

Informe Técnico N° A6808

EFFECTOS CO-SÍSMICOS (MOVIMIENTOS EN MASA Y DEFORMACIONES SUPERFICIALES) Y DAÑOS A LA INFRAESTRUCTURA ASOCIADOS AL SISMO DEL 14 DE ENERO, 2018

Región Arequipa
Provincia Caravelí
Distrito Bella Unión



RIGOBERTO AGUILAR
NÉLIDA MANRIQUE
ABRIL
2018

 SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	2
Cuadro 1. Datos de sismos importantes ocurridos en la región Arequipa	3
1.1 Objetivos	7
1.2 Metodología de Trabajo	7
1.3 Ubicación y Accesibilidad	7
2. CONTEXTO GEOLÓGICO Y SISMOTECTÓNICO DEL AREA	8
Cuadro 2: Suelos de fundación de las localidades evaluadas	11
3. PRINCIPALES EFECTOS CO-SÍSMICOS.....	11
CONCLUSIONES E INTERPRETACIONES	29
BIBLIOGRAFÍA.....	31
ANEXOS.....	32

EFFECTOS CO-SISMICOS (MOVIMIENTOS EN MASA Y DEFORMACIONES SUPERFICIALES) Y DAÑOS A LA INFRAESTRUCTURA ASOCIADOS AL SISMO DEL 14 ENERO 2018

1. INTRODUCCIÓN

Perú, se encuentra dentro de un contexto de margen continental activo y de convergencia litosférica activa que genera el proceso de subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana, lo que hace que sea afectado constantemente por una intensa actividad sísmica, concentrada principalmente frente de la costa central y sur peruana; además, este proceso favorece la actividad magmática y el emplazamiento de volcanes en la Cordillera Occidental del sur del Perú. En este contexto, Arequipa, ha sido una de las regiones afectadas por este fenómeno natural, y de acuerdo a datos históricos, soportó terremotos en los años de 1913, 1958, 1960, 1979, 1999 y 2001 (Silgado, 1978), ver cuadro 1.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) registra y reporta en promedio unos 150 sismos percibidos por la población con intensidades mínimas de II-III (MM) y magnitudes $ML \geq 4.0$. Los sismos con magnitudes mayores a 4 ML son menos frecuentes y en general, tienen su origen en el proceso de fricción de placas de Nazca y Sudamericana produciendo importantes daños en áreas relativamente grandes, tal como sucedió en la región Sur de Perú el 23 de junio de 2001 ($M_w=8.2$) y el 15 de agosto de 2007 ($M_w=8.0$) (Tavera et al, 2013). El 17 de julio del 2017, ocurrió un sismo de 6.3 grados en escala de Richter, sentido en Tacna, Ica (Palpa, Nazca), Ayacucho, Cusco y Moquegua.

El 14 de enero del 2018, ocurrió un sismo de 6.8 Mw (Magnitud momento), mientras que las agencias internacionales dieron magnitud de 7.1 en la misma escala (Fuente: Portal IGP). De acuerdo a un reporte emitido por el IGP, el sismo de magnitud 6.8, tuvo su epicentro a 54 kilómetros al sur de la localidad de Lomas, 58 km al SO de Yauca y 75 km al Oeste de Chala, con una profundidad de 26 kilómetros, y una intensidad VI en la escala de Mercalli Modificada y un radio de percepción de 400 km (Tavera, 2018). El evento ocurrió a las 04:18:42 am afectando las localidades de Lomas, Bella Unión, Acarí, Yauca, Jaquí, Chala, Atiquipa y otros centros poblados del Distrito de Caravelí.

Ante los reportes emitidos sobre los efectos y daños por diferentes medios de comunicación, la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), designó a los ingenieros Rigoberto Aguilar y Nérida Manrique, para realizar una evaluación geológica en las zonas afectadas por el sismo, quienes realizaron una inspección de campo entre los días 19 y 23 de enero del 2018. Los trabajos encomendados fueron los siguientes:

- Evaluación de procesos geológicos superficiales y movimientos en masa detonados por el sismo.

- Registrar los efectos co-sísmicos en la zona litoral y costanera, carretera Panamericana Sur y las localidades de Lomas, Bella Unión, Acarí, Yauca, Atiquipa, Santa Rosa, Chala, Achanizo, Cháparra, Quicacha y otros centros poblados aledaños.
- Evaluación de daños en la estructura de viviendas e infraestructura de dichos centros poblados.

Cuadro 1. Datos de sismos importantes ocurridos en la región Arequipa

FECHA	HORA	LOCALIDADES	INTENSIDAD	OBSERVACIONES
1555		Arequipa	VIII	Viviendas dañadas y muerte de varias personas, de acuerdo con el libro de Cabildos de dicha ciudad.
1582-01-22	11:30:00	Socabaya	X	Derrumbe de 300 casas, pereciendo más de 35 personas. Los Templos de San Francisco y La Merced, sufrieron severos daños.
1600-02-19	16:00:00	Omate, Arequipa	IX	Epicentro en Moquegua, por la explosión fuerte del volcán Huaynaputina (Omate), en cuyas inmediaciones quedaron sepultados más de siete pueblos. El Río Tambo quedó represado.
1604-11-24	13:30:00	Moquegua, Tacna Arequipa	X	Con epicentro en Tacna, arruinó las ciudades de Tacna, Arequipa, Moquegua y Arica. El mar se salió en el Puerto de Arica, causando la muerte de 23 personas.
1687-10-21	06:00:00	Arequipa	VIII	Fuerte sismo en Arequipa que causó serios daños en sus templos y viviendas. Otros estragos se dieron en los valles de Siguas y Majes. Sismo llamado de Santa Úrsula por celebrarse ese día su festividad.
1715-08-22	19:00:00	Arequipa	XII	Averió casas en Arequipa, quedando algunas inhabitables. Derrumbes de partes altas de los cerros, sepultando a los pequeños pueblos situados en las colinas y valles. Las réplicas se siguieron sintiendo en forma continua durante dos meses.
1725-01-08	8:00:00	Arequipa	VII	Se estremeció la tierra, con tal estruendo y violencia que las personas apenas se podían sostener de pie. Destruyó varios templos y la mayor parte de casas. Hubo una gran polvareda que cubrió toda la ciudad.
1784-05-13	0736:00	Arequipa	X	Percieron 54 personas. Los edificios y viviendas de la ciudad fueron seriamente afectados. Cayó el arco de puente y se deterioró el empedrado de sus calles. Hubo el derrumbe de dos templos antes de que ocurra el terremoto, como previo aviso. Tuvo una duración de 4 a 5 minutos de varias réplicas.
1821-07-10	08:00:00	Camaná-Ocoña	VII	Gran movimiento de tierra que causó grandes daños en Camaná, Ocoña, Caravelí, Chuquibamba y valle de Majes. 70 muertos en Camaná y Ocoña, 60 en Chuquibamba y 32 en Caravelí.
1868-08-13	16:45:00	Moquegua, Tacna Arica, Arequipa	XI	Dejó en ruinas las ciudades de Moquegua, Tacna, Tarata y Arica. Murieron 180 personas en todo el sur. Según el Dr. J. Polo "este sismo pudo ser como uno de los mayores que se haya verificado en el país". Su epicentro fue en Arica, acompañado de un Tsunami que afectó Arica con 12 m de altura. La Catedral de Arequipa quedó destruida, así como el Portal de Flores y la Iglesia de la Compañía. En Arequipa con intensidad de IX en la escala de MM.
1869-06-24	13: 45:00	Moquegua, Tacna Arica, Arequipa	VI	Fuerte movimiento sísmico en Arequipa y Tacna y en los antiguos puertos del Perú y Bolivia que duro ~1.5 minutos. A las 14:15 hrs, se retiró el mar causando gran alarma, volviendo luego a su nivel, hubo crecientes y bajadas como siete veces. Se sintió violentamente a bordo del vapor inglés "Paíta" que navegaba del Callao a Valparaíso estando a tres millas de tierra firme con 75 brazas de agua y casi frente al actual límite con Chile.

1869-11-03	19:30:00	Arequipa	VI	Temblo local en Arequipa que causó deterioros en sus edificios.
1877-05-09	20:28:00	Arequipa	VII	Destruyó las poblaciones de Mollendo, Ilo, Arica. Fue seguido de un Tsunami que inundó los puertos de Ilo y Arica. Más al sur fueron arrasados los puertos de Pica y Mejillones, con olas de 20 m de altura, dejando un saldo de 33 muertos.
1878-01-23	00:00:00	Arequipa y Tacna Arica, Arequipa	VII	Sentido en Arequipa y Tacna, cayeron varias casas en el antiguo Tarapacá. El oleaje marino producido por la conmoción inundó los pueblos costeros del sur.
1913-07-28	01:40:00	Chala y Mollendo	VIII	Violento sismo en la Costa Sur del Perú, entre los Puertos de Chala y Mollendo. Ocasionó la rotura de tres cables submarinos, debido a deslizamiento del talud submarino, según Cía. Americana de Telégrafos.
1913-08-06	17:13:00	Caravelí	VIII	El movimiento de pocos segundos de duración, produjo desplome de edificios y derrumbes en las laderas del valle, ocasionando varios muertos. Afectó igualmente todos los pueblos del valle de Majes, especialmente Chuquibamba, donde además de desplomarse la iglesia mayor, se
1914-09-11	06:48:00	Caravelí	VII	Se repitió en Caravelí, reedificada después de la catástrofe de 1913, otro violento terremoto que lo volvió a dejar en escombros y ocasionó derrumbes en los cerros que rodeaban esa ciudad. En Nazca hubo víctimas y el desplome de la nueva iglesia. Se sintió fuerte en Chala y Atico.
1915-12-28	18:40:00	Caravelí	VI	Sismo de foco cordillerano, localizado a unos 300 km, al SE de Lima. Fue sentido en un área de unos 120 000 km ² y afectó varios pueblos de las provincias de Fajardo, Huamanga, Huanta (Ayacucho) y Angaraes (Huancavelica). El pueblo de Julcamarca, situado sobre una loma alta sufrió
1917-03-21	03:56:00	Caylloma	VII	Caylloma en Arequipa quedó en ruinas por un violento sismo. Hubo 22 muertos y muchos heridos.
1920-10-07	15:54:00	Límite entre Arequipa-Ayacucho	VII	Terremoto en las zonas limítrofes de Ayacucho y Arequipa. Santa Lucia, capital del distrito de Lucanas, quedó tan destruida que sus pobladores tuvieron que refugiarse en carpas levantadas en su plaza de armas. En los distritos de Acarí y Jaqui (Arequipa) hubo numerosos daños materiales y
1922-10-11	09:50:00	Caravelí	VII	Sismo destructor en el pueblo de Caravelí donde cayeron muchas casas. En Arequipa y el puerto de Mollendo causó daños de consideración. Otros efectos se notaron en Acarí y Quicacha.
1932-06-05	22:57:00	Arequipa	VI	Violento temblor en la ciudad de Arequipa que causó cuatro heridos. Ligeros desperfectos en algunas casas, caída de cornisas y rotura de vidrios. Densas nubes de polvo cubrieron luego la ciudad. Réplicas durante las 24 horas posteriores. Alarma en el puerto de Mollendo.

FECHA	HORA	LOCALIDADES	INTENSIDAD	OBSERVACIONES
1939-10-11	09:51:00	Valle de Majes	VII	El pueblo de Chuquibamba, situado en el valle del río Majes, fue afectado. Su iglesia, la cárcel y la municipalidad sufrieron graves daños, y desplome de muchas casas. En la aldea de Chuquibambilla, en las inmediaciones del río Vilcabamba, fueron dañadas y destruidas muchas viviendas, lo mismo que en Caravelí en la vertiente Pacífica. El sismo causó otros daños en edificios de las ciudades de Arequipa y Moquegua. Con gran intensidad se sintió en las poblaciones de Puquio, Quicacha, Palpa y en los puertos de Chala y Mollendo.
1942-08-24	17:51:00	Región limítrofe entre Ica y Arequipa	IX	Terremoto en el sector limítrofe entre los departamentos de Ica y Arequipa en un área de 18 000 km ² donde ocurrió gran destrucción. Murieron 30 personas por los desplomes de las casas y 25 heridos. Quedaron en escombros las poblaciones vecinas de Acarí y Jaqui, extendiéndose los daños hasta las poblaciones de Quicacha, Atiquipa y Palpa. En Caravelí solo resistieron al sismo los edificios de reciente construcción. Fue sentido en Camaná, Chuquibamba, Aplao, y Mollendo. El sismo tuvo un minuto de duración. Los pueblos cordilleranos de Cora Cora, Huancapi y otros experimentaron algunos daños. En el puerto de Chala la sacudida alcanzó tal violencia que varias personas fueron arrojadas al agua. Se dejó un saldo de 1 muerto y 66 heridos, los efectos destructores fueron registrados dentro de un área aproximada de 3500 km ² .
1948-05-11	03:56:00	Arequipa Moquegua Tacna	VII	Sismo originado en las cercanías de Chala y ligeramente destructor en Caravelí, donde alcanzó el grado VI MM. Se sintió en una extensión de 135 000 km ² .
1951-03-04	06:18:00	Chala-Caraveli	VI	Movimiento sísmico a lo largo de la costa entre los paralelos 11° a 18° Latitud Sur. En la ciudad de Caravelí, ocasionó algunos agrietamientos de paredes y el derrumbe de los Iglesia del Beaterio (Grado VI-MM). Alarma en las ciudades de Ica y Arequipa. Distancias de los Observatorios de Lima y la Paz 580 y 560 Km. Respectivamente (para un foco de 60 Km de profundidad).
1955-07-21	11:45:49	Caravelí	VII	Causó 28 muertos y 133 heridos. Todas las casas construidas a base de sillar sufrieron averías, resistiendo los inmuebles construidos a partir de 1940 y los edificios modernos. Afectó los distritos de Tiabaya, Sabandía, Miraflores y Yarabamba. Hubo gran polvareda, daños al Ferrocarril y Carretera Panamericana. Agrietamientos con eyección de aguas negras en Camaná.
1958-01-15	14:14:00	Arequipa	VIII	Fuerte sismo en la ciudad de Arequipa que causó alarma y roturas de la tubería matriz que conduce el agua potable del manantial de la Bedoya-Distrito de Chiguata.
1958-07-26	12:38:00	Arequipa	VI	Perecieron 63 personas y hubo centenares de heridos. La población de Chuquibamba quedó en escombros. Sufrieron destrucción las viviendas construidas a base de sillar. En Mollendo hubo caídas de cornisas. La carretera a Puno y a las diversas localidades del departamento, quedaron inutilizadas.
1960-01-13	15:40:00	Arequipa	IX	Violenta réplica del terremoto del 13 de enero. Sacudió la ciudad de Arequipa y otras poblaciones vecinas. En la ciudad cayeron cornisas ya removidas. Sufrieron daños algunos interiores de viviendas. Rajaduras de paredes y techos de viviendas en la zona antigua de Miraflores. Fue sentido en Puno, en los Puertos de Matarani, Mejía y Mollendo.

FECHA	HORA	LOCALIDADES	INTENSIDAD	OBSERVACIONES
1964-01-26	04:09:00	Arequipa	V – VI	En Arequipa hubo 4 heridos y deterioro de varias casas ya resentidas por sismos anteriores. Derrumbes en la Carretera Arequipa – Juliaca y en el km 20 de la Carretera Vitor – Sihuas. Sentido en Mollendo, Ubinas, Aplao y otros.
1965-07-30	00:45:00	Arequipa	IV-V	La población de la ciudad de Arequipa fue despertada por un fuerte sismo de larga duración que causó pánico.
1979-02-16	08:54	Camaná y Corire	VII	Se sintió con mayor intensidad (VI) en Mollendo, La Planchada, La Joya, Punta de Bombón, Siguas, Uchumayo y Camaná, sufriendo daños en sus viviendas.
1991-07-23	14:45.00	Complejo Volcánico Ampato-Sabancaya y Hualca Hualca	VIII	Sismo superficial de 3.6 km y magnitud de 5.4 mb. Produjo en superficie importantes asentamientos y deslizamientos de tierra, además de numerosos desprendimientos de roca a lo largo de las pendientes del río Colca. Las localidades más afectadas fueron Lari y Maca, en un 20% y 80% de las viviendas fueron destruidas, además de 14 personas fallecidas y numerosos heridos.
1992-02-01	12:22:00	Sahuana-Sepina-Achoma	VII	Sismo sentido en un área aproximadamente 144 km ² , produjo deslizamientos de tierra y caída de rocas sobre las carreteras y canales de regadío. La mayor intensidad con VII MM se localizó en las localidades de Visconoja, Huitohuasi y Layuni, todas ubicadas al sur de la Pampa Sepina.
1996-11-12	11:59:00	Nazca, Ica, Pisco, Caravelí, Caylloma, Lucana y Coracora	VIII	Se produce un violento movimiento en el sur del país de 6.4 en la Escala de Richter, cuyo epicentro se ubica a 135 km al SO de Nazca, con intensidad de VIII (MM) en Nazca y Palpa, V en Ica, IV en Camaná, III-IV en Moquegua, III en Tacna y II en Lima. Las áreas más afectadas fueron las provincias de Ica, Pisco, Nazca y Palpa en el departamento de Ica, Caravelí y Caylloma en el departamento de Arequipa, Lucana y Coracora en Ayacucho, Huaytará en Huancavelica. El IGP registró un total de 1065 réplicas. En la prov. Caravelí afectó 17 localidades en 9 distritos, dejando un saldo de 4 muertos, 54 heridos y 18 350 damnificados, los servicios de agua y luz fueron interrumpidos, el relave de la Mina Otapara represó el río Acarí, se represó una laguna que causó alarma en la población.
1999-04-03	06:17:00	Arequipa	VII	Conocido como el “terremoto de Arequipa”, llega a los 6 grados en la escala de Richter.
2001-06-23	20:33:13	Arequipa	VII	Terremoto de 7 grados en la escala de Richter; afecta al 80% de la población, ocasionando el derrumbe de algunos poblados, el 90% de las viviendas. La ciudad de Arequipa quedó incomunicada y las líneas telefónicas y viviendas fueron seriamente dañadas. En ciudades aledañas, como Moquegua y Tacna murieron más de 70 personas. Además, un fuerte Tsunami arrasó las costas de Camaná.
2013-09-25	23:42	Arequipa	VI	Sismo ocurrido frente a las localidades de Acarí-Yauca, de Magnitud 6.9 ML (7.0 Mw), con epicentro ubicado a 66 km al SO de la localidad de Yauca, 75 km al OSO de la localidad de Chala, 86 km al SSO de la localidad de Acarí (Provincia de Caravelí, región Arequipa). El sismo ocurrió a una profundidad de 31 km; presentó un área de percepción con radio del orden de 350 km (l _{max} =II), siendo la mayor intensidad del orden de VI (MM) evaluada en las localidades de Yauca, Acarí y Chala. El sismo causó alarma en las poblaciones de Acarí y Yauca y otras cercanas al epicentro, siendo los daños parciales en algunas viviendas antiguas de adobe y tapial y carretera Panamericana Sur.

2017-07-17	21:05	Atico, Ocoña, Caravelí y Chala	VI	Sismo ocurrido con magnitud de 6.3 Mw ocurrido a 45 km al suroeste de la localidad de Atico (Arequipa), a 33 km de profundidad y un radio de percepción desde el epicentro de 400 km (lmax=ll). Su mayor intensidad fue en las localidades de Atico, Ocoña, Caravelí y Chala. El sismo causó alarma en los centros poblados mencionados, provocando agrietamiento de paredes de viviendas y mayores daños en la Carretera Panamericana Sur, siendo el mayor problema, el deslizamiento a ~22 km al sur de Atico, generando la interrupción del tránsito durante aproximadamente 15 días; además se reportaron 9 heridos y un fallecido.
------------	-------	--------------------------------	----	---

1.1 Objetivos

Realizar una inspección de campo acerca de los procesos de deformaciones superficiales originados por el sismo, involucrando ocurrencias de movimientos en masa en los taludes, acantilados con macizos rocosos, acumulaciones eólicas, agrietamientos y asentamientos en el terreno que hayan afectado las construcciones y la infraestructura vial en las localidades de Lomas, Bella Unión, Acarí, Yauca, Jaquí, Atiquipa, Santa Rosa, Chala, Achanizo, Quicacha, Cháparra y alrededores.

1.2 Metodología de Trabajo

Para la inspección, se tomó en consideración los reportes del Centro de Operación de Emergencias del Gobierno Regional de Arequipa, el IGP e información periodística que indicaba las posibles zonas afectadas.

El trabajo de campo e interpretaciones geológicas, se basan en las observaciones in situ, registro fotográfico, toma de puntos GPS en zonas referenciales (representativas) y el registro de información en fichas de INQUA sobre efectos ambientales por los sismos en las áreas inspeccionadas.

Se realizaron entrevistas con profesionales de los centros de salud, Secretarios Técnicos de Defensa Civil de las municipalidades, profesores de centros educativos, pobladores y transportistas.

1.3 Ubicación y Accesibilidad

El área de trabajo se encuentra en el sur de Perú, entre las coordenadas 15° 33' 55" a 15° 55' 14" Sur y 74° 50' 40" a 74° 07' 14" Oeste y comprende territorio de la provincia de Caravelí, región Arequipa (Fig. 1).

La accesibilidad a la zona y el mismo trabajo geológico a realizar constituye las rutas nacionales:

- Carretera Panamericana Sur
- Carretera Chala-Achanizo-Cháparra-Quicacha.
- Carretera Yauca-Jaquí-El Molino

- Carretera Bella Unión, Acarí, Chocavento-Lucasi

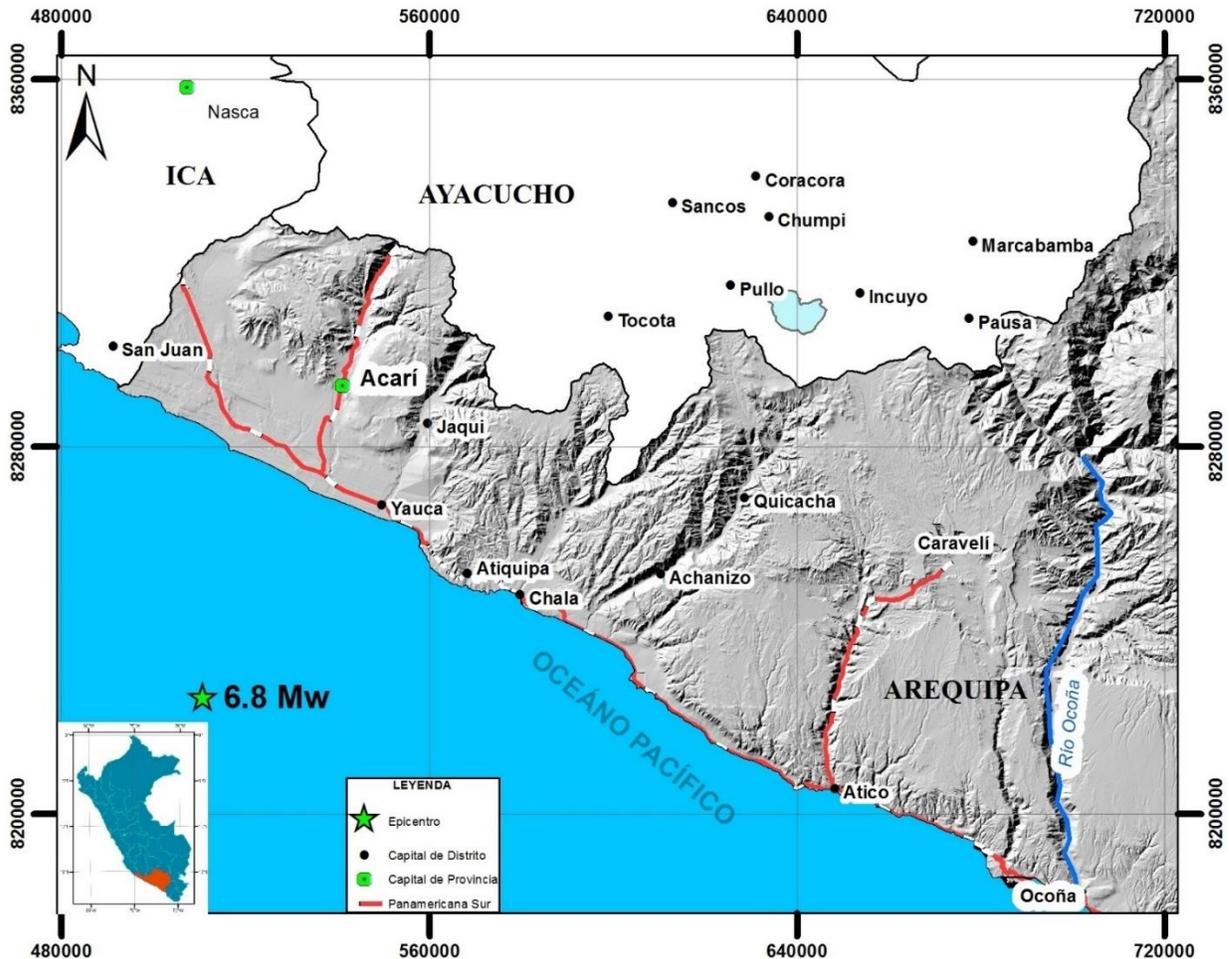


Figura 1: Ubicación del área de trabajo y rutas de acceso.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO Y SISMOTECTÓNICO DEL AREA

Según Caldas (1978) y Olchauski (1980), el área afectada por el sismo, que comprende los cuadrángulos de Acarí, Jaquí, Yauca, Chala y Chaparra, se extiende desde la línea litoral hasta altitudes de 2230 msnm de la vertiente del Pacífico. Esta zona está caracterizada por cinco unidades geomorfológicas dispuestas en franjas contiguas y parcialmente superpuestas: (1) Terrazas marinas, (2) Cordillera de la Costa, (3) Depresión Pre-Andina, (4) Meseta Costanera y (5) Frente Andino y Valles Transversales.

Terrazas marinas: Las terrazas marinas, mencionada también como faja litoral, comprenden superficies escalonadas, casi horizontales que van desde el nivel del mar hasta una altura de 300 m. Las terrazas marinas de acumulación fueron originadas por materiales aportados por los ríos y la erosión marina que acumularon sedimentos que luego fueron levantadas sucesivamente en el Pleistoceno. Varias superficies anteriores de acumulación fluvial y eólica han sido cubiertas por gravas y arenas dando lugar a extensas

zonas relativamente planas.

En algunos sectores afloran rocas metamórficas y rocas intrusivas del Batolito de la Costa bastante intemperizadas. La faja de la costa es desértica y sin vegetación.

La Cordillera de la Costa: consiste de un terreno elevado y ligeramente montañoso que se extiende paralelamente al litoral costero. Está limitado por un sistema de escarpes. La altitud varía de los 400 msnm, hasta una topografía cada vez más empinada que alcanza hasta los 2500 msnm. Esta unidad está disectada por valles transversales y numerosas quebradas que han modificado totalmente la antigua superficie.

Geológicamente, está compuesto por rocas del basamento cristalino y granitos, cubiertos por secuencias sedimentarias paleozoicas.

Depresión Pre-Andina: Se denomina así a la peneplanicie comprendida entre la Cordillera de la Costa y el frente andino, hundida entre un sistema de fallas aproximadamente paralelas, con un recorrido noroeste-sureste que corresponde a la prolongación de la llanura Pre-Andina o pampa costanera.

Esta depresión se encuentra rellena con gravas y arenas marinas y aluviales relacionados genéticamente al desarrollo de las terrazas marinas.

La meseta costanera: Sobre las estribaciones andinas, se ha desarrollado una peneplanicie de abrasión, la que actualmente se encuentra disectada por los cañones de los ríos Yauca, Acarí, Chala Viejo, Cháparra con sus respectivos afluentes. Es una llanura que muestra una suave inclinación hacia el Sur localizada a más de 1200 msnm, especialmente en las cumbres y laderas de las lomas, mientras que en los cortes de las quebradas exhibe un claro bandeamiento. Está constituida por rocas metamórficas (gneises y esquistos) y rocas sedimentarias. En varias zonas está cubierto por depósitos volcánicos de la Formación Sencca, conglomerados y areniscas.

Frente andino y valles transversales: es una superficie de mayor pendiente, comprendida entre la meseta costanera y la depresión preandina, resultado del fallamiento longitudinal a lo largo del borde del frente andino, y la disección transversal ocasionada por los ríos y quebradas que bajan del macizo andino.

El socavamiento de los cursos de agua se habría desarrollado durante la deglaciación pleistocénica en la región cordillerana, dotando a las corrientes de un fuerte poder erosivo. Posteriormente, una época lluviosa, erosión fluvial permitió una intrincada red que disecta los flancos de los valles principales.

Las diversas rocas que afloran en el área estudiada tienen edades que comprenden desde el Precámbrico y el reciente, las cuales se componen de:

- Rocas metamórficas de tipo gneis y esquistos pertenecientes al Complejo Basal de la Costa de edad Precámbrica.

- Secuencias de areniscas gris oscuras a negras, de grano fino intercaladas con lutitas negras pizarrosas y limolitas, y calizas pertenecientes al Grupo Ambo.
- En las zonas se pueden hallar limolitas de color gris verdoso y lutitas pizarrosas intercaladas con calizas gris oscuras pertenecientes al Grupo Tarma.
- Secuencias de areniscas arcósicas del Grupo Mitu (Pérmico superior).
- Capas de rocas volcánicas andesíticas intercaladas con areniscas y conglomerados de la Formación Chocolate (Jurásico inferior).
- Secuencias volcano-sedimentarias que contienen niveles de areniscas, lutitas, margas, brechas volcánicas y lavas andesíticas de la Formación Guaneros (Jurásico superior).
- Alternancia de lutitas y limolitas, con niveles de areniscas de la Formación Yauca (Cretáceo inferior).
- Cuarcitas arcósicas de la Formación Hualhuani (Cretáceo inferior).
- Conglomerados de rocas volcánicas y areniscas feldespáticas, grauwacas de la Formación Copara (Cretácico Inferior).
- Rocas subvolcánicas andesíticas (Cretácico).
- Areniscas conglomerádicas, areniscas finas, capas de diatomitas, tobas, cenizas, arcillas bentoníticas, lavas y cenizas, con yeso, de la Formación Pisco (Mioceno).
- Lavas andesíticas del Grupo Tacaza (Mioceno).
- En la faja costanera se aprecian pequeños afloramientos de areniscas finas, arcillas y capas de yeso pertenecientes a la Formación Pisco.
- Conglomerados, areniscas conglomerádicas, tobas y cenizas volcánicas de la Formación Millo (Mioceno).
- Secuencias de tobas ampliamente distribuidas localizadas en las partes altas de los cerros, así como relleno algunas quebradas. Esta unidad es atribuida a los volcánicos Sencca.
- Tobas dacíticas y riolíticas de la Formación Huaylillas (Mioceno).
- Secuencias de flujos de lavas andesíticas e ignimbritas del Grupo Barroso (Cuaternario-Pleistoceno).
- Cuerpos batolíticos de composición cuarzo-monzodiorita, granodiorita, monzonita y monzodiorita de la Super Unidad Linga (Cretáceo); dioritas del Batolito de Atico-Camaná.
- Tonalitas de la Super Unidad Incahuasi (Cretáceo).
- Depósitos de terrazas marinas, depósitos aluviales, coluviales, eólicos, distribuidos en planicies, laderas, valles y quebradas.

Las localidades principales inspeccionadas (Cuadro 2) se asientan sobre depósitos aluviales, fluviales; también sobre rocas del Complejo Basal de la Costa; y rocas intrusivas de tipo monzodioritas.

Cuadro 2: Suelos de fundación de las localidades evaluadas

LOCALIDAD	SUELO DE FUNDACIÓN
Chala, Yauca, Tanaca	Depósitos aluviales, eólicos y depósitos marinos
Achanizo, Cháparra, Quicacha, Tierras Blancas, Jaquí, El Molino, San Luis, Acarí, Chocavento, Lucasi y Bella Unión	Abanicos aluviales
Atiquipa, Santa Rosa	Conglomerados y areniscas (Fm. Pisco)
Lomas	Rocas metamórficas: gneis y esquistos; rocas intrusivas.

La carretera Panamericana Sur atraviesa en su trazo depósitos aluviales, terrazas marinas, depósitos eólicos, rocas del Complejo Basal de la Costa, la Formación Pisco, Formación Chocolate, Grupo Ambo y monzodioritas de la Super Unidad Linga.

3. PRINCIPALES EFECTOS CO-SÍSMICOS

En el trabajo se han tomado 29 puntos de control (Fig. 2), que en la mayoría de casos representan a las más zonas afectadas, en las cuales se llenó una ficha INQUA y se realizaron algunas descripciones de los efectos (cuadros 3, 4 y 5).

Los aspectos evaluados comprenden información geológica sobre procesos de deformaciones superficiales originadas por el sismo, involucrando ocurrencias de movimientos en masa en los taludes de carreteras, acantilados con macizos rocosos, acumulaciones eólicas (colapsos o derrumbes, caída de rocas y deslizamientos), agrietamientos y asentamientos en el terreno (carretera panamericana sur, vías secundarias) y daños en viviendas; se buscó evidencia de la ocurrencia de procesos de licuefacción de suelos, así como huellas de tsunamis o invasión marina post sismo.

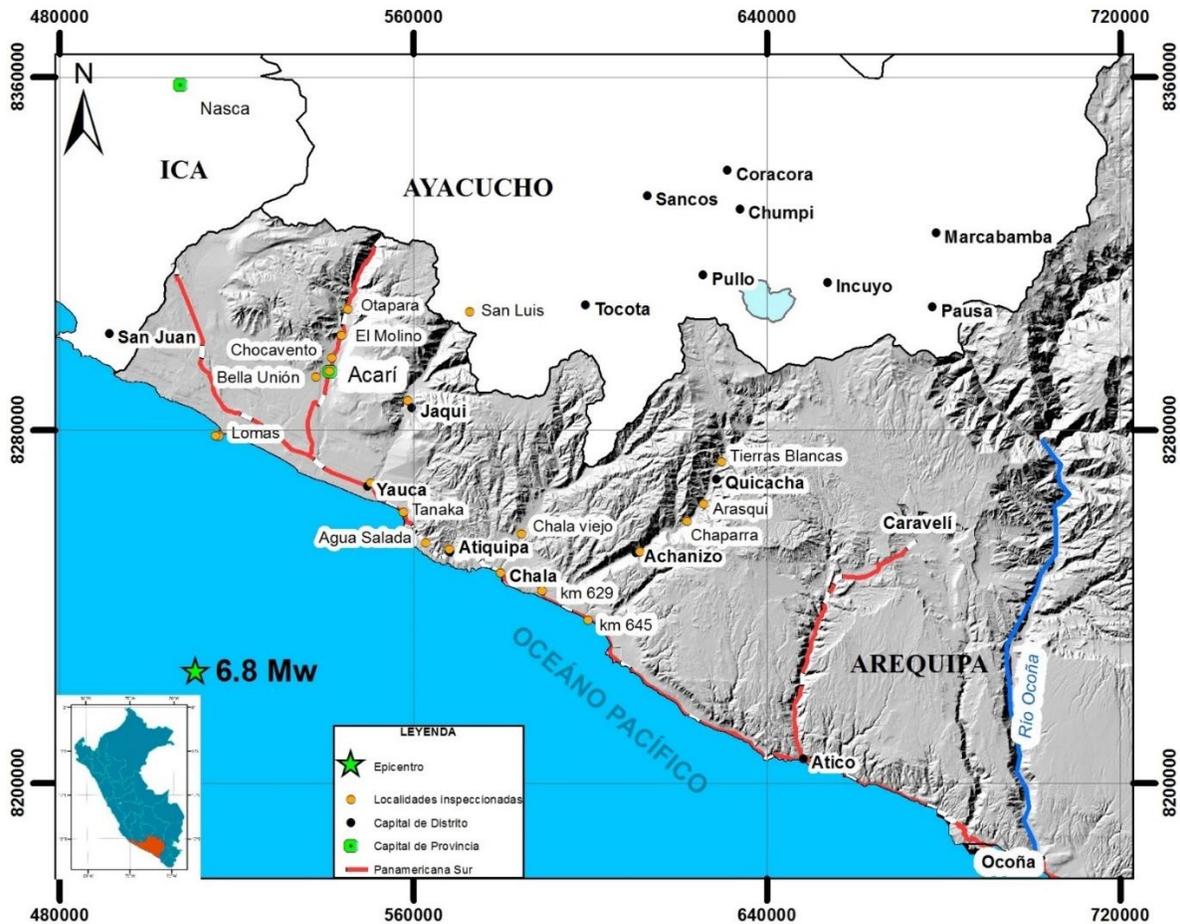


Figura 2. Zona de inspección de efectos causados por el sismo. Los puntos anaranjados indican las zonas más representativas de daños producidos en los centros poblados y la carretera Panamericana Sur.

A) CENTROS POBLADOS

La zona costanera y los valle evaluados abarcan áreas localizadas entre Atico y Lomas en la Provincia de Caravelí, Región Arequipa y el anexo de San Luis, Distrito de Sancos, en la Provincia de Lucanas, Región Ayacucho.

De acuerdo a los daños apreciados en los lugares visitados, se puede indicar que los principales efectos co-sísmicos corresponden licuefacción de suelos que ocasionaron caída y agrietamiento de muros de viviendas, derrumbes, caída de rocas y agrietamientos en terraplenes de plataforma de carretera: localizados en algunos sectores de la carretera Panamericana Sur entre la localidad de Atico y Yauca, además de las vías Atico-Caravelí. El testimonio de pobladores indica que el mayor sacudimiento fue en forma vertical y en la mayoría de los casos indican el levantamiento de polvareda y la imposibilidad de mantenerse en pie. Las viviendas que colapsaron y sufrieron mayores daños fueron aquellas contruidas con adobe y quincha; sin embargo, las construcciones de material noble también fueron muy afectadas (Cuadro 3).

Cuadro 3: Efectos co-sísmicos en las construcciones.

P. O.	Ubicación	Descripción	Trabajos realizados
4	UTM 8272899 629644 1851 msnm	Centro poblado Tierras Blancas . Se observa caída de algunos muros rústicos, y daños en viviendas construidas con adobe; además, se observan desprendimientos y caída de rocas sobre la carretera. Se tuvo una entrevista con personal de serenazgo del centro poblado, quien estuvo en servicio durante la ocurrencia del sismo; después de una inspección inmediata se evidenció 03 personas que reportaron daños en sus viviendas. Centro poblado asentado sobre un abanico aluvial. * IV	Se empezó con trabajos de limpieza de material.
5	UTM 8271671 628485 1776 msnm	Centro poblado de Quicacha . Se observan caídas de cercos perimétricos y muros rústicos. Los profesionales del centro de salud no reportan personas heridas que hayan sido atendidas en el establecimiento. Se aprecian algunas caídas de rocas en la carretera. Las viviendas y la carretera se encuentran construidas sobre un abanico aluvial. * IV	Trabajos de limpieza, en la carretera, y trabajos de reconstrucción de cercos de piedras por parte de los propietarios.
6	UTM 8263407 625617 1393 msnm	Centro poblado de Arasqui . Viviendas de adobe completamente colapsadas, familias se encuentran pernoctando en carpas de Defensa Civil. Viviendas asentadas sobre un abanico aluvial (Fig. 3 y 4). * V	Se hicieron trabajos de limpieza en la carretera.
7	UTM 8259474 621828 1095 msnm	Distrito de Cháparra . Se observaron viviendas de adobe colapsadas, Profesionales del centro de salud reportan 2 casos de personas atendidas por emergencia, producto de caída de pared en viviendas. De acuerdo a indicaciones del Sr. Juan carlos Rubio Predo, trabajador de la Municipalidad, la emergencia ocurrió a las 04:19 de la madrugada, cuyos efectos fueron, el corte del servicio de energía eléctrica, corte en el suministro de agua por caída de rocas que rompieron las tuberías de conducción; además alrededor de 40 viviendas afectadas y 4 colapsadas. El centro urbano de Cháparra se encuentra asentado sobre un abanico aluvial. * VI	Trabajos de limpieza parcial en las vías de acceso, restablecimiento de energía eléctrica.
8	UTM 8252493 611193 614 msnm	Centro poblado de Achanizo . Se observan daños en la infraestructura del centro de salud, como ruptura en la cerámica de los pisos. Hubo corte del servicio de energía eléctrica y en el suministro de agua potable, pero no se reportan daños en viviendas. Además, la caída de rocas produjo la interrupción de la vía. La mayoría de las viviendas se encuentra sobre lecho rocoso o una cobertura aluvial delgada. * VI	Trabajos de limpieza, pero el material dérmico aún ha caído después de la ocurrencia del sismo.
9	UTM 8256591 584457 323 msnm	Centro poblado de Chala Viejo . Paredes de viviendas antiguas de adobe agriestadas, revestimiento desprendido de los muros. Las viviendas se encuentran construidas sobre terrazas aluviales. También se aprecian caídas de rocas y desprendimiento de bloques semiconsolidados sobre la trocha carrozable. (Fig. 5). * VI	Debido a la topografía plana de la zona, no se aprecian daños en la vía afirmada.
10	UTM 8252240 568086 258 msnm	Centro poblado de Santa Rosa . Viviendas de adobe muy agriestadas, con algunas paredes colapsadas, construcciones de material noble también con paredes agriestadas. El centro poblado se encuentra asentado sobre depósitos aluviales poco consolidados. Se observa también rocas y pequeños bloques semiconsolidados que colapsaron sobre la carretera Panamericana Sur. * VI	Trabajos de limpieza de la carretera, pero aún se observan bloques caídos posteriormente.
12	UTM	Centro Poblado de Atiquipa . Viviendas de adobe	Trabajos de limpieza de la

	8253682 568177 325 msnm	colapsadas, construcciones de material noble severamente dañadas, entre ellas, el local de la comunidad y de la Prefectura que se encuentran inhabitables. Vidrios rotos, corte en el servicio de electricidad y suministro de agua potable. Los pobladores indican la formación de intensa polvareda en las calles. El centro de salud reporta 2 personas con heridas leves. Varias familias se encuentran pernoctando en carpas debido a que las viviendas se encuentran colapsadas o inhabitables. (Fig. 6, 7 y 8). * VIII	carpeta asfáltica. Y trabajos de reconstrucción en algunas viviendas.
13	UTM 8254509 562704 235 msnm	Centro Poblado de Agua Salada . Fracturamiento y colapso de paredes de viviendas de adobe, ruptura de vidrios. No se reportaron heridos de gravedad. Las viviendas se encuentran asentadas sobre depósitos aluviales de poco espesor, el cuál se encuentra emplazado sobre sustrato rocoso intrusivo. * VII	Limpieza de arena de la carpeta asfáltica.
14	UTM 8261524 557666 12 msnm	Centro Poblado de Tanaca . Agrietamiento en paredes de viviendas de adobe y material noble, se observan varias viviendas inhabitables. También se observan caídas de rocas en partes empinadas sobre la carpeta asfáltica. Las viviendas se encuentran asentadas sobre sustrato rocoso intrusivo, en zona cercana a abanico aluvial y depósitos de arenas. Las caídas de rocas se observan a 2 kilómetros al sur de Tanaca, en la Panamericana Sur. * VII	No se observaron trabajos realizados. Se observan aún bloques de roca al borde de la carretera.
15	UTM 8268159 550353 42 msnm	Centro poblado de Yauca . Se observa agrietamientos en paredes del centro de salud, varias viviendas de adobe y material noble inhabitables. Se reportó colapso del sistema de alcantarillado, interrupción en el suministro de agua potable y energía eléctrica (3 postes afectados). En entrevista con el Sr. Franco Coronado Canales (Secretario Técnico de Defensa Civil), éste informó sobre 1 persona fallecida, 5 damnificados, 96 viviendas afectadas. Los centros educativos que fueron afectados en su infraestructura son: Nta. Sra. De Fátima: 3 aulas, San Pedro: 3 aulas, y Niño Jesús: 1 aula afectada. (Fig. 9). * VIII	Se hicieron trabajos de limpieza en las carreteras, restablecimiento de suministro eléctrico, pero, aún se observaron surturas en el sistema de desagüe.
17	UTM 8288613 559677 265 msnm	Centro poblado de Jaquí . Agrietamientos en muros de viviendas de adobe y de material noble (Edificio Municipal). En el centro de salud se reportaron 6 personas con heridas debido a caída de algún material. Además, debido al sismo hubo corte de servicio eléctrico y el suministro de agua potable aún se encuentra cortado. Se observa caída de rocas sobre la carretera asfaltada PE 151, km 32 a km 35. La zona urbana de Jaquí, se encuentra emplazada sobre abanicos aluviales. (Fig. 10). * VII	Se realizaron trabajos de limpieza de la vía.
18	UTM 8306909 572780 651 msnm	Centro poblado de San Luis , distrito de Sancos, Provincia de Lucanas, Región Ayacucho. La mayoría de las viviendas son de quincha, y se encuentran muy dañadas. El centro de salud se encuentra completamente inhabitable, con muros de adobe colapsados. Los profesionales de salud vienen atendiendo en carpas. Se tuvo bloqueo de la carretera hasta el 20 de enero, el sismo también provocó la interrupción de la energía eléctrica por alrededor de 5 horas, aún no se tiene el suministro de agua. Se reportaron 2 personas heridas y un fallecido. El centro poblado se encuentra asentado sobre abanicos aluviales. (Fig. 11, 12, 13 y 14). * VI	Se realizó el desbloqueo de la carretera afirmada, y los pobladores repararon preliminarmente el canal de riego, el cual sirve de proveedor de agua no potabilizada para consumo.

20	UTM 8307554 545059 367 msnm	Centor poblado de Otapara . Viviendas de adobe con muros agrietados, muchos de ellos se encuentran inhabitables, hubo interrupción de suministro de agua (restablecidos el 19/02) y energía eléctrica. Algunas familias se encuentran pernoctando en carpas. Se reportaron 2 trabajadores mineros heridos. Carretera AR 102, km 38 con tránsito interrumpido por caídas de rocas, se observan grietas en el borde de la carpeta asfáltica ~ km 35. También los pobladores indican que existe riesgo de colapso de depósitos de relaves mineros. *VII	Se realizó trabajos de limpieza de carreteras.
21	UTM 8301591 543631 265 msnm	Centro poblado El Molino . Muros de adobe colapsados, se observan rajaduras en viviendas y paredes del centro educativo (material noble). *VII	
22	UTM 8296538 541524 201 msnm	Centro poblado de Chocavento . Se observan daños en construcciones de adobe y rajaduras en paredes de material noble. Algunas viviendas se encuentran inhabitables, y hay familias pernoctando en carpas. *VII	
23	UTM 8293400 540964 170 msnm	Distrito de Acarí . Varias viviendas de adobe y de material noble con paredes muy dañadas e inhabitables. El Arq. Jorge Calsaya, Sec. Técnico de Defensa Civil indicó que de acuerdo al EDAN preliminar se reportaron 18 viviendas colapsadas, 70 inhabitables, 37 afectadas, 15 instituciones educativas y 1 centro de salud afectados. En el centro de salud se atendieron 30 personas con heridas policontusas. Además, se reortaron daños en canales de regadío, bocatomas, galerías filtrantes, laguna de oxidación, puentes colgantes peatonales, reservorio de captación, comisaría y local municipal. Los pobladores indicaron que se levantaron nubes de polv debido al sacudimiento de terreno. El centro urbano se encuentra sobre terrazas aluviales. (Fig. 15 y 16). *VIII	Se realizaron limpieza de las carreteras, restablecimiento del suministro de energía, y trabajos de limpieza de escombros con ayuda de personal de Ejército peruano.
24	UTM 8292237 537828 215 msnm	Distrito de Bella Unión . Edificio del Instituto Superior Tecnológico Peruano-Español colapsado y totalmente inhabitable, construcción en material noble. La construcción se encuentra sobre un abanico aluvial. (Fig. 17). *VIII	
25	UTM 8292033 536792 210 msnm	Distrito de Bella Unión . Se observan ruptura y agrietamiento en paredes de construcciones de material noble y colapso de construcciones de adobe. Según el EDAN preliminar se reportan 74 viviendas inhabitables y 213 afectadas, 1 centro educativo inhabitable y 2 afectados. En el centro de salud se reportaron 8 personas heridas. El distrito se encuentra asentdo sobre un abanico aluvial. (Fig. 18). *VIII	Se realizaron algunos trabajos de remoción de escombros en viviendas e instalación de carpas.
26	UTM 8278661 515916 23 msnm	Distrito de Lomas . Según reporte del Sec. Técnico de Defensa Civil de la Municipalidad de Lomas, el sismo dejó 12 viviendas afectadas (hechas de adobe), se observaron también agrietamientos en construcciones de material noble, 2 instituciones educativas efectadas, 1 puesto de salud. Además, hubo corte en el suministro de energía eléctrica. La zona urbana se encuentra asentada sobre rocas de geniss migmatíticos del Complejo Basal de la Costa. (Fig. 19). *VII	No se observan trabajos realizados.
27	UTM 8245772 580575 15 msnm	Distrito de Chala . Se observan colapso de muros principalmente de adobe, agrietamiento de paredes de material noble, rotura de vidrios de ventanas. El Sec. Técnico de Defensa Civil, reporta 8 viviendas colapsadas, 40 inhabitables y 60 afectadas. En el centro de salud se reportaron 3 personas heridas. Además, durante el sismo	

	hubo corte en el suministro de energía eléctrica. La zona urbana del distrito se encuentra asentada sobre depósitos marinos (arenas y horizontes de coquina) en la parte norte, y sobre brechas y rocas volcánicas de la Formación Chocolate hacia la parte sur. *VII	
--	---	--

(*) Escala de intensidad macro-sísmica INQUA. PO: Punto de Observación



Figura 3. En la localidad de Arasqui las viviendas de adobe colapsaron, los muros fueron completamente destruidos.



Figura 4. Las familias afectadas por el colapso de sus viviendas en la localidad de Arasqui se encuentran pernoctando en carpas de defensa civil.



Figura 5. Viviendas de adobe en Chala Viejo sufrieron colapsos de muros.



Figura 6. El local social de la localidad de Atiquipa construido con material noble presentó graves daños en su infraestructura.



Figura 7. Prefectura de la localidad de Atiquipa con daños, se observan fracturas en los muros y columnas, además algunos vidrios se rompieron durante el sismo.



Figura 8. Viviendas de adobe son inhabitables en la localidad de Atiquipa.



Figura 9. Viviendas de material noble declarados como inhabitables. Localidad de Yauca.



Figura 10. El puesto de saludo de Jaquí presenta algunas fracturas en columnas y muros. Después del sismo se reportaron 6 heridos por caída de materiales.



Figura 11. Vista del muro lateral colapsado del puesto de Salud de San Luis (Ayacucho), el cual fue construido con material de adobe y no pudo soportar el sismo.



Figura 12. Vista desde el interior del puesto de salud de San Luis.



Figura 13. El personal del Puesto de Salud de San Luis se encuentra brindando servicio fuera de las instalaciones.



Figura 14. La localidad de San Luis hasta el 21 de enero no contaba con agua, debido a ruptura de tuberías.



Figura 15. Vista de la Municipalidad de Acarí con agrietamientos en los muros.



Figura 16. El Arq. Jorge Calisaya de la Municipalidad de Acarí proporcionó información acerca los daños ocurridos en Acarí, reportando un fallecido, 30 heridos y varias viviendas de material noble y adobe afectadas.



Figura 17. Los pabellones del Instituto Superior Tecnológico Peruano Español, después del sismo son inhabitables debido al derrumbe de algunos muros y a graves daños en las columnas.



Figura 18. Infraestructura afectada en el centro educativo N° 40269 de la localidad de Bella Unión.



Figura 19. Vista del puesto de Salud de Lomas con algunas grietas en los muros.

B. CARRETERA PANAMERICANA SUR (TRAMO ATICO - YAUCA)

En el tramo comprendido entre Atico y Yauca, la carretera Panamericana Sur se extiende sobre zonas planas de la Faja Costanera. En estas superficies llanas, están conformadas en su mayoría por depósitos marinos (gravas, arenas y horizontes de coquina), rocas intrusivas y el basamento metamórfico del Complejo de la Costa. En ese sentido, no se aprecian daños o afectaciones considerables en la mayor parte del recorrido.

P. O.	Ubicación	Descripción	Trabajos realizados
1	km 645 a km 630 UTM 8237112 599432 54 msnm	Apertura de grietas en la carpeta asfáltica en una longitud de ~30 m, con daños y agrietamientos de hasta 45 cm de ancho. Se aprecian también caída de bloques de rocas y material semiconsolidado de hasta 1 m de diámetro. La litología afectada consiste en materiales sedimentarios conformados por conglomerados y areniscas, con material calcáreo. (Fig. 20). * IV	Limpieza de la carpeta asfáltica.
2	Km 629 UTM 8243777 589035 162 msnm	Desprendimiento de bloques semiconsolidados conformado por conglomerados y areniscas y material calcáreo. Se observan bloques de roca de hasta 5 m de diámetro desprendidos de los taludes sobre la carpeta asfáltica. La ruptura se aprecia a lo largo de al menos 100 metros con aperturas horizontales de ~0.6 m en los taludes superiores a la carretera. (Fig. 21). * IV	Se realizó limpieza parcial de la zona; aún se registra caída de rocas. Y sectores con material propenso a desprenderse.
11	Km 603 UTM 8252269 567927 244 msnm	Rupturas en la carpeta asfáltica de la carretera Panamericana Sur, también se observan bloque semiconsolidados que cayeron sobre la carpeta asfáltica y grietas en el material de relleno al borde de la carretera. La litología de la zona consiste en gravas y areniscas semiconsolidadas. * VI	Se realizaron trabajos de limpieza de la carretera.

(*) Escala de intensidad macrosísmica INQUA. P.O.: Punto de Observación



Figura 20. Agrietamiento de la carretera Panamericana Sur, km 645. La grieta tiene hasta 45 cm de apertura a lo largo de 30 m.



Figura 21. Desprendimiento de bloques semiconsolidados de conglomerados y areniscas de hasta 5 m de diámetro, en el km 629.

C. CARRETERA DE PENETRACIÓN A LA SIERRA PE-32

La carretera asfaltada que se divide de la Panamericana Sur en dirección norte, hacia el distrito de Cháparra, presenta algunos daños zona de cambio entre la FaJa Costanera y la Cordillera de la Costa, donde el material corresponde a depósitos marinos (grava, arenas y horizontes de coquina), en esta zona con taludes relativamente escarpados, se observan agrietamientos en el borde de la carpeta asfáltica (material de relleno), y caída de bloques semiconsolidados. Continuando hacia la parte superior del valle de Cháparra, esta vía se

desplaza sobre de abanicos aluviales y en algunos sectores afloramientos rocosos de la Formación Chocolate y rocas ígneas intrusivas de la Súper Unidad Linga. En este sector el valle presenta bordes muy escapados donde se pudo observar caídas de rocas en algunos tramos.

Cuadro 5: Efectos co-sísmicos en las construcciones.

P. O.	Ubicación	Descripción	Trabajos realizados
3	UTM 8244315 595838 212 msnm	Se aprecian apertura de grietas en el borde de la carretera asfaltada PE-32 de penetración hacia el distrito de Cháparra. Agrietamientos de hasta 0.42 m en el borde de la carretera, a lo largo de varios kilómetros. Litológicamente, la zona está conformada por sedimento ligeramente consolidado y masivo de gravas y arenas; además de material de relleno. (Fig. 22). * VI	Trabajos de limpieza, pero aún se aprecian bloques que cayeron después del sismo a lo largo de varios kilómetros.

(*) Escala de intensidad macrosísmica INQUA. PO: Punto de Observación.



Figura 22. Agrietamiento y asentamiento en la berma lateral de la carretera Panamericana Sur-Cháparra.

D. CARRETERA DE PENETRACIÓN A LA SIERRA PE-151

La carretera que se divide de Yauca y va en dirección a Coracora en Ayacucho, por la ribera del río Yauca, recorre a través de la Faja Costanera, donde se encuentran depósitos aluviales y eólicos, hasta llegar a la Cordillera de la Costa, donde se encuentran numerosos abanicos aluviales como producto de la erosión de rocas intrusivas de la Súper Unidad Linga cuyos afloramientos se presentan en paredes muy escarpadas. En varios tramos de la vía se pueden observar caídas de rocas y desprendimientos sobre la carretera, habiendo causado la interrupción de algunos tramos e incomunicación de los anexos pertenecientes al distrito de Sancos, Provincia de Lucanas, Región Ayacucho. La caída de rocas también ocasionó la ruptura y daños en las captaciones de agua para consumo humano y canales de regadío.

P. O.	Ubicación	Descripción	Trabajos realizados
16	PE 151, km 25 UTM 8286831 558693 245 msnm	Se observan caídas de rocas y bloques semiconsolidados sobre la carretera asfaltada Yauca – Jaquí, se aprecian bloques de hasta 1 m de diámetro. La caída de material se observa a lo largo de varios kilómetros, incluso daños en la señalización de la vía. La zona afectada se encuentra construida sobre abanicos aluviales. (Fig. 23). * VII	Se realizaron trabajos de limpieza, pero dada la inestabilidad en el talud, aún se observa material y daños en la vía.
19	PE 151, km 49 UTM 8304560 570999 544 msnm	Fracturas en la carpeta asfáltica (centro y bordes), y caída de material detrítico. La roca de los taludes se encuentra fuertemente fracturada y tiene una delgada cobertura detrítica aluvial. El agrietamiento se extiende por al menos 100 m con una apertura de 10 cm. (Fig. 24). * VII	Se hicieron algunos trabajos de limpieza de la vía.

(*) Escala de intensidad macrosísmica INQUA. PO: Punto de Observación.



Figura 23. Caída de roca en la carretera Yauca-Jaquí que aún no ha sido despejada.



Figura 24. Desprendimiento de rocas intrusivas en la carretera Yauca (Arequipa) - San Luis (Ayacucho).

CONCLUSIONES E INTERPRETACIONES

- 1) El sismo ocurrido a las 04:18 am del domingo, 14 de enero del 2018, tuvo una magnitud de 6.8 Mw y estuvo localizada a 54 km al sur del Distrito de Lomas, con una profundidad de 26 km. Su ocurrencia estuvo relacionada al proceso de subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana. Según la escala de intensidad macrosísmica INQUA (EEE), sismos de intensidad I y II tiene efectos no perceptibles en el Ambiente; mientras que, los sismos de intensidad XII tienen efectos ambientales muy grandes. Los efectos observados en las localidades visitadas sugieren que la intensidad máxima en las localidades de Bella unión, Acarí y Yauca tuvieron una intensidad de hasta VIII, debido a que, en estas zonas se observaron fracturas en depósitos aluviales, sacudimiento de árboles y levantamiento de nubes de polvo en áreas secas.
- 2) El sismo causó desprendimiento de bloques y caída de rocas en las zonas con pendientes empinadas que en varias zonas afectaron las vías de comunicación (carreteras Panamericana Sur, PE-32 y PE-151). Además, obras de infraestructura para el suministro de servicios básicos como agua, electricidad y telecomunicaciones fueron afectadas. Las réplicas produjeron caídas de rocas en los acantilados cercanos al mar.
- 3) Las carreteras fueron afectadas parcialmente. Debido a la topografía relativamente plana del terreno por el cual se extiende la Panamericana Sur, no registró daños considerables durante este evento, habiéndose observado desprendimiento de bloques y caída de rocas en zonas con taludes muy empinados. Carretera de penetración PE-32, sufrió algunos daños por caída de rocas sobre la carpeta asfáltica, mientras que la carretera PE-151 estuvo interrumpida en algunos tramos debido a la caída de material en zonas con pendientes muy empinadas.
- 4) Puntos de captación de agua para consume humano y regadío fueron también afectadas por la caída de rocas que bloquearon y rompieron sistemas de conducción (tuberías) provocando el desabastecimiento en varias localidades.
- 5) Las viviendas y construcciones más afectadas fueron aquellas construidas con adobe y material rústico (quincha y piedras). En muchos casos estas construcciones colapsaron dejando sin vivienda a varias familias. Las localidades donde se observaron más daños en viviendas son: Atiquipa, Santa Rosa, Yauca, Acarí, Bella unión y centros poblados aledaños. Las viviendas construidas con material noble, fueron también muy afectadas en las localidades mencionadas.
- 6) Los centros de salud (anexo de San Luis) y centros educativos. Además de edificios de uso comunal, fueron también muy afectados, requiriendo una urgente rehabilitación. En el caso del centro de salud del Anexo de San Luis (Lucanas-Ayacucho) el centro de salud se encuentra colapsado y los profesionales vienen atendiendo en carpas, lo cual, debido a las altas temperaturas y el desabastecimiento de agua crea condiciones insalubres para las personas.
- 7) Los pobladores indican que el sacudimiento fue de forma vertical, provocando que las personas no pudieran mantenerse en pie. La mayoría de las personas heridas fueron a causa de este fenómeno, puesto que no pudieron salir rápidamente de sus viviendas y sufrieron cortes por vidrios y caída de paredes.

- 8) En la inspección se observó que las zonas más afectadas se encuentran asentadas sobre depósitos de abanicos aluviales, lo cual comprueba que estas zonas, con material no consolidado y humedad del suelo, son los más impactados por la propagación de las ondas sísmicas (amplificación de ondas). En comparación, la localidad de Lomas, que se encuentra más cercana al epicentro no sufrió daños comparables con los ocasionados en Yauca, Atiquipa, Acarí o Bella Unión; puesto que, la mayor parte del centro urbano (Lomas) se encuentra construido sobre roca maciza.

- 9) Durante la entrevista con los profesionales de salud, educación y pobladores, se evidenció que es necesario el apoyo psicológico y principalmente, la sensibilización frente a estos fenómenos geológico, pues, a pesar de haber sido impactados por varios eventos sísmicos, aún las personas no se encuentran preparadas para actuar durante la emergencia. Se evidenció también, la poca organización de los comités de defensa civil dentro de las municipalidades, lo cual hace que la gestión antes, durante y después de la emergencia sea muy deficiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Bellido, E. y Narváez E. (1960). Geología del cuadrángulo de Atico: (hoja 33-o). Comisión de la Carta Geológica Nacional, 59 p.
- Caldas, J. (1978). Geología de los Cuadrángulos de San Juan, Acarí y Yauca. Hojas: (31-m, 31-n, 32-n). Boletín N° 30. INGEMMET, 80 p.
- Olchanski, E. (1980). Geología de los Cuadrángulos de Jaquí, Coracora, Chala y Chaparra, hojas: 31-ñ, 31-o, 32-ñ y 32-o. Boletín N° 34, Serie A, Carta Geológica Nacional. INGEMMET, 88 p.
- Tavera, H., et al (2013). Sismo de Yauca-Acarí del 25 de septiembre del 2013 (7.0 Mw) - Arequipa. Aspectos Sismológicos. Informe técnico N 03-2013. IGP. 21 p.
- Tavera, H. (2018). Sismo de Lomas – Yauca del 14 de enero del 2018 (Caravelí – Arequipa), Aspectos Sismológicos. Informe técnico. IGP, 17 p.
- Zavala, B., Valderrama, P., Antayhua, Y. (2007). Procesos geológicos co-sísmicos e instrumentación sísmica efectuada en zonas afectadas el sismo de Pisco del 15/08/2007. Informe técnico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico-INGEMMET. 69 p.

ANEXOS

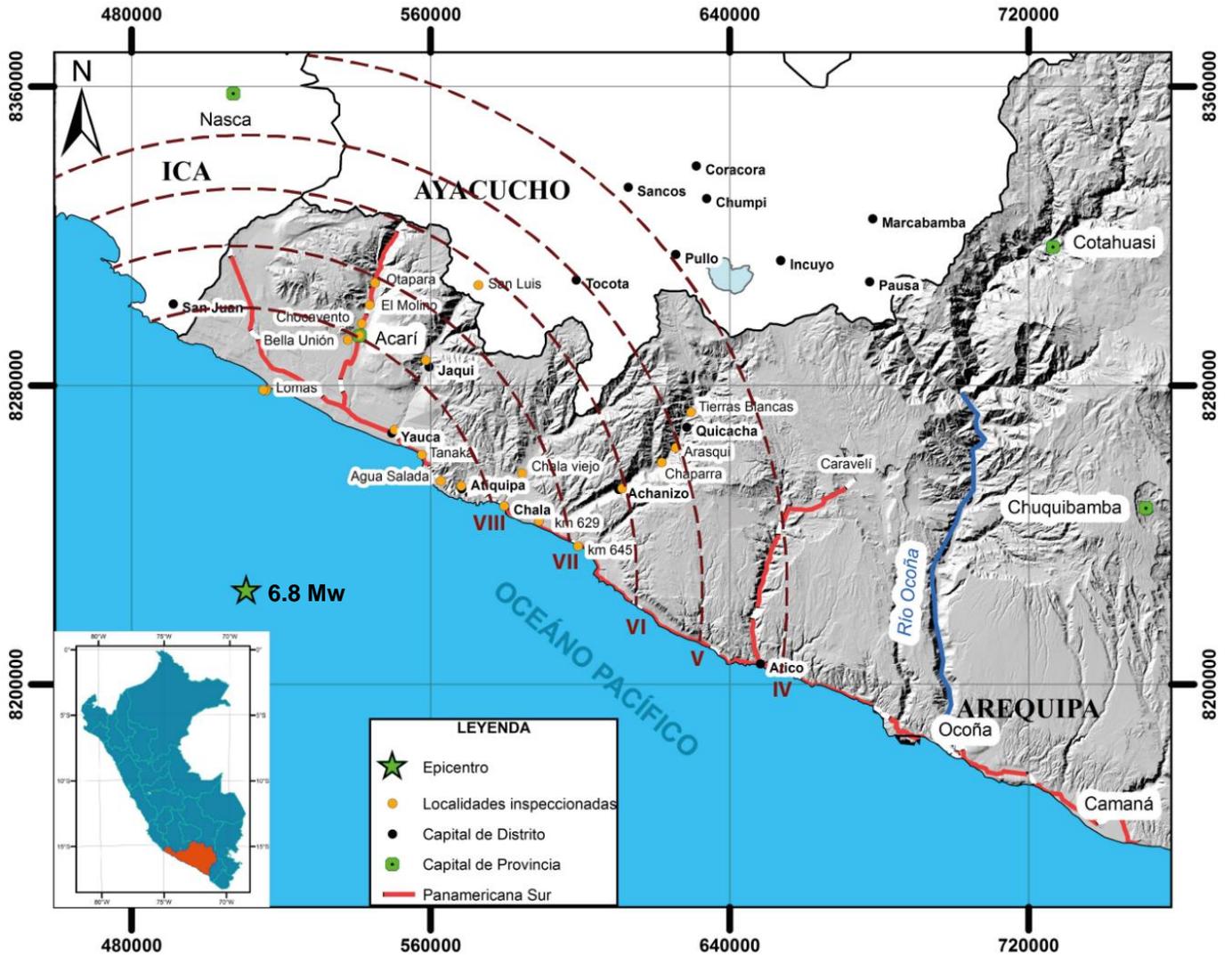


Figura 25. Mapa ubicación del epicentro de sismo del 14 de enero del 2018. Las líneas guinda entrecortadas muestran las curvas isosistas que representan las intensidades con valores considerados a partir de los efectos observados según fichas INQUA.

Ejemplos de fichas INQUA con los datos y observaciones realizadas en campo



INQUA

Earthquake
Environmental
Effects

EEE
Scale

Hoja 1: Generalidades

Terremoto

Región Arequipa Hora UTC 09:18 Intensidad Epicentral MM EMS MSK JMA

Magnitud MI Ms (Mb) Mw 6.8 Profundidad focal 26 km Instituto que proporciona la fuente IGP

Latitud -16.052° Longitud -74.903° Sistema de referencia cartográfica Geográfica

Punto de observación

N° 16 Fecha/hora 21/01/2018 Observador R.A., N.F. Localidad Yauca - Jaquí

UTM 18S84 Lat 8286831 Long 558693 Km del epicentro 245 msnm Intensidad Local MM EMS PGA lugar Foto S N

Localización Geomorfológica: a) talud de montaña b) valle intermontano c) talud de colina d) abanico aluvial e) terraza aluvial
 f) delta g) llanura aluvial h) pantano, estero i) acantilado de mar / río j) margen de río / lago k) costa marina/lacustre l) llanura
 árida-semiárida m) desierto n) Otros: _____

Breve descripción Zona de abanico aluvial con material no consolidado (grava, arena..)

Efectos principales del terremoto: a) daños colapsos de edificios solo múltiples edificios; b) puente c) viaducto
 d) túnel e) ferrocarril f) Autopista g) asfaltada no asfaltada

Efectos ambientales

Geológicos Origen: tectónica sacudimiento del terreno neo-formaciones reactivaciones

a) fallamiento superficial b) fracturas abiertas en el substrato rocoso c) fracturas en el terreno d) movimiento del talud e)
 sumidero por desplome (sinkhole) f) asentamiento del terreno g) licuefacción h) extensión lateral i) cambios en el manantial,
 vertiente, pozos de agua l) emisión de gas m) movimiento de masas sobre superficie no inclinada

Otros Caída de bloques semiconsolidados sobre carretera

No geológicos a) ruido b) emisión de luz c) efectos sobre la vegetación: hierba quemada árboles rotos ramas rotas
caídas de frutas...

Breve descripción _____

Litología afectada

Rocas a) intrusiva b) metamórfica c) volcánica lava roca piroclástica d) sedimentaria: lutita, arcillolita arenisca
conglomerados calcáreos sal de roca

Estructura compacta sumi-coherente pseudo-coherente esquistosa masiva estratificada

Sedimento incoherente a) suelo b) arcilla c) limo d) arena e) gravas f) coluvial de talud g) terreno de relleno

Notas _____

Frecuencia de efectos observados

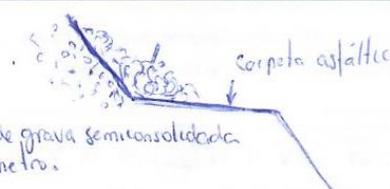
a) Solo b) Múltiples Número _____ sobre una superficie de Varías km² **Anteriores terremotos:** a) Ya observados /
 activados b) Nunca observados durante anteriores eventos sísmicos

Máxima dimensión: longitud _____ m ancho _____ m área _____ m² volumen _____ m³

Dimensión promedio: longitud _____ m ancho _____ m área _____ m² volumen _____ m³

Nota _____

Diseño



PE 151
Km + 25

Se observan bloques de grava semiconsolidada de hasta 3 m de diámetro.



Fallamiento superficial

rumbo _____ inclinación _____
Tipo de movimiento: a) Normal b) Inversa c) Oblicua d) Desplazamiento de rumbo dextral e) Desplazamiento de rumbo sinistral
 Longitud total ____ km – n° de segmentos ____ a) Alineados b) En-echelon dextral c) En-echelon sinistral
Desplazamiento máx. (lateral): vertical ____ cm horizontal ____ cm **Desplazamiento medio:** vertical ____ cm horizontal ____ cm
Elementos dislocados _____ **Escarpe:** a) Sola b) Múltiple **Otros fenómenos:** a) flexión del terreno b) rotura por tracción c) hundimiento por gravedad a lo largo de la falla.
 Nota _____

Rotura del terreno

Tipo: Fractura rumbo _____ inclinación _____ Desplazamiento ____ cm sentido del desplazamiento _____
 Longitud máxima ____ m - número de fracturas _____ sobre una distancia de ____ m – máxima abertura ____ cm
Forma: a) rectilínea b) sinuosa c) curvilínea _____
Posible origen: a) fallamiento superficial / tectónica b) deslizamiento, derrumbe c) asentamiento del terreno d) despegue
 Nota _____

Movimiento del talud

Rápido: a) caída de roca/detrito b) rodamiento de roca/detrito c) deslizamiento de roca/detrito d) avalancha e) deslizamiento de fango f) colada (flujo) de detritos g) colada de tierra h) colada de fango
Lento: i) lento deslizamiento j) colada lenta de tierra k) colada lenta de fango
Otros: l) extensión lateral m) DGPV (Deformación de Gravedad Profunda del Talud) n) _____
 Máxima dimensión de bloques ____ m³ sobre una distancia de ____ m – Volumen total ____ m³ _____
Humedad: a) muy húmedo; b) moderada húmedo c) ausencia de humedad **Edad:** a) muy viejo b) reciente c) nuevo
Actividad: a) primera activación b) ya activa parcialmente totalmente c) estático retraso para la manifestación del movimiento respecto al evento sísmico ____ hora

Asentamiento del terreno - colapso

Tipo: a) licuefacción b) compactación c) expansión lateral d) subsidencia e) levantamiento f) colapso g) otro _____
 Diámetro máximo ____ m – Número de efectos ____ sobre una distancia de ____ m – Máxima subsidencia/levantamiento ____ cm
Forma: a) redonda b) elíptica c) alongada d) cuadrada _____ cónica positiva/negativa
Humedad: a) alta b) moderada c) ausencia de humedad
Profundidad: del nivel freático ____ m *Expulsión de agua Expulsión de arena (volcán de arena)*
Velocidad: a) extremadamente lenta b) muy lenta c) lenta d) moderadamente rápida e) rápida
Tiempo: retraso / anticipación respecto al evento sísmico ____ hora
 Nota _____

Anomalia hidrológica

Efectos: a) rebasamiento b) secamiento de manantial c) aparición de manantial d) ola, onda; e) fuente de agua f) variación del nivel freático: g) tasa, proporción de descarga h) temperatura i) química; j) turbidez del *manantial río lago pozo fuente acueducto*. **Otros** _____
 Variación de la temperatura ____ C° – Variación de la descarga ____ l/s
 Variación composición química _____ - Variación: Permanente/Temporánea de duración ____ hora
Tsunami: máxima altura ola ____ m longitud ____ m Longitud de costa afectada ____ km
Velocidad: a) extremadamente lenta b) muy lenta c) lenta d) moderadamente rápida e) rápida
Tiempo: a) retraso b) anticipación respecto a la manifestación del evento sísmico ____ hora
 Nota _____

Intensidad atribuida IV V VI **VII** VIII IX X XI XII

Basada principalmente en la Escala INQUA u otras escalas de Intensidad _____



Hoja 1: Generalidades

Terremoto

Región Arequipa Hora UTC 09:18 Intensidad Epicentral MM EMS MSK JMA
 Magnitud MI Ms Mb Mw 6.8 Profundidad focal 26 km Instituto que proporciona la fuente IGP
 Latitud -16.052° Longitud -74.903° Sistema de referencia cartográfica Geografica

Punto de observación

N° 19 Fecha/hora 21/01/2018 Observador R.A. N.M. Localidad Son Luis - Soncos, Lucanas, Ayacucho
 Lat 8.304560 Long 570999 Km del epicentro 544 m Intensidad Local MM EMS PGA lugar Foto S N

Localización Geomorfológica: a) talud de montaña b) valle Intermontano c) talud de colina d) abanico aluvial e) terraza aluvial
 f) delta g) llanura aluvial h) pantano, estero i) acantilado de mar / río j) margen de río / lago k) costa marina/lacustre l) llanura
 árida-semiárida m) desierto n) Otros:

Breve descripción Roca mayormente fracturada con cobertura detritica, en fuerte pendiente

Efectos principales del terremoto: a) daños colapsos de edificios solo múltiples edificios; b) puente c) viaducto
 d) túnel e) ferrocarril f) Autopista g) asfaltada no asfaltada

Efectos ambientales

Geológicos Origen: tectónica sacudimiento del terreno neo-formaciones reactivaciones

a) fallamiento superficial b) fracturas abiertas en el substrato rocoso c) fracturas en el terreno d) movimiento del talud e)
 sumidero por desplome (sinkhole) f) asentamiento del terreno g) licuefacción h) extensión lateral i) cambios en el manantial,
 vertiente, pozos de agua l) emisión de gas m) movimiento de masas sobre superficie no inclinada
 Otros

No geológicos a) ruido b) emisión de luz c) efectos sobre la vegetación: hierba quemada árboles rotos ramas rotas
caídas de frutas...

Breve descripción Movimiento sísmico con sacudimiento brusco-repetitivo

Litología afectada

Rocas a) intrusiva b) metamórfica c) volcánica lava roca piroclástica d) sedimentaria: lutita, arcillolita arenisca
conglomerados calcáreos sal de roca

Estructura compacta sumi-coherente pseudo-coherente esquistosa masiva estratificada

Sedimento incoherente a) suelo b) arcilla c) limo d) arena e) gravas f) coluvial de talud g) terreno de relleno

Notas Cobertura de material detritico en pendiente abrupta

Frecuencia de efectos observados

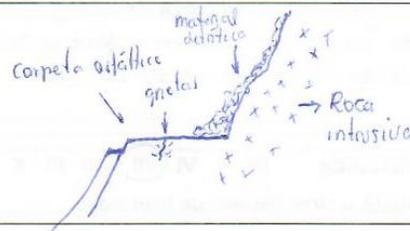
a) Solo b) Múltiples Número Yanos sobre una superficie de _____ km² **Anteriores terremotos:** a) Ya observados /
 activados b) Nunca observados durante anteriores eventos sísmicos

Máxima dimensión: longitud _____ m ancho _____ m área _____ m² volumen _____ m³

Dimensión promedio: longitud _____ m ancho _____ m área _____ m² volumen _____ m³

Nota Fracturamiento de carpeta asfáltica (centro y bordes), y caída de material no consolidado.

Diseño



carpeta asfáltica con grietas
de hasta 30 cm de ancho o
lo largo de ~100 m.
PE. 957 + Km 49.



Hoja 2: Detalles

Fallamiento superficial

rumbo _____ inclinación _____

Tipo de movimiento: a) Normal b) Inversa c) Oblicua d) Desplazamiento de rumbo dextral e) Desplazamiento de rumbo sinistral

Longitud total _____ km – n° de segmentos _____ a) Alineados b) En-echelon dextral c) En-echelon sinistral

Desplazamiento máx. (lateral): vertical _____ cm horizontal _____ cm Desplazamiento medio: vertical _____ cm horizontal _____ cm

Elementos dislocados _____ Escarpe: a) Sola b) Múltiple Otros fenómenos: a) flexión del terreno b) rotura por tracción c) hundimiento por gravedad a lo largo de la falla.

Nota _____

Rotura del terreno

Tipo: Fractura rumbo _____ inclinación _____ Desplazamiento _____ cm sentido del desplazamiento _____

Longitud máxima _____ m - número de fracturas _____ sobre una distancia de _____ m – máxima abertura _____ cm

Forma: a) rectilínea b) sinuosa c) curvilínea _____

Posible origen: a) fallamiento superficial / tectónica b) deslizamiento, derrumbe c) asentamiento del terreno d) despegue

Nota *se observan grietas en carpeta asfáltica*

Movimiento del talud

Rápido: a) caída de roca/detrito b) rodamiento de roca/detrito c) deslizamiento de roca/detrito d) avalancha e) deslizamiento de fango f) colada (flujo) de detritos g) colada de tierra h) colada de fango

Lento: i) lento deslizamiento j) colada lenta de tierra k) colada lenta de fango

Otros: l) extensión lateral m) DGPV (Deformación de Gravedad Profunda del Talud n) _____

Máxima dimensión de bloques _____ m³ sobre una distancia de _____ m – Volumen total _____ m³ _____

Humedad a) muy húmedo; b) moderada húmedo c) ausencia de humedad Edad a) muy viejo b) reciente c) nuevo

Actividad a) primera activación b) ya activa parcialmente totalmente c) estático retraso para la manifestación del movimiento respecto al evento sísmico _____ hora

Asentamiento del terreno - colapso

Tipo: a) licuefacción b) compactación c) expansión lateral d) subsidencia e) levantamiento f) colapso g) otro _____

Diámetro máximo _____ m – Número de efectos _____ sobre una distancia de _____ m – Máxima subsidencia/levantamiento _____ cm

Forma: a) redonda b) elíptica c) alongada d) cuadrada _____ cónica positiva/negativa

Humedad: a) alta b) moderada c) ausencia de humedad

Profundidad: del nivel freático _____ m Expulsión de agua Expulsión de arena (volcán de arena)

Velocidad: a) extremadamente lenta b) muy lenta c) lenta d) moderadamente rápida e) rápida

Tiempo retraso / anticipación respecto al evento sísmico _____ hora

Nota _____

Anomalía hidrológica

zona desértica, no hay almacenamiento de agua

Efectos: a) rebasamiento b) secamiento de manantial c) aparición de manantial d) ola, onda; e) fuente de agua f) variación del nivel freático: g) tasa, proporción de descarga h) temperatura i) química; j) turbidez del manantial río lago pozo fuente acueducto. Otros _____

Variación de la temperatura _____ C° – Variación de la descarga _____ l/s

Variación composición química _____ - Variación: Permanente/Temporánea de duración _____ hora

Tsunami: máxima altura ola _____ m longitud _____ m Longitud de costa afectada _____ km

Velocidad: a) extremadamente lenta b) muy lenta c) lenta d) moderadamente rápida e) rápida

Tiempo: a) retraso b) anticipación respecto a la manifestación del evento sísmico _____ hora

Nota _____

Intensidad atribuida IV V VI **VII** VIII IX X XI XII

Basada principalmente en la Escala INQUA u otras escalas de Intensidad _____