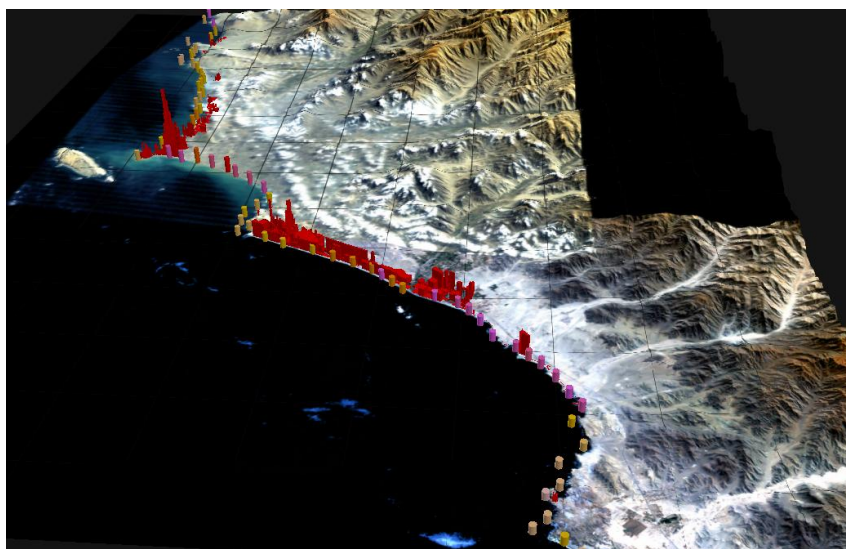


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**

**CONVENIO ESPECÍFICO DE COOPERACIÓN
INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL MINISTERIO DE VIVIENDA,
CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO Y LA UNIVERSIDAD
NACIONAL DE INGENIERÍA**

**ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y
VULNERABILIDAD EN LA CIUDAD DE LIMA**



**EVALUACIÓN DE LA AMENAZA FRENTE A TSUNAMI
PARA LIMA Y CALLAO**

LIMA – NOVIEMBRE DE 2010



EVALUACIÓN DE LA AMENAZA FRENTE A TSUNAMI PARA LIMA Y CALLAO

1. ANTECEDENTES

A 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 tres probables escenarios sísmicos y considerando las condiciones actuales de las edificaciones en las aéreas costeras de Lima y Callo, en un área delimitada desde Ancón por el norte y Pucusana por el sur.

1.1. Objetivo

Analizar el riesgo de tsunami para la costa de Lima Metropolitana y Callao, desde Ancón hasta Pucusana, estimando la altura máxima de ola y el tiempo de llegada de la primera ola desde el epicentro hasta la costa, a partir de tres 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 2010 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 km a 50 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES

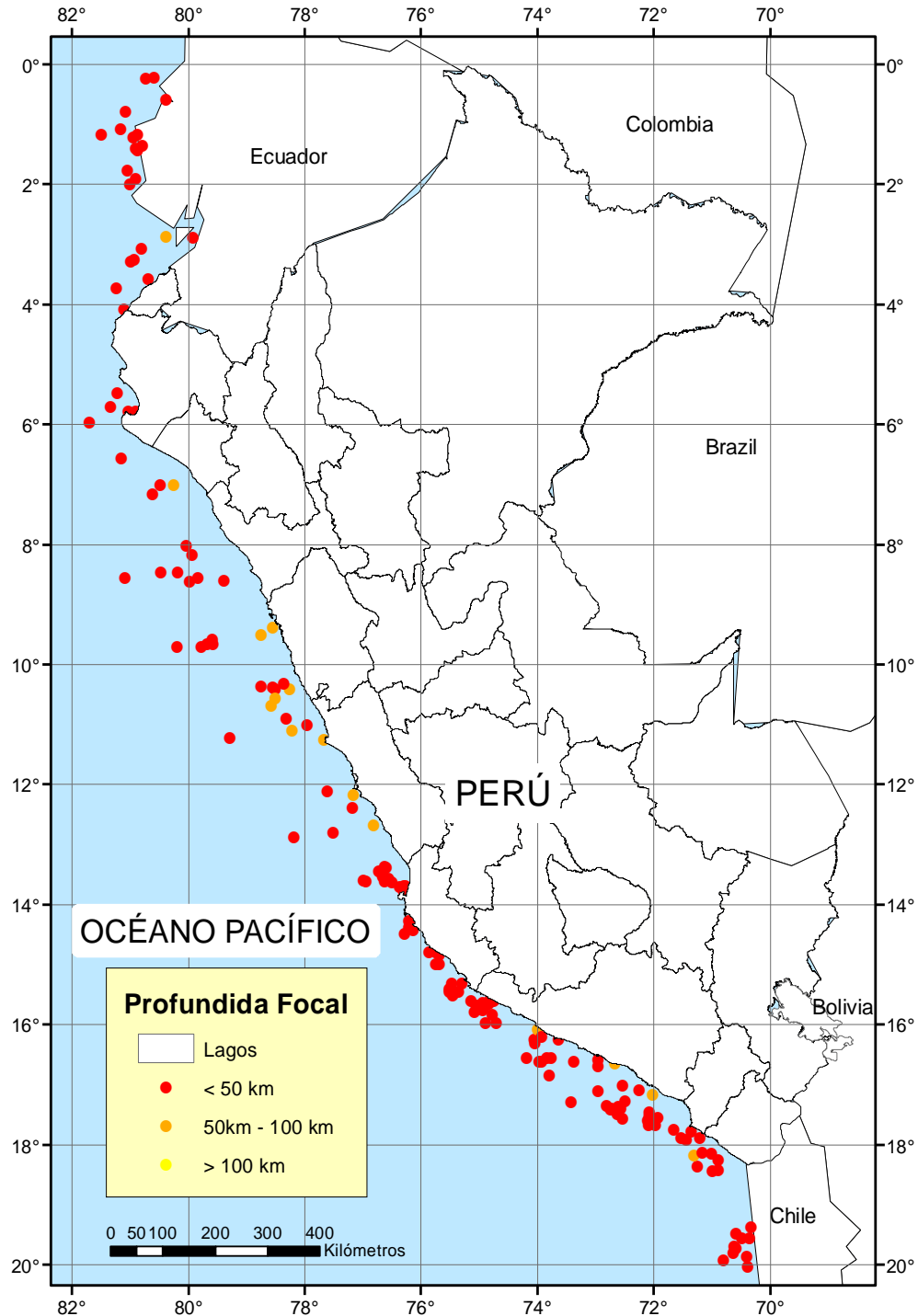


Figura 1. Sismos ocurridos en el Perú desde el año 1973 al año 2010 con magnitudes mayores a 5, base de datos (USGS)



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.

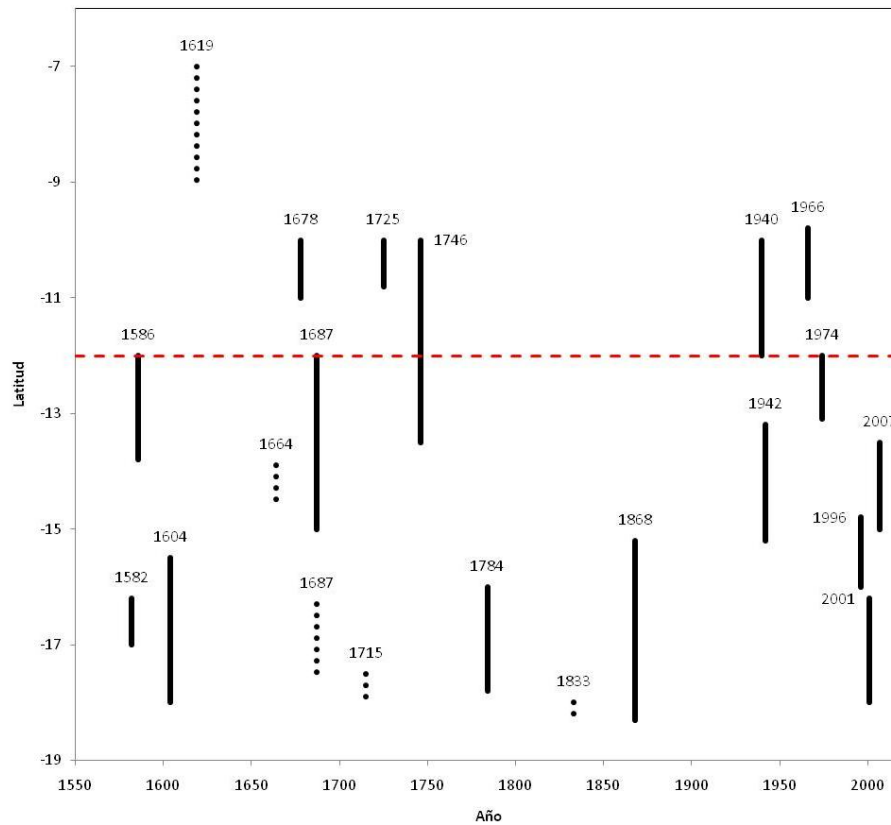


Figura 2. Zona de ruptura de los terremotos históricos ocurridos en el Perú. Las longitudes de las barras representan la longitud de ruptura, las barras con líneas punteadas representan los terremotos que no han producido tsunamis y la línea roja muestra la ubicación de la Ciudad de Lima. (Figura original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

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

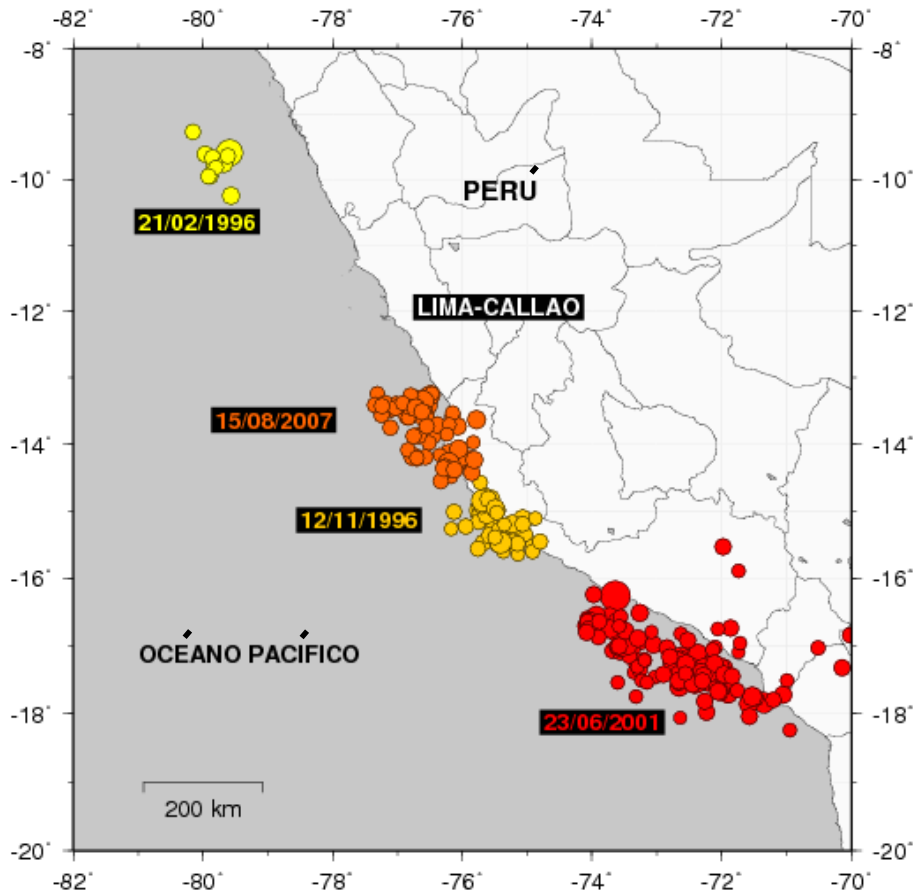


Figura 3. Ubicación de los terremotos que produjeron los cuatro tsunamis que afectaron al Perú y otros países según NGDC Tsunami Database.

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).



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 la provincia de Lima y la provincia constitucional del Callao, teniendo como límite por el norte el distrito de Ancón y por el sur el distrito de Pucusana, exclusivamente en lo que corresponde a las áreas que se determinen como zonas inundables.

Frente a la Provincia Constitucional del Callao, existe una zona insular constituida por mar deltaico poco profundo y un conjunto de islas e islotes, representados por las Islas San Lorenzo, el Frontón e Isla Grande; configurando una zona insular aproximada de 450 Km² de influencia (12.5 Km de ancho y 35.5 Km. de largo); de los cuales 17.63 Km² son superficies de islas emergidas hasta los 390.16 m.s.n.m. que constituyen parte de la Cordillera Costanera sumergida entre Paracas y Bayóvar.



2. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

En este estudio para determinar la amenaza frente a tsunamis para Lima-Callo, 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 .

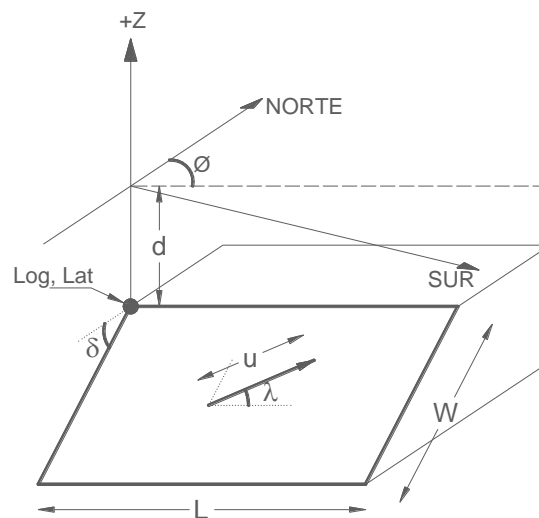


Figura 5. Parámetros de fuente sísmica para la generación de la condición inicial del tsunami.

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 el escenario sísmico para la generación del tsunami se basa en la información histórica sísmica del Perú desde 1973 hasta 2010 (ver Figura 1). Los parámetros sísmicos utilizados se describen a continuación.

4.1. Magnitud

De lo discutido en el punto 1.2, se espera un evento sísmico de gran magnitud para la ciudad de Lima y Callao, considerando el previo análisis, en el presente estudio se asumen 3 probables escenarios sísmicos con magnitudes de M_w 8, M_w 8.5 y M_w 8.7, estas tres magnitudes están dentro de nuestra realidad sísmica. Por ejemplo, para el primer escenario sísmico, el 15 de agosto, 2007 de acuerdo al USGS en zona sur del Perú ocurrió un terremoto de M_w 8, para los otros dos escenarios sísmicos, de acuerdo a Dorbath, Cisternas y Dorbath (1990), donde se hace una evaluación de los sismos históricos de gran magnitud ocurridos en Perú, y hace referencia que en 1746 ocurrió un terremoto de M_w 8.6 en la parte norte del Perú y en 1868 ocurrió un terremoto de M_w 8.8 en la parte sur del Perú.

4.2. Ubicación del Epicentro

La Figura muestra la sismicidad alrededor de Lima-Callao y el epicentro del sismo que es usado como escenario para el presente análisis, la ubicación del epicentro se fija siguiendo la mayor densidad espacial de la distribución de los sismos históricos ocurridos frente a las costas de Lima-Callao (parte superior de la Figura), de acuerdo a esta análisis la ubicación probable del epicentro es:

- Latitud 12.3°S
- Longitud 78°W.

4.3. Profundidad Epicentral

La profundidad epicentral se fija siguiendo la mayor densidad espacial, respecto a la profundidad de los sismos históricos alrededor de Lima-Callao (parte inferior izquierda de la Figura) y al número de sismos ocurridos de acuerdo a la

profundidad (figura inferior derecha de la Figura), de acuerdo a este análisis la profundidad epicentral probable es de 25km.

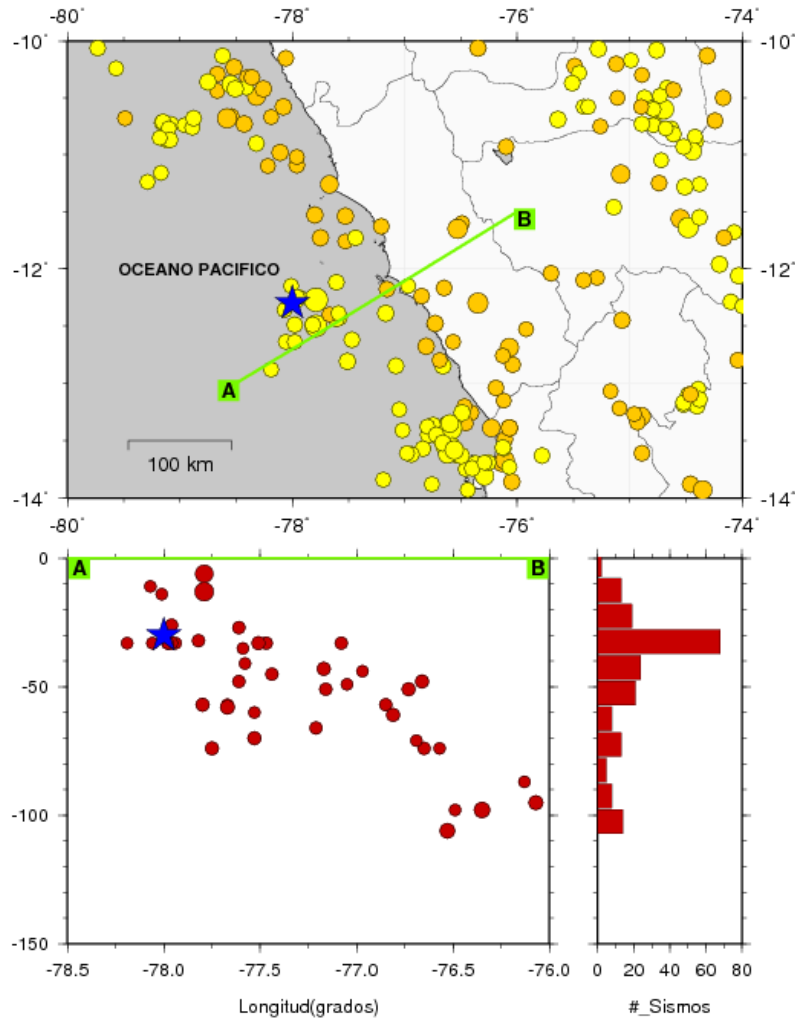


Figura 6 .Sismicidad alrededor de Lima y Callo (parte superior), sección transversal a lo largo del eje AB (parte inferior izquierda) y número de eventos sísmicos en la sección transversal AB (parte inferior derecha).

El ángulo de inmersión de la fuente sísmica es fijado en 18° , este valor sigue aproximadamente el ángulo de inmersión de la fosa de la Nazca, que en la zona frente a las costas de Lima y Callao varía aproximadamente entre 16° y 22° , esto último se puede observar en la sección transversal AB (ver Figura). La dirección o azimut de la fuente sísmica es fijado de acuerdo a la dirección de la fosa de Nazca, que en la zona de estudio varía aproximadamente entre 310° y 320° , el ángulo de

deslizamiento de la fuente sísmica es fijado en 89° esto corresponde a la falla inversa entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana.

5. ANÁLISIS DEL TSUNAMI PARA LIMA Y CALLAO

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

El área de la falla y el deslizamiento son calculados usando las relaciones propuestas por Papazacho y colaboradores 2004, donde se estudia la relación entre los parámetros de fuente sísmica y la magnitud del correspondiente evento sísmico.

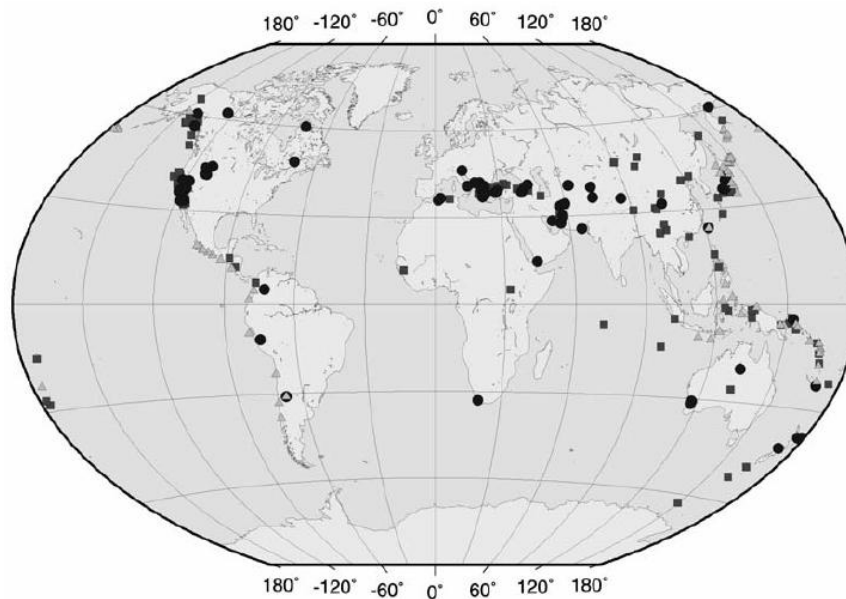


Figura 7. Mapa índice de los epicentros de los terremotos usados por Papazacho y colaboradores 2004. Rectángulos, círculos y triángulos muestran los terremotos con fallamiento de rumbo, fallamiento en pendiente en áreas continentales y fallamiento en pendiente en zonas de subducción.

Ellos analizaron los datos de parámetros sísmicos más confiables disponibles, producidos por otros investigadores en todo el mundo, y propusieron relaciones empíricas (Eq. 5.1, Eq. 5.2 y Eq. 5.3) para las fallas sísmicas de tipo pendiente en zonas de subducción. Estas relaciones pueden aplicar para los sismos que se generan frente a la costa peruano por ser producto del movimiento de subducción de la Placa de Nazca debajo la Placa sub-americana (Falla inversa tipo pendiente). La Figura 7 muestra la ubicación de los datos usados por Papazacho y colaboradores 2004.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



$$\log L = 0.55M - 2.19 \quad (6.7 \leq M \leq 9.3) \quad (5.1)$$

$$\log W = 0.31M - 0.63 \quad (6.7 \leq M \leq 9.3) \quad (5.2)$$

$$\log u = 0.64M - 2.78 \quad (6.7 \leq M \leq 9.3) \quad (5.3)$$

Donde:

- L : Longitud de la falla en km,
- W : Ancho de la falla en km,
- u : Desplazamiento de la falla en cm,
- M : Magnitud de momento del terremoto,

Los parámetros de fuente sísmica para este estudio, calculados usando las Eq. 5.1, Eq. 5.2 y Eq. 5.3, son mostrados en la Tabla 2.

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:

$$u_i = \frac{1}{F} \iint_{\Sigma} \Delta u_j \left[\lambda \delta_{jk} \frac{\partial u_i^n}{\partial \xi_n} + \mu \left(\frac{\partial u_i^j}{\partial \xi_k} + \frac{\partial u_i^k}{\partial \xi_j} \right) \right] v_k d\Sigma \quad (5.4)$$

Donde:

δ_{jk} : Kronecker delta,

λ y μ : Constantes de Lamé,

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



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



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 Figura , Figura y Figura muestran el resultado de la condición inicial del tsunami para los tres escenarios sísmicos, calculados usando las ecuaciones Eq. 5.1, Eq. 5.2, Eq. 5.3 y Eq. 5.4 y con los datos de entrada mostrados en la Tabla 2. Donde las líneas rojas continuas representan el desplazamiento vertical positivo (levantamiento) y las líneas azules punteadas representan el desplazamiento vertical negativo (hundimiento), ambas dibujadas a cada metro de elevación o hundimiento vertical.

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 8.0	M_w 8.5	M_w 8.7
Longitud	-78.0°	-77.6°	-77.4°
Latitud	-12.3°	-13.6°	-13.9°
Profundidad	25 km	25 km	25 km
Longitud	165 km	305 km	394 km
Ancho	75 km	101 km	117 km
Dirección (Azimut)	325°	325°	325°
Ángulo de Inmersión	18°	18°	18°
Ángulo de deslizamiento	89°	89°	89°
Dislocación	2.2 m	4.6 m	6.1 m

En la simulación numérica de la propagación y inundación del tsunami, la línea costera es redefinida de acuerdo a la condición inicial del tsunami, figuras 8, 9, 10 parte derecha. Esto significa, de acuerdo a nuestro análisis, que 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.

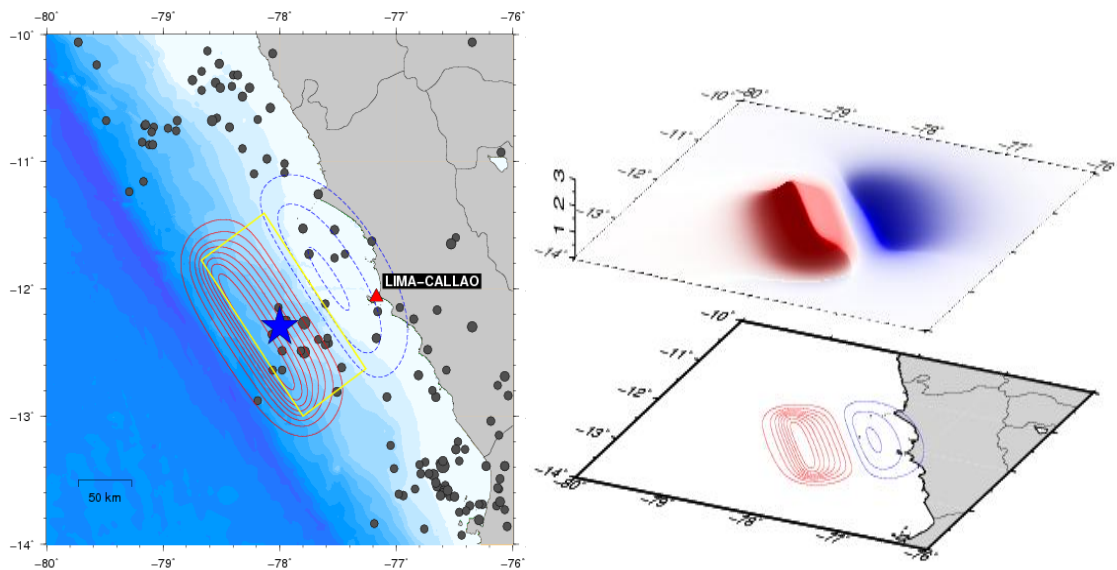


Figura 8. Deformación inicial de la superficie del océano para un sismo de M_w 8.0. Los puntos plomos representan la sismicidad histórica.

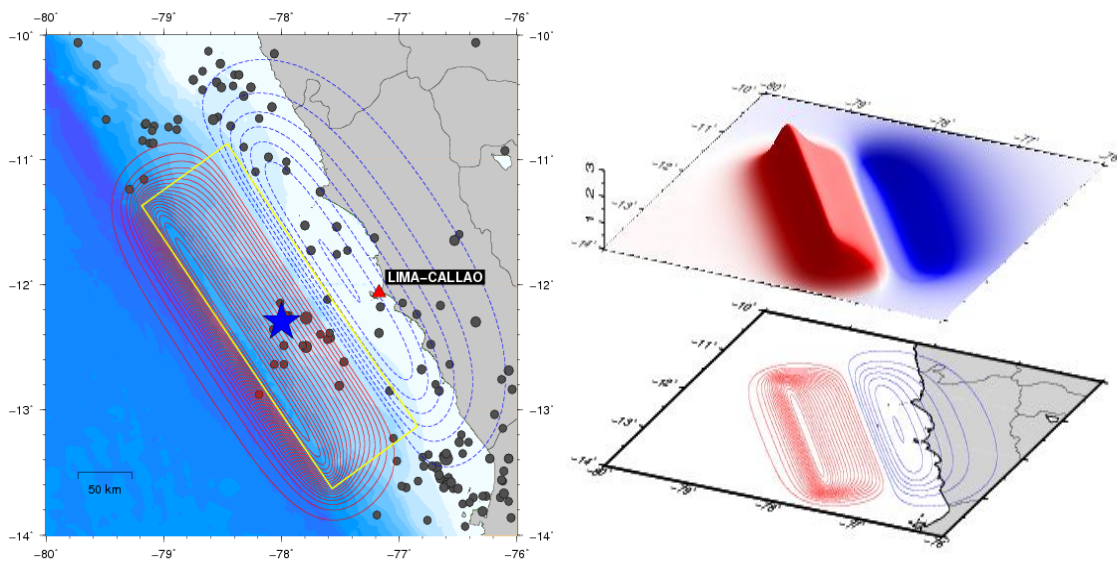


Figura 8. Deformación inicial de la superficie del océano para el sismo de M_w 8.5. Los puntos plomos representan la sismicidad histórica.

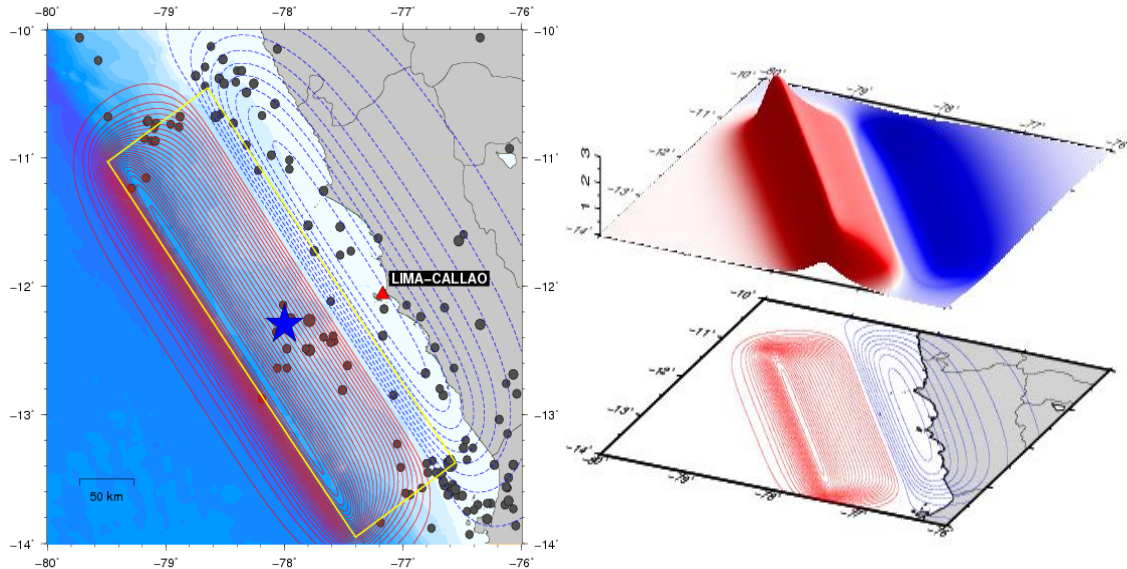


Figura 10. Deformación inicial de la superficie del océano para el sismo de M_w 8.7. Los puntos plomos representan la sismicidad histórica.

De las figuras anteriores se observa claramente que la deformación inicial es mayor en el escenario de M_w 8.7, los desplazamientos verticales iniciales positivos son 0.9m, 1.96m y 2.4m para los escenarios de M_w 8.0, M_w 8.5 y M_w 8.7 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 3 horas (180 minutos) y el intervalo de tiempo para la simulación, con el fin de satisfacer la estabilidad numérica, es de 1 segundo.

La Figura 3, Figura 4 y Figura 5 muestran las capturas instantáneas de la propagación para los tiempos 0 minutos, tiempo en el arriba la primera ola a la costa y las señales del tsunami sintéticos en los diferentes escenario sísmicos, estas señales fueron registradas por la estación mareográfica virtual ubicada en La Punta – Callao, en las coordenadas 12.078°S 77.168°W .

En la Figura 9, a) muestra la distribución espacial de la condición inicial del tsunami calculado para un sismo de magnitud $M_w=8.0$, donde la zona en rojo representa el desplazamiento vertical positivo del mar y la zonas en azul el desplazamiento vertical negativo del mar. b) muestra la propagación del tsunami en 39 minutos después del evento sísmico, en esta figura se observa el arribo de la primera ola la costa. c) muestra la señal sintética del tsunami registrado en La Punta, 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 1.5m y en aproximadamente 39 min después del evento sísmico.

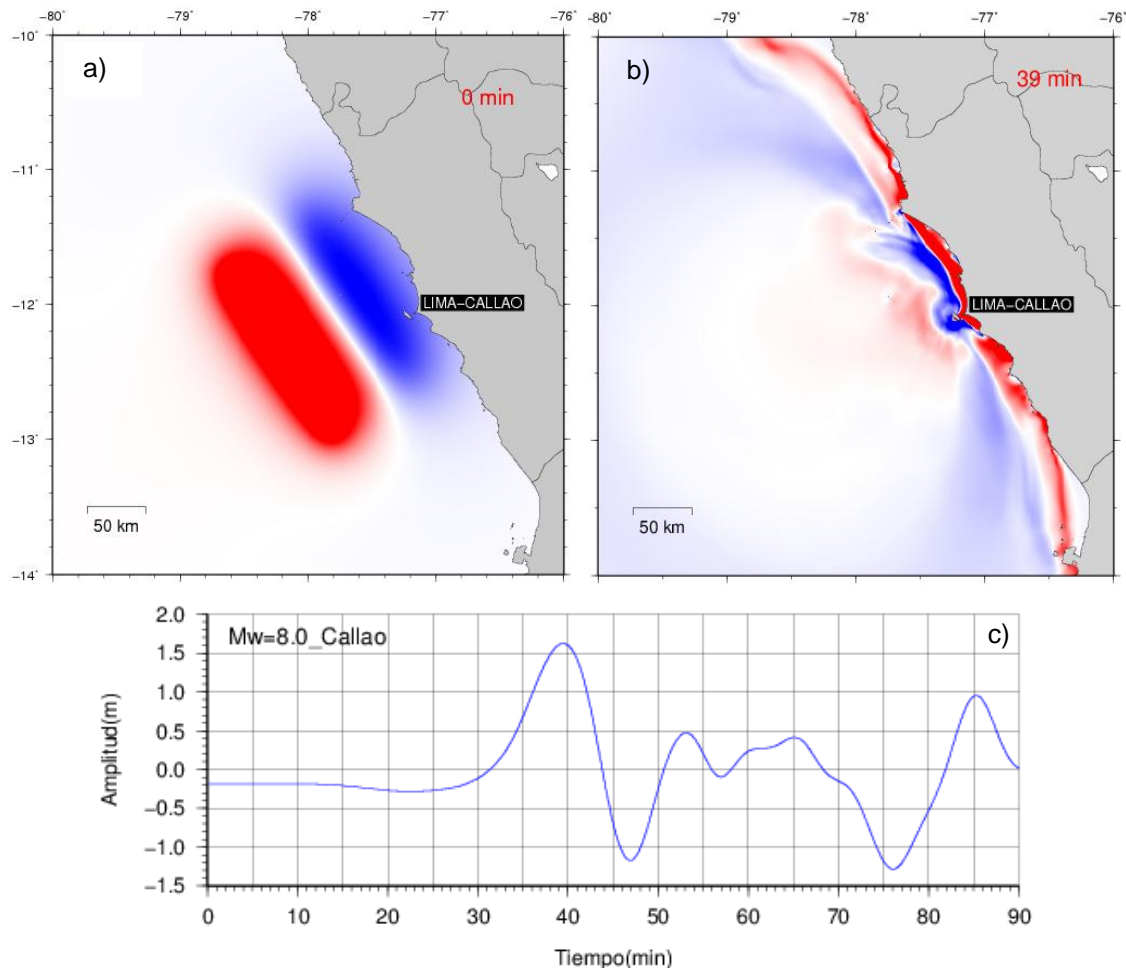


Figura 3. a) y b) Capturas instantáneas de la propagación del tsunami, donde el color rojo representa el desplazamiento vertical positivo y el color azul desplazamiento vertical negativo de la superficie del océano para el escenario M_w 8.0. c) Señal sintética del tsunami para el escenario M_w 8.0

En la Figura 10, a) muestra la distribución espacial de la condición inicial del tsunami calculado para un sismo de magnitud $M_w=8.5$, donde la zona en rojo representa el desplazamiento vertical positivo del mar y la zonas en azul el desplazamiento vertical negativo del mar. b) muestra la propagación del tsunami en 41 minutos después del evento sísmico, en esta figura se observa el arribo de la primera ola la costa. c) muestra la señal sintética del tsunami registrado en La Punta, 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 3.5m y en aproximadamente 41 min después del evento sísmico.

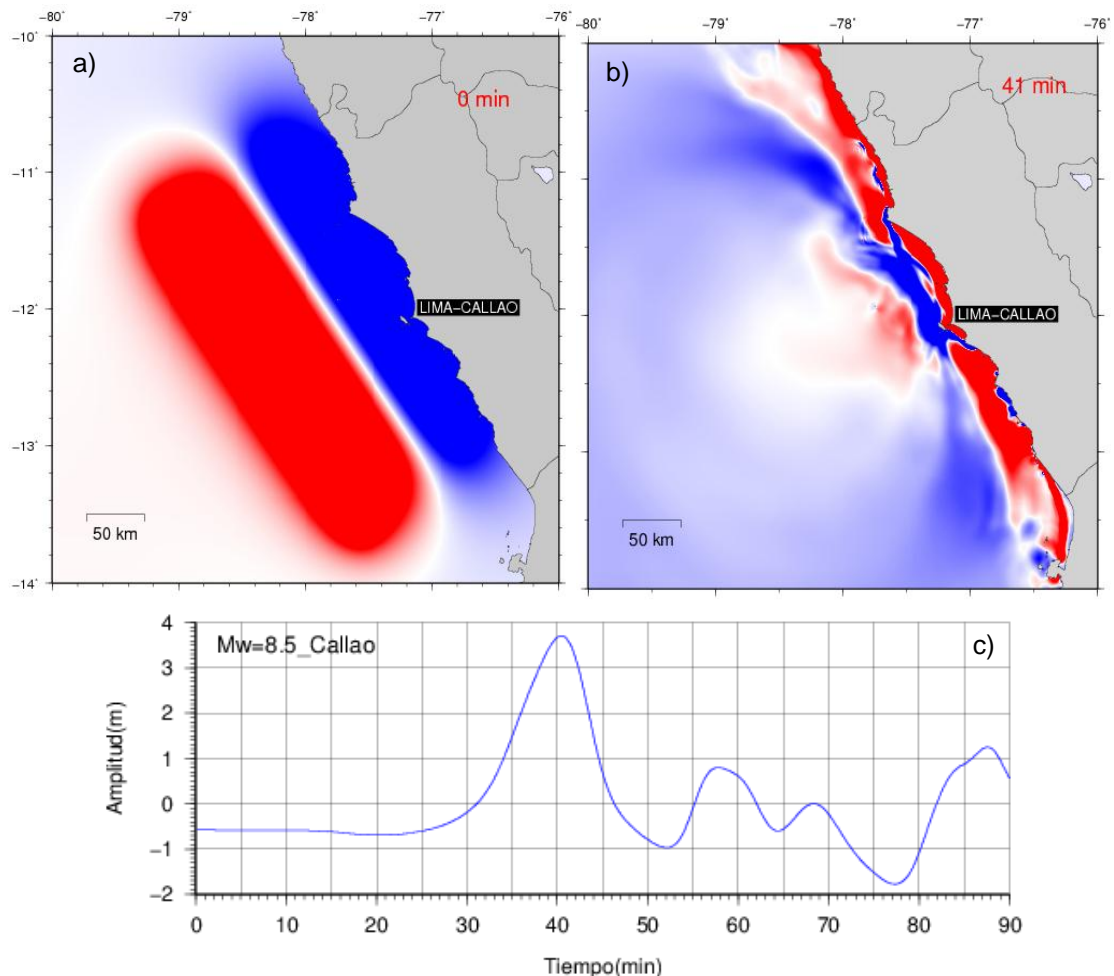


Figura 4. a) y b) Capturas instantáneas de la propagación del tsunami, donde el color rojo representa el desplazamiento vertical positivo y el color azul desplazamiento vertical negativo de la superficie del océano para el escenario M_w 8.5. c) Señal sintética del tsunami para el escenario M_w 8.5

En la Figura 11, a) muestra la distribución espacial de la condición inicial del tsunami calculado para un sismo de magnitud $M_w=8.7$, donde la zona en rojo representa el desplazamiento vertical positivo del mar y la zonas en azul el desplazamiento vertical negativo del mar. b) muestra la propagación del tsunami en 41 minutos después del evento sísmico, en esta figura se observa el arribo de la primera ola la costa. c) muestra la señal sintética del tsunami registrado en La Punta, 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 5.0m y en aproximadamente 41 min después del evento sísmico.

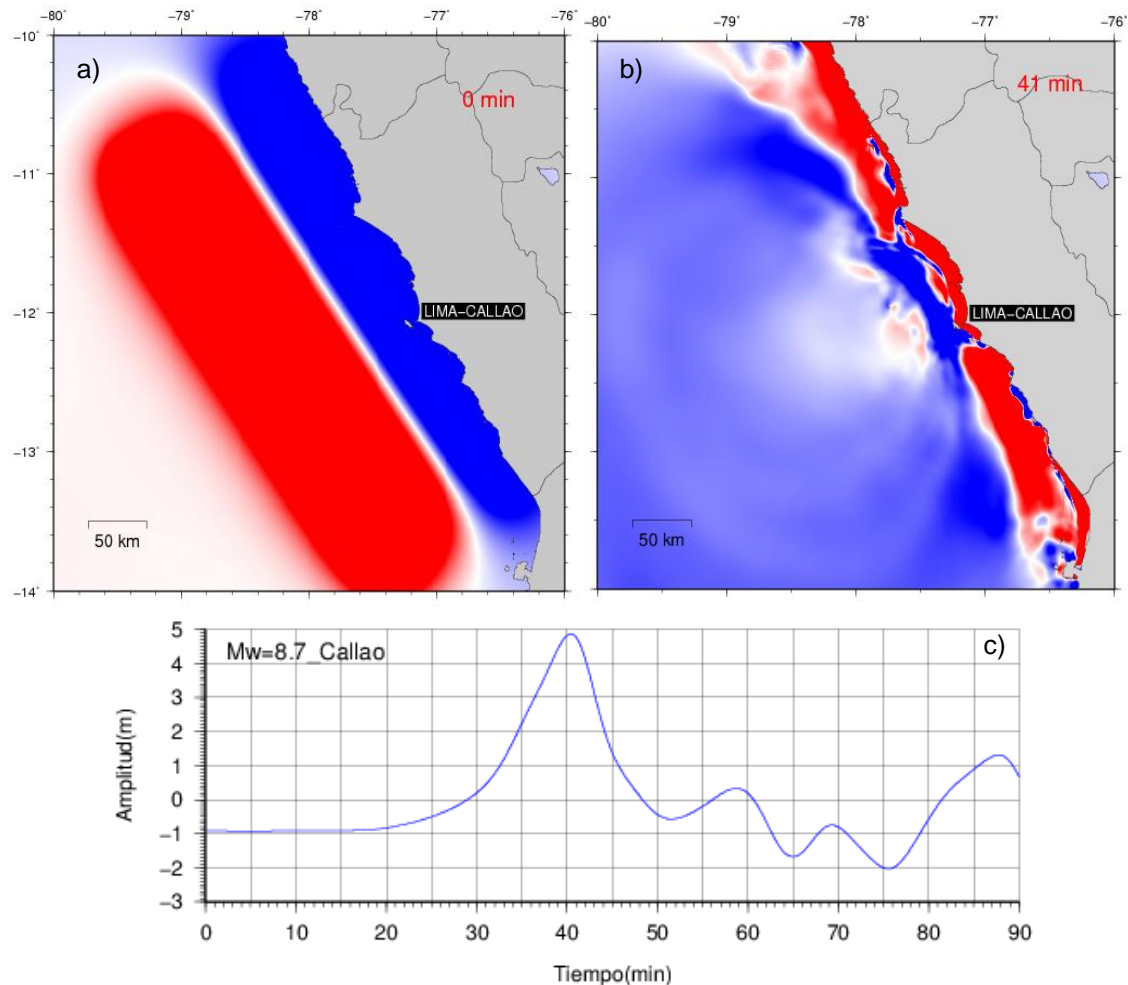


Figura 5. a) y b) Capturas instantáneas de la propagación del tsunami, donde el color rojo representa el desplazamiento vertical positivo y el color azul desplazamiento vertical negativo de la superficie del océano para el escenario M_w 8.7. c) Señal sintética del tsunami para el escenario M_w 8.7

De las figuras anteriores, se observa claramente que en la propagación del escenario M_w 8.7 la deformación del mar es más pronunciada comparada con los otros escenarios, otro punto importante es que el tiempo de llegada de la primera ola es menor, menor de 60 minutos.

5.3. Fase de Inundación

Para estimar la inundación probable producto del tsunami se establecieron 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 Lima y Callao.

La Figura 6 y Figura muestran las alturas máximas de olas esperadas producto del tsunami a lo largo de la costa de Lima y Callao, entre las latitudes $11^{\circ}40'S$ y $12^{\circ}30'S$ lo que estaría cubriendo el área de estudio (desde Ancón hasta Pucusana) de acuerdo a esta figura la mayor parte a lo largo de la costa presenta alturas de ola mayores a 2 metros y la altura máxima estaría ocurriendo en las costas del Callao, específicamente en La Punta, llegando a alcanzar alturas de aproximadas de 3m, lo que estaría indicando que el distrito de La Punta tiene un alto riesgo frente a tsunamis. También se encuentra en alto riesgo el distrito de Chorrillos donde las alturas de ola son importantes y sobre todo que el área cercana al litoral se encuentran pobladas, lo cual hace que el daño producido sea considerable.

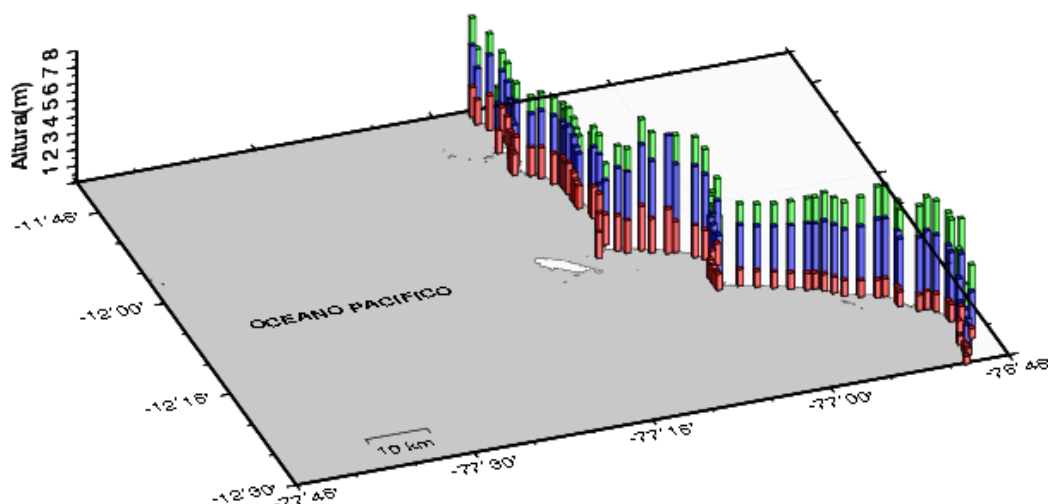


Figura 12. Vista en 3D de las alturas máximas a lo largo de la costa de Lima-Callao, las barras rojas, azules y verdes representan las alturas máximas de olas en la costa para los escenarios de M_w 8.0, M_w 8.5 y M_w 8.7 respectivamente.

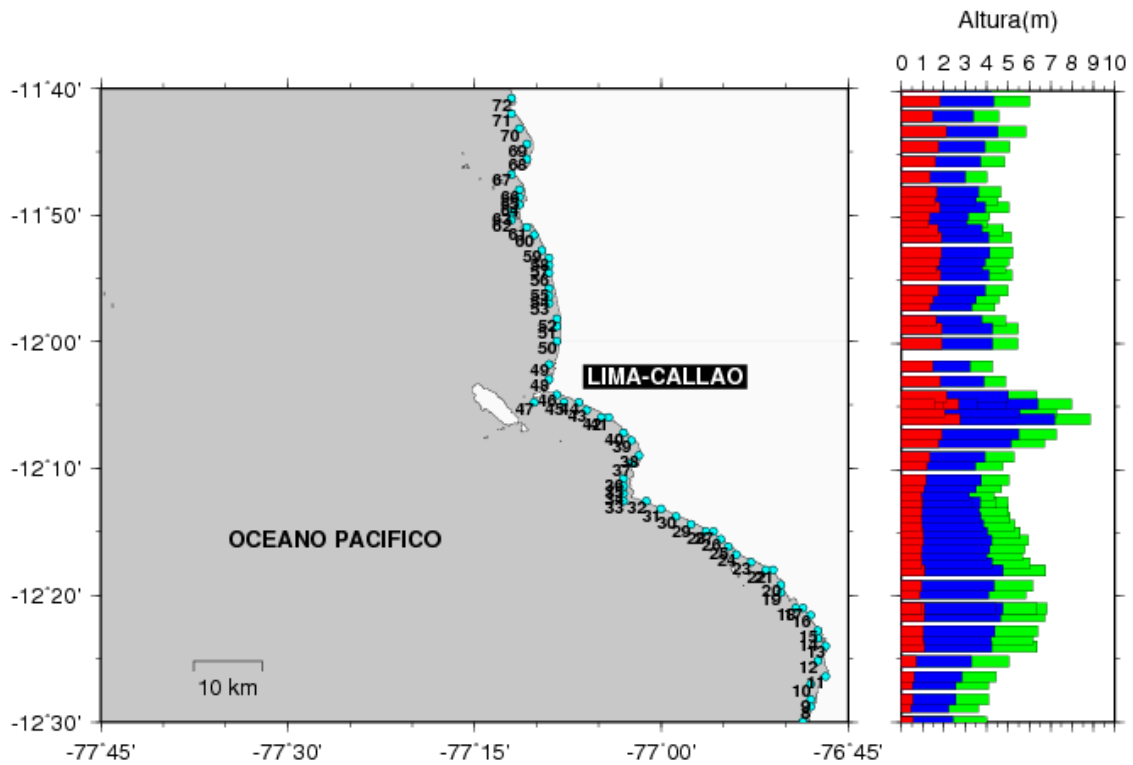


Figura 63. Alturas de olas máximas a lo largo de las costas de Lima-Callao. Las barras rojas, azules y verdes representan las alturas máximas de olas en la costa para los escenarios de M_w 8.0, M_w 8.5 y M_w 8.7 respectivamente. Los puntos celestes muestran la ubicación de las estaciones virtuales.

La Tabla 3 muestra las alturas finales de olas obtenidas del modelo numérico de simulación del tsunami para cada uno de los escenarios sísmicos. Los valores de altura máxima de ola por tsunami según su posición en latitud se pueden apreciar en la Figura 7.

Tabla 3. Tiempo de Llegada y altura de ola en cada estación mareográfica virtual.

Estación	Mw 8.0		Mw 8.5		Mw 8.7		Coordenadas	
	t (minutos)	h (m)	t (minutos)	h (m)	t (minutos)	h (m)	Longitud (°)	Latitud (°)
1	68	0.60	68	3.10	69	4.96	-76.74	-12.55
2	67	0.58	67	3.10	68	4.95	-76.75	-12.54
3	67	0.59	67	3.14	68	5.04	-76.77	-12.53
4	65	0.49	65	2.64	66	4.29	-76.79	-12.52
5	72	0.63	70	3.20	70	5.05	-76.80	-12.51



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Estación	Mw 8.0		Mw 8.5		Mw 8.7		Coordenadas	
	t (minutos)	h (m)	t (minutos)	h (m)	t (minutos)	h (m)	Longitud (°)	Latitud (°)
6	63	0.47	64	2.37	65	3.87	-76.81	-12.50
7	153	0.55	66	2.42	66	3.99	-76.81	-12.50
8	64	0.44	65	2.22	66	3.61	-76.80	-12.48
9	66	0.52	67	2.56	68	4.08	-76.80	-12.47
10	67	0.51	68	2.57	69	4.09	-76.80	-12.45
11	69	0.59	70	2.83	71	4.45	-76.78	-12.44
12	72	0.70	73	3.28	73	5.04	-76.79	-12.42
13	77	1.07	78	4.24	78	6.37	-76.78	-12.40
14	76	1.02	77	4.21	78	6.19	-76.79	-12.39
15	77	1.04	78	4.38	78	6.39	-76.79	-12.38
16	77	1.08	78	4.64	79	6.73	-76.80	-12.36
17	77	1.09	78	4.76	79	6.84	-76.81	-12.35
18	76	0.96	77	4.42	78	6.37	-76.82	-12.35
19	75	0.86	76	4.08	77	5.85	-76.84	-12.33
20	75	0.95	77	4.33	78	6.17	-76.84	-12.32
21	77	1.08	78	4.73	79	6.75	-76.85	-12.30
22	76	1.09	78	4.76	79	6.75	-76.86	-12.30
23	75	0.97	77	4.26	77	6.03	-76.88	-12.29
24	73	0.93	75	4.00	76	5.67	-76.90	-12.28
25	73	0.98	75	4.14	75	5.79	-76.91	-12.27
26	73	1.03	75	4.24	76	5.95	-76.92	-12.26
27	72	0.96	75	3.94	75	5.55	-76.93	-12.25
28	72	1.01	74	4.02	75	5.57	-76.94	-12.25
29	70	0.98	73	3.85	73	5.31	-76.96	-12.24
30	69	0.96	72	3.73	72	5.11	-76.98	-12.23
31	69	0.97	71	3.67	72	5.02	-77.00	-12.22
32	68	1.00	71	3.68	71	4.99	-77.02	-12.21
33	67	0.94	69	3.29	70	4.47	-77.05	-12.21
34	67	0.94	70	3.20	70	4.33	-77.05	-12.20
35	69	1.05	72	3.51	72	4.69	-77.05	-12.19
36	123	1.15	75	3.74	75	5.03	-77.05	-12.18
37	80	1.20	82	3.47	82	4.77	-77.04	-12.16
38	82	1.33	84	3.91	83	5.28	-77.03	-12.15
39	86	1.76	86	5.14	86	6.70	-77.04	-12.13
40	88	1.91	88	5.51	88	7.27	-77.05	-12.12
41	88	1.87	88	5.34	88	7.12	-77.07	-12.10



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Estación	Mw 8.0		Mw 8.5		Mw 8.7		Coordenadas	
	t (minutos)	h (m)	t (minutos)	h (m)	t (minutos)	h (m)	Longitud (°)	Latitud (°)
42	94	2.72	91	7.17	90	8.85	-77.08	-12.10
43	88	2.04	89	5.57	88	7.28	-77.10	-12.09
44	90	2.68	89	6.40	88	7.97	-77.11	-12.08
45	86	1.96	86	4.90	85	6.34	-77.13	-12.08
46	86	2.11	86	5.01	86	6.35	-77.14	-12.07
47	79	1.55	81	3.57	80	4.68	-77.17	-12.08
48	80	1.82	82	3.88	82	4.90	-77.15	-12.05
49	174	1.46	83	3.22	175	4.28	-77.15	-12.03
50	88	1.91	88	4.28	87	5.46	-77.14	-12.00
51	86	1.91	87	4.28	86	5.49	-77.14	-11.98
52	84	1.62	86	3.77	86	4.89	-77.14	-11.97
53	81	1.36	84	3.31	83	4.39	-77.15	-11.95
54	82	1.49	84	3.51	84	4.59	-77.15	-11.94
55	83	1.74	85	3.93	84	5.00	-77.15	-11.93
56	83	1.84	85	4.11	84	5.19	-77.15	-11.91
57	81	1.67	84	3.79	83	4.86	-77.15	-11.90
58	82	1.78	84	3.94	84	5.03	-77.15	-11.89
59	82	1.86	83	4.14	83	5.23	-77.16	-11.88
60	81	1.86	83	4.09	83	5.17	-77.17	-11.86
61	80	1.71	82	3.76	82	4.79	-77.18	-11.85
62	77	1.30	80	3.04	80	4.03	-77.20	-11.84
63	77	1.34	80	3.13	80	4.14	-77.20	-11.83
64	81	1.78	83	3.93	83	5.03	-77.19	-11.82
65	80	1.59	82	3.51	82	4.53	-77.19	-11.81
66	80	1.67	83	3.61	83	4.66	-77.19	-11.80
67	81	1.35	83	3.01	84	4.01	-77.20	-11.78
68	89	1.60	91	3.70	91	4.84	-77.18	-11.76
69	88	1.75	90	3.92	90	5.08	-77.18	-11.74
70	90	2.09	92	4.54	92	5.84	-77.19	-11.72
71	87	1.46	90	3.37	90	4.57	-77.20	-11.70
72	95	1.79	97	4.32	96	6.02	-77.20	-11.68
73	93	1.82	95	4.22	95	5.71	-77.21	-11.66
74	95	2.27	97	4.94	96	6.41	-77.22	-11.64
75	93	1.90	95	4.43	94	5.89	-77.24	-11.63
76	90	1.69	93	3.77	93	5.20	-77.25	-11.62
77	89	1.49	91	3.46	92	4.77	-77.25	-11.61



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Estación	Mw 8.0		Mw 8.5		Mw 8.7		Coordenadas	
	t (minutos)	h (m)	t (minutos)	h (m)	t (minutos)	h (m)	Longitud (°)	Latitud (°)
78	89	1.52	91	3.67	91	5.05	-77.26	-11.60
79	88	1.37	90	3.32	90	4.60	-77.28	-11.60
80	91	1.86	93	4.09	93	5.48	-77.28	-11.58
81	88	1.37	90	3.34	90	4.56	-77.29	-11.59
82	91	2.00	94	4.42	94	5.91	-77.28	-11.57
83	91	1.92	93	4.27	93	5.71	-77.29	-11.56
84	91	1.86	93	4.20	93	5.64	-77.30	-11.55
85	90	1.74	93	4.04	93	5.48	-77.30	-11.54
86	89	1.63	92	3.81	92	5.20	-77.30	-11.53
87	89	1.54	92	3.64	92	4.98	-77.31	-11.51
88	89	1.47	91	3.52	92	4.82	-77.32	-11.51
89	88	1.41	91	3.44	91	4.71	-77.33	-11.50
90	88	1.33	91	3.29	91	4.55	-77.35	-11.48
91	88	1.32	91	3.26	91	4.52	-77.36	-11.47
92	88	1.29	91	3.23	91	4.47	-77.37	-11.46
93	88	1.29	91	3.23	91	4.45	-77.38	-11.46
94	88	1.33	91	3.33	91	4.56	-77.39	-11.45
95	88	1.42	91	3.50	91	4.75	-77.40	-11.44
96	89	1.59	92	3.86	92	5.19	-77.42	-11.44
97	91	2.06	93	4.81	93	6.28	-77.43	-11.42

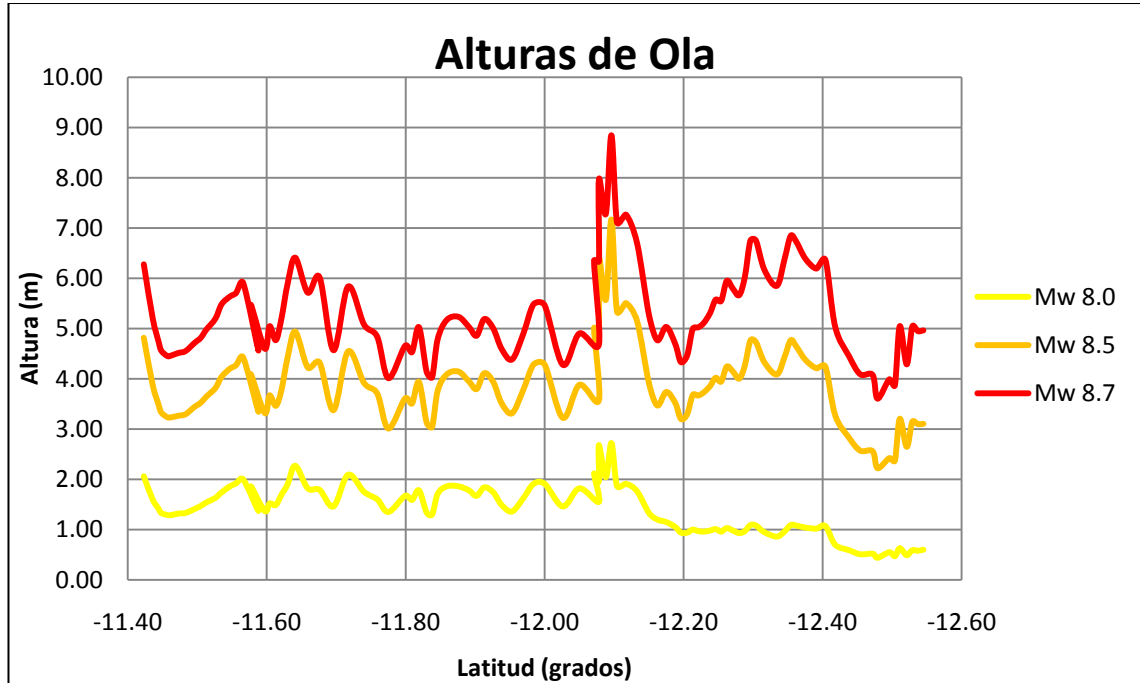


Figura 7. Alturas máximas de ola a lo largo de la costa de Lima de norte a sur.

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

Tabla 4. Alturas máximas de ola obtenidas del modelo numérico de simulación de Tsunami

Mw	Hmáx (m)
8.00	2.72
8.50	7.17
8.70	8.85

Finalmente estas alturas deberán ser corregidas por las alturas máximas de mareas. Para esta corrección se toman los datos del documento Tabla de Mareas 2010 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 2010, en las costas del Callao, se tiene un valor de pleamar de 1.23 metros. Con este valor se corrigen los



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



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 5, los valores se presentan redondeados.

Tabla 5. Valores corregidos de alturas máximas de olas.

Mw	Hmáx corregida (m)
8.00	4.00
8.50	8.40
8.70	10.10

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para cada uno de los distritos costeros se ha realizado un análisis del área inundada. Los resultados del área inundada por distrito se encuentran en la Tabla 6.1 y los mapas de las áreas de inundación se presentan en los planos anexos.

Los datos base para realizar los análisis de áreas de inundación fueron obtenidos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) para la información cartográfica y la información topográfica se obtuvo de la aplicación Google Earth.

Como se puede apreciar en esta tabla los distritos más afectados son el Callao, Chorrillos y Lurín. En el caso del escenario sísmico con una magnitud $M_w = 8.7$, en el Callao se verían afectadas 881 manzanas (44% del total afectado) en Chorrillos se verían afectadas 409 manzanas (20% del total afectado) y en el distrito de Lurín se verían afectadas 233 manzanas (12% del total afectado).

Cabe resaltar que para los distrito de San Miguel, Magdalena, San Isidro, y Miraflores, si bien es cierto existen zonas pobladas, estas áreas no estaban consideradas en la base de datos cartográfica que se obtuvo del INEI por eso en estos distritos el grado de afectación es cero.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



Tabla 6.1 Número de manzanas afectadas en los distritos costeros de Lima, según el escenario sísmico.

Nº	Distrito	Cantidad de Manzanas Afectadas			Porcentaje de Afectación		
		Mw 8.0	Mw 8.5	Mw 8.7	Mw 8.0	Mw 8.5	Mw 8.7
1	Ancón	9	57	92	2%	3%	5%
2	Santa Rosa	7	15	16	2%	1%	1%
3	Ventanilla	67	81	92	16%	5%	5%
4	Callao	110	751	881	26%	44%	44%
5	La Punta	31	54	54	7%	3%	3%
6	La Perla	0	5	13	0%	0%	1%
7	San Miguel	0	0	0	0%	0%	0%
8	Magdalena	0	0	0	0%	0%	0%
9	San Isidro	0	0	0	0%	0%	0%
10	Miraflores	0	0	0	0%	0%	0%
11	Barranco	0	5	5	0%	0%	0%
12	Chorrillos	110	368	409	26%	22%	20%
13	Villa el Salvador	43	76	78	10%	4%	4%
14	Lurín	35	176	233	8%	10%	12%
15	Punta Hermosa	2	23	37	0%	1%	2%
16	Punta Negra	5	42	64	1%	2%	3%
17	San Bartolo	2	8	11	0%	0%	1%
18	Santa María del Mar	0	9	10	0%	1%	0%
19	Pucusana	4	23	29	1%	1%	1%

Porcentaje de Afectación

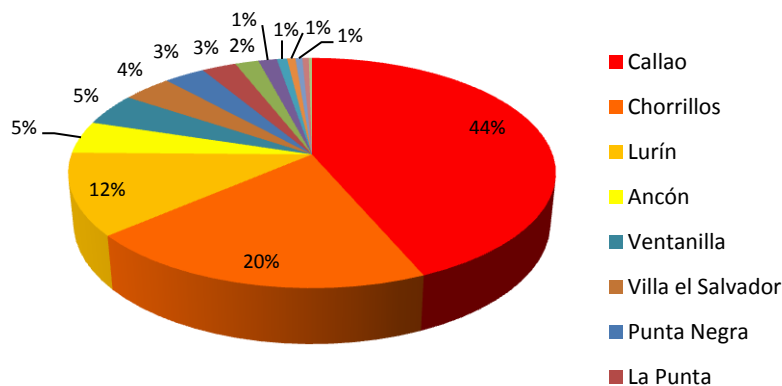


Figura 6.1. Gráfico de la distribución del daño en porcentaje del número de manzanas afectadas para la zona litoral de Lima.



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]. Papazachos, B. C., Scordilis E. M., Panagiotopoulos D. G., and Karakaisis G. F., 2004, Global Relation Between Seismic Fault Parameter and Moment Magnitude of Earthquake, Bulletin of the Geological Society of Greece Vol. XXXVI Proceedings of the 10th International Congress, Thessaloniki, April 2004.
- [8]. Kuroiwa J., Reducción de Desastres, Viviendo en Armonía con la Naturaleza, 2002



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

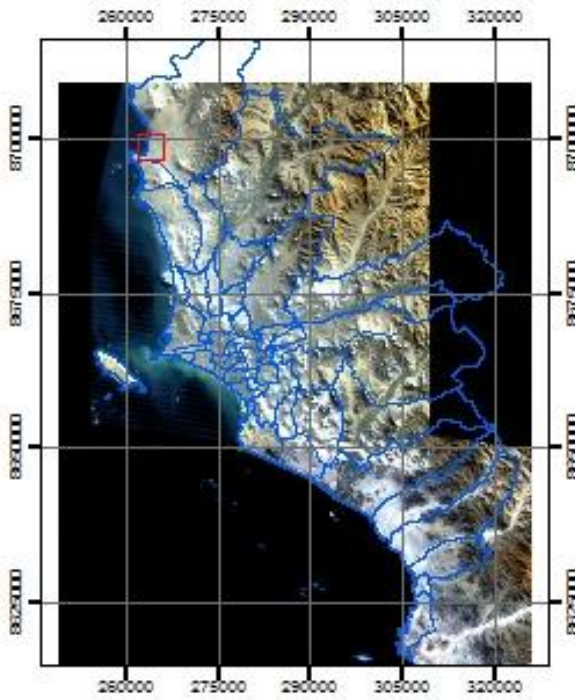
**CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



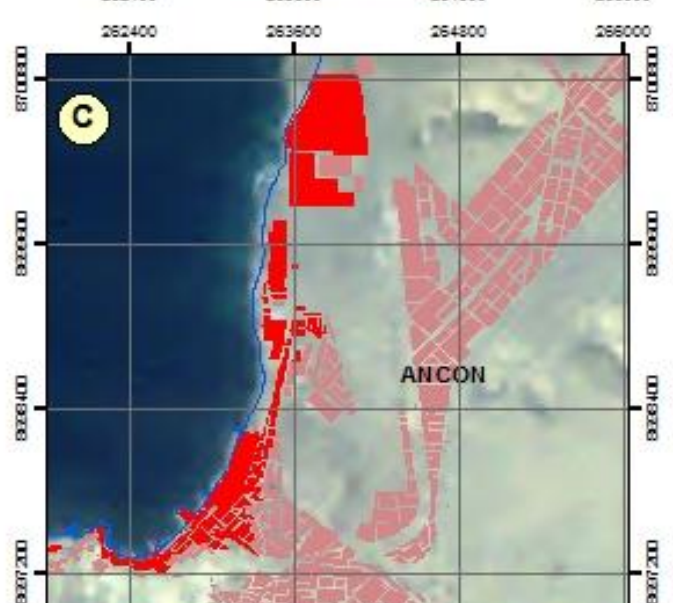
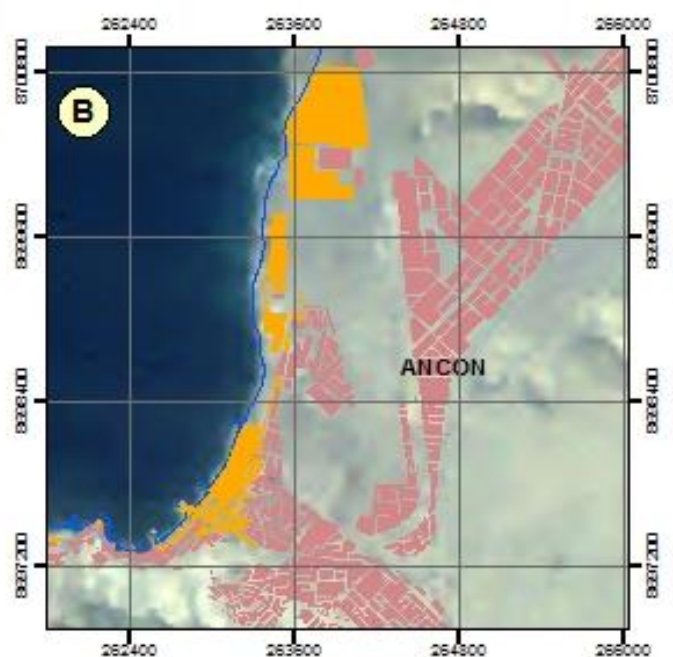
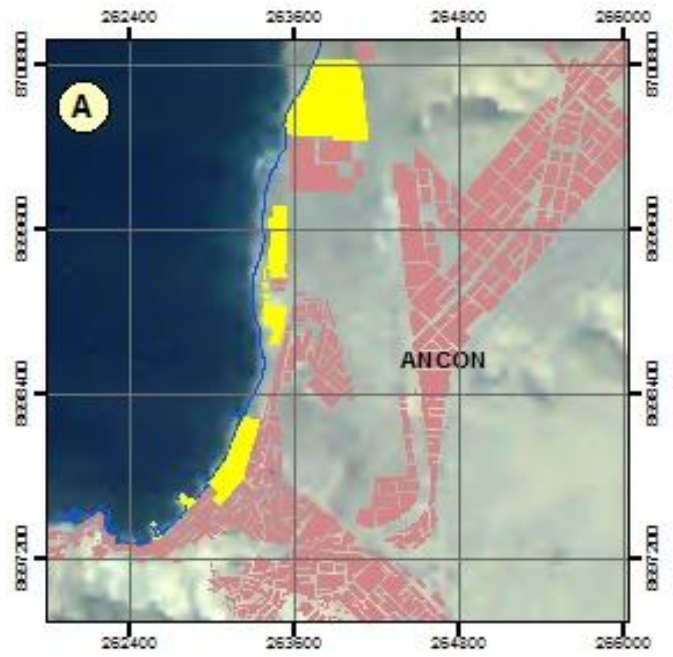
PLANOS ANEXOS



Zona de Inundación
Distrito de Ancón



Mapa	Magnitud (Mw)	Hmáx (m)	Nº Manzanas
A	8.0	4.0	9
B	8.5	8.4	57
C	8.7	10.1	92



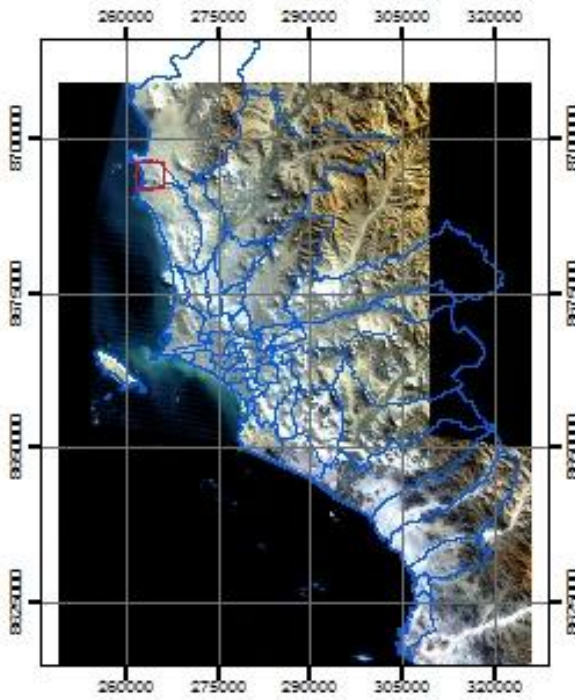


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

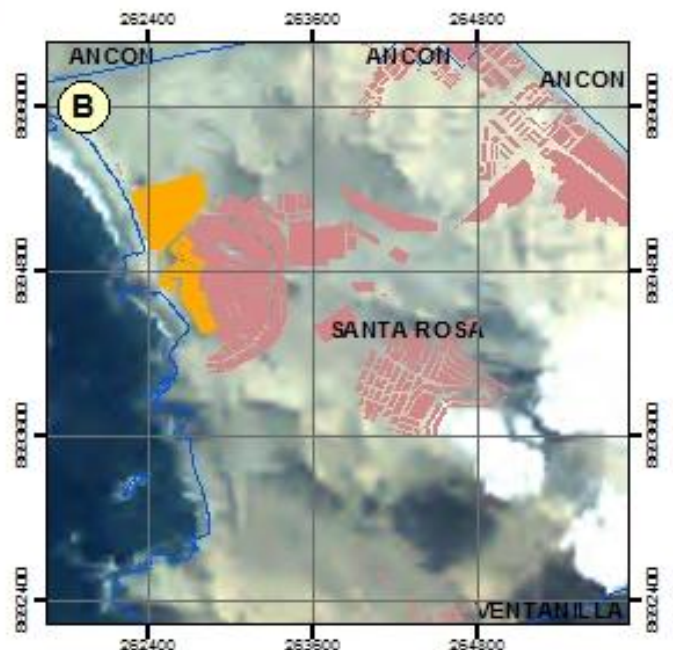
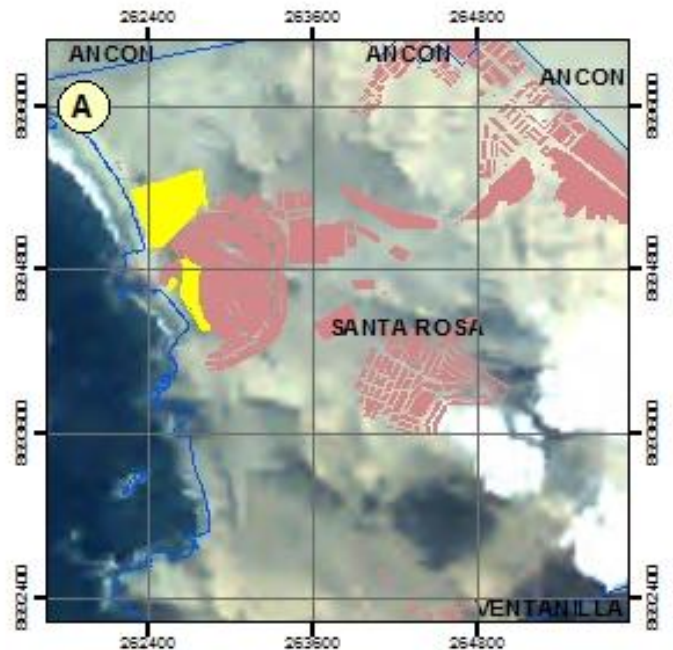
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Zona de Inundación
Distrito de Santa Rosa



Mapa	Magnitud (Mw)	Hmáx (m)	Nº Manzanas
A	8.0	4.0	7
B	8.5	8.4	15
C	8.7	10.1	16



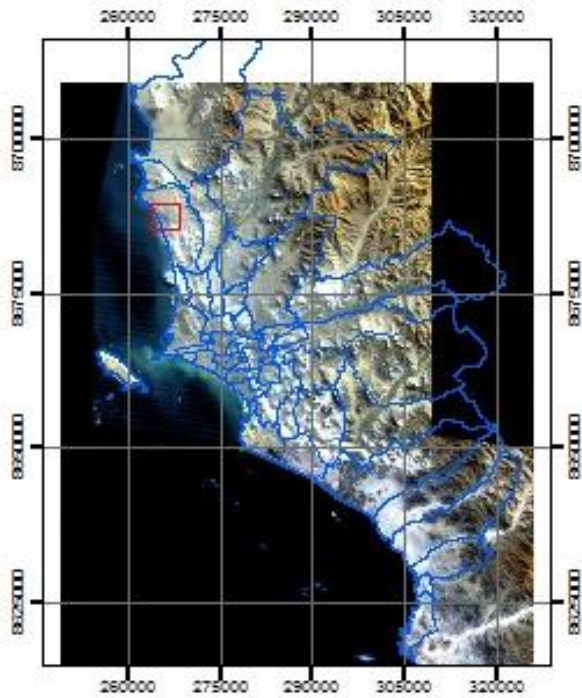


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

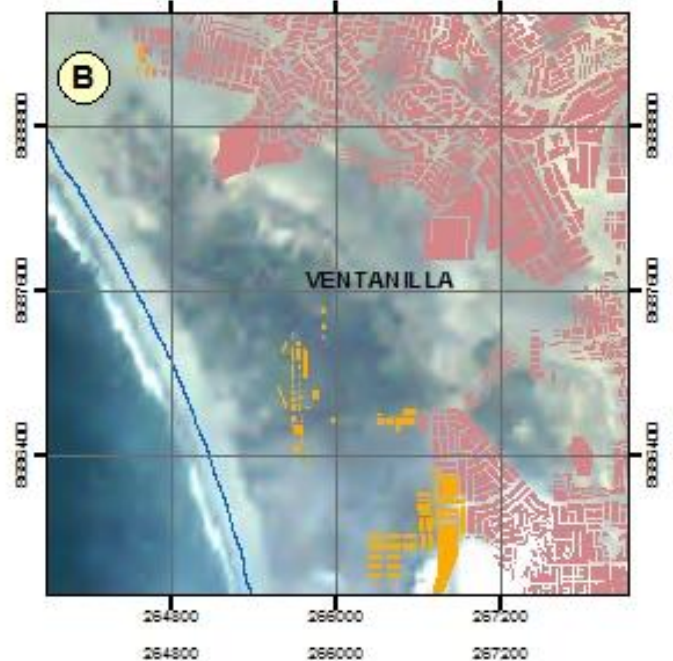
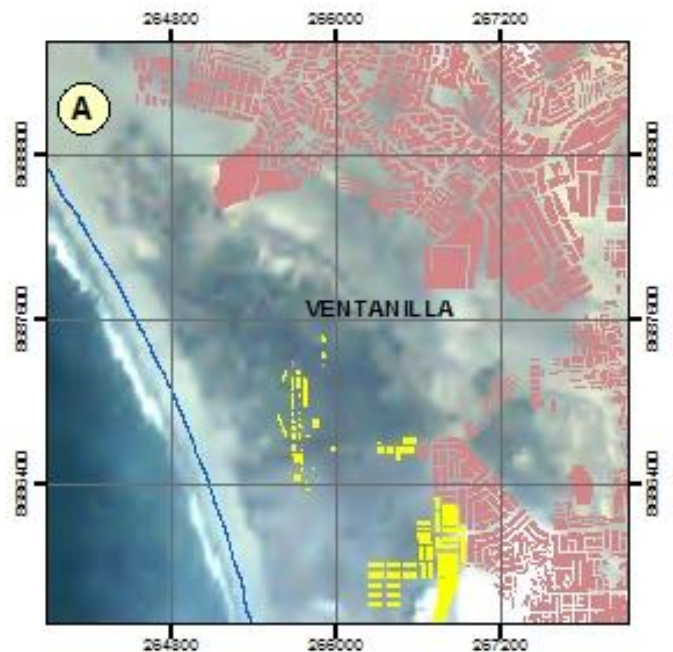
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Zona de Inundación
Distrito de Ventanilla



Mapa	Magnitud (Mw)	Hmáx (m)	Nº Manzanas
A	8.0	4.0	67
B	8.5	8.4	81
C	8.7	10.1	92



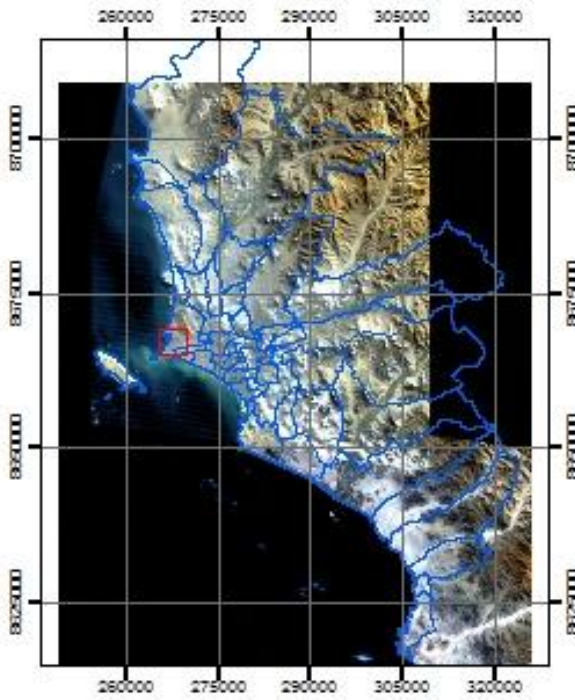


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

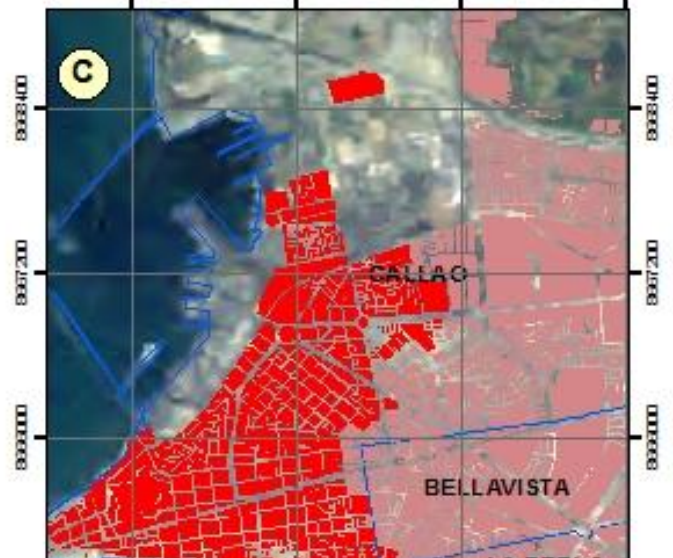
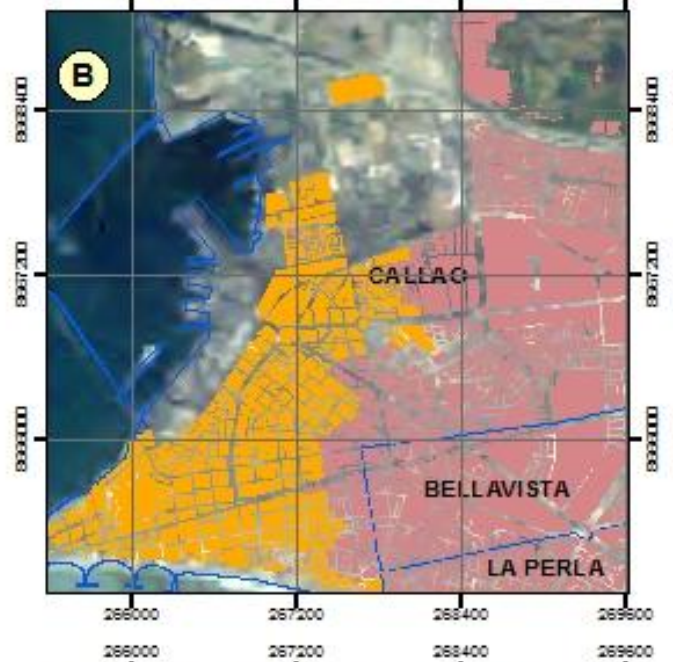
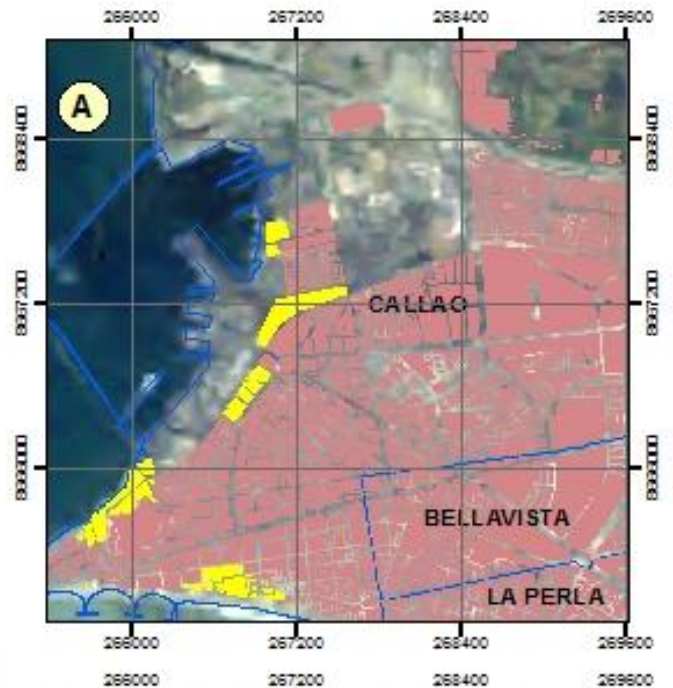
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Zona de Inundación
Distrito de Callao



Mapa	Magnitud (Mw)	Hmáx (m)	Nº Manzanas
A	8.0	4.0	110
B	8.5	8.4	751
C	8.7	10.1	881



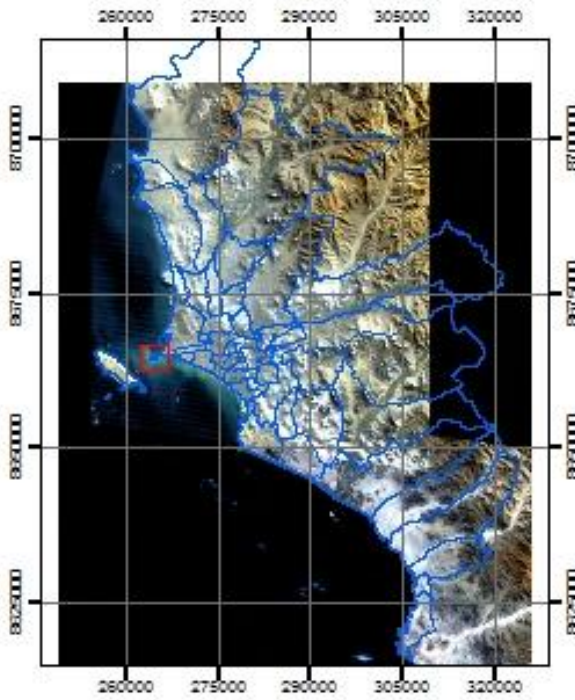


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

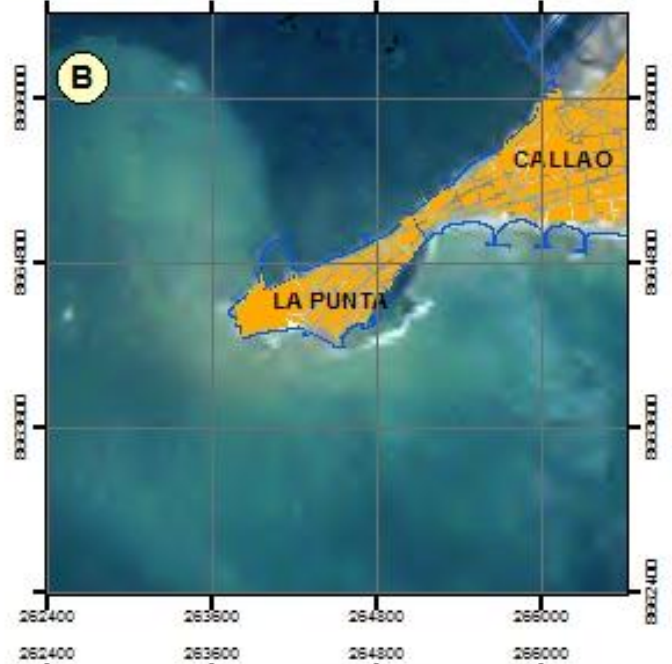
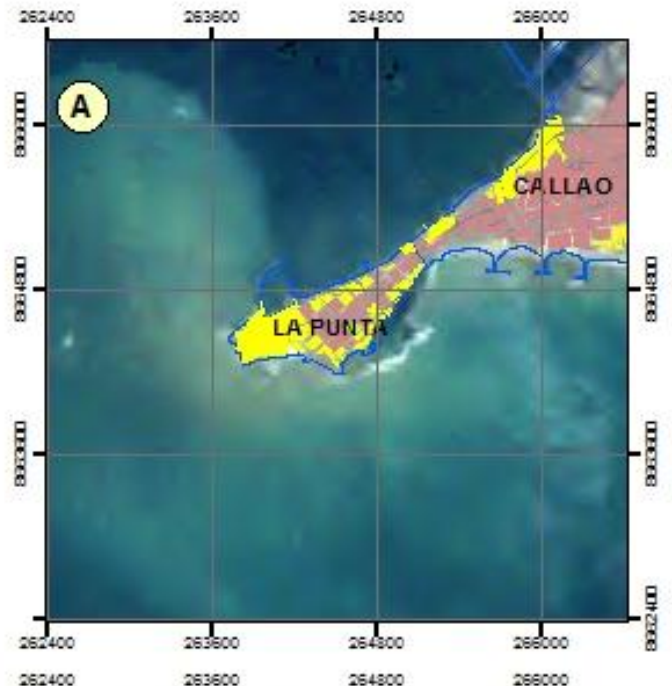
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Zona de Inundación
Distrito de La Punta



Mapa	Magnitud (Mw)	Hmáx (m)	Nº Manzanas
A	8.0	4.0	31
B	8.5	8.4	54
C	8.7	10.1	54



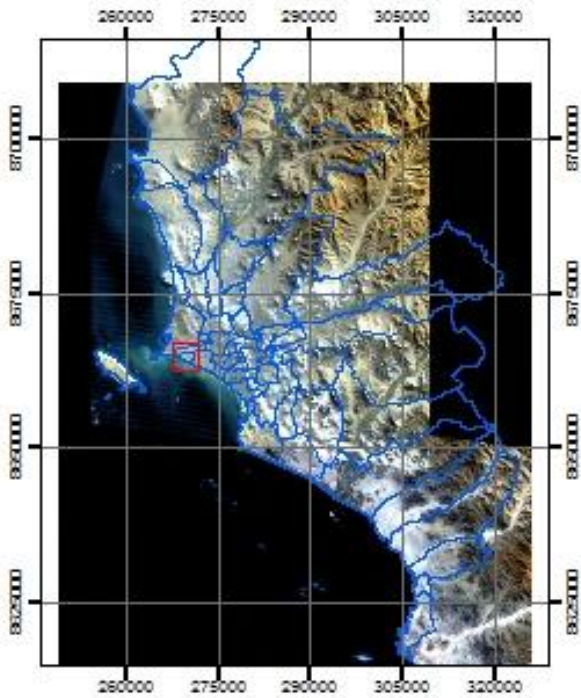


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

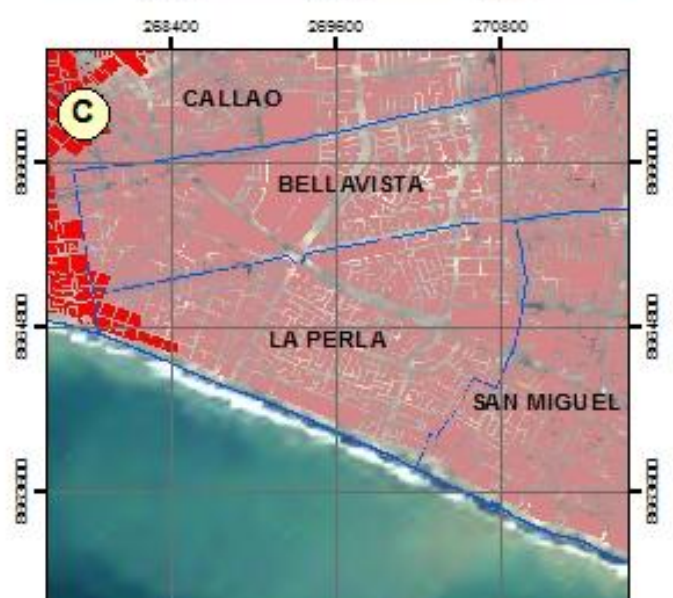
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Zona de Inundación
Distrito de La Perla



Mapa	Magnitud (Mw)	Hmáx (m)	Nº Manzanas
A	8.0	4.0	0
B	8.5	8.4	5
C	8.7	10.1	13



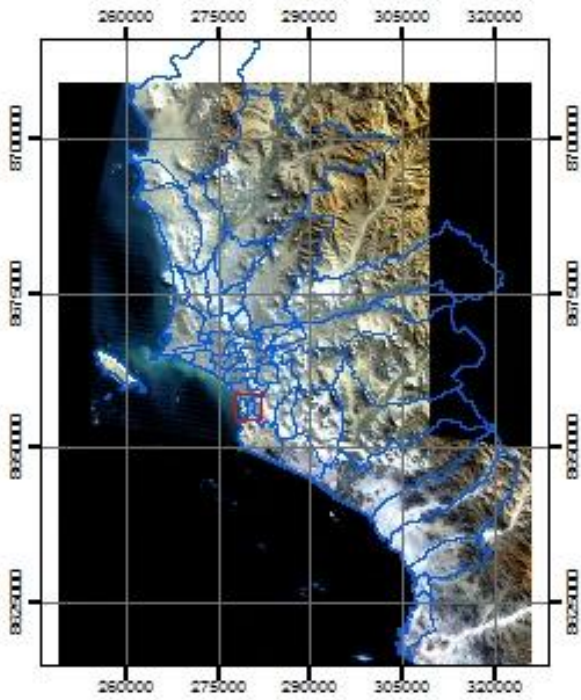


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

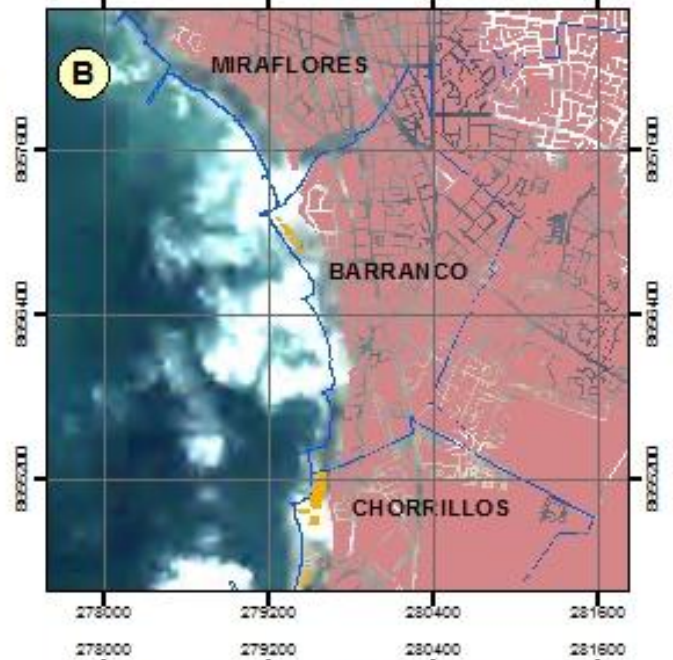
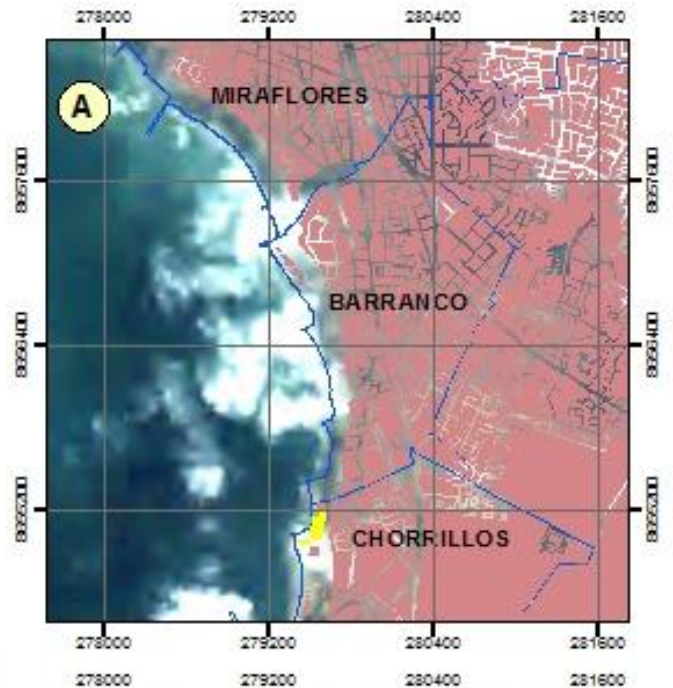
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Zona de Inundación
Distrito de Barranco



Mapa	Magnitud (Mw)	Hmáx (m)	Nº Manzanas
A	8.0	4.0	0
B	8.5	8.4	5
C	8.7	10.1	5



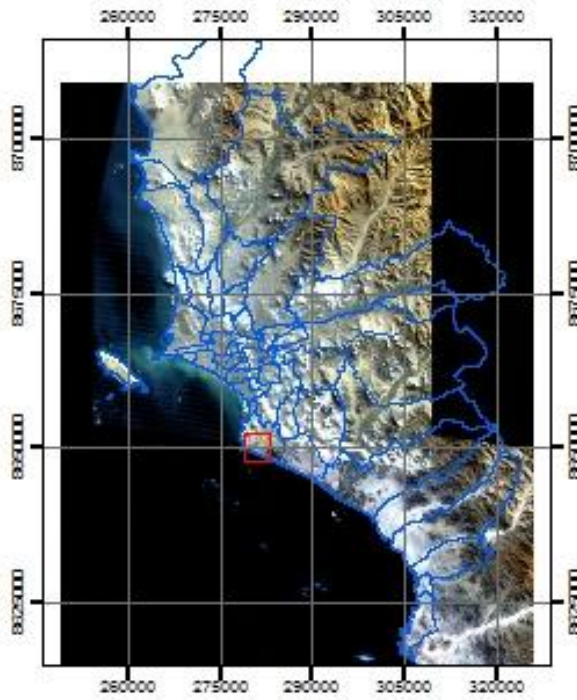


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

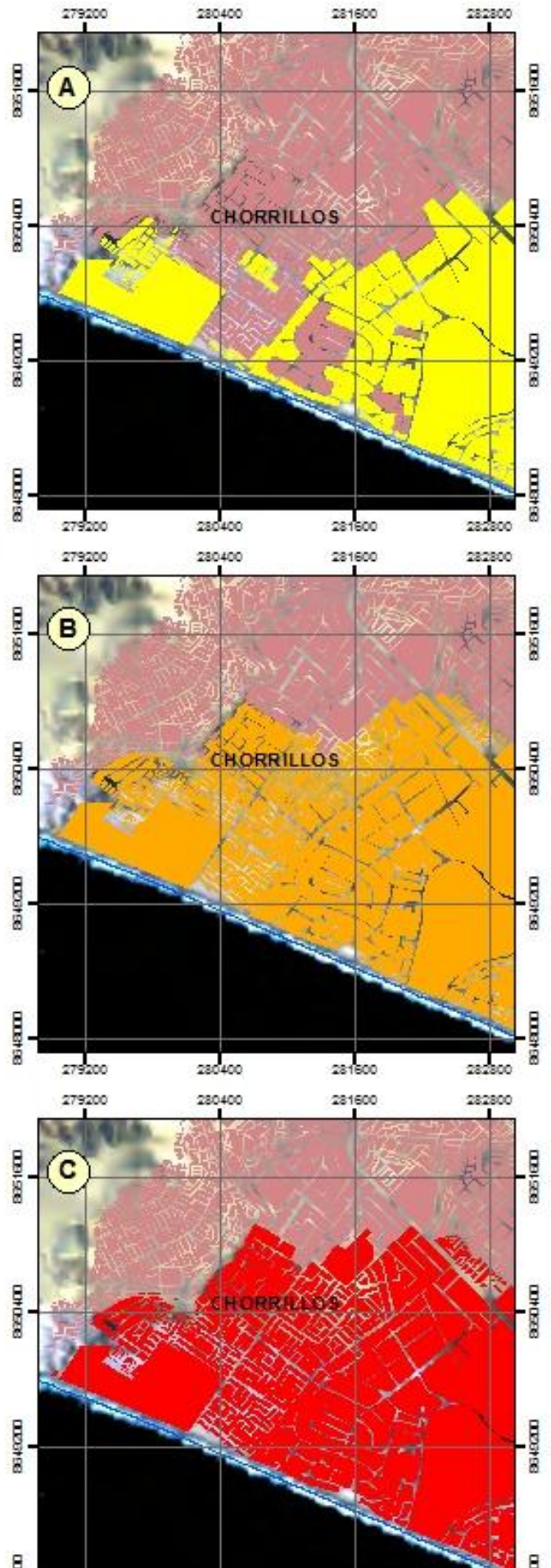
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Zona de Inundación
Distrito de Chorrillos

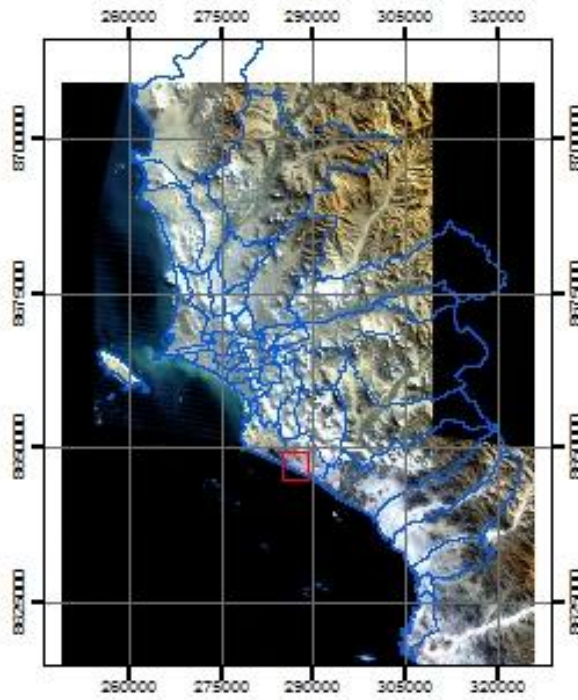


Mapa	Magnitud (Mw)	Hmáx (m)	Nº Manzanas
A	8.0	4.0	110
B	8.5	8.4	368
C	8.7	10.1	409

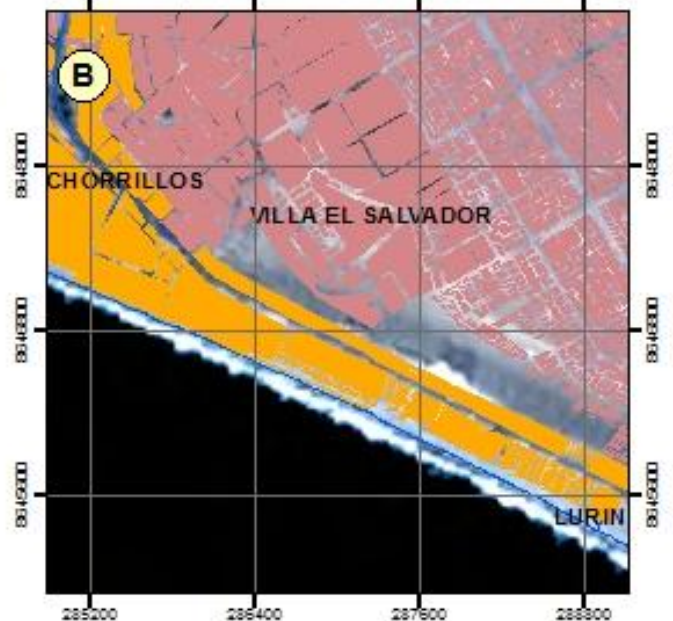
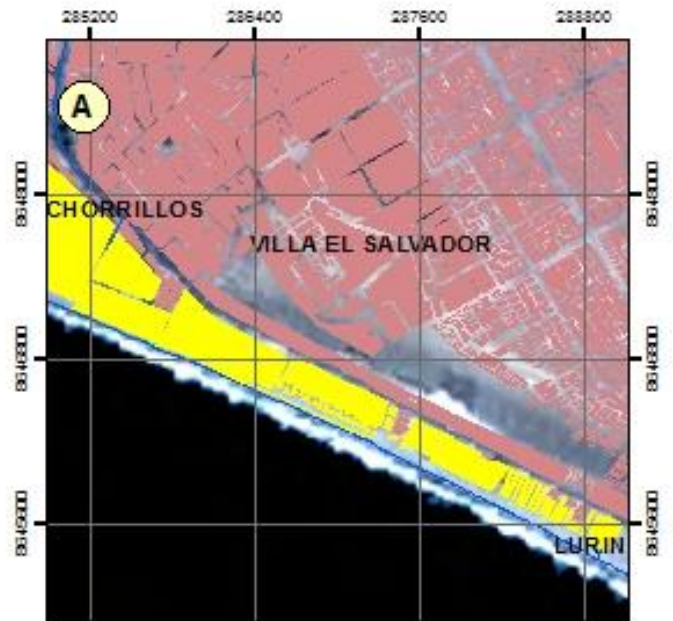




**Zona de Inundación
Distrito de Villa el Salvador**



Mapa	Magnitud (Mw)	Hmáx (m)	Nº Manzanas
A	8.0	4.0	43
B	8.5	8.4	76
C	8.7	10.1	78



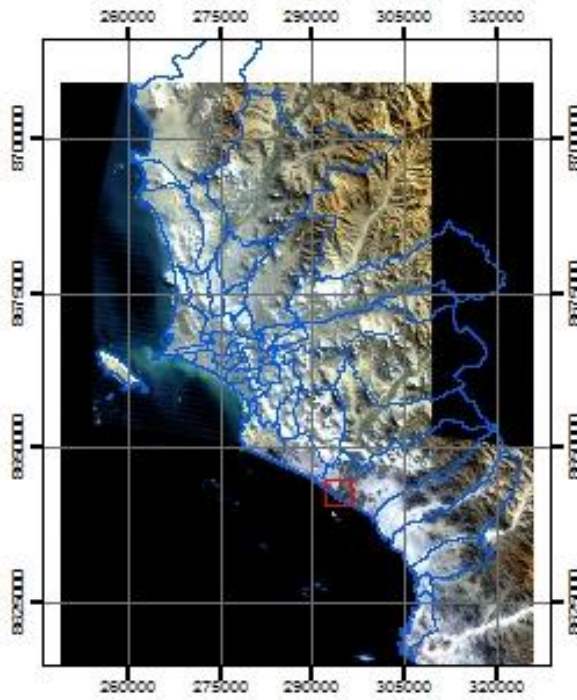


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

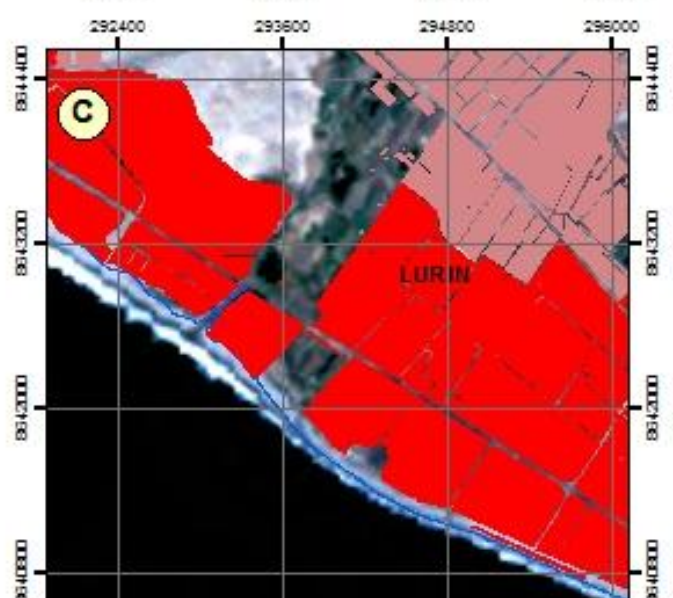
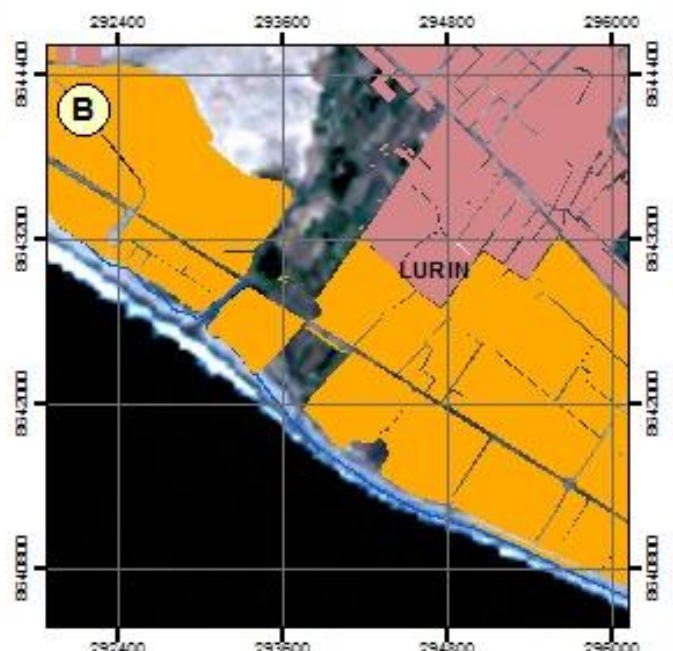
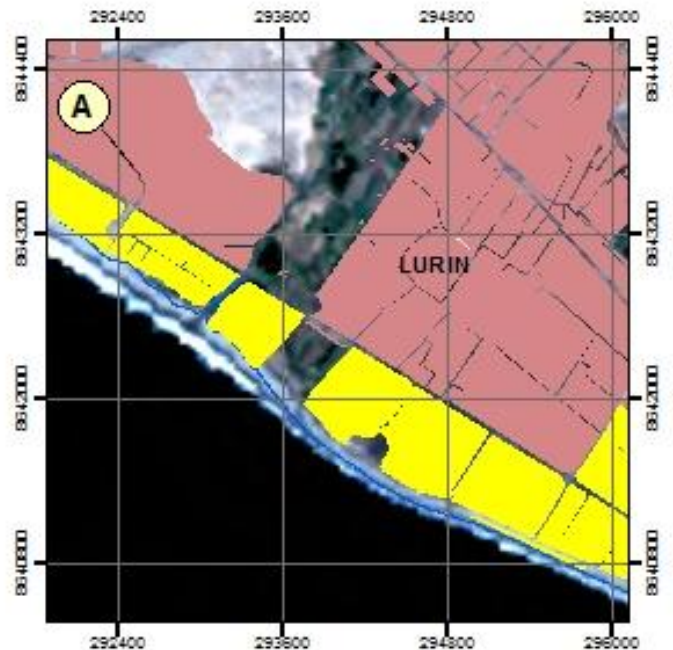
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Zona de Inundación
Distrito de Lurín



Mapa	Magnitud (Mw)	Hmáx (m)	Nº Manzanas
A	8.0	4.0	35
B	8.5	8.4	176
C	8.7	10.1	233



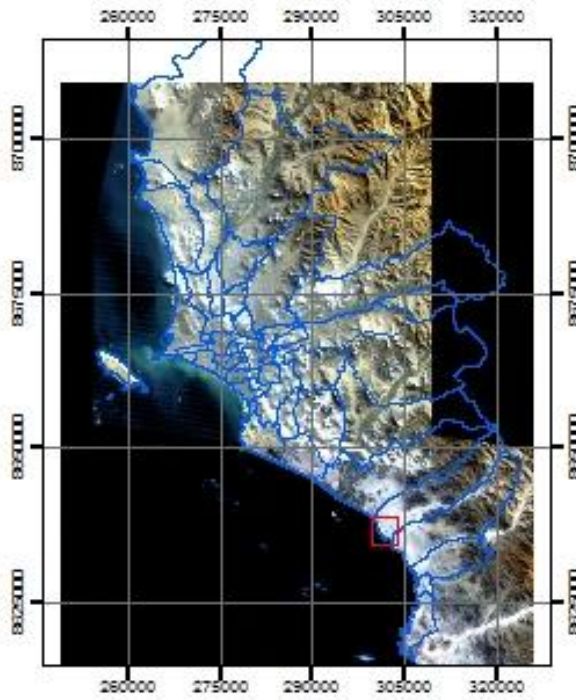


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

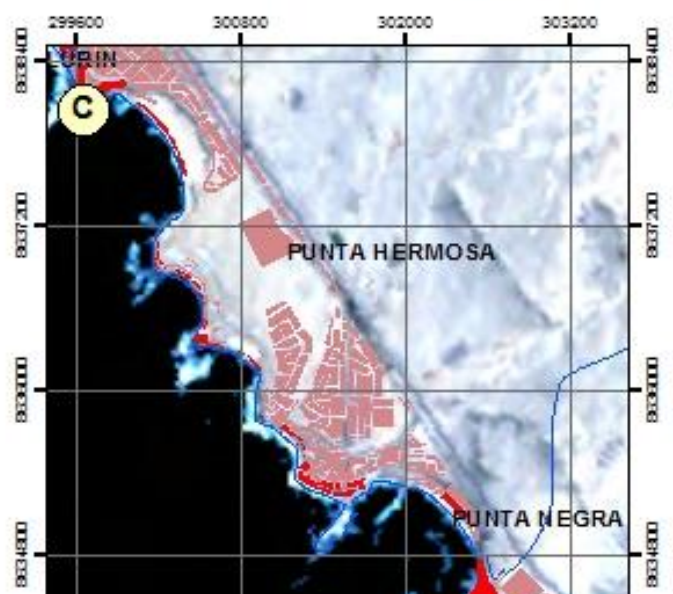
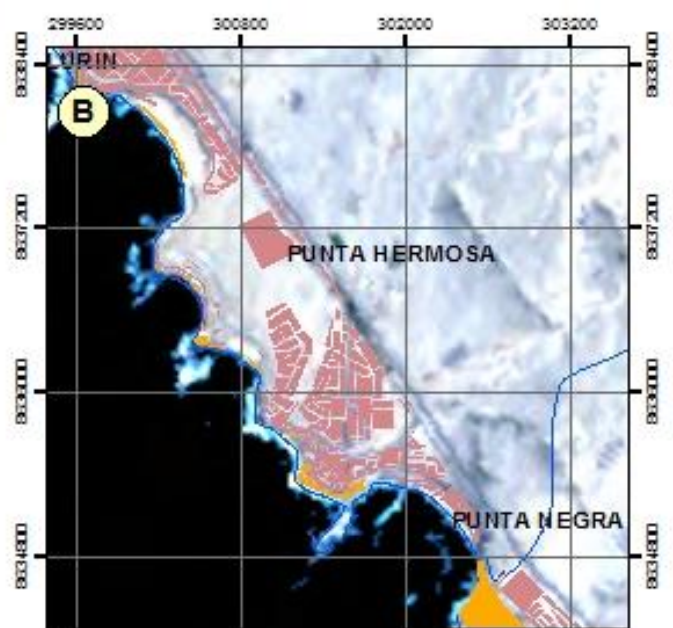
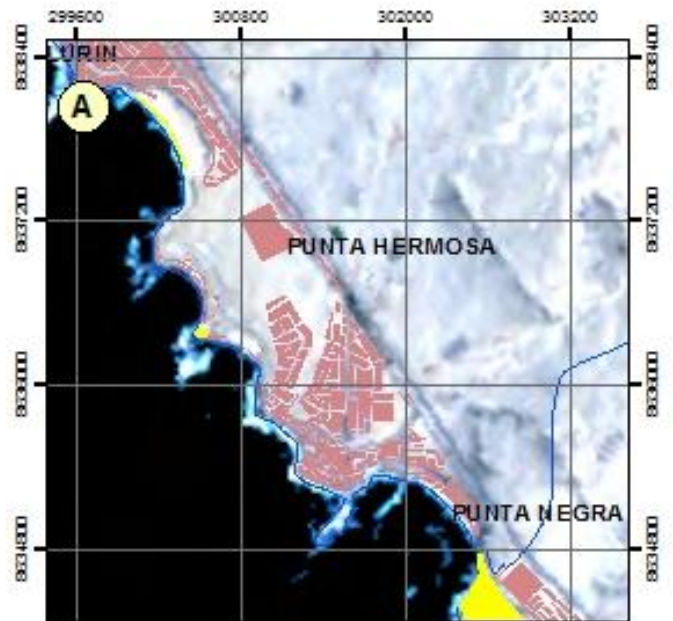
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Zona de Inundación
Distrito de Punta Hermosa

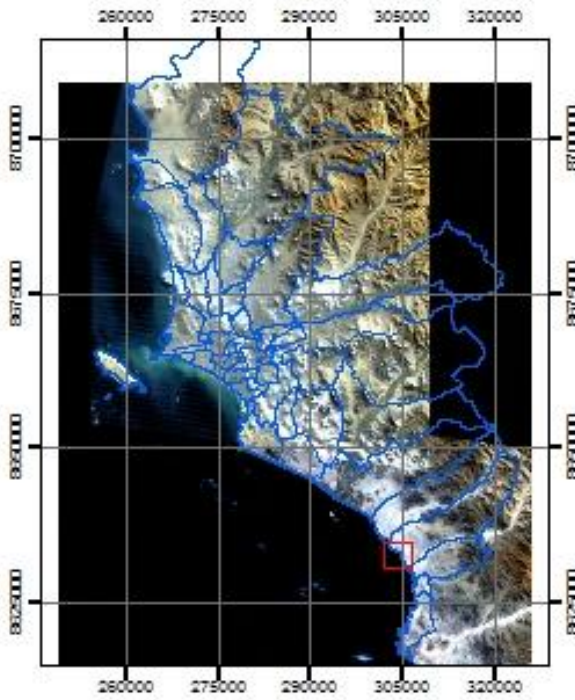


Mapa	Magnitud (Mw)	Hmáx (m)	Nº Manzanas
A	8.0	4.0	2
B	8.5	8.4	23
C	8.7	10.1	37

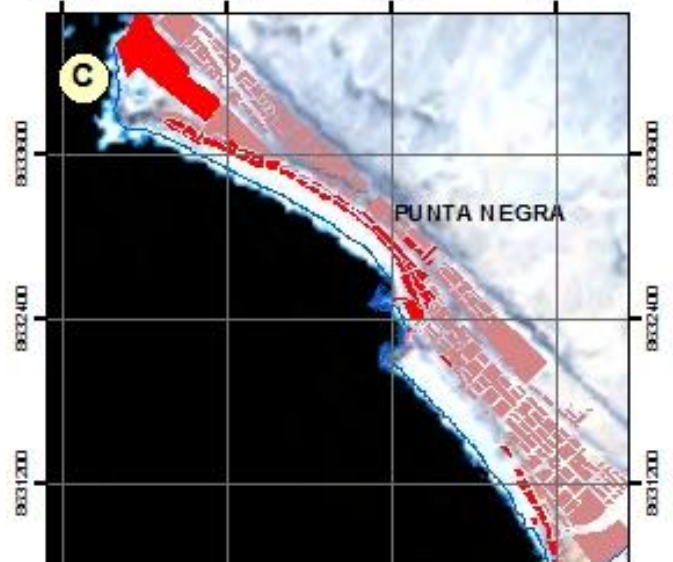
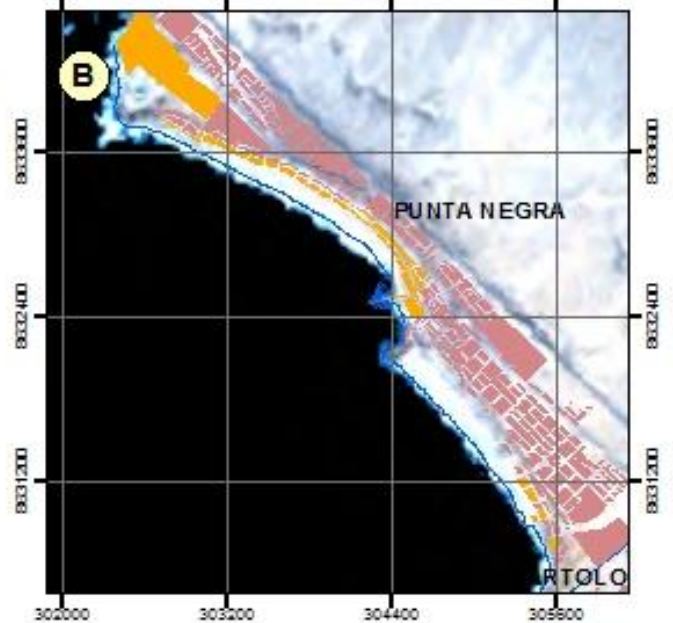
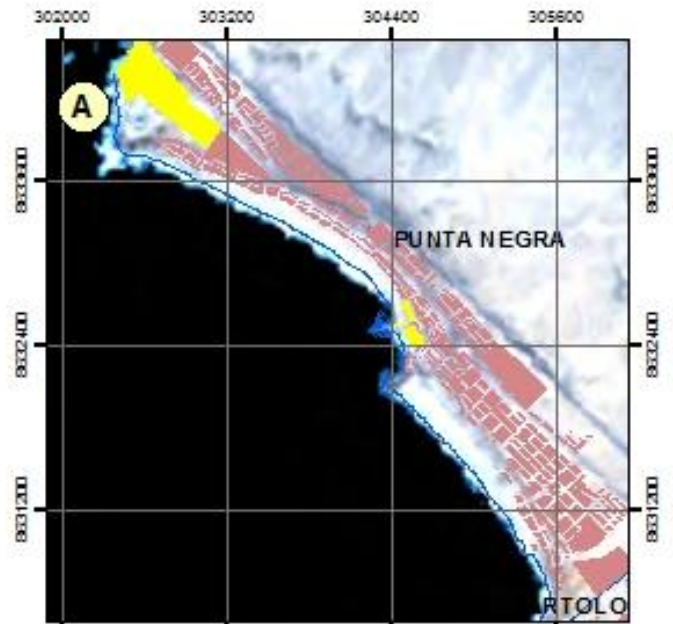




Zona de Inundación
Distrito de Punta Negra



Mapa	Magnitud (Mw)	Hmáx (m)	Nº Manzanas
A	8.0	4.0	5
B	8.5	8.4	42
C	8.7	10.1	64



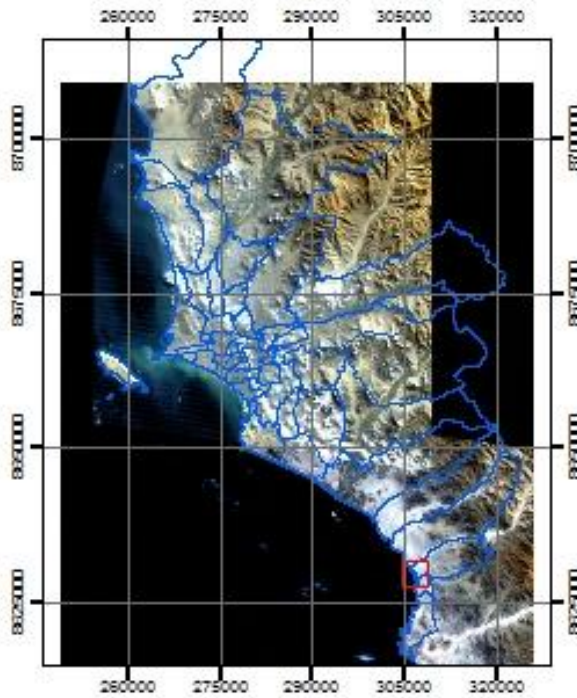


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

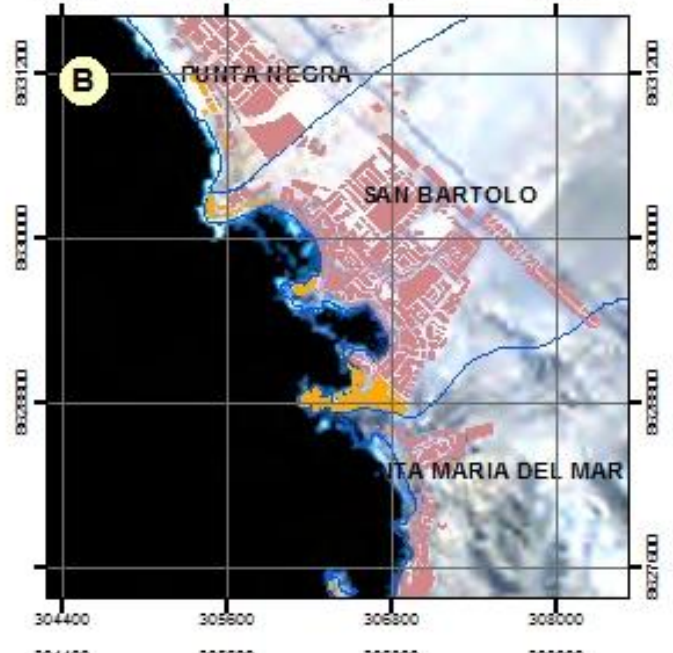
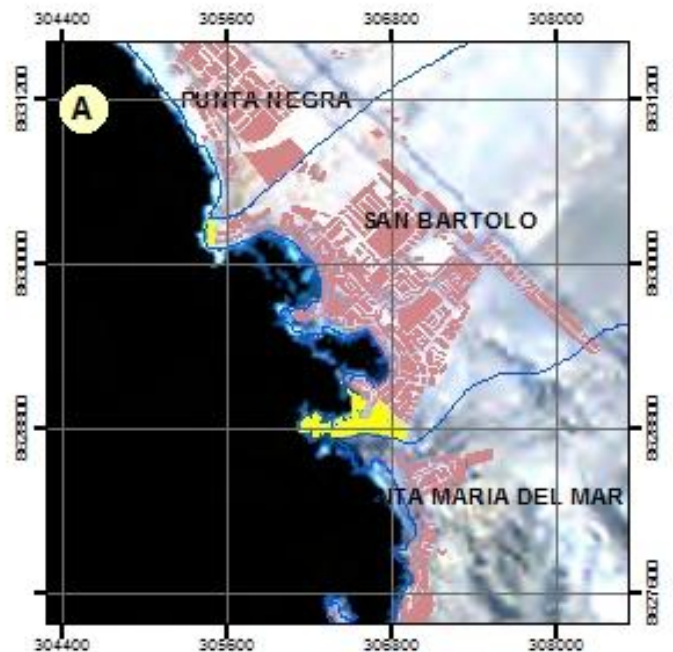
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Zona de Inundación
Distrito de San Bartolo

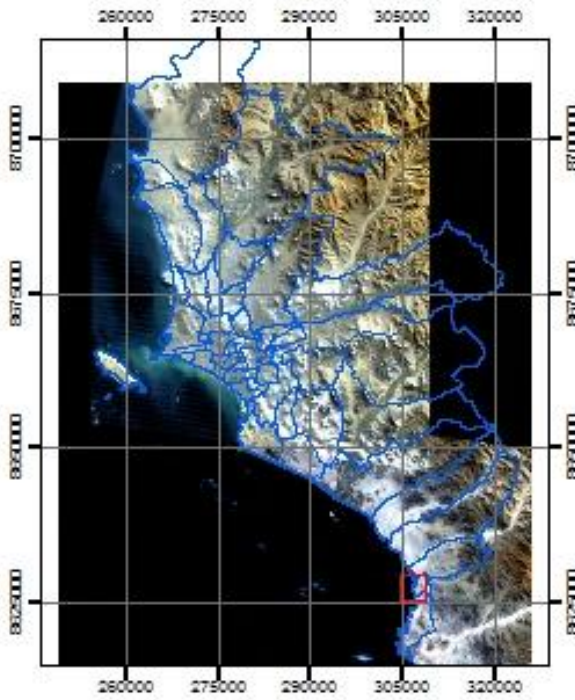


Mapa	Magnitud (Mw)	Hmáx (m)	Nº Manzanas
A	8.0	4.0	2
B	8.5	8.4	8
C	8.7	10.1	11

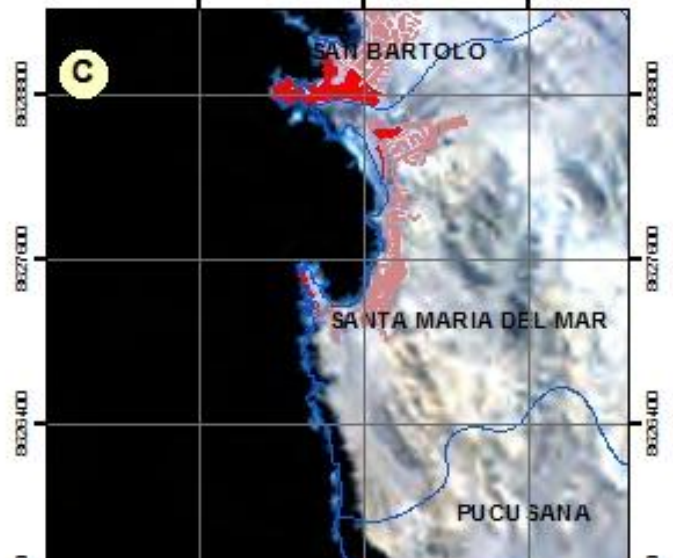
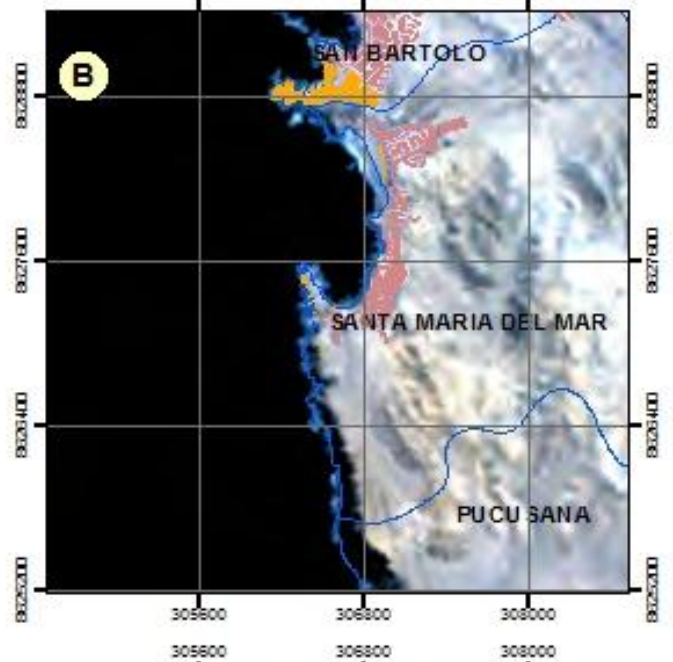
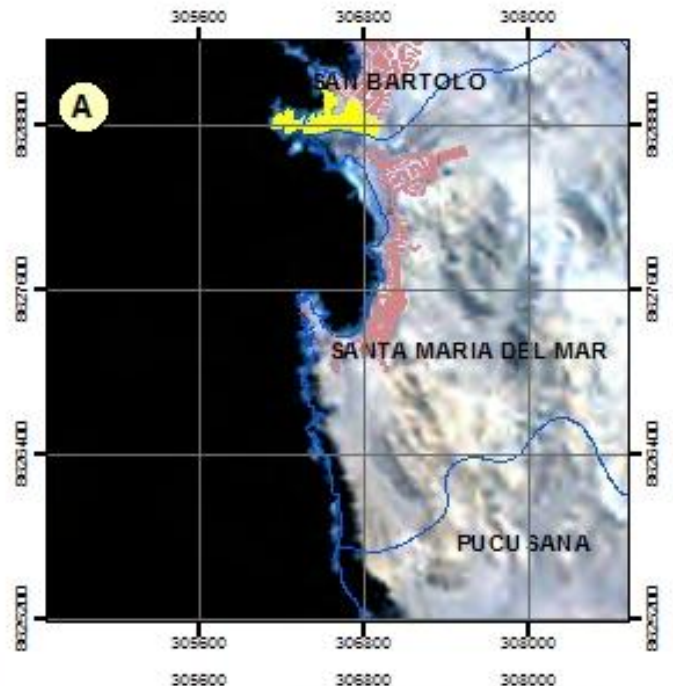




Zona de Inundación
Distrito de Santa María del Mar



Mapa	Magnitud (Mw)	Hmáx (m)	Nº Manzanas
A	8.0	4.0	0
B	8.5	8.4	9
C	8.7	10.1	10



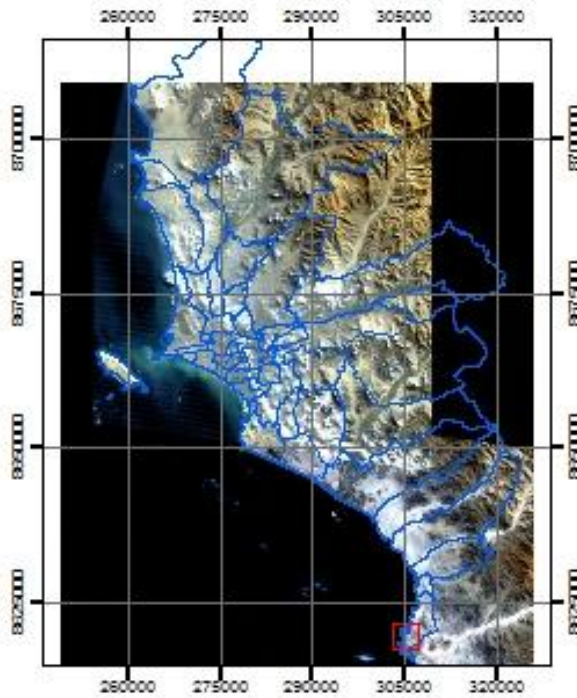


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Zona de Inundación
Distrito de Pucusana



Mapa	Magnitud (Mw)	Hmáx (m)	Nº Manzanas
A	8.0	4.0	4
B	8.5	8.4	23
C	8.7	10.1	29

