

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**

**PROGRAMA PRESUPUESTAL 068: REDUCCIÓN DE
VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS POR
DESASTRES**



**ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO ANTE
SISMO Y TSUNAMI EN ZONAS URBANAS – DISTRITO
DE ANCÓN**

JULIO 2014



EVALUACIÓN DE LA AMENAZA FRENTE A TSUNAMI PARA ANCÓN

1. ANTECEDENTES

La invitación del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), a través de su Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Facultad de Ingeniería Civil y en virtud del convenio marco firmado entre ambas instituciones el 23 de Febrero de 2010, se desarrolla un convenio específico con la finalidad de realizar el Estudio de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad en la Ciudad de Lima en el cual se plantea el Análisis de riesgo de tsunami para las costas de Lima Metropolitana y Callo, desde Ancón hasta Pucusana. El presente informe presenta los resultados obtenidos del análisis realizado para evaluar el riesgo de tsunamis, asumiendo dos probables escenarios sísmicos y considerando las condiciones actuales de las edificaciones costeras del distrito de Ancón.

1.1. Objetivo

Analizar el riesgo de tsunami para la costa en el distrito de Ancón, estimando la altura máxima de ola, la altura de inundación y el tiempo de llegada de la primera ola desde el epicentro hasta la costa, a partir de dos escenarios sísmicos y finalmente determinar las zonas susceptibles a sufrir inundación debido al tsunami.

1.2. Sismicidad en el Perú

El Perú está ubicado en una zona altamente sísmica, donde la principal fuente de la alta sísmica es la interacción de la Placa de Nazca y la Placa Suramericana y como resultado de esta interacción el Perú ha experimentado numerosos terremotos a lo largo de su historia. La Figura 1 muestra los sismos históricos alrededor del Perú con magnitudes mayores a 5, desde el año 1973 al año 2015 según la base de datos de la United States Geological Survey (USGS) esta figura muestra que la zona sísmicamente más activa en el Perú es la que corresponde a la zona sur entre Lima y Tacna, también se observa que una gran cantidad de los sismos tienen una profundidad focal que varía entre 0 a 33 km, de acuerdo a su profundidad estos sismos están definidos como sismos superficiales. De la Figura 1 también se puede observar que tanto la zona norte del país, desde Lima hasta Tumbes, la actividad sísmica es mucho menor comparado con la zona sur, sin embargo se sabe que toda la zona occidental de América del Sur es una zona altamente sísmica, lo que se conoce como parte del Círculo del Fuego.

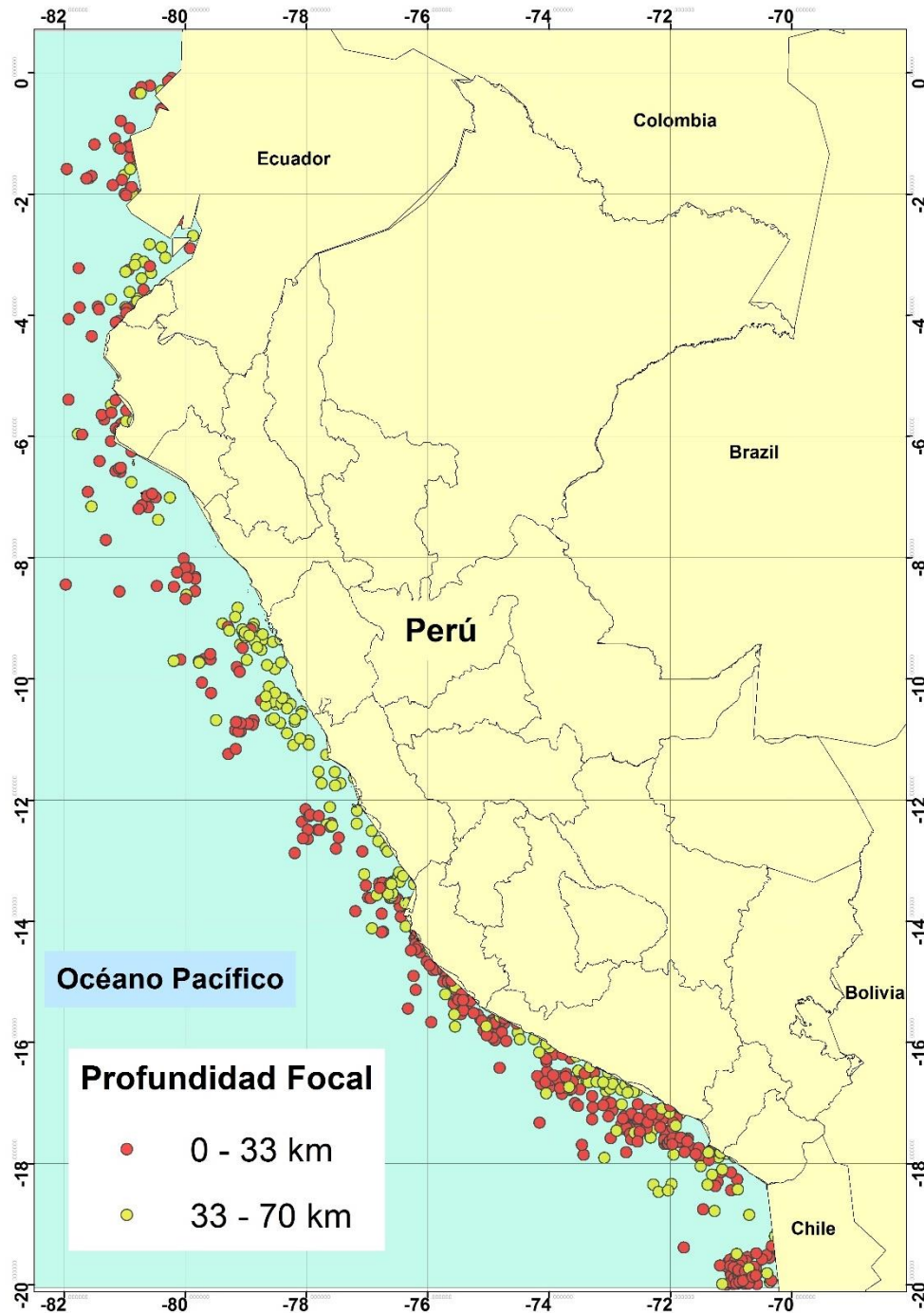


Figura 1. Sismos ocurridos en el Perú desde el año 1973 al año 2015 con magnitudes mayores a 5, base de datos (USGS)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Por otro lado, la zona centro del Perú especialmente el área frente a Lima y Callao, estaría experimentando el fenómeno llamado Silencio Sísmico, que es la falta de eventos sísmicos de considerable magnitud en una zona sísmicamente activa, lo que significa que la energía que se debería estar liberando a través de eventos sísmicos o terremotos se está acumulando. Entonces, de acuerdo a este concepto, la probabilidad de que ocurra un sismo de gran magnitud frente a las costas de Lima y Callao es muy alto.

Un fundamento más cuantitativo se puede observar en [5], donde se presenta una evaluación de los terremotos históricos de gran magnitud ocurridos en el Perú, la Figura 2, modificada de [5], muestra los sismos de gran magnitud o terremotos ocurridos en el Perú a lo largo del tiempo, donde las líneas continuas representan terremotos que causaron tsunamis así como la longitud aproximada del área de la falla, mientras que las líneas punteadas representan terremotos que no produjeron tsunamis. Teniendo en cuenta que las ciudades de Lima y Callao se encuentran ubicadas aproximadamente en la latitud 12°S, el último terremoto importante ocurrido en esta zona fue en 1974, lo que significa 37 años con ausencia de eventos sísmicos de gran magnitud o 37 años de energía sísmica acumulada, por lo tanto estas condiciones hacen suponer la ocurrencia de un terremoto que libere toda esta energía acumulada que estaría afectando en mayor magnitud a la ciudad de Lima y Callao.

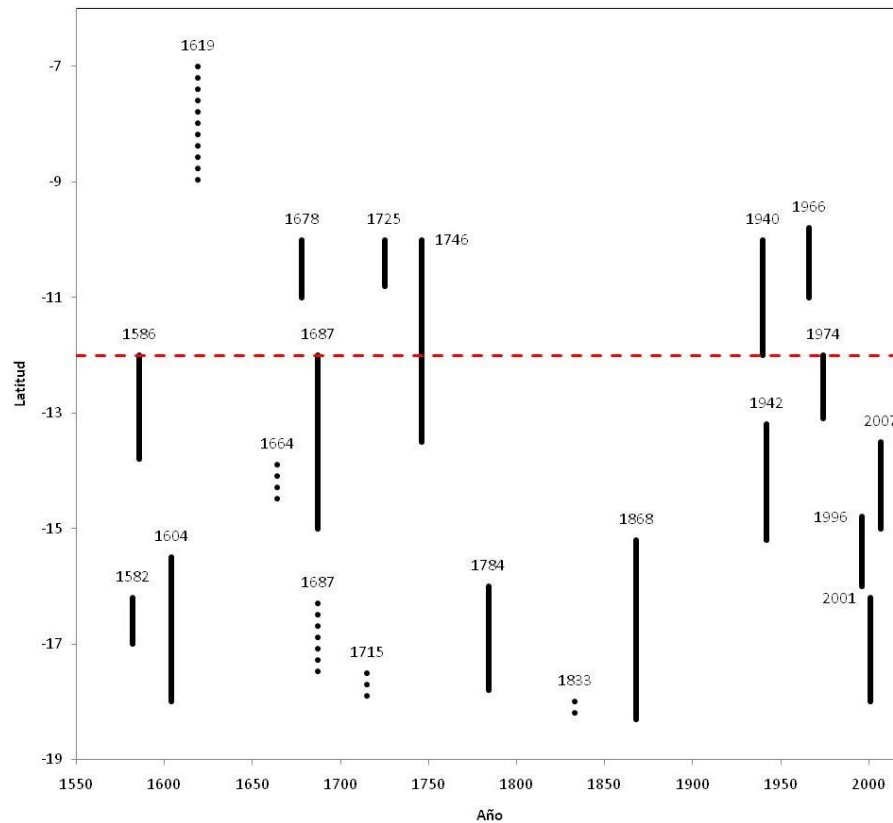


Figura 2. Zona de ruptura de los terremotos históricos ocurridos en el Perú. Las longitudes de las barras representan la longitud de ruptura, las barras con líneas punteadas representan los terremotos que no han producido tsunamis y la línea roja muestra la ubicación de la Ciudad de Lima. (Figura original de [5]).

1.3. Tsunamis históricos en Lima

Debido su ubicación, el Perú ha experimentado algunos de los más grandes tsunamis que han ocurrido en el mundo, de acuerdo con la base de tsunami tomada de la National Geographic Data Center (NGDC) Tsunami Database, son 4 los grandes tsunamis que han afectado las cosas peruanas y que han sido registrados también en otros países (Tabla 1 y Figura 3).

Tabla 1. Tsunamis históricos que han afectado las costas del Perú de acuerdo a NGDC Tsunami Database.

Fecha	Magnitud (M_w)	Área afectada
21/02/1996	7.5	Chimbote, Callao
12/11/1996	7.7	Chincha alta, Arica, Nazca, Marcona
23/06/2001	8.4	Camaná, Moquegua, Tacna,
15/08/2007	8.0	Nazca, Pisco, Lima

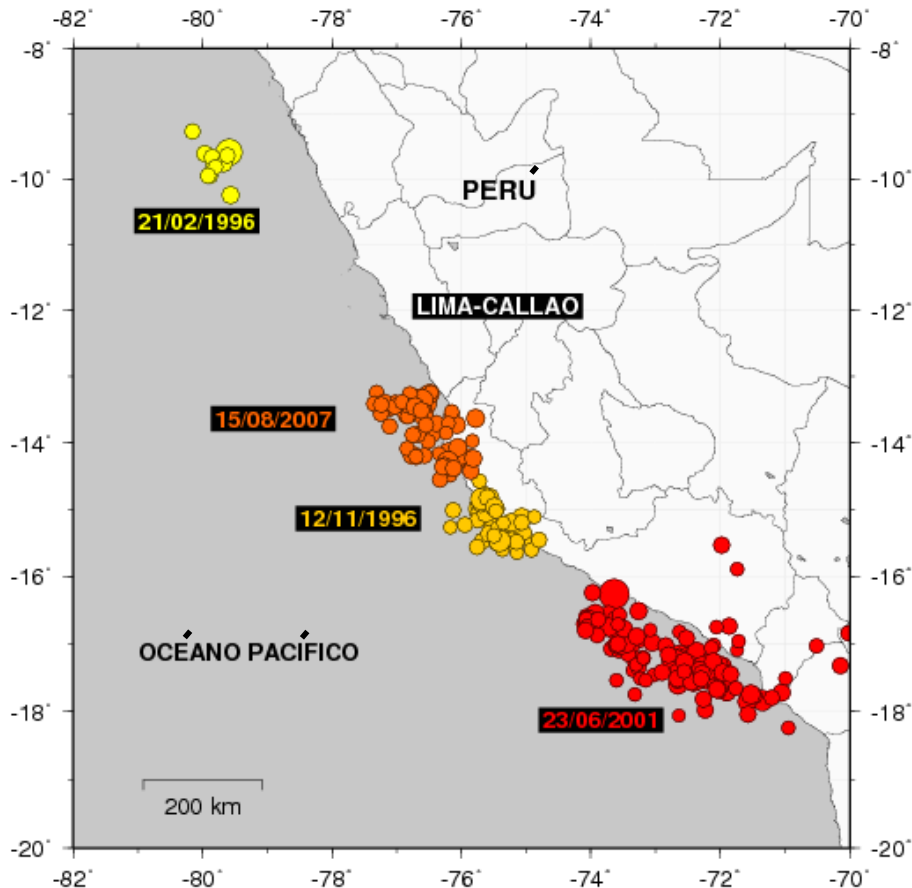


Figura 3. Ubicación de los terremotos que produjeron los cuatro tsunamis que afectaron al Perú y otros países según NGDC Tsunami Database.

Por ejemplo, el tsunami que ocurrió el 23 de Junio del año 2001 en la zona sur del Perú fue generado por un sismo de magnitud M_w 8.4 con epicentro $16.26^\circ S$ $73.64^\circ O$. De acuerdo a USGS por lo menos 75 personas fallecieron, donde 26 a causa del tsunami producido, 2687 personas heridas, 17510 viviendas fueron destruidas y 35549 viviendas fueron afectadas en las aéreas de Arequipa, Camaná y Tacna. Otro ejemplo más reciente es el tsunami que ocurrió el 15 de Agosto del año 2007, donde las áreas costeras de Chincha y Paracas fueron las más afectadas, por otro lado en Camaná se entrevistó a los pobladores en las cercanías a las zonas costeras afectadas, quienes manifestaron que 20 minutos después de ocurrido el sismo, arribaron a la costa una serie de olas que inundaron sus viviendas. Según el reporte de Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN), las olas alcanzaron alturas máximas de inundación (run-up) de hasta 2.91m y para unas distancias de 102.7m. (Figura 4).



Figura 4. La erosión producto del tsunami del 23 de Junio del año 2001 en la playa la Punta-Camaná, la altura máxima de ola en esta zona fue hasta de 7.5m (izquierda) [2]. Un bote pesquero arrastrado 1.3km en la zona donde la inundación llegó a 2km producto del tsunami del 15 de Agosto de 2007 (derecha) [3].

Sin embargo según crónicas históricas el Callao fue afectado por un tsunami el 28 de Octubre de 1746 que produjo la muerte de más del 96% de la población en ese entonces, según estas crónicas este tsunami produjo una ola de más de 21m de alturas y la primera ola arribó a las costas treinta minutos después de ocurrido el terremoto.

1.4. **Ámbito de Estudio**

El ámbito de análisis de este estudio cubre al distrito de Ancón, exclusivamente en lo que corresponde a las áreas que se determinen como zonas inundables.

El distrito peruano de **Ancón** es una localidad costera del Perú situada a 43 kilómetros al norte del centro de Lima. Limita por el norte con el distrito de Aucallama (Huaral); al noreste con el distrito de Huamantanga (Canta); al este y sur-este con el distrito de Carabaylo; al sur con el distrito de Puente Piedra (en la provincia de Lima) y distrito de Ventanilla (Callao); al suroeste con el distrito de Santa Rosa; y finalmente, por el oeste limita con el Océano Pacífico.

La Figura 5 muestra el distrito de Ancón en el plano de la provincia de Lima.

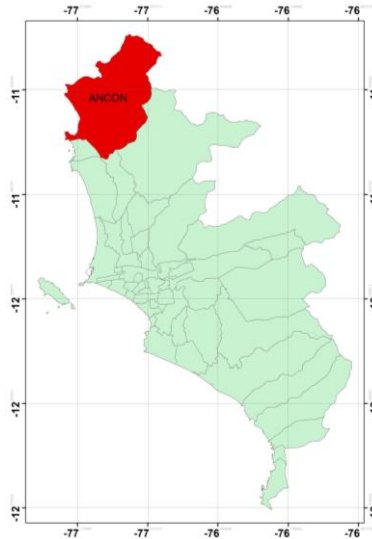


Figura 5. Distrito de Ancón.

2. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

En este estudio para determinar la amenaza frente a tsunamis para Ancón, se realiza una revisión de la sismicidad histórica del área de estudio con el fin de determinar los escenarios sísmicos con más probabilidad de ocurrencia. Con esta información se establecen los parámetros de la fuente sísmica para calcular la deformación inicial de la superficie del océano. Seguidamente, se realiza la simulación numérica del tsunami. Como resultado de este análisis se obtiene el tiempo de arribo de la primera ola y las alturas máximas de las olas en las costas del área de estudio, estos cálculos numéricos se basan en la teoría de aguas poco profundas, como resultado de este análisis se propone el mapa de inundación y la estadística de las zonas urbanas afectadas por el tsunami.

3. CONSIDERACIONES TEÓRICAS

3.1. Conceptos Básicos

3.1.1. Tsunami

Un tsunami es generado por perturbaciones de un volumen de agua en el mar, asociadas en la mayoría de los casos, con la ocurrencia de violentos sismos cuyos epicentros están en el lecho del océano o cerca de él. En el caso que un tsunami sea producido por un terremoto, éste producirá un levantamiento o hundimiento abrupto de un gran sector del fondo marino, lo que generará desplazamientos verticales repentinos de grandes volúmenes de agua. Esta



alteración del nivel del mar, posteriormente al tender al equilibrio, generará una serie de ondas en todas direcciones a través del océano.

Existen otros tipos de perturbaciones del fondo del mar causadas por erupciones volcánicas, derrumbes o avalanchas submarinas y derrumbes costeros, los cuales podrían transmitir energía al océano y de esta forma generar ondas de tsunami.

De todos estos fenómenos, los más frecuentes en nuestro país, son los sismos submarinos, y por lo demás, son los únicos que provocan extensos desplazamientos del fondo del mar, lo que se traduce en una mayor energía cinética en el tsunami generado. Por esta razón, los efectos de este último tipo de tsunami son los más espectaculares y catastróficos, ya que ellos afectan a extensas áreas costeras.

3.1.2. Tipos

Según la distancia desde el punto de generación a la zona de interés, se tienen tres tipos de tsunami:

- De Origen Local, son aquellos que tienen su punto de generación muy cercana a la costa ya sea por deslizamientos submarinos, como el ocurrido en las bahías de Alaska, EE.UU. (1964), o sismos en el litoral, como el de Lima, Perú (1940). En estos casos el ataque es inmediato a la generación.
- De Origen Cercano, aquellos que tienen su origen a pocos kilómetros de la costa, es decir, menor a 1000 km aproximadamente, estos eventos producen olas con tiempos de arribo a la costa de 10 a 30 minutos, según las condiciones locales del fondo marino.
- Origen Lejano, aquellos cuyo origen se encuentra a más de 1000 km de la zona de interés, su arribo se produce en tiempos que van desde 2 a 22 horas.

3.1.3. Características

Las características comunes a las ondas son aplicables a las presentadas por las olas pertenecientes a un tsunami. Estas características son:

- Período, tiempo que sucede entre el paso de dos ondas sucesivas.
- Longitud de Onda, distancia entre dos crestas sucesivas.
- Altura de Onda, distancia vertical entre el seno o valle y la cresta.



3.2. Teoría de Aguas Poco Profundas

Para el modelamiento de tsunamis se usa la teoría de aguas poco profundas, esta teoría considera que la profundidad característica es mucho menor que la longitud de onda de las olas en el mar, teniendo en cuenta esta asunción y considerando el agua de mar como un fluido incompresible de densidad ρ la ecuación de continuidad (Eq. 3.1) y las ecuaciones de cantidad de movimiento (Eq. 3.2 y Eq. 3.3) describe cómo las velocidad y la presión de un fluido en movimiento están relacionadas. Estas ecuaciones son resueltas Imamura (1995 referencia [4]). Las dos básicas expresiones son mostradas a continuación.

La ecuación de continuidad puede ser expresada como:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (3.1)$$

Donde,

- η : amplitud de la onda
- M y N : flujo de descarga en las direcciones x y y ,
- t : tiempo,

La ecuación de momento incluyendo la fricción en el fondo puede ser expresada como:

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad (3.3)$$

$$M = \int_{-h}^{\eta} u dz = \bar{u} (\eta + h) \quad (3.4)$$

$$N = \int_{-h}^{\eta} v dz = \bar{v} (\eta + h) \quad (3.5)$$

$$D = \eta + h \quad (3.6)$$



Donde,

$\frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2}$, $\frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2}$: Fricción en el fondo de océano,

D : profundidad total del océano

n : coeficiente de rugosidad de Manning

u y v : vector de velocidad en las direcciones x e y

\bar{u} y \bar{v} : velocidad promedio en las direcciones x e y

g : aceleración de la gravedad

h : profundidad del mar

La estabilidad numérica es definida como el tiempo que asegura que la velocidad de propagación numérica no exceda a la velocidad de propagación del medio físico o velocidad del tsunami, esta condición se define con la ecuación Eq. 3.7.

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{\sqrt{2gh_{\max}}} \quad (3.7)$$

Donde,

Δt : intervalo de tiempo para la simulación,

Δx : resolución espacial de la batimetría,

g : aceleración de la gravedad.

3.3. Parámetros de Fuente Sísmica

La fuente sísmica de los terremotos para la generación de la condición inicial del tsunami o la deformación inicial de la superficie del océano, puede describirse teóricamente usando nueve parámetros, estos son mostrados en la Figura 6.

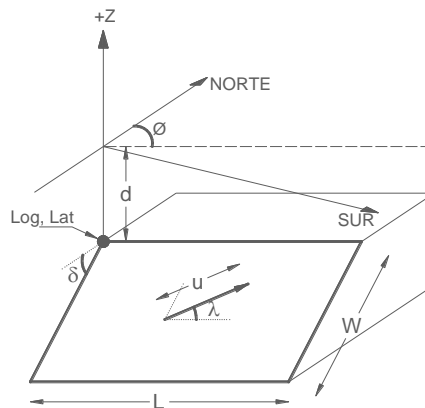


Figura 6. Parámetros de fuente sísmica para la generación de la condición inicial del tsunami.



Donde,

Log, Lat : Ubicación en el plano de la esquina superior izquierda del área de la falla,

d : Profundidad de la esquina superior izquierda del área de la falla,

L : Longitud del área de la falla,

W : Ancho del área de la falla,

Φ : Dirección (Azimut) de la falla,

λ : Ángulo de deslizamiento,

δ : Ángulo de inmersión de la falla,

u : Dislocación,

4. ESCENARIO SÍSMICO

En este estudio los modelos fuente están basados en dos diferentes escenarios sísmicos. El primero es un modelo basado en la distribución de acoplamiento intersísmico en las zonas de subducción en un periodo de 265 años desde el terremoto de 1746, aquí también se incluyen las mediciones de la deformación del fondo marino obtenidos a partir de sensores GPS y transpondedores acústicos, así también información de sismos históricos para finalmente proponer la distribución de deslizamientos [7].

El segundo escenario es un modelo fuente del terremoto de Perú en 1746 que fue calculado a través de una comparación directa de los resultados del modelamiento del tsunami y la interpretación de documentos históricos acerca de la inundación que este tsunami provocó [8].

4.1. Parámetros de las fuentes sísmicas

La fuente del primer escenario sísmico está dividida en 280 sub fallas, cada una de 20 km x 20 km, en un área de ruptura de 700 km de largo por 160 km de ancho, La magnitud de momento calculada es de 8.8 Mw. La distribución de deslizamientos muestra dos asperezas principales, la mayor localizada a 70 km al oeste de Lima con un deslizamiento de 15.4 m, y la segunda al sur de Lima con un valor de hasta 13.0 m, La Figura 7 (izquierda) muestra la distribución de desplazamientos.

El segundo escenario estima un área de ruptura de 550 km x 140 km con 5 sub fallas de 110 km x 140 km, este modelo considera un máximo desplazamiento de 17.5 m a 50 km al sureste de Lima, la magnitud de momento calculada es de 8.9 Mw, La Figura 7 (Derecha) muestra la distribución de deslizamientos para este escenario.

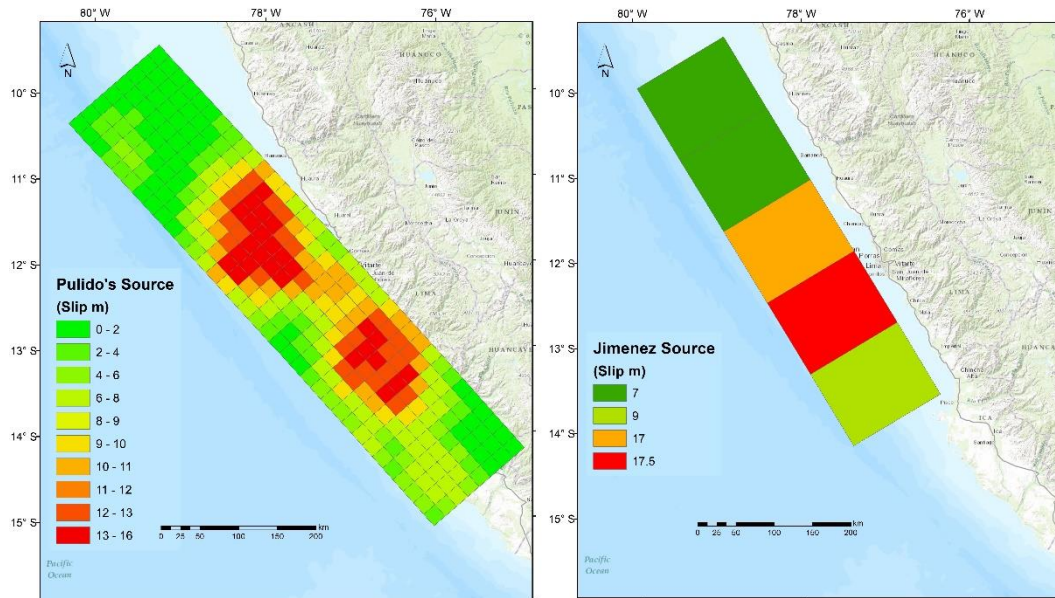


Figura 7. Distribución de desplazamientos para el primer escenario sísmico que consta de 280 sub fallas (Izquierda) y para el segundo escenario que consta de 5 sub fallas (derecha).

5. ANÁLISIS DEL TSUNAMI PARA ANCÓN

5.1. Fase de la Deformación Inicial de la Superficie del Océano

El desplazamiento inicial de la superficie del océano o condición inicial del tsunami es determinado calculando la deformación de la estructura del fondo del océano basado en relaciones propuestas en Okada, 1985. En este artículo se proponen ecuaciones para el cálculo del desplazamiento, esfuerzos e inclinación productos de la dislocación que sufre la estructura del fondo del océano durante un evento sísmico. Estas ecuaciones se basan en estudios previos, en un modelo realístico de la estructura de la tierra. Estos previos estudios revelan que el efecto de la curvatura de la tierra es depreciable para eventos a poca profundidad y a distancias menores a 20° , pero las capas verticales pueden algunas veces causar considerables efectos en los campos de deformación.

Entonces, el desplazamiento $u_i(x_1, x_2, x_3)$ debido a la dislocación $\Delta u_i(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ a través de la superficie Σ en un medio isotrópico es dado por:



$$u_i = \frac{1}{F} \iint_{\Sigma} \Delta u_j \left[\lambda \delta_{jk} \frac{\partial u_i^n}{\partial \xi_n} + \mu \left(\frac{\partial u_i^j}{\partial \xi_k} + \frac{\partial u_i^k}{\partial \xi_j} \right) \right] v_k d\Sigma \quad (5.1)$$

Donde:

δ_{jk} : Kronecker delta,

λ y μ : Constantes de Lamé,

v_k : Dirección coseno de la normal al elemento de superficie $d\Sigma$,

u_i^j : Componente "i" del desplazamiento en el punto (x_1, x_2, x_3) debido a la fuerza de magnitud "F" en la dirección "j" en (ξ_1, ξ_2, ξ_3) ,

La Figura 7 y la Figura 8 y la Figura 9 muestran el resultado de la condición inicial del tsunami para los dos escenarios sísmicos, calculados usando la ecuación (5.1) y con los datos de entrada mostrados en la Tabla 2. Donde el color rojo representa el desplazamiento vertical positivo (levantamiento) y el color azul representa el desplazamiento vertical negativo (hundimiento). Puesto que los escenarios poseen múltiples sub fallas, en la Tabla 2 se muestra un resumen de los valores que definen estas sub fallas. El detalle de los valores de los parámetros para cada una de las sub fallas se muestra en el ANEXO I y el ANEXO II.

Tabla 2. Parámetros de fuente sísmica para el cálculo de la deformación inicial de la superficie del océano, definidos en la Figura 5.

Parámetro	M _w 8.8	M _w 8.9
Longitud	-76.05°	-77.42°
Latitud	-15.1°	-14.2°
Profundidad	7-44 km	8 km
Longitud	700 km	550 km
Ancho	160 km	140 km
Dirección (Azimut)	319°	329°
Ángulo de Inmersión	15°	20°
Ángulo de deslizamiento	0-76°	90°
Dislocación (Figura 6)	0-16 m	0-17.5 m

En la simulación numérica de la propagación e inundación del tsunami, la línea marea es definida de acuerdo a la condición inicial del tsunami, Figura 8 y Figura 9 parte derecha. Esto significa que de acuerdo a este análisis, el nivel de la marea en la costa estaría descendiendo o común mente llamado "el retroceso del mar", como condición inicial del tsunami y como una señal de alerta a la venida del tsunami.

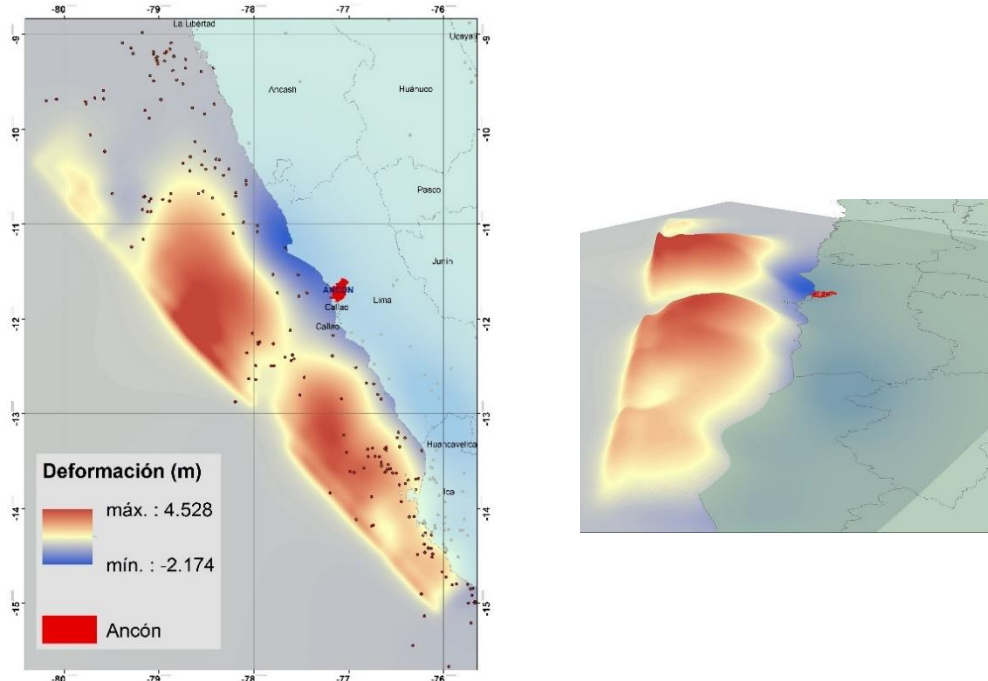


Figura 8. Deformación inicial de la superficie del océano para un sismo de M_w 8.8. Los puntos representan la sismicidad histórica.

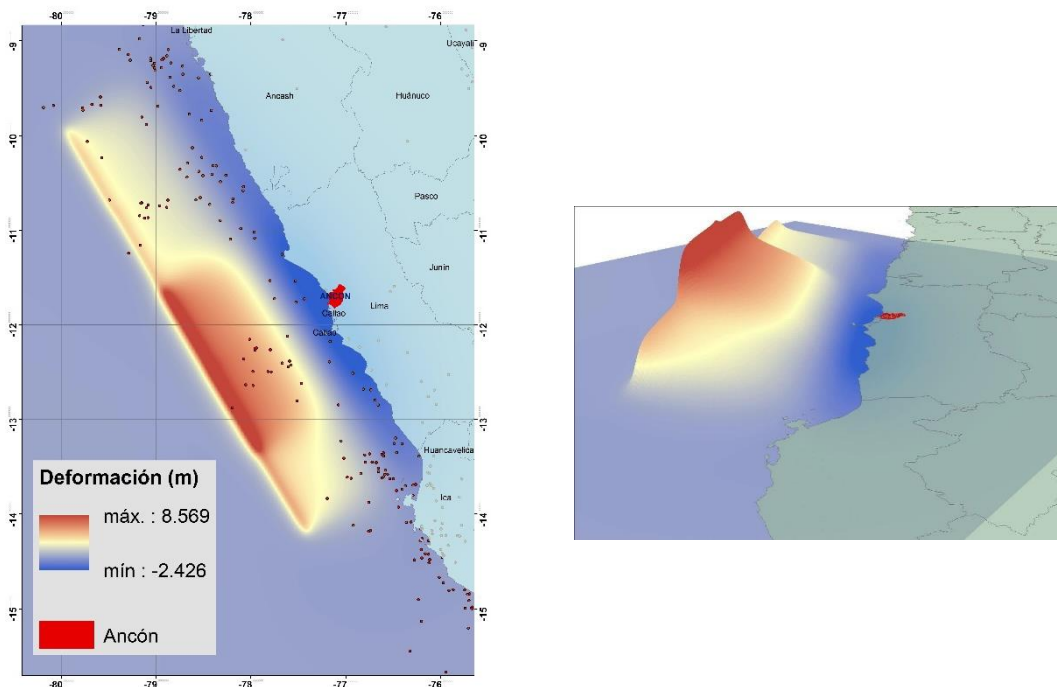


Figura 9. Deformación inicial de la superficie del océano para el sismo de M_w 8.9. Los puntos representan la sismicidad histórica.



De las figuras anteriores se observa claramente que la deformación inicial es mayor en el escenario de M_w 8.9, los desplazamientos verticales iniciales positivos son 4.5 m y 8.6 m para los escenarios de M_w 8.8 y M_w 8.9 respectivamente.

5.2. Fase de la Propagación del Tsunami

La simulación numérica del tsunami es realizada usando TUNAMI-N2 (Tohoku University's Numerical Analysis Model for Investigation of Near-field Tsunami No.2) el código fuente está basado en la teoría de aguas poco profundas y fue desarrollado por el Disaster Control Research Center (DCRC – Tohoku University, Japan).

Para la simulación del tsunami la batimetría fue tomada de General Bathymetric Chart of the Ocean (GEBCO) con una resolución espacial de 30 segundos de arco, que para nuestra ubicación geográfica es aproximadamente 900 m. El tiempo total de simulación es de 5 horas (300 minutos) y el intervalo de tiempo para la simulación, con el fin de satisfacer la estabilidad numérica, es de 0.4 segundos.

La Figura 10 y Figura 11 muestran el escenario de la propagación de la ola para los tiempos de 1 minuto (a) y el tiempo de arribo de la primera ola a la costa (b). También se muestran las amplitudes de la ola vs el tiempo transcurrido después de haberse iniciado el tsunami para los diferentes escenarios sísmicos (c), estas señales fueron registradas por la estación mareográfica virtual ubicada en el club ESMAR de la fuerza aérea del Perú, en las coordenadas 263035 m, 86977885 m UTM WGS84 Z18S.

La Figura 10, a) muestra la distribución espacial de la condición inicial del tsunami calculado para un sismo de magnitud $M_w=8.8$, donde las zonas en rojo representa el desplazamiento vertical positivo del mar y las zonas en azul el desplazamiento vertical negativo, b) muestra la propagación del tsunami en 24 minutos después de iniciado el evento sísmico. En esta figura se observa el arribo de la primera ola a la costa, c) muestra como varía la amplitud en el transcurso del tiempo. Esta es una representación sintética de un tsunami registrado en el club ESMAR, esta señal es el resultado de la sustracción de la señal astronómica de la señal mareográfica sintética del tsunami, la señal del tsunami muestra claramente que en este escenario la primera ola arriba a la punta con una amplitud mayor a 4.0 m y en aproximadamente 41 min después del evento sísmico.

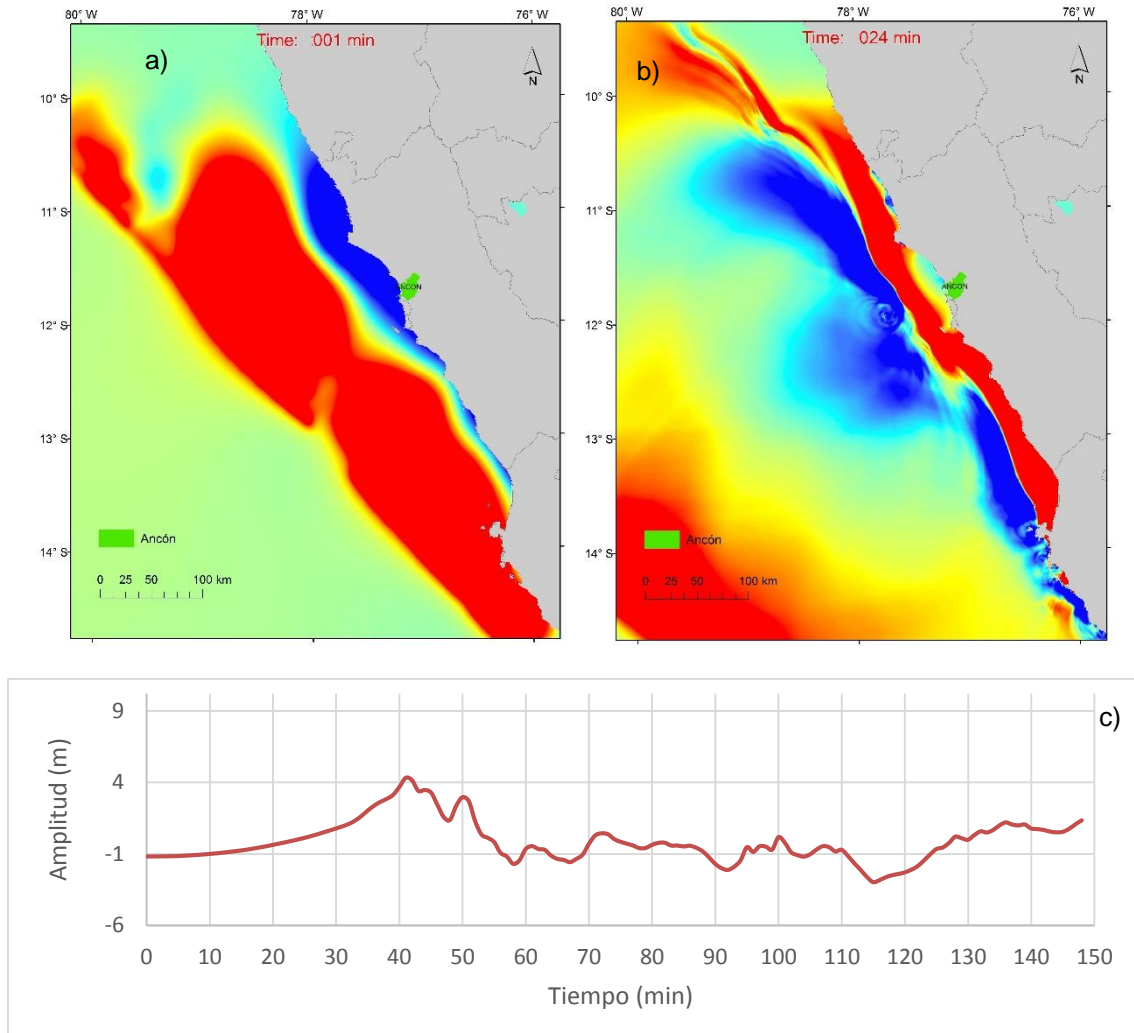


Figura 10. a) y b) Capturas instantáneas de la propagación del tsunami, donde el color rojo representa el desplazamiento vertical positivo y el color azul desplazamiento vertical negativo de la superficie del océano para el escenario M_w 8.8. c) Señal sintética del tsunami para el escenario M_w 8.8.

En la Figura 11, a) muestra la distribución espacial de la condición inicial del tsunami calculado para un sismo de magnitud $M_w=8.9$, donde las zonas en rojo representa el desplazamiento vertical positivo del mar y las zonas en azul el desplazamiento vertical negativo, b) muestra la propagación del tsunami en 26 minutos después de iniciado el evento sísmico. En esta figura se observa el arribo de la primera ola a la costa, c) muestra como varía la amplitud en el transcurso del tiempo. Esta es una representación sintética de un tsunami registrado en el club ESMAR, esta señal es el resultado de la sustracción de la señal astronómica de la señal mareográfica sintética del tsunami, la señal del tsunami muestra claramente que en este escenario la primera ola arriba a la punta con una amplitud mayor a 9.0 m y en aproximadamente 40 min después del evento sísmico.

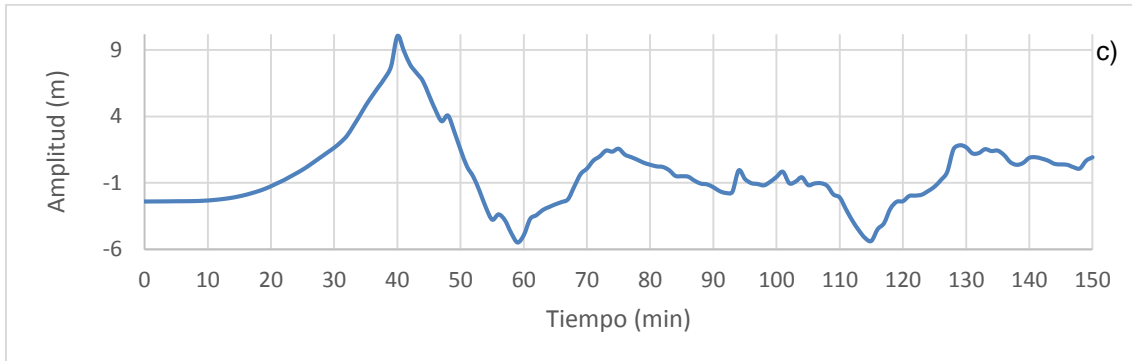
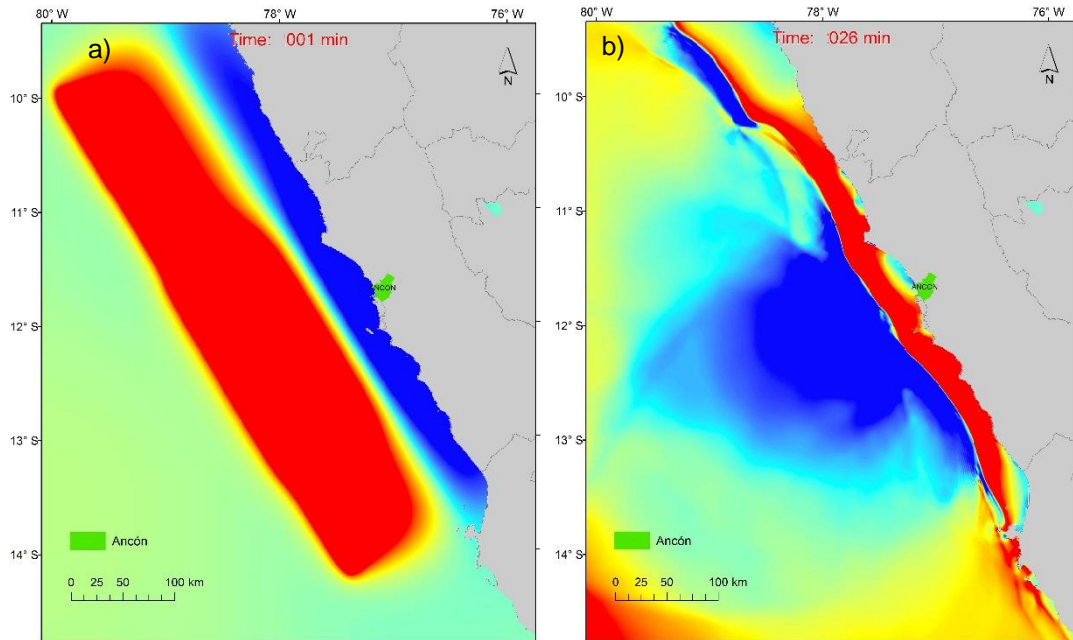


Figura 11. a) y b) Capturas instantáneas de la propagación del tsunami, donde el color rojo representa el desplazamiento vertical positivo y el color azul desplazamiento vertical negativo de la superficie del océano para el escenario M_w 8.9. c) Señal sintética del tsunami para el escenario M_w 8.9.

5.3. Fase de Inundación

Para estimar la inundación probable producto del tsunami se establecieron cerca de 100 estaciones mareográficas virtuales a lo largo de la costa del área de estudio, en estas estaciones virtuales se puede registrar las variaciones en el nivel del mar producto del tsunami, los valores máximos de estos registros estarían dando las probables amplitudes máximas o altura de las olas máximas que estaría atacando las costas de Ancón.

La Figura 12 muestra las alturas máximas de olas esperadas producto del tsunami a lo largo de la costa de Ancón, de acuerdo a esta figura la mayor parte a lo largo de la costa presenta alturas de ola mayores a 4 metros y la altura máxima estaría ocurriendo en la zona norte del distrito, donde afortunadamente no hay muchas viviendas cerca al mar. Aunque en general se tienen alturas de ola importantes para la zona poblada, siendo de hasta 6m para el caso del sismo de 8.8 Mw y hasta de 14 m para el sismo de 8.9 Mw.

Así también en la Figura 13 se muestran las alturas máximas a lo largo de la costa.

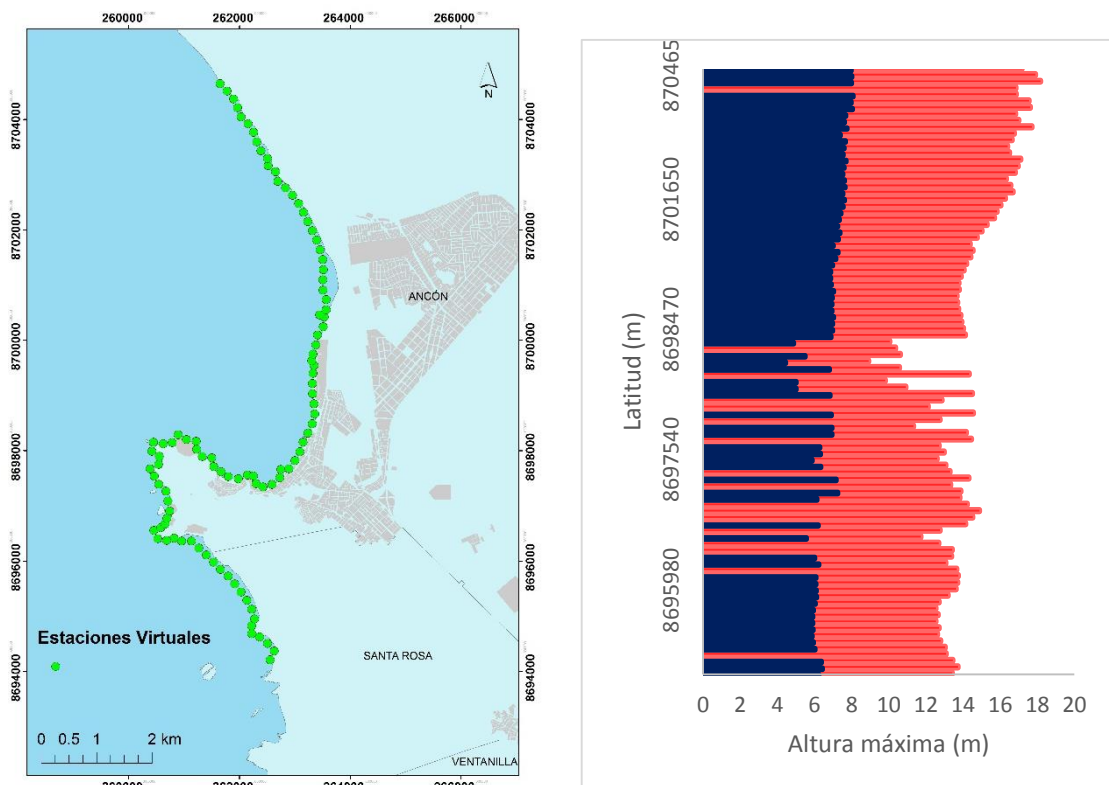


Figura 12. Alturas de olas máximas a lo largo de las costas de Ancón. Las barras azules y rojas representan las alturas máximas de olas en la costa para los escenarios de M_w 8.8 y M_w 8.9 respectivamente. Los puntos verdes muestran la ubicación de las estaciones virtuales.

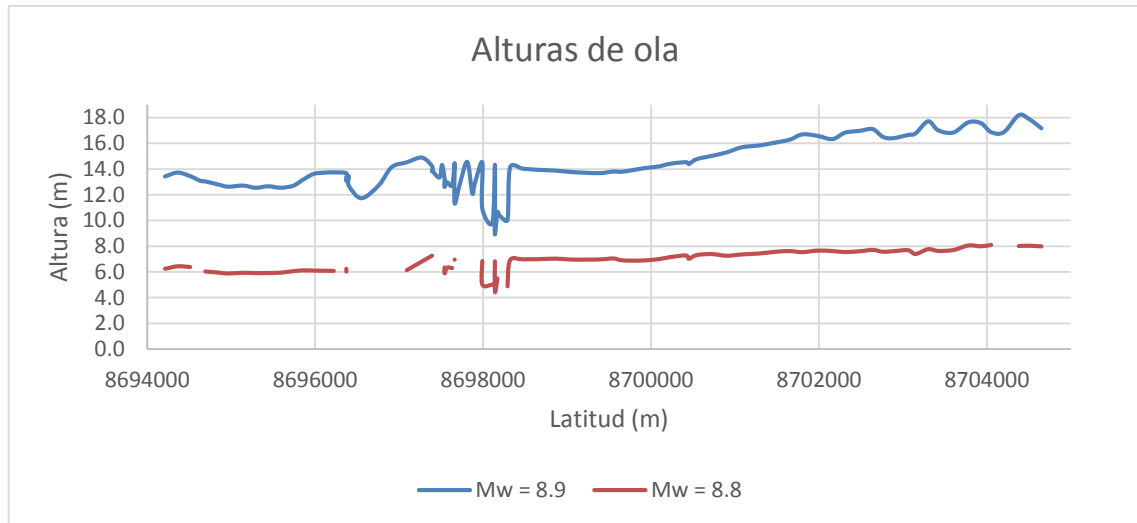


Figura 13. Alturas máximas de ola a lo largo de la costa de Ancón de sur a norte.

Las alturas máximas de ola se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 3. Alturas máximas de ola obtenidas del modelo numérico de simulación de Tsunami.

Mw	Hmáx (m)
8.8	8
8.9	18

Finalmente estas alturas deberán ser corregidas por las alturas máximas de mareas. Para esta corrección se toman los datos del documento Tabla de Mareas 2015 Puertos de la Costa del Perú, Océano Pacífico, América del Sur, publicado por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, Ministerio de Defensa, publicación anual para cada una de las principales ciudades del litoral peruano.

En este documento se puede encontrar que para el año 2015, en las costas del Ancón, se tiene un valor de pleamar de 1.26 metros [13]. Con este valor se corrigen los valores obtenidos de la simulación para asegurar una evaluación de daños en el caso más desfavorable.

Finalmente, los valores de altura con los cuales se han evaluado las áreas de inundación se presentan en la Tabla , los valores se presentan redondeados.

Tabla 4. Valores corregidos de alturas máximas de olas.

Mw	Hmáx corregida (m)
8.8	9.26
8.9	19.26

Así como se obtienen las alturas máximas en las costas también se elaboraron mapas con los niveles de inundación tierra adentro y los resultados se muestran en la Figura 14 y Figura 15 para los eventos de magnitudes 8.8 Mw y 8.9 Mw respectivamente.

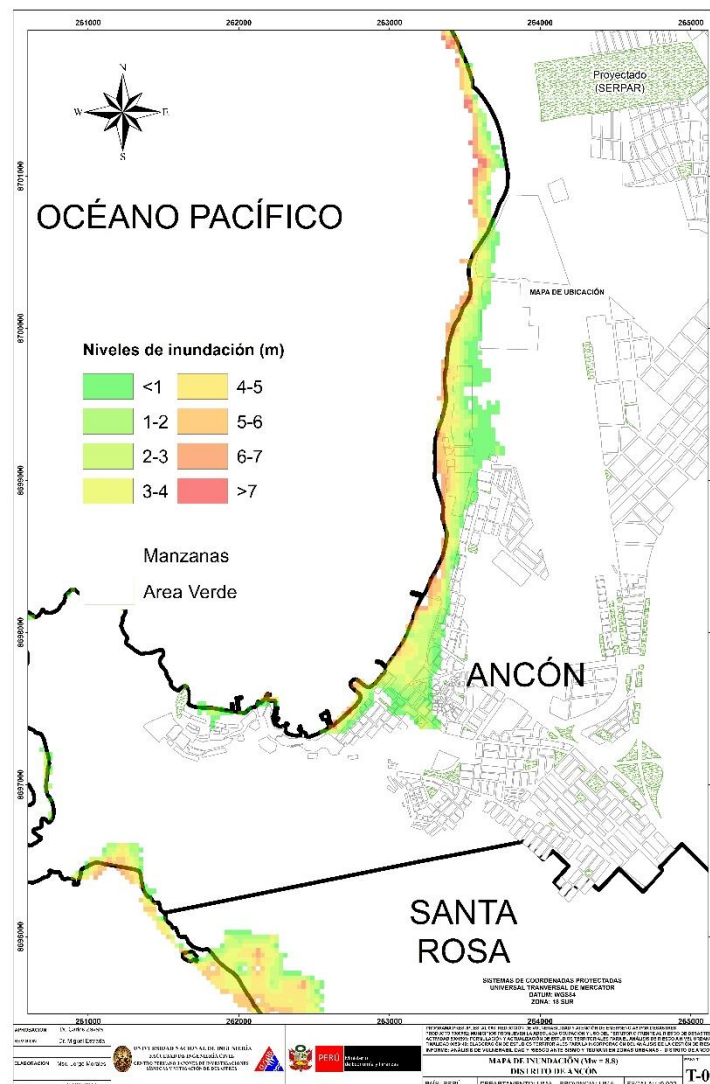


Figura 14. Niveles de inundación para Ancón con el escenario sísmico de magnitud 8.8 Mw.

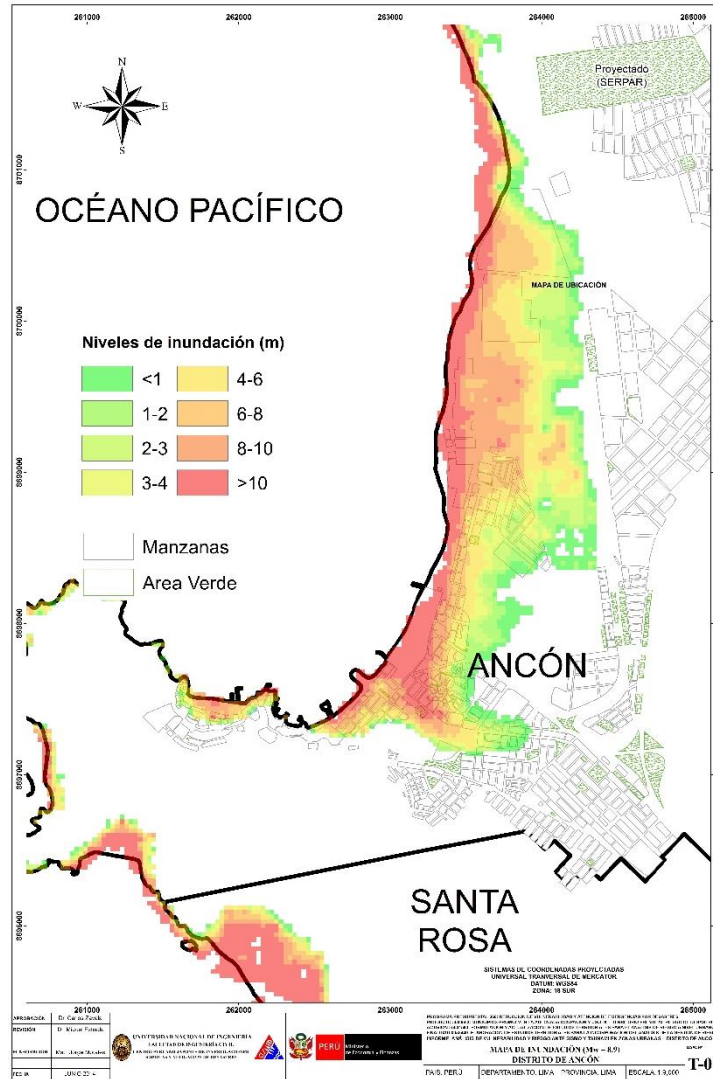


Figura 15. Niveles de inundación para Ancón con el escenario sísmico de magnitud 8.9 Mw.

De estos mapas se puede apreciar que para el evento sísmico de magnitud 8.8 Mw los valores de inundación bordean los 4 metros en la mayoría de las zonas, mientras que el máximo valor de inundación para este caso es de 7 metros.

Para el evento más crítico, 8.9 Mw, los niveles de inundación en su mayoría son aproximadamente de 6 metros, llegando a alcanzar valores mayores a los 10 metros en los lugares más cercanos a la costa.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se ha realizado un análisis del área inundada. Los resultados del área inundada se encuentran en la Tabla 6.1. Como se puede apreciar en esta tabla con el sismo de 8.8 Mw, 48 manzanas se verán afectadas siendo un 4.7 % del total.

El sismo de 8.9 Mw sería el peor escenario posible afectando a 172 manzanas que representan casi el 17 %.

Tabla 5. Número de manzanas afectadas en el distrito de Ancón, según el escenario sísmico.

Nº	Distrito	Cantidad de Manzanas Afectadas		Porcentaje de Afectación	
		Mw 8.8	Mw 8.9	Mw 8.8	Mw 8.9
1	Ancón	48	172	4.72 %	16.9 %

Se pudieron reconocer además las posibles manzanas afectadas para ambos escenarios, mostrándose los resultados en la Figura 16.

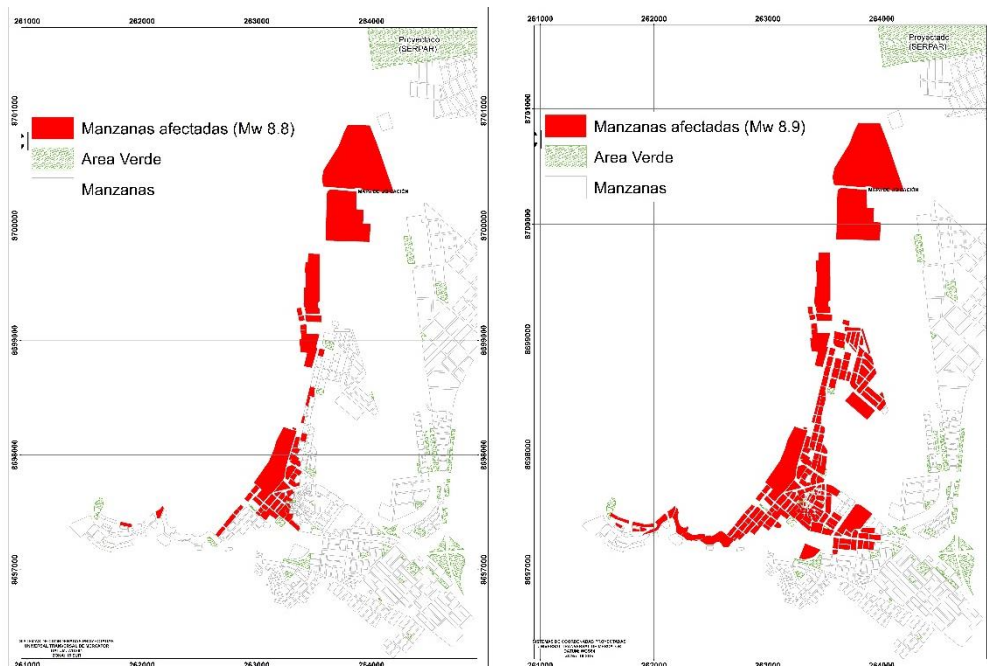


Figura 16. Manzanas afectadas por la inundación por el evento sísmico de 8.8 Mw (Izquierda) y por el de 8.9 Mw (Derecha).

De la Figura 14 y de la Figura 15 se pueden reconocer además las áreas verdes que estarían fuera de la zona inundada, lugares idóneos para ser refugio en caso de un posible tsunami.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



La Figura 17 muestra una propuesta de posibles refugios y las rutas de evacuación, para dichos refugios se consideró las áreas verdes que quedan fuera del área de inundación del evento más desfavorable, en este caso el de magnitud 8.9 Mw.

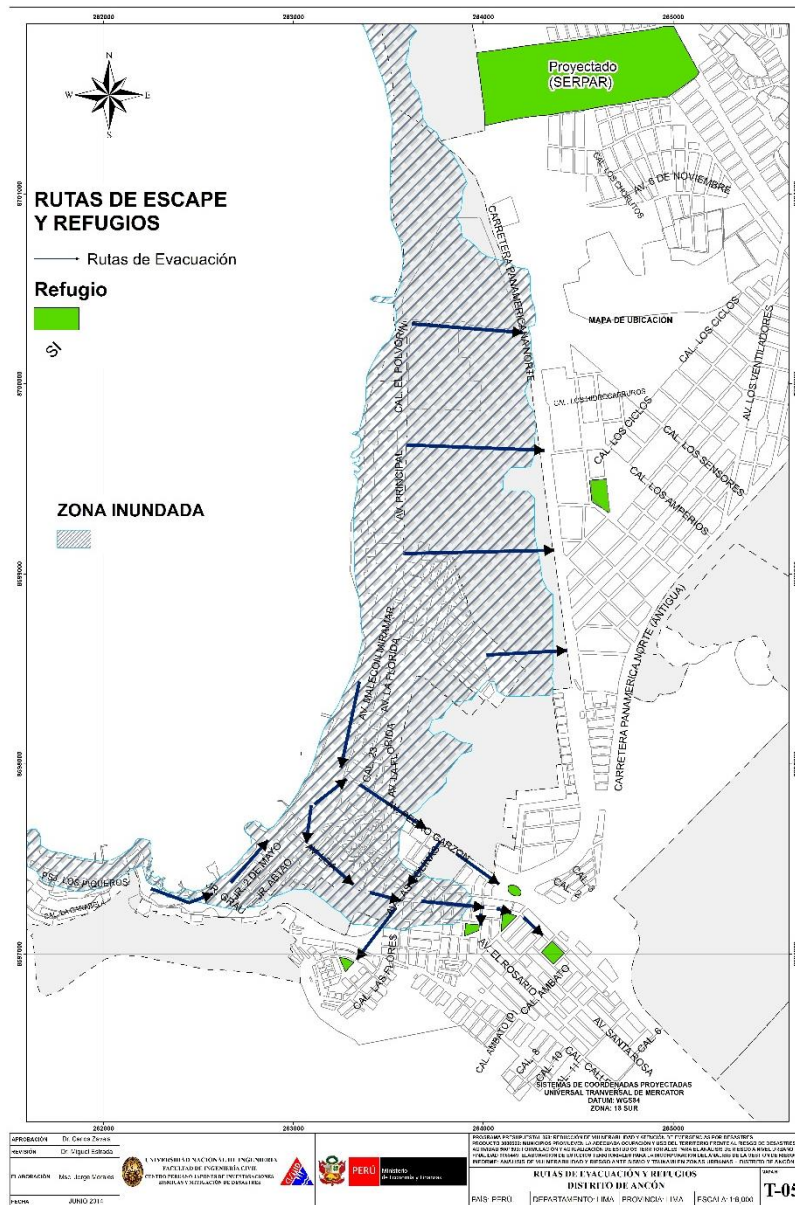


Figura 17. Rutas de evacuación y posibles refugios en caso de tsunami.



7. REFERENCIAS

- [1]. Silgado F., E., (1992). Investigaciones de sismicidad historica en la America del Sur en los siglos XVI, XVII, XVIII y XIX, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologia, Lima, Peru.
- [2]. ITST, 2001a, Report of the June 23, 2001 Peruvian Tsunami Field Survey of the International Tsunami Survey Team (ITST).
- [3]. Fritz, H. M., Kalligeris, N., Borrero, J. C., Broncano, P., and Ortega, E., 2008, The 15 August 2007 Peru tsunami run-up observations and modeling, Geophysical Research Letters, vol. 35, L10604, doi: 10.1029/2008GL033494.
- [4]. Imamura, F., 1995, Review of the tsunami simulation with a finite difference method, Long Wave Run-up Models, Word Science, 25-42.
- [5]. Dorbath L., Cisternas A., y Dorbath C., 1990, Assessment of the Size of Large and Great Historical Earthquakes in Peru, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 80, No. 3, pp. 551-576.
- [6]. Okada, Y., 1985, Surface Deformation Due to shear and Tensile Faults in Half-space, Bulletin Seismological Society of America. Vol. 75, No. 4, 1135-1154.
- [7]. N. Pulido, H. Tavera, H. Perfettini, M. Chlieh, Z. Aguilar, S. Aoi, S. Nakai, and F. Yamazaki, "Estimation of Slip Scenarios for Megathrust Earthquakes: A Case Study for Peru," in Effects of Surface Geology on Seismic Motion, pp. 1-6, 2011.
- [8]. C. Jimenez, N. Moggiano, E. Mas, B. Adriano, S. Koshimura, Y. Fujii, and H. Yanagisawa, "Seismic Source of 1746 Callao Earthquake from Tsunami Numerical Modeling," Journal of Disaster Research, Vol.8, No.2, pp. 266-273, 2013.
- [9]. B. Adriano, E. Mas, S. Koshimura, Y. Fujii, S. Yauri, C. Jimenez and H. Yanagisawa, "Tsunami Inundation Mapping in Lima for Two Tsunami Source Scenarios", Journal of Disaster Research, Vol.8, No.2, pp 274-284, 2013.
- [10]. Kuroiwa J., Reducción de Desastres, Viviendo en Armonía con la Naturaleza, 2002.
- [11]. Evaluacion del Riesgo de Tsunamis en Quintero Chile, En revista chilena de ingeniería (ISSN0370-4009). No 453, abril 2008.
- [12]. "Estudio de Tsunamis de Origen Cercano en el Callao Centro – Norte, Planes de Evacuación y Uso de Suelo", 2008, E. Mas y V Jácome. Faculta de Ingenieria Civil – Universidad Nacional de Ingenia.
- [13]. "Tabla de Mareas 2015", 2015, Dirección de Hidrografía y Navegación, Marina de Guerra del Perú, Ministerio de Defensa, República del Perú.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



ANEXO I. Tabla de los parámetros de la fuente sísmica que considera 280 sub fallas

Sub falla	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Deslizamiento (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Azimut (°)	Inmersión (°)	Deslizamiento (°)	Profundidad (m)
1	387514.74	8328974.09	3.07	20000	20000	319	15	64	7441.05
2	374270.24	8343930.57	4.61	20000	20000	319	15	60	7441.05
3	361020.03	8358891.86	4.61	20000	20000	319	15	60	7441.05
4	347742.88	8373835.91	4.61	20000	20000	319	15	56	7441.05
5	334460.41	8388774.09	3.07	20000	20000	319	15	64	7441.05
6	321151.18	8403717.51	4.61	20000	20000	319	15	60	7441.05
7	307837.04	8418644.38	6.15	20000	20000	319	15	56	7441.05
8	294507.24	8433576.95	6.15	20000	20000	319	15	52	7441.05
9	281151.29	8448493.18	4.61	20000	20000	319	15	60	7441.05
10	267790.88	8463404.50	4.61	20000	20000	319	15	60	7441.05
11	254404.44	8478321.99	4.61	20000	20000	319	15	68	7441.05
12	241013.97	8493223.90	4.61	20000	20000	319	15	76	7441.05
13	227608.72	8508121.39	3.07	20000	20000	319	15	76	7441.05
14	214318.10	8523093.52	0.00	20000	20000	319	15	0	7441.05
15	201013.25	8538050.66	0.00	20000	20000	319	15	0	7441.05
16	187694.21	8553004.07	0.00	20000	20000	319	15	0	7441.05
17	173821.13	8567692.89	3.07	20000	20000	319	15	72	7441.05
18	160344.34	8582571.18	4.61	20000	20000	319	15	60	7441.05
19	146842.71	8597457.15	6.15	20000	20000	319	15	68	7441.05
20	133338.42	8612329.12	7.69	20000	20000	319	15	76	7441.05
21	119809.72	8627198.08	9.22	20000	20000	319	15	72	7441.05
22	106278.39	8642075.60	10.76	20000	20000	319	15	68	7441.05
23	92723.11	8656939.43	7.69	20000	20000	319	15	60	7441.05
24	79165.69	8671801.14	4.61	20000	20000	319	15	76	7441.05
25	65595.21	8686671.87	3.07	20000	20000	319	15	64	7441.05
26	52001.24	8701529.50	1.54	20000	20000	319	15	60	7441.05
27	38405.61	8716385.62	1.54	20000	20000	319	15	64	7441.05
28	24786.46	8731251.20	1.54	20000	20000	319	15	64	7441.05
29	11166.14	8746104.60	1.54	20000	20000	319	15	72	7441.05
30	-2466.46	8760968.04	3.07	20000	20000	319	15	52	7441.05
31	-16121.80	8775819.36	3.07	20000	20000	319	15	40	7441.05
32	-29777.99	8790670.21	3.07	20000	20000	319	15	52	7441.05
33	-43456.97	8805531.54	1.54	20000	20000	319	15	48	7441.05
34	-57136.30	8820381.71	1.54	20000	20000	319	15	40	7441.05
35	-70826.96	8835231.86	1.54	20000	20000	319	15	44	7441.05
36	402077.87	8341649.54	4.61	20000	20000	319	15	52	12617.43
37	388847.36	8356624.94	6.15	20000	20000	319	15	60	12617.43
38	375589.82	8371582.85	6.15	20000	20000	319	15	64	12617.43
39	362326.85	8386545.67	6.15	20000	20000	319	15	64	12617.43
40	349037.19	8401491.35	4.61	20000	20000	319	15	56	12617.43
41	335742.50	8416431.27	3.07	20000	20000	319	15	56	12617.43
42	322432.09	8431376.61	4.61	20000	20000	319	15	68	12617.43
43	309095.48	8446305.36	7.69	20000	20000	319	15	60	12617.43
44	295754.34	8461228.93	7.69	20000	20000	319	15	64	12617.43
45	282387.13	8476158.40	7.69	20000	20000	319	15	64	12617.43
46	269015.83	8491072.01	9.22	20000	20000	319	15	68	12617.43
47	255629.59	8505992.00	7.69	20000	20000	319	15	64	12617.43
48	242217.94	8520896.32	6.15	20000	20000	319	15	64	12617.43
49	228802.61	8535796.43	3.07	20000	20000	319	15	80	12617.43
50	215361.96	8550703.38	3.07	20000	20000	319	15	72	12617.43
51	201918.07	8565595.46	1.54	20000	20000	319	15	56	12617.43



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Sub falla	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Deslizamiento (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Azimut (°)	Inmersión (°)	Deslizamiento (°)	Profundidad (m)
52	188460.14	8580483.80	3.07	20000	20000	319	15	64	12617.43
53	174977.33	8595379.57	6.15	20000	20000	319	15	60	12617.43
54	161491.80	8610261.05	9.22	20000	20000	319	15	52	12617.43
55	147981.82	8625139.26	10.76	20000	20000	319	15	56	12617.43
56	134469.18	8640025.73	13.83	20000	20000	319	15	64	12617.43
57	120932.53	8654898.25	13.83	20000	20000	319	15	68	12617.43
58	107393.54	8669779.44	10.76	20000	20000	319	15	68	12617.43
59	93841.76	8684647.20	7.69	20000	20000	319	15	68	12617.43
60	80266.28	8699512.67	6.15	20000	20000	319	15	60	12617.43
61	66688.95	8714387.43	4.61	20000	20000	319	15	48	12617.43
62	53088.37	8729249.20	1.54	20000	20000	319	15	44	12617.43
63	39486.42	8744109.59	1.54	20000	20000	319	15	40	12617.43
64	25872.15	8758979.72	1.54	20000	20000	319	15	64	12617.43
65	12235.10	8773837.47	3.07	20000	20000	319	15	60	12617.43
66	-1403.01	8788705.54	4.61	20000	20000	319	15	64	12617.43
67	-15063.60	8803561.63	4.61	20000	20000	319	15	48	12617.43
68	-28724.76	8818417.36	3.07	20000	20000	319	15	60	12617.43
69	-42397.47	8833283.87	3.07	20000	20000	319	15	68	12617.43
70	-56092.20	8848138.99	1.54	20000	20000	319	15	44	12617.43
71	416667.13	8354326.16	6.15	20000	20000	319	15	64	17793.81
72	403429.03	8369298.22	7.69	20000	20000	319	15	60	17793.81
73	390185.44	8384274.92	7.69	20000	20000	319	15	72	17793.81
74	376915.09	8399234.23	7.69	20000	20000	319	15	68	17793.81
75	363639.58	8414198.56	7.69	20000	20000	319	15	52	17793.81
76	350348.43	8429145.93	6.15	20000	20000	319	15	44	17793.81
77	337030.95	8444087.51	6.15	20000	20000	319	15	60	17793.81
78	323708.81	8459034.69	9.22	20000	20000	319	15	60	17793.81
79	310360.71	8473965.39	10.76	20000	20000	319	15	56	17793.81
80	297008.37	8488891.01	10.76	20000	20000	319	15	64	17793.81
81	283630.22	8503822.64	12.30	20000	20000	319	15	64	17793.81
82	270248.26	8518738.53	12.30	20000	20000	319	15	60	17793.81
83	256851.72	8533649.83	9.22	20000	20000	319	15	64	17793.81
84	243429.83	8548567.72	6.15	20000	20000	319	15	64	17793.81
85	230004.64	8563470.44	4.61	20000	20000	319	15	68	17793.81
86	216554.38	8578380.12	3.07	20000	20000	319	15	56	17793.81
87	203101.17	8593275.03	4.61	20000	20000	319	15	40	17793.81
88	189634.18	8608166.33	7.69	20000	20000	319	15	44	17793.81
89	176142.58	8623065.17	10.76	20000	20000	319	15	44	17793.81
90	162648.53	8637949.83	12.30	20000	20000	319	15	48	17793.81
91	149130.29	8652831.35	13.83	20000	20000	319	15	56	17793.81
92	135609.67	8667721.24	13.83	20000	20000	319	15	60	17793.81
93	122076.20	8682597.43	12.30	20000	20000	319	15	64	17793.81
94	108518.86	8697482.14	10.76	20000	20000	319	15	68	17793.81
95	94959.90	8712353.68	9.22	20000	20000	319	15	64	17793.81
96	81377.52	8727223.05	6.15	20000	20000	319	15	60	17793.81
97	67793.55	8742101.82	3.07	20000	20000	319	15	72	17793.81
98	54197.54	8756967.88	1.54	20000	20000	319	15	56	17793.81
99	40829.28	8771913.53	0.00	20000	20000	319	15	0	17793.81
100	26958.47	8786706.89	1.54	20000	20000	319	15	60	17793.81
101	13315.85	8801569.14	3.07	20000	20000	319	15	56	17793.81
102	-327.37	8816430.75	3.07	20000	20000	319	15	52	17793.81
103	-13993.15	8831302.67	3.07	20000	20000	319	15	64	17793.81
104	-27659.05	8846163.27	3.07	20000	20000	319	15	60	17793.81
105	-41336.22	8861034.77	1.54	20000	20000	319	15	60	17793.81
106	431260.95	8366992.97	4.61	20000	20000	319	15	76	22970.19
107	418036.58	8381972.80	6.15	20000	20000	319	15	60	22970.19



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Sub falla	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Deslizamiento (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Azimut (°)	Inmersión (°)	Deslizamiento (°)	Profundidad (m)
108	404785.35	8396946.05	6.15	20000	20000	319	15	76	22970.19
109	391528.91	8411924.03	6.15	20000	20000	319	15	64	22970.19
110	378245.96	8426884.74	7.69	20000	20000	319	15	48	22970.19
111	364958.20	8441839.51	7.69	20000	20000	319	15	48	22970.19
112	351654.94	8456799.54	9.22	20000	20000	319	15	52	22970.19
113	338325.66	8471742.83	12.30	20000	20000	319	15	60	22970.19
114	324992.01	8486691.83	13.83	20000	20000	319	15	60	22970.19
115	311632.66	8501624.46	12.30	20000	20000	319	15	56	22970.19
116	298269.34	8516552.12	12.30	20000	20000	319	15	60	22970.19
117	284891.31	8531485.99	13.83	20000	20000	319	15	56	22970.19
118	271488.07	8546404.05	12.30	20000	20000	319	15	56	22970.19
119	258081.36	8561317.73	9.22	20000	20000	319	15	64	22970.19
120	244649.56	8576238.10	7.69	20000	20000	319	15	68	22970.19
121	231214.73	8591143.42	6.15	20000	20000	319	15	60	22970.19
122	217765.97	8606055.92	7.69	20000	20000	319	15	48	22970.19
123	204292.78	8620953.55	10.76	20000	20000	319	15	40	22970.19
124	190816.96	8635847.80	13.83	20000	20000	319	15	44	22970.19
125	177316.79	8650749.69	15.37	20000	20000	319	15	44	22970.19
126	163814.44	8665637.53	15.37	20000	20000	319	15	48	22970.19
127	150288.17	8680522.34	13.83	20000	20000	319	15	52	22970.19
128	136759.80	8695415.64	12.30	20000	20000	319	15	60	22970.19
129	123218.85	8710295.36	12.30	20000	20000	319	15	64	22970.19
130	109654.42	8725172.64	10.76	20000	20000	319	15	64	22970.19
131	96088.38	8740059.02	7.69	20000	20000	319	15	52	22970.19
132	82499.31	8754932.28	4.61	20000	20000	319	15	48	22970.19
133	68908.94	8769815.05	1.54	20000	20000	319	15	72	22970.19
134	55557.78	8784755.15	0.00	20000	20000	319	15	0	22970.19
135	42194.97	8799705.17	0.00	20000	20000	319	15	0	22970.19
136	28056.25	8814432.86	1.54	20000	20000	319	15	60	22970.19
137	14408.31	8829299.61	1.54	20000	20000	319	15	64	22970.19
138	760.03	8844165.83	3.07	20000	20000	319	15	52	22970.19
139	-12899.55	8859042.65	1.54	20000	20000	319	15	44	22970.19
140	-26580.94	8873907.95	1.54	20000	20000	319	15	52	22970.19
141	445880.77	8379639.18	3.07	20000	20000	319	15	48	28146.57
142	432648.43	8394637.73	3.07	20000	20000	319	15	56	28146.57
143	419410.90	8409618.62	4.61	20000	20000	319	15	56	28146.57
144	406146.75	8424593.03	3.07	20000	20000	319	15	52	28146.57
145	392877.68	8439572.29	4.61	20000	20000	319	15	52	28146.57
146	379593.16	8454534.43	7.69	20000	20000	319	15	60	28146.57
147	366282.50	8469490.63	9.22	20000	20000	319	15	56	28146.57
148	352967.42	8484452.25	12.30	20000	20000	319	15	60	28146.57
149	339626.57	8499397.24	13.83	20000	20000	319	15	64	28146.57
150	326281.63	8514348.05	12.30	20000	20000	319	15	56	28146.57
151	312922.08	8529282.67	13.83	20000	20000	319	15	56	28146.57
152	299537.17	8544212.28	13.83	20000	20000	319	15	52	28146.57
153	286148.66	8559148.29	12.30	20000	20000	319	15	48	28146.57
154	272735.19	8574068.60	10.76	20000	20000	319	15	52	28146.57
155	259318.53	8588984.63	9.22	20000	20000	319	15	64	28146.57
156	245877.04	8603907.48	9.22	20000	20000	319	15	60	28146.57
157	232432.79	8618815.39	10.76	20000	20000	319	15	48	28146.57
158	218975.00	8633719.52	12.30	20000	20000	319	15	40	28146.57
159	205492.82	8648631.04	13.83	20000	20000	319	15	40	28146.57
160	192008.40	8663528.21	15.37	20000	20000	319	15	48	28146.57
161	178499.89	8678433.15	13.83	20000	20000	319	15	56	28146.57
162	164989.47	8693324.16	15.37	20000	20000	319	15	56	28146.57
163	151466.31	8708212.37	13.83	20000	20000	319	15	64	28146.57



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Sub falla	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Deslizamiento (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Azimut (°)	Inmersión (°)	Deslizamiento (°)	Profundidad (m)
164	137919.49	8723108.95	13.83	20000	20000	319	15	60	28146.57
165	124371.28	8737992.18	12.30	20000	20000	319	15	64	28146.57
166	110799.86	8752873.10	9.22	20000	20000	319	15	56	28146.57
167	97227.11	8767763.23	6.15	20000	20000	319	15	56	28146.57
168	83642.52	8782640.50	3.07	20000	20000	319	15	52	28146.57
169	70297.07	8797597.02	0.00	20000	20000	319	15	0	28146.57
170	56940.37	8812541.21	0.00	20000	20000	319	15	0	28146.57
171	42796.48	8827274.41	1.54	20000	20000	319	15	72	28146.57
172	29165.44	8842157.65	1.54	20000	20000	319	15	64	28146.57
173	15512.39	8857028.88	1.54	20000	20000	319	15	44	28146.57
174	1859.30	8871899.70	1.54	20000	20000	319	15	40	28146.57
175	-11508.97	8886852.02	0.00	20000	20000	319	15	0	28146.57
176	460504.91	8392287.04	1.54	20000	20000	319	15	60	33322.95
177	447286.04	8407282.20	1.54	20000	20000	319	15	64	33322.95
178	434040.48	8422281.70	1.54	20000	20000	319	15	80	33322.95
179	420789.99	8437263.63	1.54	20000	20000	319	15	60	33322.95
180	407513.16	8452239.20	3.07	20000	20000	319	15	80	33322.95
181	394231.68	8467219.71	6.15	20000	20000	319	15	76	33322.95
182	380935.02	8482183.20	7.69	20000	20000	319	15	72	33322.95
183	367612.47	8497140.87	10.76	20000	20000	319	15	72	33322.95
184	354285.79	8512104.07	13.83	20000	20000	319	15	68	33322.95
185	340944.43	8527050.81	12.30	20000	20000	319	15	68	33322.95
186	327577.65	8541992.28	12.30	20000	20000	319	15	60	33322.95
187	314207.23	8556939.87	13.83	20000	20000	319	15	52	33322.95
188	300811.78	8571871.49	13.83	20000	20000	319	15	40	33322.95
189	287413.01	8586809.62	10.76	20000	20000	319	15	44	33322.95
190	273989.53	8601732.17	9.22	20000	20000	319	15	52	33322.95
191	260563.15	8616650.56	10.76	20000	20000	319	15	52	33322.95
192	247123.07	8631575.96	10.76	20000	20000	319	15	48	33322.95
193	233658.76	8646486.34	10.76	20000	20000	319	15	44	33322.95
194	220192.05	8661393.16	10.76	20000	20000	319	15	40	33322.95
195	206701.22	8676307.49	12.30	20000	20000	319	15	48	33322.95
196	193208.42	8691207.58	12.30	20000	20000	319	15	56	33322.95
197	179702.70	8706115.67	13.83	20000	20000	319	15	64	33322.95
198	166173.53	8721009.71	13.83	20000	20000	319	15	56	33322.95
199	152642.80	8735901.19	13.83	20000	20000	319	15	52	33322.95
200	139088.68	8750801.16	12.30	20000	20000	319	15	56	33322.95
201	125533.44	8765687.90	9.22	20000	20000	319	15	60	33322.95
202	111966.19	8780572.57	6.15	20000	20000	319	15	48	33322.95
203	98376.01	8795466.31	3.07	20000	20000	319	15	52	33322.95
204	84785.21	8810347.45	1.54	20000	20000	319	15	40	33322.95
205	71171.90	8825226.98	1.54	20000	20000	319	15	68	33322.95
206	57558.04	8840116.47	1.54	20000	20000	319	15	60	33322.95
207	43922.11	8854993.68	1.54	20000	20000	319	15	56	33322.95
208	30285.95	8869881.26	1.54	20000	20000	319	15	52	33322.95
209	16934.81	8884827.62	0.00	20000	20000	319	15	0	33322.95
210	3562.08	8899784.63	0.00	20000	20000	319	15	0	33322.95
211	475154.84	8404914.66	1.54	20000	20000	319	15	76	38499.33
212	461927.70	8419928.48	1.54	20000	20000	319	15	52	38499.33
213	448695.57	8434924.46	1.54	20000	20000	319	15	56	38499.33
214	435437.03	8449913.82	1.54	20000	20000	319	15	56	38499.33
215	422173.79	8464907.84	3.07	20000	20000	319	15	60	38499.33
216	408895.30	8479884.58	4.61	20000	20000	319	15	44	38499.33
217	395590.82	8494866.30	6.15	20000	20000	319	15	68	38499.33
218	382282.24	8509831.14	7.69	20000	20000	319	15	76	38499.33
219	368948.03	8524790.26	10.76	20000	20000	319	15	64	38499.33



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Sub falla	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Deslizamiento (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Azimut (°)	Inmersión (°)	Deslizamiento (°)	Profundidad (m)
220	355609.96	8539755.02	12.30	20000	20000	319	15	60	38499.33
221	342257.49	8554703.43	12.30	20000	20000	319	15	56	38499.33
222	328879.86	8569646.68	12.30	20000	20000	319	15	48	38499.33
223	315498.86	8584596.15	12.30	20000	20000	319	15	40	38499.33
224	302093.09	8599529.77	10.76	20000	20000	319	15	40	38499.33
225	288684.28	8614470.02	9.22	20000	20000	319	15	44	38499.33
226	275261.90	8629394.87	10.76	20000	20000	319	15	44	38499.33
227	261815.14	8644315.50	10.76	20000	20000	319	15	48	38499.33
228	248365.84	8659243.35	9.22	20000	20000	319	15	44	38499.33
229	234892.56	8674156.30	7.69	20000	20000	319	15	44	38499.33
230	221417.15	8689065.80	9.22	20000	20000	319	15	56	38499.33
231	207928.80	8703983.02	10.76	20000	20000	319	15	64	38499.33
232	194416.93	8718885.91	12.30	20000	20000	319	15	64	38499.33
233	180903.45	8733785.96	12.30	20000	20000	319	15	56	38499.33
234	167366.55	8748694.21	13.83	20000	20000	319	15	48	38499.33
235	153828.47	8763588.95	12.30	20000	20000	319	15	48	38499.33
236	140267.27	8778492.29	9.22	20000	20000	319	15	48	38499.33
237	126705.23	8793382.52	4.61	20000	20000	319	15	44	38499.33
238	113131.45	8808270.80	3.07	20000	20000	319	15	68	38499.33
239	99535.00	8823168.28	1.54	20000	20000	319	15	60	38499.33
240	85938.21	8838053.26	1.54	20000	20000	319	15	56	38499.33
241	72603.49	8853017.83	0.00	20000	20000	319	15	0	38499.33
242	59269.05	8867970.46	0.00	20000	20000	319	15	0	38499.33
243	45912.84	8882933.23	0.00	20000	20000	319	15	0	38499.33
244	32557.11	8897895.54	0.00	20000	20000	319	15	0	38499.33
245	19180.19	8912846.23	0.00	20000	20000	319	15	0	38499.33
246	489808.88	8417544.32	1.54	20000	20000	319	15	52	43675.71
247	476594.91	8432554.66	1.54	20000	20000	319	15	44	43675.71
248	463354.45	8447569.18	1.54	20000	20000	319	15	64	43675.71
249	450109.28	8462565.97	1.54	20000	20000	319	15	64	43675.71
250	436848.76	8477556.26	1.54	20000	20000	319	15	48	43675.71
251	423562.21	8492551.27	1.54	20000	20000	319	15	56	43675.71
252	410271.48	8507529.12	3.07	20000	20000	319	15	40	43675.71
253	396955.02	8522512.06	4.61	20000	20000	319	15	64	43675.71
254	383634.74	8537478.23	7.69	20000	20000	319	15	56	43675.71
255	370299.93	8552438.85	10.76	20000	20000	319	15	56	43675.71
256	356939.86	8567405.10	10.76	20000	20000	319	15	52	43675.71
257	343576.49	8582355.16	10.76	20000	20000	319	15	44	43675.71
258	330188.23	8597300.18	9.22	20000	20000	319	15	44	43675.71
259	316796.88	8612251.52	7.69	20000	20000	319	15	48	43675.71
260	303381.02	8627187.13	6.15	20000	20000	319	15	44	43675.71
261	289962.48	8642118.41	6.15	20000	20000	319	15	40	43675.71
262	276530.47	8657056.53	6.15	20000	20000	319	15	40	43675.71
263	263074.43	8671979.49	4.61	20000	20000	319	15	48	43675.71
264	249616.12	8686909.77	4.61	20000	20000	319	15	56	43675.71
265	236134.09	8701825.27	6.15	20000	20000	319	15	64	43675.71
266	222650.22	8716737.43	7.69	20000	20000	319	15	56	43675.71
267	209153.67	8731657.42	7.69	20000	20000	319	15	60	43675.71
268	195633.87	8746563.21	9.22	20000	20000	319	15	56	43675.71
269	182112.73	8761466.27	9.22	20000	20000	319	15	44	43675.71
270	168568.43	8776377.65	10.76	20000	20000	319	15	40	43675.71
271	155023.24	8791275.63	7.69	20000	20000	319	15	44	43675.71
272	141466.14	8806182.45	4.61	20000	20000	319	15	40	43675.71
273	127886.57	8821076.05	3.07	20000	20000	319	15	44	43675.71
274	114306.49	8835967.93	3.07	20000	20000	319	15	60	43675.71
275	100704.00	8850869.13	1.54	20000	20000	319	15	40	43675.71



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Sub falla	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Deslizamiento (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Azimut (°)	Inmersión (°)	Deslizamiento (°)	Profundidad (m)
276	87101.45	8865757.95	1.54	20000	20000	319	15	72	43675.71
277	73772.46	8880726.52	0.00	20000	20000	319	15	0	43675.71
278	60444.04	8895683.26	0.00	20000	20000	319	15	0	43675.71
279	47094.12	8910650.27	0.00	20000	20000	319	15	0	43675.71
280	33733.96	8925616.80	0.00	20000	20000	319	15	0	43675.71

ANEXO II. Tabla de los parámetros de la fuente sísmica que considera 5 sub fallas.

Sub falla	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Deslizamiento (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Azimut (°)	Inmersión (°)	Deslizamiento (°)	Profundidad (m)
1	238821.00	8428801.00	9.00	110000	140000	329	20	90	8000.00
2	182650.00	8522063.00	17.50	110000	140000	329	20	90	8000.00
3	126139.00	8615283.00	17.00	110000	140000	329	20	90	8000.00
4	69317.00	8708472.00	7.00	110000	140000	329	20	90	8000.00
5	12218.00	8801664.00	7.00	110000	140000	329	20	90	8000.00