

BREVE HISTORIA DEL FENÓMENO DE LICUACIÓN DE SUELOS EN EL PERÚ

Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado ⁽¹⁾

RESUMEN

Se presenta la información disponible sobre el fenómeno de licuación de suelos en el Perú debido a la acción sísmica y su representación en un mapa de áreas de licuación de suelos. Este trabajo ha sido elaborado como parte del proyecto SISRA (Sismicidad de la Región Andina), patrocinado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur, CERESIS. El objetivo del Grupo de Evaluación del Peligro Sísmico de dicho proyecto era confeccionar mapas de intensidades máximas en la escala Mercalli Modificada, de licuación de suelos y de deslizamientos producidos por sismos en la región andina. En este artículo se presenta el mapa de licuación de suelos para el Perú.

El mapa de áreas de licuación de suelos está dibujado a la escala 1:5'000,000 y presenta distinciones entre casos de licuación seguros y probables, de acuerdo a la interpretación de la información disponible en la literatura. Toda la documentación que presenta evidencias del fenómeno de licuación, tales como la formación de pequeños volcanes de barro y arena, la expulsión violenta de agua del suelo, la presencia de intenso agrietamiento y los asentamientos diferenciales debido a la acción sísmica, ha sido detallada en este artículo.

INTRODUCCIÓN

El Grupo de Evaluación del Peligro Sísmico del Proyecto SISRA (Sismicidad de la Región Andina), patrocinado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS), se fijó como objetivo obtener un producto final que expresara de alguna manera niveles relativos del peligro sísmico y que fuera homogéneo para la región andina. Se tomó en cuenta el desarrollo alcanzado en cada país en esta clase de estudios y el tiempo disponible para ejecutar el trabajo. El resultado final en común con los países andinos consistió en confeccionar mapas regionales a partir de los antecedentes históricos, graficando intensidades máximas, áreas de licuación de suelos y zonas de deslizamiento asociadas a terremotos.

(1) Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.

El mapa de intensidades máximas en la escala Mercalli Modificada para el Perú, que representa los niveles de daños alcanzados sin distinguir si tales daños se debieron a la vibración del suelo, licuación o deslizamientos, ha sido presentado por Alva Hurtado y Torres Cabrejos (1983). El mapa de áreas de licuación de suelos presentado en este artículo se realizó para completar la información condensada en el mapa de intensidades máximas, con la correspondiente al fenómeno de licuación de suelos ocasionado por terremotos y documentar la ocurrencia del fenómeno de licuación en el Perú.

DOCUMENTACIÓN BÁSICA

Se estudió detalladamente la información disponible sobre sismos peruanos (Alva Hurtado, 1981), recopilando la información histórica y del presente siglo referente al fenómeno de licuación de suelos. Se trató de encontrar evidencias sobre este fenómeno, tales como la formación de pequeños volcanes de barro y arena, la expulsión violenta de agua del suelo, la presencia de intenso agrietamiento del terreno, los asentamientos diferenciales, la pérdida de capacidad portante y el hundimiento de estructuras, la pérdida de resistencia de taludes y terraplenes y la pérdida de resistencia lateral de pilotes y caissons durante los terremotos. La literatura sobre sismos peruanos que señala la ocurrencia del fenómeno de licuación de suelos se presenta en la lista de referencias.

Se distinguió entre casos de licuación de suelos seguros y probables. La distinción la realizó el autor, en base a la literatura existente. Los casos probables son por lo general aquellos asociados a sismos históricos y a sismos recientes, en los que la descripción del fenómeno de licuación de suelos no era muy detallada. En el mapa de áreas de licuación de suelos se incluye el nombre de la localidad y el año en que se produjo el fenómeno, así como la red hidrográfica nacional.

BREVE HISTORIA DEL FENÓMENO DE LICUACIÓN

22 de Enero de 1582

Silgado (1978), basado en la obra de Fray Víctor Barriga, "Los Terremotos de Arequipa", indica un terremoto que dejó en ruinas a la ciudad de Arequipa. Después del mismo toda la ciudad quedó anegada por la mucha agua que corrió por sus calles, probablemente debido al asentamiento y compresión de la napa freática. En la costa se sumergió un arroyo de agua que entraba al Puerto de Islay. También se referencia este fenómeno en la Historia del Perú del Padre Rubén Vargas Ugarte, S.J. La máxima intensidad de este sismo fue de X MM.

14 de Febrero de 1619

Terremoto en el norte del Perú, que arruinó los edificios de Trujillo. Silgado (1978) refiere la crónica del Padre Calancha que indica que se agrietó la tierra en varias partes, de las cuales surgió un lodo negruzco. Además Feijoo decía que el "material viscoso y pestilente expelido envuelto en agua gredosa de que se formaron ríos que corrieron por las campiñas de la Villa del

Santa, el de Barranca y otros, tiñeron sus corrientes con tal maligna inundación". De los relatos se desprende que hubo otros efectos en las vertientes, en algunos lechos secos de ríos apareció agua, mientras que en otros riachuelos el agua dejó de correr. La máxima intensidad de este sismo fue de IX MM.

31 de Marzo de 1650

Terremoto en el Cuzco que derribó todos los templos y la mayor parte de las edificaciones. Según Silgado (1978), la tierra se agrietó en varios lugares, observándose disturbios en el nivel freático de las aguas de escorrentía cerca del pueblo de Oropesa. La máxima intensidad de este sismo fue de IX MM.

12 de Mayo de 1664

Terremoto en Ica. Silgado (1978) refiere el relato del cura de la Iglesia Parroquial de San Jerónimo, Licenciado Cristóbal Rodríguez Alvarez: "otra vez abrióse la tierra por muchas partes, en los montes y campos se desunía la tierra formando abras y horribles profundidades que parecían bocas para tragarnos. Corrió el río en más de seis riegos de agua, rebosaron algunos pozos de la ciudad, arrancándose de raíz muchos y grandísimos árboles, sauces y espinos". La máxima intensidad de este sismo fue de X MM.

10 de Febrero de 1716

Terremoto en Pisco que La Barbinais relata: "al cuarto de hora tembló de nuevo la tierra, que abriéndose en algunos lugares, expelió chorros de polvo y agua con ruido pavoroso" (Silgado, 1978). La máxima intensidad de este sismo fue de IX MM.

28 de Octubre de 1746

Terremoto en Lima y tsunami en el Callao. Bachmann (1935) indica que "en la quebrada mineral del río Viseca, de la Provincia de Lucanas, se abrió la tierra y salieron sabandijas; reventando también un volcán de agua caliente que lo inundó todo. En las Misiones de Cajamarquilla de los Franciscanos, en Patataz, reventaron dos volcanes de cieno y lodo". La máxima intensidad de este sismo fue de X MM.

1747

Toribio Polo en su "Sinopsis de los Temblores y Volcanes del Perú" señala que en dicho año ocurrió un fuerte sismo, que por haberse producido en una región apartada de Puno no se pudo obtener fecha. Se sabe que ocasionó grandes destrozos en Ayapata, provincia de Carabaya; agua cenagosa brotó de la tierra y pereció mucha gente (Silgado, 1978). La máxima intensidad de este sismo fue de VIII MM.

30 de Marzo de 1813

Silgado (1978) refiere un terremoto en Ica que destruyó casas y templos, muriendo 32 personas. Se formaron grandes grietas en el cauce del río, del cual surgió gran cantidad de lodo. La máxima intensidad de este sismo fue de VII MM.

20 de Agosto de 1857

Silgado (1978) indica un fuerte sismo en Piura que destruyó muchos edificios. Se abrió la tierra, de la cual emanaron aguas negras. Daños menores en el puerto de Paita. La máxima intensidad de este sismo fue de VIII MM.

13 de Agosto de 1868

Terremoto acompañado de tsunami en Arica. Silgado (1978) refiere el relato de Toribio Polo: "Agrietamientos del suelo se observaron en varios lugares, especialmente en Arica, de los que brotó agua cenagosa". Bachmann (1935) reporta que en Sama y Locumba se perdió gran parte de las cosechas y la tierra se abrió a trechos en hondas grietas que vomitaban agua cenagosa. La máxima intensidad de este sismo fue de XI MM.

24 de Julio de 1912

Terremoto en Piura y Huancabamba. En el cauce seco del río Piura se formaron grietas con surgencia de agua, otros daños afectaron el terraplén del ferrocarril. En el puerto de Paita se produjeron agrietamientos del suelo (Silgado, 1978). La máxima intensidad de este sismo fue de VIII MM.

24 de Diciembre de 1937

Terremoto en las vertientes orientales de la Cordillera Central. Afectó los pueblos de Huancabamba y Oxapampa. Silgado (1978) indica que en el Fundo Victoria se abrió una grieta de la que emanó abundante cantidad de agua que arrasó corpulentos árboles, aumentando el caudal del río Chorobamba. La máxima intensidad de este sismo fue de IX MM y la magnitud fue de $M_s = 6.3$.

24 de Mayo de 1940

Terremoto en la ciudad de Lima y poblaciones cercanas. Valencia (1940) reporta que en el Callao quedaron efectos del sismo, sobretodo en terrenos formados por relleno hidráulico. En estas zonas el terreno se agrietó y brotó a la superficie masas de lodo semilíquido. Las grietas del terreno atravesaron algunas construcciones. La máxima intensidad de este sismo fue de IX MM y su magnitud fue de $M_s = 8.0$.

6 de Agosto de 1945

Fuerte temblor en la ciudad de Moyobamba y alrededores. De acuerdo a Silgado (1946), se formaron algunas grietas en la quebrada de Shango. Posteriormente, el temblor del día 8 produjo nuevas grietas vecinas a las primeras, una de ellas semicircular de 15 m. de diámetro y 4 cm. de separación, de las cuales emanaron aguas cargadas de limo durante dos días. Las grietas se presentaron también en los bordes de los barrancos en Tahuisco, cerca del río Mayo y en la quebrada Azungue. A unos cinco km. de los baños sulfurosos y a diez km. de la ciudad se había producido la aparición de nuevos manantiales. La máxima intensidad de este sismo fue de VII MM.

28 de Mayo de 1948

Fuerte sismo destructor en Cañete. En las inmediaciones del lugar denominado Calavera se produjeron varios deslizamientos en terrenos pantanosos. En las faldas del Cerro Candela se formaron grietas, observándose en el lugar pequeños derrumbes debido a la saturación del terreno (Silgado, 1978). La máxima intensidad de este sismo fue de VII MM y su magnitud fue de $M_s = 7.0$.

21 de Mayo de 1950

Terremoto en la ciudad del Cuzco. Silgado, Fernández-Concha y Ericksen (1952) notaron en el lado sur del Valle, al sureste del pueblo de San Sebastián, una zona de extensa fisuración. También observaron dos pequeñas fracturas en una zona pantanosa situada a 300 m. al sur de San Sebastián, de las cuales surgió agua y arena durante el terremoto. Los hoyos producidos por la eyección tenían cerca de 2 m. de diámetro y la arena alrededor de la fractura un espesor de 1 a 2 cm. Durante el movimiento sísmico estas fracturas y otras producidas a lo largo del cerro, vertieron chorros de agua que alcanzaron 1 a 2 m. de altura. El nivel de la napa freática se levantó en el lado sur del Valle. Areas que habían estado casi secas antes del terremoto, aparecieron cubiertas con 10 a 40 cm. de agua, semana y media después del sismo. El agua en un pozo de la Hacienda San Antonio subió a 1.80 m. por encima de su nivel normal, después del terremoto. La máxima intensidad de este sismo fue de VII MM y su magnitud fue de $M_s = 6.0$.

9 de Diciembre de 1950

Fuerte temblor en Ica. En el Fundo La Vela se produjeron algunas pequeñas grietas en el terreno de sembrío, de los cuales se dice, salió agua hasta unas horas después del sismo (Silgado, 1951). La máxima intensidad del sismo fue de VII MM y su magnitud de $M_s = 7.0$.

12 de Diciembre de 1953

Un fuerte y prolongado movimiento sísmico afectó la parte noroeste del Perú y parte del territorio ecuatoriano. Silgado (1957) indicó que se produjeron grietas largas en los terrenos húmedos. Se apreciaron eyecciones de lodo en la quebrada de Bocapán, en los esteros de Puerto Pizarro y en otros lugares. En Bocapán, que había estado seco antes del movimiento, corrió momentáneamente agua a causa de los surtidores. En Puerto Pizarro se originaron chorros de agua de 60 cm. de altura y grietas. La máxima intensidad de este sismo fue de VIII MM y su magnitud fue de $M_s = 7.8$.

15 de Enero de 1958

Terremoto en Arequipa. Silgado (1978) indicó agrietamiento del terreno cerca de la zona de Camaná, con eyección de aguas negras. La máxima intensidad del sismo fue de VIII MM y su magnitud fue de $M_s = 7.0$.

17 de Octubre de 1966

La ciudad de Lima fue estremecida por un sismo. En la Hacienda San Nicolás, a 156 km. al norte de Lima, aparecieron numerosas grietas y de varias de ellas surgió agua de color amarillo (Silgado, 1978). La máxima intensidad de este sismo fue de VIII MM y su magnitud fue de $m_b = 6.3$.

19 de Junio de 1968

Terremoto en Moyobamba. Kuroiwa y Deza (1968) describieron agrietamientos del suelo, surgimiento de arena y agua por las grietas y grandes deslizamientos de tierra en la región epicentral. Los fenómenos de agrietamientos y surgimiento de agua fueron los más numerosos, especialmente a lo largo de las márgenes del río Mayo. Martínez Vargas (1969) presentó vistas del afloramiento de arenas en forma de conitos de 10 a 20 cm. de diámetro producidos por el fenómeno de licuación en la terraza de Moyobamba. La máxima intensidad de este sismo fue de VIII MM y su magnitud fue de $M_s = 6.9$.

31 de Mayo de 1970

Terremoto que afectó todo el departamento de Ancash y sur de La Libertad. Ericksen et al (1970) y Plafker et al (1971) indicaron que en Casma, Puerto Casma y en zonas cercanas al litoral en Chimbote, se produjo desplazamiento lateral del terreno causado por licuación de depósitos deltaicos y de playa, ocasionando grietas en el terreno que derrumbaron las estructuras que las cruzaron. Las áreas más extensas de volcanes de arenas se formaron a lo largo del río Casma, entre Casma y Puerto Casma. Los volcanes tenían un cráter central de unos cuantos centímetros a 1 m. de diámetro, cercados por un montículo de arena y limo de hasta 15 m. de diámetro. Se produjeron eyecciones de agua de un metro de altura. La zona central de Chimbote fue evidentemente un área de licuación de suelos, así como de compactación diferencial de la cimentación. El puente de Casma fue dañado por licuación de la cimentación de los estribos. En Chimbote y Casma y a lo largo de la Carretera Panamericana se notaron subsidencias superficiales producto de la licuación. La sección residencial de Puerto Casma mostró evidencias de asentamientos y eyección de agua. Cluff (1971) reportó fallas del terreno en Chimbote debido a depósitos de playa saturados y sueltos. En Casma se produjo compactación diferencial y desplazamiento lateral del terreno debido a licuación. Se produjeron inundaciones del terreno por agua freática, debido a la compactación diferencial. En muchas áreas se produjeron volcanes de arenas y eyección de agua por existir nivel freático alto. Berg y Husid (1973) indicaron evidencia de licuación de suelos en la cimentación del Colegio Mundo Mejor, en Chimbote. Carrillo (1970) indicó descensos en los terraplenes de acceso de casi todos los puentes de la Carretera Panamericana y asentamientos en las plataformas del Terminal Marítimo de Chimbote. También se presentó evidencias del fenómeno de licuación en los depósitos de arenas saturadas en la calle Elías Aguirre en Chimbote y en el km. 380 de la Carretera Panamericana, cerca de Samanco. Corporación Hidrotécnica y C. Lotti (1979) reportaron licuación generalizada en Puerto Casma, produciendo agrietamientos de suelo y eyecciones de agua con arena. En Chimbote se produjeron numerosos casos de licuación y

Puerto Casma se inundó totalmente. Morimoto et al (1971) describieron el fenómeno de licuación de suelos en la ciudad de Chimbote. En la zona pantanosa se produjo licuación generalizada, con grietas debido a compactación diferencial; y en la zona aluvial licuación subsuperficial con grietas y volcanes de arena. La máxima intensidad del sismo fue de IX MM y su magnitud fue de $M_s = 7.8$.

9 de Diciembre de 1970

Terremoto en el noroeste del Perú. En el área de Querecotillo en terraza fluvial y aluvial se formó un sistema de grietas en echelón, de longitud de 500 m. con aberturas de 0.30 m. y saltos de 0.25 m. Se notó efusión de arena formando sumideros de 0.60-1.00 m. de diámetro. Cerca al caserío La Huaca se agrietó el suelo, brotando arena y lodo. En Tumbes cerca al Puerto Cura, en las terrazas fluviales, se observó efusión de aguas negras acompañadas de arena que salieron a la superficie a través de grietas (Taype, 1971). La máxima intensidad de este sismo fue de IX MM y su magnitud fue de $M_s = 7.1$.

20 de Marzo de 1972

Sismo en el nororiente. Según Perales y Agramonte (1972), en el área urbana de Juanjuí se produjo el fenómeno de licuación de suelos con sumideros alineados de hasta 1 m. de diámetro. En la Carretera Marginal se produjeron asentamientos. Las aguas subterráneas variaron su nivel estático en más de un metro. Se inspeccionaron dos pozos de agua que al momento de la visita se encontraban secos y taponeados con arena. La máxima intensidad de este sismo fue de VIII MM y su magnitud fue de $M_s = 6.9$.

3 de Octubre de 1974

Terremoto en Lima. Según Huaco et al (1975) y Giesecke et al (1980), ocurrieron fenómenos locales de licuación en el valle de Cañete, donde el nivel freático es muy superficial. El fenómeno local más importante se encontraba en la Cooperativa La Quebrada, cubriendo un área de 30,000 m². Maggiolo (1975) indicó licuación generalizada en Tambo de Mora, asociada a una subsidencia o hundimiento, con densificación posterior a lo largo de 4 km. paralelos a la línea de playa. En la zona norte se desarrollaron eyecciones de agua con arena a través de volcanes de arena. Espinosa et al (1977) indicaron posibles asentamientos diferenciales en El Callao debido a licuación de suelos y Moran et al (1975) presentaron vistas de posible licuación en Ancón. La máxima intensidad del sismo fue de VIII MM y su magnitud fue de $M_s = 7.5$.

CONCLUSIONES

La revisión de la literatura indica que el fenómeno de licuación de suelos se ha producido en la Costa, Sierra y Selva Alta del Perú. Existe una mayor incidencia de dicho fenómeno en la Costa, que es donde la concentración de la población ha sido mayor y la sismicidad es más alta.

Se considera que el mapa de áreas de licuación de suelos presentado puede estar incompleto y no ser totalmente representativo de dicho fenómeno en el Perú. Se espera que en el futuro se realicen estudios adicionales que aporten nuevas evidencias sobre la ocurrencia de este fenómeno, que servirán para modificar o completar el mapa propuesto.

AGRADECIMIENTO

Se agradece el apoyo brindado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur para la ejecución de este trabajo, en especial a su director el Ing. Alberto Giesecke.

REFERENCIAS

1. Alva Hurtado, J. (1981), "Bibliografía sobre los Terremotos Peruanos: Aspectos Ingenieriles", El Ingeniero Civil, No. 15, pp 50-51, Lima, Perú.
2. Alva Hurtado, J. (1982), "Estudio del Potencial de Licuación del Suelo de Cimentación de las Obras del Proyecto Central Hidroeléctrica de Curumuy", Informe presentado a la Gerencia de Estudios de Electroperú.
3. Alva Hurtado, J. y Orihuela, P. (1982), "Estudio de Licuación y Amplificación Sísmica en Chimbote, Perú", IV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Chiclayo, Perú.
4. Alva Hurtado, J. y Torres Cabrejos, R. (1983), "Mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas en el Perú", Revista TECNIA de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
5. Bachmann, C.J. (1935), "Fenómenos Sísmicos Notables Habidos en Lima en los Cuatrocientos Años que tiene de Fundada", Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima, Tomo 4-D, Lima, Perú.
6. Berg, G.V. y Husid, R. (1973), "Structural Behavior in the 1970 Peru Earthquake", 5th. World Conference on Earthquake Engineering, Rome, Italy.
7. Carrillo Gil, A. (1970), "Algunas Apreciaciones del Comportamiento del Suelo en la Zona del Sismo de Ancash", II Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima, Perú.
8. Cluff, L.S. (1971), "Perú Earthquake of May 31, 1970, Engineering Geology Observations", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 61, No. 3, pp. 511-534.
9. Corporación Hidrotécnica y C. Lotti & Asociados (1979), "Estudio de Factibilidad del Sistema General de Abastecimiento de Agua Dulce a Bayóvar", Organismo de Desarrollo del Complejo de Bayóvar, ODECOB, Febrero.
10. Ericksen, G.E., Plafker, G. y Fernández-Concha, J. (1970), "Preliminary Report on the Geologic Events Associated with the May 31, 1970 Peru Earthquake", U.S. Geological Survey Circular 639.
11. Espinosa, A.F., Husid, R., Algermissen, S.T. y De las Casas, J. (1977), "The Lima Earthquake of October 3, 1974: Intensity Distribution", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 67, No.5, pp. 1429-1439.

12. Giesecke, A., Ocola, L. y Silgado, E. (1980), "El Terremoto de Lima del 3 de Octubre de 1974", Informe Preparado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur a UNESCO, Contrato SC/RP 601-013.
13. Huaco, D., Huaco, P. y Espejo, G. (1975), "Comportamiento del Suelo de Cañete Asociado al Sismo del 3 de Octubre de 1974", Reunión Andina de Seguridad Sísmica, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
14. Kuroiwa, J. y Deza, E. (1968), "Daños Causados en Moyobamba por el Sismo del 19 de Junio de 1968", Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
15. Maggiolo, O. (1975), "Algunos Aspectos de Mecánica de Suelos y Comportamiento de Construcciones durante el Sismo del 3 de Octubre de 1974", Reunión Andina de Seguridad Sísmica, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
16. Martínez Vargas, A. (1969), "Apreciaciones Geológicas de Campo sobre los Efectos del Terremoto del 19 de Junio de 1968 en Moyobamba y Alrededores del Nor-Oriente Peruano", Primer Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, pp. 107-116, Lima, Perú.
17. Moran, D., Ferver, G., Thiel, C. Jr., Stratta, J., Valera, J. y Wyllie, L. Jr. (1975), "Engineering Aspects of the Lima, Peru Earthquake of October 3, 1974", Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California.
18. Morimoto, R., Koizumi, Y., Matsuda, T., Hakuno, M. y Yamaguchi, I. (1971), "Seismic Microzoning of Chimbote Area, Peru", Overseas Technical Cooperation Agency, Government of Japan, March.
19. Perales, F. y Agramonte, J. (1982), "Reconocimiento Geotécnico entre Juanjuí y Moyobamba con Motivo del Sismo del 20 de Marzo de 1972", Servicio de Geología y Minería, Lima, Perú.
20. Plafker, G., Ericksen, G.E. y Fernández-Concha, J. (1971), "Geological Aspects of the May 31, 1970, Peru Earthquake", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 61, No. 3, pp. 543-578.
21. Silgado, E. (1946), "El Temblor Destructivo de Moyobamba del 6 de Agosto de 1945", Datos Sismológicos del Perú, Boletín 3, Instituto Geológico del Perú, pp. 29-38.
22. Silgado, E. (1952), "El Sismo del 9 de Diciembre de 1950", Datos Sismológicos del Perú 1949-1950, Boletín No. 4, Instituto Nacional de Investigación y Fomento Mineros, Ministerio de Fomento y Obras Públicas, pp. 47-51.

23. Silgado, E. (1957), "El Movimiento Sísmico del 12 de Diciembre de 1953", Anales del Primer Congreso Nacional de Geología, Parte II, Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Tomo 32, pp. 225-238.
24. Silgado, E. (1978), "Historia de los Sismos más Notables Ocurridos en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín No. 3 Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima, Perú.
25. Silgado, E., Fernández-Concha, J. y Ericksen, G.E. (1952), "El Terremoto del Cusco del 21 de Mayo de 1950", Datos Sismológicos del Perú 1949-1950, Boletín No. 4, Instituto Nacional de Investigación y Fomento Mineros, Ministerio de Fomento y Obras Públicas, pp. 27-46.
26. Taype, R.V., (1971), "Observaciones Geológicas de los Daños Producidos por el Sismo del 9 de Diciembre de 1970 en los Departamentos de Piura y Tumbes", Servicio Nacional de Geología y Minería, Lima, Perú.
27. Valencia, R. (1940), "El Terremoto del 24 de Mayo de 1940, sus Efectos y sus Enseñanzas", Revista de la Universidad Católica del Perú, Tomo VIII, pp. 294-329, Lima, Perú.

