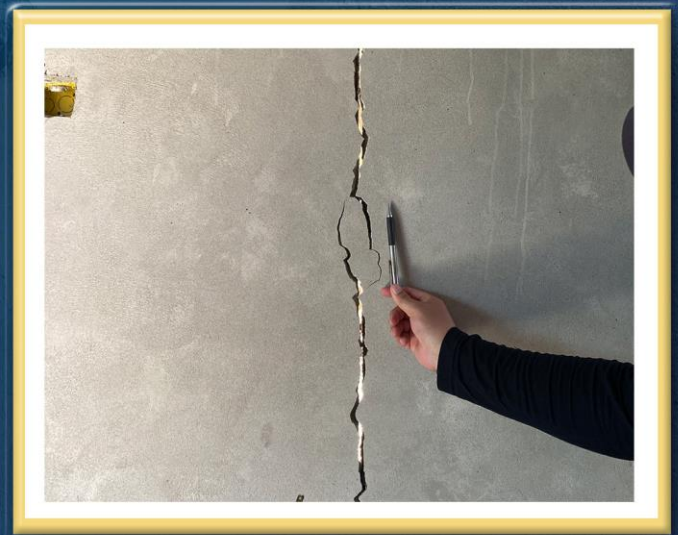


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7171**

# EVALUACIÓN TÉCNICA GEOLÓGICA POST SISMO EN EL DEPARTAMENTO DE PIURA

Departamento Piura  
Provincias Piura, Sechura, Sullana, Paita



AGOSTO  
2021

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>2. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD</b> .....	3
<b>3. ANTECEDENTES</b> .....	3
<b>4. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS</b> .....	5
<b>5. INVENTARIO DE EFECTOS O DAÑOS</b> .....	6
<b>6. PELIGROS GEOLÓGICOS</b> .....	13
<b>7. ANALISIS TECTÓNICO - ESTRUCTURAL</b> .....	14
<b>CONCLUSIONES</b> .....	14
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	15
<b>REFERENCIAS</b> .....	16

# **EVALUACIÓN TÉCNICO GEOLÓGICA POST SISMO EN EL DEPARTAMENTO DE PIURA**

## **Informe final**

### **RESUMEN**

El 30 de julio del presente año, un sismo de 6.1 grados de magnitud afectó la zona noroccidental del país, su epicentro se localizó en la provincia de Sullana, en la Región Piura. El fenómeno ocasionó la ocurrencia de diversos procesos geológicos asociados en varias localidades de la región, tales como movimientos en masa o la licuefacción de suelos.

La licuefacción de suelos es un proceso muy común que ocurre durante los sismos; el tipo de suelo y su saturación en agua, reacciona de muy mala forma ante sacudimientos, genera expulsiones de agua y sedimento arenoso, provocando el hundimiento de construcciones y agrietamientos tanto en suelo como muros. Estos procesos afectaron a los pobladores de las provincias de Piura, Sullana, Paíta y Sechura. Durante nuestros trabajos se reconoció que la zona más afectada fue el distrito de Vichayal, ubicado a más de 60 km al oeste del epicentro, esta zona se encuentra muy cerca al litoral costero, donde además se observa la presencia de albuferas, por lo que sus suelos están compuestos de arenas y limos saturados en agua. Estos escenarios, donde la litología está compuesta de sedimentos inconsolidados (arenas o limos) y hay una importante presencia de agua superficial, facilita el proceso de licuefacción de suelos, ocasionando el agrietamiento de muros, suelos y techos.

Este informe presenta los resultados de la evaluación técnica geológica post sismo en las zonas afectadas por el sismo del 30 de julio, basado en el inventario de daños y ocurrencia de agrietamientos y formación de volcanes de arena. Los análisis nos muestran que la geomorfología y la geología han influenciado en la concentración de daños en ciertos sectores de las zonas visitadas. Finalmente, se observa que los datos obtenidos presentan una tendencia de deformación que está directamente relacionada con la ubicación del epicentro. Por último, se presentan algunas conclusiones y recomendaciones, principalmente orientadas al mejoramiento de los Planes de Ordenamiento Territorial y la Gestión del Riesgo de Desastres.



## 1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), dentro de sus funciones brinda asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología, que permite identificar, caracterizar, evaluar y diagnosticar aquellas zonas urbanas o rurales, que podrían verse afectadas por peligros geológicos cuya evolución pudiera desencadenar en desastres.

Estos estudios, concebidos principalmente como herramientas de apoyo a la planificación territorial y la gestión del riesgo (planes de emergencia), son publicados en boletines y reportes técnicos. Esta labor es desarrollada, principalmente, por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico a través de la ACT.11: **Evaluación de Peligros Geológicos A Nivel Nacional**.

Es por eso que, en cumplimiento de sus funciones, el INGEMMET realizó una evaluación técnica por parte de los especialistas en la región Piura, esto a raíz del sismo M6.1 ocurrido el 30 de julio con epicentro en la ciudad de Sullana.

El INGEMMET, por intermedio de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico - DGAR, comisionó a los profesionales Briant García Fernández Baca, Anderson Palomino, Enoch Aguirre y Cristhian Chiroque, especialistas en riesgos geológicos, para realizar las evaluaciones ingeniero - geológicas en los sectores de Piura, Sullana, Catacaos, La Unión, Vichayal, Colán, Marcavelica, La Bomba y Tantará, la cuales se realizaron del 04 al 06 de julio del presente año, previa coordinación con personal del el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y autoridades locales.

Las tareas desarrolladas en dicha comisión consistieron en:

- Inspección técnica de los efectos geológicos y daños en las construcciones.
- Toma de datos y mediciones de grietas en el suelo.
- Inventario, ubicación y análisis de suelos deformados por licuefacción.
- Reuniones sostenidas con autoridades locales.
- Sobrevuelo en dron para realizar cartografía o mapeo de daños en la vía Panamericana norte.
- Por último, se tomaron algunos datos de campo (geometría y medidas de grietas y/o fracturas) y registro fotográfico.

## 2. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

La zona evaluada está ubicada, en el noroeste de Perú (Fig. 1), específicamente en las provincias de Piura, Sullana, Paita y Sechura.

La accesibilidad a la zona afectada se realiza a través de la carretera Panamericana norte. El tiempo de viaje vía terrestre aproximado es de 16 horas desde Lima. El tiempo de viaje vía aérea es de 1 hora y 45 minutos.

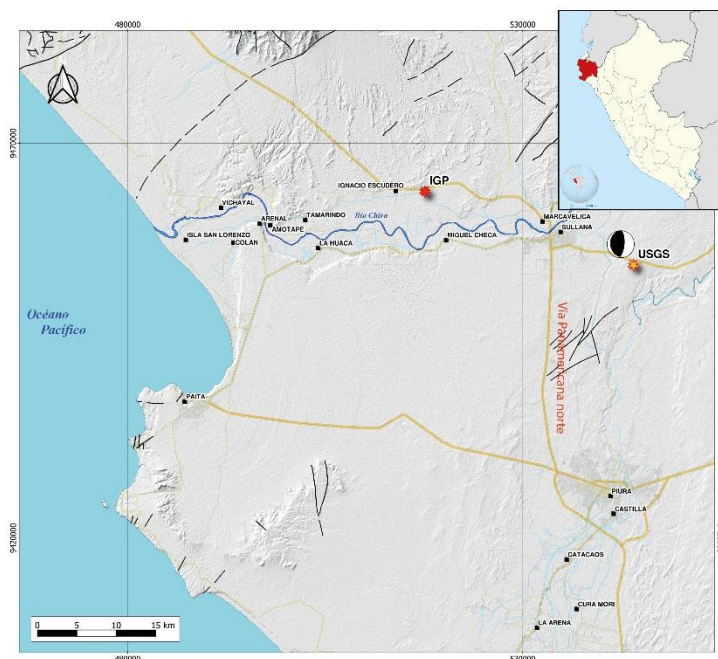


Fig. 1. Ubicación de la zona de estudio. Se observa en estrella roja el epicentro según el IGP y en estrella amarilla la ubicación del epicentro según el USGS

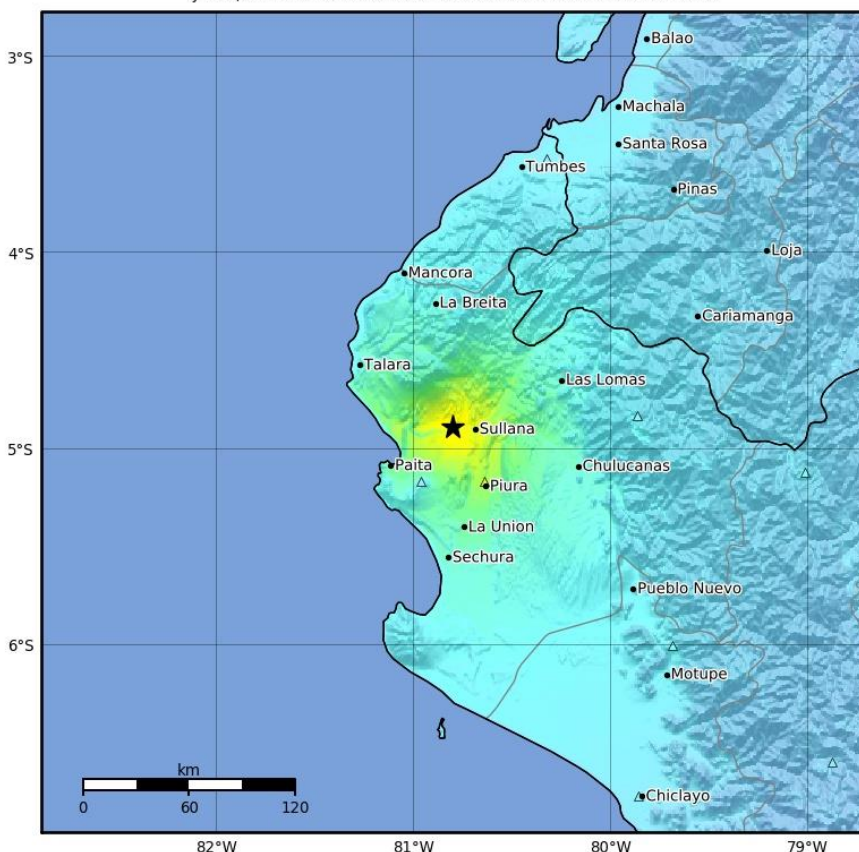
### 3. ANTECEDENTES

El día 30 de julio a las 12:10 p.m. el Instituto Geofísico del Perú (IGP), a través de su Red Sísmica Nacional (DS-0017-2018MINAM). Este evento sísmico fue seguido en las primeras 72 horas, por un total de 35 réplicas con magnitudes menores a M4.3, y de ellas solo 12 produjeron niveles de sacudimiento del suelo perceptibles para la población de las ciudades de Piura y Sullana (fuente IGP).

De acuerdo a los datos recogidos por IGP, el evento sísmico tuvo las siguientes características:

- Dia: 30 de julio del 2021
- Tiempo de origen: 12:10 (Hora Perú)
- Latitud sur: -4.8503
- Longitud oeste: -80.841
- Profundidad: 32
- Magnitud: 6.1
- Intensidad: VII Sullana, Piura, Paita

Mapa de Intensidades Macrosísmicas  
 IGP ShakeMap: 12 km al O de Sullana, Sullana - Piura  
 Jul 30, 2021 17:10:18 UTC M6.1 S4.89 W80.80 Prof: 36.0km ID:E0445



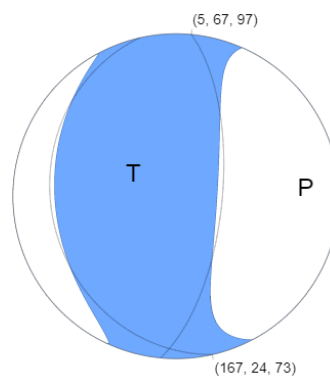
MOVIMIENTO	No Sentido	Débil	Ligero	Moderado	Fuerte	Muy Fuerte	Severo	Violento	Extremo
DANO	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Muy Poco	Poco	Moderado	Moderado/Mucho	Mucho	Cuantioso
PGA(%g)	<0.05	0.3	2.76	6.2	11.5	21.5	40.1	74.7	>139
PGV(cm/s)	<0.02	0.13	1.41	4.65	9.64	20	41.4	85.8	>178
INTENSIDAD	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X-X+

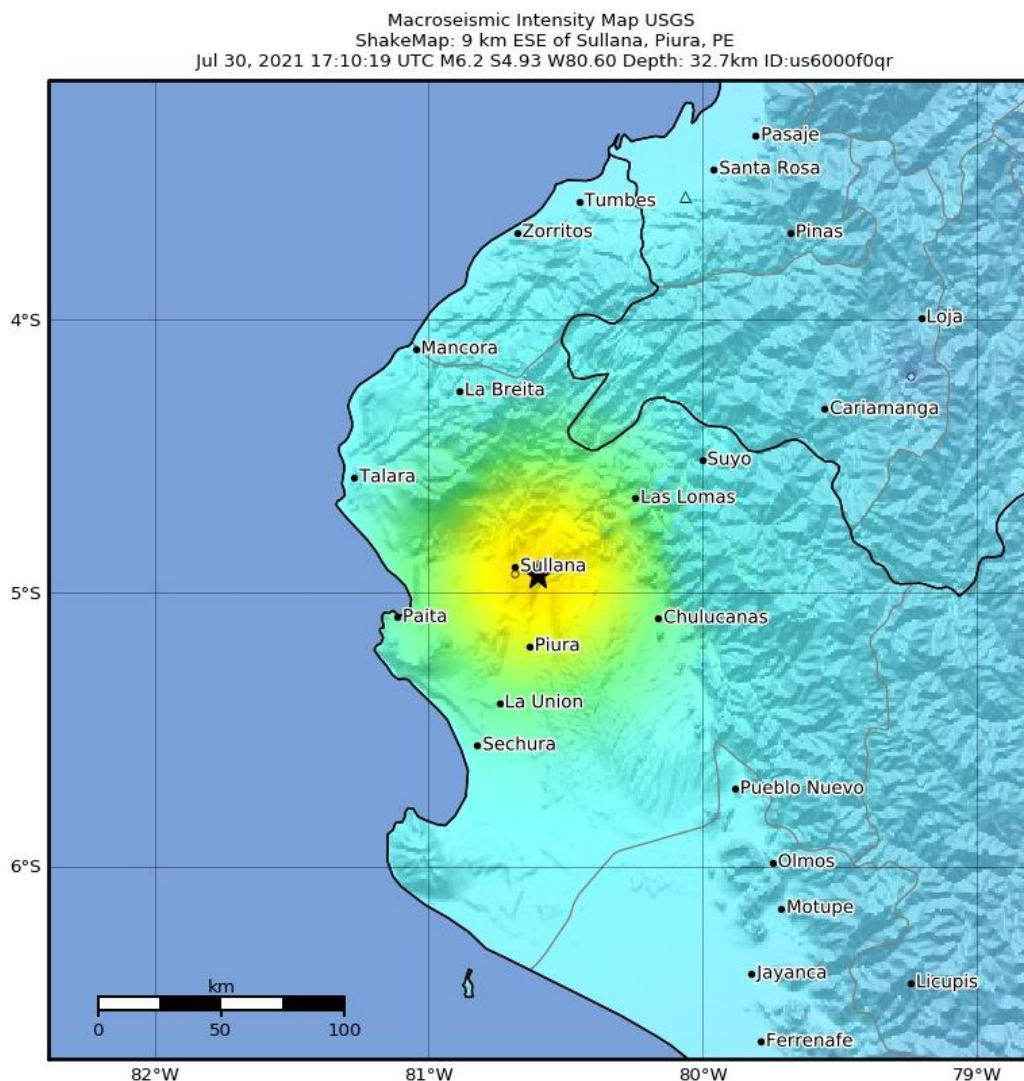
Escala por Worden et al. (2012) Versión 1: Procesado 2021-07-30T17:28:44Z  
 Δ Instrumento Sísmico ○ Intensidad Reportada ★ Epicentro

Mapa de intensidades estimadas (fuente IGP).

De igual forma, el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) registró el evento sísmico a través de su Red Sísmica y determinó los siguientes parámetros del evento sísmico (Fuente:USGS).

- Dia: 30 de julio del 2021
- Tiempo de origen: 17:10:19 (UTM)
- Latitud sur: 4.934°S
- Longitud oeste: 80.602°W
- Profundidad: 32.7km +/- 2.7km
- Magnitud: 6.2 mww
- Intensidad: Sullana VI-VII, Piura VI  
 La Unión V-VI, Paita V  
 Sechura IV-V, Chulucanas V  
 Talara IV





SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
DAMAGE	None	None	None	Very light	Light	Moderate	Moderate/heavy	Heavy	Very heavy
PGA(%g)	<0.0464	0.297	2.76	6.2	11.5	21.5	40.1	74.7	>139
PGV(cm/s)	<0.0215	0.135	1.41	4.65	9.64	20	41.4	85.8	>178
INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based on Worden et al. (2012) Version 5: Processed 2021-07-31T17:11:26Z  
 △ Seismic Instrument ○ Reported Intensity ★ Epicenter

Mapa de intensidades estimadas (fuente USGS).

#### 4. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

Las poblaciones más afectadas durante el sismo del 30 de julio del 2021 en la región Piura se encuentran asentadas sobre las planicies costeras del noroeste peruano. Estas planicies están disectadas por los ríos Piura y Chira, formando así los valles del mismo nombre.

Litológicamente el sector donde se encuentran asentadas las poblaciones afectadas está constituido principalmente por material cuaternario no consolidado (depósitos eólicos, palustres y fluviales). Sin embargo, en el basamento se pueden identificar rocas paleógenas y cretácicas que corresponden a las cuencas Sechura-Talara y Lancones respectivamente.



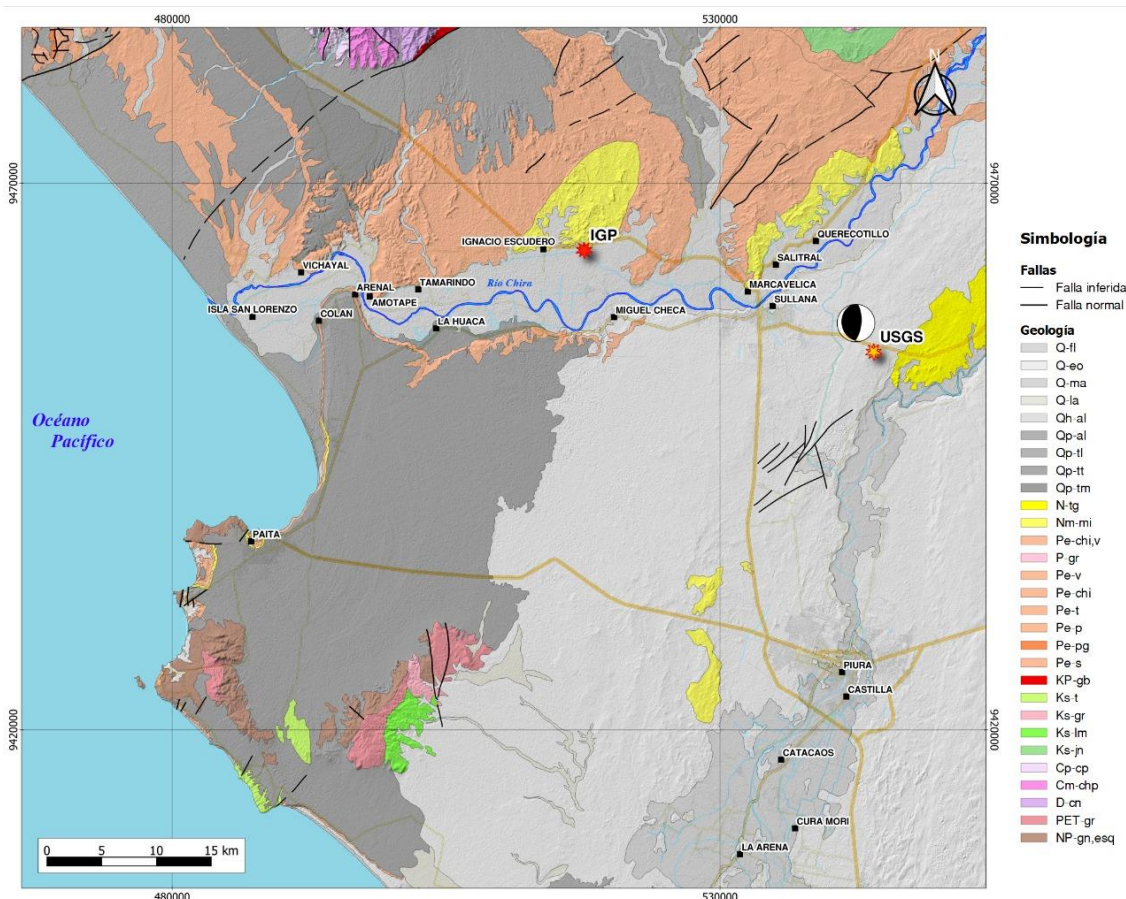


Figura 2. Mapa geológico de la zona más afectada por el sismo de 6.1 Mw de la región Piura. Se pueden observar los epicentros calculados por el IGP y el USGS.

## 5. INVENTARIO DE EFECTOS O DAÑOS

En la zona de evaluación los especialistas hemos observado daños estructurales en la infraestructura privada así como grietas en vías de comunicación. Sin embargo esta deformación se ha focalizado en zonas principales, como el anexo de Isla San Lorenzo (Distrito de Vichayal), Distrito de Marcavelica, ciudades de Piura y Sullana y Distrito de La Unión.

### 5.1 Inventario de efectos o daños

Durante los trabajos de campo se identificaron en total 34 efectos co-sísmicos. Quince (15) están relacionados a procesos de licuación de suelos, principalmente grietas y volcanes de arena. Diecinueve (19) efectos co-sísmicos están relacionados a daños físicos en estructuras (viviendas, postes de alumbrado público, puesto de salud y centro comunal) (Figura 4).

A continuación, se mencionan los tipos de efectos geológicos co-sísmicos:



- **Volcanes de arena.** Se han identificado dos (02) de estos efectos en el anexo de Isla San Lorenzo del distrito de Vichayal (provincia de Paita) (Foto 1) y uno en la localidad de La Bomba (provincia de Sullana). Estas emisiones de arena y agua tienen radios que varían entre 0.5 m a 1.5 m y se presentan al interior de viviendas (Vichayal) y campos de cultivo (La Bomba).



Foto 1. Volcán de arena de 30cm de radio en el interior de vivienda del anexo Isla San Lorenzo del distrito de Vichayal.

- **Grietas en suelos.** Las grietas en los suelos tienen longitudes que pueden llegar a los 10 m de manera continua (Piura) o hasta más de 50 m de manera discontinua (Vichayal), las direcciones de estas grietas son variadas. Al oeste del epicentro, en la zona de Vichayal las grietas tienen una dirección NS. Al sur del epicentro, en la ciudad de Piura las grietas tienen una orientación EO (Fotografía 2) y en la localidad de La Bomba, al noroeste del epicentro las grietas tienen una dirección N244. Se identificaron 12 grietas en total, 9 en el anexo San Lorenzo del distrito Vichayal, 1 en Piura y 2 en Tantará.



Foto 2. Grieta de ~15 m en el sector denominado El Indio, al sur de la ciudad de Piura.

- **Derrumbes.** Se han registrado durante el sismo una gran cantidad de derrumbes en las laderas de los tablazos o terrazas de origen marino, principalmente en las localidades de Colán y Paita (Foto 3).



Foto 3. Derrumbes en los acantilados de los tablazos o terrazas marinas de Paita, al oeste del epicentro. (Fuente : Diario El Comercio).

- **Postes basculados y/o agrietados.** La dirección de las ondas sísmicas a través del suelo han generado que muchos postes se inclinen en una u otra dirección, de forma perpendicular a la dirección de la onda sísmica. En su mayoría estos daños se observaron en la localidad de Vichayal, donde se registraron 8 postes de luz con evidencias y daños por basculamiento. Nuestras medidas nos indican que la dirección de onda fue N255.



Fotos 3 y 4. Rupturas y agrietamientos en las bases de los postes en el anexo de Isla San Lorenzo en el distrito de Vichayal, producto del sacudimiento del sismo.

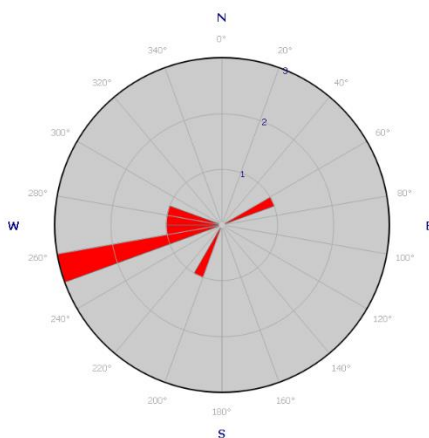


Figura 3. Orientación N255 de daños en postes de alumbrado público en base a ocho datos adquiridos en el anexo Isla San Lorenzo (distrito Vichayal).

- **Muros caídos.** Producto del movimiento sísmico se han producido caída de muros. Estos daños se observaron principalmente en la provincia de Sullana, específicamente en los distritos de Tantará, Sullana, Miraflores y Monterón.
- **Grietas en muros.** Estas deformaciones tienen una relación con el tipo y calidad de construcción y la zona donde se encuentra asentada la vivienda. En la zona de Vichayal, se registraron 6 viviendas con grietas en sus muros, techos, pisos y columnas (Fotografía 5). De igual forma se



observaron otros casos, pero en menor densidad en poblaciones como Tantará (1), La Bomba (1) y La Unión (2).



Foto 5. Grietas en muros y suelo con dirección N199 en el anexo Isla San Lorenzo del Distrito de Vichayal.

- **Grietas conjugadas en muros.** Los estudios sobre deformaciones o efectos co-sísmicos en construcciones nos indican que las grietas que aparecen en direcciones contrarias en un muro evidencian la dirección de las ondas sísmicas a nivel del suelo (Figura 5). Estas deformaciones se observaron en dos puntos en el anexo Isla San Lorenzo del distrito de Vichayal, sus direcciones son ~N280 (Foto 6).

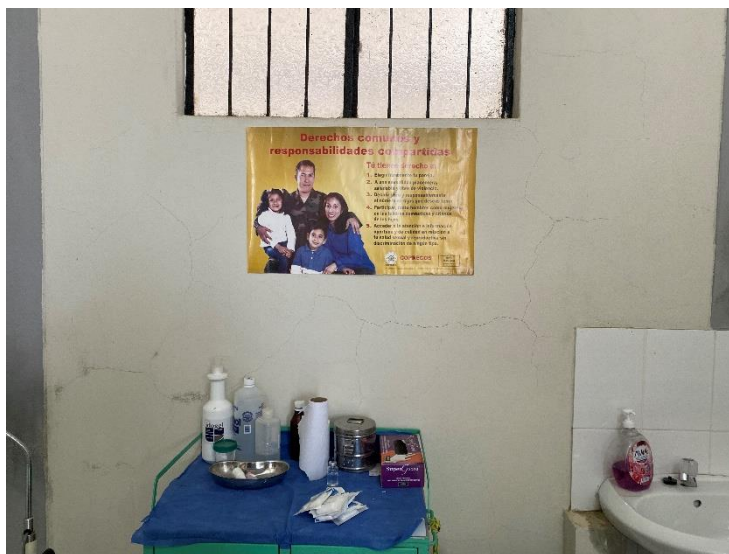


Foto 6. Grietas conjugadas en centro de salud del anexo de Isla San Lorenzo.

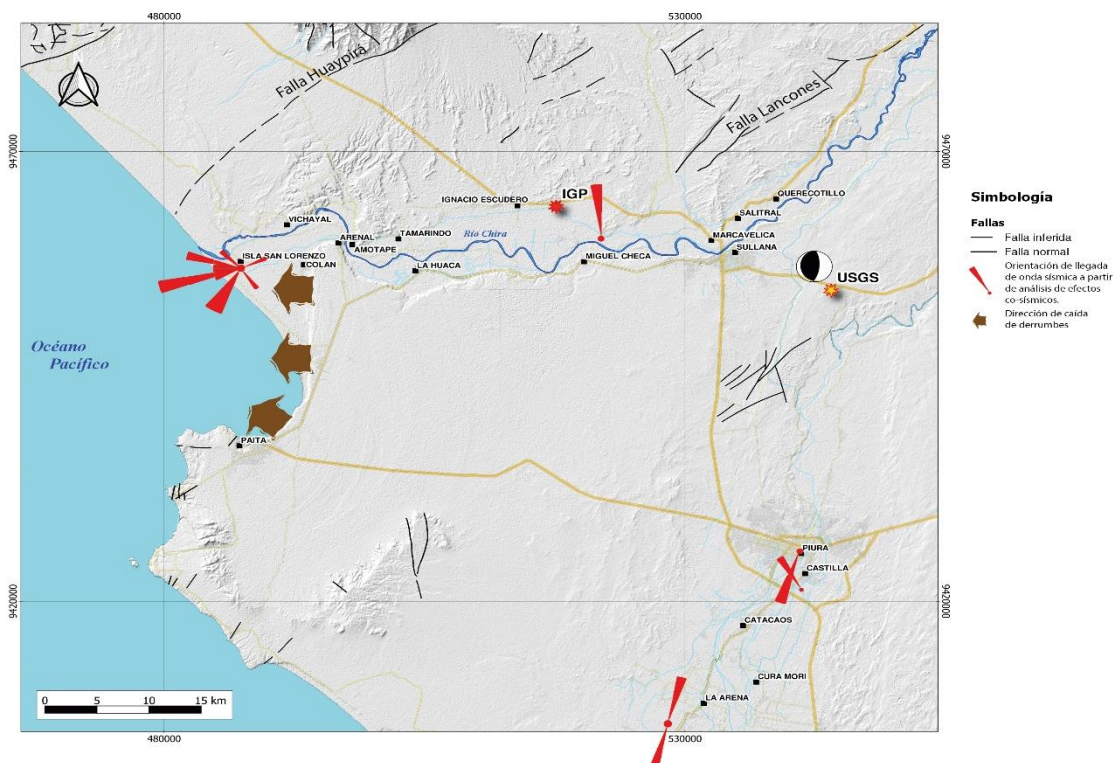


Figura 4. Modelo de Elevación digital con información sobre los efectos co-sismicos y su relación con la llegada de la onda sísmica.

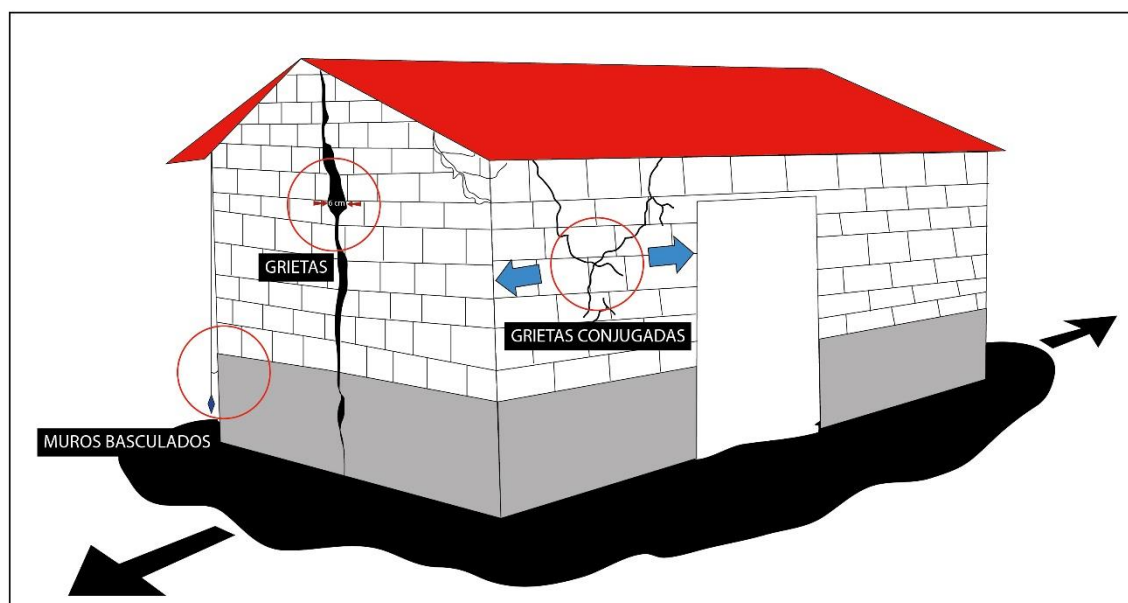


Figura 5. Ejemplo de efectos o daños por sismo en una vivienda (grietas, grietas conjugadas y muros basculados). Las flechas negras muestran la dirección de la onda sísmica. Las flechas azules representan las grietas conjugadas.

## 6. PELIGROS GEOLÓGICOS

En base al inventario de daños en los distintos sectores de las provincias de Piura, Sullana Paita y Talara, se ha podido observar que existen dos principales fenómenos relacionados a la deformación del suelo, que han afectado a la población. Estos son, la licuación de suelos y el agrietamiento de suelos. Ambos fenómenos se describen a continuación:

### 6.1 Licuefacción de suelos

El suelo sobre el que se encuentra emplazado los sectores afectados está constituido principalmente de arenas y limos. En la zona se ha reportado la expulsión de arena y agua en distintos lugares, sin discriminar viviendas o calles. Este proceso se originó durante el sacudimiento del movimiento sísmico y depositó arena en variadas cantidades. A este fenómeno se le conoce como Licuefacción de suelos.

El fundamento teórico de la licuefacción se basa en que los sedimentos arenosos sin cohesión y los depósitos de limos suelen tener una resistencia alta al corte, soportando grandes cargas sin producirse alteraciones en su estructura interna. Pero, se puede producir la pérdida de resistencia de estos materiales cambiando su estado para pasar a comportarse como líquidos viscosos. El mecanismo que afecta a este cambio de estado de sólido a líquido es la licuación, que genera sedimentos licuefactados (Allen, 1997). Ésta pérdida de cohesión, puede producir desplazamientos a favor de pendientes o inyecciones de materiales licuefactados en respuesta a gradientes de presión.

La licuación consta de dos mecanismos: La licuefacción y la fluidización (Allen, 1982). Para que se pueda dar la fluidización es condición necesaria que exista una fase fluida con un movimiento de ascenso relativo con respecto del sedimento, aunque esta no es una condición necesaria para licuefacción.

#### Volcanes de arena

Los volcanes se forman por procesos de fluidización siendo el resultado de la expulsión de agua intersticial sobre una capa y/o superficie. Para que se forme un volcán de arena el sedimento licuado es llevado a la superficie mediante tubos aislados que emergen para formar volcanes de arena de unas pocas decenas de centímetros de diámetro (Figura 6).

La sacudida de terremotos hace que las capas superficiales se hundan sobre capas subyacentes que se encuentren saturadas en agua. Ya que el agua no se puede comprimir este fluido busca una salida donde quiera que se forme una fractura por encima de ella. Los sedimentos muy finos no tienen suficiente agua y no permiten que el fluido salga con la rapidez necesaria para formar los volcanes.

Este proceso físico no solamente generó la expulsión de arena y agua en forma de volcanes, sino también hizo que el suelo del Sauce se comportara como un



colchón de agua, deformando el suelo, generando ondulaciones y afectando el material de concreto de la mayoría de las viviendas.

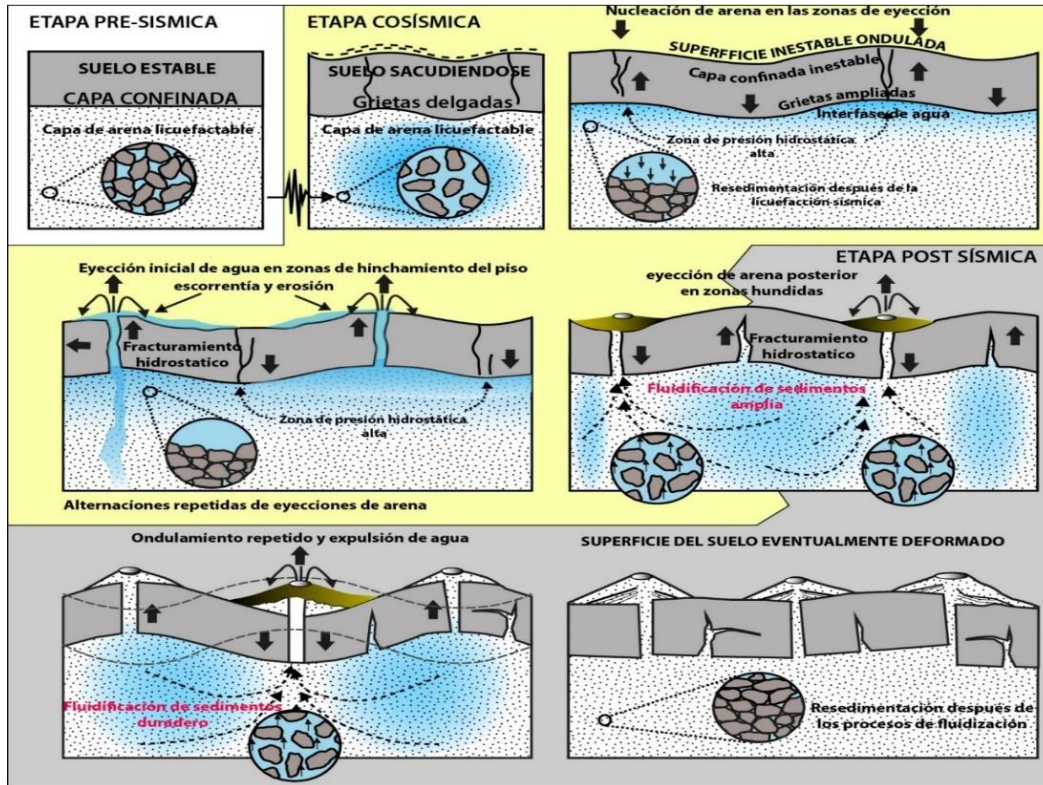


Figura 6. Etapas de formación de volcanes de arena por licuefacción de suelos. (Rodríguez-Pascua *et al.*, 2015).

## 6.2 Agrietamiento de suelos

Durante los trabajos de evaluación de daños, se han observado grietas con longitudes decimétricas a centimétricas, con aperturas de hasta 50 cm y profundidades de hasta 0.5 m. El suelo donde se presenta mayormente este fenómeno es arenoso y gravoso.

Estas grietas del suelo generaron a su vez la surgencia de aguas de color negro, tal como lo señalan los pobladores de Isla San Lorenzo.

## 7. ANALISIS TECTÓNICO ESTRUCTURAL

El terremoto del 30 de julio del presente año, con epicentro ubicado en la provincia de Sullana, ha tenido una magnitud de 6.2 (Fuente: USGS) y un epicentro ubicado al SE de Sullana a una profundidad de 32.7 km; de igual forma según el IGP la magnitud fue de 6.1 y un epicentro ubicado al NO de Sullana a una profundidad de 36 km.

Por la profundidad del epicentro, este sismo está relacionado al proceso de subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana. Según diversos autores (Liu y Yao, 2019; Gutscher *et al.*, 1999; Gutscher, Spakman, *et*

al., 2000; Martinod et al., 2013) la subducción plana en la zona noroeste del Perú genera sismicidad superficial-intermedia a profundidades no mayores a 40 km (Figura 7).

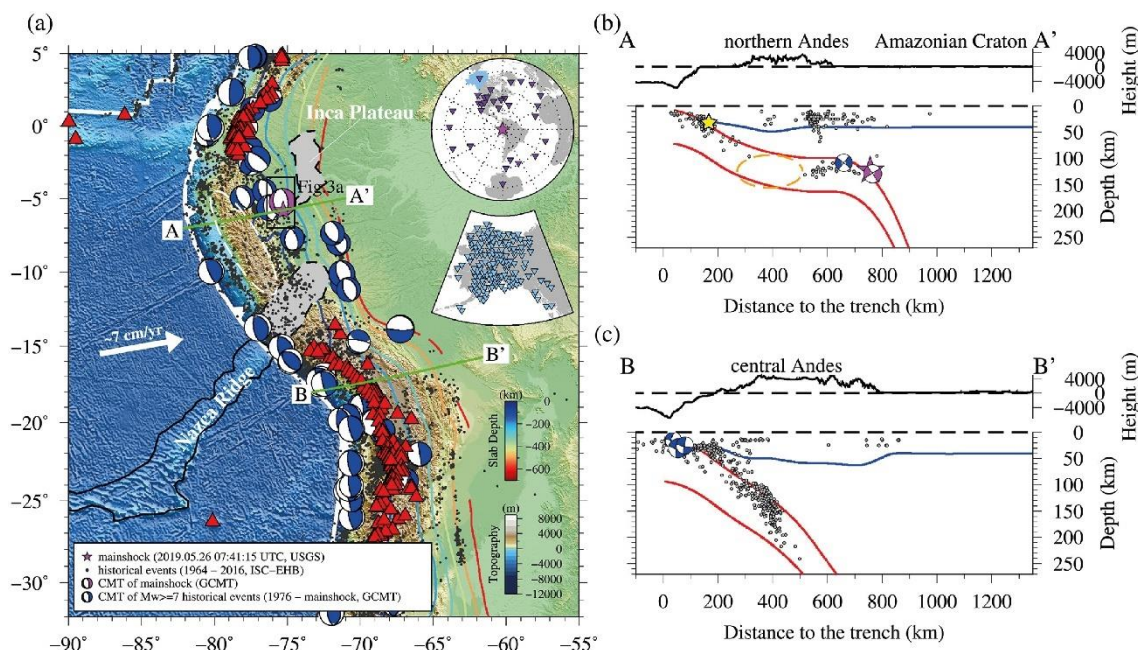


Figura 7. a) Ubicación de sismicidad y mecanismos focales a lo largo de los Andes centrales. Se ubican las secciones AA' y BB'. b) Sección AA' en el norte peruano donde se observa el flat slab o zona de subducción plana, la estrella amarilla representa el epicentro del sismo del 30 de julio. c) Sección BB' en el sur peruano donde se observa el plano de subducción con ángulo alto. (Modificado de Liu y Yao, 2019)

Por otro lado, si bien es cierto en la zona de estudio se han identificado fallas geológicas regionales (Fuente: INGEMMET) (Figura 7), estas tienden a ser lístricas y/o con buzamientos menores a 50°, según los análisis e interpretaciones realizadas en base a secciones sísmicas (Fuente: Olympic Perú INC, 2019; Savia Perú, Plus Petrol, Perú Petro), dentro de estas fallas se encuentran las fallas Lancones, Lagunitos, Paita, La Casita, entre otras (Figura 8). Es justamente la geometría de estas fallas, el motivo por el cual no es posible una relación de la reactivación de algunas de estas estructuras con el sismo de Sullana.

Finalmente, en nuestros trabajos de campo, no hemos podido observar desplazamientos relacionados a ninguna estructura o falla en continente.

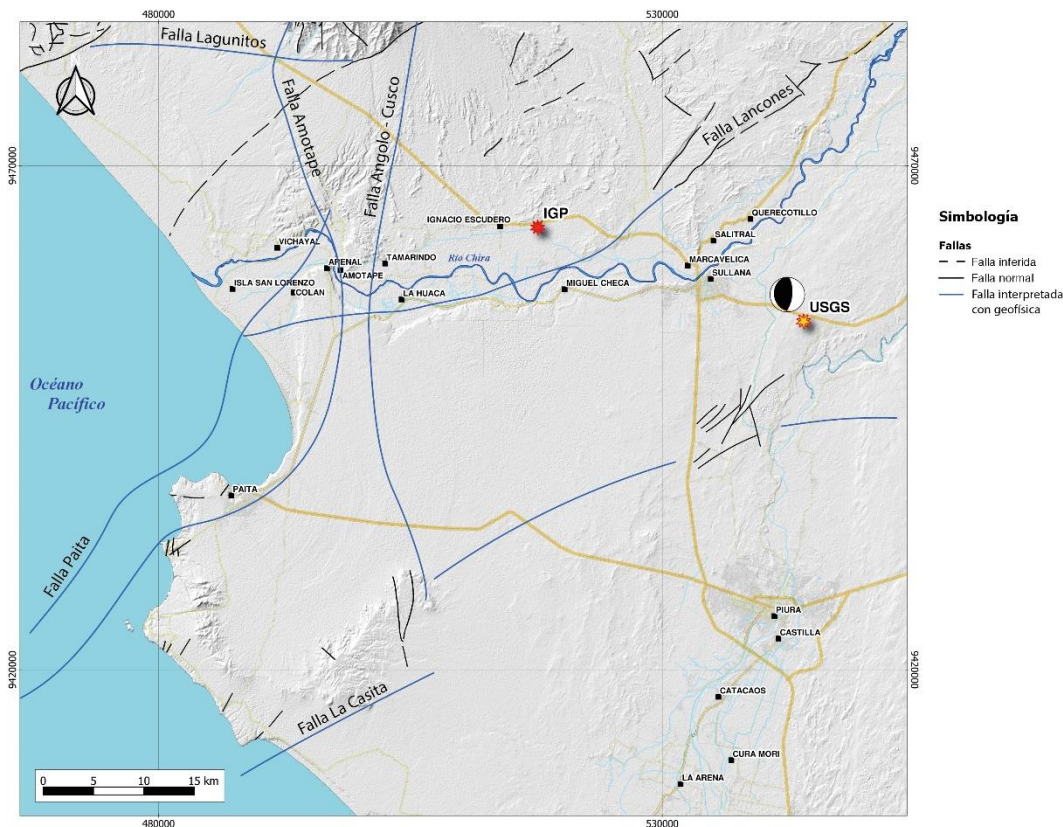


Figura 8. Mapa estructural de la zona oeste de Piura. Se observan las fallas regionales (Fuente: INGEMMET) y las fallas interpretadas con secciones geofísicas (Fuente: Olympic Perú INC, 2019; Savia Perú, Plus Petrol, Perú Petro).

## CONCLUSIONES

- a) El sismo de magnitud 6.1 con epicentro en la localidad de Sullana, generó procesos físicos en los suelos saturados en agua, tal como se observa en la localidad de Isla San Lorenzo.
- b) La reología local contribuyó en la deformación del suelo, ya que ésta se encuentra constituida de arenas, limos y gravas, con granos no cohesivos que ante movimientos bruscos como son los sismos se acomodan deformando el material suprayacente.
- c) Se observaron grietas de hasta 50 cm de apertura en suelos limoarenosos, lo que afectó principalmente a las viviendas emplazadas sobre este tipo de suelo.
- d) Se han registrado alrededor de 34 efectos originados por el sismo, clasificados en grietas en el suelo, volcanes de arena (licuefacción de suelos), grietas en muros, grietas conjugadas, postes basculados y muros caídos.
- e) La tendencia de los efectos identificados nos muestra una distribución semi-radial con respecto al epicentro.



- f) El sismo del 30 de julio está relacionado al proceso de subducción. No hay evidencias de reactivaciones de fallas geológicas locales.
- g) En el sector de Isla San Lorenzo en el distrito de Vichayal, donde se encontró la mayor cantidad de daños, se ha identificado depósitos fluviales, los cuales influyeron en la licuación de suelos y afectación a sus viviendas (Figura 9).
- h) Todos los efectos co-sísmicos fueron identificados en zonas compuestas por depósitos cuaternarios, principalmente depósitos eólicos, aluviales y fluviales (Figura 9).
- i) El sector más afectado por el sismo fue el anexo de Isla San Lorenzo en el distrito de Vichayal, lugar ubicado a más de 60 km del epicentro (Figura 9).

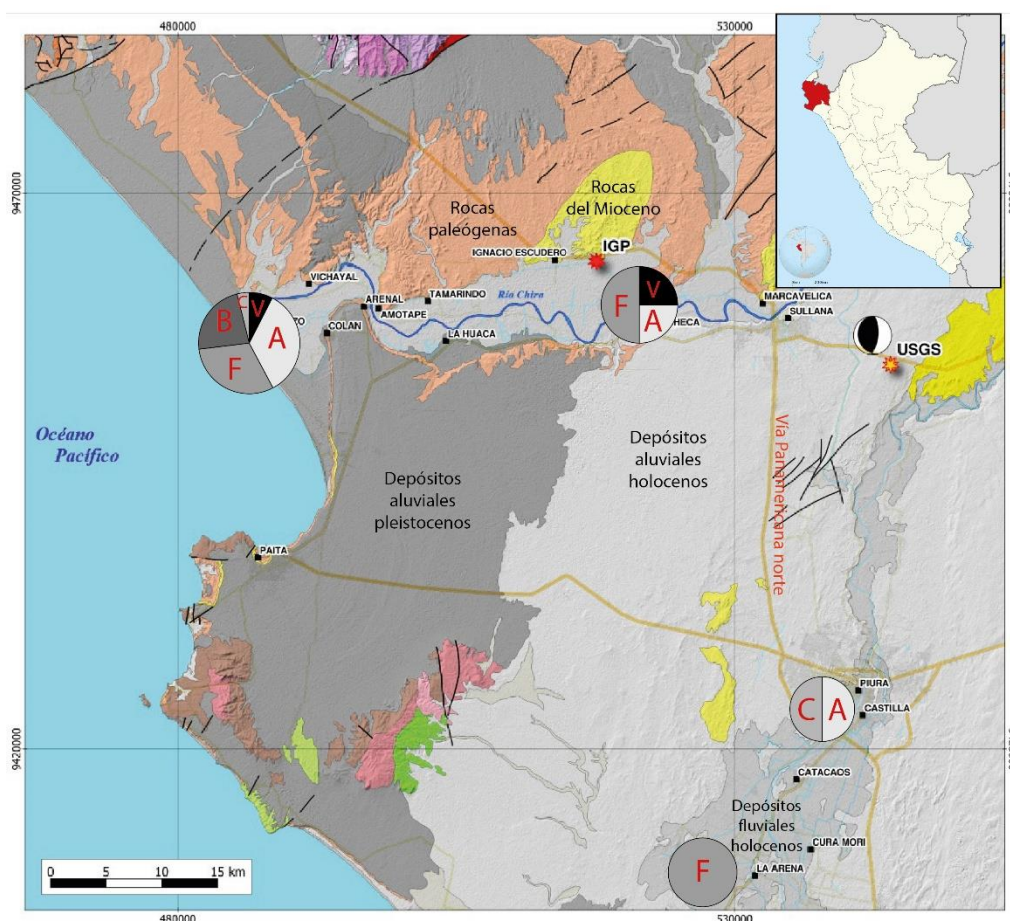


Figura 9. Mapa geológico de la zona oeste de la región Piura (Fuente: INGEMMET), donde se observaron los principales efectos co-sísmicos. Se puede observar en gráficos circulares la distribución de la cantidad de grietas o agrietamientos (A), fracturas en muros (F), bascamientos de postes o columnas (B), volcanes de arena (V) y caída de objetos (C).

- j) Los análisis morfométricos de los efectos co-sísmicos registrados en la zona de estudio, nos indican que las intensidades que estos representan se encuentran en el rango de intensidades entre VII y IX (Figura 10).

k) Las intensidades analizadas en base a la Escala ESI 07 nos permiten interpretar que las intensidades en el distrito de Vichayal, donde se observaron la mayor cantidad de daños se encuentran entre VII y VIII. Del mismo modo las intensidades en los sectores de La Bomba-Tantará, al noroeste de Sullana, en base a nuestros registros y los testimonios de los pobladores se estima una intensidad de IX a más. Finalmente, en la ciudad de Piura, en base a las grietas encontradas se estima intensidades de VII (Figura 11).

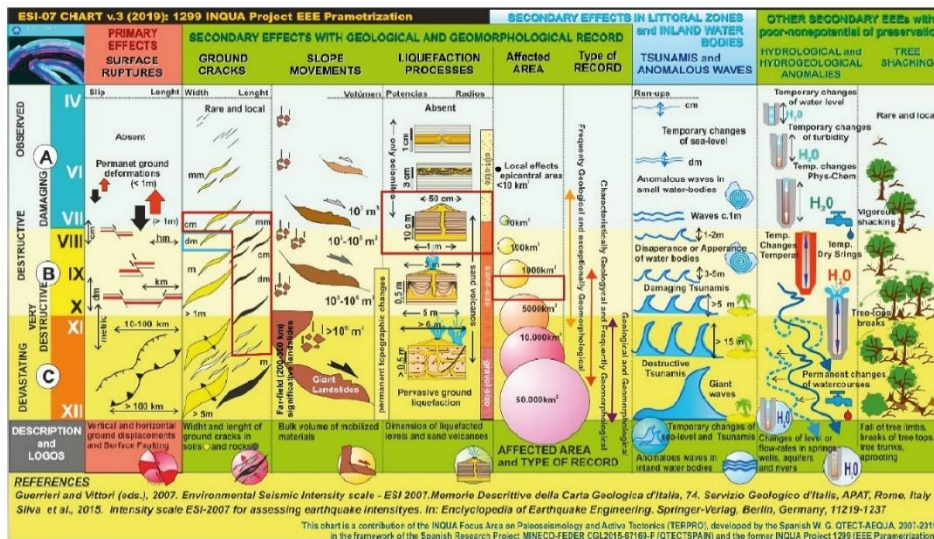


Figura 10. Cuadro de la Escala de Intensidades Sísmicas Ambientales (ESI-07) presentado por el proyecto INQUA (Modificado de Silva et al., 2014). Donde se observa en cuadros rojos la distribución de efectos co-sísmicos en los sectores de Vichayal, La Bomba y Piura.

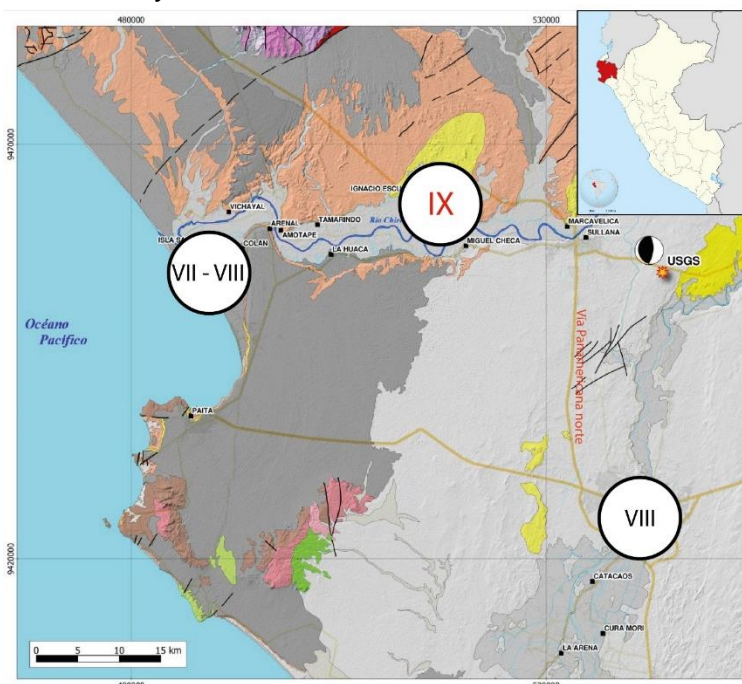


Figura 11. Mapa geológico de la zona oeste de la región Piura (Fuente: INGEMMET), donde se observan las intensidades estimadas en base a los análisis de efectos co-sísmicos con la escala INQUA ESI-07.

## RECOMENDACIONES

- a) Realizar estudios de microzonificación sísmica en la región Piura.
- b) Priorizar la construcción de viviendas de materiales basados en madera u otros materiales rústicos en zonas propensas a la licuación de suelos.
- c) Realizar estudios de suelos para conocer la capacidad portante del suelo.
- d) Se recomienda realizar trabajos de neotectónica y paleo-tsunamis de detalle, con la finalidad de conocer el comportamiento sísmico y la ocurrencia de tsunamis en el pasado. Esta información permitirá conocer los peores escenarios a los que está sometida la región Piura, ante la ocurrencia de sismos por reactivación de fallas geológicas activas o tsunamis.

  
-----  
Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL  
Director  
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico  
INGEMMET

  
Ing. Briant Garcia Fernández Baca



## REFERENCIAS

- Allen, J.R.L. (1977) - The possible mechanics of convolute lamination in graded sand beds. *Journal of the Geological Society*, 134(1): 19-31.
- Allen, J.R.L., ed. (1982) - *Sedimentary structures, their character and physical basis*. Amsterdam: Elsevier Science, 2 vols. *Developments in Sedimentology*, 30.
- Gutscher, M.-A., Maury, R., Eissen, J.-P., & Bourdon, E. (2000). Can slab melting be caused by flat subduction? *Geology*, 28(6), 535– 538.
- Gutscher, M.-A., Olivet, J.-L., Aslanian, D., Eissen, J.-P., & Maury, R. (1999). The “lost Inca Plateau”: Cause of flat subduction beneath Peru? *Earth and Planetary Science Letters*, 171(3), 335– 341.
- Gutscher, M.-A., Spakman, W., Bijwaard, H., & Engdahl, E. R. (2000). Geodynamics of flat subduction: Seismicity and tomographic constraints from the Andean margin. *Tectonics*, 19(5), 814– 833.
- Liu, W., Yao, H.. (2020). Rupture process of the 26 May 2019 Mw 8.0 northern Peru intermediate-depth earthquake and insights into its mechanism. *Geophysical Research Letters*, 47, e2020GL087167. <https://doi.org/10.1029/2020GL087167>.
- Martinod, J., Guillaume, B., Espurt, N., Faccenna, C., Funiciello, F., & Regard, V. (2013). Effect of aseismic ridge subduction on slab geometry and overriding plate deformation: Insights from analogue modeling. *Tectonophysics*, 588, 39– 55.
- Rodriguez-Pascua, M.A., Silva, P., Pérez, R., Giner, J., Martin, F. & Del Moral, B. (2015). Polygenetic sand volcanoes: On the features of liquefaction processes generated by a single evento (2012 Emilia Romagna 5.9 Mw earthquake, Italy). *Quaternary International*, 357:329-335.
- Timoteo, D.; Luna, J.; Flores, D. & Roldán, J. (2019). Reporte de Interpretación Sísmica Lote XIII-C, Olympic Perú INC.
- USGS (2021). M 6.2 Earthquake of Perú on Jul 30, 2021. <https://earthquake.usgs.gov>.