

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A6919

INFORME FINAL EVALUACIÓN TÉCNICO GEOLÓGICA DEL DISTRITO DEL SAUCE



Región San Martín
Provincia San Martín
Distrito Sauce



JULIO
2019

1. INTRODUCCIÓN	2
2. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	3
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS	4
4. INVENTARIO DE EFECTOS O DAÑOS	5
4.1 Inventario de efectos o daños en el Sauce – sector 8 de Julio	5
4.2 Inventario de efectos o daños en Dos de Mayo	8
4.3 Análisis de deformación de los efectos originados por el sismo	10
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	11
5.1 Licuefacción de suelos	11
5.2 Agrietamiento de suelos	14
6. ANALISIS DE DEFORMACIÓN	15
CONCLUSIONES	18
RECOMENDACIONES	18
REFERENCIAS	19

EVALUACIÓN TÉCNICO GEOLÓGICA DEL DISTRITO DEL SAUCE
(Provincia y región San Martín)
Informe final

RESUMEN

El 26 de mayo del presente año, un terremoto de 8 grados de magnitud afectó a zona nororiental del país, su epicentro se localizó en el Distrito de Lagunas, en la Región Loreto. El fenómeno ocasionó la ocurrencia de diversos procesos geológicos asociados en diversas regiones del norte del país, 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 afectan a los pobladores ubicados en el área de influencia del sismo, en este caso el terremoto de mayo ocasionó entre otros, la ocurrencia de licuefacción de suelos en el Distrito del Sauce. El área donde se encuentra emplazado el Sauce es una planicie o playa de laguna, los suelos están compuestos de arenas y limos saturados en agua. Esta litología y la presencia de aguas muy superficiales facilitó el proceso de licuefacción de los suelos del Sauce, ocasionando la caída de casas, agrietamiento de muros y desplazamiento de construcciones.

Este informe presenta los resultados de la evaluación técnica geológica en el Distrito del Sauce, 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 del Sauce y localidades aledañas.

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.7: **Evaluación de Peligros Geológicos A Nivel Nacional.**

La **PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA** a través del Ministerio del Ambiente, en coordinación con el SERNANP, solicitó al INGEMMET una evaluación técnica por parte de los especialistas del INGEMMET en el distrito El Sauce, Provincia Picota, Departamento de San Martín, esto a raíz del sismo M8 ocurrido el 26 de mayo en la Región Loreto.

El INGEMMET, por intermedio de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico - DGAR, comisionó a los profesionales Briant García Fernández Baca, Segundo Nuñez J. y Manuel Rosas C., especialistas en riesgos geológicos, para realizar las evaluaciones ingeniero - geológicas en el distrito del Sauce y alrededores, la cuales se realizaron el 01 de junio del presente año, previa coordinación con personal del Ministerio del Ambiente, 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 y viviendas del distrito del Sauce, provincia de San Martín.
- Toma de datos y mediciones de grietas en el suelo.
- Inventario, ubicación y análisis de suelos deformados por licuefacción.
- Reuniones sostenidas con personal técnico del SERNANP y autoridades locales.
- Sobrevuelo con dron para realizar cartografía de daños. Esto nos permitirá analizar el tipo de deformación en la zona.
- 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 Distrito del Sauce, provincia y departamento de San Martín (Fig. 1). Las coordenadas geográficas son: -6.690 Sur, -76.215 Oeste, y una cota de 650 msnm.

La accesibilidad a la zona afectada se realiza a través de la carretera Tarapoto-Juanjui. Para acceder a la zona afectada se debe cruzar el río Huallaga. El tiempo de viaje aproximado es de 3 horas desde Tarapoto.

- **Desplazamientos horizontales en el terreno.** Se han observado algunos desplazamientos horizontales de veredas y otras construcciones locales. Estos desplazamientos tienen un comportamiento cinemático de rumbo de lado izquierdo. Cabe señalar que los desplazamientos están relacionados a efectos del sismo in situ y no están relacionados a fallas locales. Los desplazamientos llegan a una decena de centímetros, principalmente en la vía principal.
- **Pliegues en el suelo.** Este fenómeno ha sido observado en las instalaciones del Hotel Maloca Inn, los pliegues antiformes tienen ejes con dirección EO.
- **Muros basculados.** La dirección de las ondas sísmicas a través del suelo han generado que muchos muros se inclinen en una u otra dirección, de forma perpendicular a la dirección de la onda sísmica. En su mayoría los muros se han inclinado con dirección norte o sur.
- **Muros caídos.** Al igual que los muros basculados, estas estructuras son susceptibles a colapsar en dirección perpendicular a la dirección de la onda sísmica. En el Sauce se han identificado que la mayoría de muros caídos tienen una dirección de colapso al norte o sur.
- **Grietas en muros.** Estas deformaciones tienen una relación con el tipo y calidad de construcción, sin embargo en el Sauce se observa una tendencia en su dirección, las grietas identificadas tienen en su mayoría una dirección NS con variados buzamientos.
- **Desplazamiento de viviendas.** El tipo de suelo, arenoso o limoarenoso, altamente saturado en agua, reacciona como un fluido ante los movimientos sísmicos. Las edificaciones emplazadas sobre este material se comportan de distinta manera ante un movimiento sísmico, cuando el suelo tiene las características mencionadas. Cuando las bases de las construcciones son compactas y relativamente profundas, se comportan como un solo cuerpo. Los movimientos en el suelo no afectan de modo individual a cada muro y por lo contrario lo hacen en conjunto. Sin embargo el fuerte sacudimiento en este tipo de suelo genera un desplazamiento en conjunto de toda la estructura. En el Sauce se observa este fenómeno en dos viviendas y un recinto hotelero. Por ejemplo, en el Hotel Maloca Inn, una de sus construcciones tiene habitaciones con ventanas de grandes dimensiones, mamparas de vidrio que completan uno de sus muros de piso a techo. Estos ventanales de grandes dimensiones al momento de la inspección no presentaban ninguna grieta o rajadura. Sin embargo se observó que la construcción ha sido desplazada hasta 30 cm con dirección al sureste. Lo mismo se puede observar en otros puntos.
- **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. Estas deformaciones se observaron en cuatro puntos de la ciudad, sus direcciones son NS.



Figura 3. Imagen satelital Google Earth, mostrando la ubicación de las zonas más afectadas (círculos rojos) en las localidades del Sauce y Dos de Mayo.

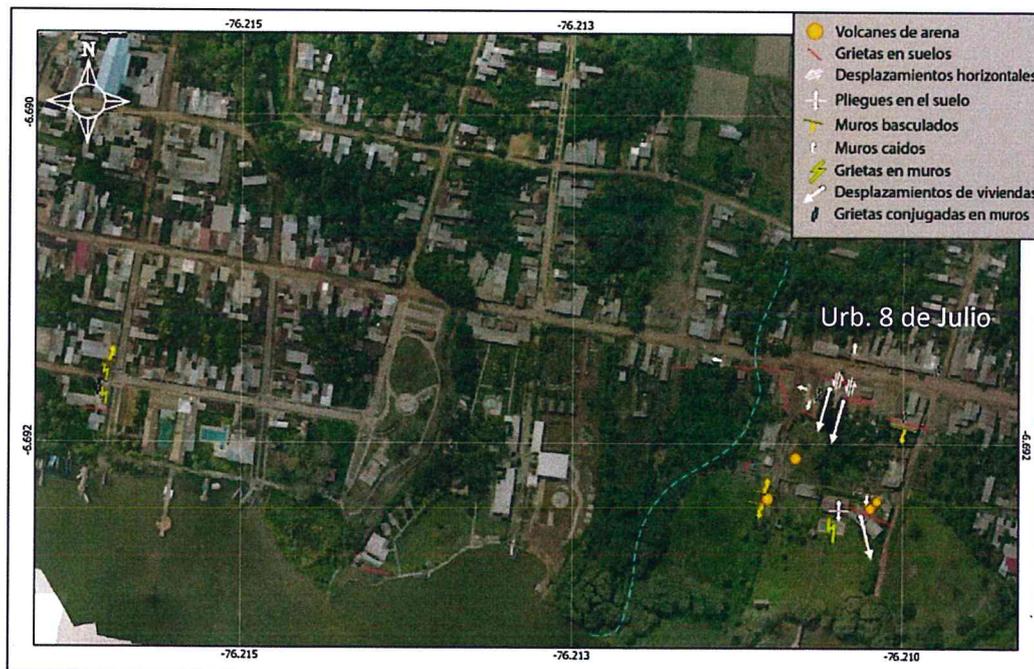


Figura 4. Ortofoto generada por dron de la localidad del Sauce. Los símbolos representan los diferentes efectos co-sísmicos generados a partir del terremoto del 26 de mayo.

4.2 Inventario de efectos o daños en Dos de Mayo

Al sur del Sauce, se encuentra la localidad Dos de Mayo, en esta zona se han identificado los siguientes efectos co-sísmicos (Figura x):

- **Volcanes de arena.** Estas emisiones de arena y agua tienen radios que varían entre 0.8m a 1.0m de radio y se observaron en parques y dentro de viviendas. Los pobladores locales mencionaron que las expulsiones de arena y agua alcanzaron hasta casi los 2.0m de altura.
- **Grietas e suelos.** Las grietas en los suelos tienen longitudes que pueden llegar a los 25.0m, y principalmente tienen una dirección NE-SO, de forma paralela al litoral de la Laguna Azul.
- **Desplazamientos horizontales en el terreno.** Se han observado algunos desplazamientos horizontales en veredas principalmente. Estos desplazamientos tienen un comportamiento cinemático de rumbo de lado izquierdo. Cabe señalar que los desplazamientos están relacionados a efectos del sismo in situ y no están relacionados a fallas locales. Los desplazamientos llegan a una decena de centímetros.
- **Grietas en muros.** En la localidad de Dos de Mayo, se observa una tendencia en su dirección, las grietas identificadas tienen en su mayoría una dirección NO-SE con variados buzamientos.
- **Desplazamiento de viviendas.** En Dos de Mayo este fenómeno se observa esta deformación solo en una vivienda, la cual se ha desplazado hasta 20cm en dirección SO.
- **Grietas conjugadas en muros.** Estas deformaciones se observaron en tres puntos de Dos de Mayo, sus direcciones son en su totalidad NE-SO.

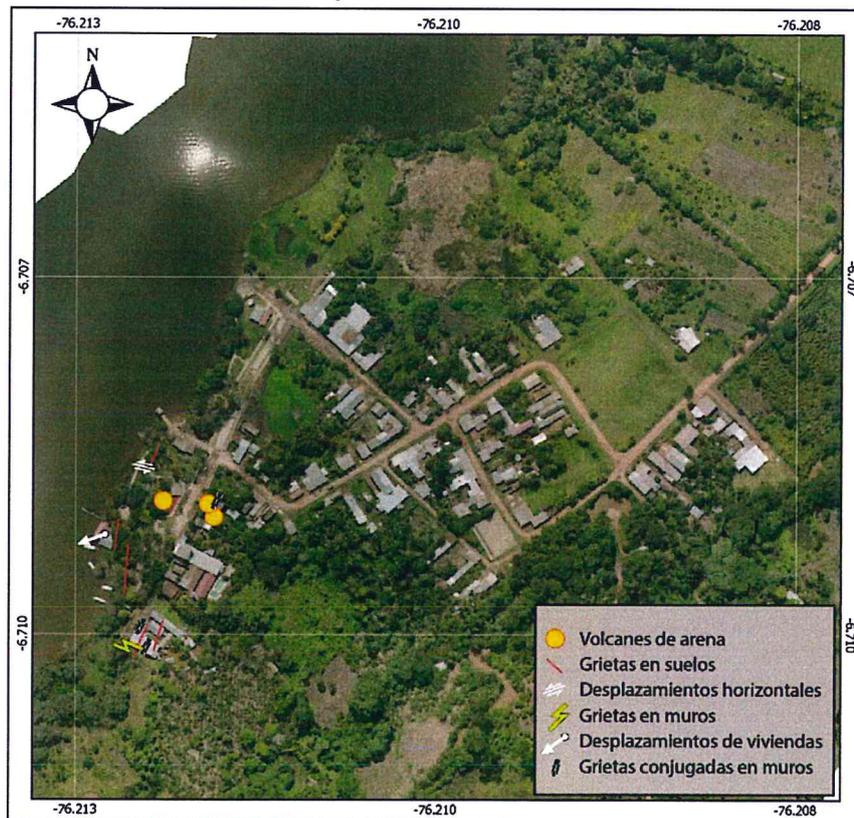


Figura 5. Ortofoto generada por dron de Dos de Mayo. Los símbolos representan los diferentes efectos co-sísmicos generados a partir del terremoto del 26 de mayo.

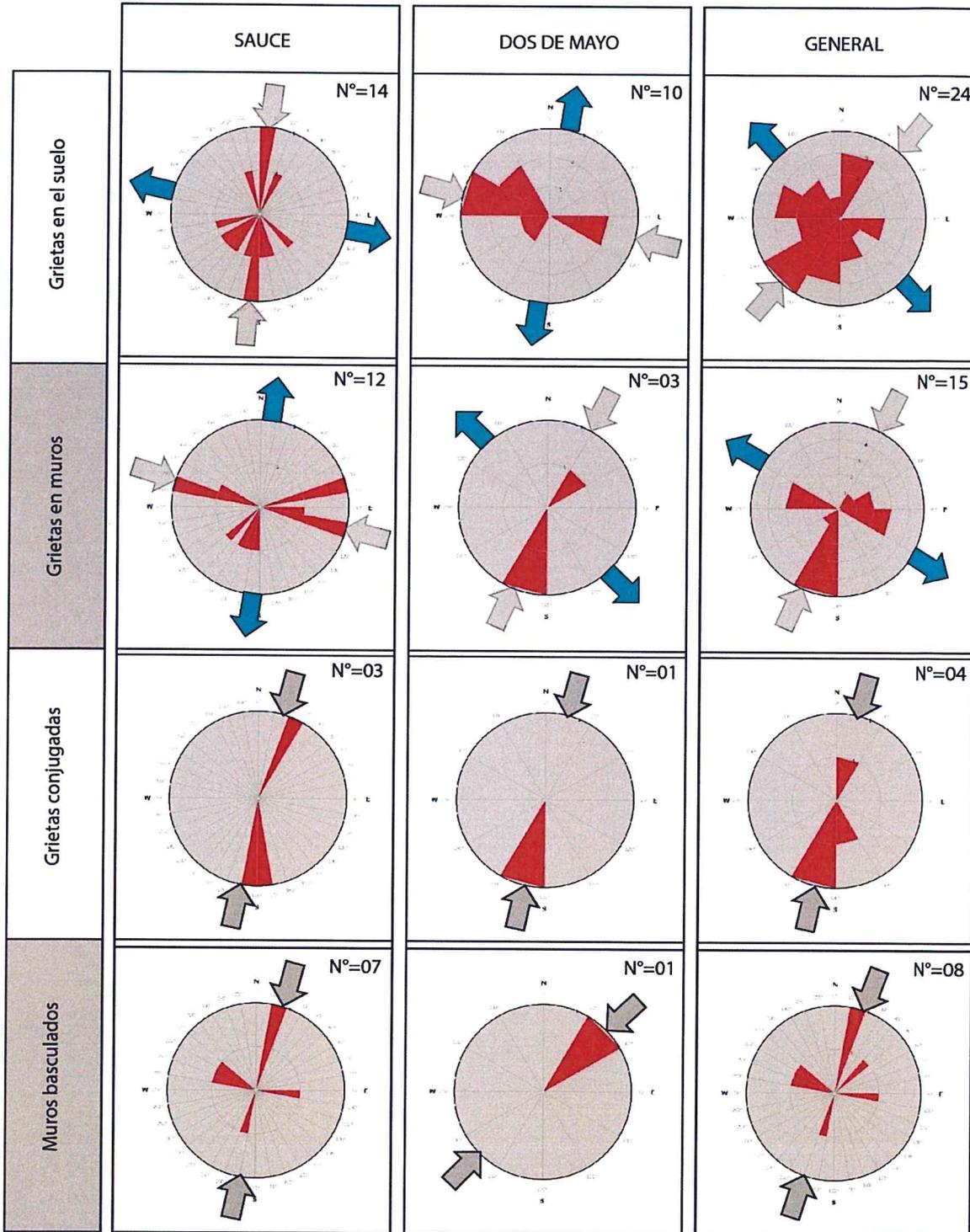


Figura 6. Direcciones de deformaciones de los efectos geológicos y de construcción inventariados en la localidad del Sauce a partir del terremoto del 26 de mayo en la Región Loreto. Las líneas azules muestran las direcciones de extensión o aperturas. Las líneas grises representan las direcciones de la onda sísmica. La columna de la derecha muestra el resultado final con la información de ambos sectores.

4.3 Análisis de deformación de los efectos originados por el sismo

El inventario de los efectos geológicos y de construcción originados por el sismo, nos ha permitido observar sus direcciones y tendencias (Figura 6). Estos análisis se describen a continuación.

Grietas en el suelo

En total se han reconocido 24 grietas en el suelo del Sauce, catorce de ellas en la Urb. 8 de julio y 10 en la localidad Dos de mayo (Figura 6). Las direcciones de extensión de estas estructuras tienen una dirección casi E-O en 8 de Julio, mientras que en la localidad Dos de mayo tienen una dirección de extensión casi N-S. El análisis en general, es decir la data en ambas localidades nos muestra una dirección de extensión NO-SE. Como se mencionó anteriormente las grietas en muchos casos se muestran paralelas a la línea de playa de la laguna; sin embargo, hay otras que se encuentran dentro de la población a una distancia considerable de la laguna.

Grietas en muros

En este caso se han reconocido 15 agrietamientos de grandes dimensiones en las viviendas y otras construcciones de la zona, doce en la Urb. 8 de julio y tres en Dos de mayo (Figura 6). Las direcciones de apertura de las grietas en los muros están relacionadas a efectos de sitio (licuefacción de suelos) y por la dirección de la onda sísmica. Discriminar las grietas por licuefacción o por llegada de la onda sísmica es complejo; sin embargo, si esta información está acompañada de grietas conjugadas, puede ser interpretada para reconocer la dirección de la onda sísmica. Por lo general la dirección las grietas verticales u horizontales en los muros se encuentran de forma perpendicular a la dirección de la onda sísmica (Figura 7).

Grietas conjugadas

Estos daños fueron reconocidos en un total de cuatro viviendas, tres en 8 de julio y uno en Dos de mayo. La dirección de la onda sísmica es comúnmente paralela al buzamiento de las grietas conjugadas (Figura 7). Los resultados en la figura 6 muestra una dirección NNE-SSO.

Muros basculados

Estos daños son comunes a causa de terremotos, en algunos casos los muros llegan a caer por el fuerte sacudimiento y en otros casos llegan a bascularse o inclinarse. Los muros se inclinan en una u otra dirección, dependiendo de la dirección de la onda sísmica, tendiendo que ser ésta, en dirección perpendicular (Figura 7). Los resultados en la figura 6 muestra una dirección general NNE-SSO, basado en siete medidas en el sector 8 de julio y una medida en Dos de mayo.

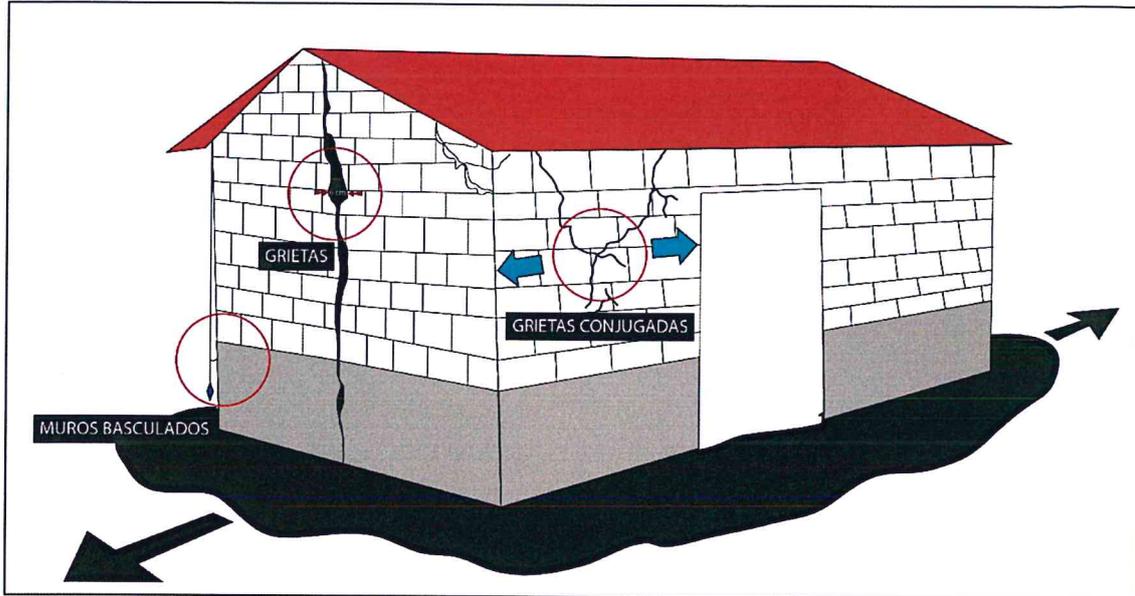


Figura 7. Ejemplo de efectos o daños por sismo en una vivienda (grietas, grietas conjugadas y muros basculados). Las flechas negras muestran la dirección de la onda sísmica. Las flechas azules representan las grietas conjugadas.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

En base al inventario de daños del Sauce y Dos de Mayo, se ha podido observar que existen dos principales fenómenos relacionados a la deformación del suelo, que han afectado a la población ubicada en las playas lacustres del Sauce y Dos de Mayo, estos son, la licuefacción de suelos y el agrietamiento de suelos. Ambos fenómenos se describen a continuación:

5.1 Licuefacción de suelos

El suelo sobre el que se encuentra emplazado la ciudad del Sauce 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 parques. 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.

Para el sismo de mayo del 2019, la USGS hizo un mapa probabilístico de ocurrencia de fenómenos de licuefacción, donde claramente considera a la zona del Sauce como un área de ocurrencia de este fenómeno (Figura 7).

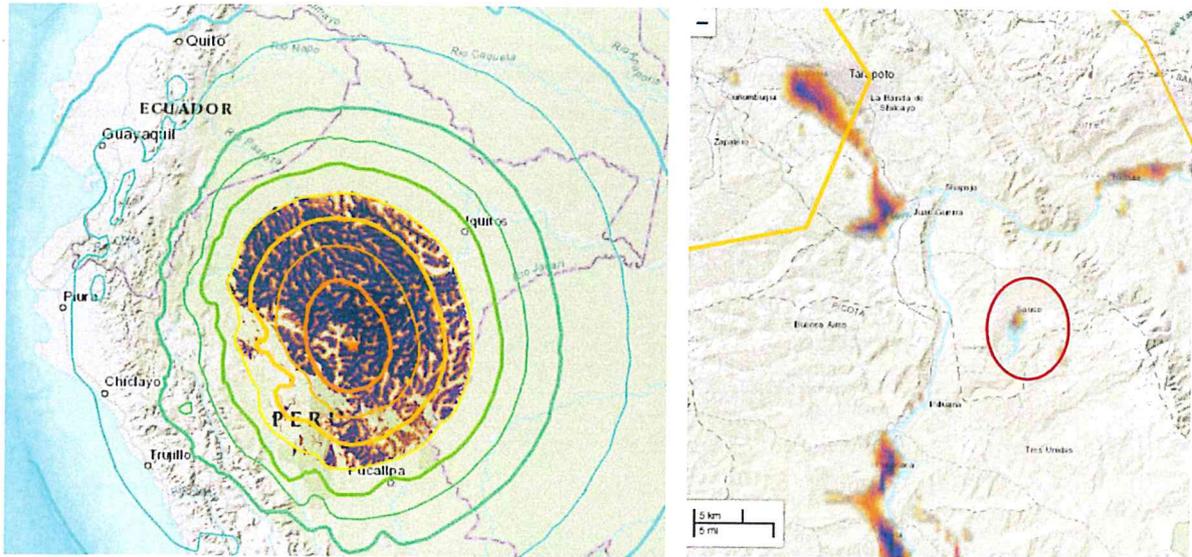


Figura 7. Mapa de probabilidades de ocurrencia de licuefacción de suelos (izquierda). Detalle del mapa en la localidad de Tarapoto y el Sauce (círculo rojo) (derecha). (Fuente: USGS, 2019)

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 8).

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.

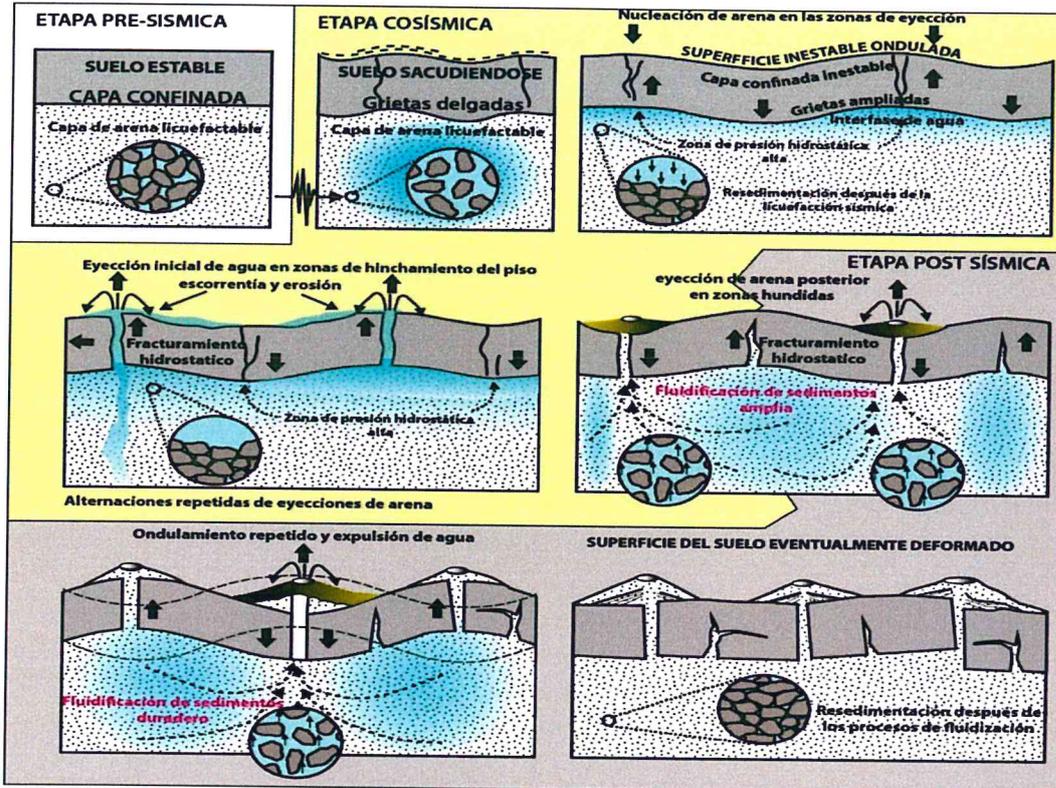


Figura 8. Etapas de formación de volcanes de arena por licuefacción de suelos. (Rodríguez-Pascua *et al.*, 2015).



Fotografía 1. Volcán de arena de hasta 1.0m de radio dentro de una vivienda en el sector 2 de Mayo.



Fotografía 2. Volcán de arena de 0.8m de radio en el patio del Hotel Maloca Inn, Urb. 8 de Julio.

5.2 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 1.0m. El suelo donde se presenta mayormente este fenómeno es limoso y arcilloso y su orientación es principalmente paralela a la playa de la Laguna Azul.



Fotografía 3. Agrietamientos de suelo limo-arenoso.

Estas grietas del suelo generaron a su vez el colapso de viviendas y muros perimétricos de terrenos.

6. ANALISIS DE DEFORMACIÓN

El terremoto del 26 de mayo del presente año, con epicentro ubicado en la localidad de Lagunas en la Región Loreto, ha tenido una magnitud de 8, este evento ha generado diferentes intensidades considerando la distancia del lugar al epicentro, en el caso de Tarapoto, ciudad ubicada muy cerca al Sauce se registró una intensidad de VI (Figura 9). Al respecto, las inspecciones en las localidades cercanas han mostrado deformaciones de suelos con fenómenos relacionados principalmente a la licuefacción de suelos. Geográficamente las zonas más afectadas están ubicadas en áreas llanas con densa vegetación (selva baja). Litológicamente esta zona tiene suelos arenos limosos altamente saturados en agua. Geomorfológicamente las terrazas fluviales han sido aprovechadas para el emplazamiento del 100% de la población local.

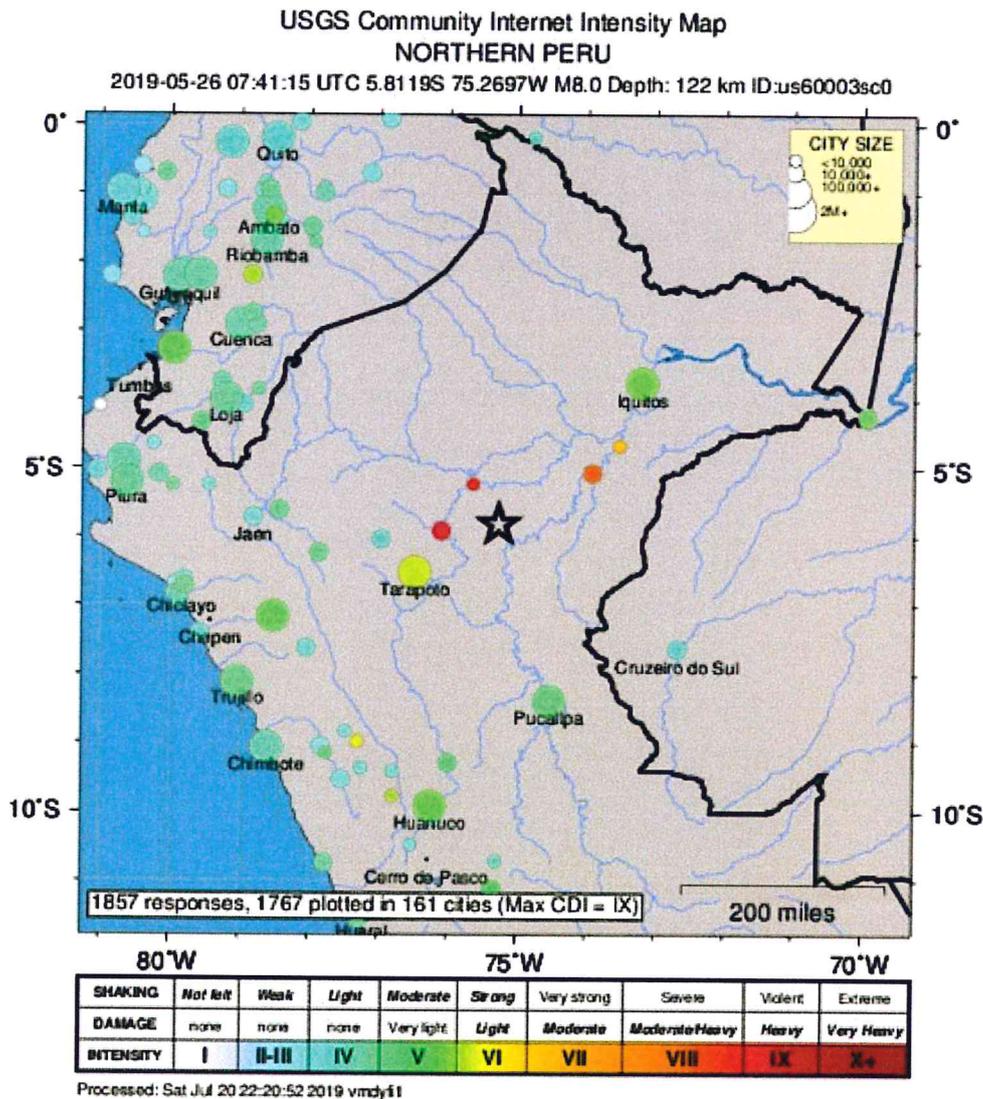


Figura 9. Mapa con intensidades (Fuente: USGS).

La localidad del Sauce es un poblado ubicado a más de 220Km de distancia del epicentro del terremoto de mayo, y pese a su lejanía y su ubicación geográfica (selva alta), ha sido afectada de sobremanera por el sismo. Como se ha mencionado anteriormente, tanto el Sauce como Dos de Mayo se encuentran emplazados sobre depósitos lacustres recientes, compuestos predominantemente de limos, arcillas y arenas. Estos depósitos sedimentarios se encuentran saturados en agua, debido a la

presencia de la laguna y sus tributarios, factor importante para la ocurrencia de procesos de licuefacción.

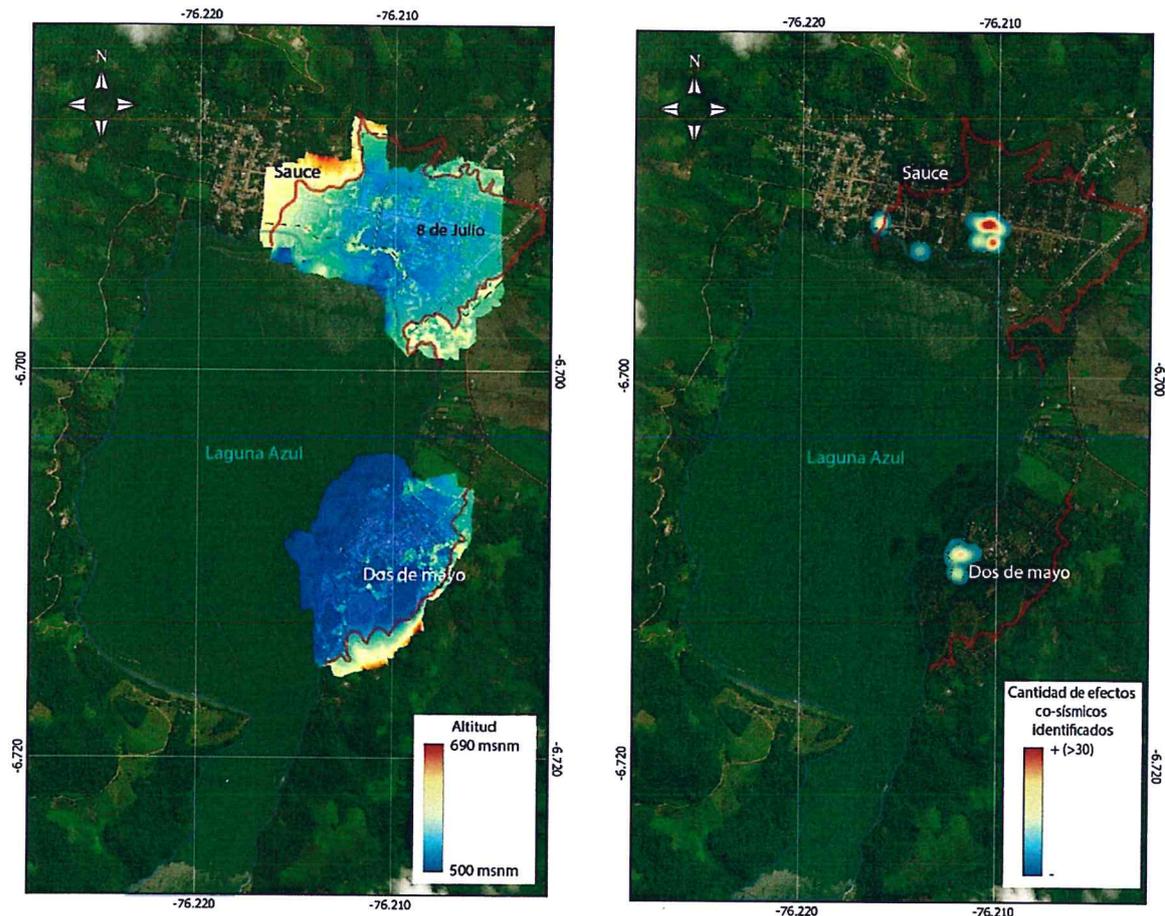


Figura 10. (Izquierda) Imagen satelital Google Earth con superposición de mapa de alturas generados por un drone. La barra de color muestra las alturas de la zona. El Sauce se divide en tres localidades, el Sauce o Sauce Cercado, 8 de julio y Dos de mayo al sur, la línea roja delimita las zonas más bajas en la topografía. (Derecha) Imagen satelital Google Earth con superposición de un mapa de calor que representa la acumulación de efectos co-sísmicos.

Sin embargo, el registro de los daños nos muestra lugares puntuales donde las viviendas fueron seriamente dañadas. El Sauce y alrededor de la Laguna Azul, visto in situ o desde el aire, aparentemente es un lugar llano, con alturas constantes y sin cambios bruscos en la topografía.

Los análisis fotogramétricos del terreno, realizados con un drone marca DJI modelo Phantom 4 Pro, nos permitió observar que el relieve del poblado del Sauce no es uniformemente llano, la zona entre la Urb. 8 de julio y el este de la Urb. Cercado Sauce analizada con el mapa de alturas (Figura 10), nos muestra que esta área es relativamente más baja que la Urb. Cercado Sauce. Esta diferencia en la topografía permite la acumulación de aguas superficiales y considerando la cercanía a la laguna, el nivel freático de las aguas subterráneas se encuentra más cercanas a la superficie.

La relación de la litología y la topografía de las zonas más afectadas nos indican áreas de inundación cuando el espejo de agua de la laguna era ligeramente más alto que en la actualidad (Figura 11).

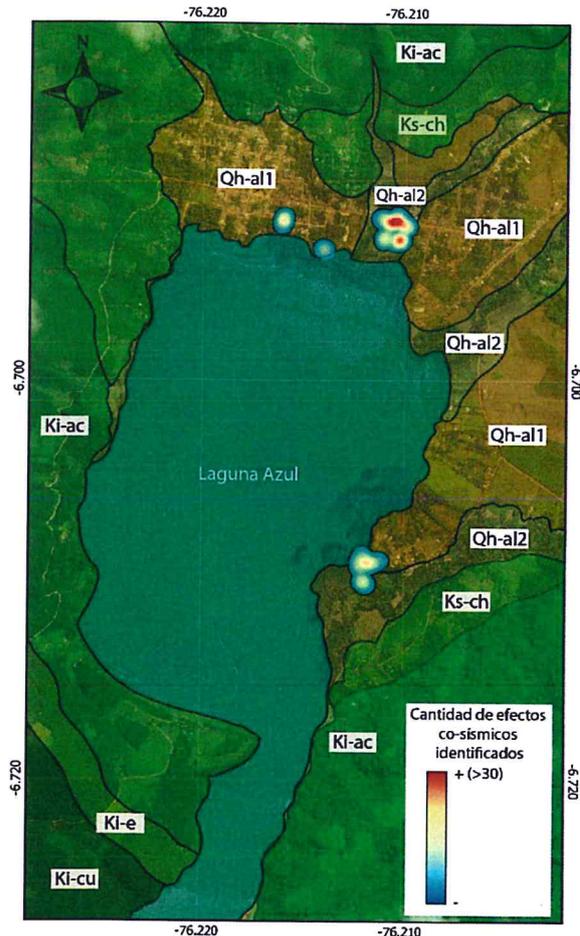


Figura 11. Mapa geológico local donde se observan las unidades litoestratigráficas Fm. Cushabatay (Ki-cu), Fm. Esperanza (Ki-e), Fm. Agua Caliente (Ki-ac), Fm. Chonta (Ki-ch), Depósitos aluviales antiguos (Qh-al1) y Depósitos aluviales recientes (Qh-al2). (Fuente: Sánchez, et al., 1997). La gama de colores que varían entre azul y rojo representa la acumulación de efectos co-sísmicos.

Consideraciones Preliminares

El análisis de la deformación y los daños inventariados en la localidad del Sauce a partir del sismo nos permite interpretar lo siguiente:

- La deformación y los daños en viviendas y otras construcciones del Sauce está directamente relacionado al fuerte sismo del 26 de mayo, encontrándose a más de 220km de distancia del epicentro.
- La deformación es "in situ", focalizada en dos puntos principales, las urbanizaciones 8 de julio y Dos de mayo.
- Se han identificado cinco tipos de efectos originados por el sismo, dos efectos geológicos (licuefacción de suelos y agrietamiento de suelos) y tres efectos de construcción (grietas en muros, grietas conjugadas y muros basculados).
- Los daños responden principalmente a un efecto de sitio, es decir a la mala reología o litología que se encuentra saturada en agua, esto ha generado los procesos de licuefacción de suelos y agrietamientos de suelo.

CONCLUSIONES

- a) El sismo de magnitud 8 con epicentro en la localidad de Lagunas, generó procesos físicos en los suelos saturados en agua, tal como se observa en la localidad del Sauce, ciudad ubicada a más de 220Km de distancia del epicentro.
- b) La reología local contribuyó en la deformación del suelo, ya que ésta se encuentra constituida de arenas y limos, con granos no cohesivos que ante movimientos bruscos como son los sismos se reacomodan deformando el material suprayacente.
- c) Las viviendas ubicadas a más de 0.5Km de distancia de la laguna, no presentan ningún tipo de daño, esto significa que el factor suelo y la presencia de agua superficial han generado mayor deformación en las áreas cercanas a la laguna.
- d) En el Sauce también se observaron grietas de hasta 20cm de apertura en suelos limoarcillosos, lo que afectó principalmente a las viviendas emplazadas sobre este tipo de suelo.
- e) Se han registrado alrededor de sesenta efectos originados por el sismo, clasificados en grietas en el suelo, volcanes de arena (licuefacción de suelos), grietas en muros, grietas conjugadas, muros basculados y muros caídos.
- f) La tendencia de los efectos identificados nos muestra una relación con la dirección de la onda sísmica, NNE-SSO.

RECOMENDACIONES

- a) Realizar estudios de microzonificación sísmica en todo el distrito del Sauce y alrededores.
- b) Evitar construir viviendas u otras obras públicas en las playas de la Laguna Azul.
- c) Utilizar la madera como insumo para la construcción de viviendas.
- d) Realizar estudios de suelos para conocer la capacidad portante del suelo.
- e) Se recomienda realizar inventario de daños con direcciones de aperturas y longitudes, esta información puede ser útil para conocer el modo de deformación del terreno o las construcciones de un determinado lugar.


Ing. CÉSAR A. CHACALTANA BUDIEL
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET



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.
- 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.
- Sanchez, A., Valencia, M., Chira, J. (1907). *Geología del cuadrángulo de Laguna Sauce*. Hoja: 14k. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional.
- USGS (2019). M 8.0 Earthquake of Perú on May 26, 2019. <https://earthquake.usgs.gov>.