

# UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



*Una Institución Adventista*

## **Factores que condicionan la generación del fenómeno de licuefacción en la zona de Chullunquiani - Juliaca**

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Civil

**Autores:**

Vilma Lizbeth Turpo Turpo

Luz Delia Lipa Soncco

**Asesor:**

Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona

Juliaca, diciembre de 2020

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura,  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“FACTORES QUE CONDICIONAN LA GENERACIÓN DEL FENÓMENO DE LICUEFACCIÓN EN LA ZONA DE CHULLUNQUIANI - JULIACA”** constituye la memoria que presenta los estudiantes Vilma Lizbeth Turpo Turpo y Luz Delia Lipa Soncco para obtener el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Civil, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 18 días del mes de diciembre del año 2020



---

Asesor:

Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 17 día(s) del mes de diciembre del año 2020, siendo las 17:00 horas,

se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a) : Ing. Juana Beatriz Aguirre Pari

secretario(a) : Ing. Herson Duberly Pari Busi y los demás miembros: Ing. Ruben Fitzgerald Sosa Aguirre

y el(la) asesor(a) Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: "Factores que condicionan la generación del fenómeno de licuefacción en la zona de Chullunquiani - Juliaca"

de los (las) egresados (as): a) Vilma Lizbeth Turpo Turpo b) Luz Delia Lipa Soncco

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en Ingeniería Civil (Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando a las candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por las candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Vilma Lizbeth Turpo Turpo

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Buena	Muy bueno

Candidato/a (b): Luz Delia Lipa Soncco

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Buena	Muy bueno

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó a los candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a

Secretary/a (with signature)

Asesor/a

Miembro

Miembro

Candidato/a (a)

Candidato/a (b)

# Factores que condicionan la generación del fenómeno de licuefacción en la zona de Chullunquiani - Juliaca

Vilma Lizbeth Turpo Turpo <sup>a1</sup>, Luz Delia Lipa Soncco <sup>a2</sup>

<sup>a</sup>EP. Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

---

## Resumen

El propósito de esta investigación es identificar los factores que condicionan una posible licuefacción de suelos en la zona de Chullunquiani - Juliaca. La licuefacción es el proceso de pérdida de resistencia de los suelos arenoso saturados y cuando estos son sometidos a un sismo fluyen como un líquido a causa del aumento de la presión. Este fenómeno es uno de los problemas más destructivos para las obras civiles, ocasionando asentamientos o colapsos. Ésta investigación analiza los factores geológicos, geotécnicos, topográficos y sísmicos, a partir de las referencias de estudios de mecánica de suelos realizados por la zona Chullunquiani - Juliaca y el mapa geológico del Perú. De acuerdo a la evaluación, los factores que se encontraron en la investigación son; el origen de depósito es aluvial, la granulometría que presenta son en su mayoría de arenas, la densidad relativa es  $< 67\%$ , el límite líquido es  $< 35\%$ , el nivel freático varía de 0.20m a 1.85m, la aceleración según la norma E-030 es de 0.35g y la topografía de la zona es plana, por lo tanto se concluye, según los factores que se encontraron en la zona Chullunquiani - Juliaca, se condiciona la generación del fenómeno de licuefacción con un potencial de medio a alto.

*Palabras clave:* Licuefacción; factores; geotécnicos; geológicos; topográficos; sísmicos

---

## Factors that condition the generation of the liquefaction phenomenon in the area of Chullunquiani - Juliaca

The purpose of this research is to identify the factors that condition a possible liquefaction of soils in the area of Chullunquiani - Juliaca. Liquefaction is the process of loss of resistance of saturated sandy soils and when these are subjected to an earthquake they flow as a liquid due to increased pressure. This phenomenon is one of the most destructive problems for civil constructions, causing settlements or collapses. This research analyzes the geological, geotechnical, topographic and seismic factors, based on the references of soil mechanics studies carried out by the Chullunquiani - Juliaca zone and the geological map of Peru. According to the evaluation, the factors found in the investigation are, the origin of the deposit is alluvial, the granulometry that presents are in their majority of sand, the relative density is  $< 67\%$ , the liquid limit is  $< 35\%$ , the phreatic level varies of 0.20m to 1.85m, the acceleration according to the E-030 norm is 0.35g and the topography of the zone is flat, therefore it is concluded, according to the factors found in the Chullunquiani - Juliaca zone, the generation of the liquefaction phenomenon is conditioned with a medium to high potential.

*Keywords:* Liquefaction; factors; geotechnical; geological; topographic; seismic

---

## 1. Introducción

La finalidad de esta investigación es identificar los factores geológicos, geotécnicos, topográficos y sísmicos que condicionan la generación del fenómeno de licuefacción en la zona Chullunquiani - Juliaca, ya que la licuación de suelos es uno de los fenómenos más destructivos que afecta las estructuras civiles, como el caso del sismo del 15 de agosto del 2007 que ocurrió al sur de Lima, en Pisco, Chincha y Tambo de Mora del departamento de Ica, ocasionando pérdidas de vidas humanas y graves daños por el fenómeno licuación de suelos en extensas áreas industriales y viviendas, debido a que no se identificaron o no se realizaron estudios adecuadamente en las zonas propensas a licuar.

Según Araca & Gomez, (2019) Perú forma parte del cinturón de fuego del pacifico, en donde se desarrolla el 80% de sismos alrededor de mundo y se clasifica mundialmente 9 grados de la escala Mercalli Modificada, esto genera como consecuencia los eventos sísmicos.

Alva, (2012) menciona; en el Perú se identificaron veintisiete casos de licuefacción, la mayoría de los casos ocurrieron en la zona costera por la presencia de arenas y nivel freático, y pocos casos en la selva y por las montañas. La razón por la cual la costa peruana fue el lugar donde ocurrieron casi todos los casos, es por ser una zona de alta sismicidad y a su sobrepoblación comparada con el resto del Perú.

El Instituto geofísico del Perú afirma que el 1 de diciembre de 2016, ocurrió un sismo en la Provincia de Lampa-Puno, la intensidad evaluada fue de VI en la escala de Mercalli Modificada, que corresponde a un evento de foco superficial asociado a la reactivación de una falla tectónica “falla de Pampas” (Tavera, Fernández, & Cuya, 2016).

También se puede apreciar según el RNE, (2018) que la región Puno se encuentra en la zona 3, con una aceleración horizontal asignada un factor de Z (0.35), que interpreta el severo aumento de movimiento de un suelo con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

Además según la investigación de Vizcarra & Estrada, (2019) la estratigrafía del suelo de terrenos de la zona Chullunquiani presentan en su mayoría arenas con un nivel freático bajo los 0.20 m aproximadamente, observando la presencia de este tipo de suelo y la profundidad de agua freática se presume que el área de estudio es susceptible a licuar.

Según el mapa geológico del Perú, realizado por el INGEMMET (2018) el sector Chullunquiani, Distrito Juliaca, Provincia San Román, Departamento de Puno, tiene depósitos aluviales 1 (Qh-al1) contenidas de gravas y arenas en matriz arena limosa, y depósitos bofedales (Qh-bo) contenidas de arcillas, limos y materia orgánica como se muestra en la figura 1. Lara, (2013) menciona que estos depósitos tienen una susceptibilidad muy alta a la licuación.



- Espesor del estrato licuado y del suelo sobre este estrato.
- Composición de los estratos

#### 2.2.2. Factores topográficos

- Profundidad del nivel freático
- Condiciones de drenaje
- Inclinación del terreno

#### 2.2.3. Factores sísmicos

- Magnitud o intensidad del sismo
- Distancia epicentral
- Condiciones del sitio
- Tipos de ondas generadas, propagación de las mismas y velocidad de onda de corte Vs.
- Tipo de falla
- Profundidad de la falla
- Aceleración Pico

De acuerdo al análisis granulométrico; la arena tiene mayor probabilidad de licuar, ya que se vuelve más densa, perdiendo su resistencia bajo cargas cíclicas muy severas y por presencia del nivel freático alto, interpretada esto por Tinsley et al., (1985) por Lara, (2013) el nivel freático (0-3 m) la susceptibilidad de licuación es de alto a muy alto.

Los depósitos de origen aluvial tienen mayor probabilidad de licuar, ya que los suelos depositados por procesos fluviales se sedimentan fácilmente y sus granos tienen poca probabilidad de compactarse. Por otro lado, los sedimentos depositados glacialmente, generalmente ya son bastante densos y tienen menor probabilidad de licuar.

La licuefacción ocurre a profundidades menores de 9 metros; rara vez a profundidades mayores de 15 metros, por lo tanto, la densidad relativa es un factor muy importante de que ocurra este fenómeno principalmente en suelos sueltos, saturados y no cohesivos, esto depende de la magnitud del sismo que ocurre ya sea cerca del epicentro durante sismos pequeños o moderados, porque a medida que el movimiento se incrementa mayor probabilidad de causar licuefacción de suelos.

### 2.3. Criterios de detección de susceptibilidad a la licuefacción

Los criterios de detección de susceptibilidad a la licuefacción han ido evolucionando según diferentes autores como:

- Ladd et al (1977) por Alarcón Guzmán, (1987): La densidad y el estado inicial de esfuerzos no son suficientes para caracterizar la licuación, está también la composición, gradación, forma de los granos, y otros, inclusive la edad de depósito.
- Wang en (1979) por Santibáñez, (2006) propuso los siguientes cuatro criterios: Fracción de arcilla (finos menores de 0.005 mm)  $\leq 15\%$ , límite líquido LL  $\leq 35\%$ , Contenido de humedad natural  $W_{nat} \geq 0.9 LL$ , Índice de liquidez, LI  $\leq 0.75$ . Si cumple uno de todos estos criterios indica la susceptibilidad de licuefacción, los cuáles fueron adoptados posteriormente por Seed e Idriss, (1982).
- Según el criterio de Andrews-Martin (2000) por Barrenechea, (2017) recomendaron tener en cuenta para evaluar la licuación los siguientes factores como se muestra en la tabla 1:

Tabla 1.  
Evaluación de licuefacción de suelos con presencia de finos

	Limite liquido < 32	Limite liquido >=32
Fracción de arcilla < 10%	Susceptible	Puede ser susceptible (requiere información adicional)
Fracción de arcilla >= 10%	Puede ser susceptible (requiere información adicional)	No susceptible

Fuente: Andrews y Martin (2000) en Barrenechea, (2017)

- Brandes (2003) resalta que: No todos los suelos granulares son propensos a presentar licuefacción, pero como regla general, los suelos no cohesivos con valores de resistencia a la penetración estándar corregida por profundidad ( $N_1$ )<sub>60</sub> > 30, son considerados de densidad suficiente como para no presentar riesgo de licuarse.
- Según los criterios de Bray y Sancio (2006) en Green & Ziotopoulou, (2015) se basan en datos para suelos que en su mayoría tienen un FC ≥ 50%.

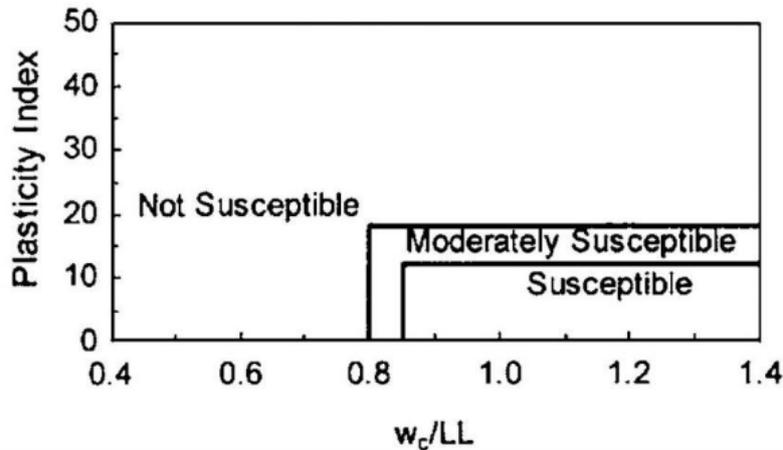


Figura 2: Criterios de susceptibilidad a la licuefacción.

Fuente: Bray & Sancio (2006).

- Henríquez, (2007) en Velázquez, (2018) afirman que los suelos con densidad relativa  $D_r < 50\%$  son sueltos por lo que es más susceptible a licuar que uno que es más denso con  $D_r > 70\%$ , los estratos superiores, por encima de los 15 m de profundidad en donde el esfuerzo de confinamiento aumenta por lo que, la susceptibilidad de licuación disminuye.
- Según UNE-EN 1998-5. EC-8, en Pastor et al., (2018) no se comprobaba la licuación cuando las cimentaciones sean poco profundas y que la arena saturada se encuentra bajo los 15 m de profundidad y también cuando se cumpla los dos condiciones siguientes:
  - 1)  $\alpha \cdot S < 0.15$ ;  $\alpha$ : cociente entre el valor de cálculo de la aceleración para un terreno tipo A (roca o formación geológica similar con velocidad media de la onda ( $a_g$ ), y la aceleración de corte superior a 800 m/s) ( $a_g$ ), de la gravedad (g), S: coeficiente dependiente del tipo de suelo.
  - 2) Debe cumplir, al menos, una de las condiciones siguientes:
    - El contenido de arcillas de la arena es mayor del 20% con un índice de plasticidad (IP) mayor de 10.
    - El contenido de limo de la arena es superior al 35% y el número de golpes SPT normalizado N (60) es mayor de 20.

- Arena limpia con un número de golpes SPT normalizado N (60) mayor de 30.
- Basada en la Metodología American Water Works Association (AWWA 1994) Lara, (2013) menciona que la susceptibilidad de licuefacción fue modelada utilizando 4 factores: Granulometría y origen de depósitos, edad de los depósitos, amplitud de vibración y profundidad de nivel freático, de este estudio planteo una mapa de zonificación el cual representa un valor entero de 1 a 9 denominado Índice de Susceptibilidad (IS), catalogado cualitativamente como: 1-3, muy bajo; 4, bajo; 5, medio; 6, alto; 7-9 muy alto, esta investigación evalúa el potencial de licuación según la tabla 2.

Tabla 2.

*Evaluación del potencial de licuación según criterios*

Clasificación n	Granulometría y origen de depósitos		Profundidad nivel freático (m)	Aceleraciones Horizontales máximas (PGA)	
	Origen de depósitos	Granulometría de depósitos		Tipo de deposito	PGA
9	Depósitos aluviales distales	Depósitos compuestos por arenas, limos y arcillas	< 2.5	Fluviales recientes	≤0.2g
7	Depósitos aluviales proximales Depósitos fluviales recientes Depósitos fluviales antiguos	Depósitos que posean lentes de arena dentro de los primeros 30 metros de profundidad y con una granulometría distinta de los depósitos de muy alta susceptibilidad	2.5-5	-	≥0.2g
5	-	Depósitos compuestos por gravas, arenas y finos en relativamente igual proporción.	5-10	Fluviales antiguas Aluviales de valle Aluviales de piedemonte y quebradas	≥0.3g
3	Depósito de remociones en masa	Depósitos compuestos por bolones, gravas y en menor proporción arenas	10-15	Remoción en masa Coluviales	≥0.4g
1	Depósitos coluviales y Depósitos de quebradas y piedemonte	Depósitos compuestos mayoritariamente por bloques, bolones y gravas	>15	-	≥0.5g

*Fuente:* Lara, (2013)

- Carrillo, (2008) específica para suelos susceptibles a licuar, hay básicamente dos factores que permiten diagnosticar como suelos licuables: su granulometría y su densidad relativa, por otra parte, si los valores de penetración estándar (Standard Penetration Test, SPT) son bajos, es indicativos de una baja densidad relativa del suelo, esto también indica el riesgo de licuación de suelos. Para evaluar un suelo como potencialmente licuable se deberán tener al menos dos de las siguientes menciones: Si el suelo presenta una densidad relativa (DR)<67%, el Limite líquido (LL)<35%, la humedad natural (Wnat)>0.9 (LL), si la granulometría de una arena ya sea bien gradada o no se encuentre entre las curvas mostradas en la figura 3, si el nivel freático es muy alto, si los valores de  $N_{SPT}$  ubicadas en la zona A licuan, indicados en la figura 4 y explicados en la tabla 3.

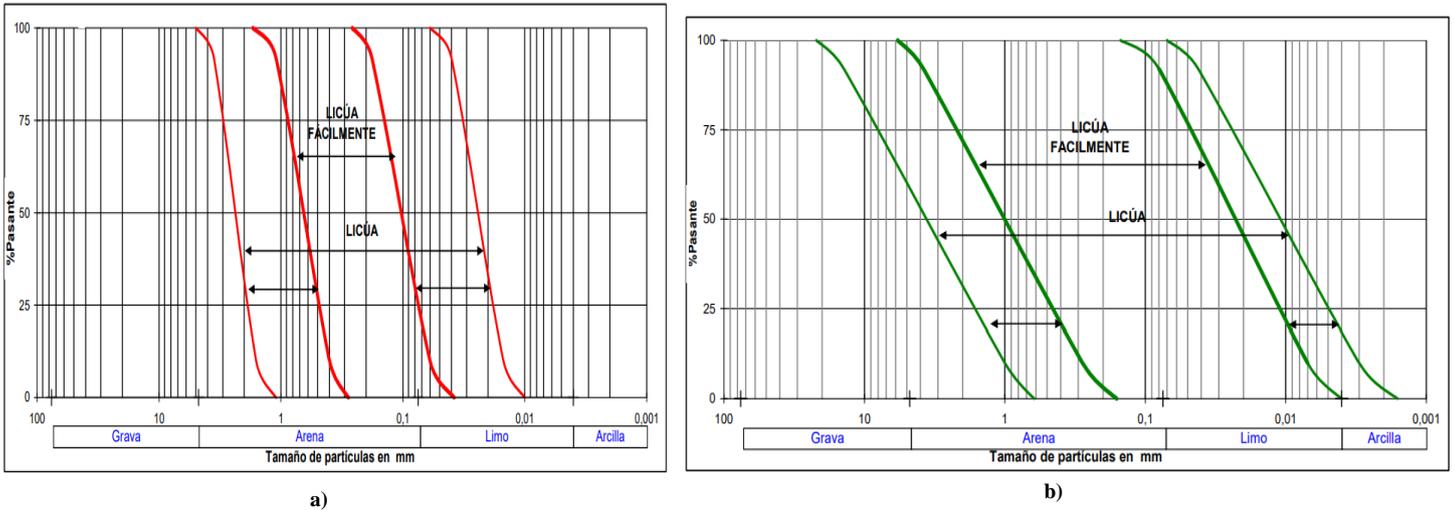


Figura 3. Granulometría de arenas a) mal gradadas y b) arenas gradadas susceptibles a licuación

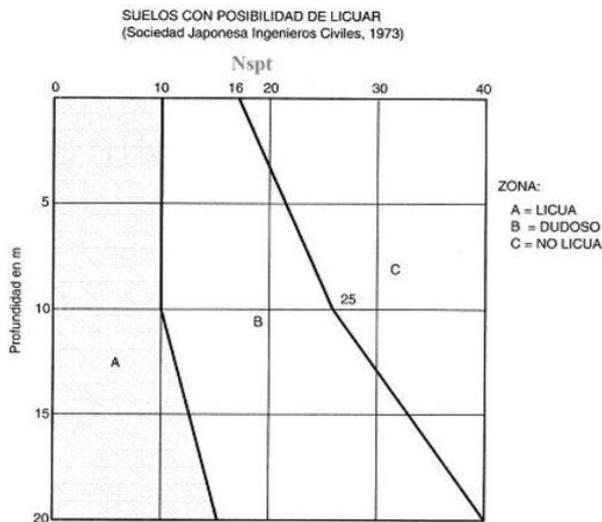


Figura 4. Suelos con posibilidad de licuar, deducidos de N\_SPT

Fuente: Colindres, R., (1993) por Carrillo, (2008)

Tabla 3. Riesgo de licuación

$N_{1-60}$	Riesgo de licuación
0-20	Alto
20-30	Intermedio
>30	Bajo

Fuente: De Seed et al, 1985 por Colindres, R., (1993)

- Según Benites & Vilchez, (2017) considerando State Minig and Geology Boar menciona que normalmente, el potencial de licuación se presenta en términos de un factor de seguridad. El cálculo de este factor de seguridad es el paso final en una evaluación de riesgo de licuación. Si la relación de tensión cíclica (CSR) es mayor que la relación de resistencia cíclica (CRR), la licuación se iniciará durante el sismo, por el contrario, si la CSR es menor que la CRR, entonces la licuación no se inicia.
- Campos et al., (2017) indica para conocer los componentes CSR y CRR en MS, se obtiene la varianza de cada componente y se analiza con respecto a la suma de varianza y los resultados indican que el CRR presenta mayor incertidumbre en probabilidad de licuación que el CSR.

#### 2.4. Antecedentes

Existe una gran variedad de investigaciones realizadas, internacionales y nacionales especificadas en la tabla 4 y 5, de la cual se obtuvo los factores (geológicos, geotécnicos, topográficos y sísmicos) que condicionan la generación del fenómeno de licuefacción de suelos en donde predomina la granulometría, densidad relativa y profundidad del nivel freático en la ocurrencia de este fenómeno.

Tabla 4.

*Investigaciones Internacionales de licuación de suelos*

Número	Autor	Título	País	Año
1	González, (2015)	Estudio del fenómeno de licuefacción en Chile para el terremoto del Maule, 2010	Chile	2015
2	Fernández et al., (2017)	Susceptibilidad a la licuefacción de los suelos en la ciudad de Caimanera, Guantánamo	Cuba	2017
3	Perucca et al., (2006)	Fenómenos de licuefacción asociados a terremotos históricos. su análisis en la evaluación del peligro sísmico en la Argentina	Argentina	2006
4	Mora & Yasuda, (2011)	Licuefacción de suelos y fenómenos asociados durante el terremoto de Limon	Costa Rica	2011
5	Fernández et al., (2016)	Escenarios susceptibles a la licuefacción inducida por sismos de gran magnitud en Santiago de Cuba	Cuba	2016
6	Rodas, (2011)	Susceptibilidad a la licuefacción por medio del sondeo de penetración estándar: las Lisas, Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala	Guatemala	2011

*Fuente:* Elaboración propia, (2020)

Tabla 5  
*Investigaciones Nacionales de licuación de suelos*

Número	Autor	Título	País	Año
1	Carrillo & Alcayhuaman, (2007)	Licuación de suelos durante el sismo Pisco-Perú-2007	Perú - Pisco	2007
2	Huidobro, (2015)	Determinación del potencial de licuación de suelos en el casco urbano de la ciudad de Pícsi	Perú - Lambayeque	2015
3	Benites & Vilchez, (2017)	Potencial de licuefacción en el distrito de Santa Rosa	Perú - Lambayeque	2017

*Fuente:* Elaboración propia, (2020)

### 3. Análisis de la investigación

#### 3.1. Factores condicionantes de la licuefacción en el área de estudio

Como se detalla en los criterios de trabajos previos realizados, los factores predominantes en la licuación de suelos en general son los factores geológicos, geotécnicos, topográficos y sísmicos, el presente trabajo analiza estos factores que hacen parte de otros factores como se muestra en la tabla 6:

Tabla 6  
*Factores que condicionan la generación de licuefacción en el área de estudio*

<b>Factores que condicionan la generación de licuefacción</b>	
<b>Geológicos y geotécnicos</b>	Origen de depósito
	Granulometría
	Densidad relativa
	Límite líquido
	Contenido de humedad

**Topográficos** Profundidad del nivel freático

**Sísmicos** Aceleración Pico

*Fuente:* Elaboración propia, (2020)

### 3.2. Investigaciones realizadas de mecánica de suelos

Para identificar los factores que condicionan la generación del fenómeno de licuefacción en la zona Chullunquiani - Juliaca, se tomó los estudios de mecánica de suelos de las investigaciones de la tabla 7 y sus respectivos perfiles estratigráficos como se muestra en la figura 5, la cual nos ayudó en la obtención de los factores que condicionan la licuefacción.

Tabla 7

*Investigaciones estudiados en la zona Chullunquiani - Juliaca*

Número	Referencia	Título	País	Año
1	Vizcarra & Estrada, (2019)	Evaluación de las características físico-químicas y mecánicas de los suelos de la urbanización los Ángeles de Miraflores de la ciudad de Juliaca-Puno con fines de cimentaciones	Perú-Puno-Juliaca	2019
2	Chura & Romero, (2017)	Estabilización de suelos cohesivos mediante el uso de geomallas, geotextil, cal y cemento con fines de pavimentación en el tramo de acceso del km 00+000 al km 00+750 del campus universitario UPeU Juliaca	Perú-Puno-Juliaca	2017
3	Pilco, (2019)	Evaluación de pozos de uso doméstico en la comunidad central Esquen del distrito de Juliaca, provincia San Román, durante el 2018	Perú-Puno-Juliaca	2019
4	INGEMMET (2018)	Mapa geológico del Perú y localización del área a evaluar	Perú-Puno-Juliaca	2018

*Fuente:* Elaboración propia, (2020)

RECOLECCION DE ESTRATIGRAFIAS DE SUELOS												
Profundidad (m)	Vizcarra & Estrada, (2019)							Chura & Romero, (2017)				Pilco, (2019)
	SPT-01	SPT-02	SPT-03	SPT-04	SPT-05	SPT-06	SPT-07	MUESTRA-01	MUESTRA-02	MUESTRA-03	MUESTRA-04	SPT-01
0.05												
0.10												
0.15												
0.20												
0.25												
0.30	CL				SC	CL						
0.35	N.F. 0.26m		N.F. 0.25m			N.F. 0.20m						
0.40		N.F. 0.30m										
0.45				CL								
0.50												
0.55		CL										
0.60					N.F. 0.56m							
0.65												
0.70	SM			N.F. 0.60m	N.F. 0.56m	SC						
0.75					SW-SC							
0.80												
0.85			SC					ML	SP - SM	SP - SM	SC	
0.90												
0.95												
1.00												CL
1.05												
1.10												
1.15												
1.20	SP - SM											
1.25												
1.30												
1.35												
1.40												
1.45		SP						N.F. NE	N.F. 1.30m	N.F. 1.40m		
1.50												N.F. 1.60m
1.55												
1.60												
1.65												
1.70												
1.75												
1.80												
1.85											N.F. 1.85m	
1.90												
1.95												
2.00												
2.05			SW-SM									
2.10												
2.15				SP-SM								
2.20												
2.25						SW-SM						
2.30												
2.35												
2.40												
2.45		GW-GM										
2.50												
2.55					SP-SM							
2.60												
2.65												
2.70												
2.75	SP											
2.80												
2.85												
2.90												
2.95												
3.00												
3.05												
3.10												
3.15												
3.20			SW-SM									
3.25												
3.30												
3.35												
3.40												
3.45												
3.50		SW-SM										
3.55												
3.60												
3.65						SW						
3.70			GW	SP								
3.75												
3.80												
3.85												
3.90												
3.95												
4.00												
4.05												
4.10												SW - SM
4.15												
4.20												
4.25												
4.30												
4.35												
4.40												
4.45												
4.50												
4.55												
4.60												
4.65												
4.70												
4.75												

Figura 5. Perfiles estratigráficos de la zona Chullunquiani - Juliaca  
Fuente: Elaboración propia, (2020)

### 3.3. Metodologías usadas para la determinación de los factores que suscitan licuefacción

La metodología de los factores indicados en la tabla 6 que condicionan la generación de la licuefacción, consiste en estimar de manera cuantitativa.

La tabla 8 y 9 especifica los criterios utilizados para determinar licuabilidad bajo condiciones específicas, para ello se utiliza las siguientes referencias como criterio para el análisis:

- Lara, (2013) para evaluar el origen del depósito y granulometría.
- Santucci de Magistris et al., (2013) por Lindao & Polonio, (2014) para evaluar la aceleración horizontal del suelo
- Tinsley et al., (1985) en Lindao & Polonio, (2014) para evaluar el nivel freático
- Carrillo, (2008) para evaluar densidad relativa, limite líquido y humedad natural

Tabla 8

Metodologías para determinar los factores geológicos, geotécnicos, topográfico y sísmico según los criterios de Lara, (2013), Santucci de Magistris et al., (2013) y Tinsley et al., (1985)

Evaluación de licuación	Geológicos y geotécnicos		Topográfico	Sísmico
	Origen del deposito	Granulometría	Nivel freático	Aceleración pico
<b>Alta</b>	Aluviales	Arena limpia, finos limosos, arena con finos, o arena con grava, y arcillas	< 3	0.84g
<b>Media</b>	Pluviales	Gravas, arena y finos	3 - 10	0.329g
<b>Baja</b>	Coluviales	Bloques, bolones y gravas	> 10	0.08g

Fuente: Elaboración propia, (2020)

Tabla 9

Metodología para evaluar los factores geotécnicos de acuerdo al criterio de Carrillo, (2008)

Factores geotécnicos	Densidad relativa	Limite liquido	Humedad natural
	DR<67%	LL<35%	Wnat>0.9LL

Fuente: Elaboracion propia, (2020)

### 3.4. Análisis de los estudios de mecánica de suelos extraídas de las investigaciones realizadas en el área de estudio

Tabla 10

Análisis de factores geológicos y geotécnicos que condicionan la generación de licuefacción

Autor	Numero de estudios	Coordenadas	Factores geológicos y geotécnicos								
			Origen de deposito	Granulometría	Evaluación de licuación	Densidad Relativa DR(%)	Evaluación de licuación con Dr< 67%	Limite liquido LL (%)	Evaluación de licuación con LL< 35%	Contenido de humedad natural	Evaluación de licuación con Wnat > 0.9LL
Vizcarra & Estrada, (2019)	1	375167.6E 8286570.4N	Aluviales	CL, SM, SP		41.95	Licuable	16.98	Licuable	44.91	Licuable
	2	375083.7E 8286598.2N		CL, SP, GW, GM, SW, SM		-	-	12.23	Licuable	23.12	Licuable
	3	375033.0E 8286509.1N		CL, SC, SW, SM, GW		41.95	Licuable	17.67	Licuable	38.17	Licuable
	4	375070.3E 8286434.1N		CL, SM, SP	Alta	40.16	Licuable	12.58	Licuable	34.34	Licuable
	5	375135.1E 8286420.1N		SC, SW, SP, SM		41.95	Licuable	15.88	Licuable	32.4	Licuable
	6	375118.4E 8286420.2N		CL, SC, SW, SM		41.95	Licuable	15.29	Licuable	39.01	Licuable
	7	375193.2E 8286495.2N		CL, SM, SP		41.95	Licuable	17.11	Licuable	43.06	Licuable
Chura & Romero, (2017)	1	374258E 8284566N	Aluviales	ML		-	-	37.11	No licuable	-	-
	2	374037 E 8284546 N		SP - SM		-	-	26.86	Licuable	-	-
	3	373837E 8284518N		SP- SM	Alta	-	-	25.67	Licuable	-	-
	4	373523E 8284472N		SC		-	-	36.69	No licuable	-	-
Pilco, (2019)	1	373568E 8283678N	Aluviales	CL, SM, SW	Alta	43.74	Licuable	16.88	Licuable	32.68	Licuable
INGEMMET (2018)	-	-	Aluviales	-	Alta	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia, (2020)

Tabla 11  
Evaluación de factores topográficos y sísmicos que condicionan la generación de licuefacción

Autor	Numero de estudios	Coordenadas	Factor topográfico		Factor sísmico	
			Nivel freático (m)	Evaluación de licuación con NF<3	Aceleración pico, g en (m/seg <sup>2</sup> )	Evaluación de licuación
Vizcarra & Estrada, (2019)	1	375167.6E 8286570.4N	0.26	<b>Alta</b>	0.35 g	<b>Media a alta</b>
	2	375083.7E 8286598.2N	0.30	<b>Alta</b>		
	3	375033.0E 8286509.1N	0.25	<b>Alta</b>		
	4	375070.3E 8286434.1N	0.60	<b>Alta</b>		
	5	375135.1E 8286420.1N	0.56	<b>Alta</b>		
	6	375118.4E 8286420.2N	0.20	<b>Alta</b>		
	7	375193.2E 8286495.2N	0.30	<b>Alta</b>		
Chura & Romero, (2017)	1	374258E 8284566N	NE	<b>Alta</b>	0.35 g	<b>Media a alta</b>
	2	374037 E 8284546 N	1.30	<b>Alta</b>		
	3	373837E 8284518N	1.40	<b>Alta</b>		
	4	373523E 8284472N	1.85	<b>Alta</b>		
Pilco, (2019)	1	373568E 8283678N	1.60	<b>Alta</b>		
INGEMMET (2018)	-	-	-	-		

Fuente: Elaboración propia, (2020)

Para el análisis de los factores que condicionan la generación del fenómeno de licuefacción en la zona Chullunquiani - Juliaca, se tomó 3 investigaciones de mecánica de suelos, juntamente con el base de datos de INGEMMET.

En la tabla 10 y 11 se muestra el análisis del esquema ingeniero-geotécnico de los suelos del área de estudio. Los suelos presentan un comportamiento común, de los autores Vizcarra & Estrada, (2019) y Pilco (2019) en cuanto al contenido de humedad natural ( $W_{nat}$ ) > 0.9 LL, densidades relativas (DR) < 67%, Limite Liquido (LL) < 35%. Y según Chura & Romero, (2017) presenta el (LL) > 35%. Desde el punto de vista de clasificación de suelos presenta CL, SM, SP, GW, GM, SW, SC y ML. En cuanto al esquema ingeniero-geológico el origen de los depósitos son aluviales.

De la evaluación del LL > 35% se puede decir que es un suelo no licuable, esto debido a que la profundidad de estudio en esta investigación se debería hacer más profunda, pero dada las características predominantes descritas anteriormente se puede decir que son suelos proclives a una licuefacción de media a alta.

La zona Chullunquiani - Juliaca presenta un riesgo sísmico de medio a alto, con la probabilidad de que ocurran daños en las diferentes edificaciones ante eventos de media a alta magnitud, ya que el factor de zona (Z) que se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad, de la zona de estudio es 0.35g, analizando este parámetro la zona de estudio presenta una licuación de media a alta.

También tomando en cuenta el comportamiento del nivel freático se puede presumir que toda el área es licuable, ya que la presencia del nivel freático se localiza a profundidades menores de un metro noventa, hasta incluso en algunos casos llegando a los 0.20 metros.

#### 4. Conclusiones

Esta investigación tiene información importante para la ingeniería Civil, en exclusivo en el área de geotecnia, donde se logró conocer e identificar en la zona Chullunquiani - Juliaca los factores de origen de depósito, granulometría, densidad relativa, límite líquido, contenido de humedad, profundidad del nivel freático y aceleración pico del terreno que involucran en la generación del fenómeno de licuefacción. De las 4 referencias utilizados para el estudio de esta investigación, los factores geológicos, geotécnicos, topográficos y sísmicos inducen en la ocurrencia del fenómeno de licuefacción en la zona de estudio, de la cual se presume que la zona es licuable de media a alta, esto ante movimientos sísmicos o compactaciones dinámicas.

El fenómeno de licuación se ha suscitado a nivel mundial y local, por lo que su estudio es relevante y debe considerarse muy importante para su mayor entendimiento, mitigación o para identificar las zonas en las cuales puede ocurrir, por lo cual esta investigación anticipa a que se haga estudios a fondo; como evaluar el potencial de licuefacción a través del Standard Penetration Test (SPT) por la zona Chullunquiani, de esta manera en un futuro evitar deformaciones o colapsos de las estructuras civiles.

#### Referencias

- Alarcón, A. (1987). Mecanismos de licuación y flujo de suelos granulares durante sismos. *Ingeniería e Investigación*, 16, 44–54. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingenv/article/view/21578/22584>
- Alva, J. (2012). Licuación de suelos en el Perú. 9. [http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis05\\_a.pdf](http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis05_a.pdf)
- Araca, F., & Gomez, L. (2019). Influencia de la interacción suelo - estructura en el comportamiento de las viviendas aporticadas con zapatas aisladas en la ciudad de Juliaca. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1738>
- Barrenechea, B. (2017). Potencial de licuación en el distrito de San José. [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USSS\\_ee91720bfdc4d9b0e86df05f11bf176a](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USSS_ee91720bfdc4d9b0e86df05f11bf176a)
- Benites, L., & Vilchez, J. (2017). Potencial de licuefacción en el Distrito de Santa Rosa. [http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/4196/Benites Alarcon - Vilchez Perez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/4196/Benites%20Alarcon%20-%20Vilchez%20Perez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Campos, D. D., Ramos, A. M., & Prada, L. F. (2017). Evaluación probabilística de licuación en arenas de la ciudad de Piura en Perú. *Obras y Proyectos*, 22, 61–74. <https://doi.org/10.4067/s0718-28132017000200061>
- Carrillo, P. (2008). Influencia del suelo en la respuesta sísmica de estructuras. [http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/ci\\_29.\\_influencia\\_del\\_suelo\\_en\\_la\\_respuesta\\_sismica.pdf](http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/ci_29._influencia_del_suelo_en_la_respuesta_sismica.pdf)
- Carrillo, A., & Alcayhuaman, L. (2007). Licuación de suelos durante el sismo Pisco-Perú-2007. 3–11. [http://revistas.urp.edu.pe/index.php/Perfiles\\_Ingenieria/article/view/432/426](http://revistas.urp.edu.pe/index.php/Perfiles_Ingenieria/article/view/432/426)
- Chura, E., & Romero, S. (2017). Estabilización de suelos cohesivos mediante el uso de geomallas, geotextil, cal y cemento con fines de pavimentación en el tramo de acceso del km 00+000 al km 00+750 del campus universitario UPeU Juliaca. *Universidad Peruana Union Filial Juliaca*, 204. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/937>
- Fernández, L., Bandera, I., Guardado, R., & Oliva, R. (2017). Susceptibilidad a la licuefacción de los suelos en la ciudad de Caimanera, Guantánamo. *Minería y Geología*, 33(1), 26–42. [https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/art3\\_No1\\_2017](https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/art3_No1_2017)

- Fernández, L., Guardado, R., Herrera, I., Oliva, R., & Díaz, P. (2016). Escenarios susceptibles a la licuefacción inducida por sismos de gran magnitud en Santiago de Cuba. *Minería y Geología*, 32(2), 53–69. <https://www.redalyc.org/pdf/2235/223545820004.pdf>
- González, J. P. (2015). Estudio del fenómeno de licuefacción en Chile para el terremoto del Maule, 2010. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/137848>
- Green, R. A., & Ziotopoulou, K. (2015). Overview of screening criteria for liquefaction triggering susceptibility. *Proceedings of the Ninth Pacific Conference on Earthquake Engineering*, November, 1–8. [https://www.researchgate.net/publication/283567638\\_Overview\\_of\\_screening\\_criteria\\_for\\_liquefaction\\_triggering\\_susceptibility](https://www.researchgate.net/publication/283567638_Overview_of_screening_criteria_for_liquefaction_triggering_susceptibility)
- Huidobro, L. (2015). Determinación del potencial de licuación de suelos en el casco urbano de la ciudad de Pisci. [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UPRG\\_88ad8b3a0b1f47685c513bb51b85d8d7/Details](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UPRG_88ad8b3a0b1f47685c513bb51b85d8d7/Details)
- INGEMMET. (2018). Mapa geológico del Perú. <https://www.ingemmet.gob.pe/mapa-geologico-nacional>
- Lara, N. (2013). Susceptibilidad de licuefacción en la comuna de doñihue. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/115556>
- Lindao, J., & Polonio, L. (2014). Evaluación del potencial de licuefacción de suelos en la zona de Chipipe del Canton Salinas. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Mora, S., & Yasuda, S. (2011). Licuefacción de suelos y fenómenos asociados durante el terremoto de Limón. *Revista Geológica de América Central*. <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/22416?show=full>
- Pastor, J. L., Tomás, R., Cano, M., & Riquelme, A. J. (2018). Estudio comparativo del potencial de licuación de suelos usando las normas españolas y el Eurocódigo. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 70(3), 761–778. <https://doi.org/10.18268/BSGM2018v70n3a9>
- Perucca, L., Perez, A., & Navarro, C. (2006). Fenómenos de licuefacción asociados a terremotos históricos. Su análisis en la evaluación del peligro sísmico en la Argentina. *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, February 2006. [https://www.researchgate.net/publication/262793581\\_Revista\\_de\\_la\\_Asociacion\\_Geologica\\_Argentina\\_FENOMENOS\\_DE\\_LICUEFACCION\\_ASOCIADOS\\_A\\_TERREMOTOS\\_HISTORICOS\\_SU\\_ANALISIS\\_EN\\_LA\\_EVALUACION\\_DEL\\_PELIGRO\\_SISMICO\\_EN\\_LA\\_ARGENTINA](https://www.researchgate.net/publication/262793581_Revista_de_la_Asociacion_Geologica_Argentina_FENOMENOS_DE_LICUEFACCION_ASOCIADOS_A_TERREMOTOS_HISTORICOS_SU_ANALISIS_EN_LA_EVALUACION_DEL_PELIGRO_SISMICO_EN_LA_ARGENTINA)
- Pilco, J. E. (2019). Evaluación de pozos de uso doméstico en la comunidad central Esquen del distrito de Juliaca, provincia San Román, durante el 2018. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/2175>
- RNE, E. 03. (2018). Norma técnica E.030 diseño sismorresistente. Reglamento Nacional De Edificaciones, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Rodas, E. (2011). Susceptibilidad a La Licuefacción Por Medio Del Sondeo De Penetración Estándar: Las Lisas, Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala. [http://www.repositorio.usac.edu.gt/2768/1/Erick\\_José\\_Rodas\\_Aldana.pdf](http://www.repositorio.usac.edu.gt/2768/1/Erick_José_Rodas_Aldana.pdf)
- Santibáñez, D. (2006). Determinación Del Potencial De Licuefacción De Suelos No Cohesivos Saturados Bajo Cargas Sísmicas Usando El Ensayo De Penetración Estándar. 125. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfcs235d/doc/bmfcs235d.pdf>
- Tabera, H., Feranandez, E., & Cuya, A. (2016). Sismo de Lampa del 1 de Diciembre del 2016 (6.0 ML) (Puno) Aspectos Sismológicos. 2016, 14. [https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/IGP/1065/Sismo de Lampa del 1 de Diciembre del 2016 %286.0 ML%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/IGP/1065/Sismo_de_Lampa_del_1_de_Diciembre_del_2016_%286.0_ML%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Velazquez, H. (2018). Cálculo por método simplificado para evaluación de licuefacción en suelos limosos, inducidos por cargas cíclicas y gravitacionales. 1–18. [https://ria.utn.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12272/3577/ARTICULO ENVIADO A MENDOZA IX CAP y AH - PARA PUBLICACION EN ANALES-EVALUACION LICUEFACCION.pdf?sequence=1](https://ria.utn.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12272/3577/ARTICULO_ENVIADO_A_MENDOZA_IX_CAP_y_AH_-_PARA_PUBLICACION_EN_ANALES-EVALUACION_LICUEFACCION.pdf?sequence=1)
- Vizcarra, E., & Estrada, A. (2019). Evaluación de las características físico-químicas y mecánicas de los suelos de la urbanización Los Angeles de Miraflores de la ciudad de Juliaca-Puno con fines de cimentaciones. 1–83. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1988>