciones con el evento La Niña y teleconexiones atmosféricas asociadas (e.g. Marengo et al., 2011; Espinoza et al., 2013).

El presente trabajo propone un modelo de balance de flujo de humedad que busca mejorar el entendimiento de los procesos atmosféricos que intervienen principalmente en los eventos de crecidas extraordinarias sobre la cuenca amazónica peruana. En particular se analizan las anomalías en el transporte del flujo de vapor de agua durante los tres eventos de crecidas intensas (1986, 1999 y 2012) observados en la estación hidrométrica Tamshiyacu.

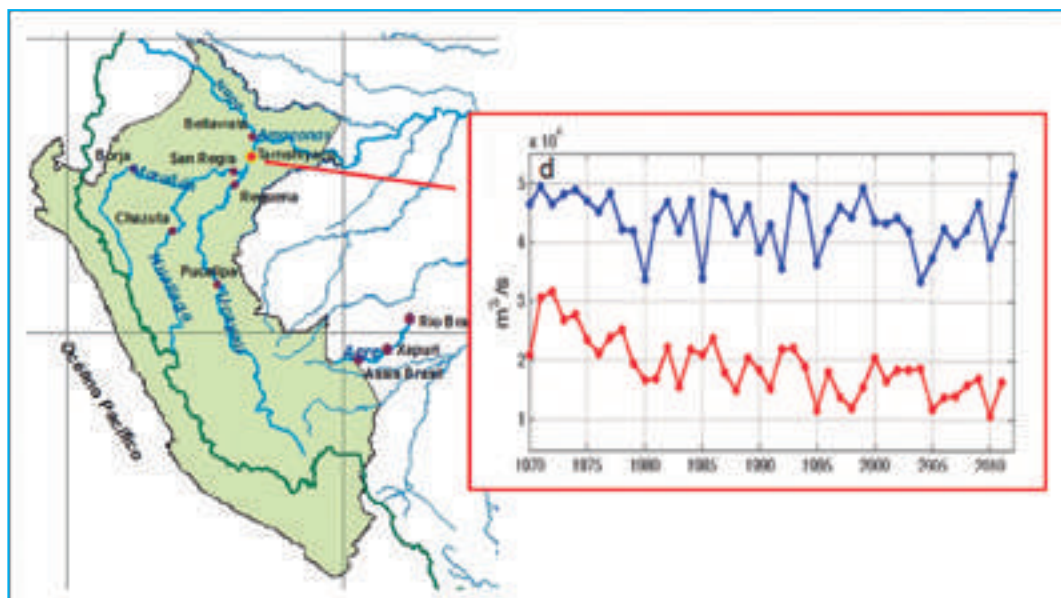


Figura 1. Promedio de caudales marzo-mayo (aguas altas) y agosto-octubre (aguas bajas) en la estación Tamshiyacu para el periodo 1970-2012. d) Tomado de Espinoza et al.,(2013).

## 2. Datos

En este estudio se utilizaron datos de caudales mensuales promedios de la estación hidrométrica Tamshiyacu ubicada sobre el río Amazonas en Perú (ver Figura 1), provenientes del ORE-HYBAM ([www.ore-hybam.org](http://www.ore-hybam.org)). Así también, se utilizó información de vientos meridionales y zonales, y de humedad específica a diferentes niveles de la atmósfera (1000 a 300hPa) a 2,5x2,5 grados de resolución proveniente de Reanálisis NCEP-NCAR. Se calculó el flujo de vapor verticalmente integrado entre 1000 y 300hPa (Peixoto y Oort, 1992),  $F_w$  está dado por: balance de

flujo de humedad y variabilidad hidrológica en la cuenca amazónica peruana .

$$F_w = \int_{300}^{1000} q \mathbf{V} dp / g \quad \dots(1)$$

Donde  $q$  es la humedad específica,  $\mathbf{V}$  es el vector viento,  $p$  es la presión y  $g$  es la aceleración de la gravedad.



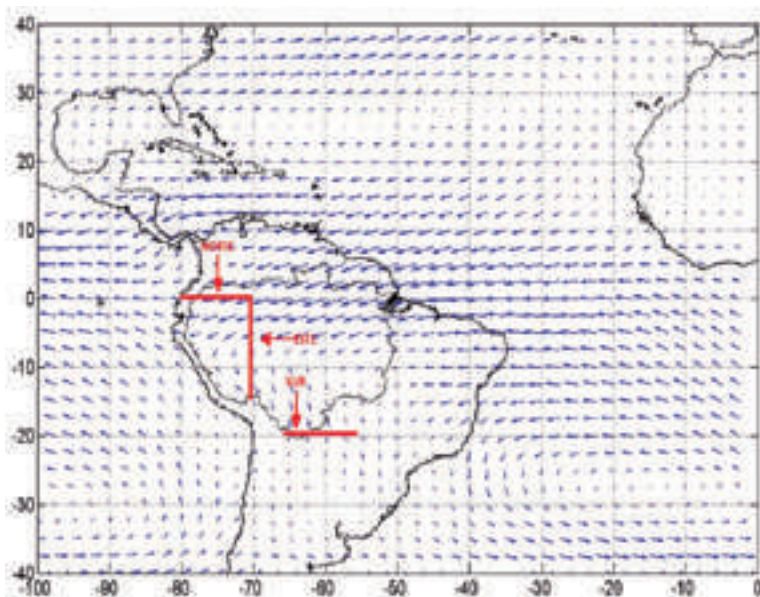


Figura 2. Flujo de vapor de agua medio mensual (EFM) integrado verticalmente (vectores,  $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) entre 1000 y 300 hPa para el periodo 1970-2011. Balance de flujo de humedad en la cuenca amazónica peruana (líneas rojas).

#### a. Modelo de balance del flujo de vapor de agua

La cuantificación de entradas y salidas del flujo de vapor de agua sobre la cuenca se realizó por componentes (Norte, Este y Sur) para los meses de octubre a marzo, computadas en una serie temporal (1970-2012). El transporte de vapor de agua en la cuenca ha sido simbolizado de la siguiente manera (Ver Figura 2): el promedio del Fw en una línea horizontal a  $0^\circ\text{S}$  y de  $80^\circ\text{W}$ - $70^\circ\text{W}$  representa el aporte de humedad por el Norte, el promedio del Fw en una línea vertical a  $70^\circ\text{W}$  y de  $0^\circ\text{S}$ - $15^\circ\text{S}$  representa el aporte de humedad por el Este y el promedio del Fw en una línea horizontal a  $20^\circ\text{S}$  y de  $65^\circ\text{W}$  a  $55^\circ\text{W}$  representa la salida de humedad por el Sur. El transporte de humedad en cada uno de las componentes (N, E y S) fue calculado por:

$$Tw(E) = - \iint (qu \, dp/g) dy \quad \dots(2)$$

$$Tw(N) = - \iint (qv \, dp/g) dx \quad \dots(3)$$

$$Tw(S) = \int (qv \, dp/g) dx \quad \dots(4)$$

Para mayores detalles ver Satyamurty et al. (2012).

Por otro lado, se hizo una correlación entre la serie de caudales de creciente en los meses de marzo, abril y mayo en la estación Tamshiyacu (1970-2012) y las series temporales del flujo de humedad para cada componente (Este, Norte y Sur) en los meses de octubre a marzo.

#### b. Análisis de anomalías en el transporte de humedad

Se calcularon las anomalías de transporte de vapor de agua promedio mensual integrado verticalmente (de 1000 a 300 hPa) para los trópicos americanos y los oceánicos adyacentes. Se escogieron años particularmente húmedos (1986, 1999 y 2012) de acuerdo a los caudales de la estación Tamshiyacu.

### 3. Resultados

#### a. Modelo de balance del flujo de vapor de agua

La Figura 3 muestra los flujos de vapor de agua estandarizados por componente donde se identifican los eventos de crecida en la estación Tamshiyacu (líneas verdes). Las anomalías positivas del Este (mayores a +4) y Norte (mayores a 0), se tomarán como entradas anormales de vapor de agua hacia la cuenca, mientras que las anomalías negativas (menores a +4 para el este y menores a 0 para el norte) serán tomadas como salidas. En el caso del componente Sur las anomalías positivas (mayores a -4) mayor salida de humedad desde la cuenca, mientras que las anomalías negativas (menores a -4) serán tomadas como humedad retenida dentro de la cuenca. El análisis del balance de flujo de humedad estará enfocado en las fuertes crecidas registradas a partir de los 80s. En la crecida de 1986, se observan aportes de humedad anómalos provenientes del Este. La componente Sur indica una retención del transporte de humedad en la Amazonía peruana (hay poca salida de humedad). En las crecidas de 1993 y 1994, los componentes del

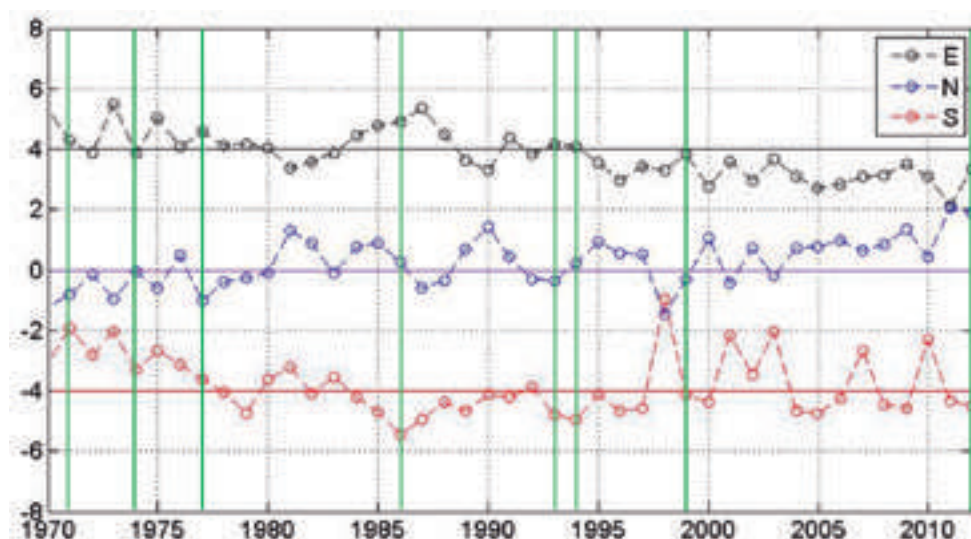


Figura 3. Series estandarizadas del flujo de vapor de agua de octubre a marzo para el periodo 1970-2012, expresadas por componentes:Este, Norte y Sur, según ecuaciones 2,3 y 4 respectivamente. Se le sumó +4 a las anomalías de la componente este y -4 a las anomalías de la componente sur. Las líneas verticales verdes corresponden a los años de crecida en la estación Tamshiyacu.

Este y Norte no muestran aportes significativos de humedad, no obstante la componente Sur indica una retención del flujo del monzón. En la crecida de 1999, no se observan aportes de humedad anómalos ni del Este ni del Norte. La componente Sur tampoco indica anomalías en el transporte de humedad.

Presenta aportes de humedad en la componente Este, si los presenta en la componente Norte. Podemos observar que la anomalía alcanza 2 veces la desviación estándar, lo que representa una entrada muy anómala de vapor de agua hacia la cuenca desde el Norte. A esto se le suma un componente Sur negativo, es decir que durante el 2012 la humedad quedó retenida dentro de la cuenca amazónica peruana.

Por último, la crecida de 2012, si bien no generando mucha convergencia.

La serie de caudales de creciente en la estación Tamshiyacu (marzo, abril y mayo) mostró una única significancia (0,33,  $p \leq 0,05$ ) con la serie temporal del flujo de humedad de la componente Este (octubre a marzo) para el periodo 1970-2012. Esto representa una dependencia entre ambas variables, sin embargo al analizar eventos puntuales de crecida (1986, 1993, 1994 y 2012) encontramos una reiterada componente Sur con anomalías negativas.

#### **b. Análisis de anomalías en el transporte de humedad**

En esta sección se analiza el flujo de vapor de agua en tres años de crecida (1986, 1999 y 2012) de los meses previos al pico de caudal en la estación Tamshiyacu, de octubre a diciembre (OND) y de enero a marzo (EFM). Ver Figura 4. Durante la primavera de 1985 (OND) se observa una retención

del flujo de humedad sobre la cuenca amazónica peruana proveniente del sur (Figura 4a). Así también se observa un flujo de humedad en dirección este que genera alta convergencia en el centro y este de Brasil (sombreado en gris Figura 4a). Durante los meses de verano (EFM), se destaca un flujo de humedad del sureste que converge en la noroeste de la cuenca Amazónica (Figura 4b), lo que explicaría la crecida ocurrida durante 1986.

En el periodo OND (1998) se observa un flujo de humedad de sureste a norte, generando convergencia en la Amazonía peruana (Figura 4c). Durante los meses de verano (EFM) esta circulación se intensifica con el aporte de vientos de Centroamérica favoreciendo altos niveles de convergencia y precipitación en el oeste, centro y noreste de la cuenca amazónica (Figura 4d).

Durante el periodo OND del 2011, un intenso flujo de humedad sobre el Atlántico subtropical Norte y el Atlántico tropical Norte, es desviado hacia el sur por el Caribe, incrementando la entrada de vapor de agua hacia el noroeste de Sudamérica y de la Amazonia. Por otro lado, en el sur se observa un anormal transporte de humedad en dirección norte deteniendo el sistema de Monzón (Figura 4e). Como consecuencia, la humedad queda retenida en la oeste de Cuenca Amazónica. Estas condiciones permanecen durante el verano favoreciendo la convergencia, convección e intensa precipitación en la Cuenca amazónica peruana (Figura 4f). De hecho, desde OND 2011 se observa una fuerte convergencia del flujo de humedad en el noroeste de la Amazonía que explica la intensa precipitación sobre esta región y sus excepcionales caudales desde Enero 2012 en el río Amazonas y el río Marañón (Espinoza et al., 2013).



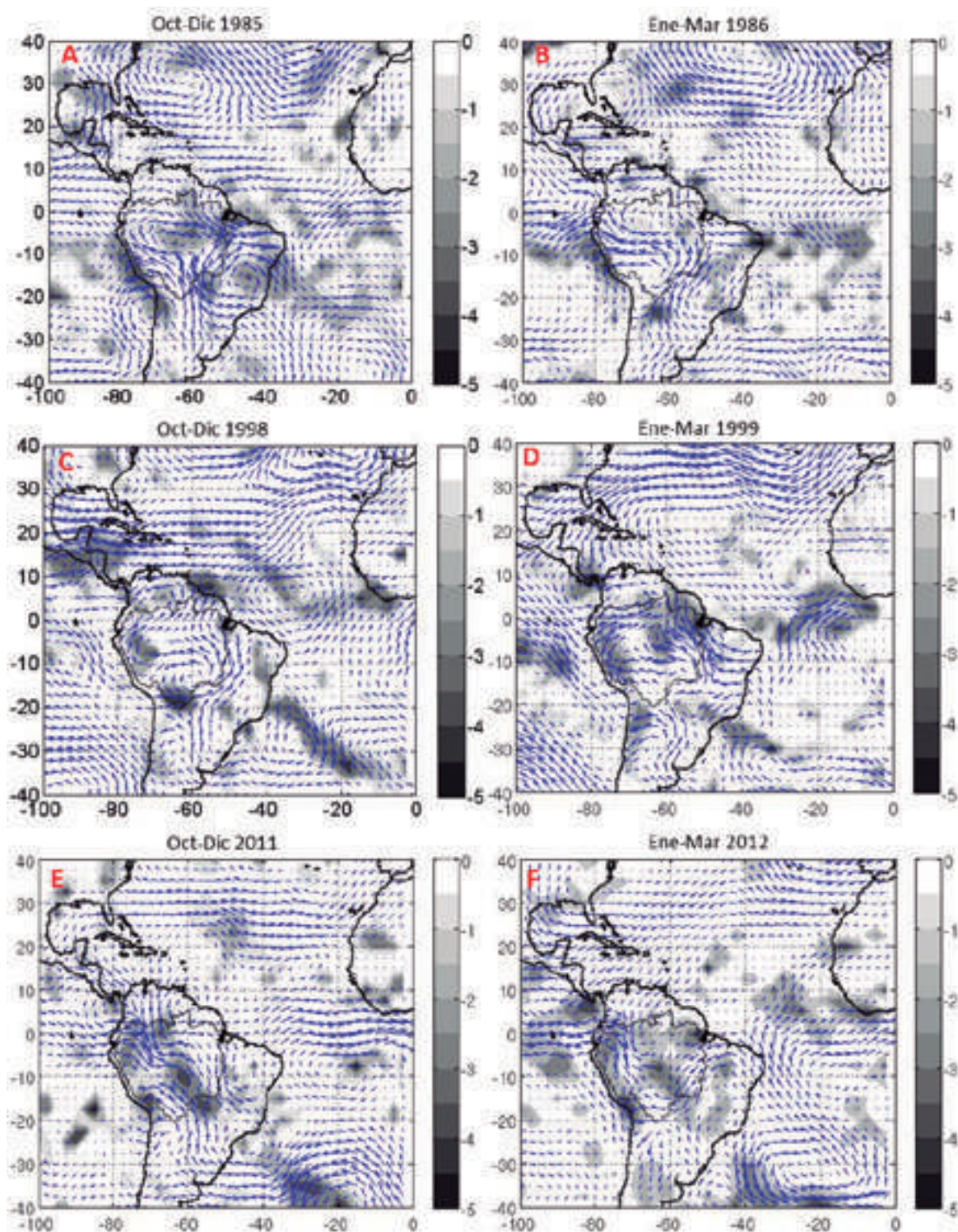


Figura 4. Anomalías del flujo de vapor de agua (vectores,  $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ) verticalmente integrado y valores estandarizados negativos de divergencia (áreas sombreadas) entre 1000 y 300 hPa. Se consideran los años de fuerte crecida: 1985-86 (a y b), 1998-1999 (c y d) y 2011-2012 (e y f). Sólo han sido potleados valores mayores a 1 vez la desviación estándar.

## 4. Conclusiones

Las series estandarizadas del flujo de vapor de agua mostraron distintos aportes de humedad (del Este, Norte y Sur) en cada uno de los eventos identificados como crecidas en la estación Tamshiyacu.

Existe una correlación significativa

( $r = 0,325$ ,  $p \leq 0,05$ ) entre la serie de caudales de creciente de Tamshiyacu y la componente Este, sin embargo las fuertes crecidas en Tamshiyacu (1986, 1993, 1994 y 2012) coinciden con poca salida de humedad desde Sur.

El modelo de balance de flujo de humedad permite explicar la ocurrencia de las crecidas extremas en la cuenca amazónica peruana, con excepción de la de 1999.

Las anomalías del transporte de humedad (en 1986, 1999 y 2012) muestran un comportamiento similar de la circulación atmosférica en la que existe un gran aporte de humedad del Atlántico Subtropical Norte que fluye en dirección oeste, que llega a Sudamérica desde el Caribe y entra por el norte a la cuenca amazónica peruana generando mucha convergencia. Además se observa en los tres eventos una débil retención del flujo del sur que representa un flujo del monzón retenido.

## 5. Agradecimientos

Al Instituto Geofísico del Perú por brindarme las facilidades para desarrollar la presente investigación.

De manera muy especial, al Dr. Jhan Carlo Espinoza Villar por su orientación y apoyo en todo momento durante el desarrollo de la tesis.

Al Institut de Recherche pour le Développement (IRD) y al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) por contribuir en la recolección de datos hidrológicos.

A la Dra. Josyane Rochail por sus observaciones y sugerencias.

Al personal del área de variabilidad y cambio climático por su colaboración y acogida.

## 6. Bibliografía

Espinoza, J.C., J. L. Guyot, J. Ronchail, G. Cochonneau, N. Filizola, P. Fraizy, D. Labat, E. de Oliveira, J. J. Ordoñez, P. Vauchel. (2009). Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974-2004). *Journal of Hydrology* 375: 297–311.

Espinoza, J. C., J. Ronchail, J. L. Guyot, C. Junquas,

(2011). Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): Understanding the exceptional 2010 drought, *Geophysical Research Letters*, 38(13), 1-6, doi:10.1029/2011GL047862.

Espinoza J. C., J. Ronchail, F. Frappart, W. Lavado, W. Santini and J. L. Guyot. (2012). From drought to flooding: understanding the abrupt 2010-2011 hydrological annual cycle in the Amazonas River and tributaries. *Env. Res. Lett.* 7 024008. doi: 10.1088/1748-9326/7/2/024008.

Espinoza J. C., J. Ronchail, F. Frappart, W. Lavado, W. Santini and J. L. Guyot. (2013). The major floods in the Amazonas River and tributaries (western amazon basin) during the 1970-2012 period: a focus on the 2012 flood. In Press, *Journal of Hydrometeorology*. doi: 10.1175/JHM-D-12-0100.1

Satyamurty P., Wanzeler da Costa CP., Manzi AO. (2012). Moisture source for the Amazon Basin: a study of contrasting years. *Theor. and App. Clim.*, 1974, doi:10.1007/s00704-012-0637-7.

Marengo, J. A., Tomasella, J., Soares, WR., Alves, LM., Nobre C. (2011). Extreme climatic events in the Amazon basin, *Theoretical and Applied Climatology*, doi:10.1007/s00704-011-0465-1.

Peixoto JP, Oort AH. (1992). *Physics of climate*. American Institute of Physics, New York, 520 pp.

# ESTUDIO DE TENDENCIAS DE LA ALTURA DE LA DENSIDAD MÁXIMA DE ELECTRONES EN LA REGIÓN F SOBRE JICAMARCA

## A LONG-TERM TREND STUDY OF THE F-REGION PEAK HEIGHT ABOVE JICAMARCA

ENRIQUE LUIS ALFONSO ROJAS VILLALBA

Pontificia Universidad Católica del Perú  
Facultad de Ciencias e Ingeniería  
e.rojasv@pucp.edu.pe

Asesor: Dr. Marco Milla  
Área de Aeronomía

## Resumen

Alrededor de 30 años atrás, algunos estudios de tendencias a largo plazo basados en modelos numéricos, postularon que debido al aumento de la concentración de ciertos gases de efecto invernadero, se produciría un enfriamiento y encogimiento de la región F de la ionósfera (Roble, 1989). A pesar de múltiples intentos de corroborar estas predicciones, hasta ahora no hay evidencia suficiente apoyando esta conjetura. La razón para esto no es la falta de mediciones ni la estimación de tendencias, que es relativamente sencilla de efectuar, sino, la determinación correcta de las incertidumbres estadísticas en éste análisis.

Para verificar esta predicción, se ha realizado un estudio de la altura de la densidad máxima de la región F utilizando los datos producidos por la ionosonda del Radio Observatorio de Jicamarca. Las mediciones se extienden desde 1993 hasta 2012.

En este trabajo, primero se discutirá el criterio utilizado para armar las series de tiempo a partir de los datos obtenidos, para luego presentar el procedimiento aplicado para determinar la tendencia en el región F, que es similar al usado por Ulich (1997). Además se discutirá la precisión de este estimado, siguiendo la técnica propuesta por Weatherhead (1998), que considera posibles correlaciones en la serie de tiempo.

**Palabras clave:** Tendencias, Ionósfera, hmf2

## Abstract

*About 30 years ago, some long-term trend studies based on numerical models predicted that an increment in the concentration of trace gases in the Earth's atmosphere can produce the cooling and shrinking of the F-region ionosphere (e.g., Roble, 1989). Despite the multiple attempts to corroborate these predictions, until now, there is no definite evidence supporting this claim. The reason for this is not the lack of measurements neither the estimation of the trends which is relatively straightforward, but, the correct determination of the statistical uncertainties in the estimated trends which is far from trivial.*

*In order to verify this prediction, we have carried out a long-term trend study of the F-region peak height (hmF2) based on measurements collected by an ionosonde system located at the Jicamarca radio observatory (Lima, Peru). The data set used in this study extends from 1993 to 2012.*

*In this work, we first discuss the criteria used to classify and select the data, and then, we present the procedure applied to determine the F-region trend, method that is similar to the one used by Ulich (1997). In addition, we discuss the accuracy of the estimated trend that has been determined following the technique proposed by Weatherhead (1998), technique that considers possible correlations in the data time series.*

**Keywords:** Trends, Ionosphere, hmf2

Rojas, E. y Milla, M. 2012. Estudio de tendencias de la altura de la densidad máxima de electrones en la región f sobre Jicamarca. En compendio de trabajos de investigación realizado por estudiantes durante el año 2012, Vol.14, IGP, Lima, Perú.



## 1. Introducción

Los efectos del aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero en la tropósfera, son bien conocidos por todo el mundo. Sin embargo, existen consecuencias de este incremento en la alta atmósfera también. Estos efectos no son tan conocidos, comenzaron a postularse con Fels (1980), para que luego Roble (1989) y Rishbeth (1992) desarrollaran modelos numéricos que les permitan investigar cuales eran las consecuencias del aumento de CO<sub>2</sub> en la alta atmósfera, y descubrieron que mientras el efecto invernadero producía un calentamiento en la baja atmósfera, en la alta atmósfera se debería apreciar un enfriamiento global de alrededor de 40K.

Entre las predicciones realizadas a partir de estos cálculos, la que nos interesa en este trabajo es la de la disminución de la altura de la densidad máxima de electrones o hmf2, por efectos de contracción de la termósfera debido al enfriamiento global.

Existen varios problemas con la medición y la interpretación de tendencias de éste parámetro, principalmente relacionadas con el cálculo de la incertidumbre asociada a la tendencia medida, y a la manera de extraer los efectos seculares que se encuentran en la serie de tiempo.

## 2. Desarrollo

En esta sección se comentará de manera muy resumida cuales son los tópicos más importantes del desarrollo del trabajo.

### 2.1 Estudio de las bases teóricas

Para entender bien el problema de la medición de tendencias de hmf2, era necesario primero estudiar la física detrás de las mediciones con la ionosonda, es decir, de qué manera se puede extraer información útil sobre hmf2 a partir de las ondas electromagnéticas que viajan a través del plasma de la ionósfera.

Luego, era vital entender el proceso de formación de la ionósfera y la dinámica básica que rige la formación de la densidad máxima de electrones. Esto implicaría estudiar la ecuación de continuidad donde los términos de transporte son tan importantes como los de ionización.

Por último, comprender los alcances y supuestos de las simulaciones que comenzaron con este campo de estudio (Roble, 1989; Roble

y Rishbeth, 1992) así como los modelos más actuales (Qian, 2009).

En el camino de buscar la mejor manera de estimar el error asociado a la tendencia de la serie de tiempo de hmf2, se revisaron varias posibles técnicas, aunque finalmente se eligió utilizar los resultados de Weatherhead (1998).

### 2.2 Adquisición de datos

Para construir las series de tiempo, se utilizaron las mediciones realizadas por el sistema de la ionosonda del ROJ "Digison-de" diseñado por la universidad de Michigan en Lowell. Estas mediciones se han realizado aproximadamente cada 15 minutos desde 1993 hasta el día de hoy (aunque para el trabajo se tomaron los datos hasta el 2012).

Se desarrolló una aplicación en Python para extraer los valores de hmf2, así como su coordenada temporal. Después de probar diversas alternativas, se decidió seguir el método de Bremer (1992) y Ulich (1997) el cual consiste en tomar las medianas diarias en ventanas de aproximadamente 4 horas. De esta forma se obtuvo una serie de tiempo de datos diarios que se extiende desde 1994 hasta finales del 2012. Podemos apreciar la serie de tiempo de las medianas sin haber sufrido ningún procesamiento aún en la Figura 1.

### 2.3 Procesamiento de datos

Luego de haber construido la serie de tiempo de hmf2, se debe desarrollar una técnica para eliminar los efectos causados por fenómenos que no son parte de nuestro interés. Ya que el objetivo es encontrar tendencias en hmf2 debido al efecto invernadero, los efectos de la actividad solar deben ser removidos, así como los de la actividad geomagnética. Entre los diferentes parámetros que existen para medir estos efectos, los más utilizados (Lastovicka, 2012) son F10,7cm para la actividad solar y Ap para modelar la actividad geomagnética. Además se pueden identificar períodos anuales y semianuales (Rishbeth, 2000) que deben ser removidos de la serie de tiempo.

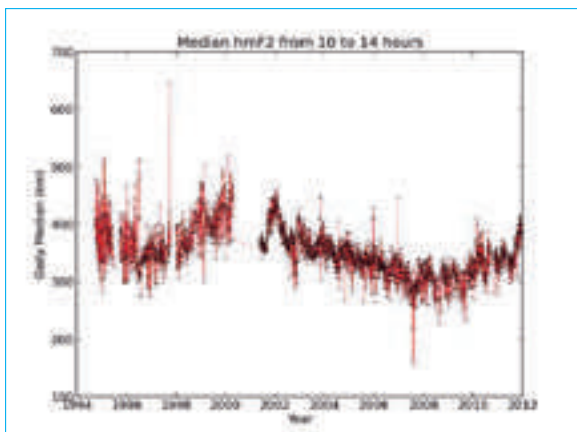


Figura 1. Serie de tiempo de las medianas de hmf2 entre las 10 y 14 horas.

Basándose en Bremer (1992), Ulich y Clilverd (Lastovicka, 2006) estudiaron más de 200 modelos que incluían los parámetros mencionados, y encontraron que el que presentaba mejor correlación lineal es el siguiente:

$$M(t) = x_0 + x_1 t + x_2 F_o(t) + x_3 \sin(\omega_a t) + x_4 \cos(\omega_a t) + x_5 \sin(\omega_s t) + x_6 \cos(\omega_s t)$$

Donde M representa el modelo empírico para fof2 (frecuencia máxima en la capa F2), Fo el parámetro F10,7cm, y los omega representan la frecuencia anual y semianual de los ciclos de variación debido a la estructura global de los vientos.

Ya que hmf2 es particularmente sensible a la actividad geomagnética, se decidió incluir la serie de Ap. De esta manera, nuestro modelo empírico se definió como:

$$hmf2'(t) = M(t) + x_7 Ap(t)$$

Luego, decimos que si el modelo planteado representa el comportamiento a largo plazo de los fenómenos mencionados, podemos decir que le diferencia

$$\Delta hmf2(t) = hmf2 - hmf2'$$

es la serie de tiempo que representa los cambios de hmf2 causados por la contracción.

Luego de estimar la pendiente de esta serie de tiempo utilizando mínimos cuadrados, y teniendo en cuenta que por tratarse de datos climáticos ya presentan indicios de memoria

(Tiao, 1990), recurrimos a los resultados de Weatherhead (1998) para estimar la incertidumbre asociada a la pendiente omega:

$$\sigma_\omega = \frac{\sigma_N}{n^{3/2}} \sqrt{\frac{1+\varphi}{1-\varphi}}$$

donde  $\sigma_N$  se refiere a la desviación estándar de los errores del ajuste lineal, n el número de días de data y  $\varphi$  representa la autocorrelación en los errores del ajuste.

Es importante indicar que se están omitiendo algunos procedimientos que fueron necesarios realizar. Por ejemplo, durante los casi 18 años de datos, se hicieron varias interrupciones, incluso se puede reconocer en el año 2000, una muy importante de casi un año, relacionada a una actualización del sistema y al algoritmo de inversión. Vemos que es claro que la actualización del sistema se generó en un pequeño desplazamiento en la serie de tiempo. En la Figura 2 se muestra la serie de los residuos de hmf2 antes y después de haber sido procesada con un filtro de Savitzky-Golay para apreciar más claramente el desplazamiento.

Este corrimiento es usual cuando se cambia equipos de medición y de no incluirse en el modelo, pueden crear tendencias que no existen. Además, cualquier cambio al sistema de medición viene con un aumento de la incertidumbre en los parámetros calculados.

Esta y otras consideraciones fueron tomadas en cuenta en el trabajo de tesis.

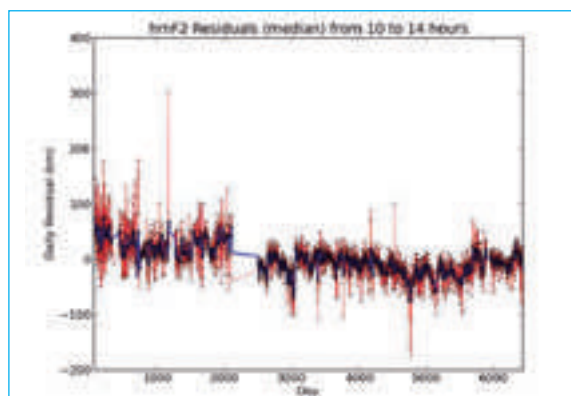


Figura 2. Serie de tiempo de los residuos de hmf2 con un filtro de Savitzky-Golay

### 3. Resultados

El resultado más representativo (por la capacidad de modelamiento) podría ser el de la serie de tiempo de las medianas entre las 10 y 14 horas. Podemos ver

en la Figura 3 la serie de tiempo final con un ajuste para el desplazamiento.

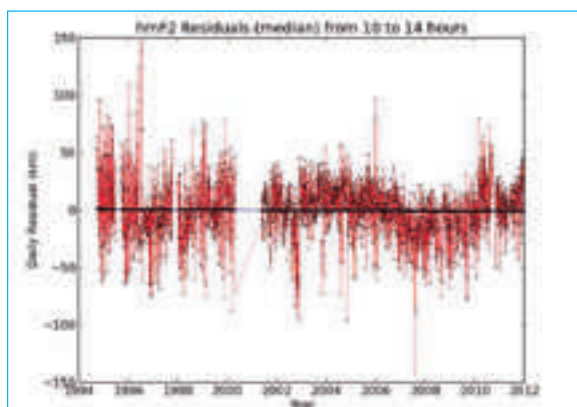


Figura 3. Serie de tiempo de los residuos de hmf2 y la recta de ajuste con una pendiente de  $-0.105\text{km/año}$

En este caso se obtuvo una pendiente de  $-0,105\text{ km/año}$  con una incertidumbre de  $0,045\text{ km/año}$  y una autocorrelación de  $0,485$ .

El modelo desarrollado por Qian (2009), que utiliza estimaciones del 2007 realizadas por el IPCC de alrededor de  $730\text{ppm}$  para el 2100, arroja una variación de  $10\text{km}$  para la ionósfera sobre el ROJ.

Teniendo en cuenta la pendiente hallada en nuestra serie de tiempo, vemos que el estimado de Qian se ajusta bastante bien a nuestras mediciones.

## 4. Discusión

Existen algunas consideraciones que se tienen que recalcar. Primero, respecto a las escalas de tiempo, lo recomendable sería trabajar con series de hmf2 de más de 2 ciclos solares (Bencze, 2007). Sin embargo, el hecho de que el proceso de inversión sea realizado de manera digital y automática presenta una ventaja importante.

Luego, es importante reconocer que la debilidad más fuerte del análisis se encuentra en la manera de extraer los efectos seculares. Si bien el método utilizado en este trabajo tiene un sustento estadístico, está lejos de ser completamente causal.

Por otro lado, Lastovicka (2012) reconoce que los últimos estudios indican que sería necesario tomar en cuenta otros fenómenos en el modelo empírico, como la influencia el vapor de agua o la posibilidad de tendencias no lineales.

Por último, a pesar que el proceso de inversión automático de la ionosonda digital es por lo general superior al manual, no se tienen estimaciones de los errores asociados a la inversión del parámetro hmf2.

## 5. Conclusiones

La actualización del hardware y el software de la ionosonda, insertó una tendencia ficticia y una incertidumbre que se debe tomar en cuenta para el cálculo final.

La metodología utilizada para analizar las series de hmf2, arrojó valores similares a los estimados con los modelos numéricos más actuales.

Los datos del ROJ pueden utilizarse para estudiar las consecuencias del efecto invernadero en la ionósfera.

## 6. Recomendaciones

Es necesario desarrollar series de tiempo más grandes, debido a que la actividad solar afecta mucho a los valores que puede tomar hmf2.

Se necesita analizar la posibilidad de modelar el error del ajuste lineal con modelos  $AR(n)$  con  $n > 1$  y la utilización de tendencias no lineales en el modelo empírico.

Para obtener resultados más robustos, se recomienda utilizar los datos de otras ionosondas digitales.

## 7. Agradecimientos

Al IGP por la oportunidad de realizar este trabajo, y apoyarme con los recursos necesarios.

Al Dr. Chau por recibirme en el Radio Observatorio de Jicamarca y por todas sus recomendaciones.

Al Dr. Milla por asesorarme en este trabajo con paciencia, buenas ideas y mucha motivación

A todo el personal del ROJ por el apoyo y la camaradería.

## 8. Bibliografía

Fels, S. B., Mahlman, J. D., Schwarzkopf, M. D., & Sinclair, R. W. (1980). Stratospheric sensitivity to perturbations in ozone and carbon dioxide: Radiative and dynamical response. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 37(10), 2265-2297.

Roble, R. G., & Dickinson, R. E. (1989). How will changes in carbon dioxide and methane modify the mean structure of the mesosphere and thermosphere?. *Geophysical Research Letters*, 16(12), 1441-1444.

Rishbeth, H. (1990). A greenhouse effect in the

ionosphere?. *Planetary and Space Science*, 38(7), 945-948.

Tiao, G. C., Reinsel, G. C., Xu, D., Pedrick, J. H., Zhu, X., Miller, A. J., ... & Wuebbles, D. J. (1990). Effects of autocorrelation and temporal sampling schemes on estimates of trend and spatial correlation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 95(D12), 20507-20517.

Rishbeth (1992). *Cooling of the Upper Atmosphere by Enhanced Greenhouse Gases: Modelling of Thermospheric and Ionospheric Effects*, *Planetary Space Science*.

Bremer (1992). Ionospheric Trends in Mid-Latitudes as a Possible Indicator of the Atmospheric Greenhouse Effect, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*.

Ulich, T., & Turunen, E. (1997). Evidence for long-term cooling of the upper atmosphere in ionosonde data. *Geophysical Research Letters*, 24(9), 1103-1106.

Weatherhead, E. C., Reinsel, G. C., Tiao, G. C., Meng, X. L., Choi, D., Cheang, W. K., ... & Frederick, J. E. (1998). Factors affecting the detection of trends: Statistical considerations and applications to environmental data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 103(D14), 17149-17161.

Rishbeth, H., Müller-Wodarg, I. C. F., Zou, L., Fuller-Rowell, T. J., Millward, G. H., Moffett, R. J., ... & Aylward, A. D. (2000, August). Annual and semiannual variations in the ionospheric F2-layer: II. Physical discussion. In *Annales Geophysicae* (Vol. 18, No. 8, pp. 945-956). Springer-Verlag.

Lastovicka (2006). Long-Term Trends in foF2: A Comparison of Various Methods, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*.

Bencze (2007). What Do We Know of the Long-Term Change of the Earth's Ionosphere?, *Advances in Space Research*.

Qian, L., Burns, A. G., Solomon, S. C., & Roble, R. G. (2009). The effect of carbon dioxide cooling on trends in the F2-layer ionosphere. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*

Lastovicka (2012). Trends in the Neutral and Ionized Upper Atmosphere, *Space Science Reviews*.

# MODELAMIENTO NUMÉRICO DE UNA ONDA DE ROTURA DE PRESA Y SU ESTIMACIÓN DE RIESGO EN YURACMAYO

NUMERICAL MODELING OF A DAM BREAK WAVE AND RISK ESTIMATION IN YURACMAYO

YONATAN ANIBAL BUSTAMANTE HUAMÁN

Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Facultad de Ciencias Físicas  
Yonatan\_bh10@hotmail.com

Asesor: Dr. Hernando Tavera  
Área de Sismología

## Resumen

En el presente trabajo se hace una descripción de la metodología a seguir para la simulación de una rotura de presa de tierra y la inundación que ésta genera. Para ello, se consideran aspectos como el mecanismo del rompimiento, el desplazamiento de la onda de rotura, la elaboración de los mapas de inundación, la evaluación del riesgo, planes de contingencia, entre otros. Para realizar esta simulación se utilizará el modelo matemático HEC-RAS y su interacción con el software ArcGIS.

**Palabras clave:** Presa, modelo matemático, simulación numérica, rotura, riesgo, inundación, onda, HEC-RAS.

## Abstract

*In the present work it has one description of the methodology for the simulation of the dam break of earth and the floods that it generated, for this has considerate different aspects such as breaking mechanism, displacement of the wave energy, elaboration of the flood maps, the evaluation of risk, the contingency plans and others. For this simulation uses a mathematical model contained in HEC-RAS and its interaction with ArcGIS Software.*

**Keywords:** Dam, mathematical model, numerical simulation, break, risk, flood, wave, HEC-RAS



## 1. Introducción

En el mundo existen diversos tipos de presas caracterizadas por su tamaño y geometría, estando miles de ellas operativas por décadas. Estas presas son necesarias para el desarrollo de los países, pero también pueden llegar a representar un gran peligro si se produce su colapso.

El rompimiento de una presa es un problema que se a dado a lo largo de la historia y las consecuencias de este suceso son la pérdida de vidas humanas y millones de dólares en pérdidas materiales, tal como ocurrió con la presa Teton en los Estados Unidos, que en junio de 1976, sufrió una falla en su muro, produciendo su rompimiento. Una forma de anticiparse a este evento, es proponer un modelo, que luego de ser simulado, muestre de manera detallada, tanto espacial como temporal, las características de la ruptura de la presa y a la vez, mostrar el escenario del avance del agua.

Hoy en día, con el avance de la informática y la gran velocidad de respuesta de los ordenadores, es posible generar un modelo para simular una rotura de presa de tierra y esto es gracias a modelos matemáticos que muchas instituciones internacionales crean y mejoran cada día, uno de los modelos más reconocidos actualmente es el HECRAS que permite realizar la simulación del rompimiento de una presa y el análisis de inundación.

El modelo ha desarrollarse se aplicará a la presa de Yuracmayo, de gran importancia para la ciudad de Lima. Para realizar este estudio se utilizará el modelo matemático HEC-RAS y para el análisis de riesgo, se utilizará el software ArcGIS.

## 2. Desarrollo

### 2.1 Clasificación de flujos en canales abiertos

#### Flujo permanente

En un canal abierto un flujo es permanente si la profundidad de flujo no cambia o se supone constante durante un intervalo de tiempo.

#### Flujo no permanente

En un canal abierto un flujo es no permanente si la profundidad de flujo cambia con el tiempo. Por ejemplo en crecientes y oleadas que son casos comunes de flujo no permanente.

#### Flujo uniforme

Un flujo en canales abiertos es uniforme si la profundidad de flujo no cambia en cada sección

transversal de canal. Puede ser permanente y no permanente según sea el caso.

#### Flujo variado

El flujo en canales abiertos es variado si el flujo cambia a lo largo del canal.

#### Flujo gradualmente variado

Un flujo es gradualmente variado si la profundidad del agua cambia de manera suave en distancias comparativamente cortas. Puede ser permanente y no permanente según sea el caso.

#### Flujo rápidamente variado

Un flujo es rápidamente variado si la profundidad del agua cambia de manera abrupta en distancias comparativamente cortas. Por ejemplo resalto hidráulico y la caída hidráulica. Puede ser permanente y no permanente según sea el caso.

## 2.2 Ecuaciones de Saint-Venant

Las ecuaciones que gobiernan el movimiento del agua en lámina libre en régimen no permanente en una dimensión, reciben el nombre de ecuaciones de Saint-Venant. Estas ecuaciones son las de continuidad, conservación de masa y la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento, todas constituyen el fundamento matemático del software HEC-RAS y de otros modelos similares.

Ecuación de conservación de la masa

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0$$

Ecuación de cantidad de movimiento o momentum :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0$$

## 2.3 Funcionamiento del Programa HEC-RAS

El programa HEC-RAS considera un modelo hidráulico unidimensional desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center, HEC, del cuerpo de

ingenieros de la armada de los EE.UU). Es una aplicación que permite la modelación hidráulica en régimen permanente y no permanente unidimensional, gradualmente variado en lámina libre de cauces abiertos, ríos y canales artificiales. HEC-RAS permite el cálculo en régimen variable y resuelve las ecuaciones de Saint Venant completas mediante el método de diferencias finitas implícitas utilizando el esquema de Preissmann.

### 2.3.1 Características del HEC-RAS

Entre las características técnicas más importantes del HEC-RAS se tiene:

Realiza el cálculo hidráulico de estructuras (puentes, aliviadores, alcantarillas, etc.)

Permite la visualización gráfica de datos y resultados.

Permite la edición gráfica de secciones transversales.

HEC-RAS permite simular la rotura de presas, así también se puede combinar la rotura de diferentes tipos de presas en la misma simulación, incluso situarse en diversos causas, establecer variados regímenes de funcionamiento de compuertas y diferentes modalidades de rotura para cada una de las presas. También es capaz de simular distintas geometrías de brechas y tiempos de rotura.

Con la ayuda del ArcGis y Hec GeoRas se pueden construir mapas de inundaciones.

## 3. Aplicación del modelo

### 3.1 Área de estudio

El embalse de Yuracmayo (figura 1) se encuentra localizado en la naciente del río Blanco, tributario de la margen izquierda del río Rímac a unos 120 km al Este de Lima y a 4315 m.s.n.m. aproximadamente en la latitud 11,84° S y la longitud 76,15° W. La represa se encuentra a unos 500 m aguas arriba de la población de Yuracmayo, distrito de San Mateo, provincia de Huarochiri, departamento de Lima.



Figura 1. Embalse de Yuracmayo

El área de estudio a considerarse en el modelamiento está delimitado desde la laguna y presa Yuracmayo hasta la confluencia del río Rímac y el río Blanco, tal como se muestra en la Figura 2.

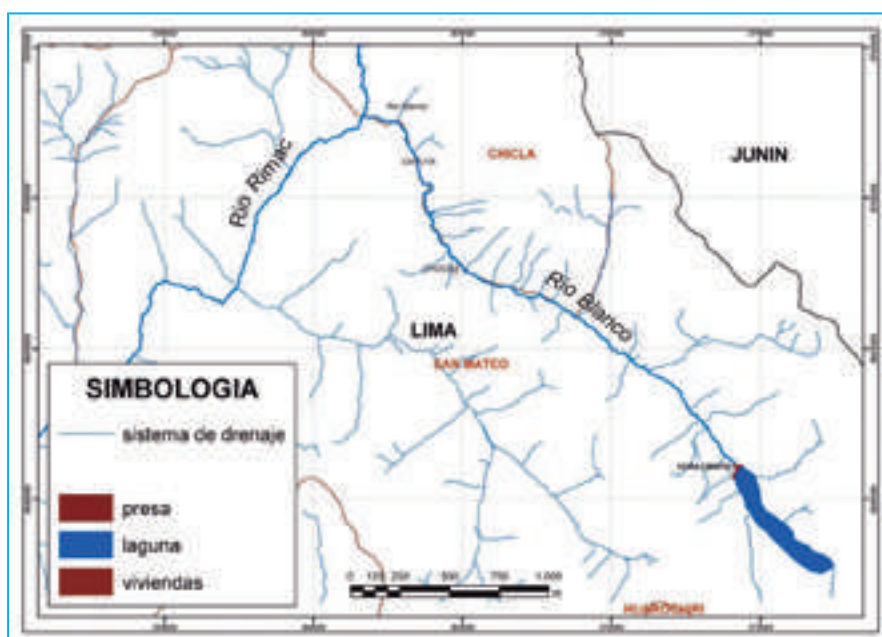


Figura 2. Ubicación y extensión del área de estudio

### 3.2 Simulación de la onda de avenida generada por la rotura de presa

- **Obtención de un MDT en formato TIN**

Inicialmente, se procedió a buscar la información topográfica de la zona de Yuracmayo, provincia de Huarochirí, departamento de Lima (Hoja de Matucana

del IGN 24-k). La fuente utilizada según, el IGN con mapas a escala 1:100000 y la de COFOPRI a la escala 1:25000, esta última se muestra en la Figura 3.

Seguidamente, con la información disponible, se generaron mapas de elevación digital del tramo del río en estudio, tal como se muestra en la Figura 4.

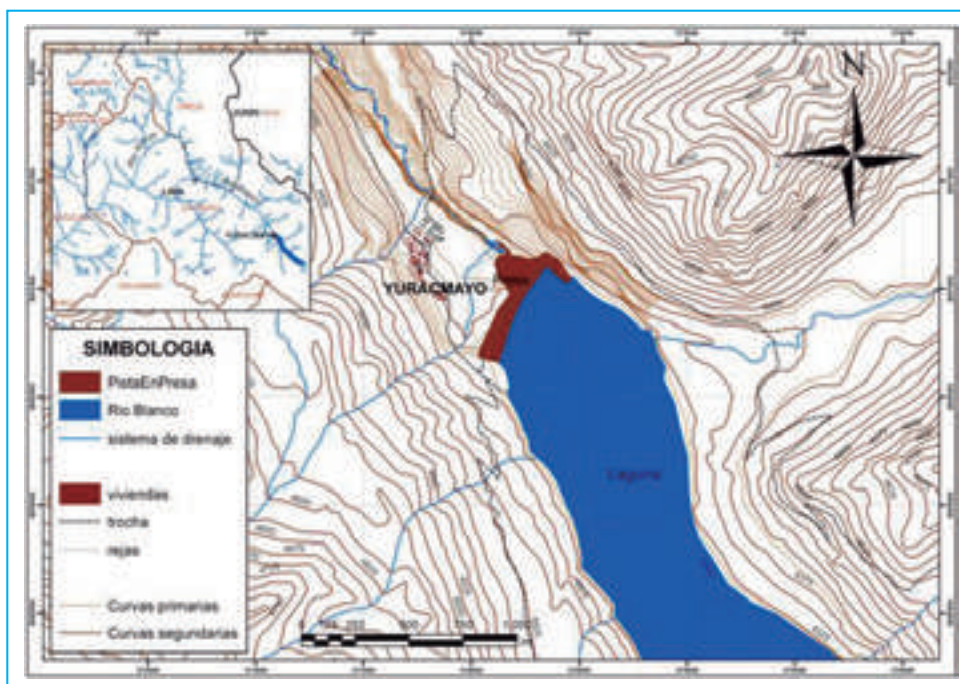


Figura 3. Curvas de nivel de la zona de estudio, Río Blanco.

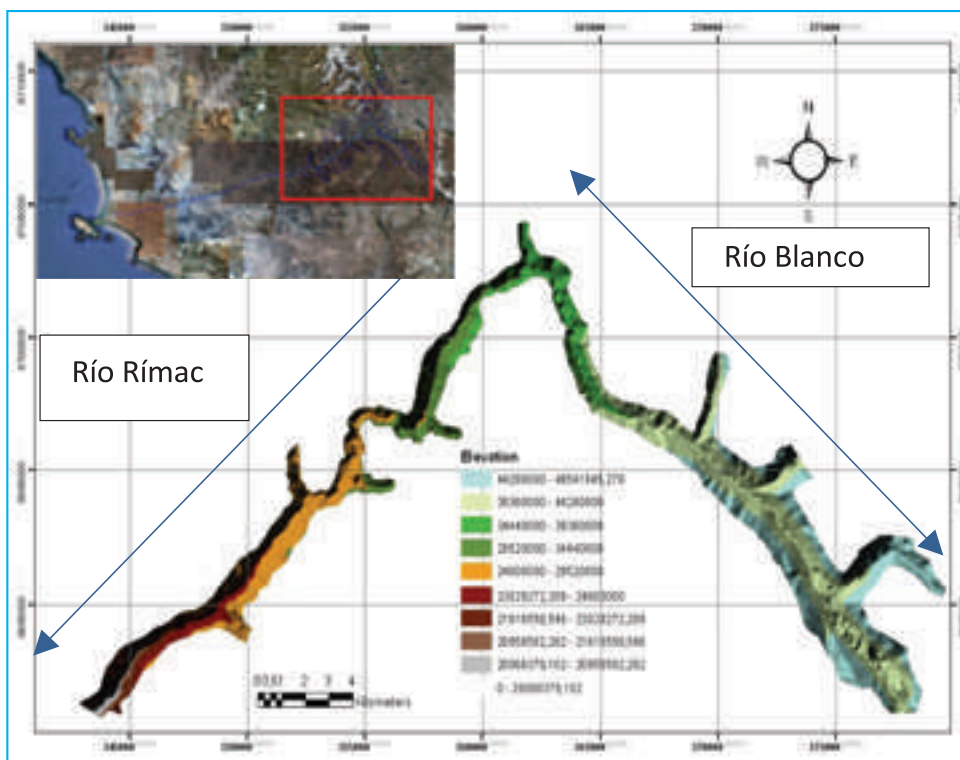


Figura 4. Imagen TIN delimitando la zona de estudio, río Blanco y río Rímac



### 3.3 Procedimiento para la simulación

A continuación, a modo de resumen se presenta un esquema (figura 5) con los pasos seguidos para realizar la simulación de rotura de presa:

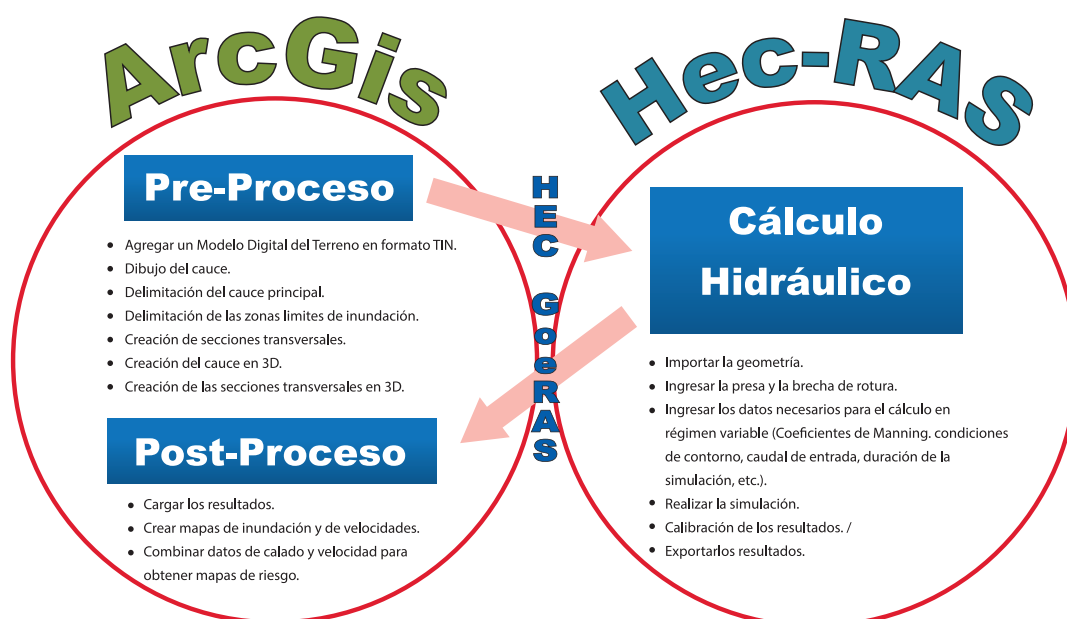


Figura 5. Procesos para realizar el modelamiento numérico.

Los procedimientos en el pre-proceso son:

- Añadir un modelo digital del terreno en formato TIN (Triangulated Irregular Network).
- Dibujo del cauce.
- Dibujo de "banks": delimitación del cauce principal.
- Dibujo de "flowpaths": zonas donde proveemos que circulará el cauce principal, como las llanuras de inundación.
- Creación de secciones transversales.
- Creación de cauce en 3D a partir del cauce que hemos creado del mapa TIN.
- Creación de secciones transversales en 3D de forma perpendicular al cauce, tal como se observa en la Figura 6.
- Los datos se exportan al HEC-RAS.
- Cálculo hidráulico con el HEC-RAS
- Se importan los datos, desde el HEC-RAS.
- Cargado de datos en el HEC-RAS, tal como se muestra en la figura 7.

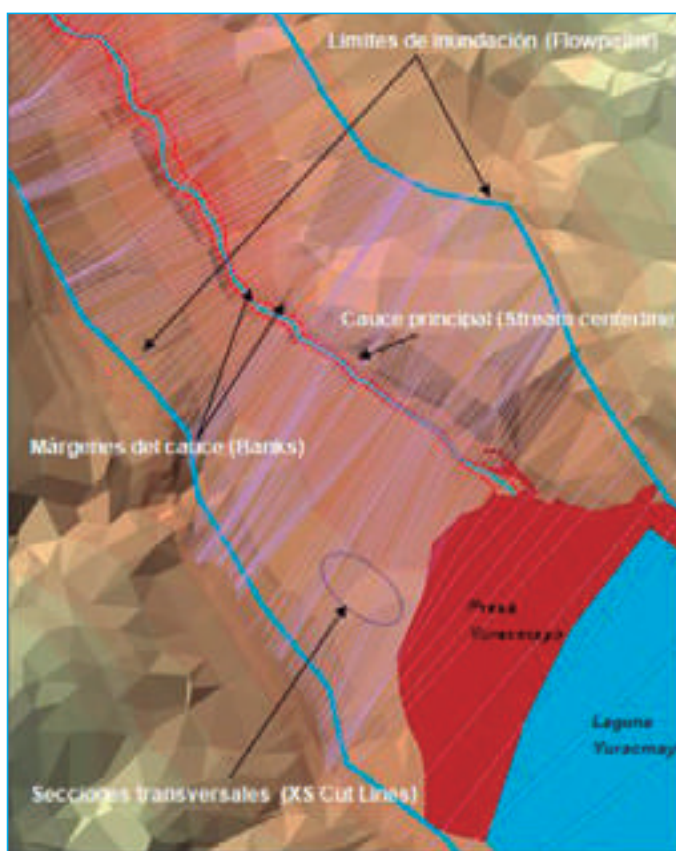


Figura 6. Elementos necesarios para definir la geometría y topografía de la zona de estudio.



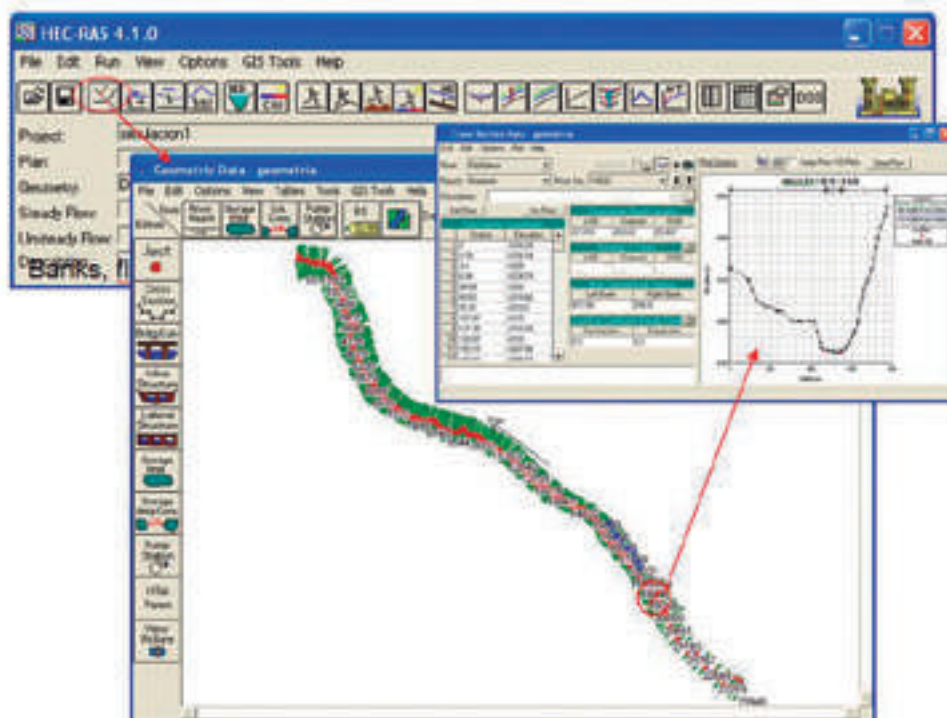


Figura 7. Secciones transversales importadas con el HEC-RAS

De esta información se pueden obtener las secciones transversales de cada corte a fin de lograr una vista tridimensional del río Blanco, tal como se muestra en la figura 8.

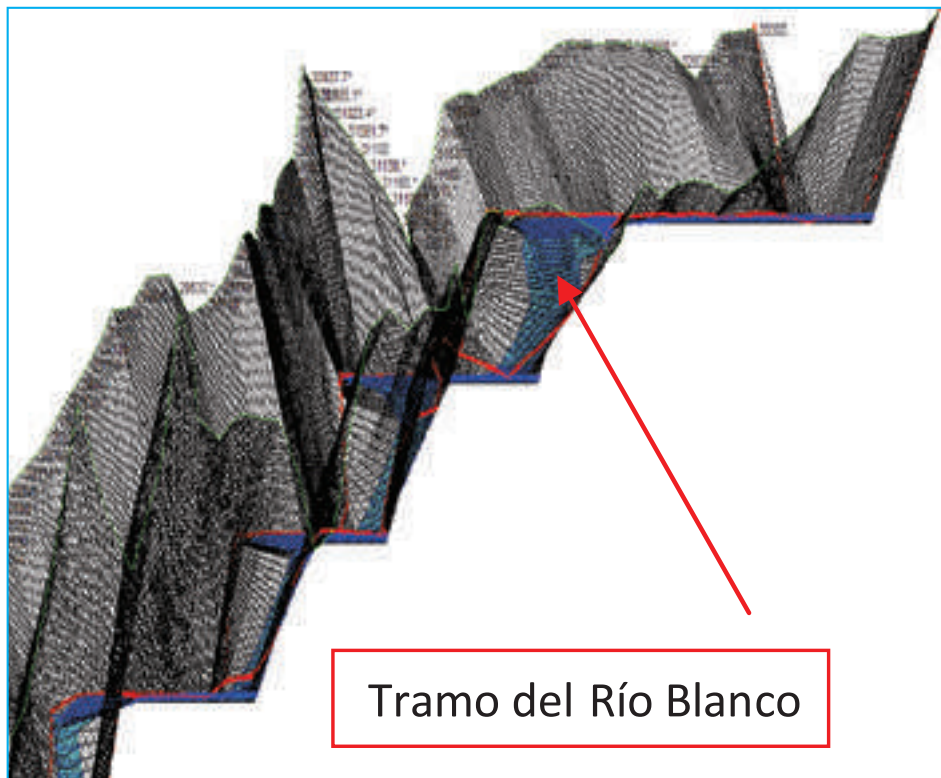


Figura 8. Vista en 3D de las secciones transversales del río Blanco.

Con la información obtenida mediante el software HEC-RAS, es posible simular el rompimiento de la presa y la inundación generada, donde se generaran dos escenarios de rotura, al cambian las condiciones iniciales y de contorno del modelo como son el caudal, el tiempo de simulación, la rugosidad, entre otros.

Los procedimientos en el pos-proceso son:

Concluido el modelamiento, los resultados son exportados al ArcMAP para obtener los mapas de velocidad de flujo e inundación.

## 4. Resultados

Realizada la simulación, se obtiene como resultados rasters de alturas y velocidades para los distintos tiempos de desarrollos de la onda de rotura. Estos se sobreponen sobre los planos topográficos y se obtienen los mapas de inundaciones como se observa en la Figura 9.

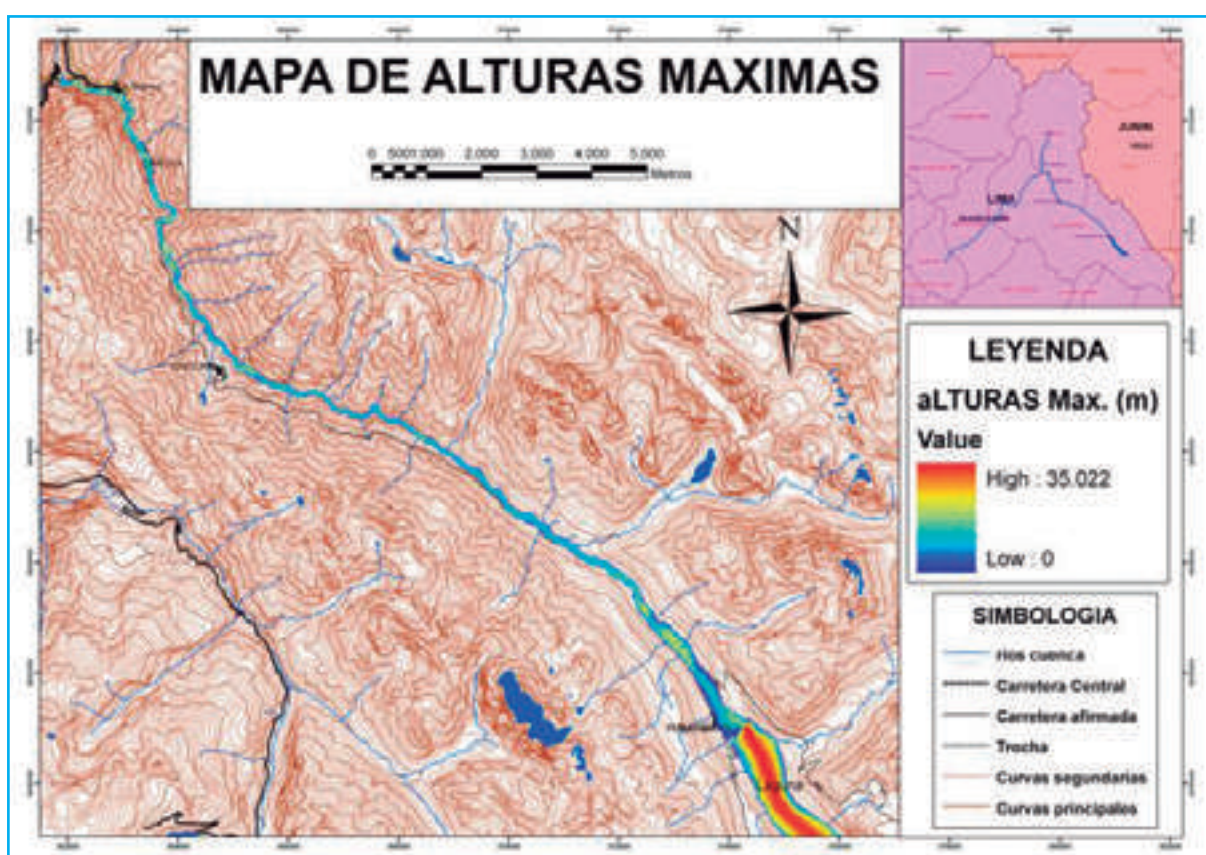


Figura 9. Mapa de inundación superpuesta en el plano topográfico.

Con los datos obtenidos se realizará el análisis de riesgo para las zonas vulnerables que son los poblados Yuracmayo, Chocna, Cauya y río Blanco, ubicados cerca al río Blanco, como se muestra en la Figura 10.

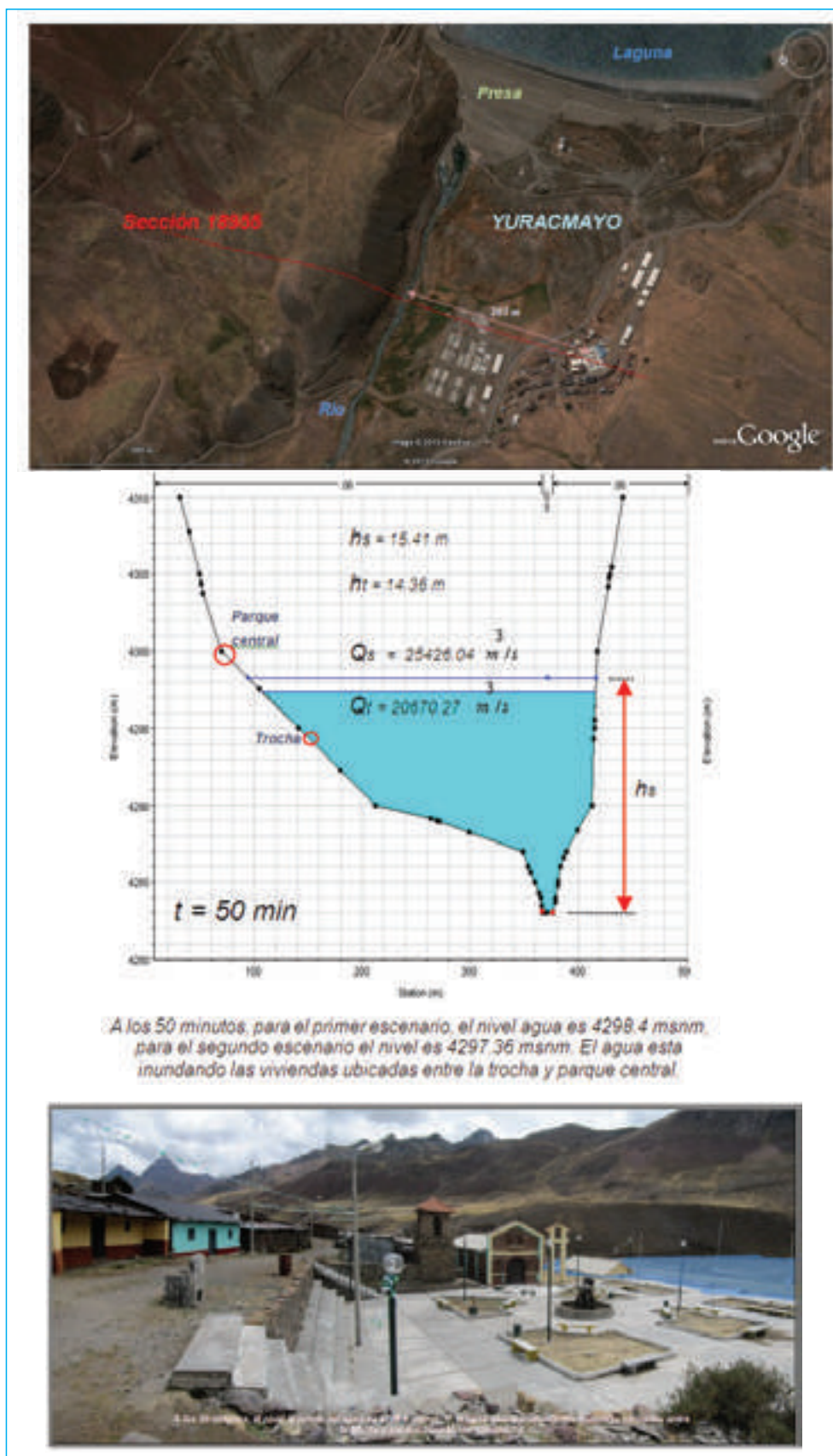


Figura 10. Sección de la zona de estudio ubicada en el poblado Yuracmayo.



## 5. Conclusiones

La aplicación de la metodología empleada a la rotura de la presa Yuracmayo, ha permitido obtener mapas de alturas y velocidades del flujo y con estos datos se generó un mapa de riesgo.

HEC-RAS posee todas las capacidades necesarias para realizar modelamiento numérico de rotura de presas, según las condiciones detalladas en el presente trabajo.

Los poblados Yuracmayo, Caruja y río Blanco tienen un riesgo alto, debido a que el flujo de agua cubre parcialmente a éstos. Contrariamente a lo que sucede en el poblado de Chocna que no llega el agua, ya que se encuentra a una altura donde no llega el pico máximo de la onda de rotura.

## 6. Agradecimientos

Al Instituto Geofísico del Perú por brindarme las facilidades y el apoyo para desarrollar mi tesis.

Al Dr. Hernando Tavera, por estar a cargo de mi capacitación y asesoría en la elaboración de mi tesis.

A mis compañeros del área de Sismología, pues gracias a ellos he desarrollado mis conocimientos en SIG y otros.

## 7. Bibliografía

Mohames, K., & Hamad, A. (2008), Aplicaciones del modelos HEC-RAS para el análisis del flujo no permanente con superficie libre, Cap 4, Escuela politécnica Nacional.

Ven Te Chow, (2004), Hidráulica de canales abiertos, Cap3, Segunda Edición, Editorial McGRAW-HILL.

US Army Corps of Engineers, (2010), HEC-RAS River Analysis System, Version 4.1.

Maidment, D. (1999), Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcWiew GIS, Cap5, Center for research in water resources.

Amein, M. (1983). Frontiers In Hydraulic Engineering. Proceedings of the Conference on Frontiers in Hydraulic Engineering. Cambridge: American Society of Civil Engineers.



# LA COBERTURA PERIODÍSTICA DEL FENÓMENO EL NIÑO DE 1925-1926 A TRAVÉS DE LAS PÁGINAS DE EL COMERCIO DE LIMA

NEWSPAPER COVERAGE OF THE 1925-1926 EL NIÑO PHENOMENON OF THROUGH THE PAGES OF EL COMERCIO OF LIMA

ANTONIO JOSÉ CHANG HUAYANCA

Pontificia Universidad Católica del Perú  
Maestría en Historia  
antoniochangh@hotmail.com

Asesora: Mg. Alejandra Martínez  
Área de Geofísica y Sociedad

## Resumen

Durante el siglo XX se registraron tres Fenómenos El Niño (ENSO) de una magnitud inusualmente fuerte, los llamados Mega-Niños de 1925-26, 1982-83 y 1997-1998. El presente artículo busca dilucidar distintos aspectos del Fenómeno El Niño de 1925-26 – que coincidió con el Oncenio de Augusto B. Leguía – a partir de la cobertura periodística realizada por el diario “El Comercio”. Los aspectos referidos son los medios de donde era obtenida la información que se publicaba en el diario, las zonas geográficas de donde procedía la información, las impresiones de los lectores frente al fenómeno climático y las demandas que le planteaban al Estado, y finalmente las explicaciones científicas que se le daban al Fenómeno El Niño. En la investigación se ha identificado una serie de artículos periodísticos publicados en el diario “El Comercio” entre los años de 1925 y 1926, abarcando un total de veinticuatro meses. Los artículos suman un aproximado de 2 500 y han sido fotografiados y registrados en una base de datos a disposición del IGP.

**Palabras clave:** Augusto B. Leguía, El Comercio, Fenómeno El Niño,

## Abstract

*During the Twentieth Century the scientist recorded three El Niño-Southern Oscillation extraordinary strong events: In 1925-26, 1982-1983 and 1997-1998. This article makes clear different features about El Niño-Southern Oscillation in 1925-1926 using “El Comercio” journalist reports. The features are the ways the reporters got the news, the places where they took the information, the impression of the readers and the requests they formulated to the Government and the scientific explanation about the phenomenon. During the research I have identified a number of articles from 1925 to 1926 published by “El Comercio”. We have an average of 2 500 journalist reports and they had photographed and registered in an IGP’s database.*

**Keywords:** Augusto B. Leguía, El Comercio, El Niño-Southern Oscillation.

## 1. Introducción

El presente artículo se inicia presentado una definición del Fenómeno El Niño – ENSO<sup>11</sup> – de acuerdo al conocimiento científico con el que hoy en día se cuenta. A continuación se detallan las características generales del diario “El Comercio” de acuerdo a sus ediciones publicadas entre 1925 y 1926. Posteriormente se presenta la información de los artículos publicados en el mes de febrero de 1925, momento en el cual se inició la cobertura periodística del Fenómeno El Niño, a manera de muestra representativa. El artículo se cierra con las principales conclusiones de la investigación, acompañado de un anexo de imágenes, incluyendo artículos periodísticos, fotos de la época y ejemplos de los reportes meteorológicos publicados en el diario.

## 2. El Fenómeno del Niño: Definición científica

Hoy en día la comunidad científica considera al fenómeno El Niño como parte de un mecanismo de interacción océano-atmósfera en el Pacífico Ecuatorial (PE) que tiene repercusiones climáticas a nivel mundial. Un concepto físico aceptado por los científicos establece que el PE conserva un equilibrio entre las aguas frías del Este y las aguas calientes del Oeste. Esta diferencia mantiene un viento con dirección Oeste que provoca el efecto afloramiento ecuatorial en el extremo Este, como consecuencia se tiene bajas temperaturas en dicha región. El equilibrio se rompe cuando, por algún motivo, los vientos hacia el Oeste se debilitan ocasionando la aparición de ondas ecuatoriales, conocidas como ondas de Kelvin. Estas ondas atraviesan el PE hundiendo las isotermas a lo largo de su trayectoria, por lo que provoca un calentamiento en el Centro y extremo Oriental del Pacífico. El estudio científico de “El Niño” se inicia en el Perú a finales del siglo diecinueve, a raíz del calor, humedad y lluvias extraordinarias observados en la costa durante el verano de 1891. Estas condiciones coincidieron con un calentamiento del mar asociado a una corriente proveniente de la costa de Guayaquil, contraria a la corriente normal de sur a norte. Esta corriente era conocida por los pescadores de la costa norte como un fenómeno recurrente y la denominaban “Corriente del Niño” debido a que se presentaba generalmente después de la Navidad<sup>12</sup>.

Una revisión historiográfica relativa al Fenómeno El Niño resulta bastante amplia. Uno de los testimonios

escritos más antiguos pertenece a Miguel Cabello de Valboa, quien a fines del siglo XVI hizo referencia a la leyenda de Naylamp, personaje perteneciente a la civilización Lambayeque, en su obra *Micelánea Antártica*. Fempellec movió la ubicación de la estatua de Naylamp, lo que generó intensas lluvias y luego una prolongada sequía, previa a la conquista de Pogmasa, soberano chimú. El autor postula que los vientos provenientes del norte son los causantes de las intensas lluvias (Cabello, 1586). A comienzos del siglo XVII Reginaldo Lizárraga anotó que el fenómeno de grandes lluvias era recurrente en la Costa Norte del Perú (Lizárraga, 1603 [1908]). En el siglo XVIII, Miguel Feijoo de Sosa describió las lluvias de 1701, 1720 y 1728; los terremotos de 1619, 1725 y 1756 y las plagas agrícolas. Al igual que Cabello de Valboa, Feijoo de Sosa postuló que los vientos provenientes del norte son los causantes del fenómeno lluvioso (Feijoo, 1984). A partir de las fortísimas lluvias de 1891, Víctor Eguiguren publicó en el *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima* en donde dividió el siglo XIX en años secos, años con lluvias ligeras, años regulares, años buenos y años extraordinarios (Eguiguren, 1894). Cerca de tres décadas después, y por motivo del ENSO de 1925-1926, Luis Noya publicó una investigación en donde estudiaba las lluvias e inundaciones que sacudieron al departamento de Lambayeque (Noya, 1927), mientras que Jorge Zegarra hizo lo propio con respecto a departamento de la Libertad (Zegarra, 1927). Luego del ENSO de 1982-1983 W. Quinn, V. Neals y Santiago Antúnez de Mayolo presentaron una investigación emblemática y sin precedentes en donde estudiaron las ocurrencias del Fenómeno El Niño en los últimos cuatrocientos cincuenta años (Antúnez de Mayolo, Neals y Quinn: 1987). La cronología presentada por los tres autores anteriores recibió ciertas observaciones de parte de A.M. Hocquenghem y L. Ortlieb, quienes publicaron en el *Bulletin de l’Institut français d’Études Andines* una nueva cronología (Hocquenghem y Ortlieb: 1990). Ese mismo año Christopher Donnan publicó un artículo donde se estudiaba el Fenómeno El Niño a partir de las evidencias arqueológicas de las civilizaciones prehispánicas de la Costa Norte del Perú (Donnan, 1990). En 1993 Charles Ortliff y Kolata Alan publicaron una investigación relativa a las evidencias arqueológicas del Fenómeno El Niño en la Meseta del Collao (Kolata y Ortliff, 1993), y tres años después fue traducido al español la investigación de Wolf Arntz y Fahrbach Eberhart en donde se estudiaba al Fenómeno El Niño de manera global (Arntz y Eberhart, 1993). Finalmente, el ENSO de 1997-1998 estimuló la publicación de nuevas investigaciones, entre las cuales destacan las compilaciones del Consejo Nacional de Ciencia

<sup>11</sup> ENSO son las siglas en inglés de El Niño–Southern Oscillation, traducido en lengua española como El Niño Oscilación del Sur.

<sup>12</sup> Definición tomada de la página web del Instituto Geofísico del Perú. [www.met.igp.gob.pe](http://www.met.igp.gob.pe)

y Tecnología del Perú y la Corporación Andina de Fomento (1998 y 2000 respectivamente), y los libros de Lorenzo Huertas (Huertas, 2001 y 2009) y José Salaverry Llosa (Salaverry 2007).

### 3. Características generales del diario “El Comercio” de Lima (1925-1926)

“El Comercio”<sup>13</sup> es un diario limeño fundado en 1839, siendo uno de los más antiguos en lengua española que se mantienen hasta el día de hoy en circulación, y en el más importante del Perú por su larga y reconocida trayectoria periodística, además de la amplitud de temas que aborda. Durante el Oncenio de Augusto B. Leguía, la dirección de “El Comercio” recayó en Antonio Miró Quesada de la Guerra.

Entre los años de 1925 y 1926 el diario era impreso mediante el sistema de linotipos en un local ubicado en la calle Ayacucho N°346, a cargo de Luis León. El color predominante de las impresiones era el negro. Los colores azul, amarillo y rojo se empleaban únicamente de manera excepcional en publicidad o en la portada cuando se destacaba la conmemoración de una importante efeméride. Todos los días eran publicadas dos ediciones, una correspondiente a la mañana y otra a la de la tarde, a excepción del día domingo, a la que correspondía una edición única. Así, era usual que a la semana aparecieran trece ediciones del diario.

Las ediciones de la mañana solían llevar entre diez a dieciocho páginas en promedio, mientras que las de la tarde eran invariablemente de cuatro páginas. La edición dominical era la más voluminosa, pudiendo tener entre dieciocho a veintiséis páginas en promedio. Los días feriados se publicaban una única edición, sin importar el día de la semana. Para Fiestas Patrias, Navidad y Año Nuevo, “El Comercio” aparecía en una edición especial, compuesta de tres secciones.

En torno a los precios, las ediciones de la mañana y de la tarde valían 5 centavos cada una, las ediciones únicas eran de 10 centavos, y las ediciones especiales 20 centavos. En el mismo diario aparecían los precios de las suscripciones de acuerdo a su procedencia: En Lima valía S/2,00 el mes, en provincias S/7,50 el trimestre, y en el extranjero S/24,00 el semestre.

En lo que respecta a su contenido, el diario publicaba noticias tanto locales, como nacionales e internacionales. Las noticias internacionales

eran suministradas por las agencias United Press, All American Cables y Havas. Las noticias locales y nacionales eran obtenidas a partir de sus corresponsales, y de cartas, telegramas, documentos oficiales o de artículos periodísticos de los periódicos de provincias. “El Comercio” también recibía escritos enviados por sus colaboradores desde distintas ciudad del Perú y el Mundo. El diario informaba también sobre el tráfico marítimo, los cambios de domicilio, las boticas y las bombas (estaciones de bombero) que estaban en servicio, las actividades culturales de Lima, los debates en las Cámaras de Senadores y la Cámara de diputados, reportes meteorológicos y los precios de los metales y productos agropecuarios en los mercados de Estados Unidos e Inglaterra. También había secciones dedicadas a las actividades económicas, las deportivas, al humor y entretenimiento, a la mujer, y discusiones sobre temas de actualidad relacionados a desarrollo urbano, ciencia y tecnología, a la salud, a las costumbres y tradiciones, entre otros tópicos.

La publicidad ocupaba un lugar privilegiado dentro de las páginas de “El Comercio”. En líneas generales, la publicidad se centraba en casas comerciales, en productos para el cuidado de la salud, la belleza femenina, automóviles, maquinarias e implementos agrícolas, en la venta de terrenos recientemente urbanizados. Es notable la cantidad de médicos que ofrecían sus servicios, indicando sus estudios realizados y experiencia profesional, sus especialidades médicas y la ubicación de sus consultorios particulares. Mención especial merece la publicidad de la cartelera cinematográfica disponible en Lima, de lejos la más llamativa por sus notables diseños y por ocupar los espacios más amplios del diario.

Finalmente, podemos mencionar que en lo que respecta al tema de las imágenes, la mayoría correspondía a dibujos y caricaturas que acompañaban a la publicidad. En comparación, las fotografías eran menos comunes, y generalmente acompañaban a la publicidad cinematográfica o a las noticias más destacadas del día.

### 4. Los inicios de la cobertura periodística. Panorama general de las noticias publicadas en “El Comercio” en el mes de febrero de 1925

<sup>13</sup> El nombre del diario “El Comercio”, al igual que el de los otros periódicos aparecerán escritos sin cursivas y entre comillas a lo largo del cuerpo del trabajo, debido a que ese era el estilo empleado durante la cobertura periodística de 1925-1926.

El objetivo del presente artículo es indagar en torno a cuatro aspectos principales de la cobertura periodística. En primer lugar, identificar cuáles eran los medios de donde era obtenida la información publicada en el diario. En segundo lugar, conocer cuáles eran las zonas geográficas de donde procedía la información. En tercer lugar, saber cuáles eran las impresiones de los lectores frente al fenómeno climático y las demandas que le planteaban al Estado. Finalmente, se busca conocer cuáles eran las explicaciones científicas que se le daban a tales sucesos.

A continuación se insertarán una recopilación parcial de las noticias periodísticas más destacables que fueron publicadas en el mes de febrero de 1925 por "El Comercio". Fue en aquel mes cuando el diario empezó a informar de las lluvias e inundaciones que desde finales de enero empezaron a registrarse en Arequipa, Ica y la Costa Norte del Perú, en las serranías de Lima, además de la hambruna en Azángaro. En la recopilación se colocará la fecha y edición del diario, el nombre y la página en la que aparece el artículo, y un breve resumen de la noticia, las cuales pueden incluir en ocasiones unos comentarios adicionales del autor. No se incluirán los reportes meteorológicos tomados en la ciudad de Lima, ni los resúmenes de los debates de las Cámaras de Senadores y Diputados.

– **1925/02/02. Lunes.**

**Edición de la tarde**

«Lluvias» p.3

Hace referencia a la sierra limeña, específicamente de la zona de Huamantanga y Sumbilca. El corresponsal del diario reporta que las lluvias recién se han iniciado, y que su demora en producirse ha generado pérdidas en la cosecha de papas. Hay falta de pastos naturales, lo que ocasiona una alta mortandad en el ganado vacuno. Los pobladores están trasladando su ganado a las zonas costeras en busca de pastos.

– **1925/02/03. Martes.**

**Edición de la mañana**

«Interrupción del tráfico entre Arequipa y Puno» p.3

The Peruvian Corporation envió una nota para que sea publicada en el diario. Se informa que una lluvia torrencial y sin precedentes ha generado catorce roturas en la línea férrea entre Arequipa y Yura. La gravedad de los daños hace que el tráfico quede interrumpido. A continuación se transcriben los despachos telegráficos recibidos en la Dirección de Obras Públicas. El primero fue enviado por el

Inspector del Gobierno, Mac Lura, informando que las lluvias de la última semana dañaron la línea férrea entre el kilómetro 10 y la estación Yura. The Peruvian Corporation estima que la reparación de la línea tomará entre tres semanas y un mes. Luego se insertan dos telegramas, enviados por el Prefecto, General La Rosa, en el cual se informa sobre los daños del ramal ferroviario Arequipa-Yura, y estimando que de no haber nuevas lluvias e inundaciones el tráfico ferroviario podría restablecerse a comienzos de marzo. El aumento del caudal de río ha destruido los sembríos y las bocatomas de los canales. También se transcriben otros telegramas fechados el 27, 29 y 30 de enero.

– **1925/02/04. Miércoles.**

**Edición de la mañana**

«Ferrocarril del Sur» p.4

Se transcriben dos telegramas recibidos en la Dirección de Obras públicas, despachados por el Prefecto general La Rosa. Se informa que se suspendió la partida del tren de Puno a causa de los derrumbes entre los kilómetros 16 al 38 y del 16 al 19, que han sepultado el terraplén. Se han iniciado los trabajos para dejar expedita la vía. También se reportan daños en la central eléctrica de Charcani, dejando sin energía eléctrica a los habitantes de Arequipa hasta el miércoles 4. Las fuertes lluvias continúan en la zona.

– **1925/02/09. Lunes**

**Edición de la mañana**

«Los daños de las crecientes del río Rímac. Inundación de una casa de vecindad. Varias personas quedan sin hogar» p.7

Se menciona que en los últimos días ha habido fuertes lluvias que han aumentado el caudal de los ríos, entre los cuales se encuentra el Rímac, "que desde hace tres días se presente rugiente e impetuoso". Hay alarma en Malambo. Alarma en Malambo. Uno de los brazos del Rímac que riega las huertas y jardines, el cual pasa detrás de las casas de la acera derecha del barrio, se desbordó. La policía recibió la noticia a las nueve de la noche. A pesar de los esfuerzos de la policía y de los pobladores, la inundación dejó damnificadas a cerca de doce familias. El agua continuó desbordándose llegando a Totorita y al camino que conduce al Polígono de San Jerónimo. La línea del tranvía quedó cubierta por las aguas, interrumpiendo el tráfico. Los funcionarios y empleados de la municipalidad del Rímac estuvieron ausentes. Los damnificados fueron alojados en casas particulares y el los tambos.



**Edición de la tarde**

«Las crecientes del Rímac» p.1

Son imágenes de la inundación en Malambo, que son las primeras publicadas en el diario en relación al Fenómeno del Niño de 1925-1926.

«Las lluvias en Arequipa. Los daños son de consideración (de El Deber, Arequipa, 2 de febrero» p.1-2

Hay una mención de la buena labor que desempeña el prefecto del departamento, general Francisco La Rosa y el gerente accidental de los ferrocarriles, señor Brown. Se informa de torrenteras que descienden del Chachani, región en donde las lluvias han sido abundantes. Graves daños en las fincas situadas en la quebrada Culebrillas. Los propietarios y/o administradores de los terrenos afectados estimaron las pérdidas en quince mil soles. En Yura, el río y las torrenteras han acarreado piedras y tierra. Las fábricas de aguas gaseosas de Yura y Socosani fueron inundadas. En la Calera fueron dañados los hornos de cal. Sembríos de trigo y maíz han sido en gran parte destruidos. El hotel de Las Termas sufrió daños leves. Un hacendado del valle de Vitor narra los perjuicios ocasionados el día 29 de enero por la fuerte avenida del Chili. Todos los sembríos de maíz ubicados en los terrenos ribereños fueron completamente arrasados. Las bocatomas quedaron en mal estado. Un vecino notable de Vitor, Prudencio Vidal Paz Soldán, informa “especialmente sobre la espantosa avenida del 31 de enero último, que ha devastado en mayor o menor escala todos los fundos, cegado las bocatomas y acueductos y cortado las comunicaciones con la total destrucción del puente de Sotillo”. Trabajos de la central hidroeléctrica de Charcani. A pesar de los esfuerzos, y de contar con sesenta hombres más, los trabajos no rinden los frutos esperados. Solo se puede avanzar de día, las lluvias y desbordes siguen con intensidad. Las son persistentes en la ciudad de Arequipa: “Todos los días, desde el mediodía, aparecen en el horizonte del lado de la costa, amenazadoras nubes, que empujadas por el viento, originan de tres a cuatro de la tarde los fuertes aguaceros que desde hace días venimos soportando cotidianamente”. Se inserta información brindada por J. S. Paraslevopoulos, director del Harvard College Observatory, estación de Carmen Alto. El observatorio de Carmen Alto tiene más de treinta años de presencia en Arequipa, haciendo observaciones meteorológicas. Del 21 al 31 de enero cayó 131.5 milímetros de agua, siendo el promedio anual de Arequipa 100 milímetros aproximadamente. La caída de agua en enero, a pesar de ser superior al promedio anual, “está muy lejos de ser excesiva”. El año de 1893 fue más lluvioso aún. En febrero de ese año cayó 205 milímetros, 107

de los cuales cayeron el 10 de febrero. El problema está, de acuerdo con el hombre de ciencia, con la indeterminada cantidad de agua que ha caído en las montañas, que aumento el caudal y la intensidad de la corriente del río. Él hace un llamado a las autoridades oficiales para que se establezca un servicio meteorológico completo en todo el Perú, como sucede en Brasil: “El conocimiento de las condiciones climatológicas del Perú, que es una de las naciones más prósperas de Sudamérica – abrirá nuevos horizontes al país y sería una guía segura para la agricultura, la ganadería, la industria, el comercio, la navegación, la aviación, las obras públicas, etc., etc.”

– **1925/02/10. Martes****Edición de la mañana**

«Abaratamiento de víveres en Arequipa. Lima 9 de febrero de 1925» p.2

El gobierno central dispone que se forme una Junta conformada por el prefecto, el alcalde del consejo provincial y del presidente de la cámara de comercio de Arequipa, para: “estudiar y adoptar todas las providencias que conduzcan a asegurar el suministro y abaratamiento de los víveres en todo el departamento de Arequipa”. Se prohibió la extracción del ganado, cereales y de toda clase de víveres de la provincia de Arequipa.

«Las avenidas en Ica. Los cauces se desbordan en diversos lugares. Los cauces de desbordan en diversos lugares. Interrupción de caminos y daños causados. (De La Voz de Ica. 2 de febrero» p.6

En la zona los huaicos reciben en nombre de llapana. Una de ellas ha caído en los cerros que están frente a la pampa de la Tinguña y la Pampa de Los Castillos. Inundando las zonas de Santiago y Pueblo Nuevo. Los daños se extienden desde Yacay en Los Molinos hasta Los Tronquitos en Santiago. Se tiene noticia que en Palpa e Ingenio han ocurrido inundaciones similares. El periódico aboga por que se tomen medidas de previsión que reguarden a la población de los desbordes de los ríos. Se publica un oficio dirigido a la prefectura pidiéndoles que se refuerce el dique que se encuentra a la altura del Hospital del Socorro. Una cuadrilla de peones se pone pronto a trabajar en el dique. Entre los días 31 y 1ro los ríos Viscas y Palpa aumentaron su caudal de modo extraordinario. La ciudad de Palpa ha quedado inundada. El ingeniero Lorente pide auxilios del gobierno para auxiliar a la población afectada. En Chíncha los desbordes de los ríos han causado destrozos en las haciendas. Las rutas entre Ocucaje y Santiago, y de Los Molinos a San Juan,

están intransitables. En Yauca, la llapana la dado "Un cuadro horroroso, de verdadera desolación y miseria". Los perjudicados han sido los humildes pobladores de la zona.

«*El trigo nacional*» p.9

El agrónomo Miguel U. Reátegui recomienda que se fomente el cultivo de trigo en el Perú, a la luz de la carestía del cereal que amenaza a muchos pueblos.

#### **Edición de la tarde**

«*Inundaciones en Puerto Maldonado*» p.1

Se publica un telegrama fecha el 9, indicando que en Puerto Maldonado el día 5 se produjo una inundación, genero pérdidas incalculables.

#### **– 1925/02/11. Miércoles.**

##### **Edición de la tarde**

«*Desbordes del río Pilcopata. Grandes desastres ocurridos en el Tono. Enormes daños que se producen. (De El Sol, Cuzco, 3 de enero)*» p.2

Aparentemente, hay un error en la fecha del artículo, debería decir 3 de febrero y no de enero. Inundaciones del río Pilcopata, ocurridas en El Tono. Se llama la atención al gobierno debido a que las haciendas de la zona producen alcohol, y la industria se encuentra oprimida por las contribuciones de la ley de estancos de alcoholes. El río Pilcopata se desbordó el día 10 a las 2 de la madrugada. La catástrofe se atribuye a las lluvias torrenciales que desde hacía días azotaban al lugar. Se perdió todo el ganado vacuno, lanar y mular, además de 10 hectáreas de terreno cultivado en la hacienda Iberia, de la firma Lámbarri y Cía. En una finca colindante, los indios se sublevaron y abandonaron sus puestos. El corresponsal pide que el gobierno exprese su apoyo a los hacendados concediéndoles una exoneración de impuestos. Se tiene noticia que el momento resulta propio debido a que en ese momento se está debatiendo en las cámaras legislativas la nueva ley de alcoholes que podría anular el estanco del alcohol

«*Las avenidas en Arequipa. Enormes perjuicios en Vitor*» p.2 (Nota: Tomado de El Deber).

El artículo busca "agregar nuevos y espeluznantes detalles" de las avenidas, suministradas por el alcalde del distrito, Alberto F. Carrasco. Las acequias regadoras del valle se han quedado privadas de agua, el ganado carece de alimento. Se pide a las autoridades departamentales y provinciales que adopten medidas. Las haciendas afectadas son "El

Socavón", "La Canseco", La González, La Vilches, La Compañía, Larrea, La Valencia, La Gamio, Reyes, La Capilla, La Aguirre, La Barreda, la Villareal, La Goyeneche, La Trabada, La Berenguel. Se adjunta una comunicación fechada el 4 de febrero. Las personas de ese valle no recuerdan una situación igual en muchos años. Los sembríos de maíz y alfalfa son los más afectados por la inundación. Se teme que se pierda la cosecha de maíz, uva y otros sembríos, debido a la falta de agua de riego por la destrucción de las bocatomas. El único puente que ha quedado en pie es el de Mocoro. Hay cerca de mil reses que casi no tienen provisiones de alfalfa, y se teme que mueran de hambre. Si bien se pide al gobierno insistentemente que se dicten medidas de apoyo, no se sugiere la manera en la que se podría canalizar la ayuda, a diferencia de los hacendados del Cusco, que hacen referencia al estanco del alcohol.

Alcalde del consejo distrital de Yura, Peñaranda, envió un telegrama. Las lluvias e inundaciones han generado daños en las casas y los sembríos de los pobladores. La suspensión del tráfico ferroviario ha cortado el suministro de recursos y el aprovisionamiento normal de víveres. En la subprefectura se reunieron los vecinos notables de Arancota, piden que las autoridades se constituyan en el pago de Arancota, "a fin de comprobar el serio peligro que amenaza al camino de Tiabaya, en dicha sección, por parte del río Chili". Luego de denodados esfuerzos, se ha restablecido el flujo eléctrico en la zona.

#### **– 1925/02/12. Jueves.**

##### **Edición de la mañana**

«*Las inundaciones en Ica. Un oficio del diputado*» p.4

El diputado por Ica, doctor Guillermo U. Olaechea, ha dirigido un oficio al Ministro de Fomento fechado en 10 de febrero, y publicado por "El Comercio". Las llapanas han perjudicado los sembríos y los pobladores rurales, ensañándose con los que se encuentran más cerca de la cordillera. Yauca, Pueblo Nuevo y Santiago, y poblaciones anexas. Las personas están refugiadas en las cuevas de los cerros vecinos, y han quedado en la miseria. También hay daños en Palpa, Nazca y El Ingenio. Se pide un subsidio que ayude a los campesinos.

#### **– 1925/02/13. Viernes.**

##### **Edición de la mañana**

«*Las últimas inundaciones*» p.2

Es una suerte de editorial del diario. En ella se hablan de los daños que las últimas lluvias e inundaciones

han causado en Arequipa e Ica. Se pide que el gobierno adopte medidas de apoyo para tales regiones, que pueda ser extensiva inclusive a Piura. Hasta el momento, parece que la preocupación del diario es más por lo que sucede en la sierra sur del país antes que de la costa norte.

– **1925/02/17. Martes.**

**Edición de la tarde**

«Lluvias y tempestades en el departamento de Piura» p.1

Información brindada por la Peruvian Corporation. El Ferrocarril Paita-Piura ha sido dañado por las lluvias, se espera reparar los daños en cinco días. En Paita las lluvias nocturnas del 12 y 13 causaron daños en la ciudad. Los pobladores comparan las lluvias con las del año 1891. En la noche del 15 una gran tempestad azotó Sullana, inundando las oficinas telegráficas.

«Consecuencias de las últimas lluvias. Desperfectos en Chosica y Yanacoto. Probablemente hoy continuarán careciendo (sic) de luz los balnearios. Se suspende el tráfico de trenes al interior» p.2

El día de ayer se interrumpió la energía eléctrica en gran parte de la ciudad. No causó alarma debido a que ocasionalmente se suspende el suministro. Sin embargo, la falta de energía eléctrica se debe a un huaico que el 16 de febrero a las 5pm cayó entre Chosica y San Bartolomé, obstruyendo las tomas de Chosica y Yanacoto, las centrales hidroeléctricas. El Gerente de las Empresas Eléctricas Asociadas, Consiglio Marzo, supervisa los trabajos de reparación en Yanacoto.

Hay preocupación por el servicio de agua, ingeniero de la Foundation, Spalding, afirma que si bien el agua está viniendo turbia, esta será purificada en la Atarjea.

El Gerente General del ferrocarril, M.Y. Grant, envía una copia del oficio dirigido al director de obras públicas, fechado el mismo día 17 de febrero. Tarde del 16 de febrero un huaico destruyó el puente de Pucushani, en el kilómetro 88. Derrumbes entre Surco y San Bartolomé, y amenaza de huaico en Purhuay. Se suspende el tráfico ferroviario de manera indefinida. Personas venidas del interior afirman que “las lluvias este año son verdaderamente espantosas, y llegan a asumir proporciones alarmantes”

«Las inundaciones en Yura. Los daños en la estación. – Los baños. – La calera. – El pueblo de Yura. – Palca. – Socosani. – Uyupampa. – Pampa de arrieros. – Comunicación del alcalde. (De El Deber, Arequipa 11 de febrero)» p.2

Las lluvias y las avenidas de las torrenceras y ríos en Yura han causado grandes destrozos. Los más afectados son los más pobres. El Alcalde Leandro Peñaranda, escribe a “El Deber”, en carta fechada el 6 de febrero, proporcionándole cuenta de los daños, incluyendo la destrucción de veredas, pozos, piscinas, tomas y acequias, y la fábrica de Socosani.

– **1925/02/18. Miércoles.**

**Edición de la tarde**

«Desde Chosica» p.2

Preocupación por las lluvias diluvianas y los derrumbes en el Ferrocarril Central y se recuerda el antecedente de 1915.

«Las lluvias nos visitan (De El País de Chiclayo)» p.4

Un aguacero sorprendió a los chiclayanos durante la madrugada. Algunas calles quedaron como lagunas, y se han hecho zanjar para desaguarlas. Cayeron algunas paredes. Los techos de las casas han sufrido filtraciones. Pérdida de mercancías en los comercios. El tráfico urbano está casi interrumpido. Se tiene temor a que se produzcan epidemias.

– **1925/02/22. Domingo.**

**Única edición**

«Sobre las últimas avenidas. Estado actual de las centrales de Chosica y Yanacoto» p.2

La gerencia de las Empresas Eléctricas ha enviado a la Dirección de Obras Públicas y la Inspección de alumbrado del Consejo Provincial el comunicado fechado el 20 de febrero. Se informa sobre las condiciones en las que se encuentran las centrales de Chosica y Yanacoto, y los trabajos que se realizan para reparar los daños de los huaicos.

«Grandes lluvias en Lambayeque. 21 casas destruidas por las aguas. – El hospital averiadísimo» p.2

Telegrama fechado el 21 de febrero para El Comercio. En la última noche las lluvias han recrudecido, destruyendo casas y generando daños en el hospital. No se registran víctimas por el momento.

– **1925/02/25. Miércoles.**

**Edición de la tarde**

«Las lluvias en el norte. Incomunicaciones y daños sufridos» p.1

Telégrafo: 21 de febrero de Sullana. La ciudad se encuentra incomunicada. Desde Chiclayo: Jayanca y Motupe se encuentran inundadas. Desde Trujillo: Telegrama dirigido al Director de Obras Públicas el 20 de febrero por el prefecto Molina. Los caminos a Quiruvilca y Morro Azul han sufrido daños. Las instalaciones hidráulicas de la Empresa Northern Perú Mining han sido dañadas por una avalancha.

«Destrucción del valle de Quilca. Telegrama de Arequipa» p.1

Telegrama dirigido para director Obras Públicas. Por el Subprefecto de Camaná. Valle de Quilca destruido, población reducida a la mendicidad. Se piden pronto socorros.

«Los desbordamientos de los ríos en Arequipa. Nuevas lluvias diluviales. – Las torrenteras hacen otra vez impetuosas avenidas. – La de Sabandía está atacando el segundo machón del puente. – Las de Miraflores y Chullo invaden los poblados y cementeras cercanos. – Rotura de la tubería madre del agua de Yumina. – Destrucción de uno de los puentes de la línea del tranvía eléctrico a Paucarpata. – Deslaves en las líneas a Mollendo y el interior. – El Estado de los puentes. – Órdenes prefecturales para no cortar el tráfico a Tingo. – Despachos al Ministerio de Fomento. – Estragos de la torrentera de Chullo. – Un desplome que causa víctimas en Miraflores» p.2

Nota: Tomadas de El Deber de los días 13 al 17. Los subtítulos ya dan una idea del contenido del artículo. Se menciona que en los últimos estíos los agricultores han padecido de ausencia de agua, pero que ahora es todo lo contrario. El suministro de agua potable a Arequipa quedó suspendido durante algunos días. El abastecimiento de la población se daba del manantial de Zemarát, la estación de ferrocarriles y del grifo de la Plaza de Armas. Restricciones en el tráfico.

– **1925/02/27. Viernes.**

**Edición de la mañana**

«La hambruna en el Sur» p.1

Es una editorial del diario, preocupado de la hambruna de los indígenas en la provincia de Azángaro, refleja los prejuicios racistas de la época

(paternalismo hacia los indígenas, quienes tienen tendencia a la borrachera)

«Las crecientes en Ica. La torrentosa “avenida” de anoche–. Nuevos e inmensos estragos producidos por las aguas–. El río se desborda por varias partes–. Las aguas amenazan a la población–. (De La Opinión, 12 de febrero)» p.2

Los subtítulos brindan una idea del contenido.

«Las últimas inundaciones en el departamento de Arequipa. Los daños en Vitor ascienden a medio millón – El Mercado de Arequipa dejará de percibir dos mil fanegadas de maíz y dos mil de trigo – Los perjuicios causados por las lluvias en Puquina son enormes. (De El Deber, 20 de febrero)» p.3

Los subtítulos ya brindan una idea del contenido del artículo.

«Las lluvias en el departamento de Piura. Las aguas invaden la ciudad y los caminos. Los daños que causan en la población y los campos.» p.4

Los datos fueron tomados “La Industria” del día 13 de febrero.

**Edición de la tarde**

«Las lluvias en el departamento de Piura. El desborde de los ríos. Los daños causados por las aguas. (De El Tiempo, 14 de febrero)» p.2

El título brinda una idea del contenido

«La carestía de víveres» p.2

El autor del artículo se queja que el fenómeno de las lluvias e inundaciones es un evento de carácter periódico, y que por lo mismo se tuvo que aprovechar la experiencia para tomar las previsiones que eviten el encarecimiento y la carencia de víveres.

– **1925/02/28. Sábado.**

**Edición de la mañana**

«Las aguas en Lambayeque. El caudal actual de los ríos – Una chacara de maíz de Ucupe completamente destruida – Una sementera de arroz en Chumbenique arrastrada – Muchos puentes destruidos – las comunicaciones obstruidas – (De El Tiempo, Chiclayo, 19 de febrero)» p.4



Los subtítulos brindan idea del contenido.

*«Las llluvias en el departamento de Piura. Derrumbe de casas. – La Huaca en serio peligro. – Tempestad que causa muertos y heridos. – Otras informaciones. (De El Tiempo, 20 y 21 de febrero)» p.6*

Los subtítulos brindan idea del contenido.

## 5. Conclusiones

Las conclusiones preliminares de la presente investigación son las siguientes.

Las fuentes de información de los artículos periodísticos publicados en el diario "El Comercio" son las siguientes: cartas, telegramas y documentos oficiales – que eran enviados al diario, o en su defecto se les facilitaba su consulta y publicación–, comunicaciones telefónicas (menos frecuentes), entrevistas personales, siendo quizás el más importante la colaboración de los periódicos regionales, cuyos artículos eran reimpresos por "El Comercio". De la muestra representativa de febrero de 1925, contamos con los siguientes periódicos: Arequipa: "El Deber", Ica: "El Eco", "La Voz de Ica", Cuzco: "El Sol" "El Comercio" (indirectamente el "Diario" el 26 de febrero), Piura: "La Industria" "El Tiempo", Sullana: "La Voz del Chira" (indirectamente, de "El Tiempo" de Piura, 14 de febrero), Chiclayo: "El País", Puno: "El Eco de Puno".

Un mismo artículo puede disponer de diversas fuentes de información a la vez, de manera combinada. Cuando la noticia se refería a sucesos de Lima y alrededores inmediatos, los colaboradores y enviados del diario cubrían la noticia. Pero si la noticia aludía a regiones del interior del país, el principal medio de obtención de la información era el acceso a los artículos publicados por los diarios regionales.

En las páginas de "El Comercio" se puede revisar los resúmenes de los temas tratados en las Cámaras de Senadores y en la de Diputados. Es interesante notar que, en líneas generales, los representantes políticos de provincias estaban bien informados de los sucesos acontecidos en su región, disponiendo de datos que la prensa limeña aún no había recibido. Todos ellos invocan el apoyo de las autoridades políticas para socorrer a la provincia, y mitigar los daños ocasionados por las intensas lluvias e inundaciones.

La lectura de los artículos periodísticos permite apreciar un intenso debate público sobre la manera en la que el Estado debe socorrer a las víctimas de los desastres. Se pedía un control

de los precios de los alimentos; lucha contra los acaparadores de víveres; exoneraciones temporales de impuestos y contribuciones, tales como las relativas a los estancos del estado.

Existe una demora en la recepción de la información. En ocasiones "El Comercio" puede publicar una noticia de un suceso acontecido uno o dos días antes, así como de una a dos semanas atrás. Es un indicador de la dificultad que había en las comunicaciones entre Lima y el interior del país.

Los reportes meteorológicos están presentes únicamente para el caso de Lima. Los reportes provenían de tres distintas fuentes: El Observatorio Meteorológico "Unanue", perteneciente a la Academia Nacional de Medicina; el Observatorio Meteorológico de la Facultad de Ciencias, perteneciente a la Universidad de San Marcos, y los datos tomados en el mismo local de "El Comercio". El Observatorio Meteorológico "Unanue" aparece repetidamente durante todo el año de 1925 e inicios de 1926. El Observatorio Meteorológico de la Facultad de Ciencias aparece recién en el transcurso de 1925, y a duras penas se mantiene hasta los primeros meses del siguiente año. Los datos tomados en el local de "El Comercio" aparecen no antes de 1926, y a mediados de año dejan de ser publicados. Es interesante anotar que para la segunda mitad de 1926 "El Comercio" deja de publicar reportes meteorológicos de todo tipo. A excepción de los datos tomados en el local de "El Comercio" – el cual informada diariamente sobre las condiciones meteorológicas registradas en Lima durante la víspera de la publicación – Los reportes del Observatorio Meteorológico "Unanue" y del Observatorio Meteorológico de la Facultad de Ciencias aparecían de manera irregular, usualmente con varios días de retraso. Hay una ausencia de reportes meteorológicos con datos sobre ciudades de provincias. La ausencia se explica debido al interés propio de los lectores de contar con datos de su propia localidad de manera prioritaria frente a otras zonas del país, donde usualmente se carecían de estaciones meteorológicas, además de lo complicado que era el acceso de tal información desde Lima.

En lo que respecta a los datos de las condiciones marítimas, se cuenta con la columna titulada Memorándum del Puerto – cuyos datos eran registrados en el Callao – que cubre los primeros meses de 1925, dejando de ser publicado.

La población tiene una clara noción que las lluvias no son un fenómeno nuevo, sino que es recurrente en el tiempo y que tiene antecedentes en las lluvias de 1877-78, 1891 y 1916. Hay referencias a temporadas lluviosas del pasado, y se establecen comparaciones entre ellas.

La explicación científica predominante del fenómeno lluvioso se hallaba relacionado a los trastornos solares, aunque se empiezan a entablar conexiones con el cambio de temperatura del mar y los cambios en las corrientes marítimas.

Finalmente, existe un temor de parte de la opinión pública de que las lluvias e inundaciones puedan afectar la salud de la población, y propicien la aparición de enfermedades y epidemias.

## 6. Agradecimientos

Agradezco al Instituto Geofísico del Perú, por su permanente apoyo durante la realización de la presente investigación. Asimismo, mi gratitud a mi asesora de tesis, Mg. Alejandra Martínez.

## 7. Bibliografía y fuentes:

### a. Bibliográficas

Antúnez de Mayolo, S.; Neals V. T y Quinn, H. W. (1987). "El Niño occurrences ever the past four and a half centuries". *Journal of geophysical research*, 92, p.1449-1461.

Arntz, Wolf y Eberhart, Fahrbach (1996). *El Niño: experimento climático de la naturaleza*. México. Fondo de Cultura Económica. (En alemán: 1991).

Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines. (1993) Temático: Registro del fenómeno El Niño y de eventos ENSO en América del Sur. Tomo 22(1).

Cabello de Valboa, Miguel. (1586) *Micelánea antártica*.

Consejo de Ciencia y Tecnología (1998). *El Niño en América Latina. Sus impactos biológicos y sociales. Bases para un monitoreo regional*. Libro de Resúmenes del Seminario-Taller del 09 al 13 de noviembre de 1998. Lima. CONCYTEC-CIPCA.

Corporación Andina de Fomento (2000). *Lecciones de El Niño Perú. Memoria del fenómeno El Niño 1997. Retos y respuestas para la región andina*. Caracas, 2000.

Donnan, Christopher B. (1990) "The Assessment of Validity of the Naylamp Dynasty". En M.E. Mosley t A. Cordy-Collins (eds) *The Northern Dynasties Kingship and Statecraft in Chimor*. Washington D.C.: *Dumbarton Oak*, pp. 243-274.

Eguiguren, Víctor (1894). "Las lluvias en Piura" en

Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima. N° 4, pp. 241-258.

Feijoo de Sosa, Miguel (1763). *Relación descriptiva de la ciudad y provincia de Trujillo del Perú*. (Lima: Consejo Municipal de Trujillo 1984).

Hocquenghem, A. M. y Ortlieb, L. (1990) "Pizarro n'est pas arrive au Pérou durant une année El Niño". *Bulletin de l'Institut français d'Études Andines*. Tomo 19, pp. 327-334.

Huertas, Lorenzo (2001). *Diluvios andinos a través de las fuentes documentales*. Fondo editorial de la PUCP.

\_\_\_\_\_. (2009) *Injurias del tiempo. Desastres naturales en la historia del Perú*. Editorial Universitaria, Universidad Ricardo Palma.

Kolata, A. y Ortloff, Charles (1993) "Climate and collapse: Agro Ecological Perspectives on the decline of the Tiwanaku State". *Journal of Archaeological Science*. N°20, pp.195-221.

Lizárraga, Reginaldo. (1603 [1908]) *Descripción breve de toda la tierra del Perú, Tucumán, Río de la Plata y Chile*.

Noya, Luis A (1927). "Las avenidas extraordinarias de 1925 en el valle de Lambayeque". *Monografía del Departamento de Lambayeque*. Chiclayo.

Salaverry Llosa, José A (2007). *El fenómeno océano-climatológico "El Niño" en el Perú*. Lima: COFIDE y Fondo Editorial de la UNMSM.

Zegarra, Jorge M. (1927) "Las lluvias y avenidas extraordinarias en verano de 1925 y su influencia en la agricultura de La Libertad". *Informes y memorias de la Sociedad de Ingenieros del Perú*. Vol. 28.

### b. Hemerográficas

Diario El Comercio de Lima.

### c. Web:

Instituto Geofísico del Perú: [www.met.igp.gob.pe](http://www.met.igp.gob.pe) (Consultado por última vez el 27 de marzo de 2013).

## 8. Anexos

Imagen 1: Las lluvias e inundaciones provocaban daños en las instalaciones eléctricas de Lima, generándose problemas en el abastecimiento de energía eléctrica. Frente a tal problema, en la primera mitad de 1925 fue común encontrar

publicidad de venta de grupos electrógenos, lámparas y linternas.

el conocimiento de los eventos climatológicos acontecidos en el país.

Imagen 2: La falta de energía eléctrica ocasionó que la publicación del diario fuera interrumpida en más de una ocasión, dificultando a los lectores

Imagen 3: El Observatorio Meteorológico "Unanue", perteneciente a la Academia Nacional de Medicina.



Imagen 1

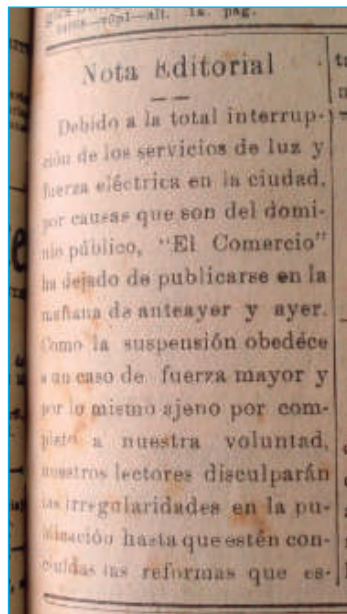


Imagen 2

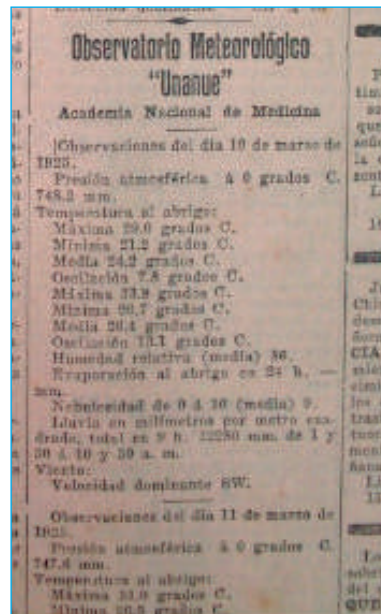


Imagen 3



## Áreas de investigación del IGP

Sismología  
Vulcanología  
Magnetismo Terrestre  
Geodesia Espacial y Peligro Geofísico  
Variabilidad y Cambio Climático  
Aeronomía  
Astronomía

Calle Badajoz N° 169-Urb. Mayorazgo, IV Etapa. Ate  
Apartado Postal N° 3747-Lima 3  
[www.igp.gob.pe](http://www.igp.gob.pe)