



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“ANÁLISIS DE LICUACIÓN DE SUELOS EN  
FRANJAS COSTERAS”: UNA REVISIÓN  
SISTEMÁTICA ENTRE 2010 -2020”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en **Ingeniería Civil**

Autora:

Maria del Cielo Quipuzcoa Horna

Asesor:

Mg. Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz

Trujillo - Perú

2020

## **DEDICATORIA**

A mis padres y a mis familiares, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se lo debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por brindarme salud y bienestar para el desarrollo de mi formación profesional.

A mis padres y a mis abuelos Gladys y Hernando por el esfuerzo y sacrificio que realizaron por  
brindarme los recursos necesarios para desarrollarme profesionalmente.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b> .....	2
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	3
<b>RESUMEN</b> .....	5
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>2. METODOLOGÍA</b> .....	9
<b>3. RESULTADOS</b> .....	11
<b>4. CONCLUSIONES</b> .....	21
<b>REFERENCIAS</b> .....	22

## RESUMEN

El análisis de licuación de suelos es un tema de suma importancia para la ingeniería geotécnica ya que esos suelos se refieren al proceso de contradicción del mismo y de aumento de las presiones de poros debido a procesos de carga cíclicas (como puede ser los terremotos), en los suelos saturados y granulares sin o poca. Por esta razón, el objetivo de este artículo es analizar el comportamiento de los suelos licuables en el periodo 2010-2020 a partir de artículos de investigación.

Se consiguió información necesaria haciendo uso de cuatro bases de datos Redalyc, Scielo, Biblioteca Upn y Google Académico. Se obtuvo 20 artículos finales previa aplicación de filtros como año de publicación, revistas, artículos, idioma español, entre otros; seleccionando aquellos que guardaban mayor relación con el tema y con la ayuda de referencias bibliográficas Zotero. Se analizaron los artículos finales en criterios como año, revista y sector. Identificando que existen investigaciones relacionadas con el tema del presente trabajo.

**PALABRAS CLAVES:** Análisis, Licuación de suelos, Terremotos, Sector costero

## 1. INTRODUCCIÓN

La licuación de suelos es un campo complejo y de fundamental importancia para la ingeniería ya que tiene un gran impacto en la vida de los seres humanos, por ejemplo, influye en el comportamiento de los suelos ante la ocurrencia de los sismos (Fernández, Bandera, Guardado y Oliva, 2017). Este fenómeno causa grandes deformaciones en el suelo, principalmente en sectores costeros, este fenómeno se debe a severos terremotos, por esa razón en los últimos años se han hecho grandes esfuerzos para desarrollar e implementar métodos eficaces para aumentar la resistencia del suelo a la licuefacción (Ochoa y Muñoz, 2017). Dentro de los métodos más prometedores encontramos la construcción de pilotes para limitar los asentamientos que causa la licuación, pero las capas superficiales del suelo a menudo no son lo suficientemente rígidas para soportar las estructuras. Si en un terremoto las arenas sueltas son saturadas, pierden fuerza a medida que el exceso de presión de agua de poro es generado y el suelo tiende a licuarse, esto significa que si el suelo está en una pendiente se produce un desplazamiento lateral permanente en el suelo que se encuentra después de un terremoto y en algunos casos los edificios apoyados sobre pilotes se han derrumbado o sufrió daños severos. (Bhattacharya, Sarkar y Huang, 2013)

Arenas pobremente gradadas SP y Arenas limosas SM, son suelos que facilitan el proceso de licuación ante la realización de amenaza sísmica (Campos, Ramos y Prada, 2016). En los suelos granulares finos sueltos, hay espacio entre partículas individuales es rellenado con agua. Debido a que las partículas ya no se encuentran en contacto unas con otras, la resistencia del suelo decrece, produciéndose una falla en el caso que el suelo no pueda soportar más la carga impuesta, por eso los suelos granulares pierden una parte significativa de su resistencia, bajo la acción de un sismo (Adanaque, 2019). Por esta razón, es necesario tener en cuenta la incertidumbre en los análisis de

licuación que se realizan con base en la resistencia del suelo ya que consisten en una pérdida en la tenacidad al corte del suelo. (Campos, Ramos y Prada,2016).

La licuefacción de los suelos es uno de los fenómenos potencialmente peligrosos más interesantes y controversiales temas de la ingeniería geotécnica. La licuación incluye todos los procesos que conducen a una pérdida de resistencia o al desarrollo de deformaciones excesivas como resultado de una perturbación transitoria o repetida en suelos saturados no cohesivos. Las estructuras cimentadas sobre un terreno que sufre licuación pueden experimentar grandes asientos (Seed et al., 2003; Hamada, 2014), lo que puede llevar a las capas del suelo licuadas a comportarse como un fluido denso cuando la resistencia al corte del mismo se anula completamente. (Pastor, Tomás, Cano, y Riquelme, 2018)

Con el fin de garantizar el uso normal de estructuras de ingeniería en cimientos licuables, se plantean estrategias basadas en los siguientes tres aspectos: (1) se puede modificar la ubicación del proyecto; (2) cambiar la estructura del proyecto; (3) mejorar las condiciones del suelo. Para la mayoría de los proyectos, las ideas (1) y (2) no son factibles, porque estos dos métodos no pueden resolver el daño causado por la licuefacción del suelo a humanos. Por lo tanto, debemos de mejorar el riesgo para resolver el problema de la licuefacción de los terremotos. (Binhua,Ning y Denghua, 2019)

Los análisis de ingeniería geotécnica indicaron que hay un alto riesgo de licuación en los suelos que se encuentra cimentaciones profundas entre 8 y 10 metros. Por lo que se determina que se requiere el tratamiento del suelo en toda el área de la cimentación. (Stay y Herbozo, 2017). Principalmente en zonas costeras, ocurre un evento geológico más conocido como un terremoto se produce el acontecimiento de licuefacción. En este acontecimiento se pierde vidas y propiedades,

ya que se encuentra los suelos con nivel freático y tiene de características que son arena pobremente gradadas o arenas con limo. La licuefacción produce asentamientos, pierde resistencia y se deforma el suelo hasta llegar a colapsar las estructuras construidas, debido a que causa severos daños este fenómeno se busca analizar una solución para este tipo de suelos, utilizando tratamientos para disminuir el riesgo de licuefacción y pueda resistir el suelo. Por lo tanto, el análisis del artículo de revisión sistemática responderá a la siguiente interrogante ¿Es fundamental analizar en detalle el comportamiento del suelo y mejorar su resistencia, para poder lidiar con el fenómeno de licuación y reducir la pérdida de vidas y propiedades en los últimos 10 años?; de tal forma, contar con información relevante y confiable sobre los últimos avances realizados en el análisis de la licuación de suelos en la franja costera, es fundamental para mejorar los procedimientos actuales e implementar nuevas tecnologías en el estudio de este tema. En la presente revisión sistemática se discutirán en forma detallada los trabajos de investigación llevados a cabo en los últimos 10 años y se presentarán los aportes a la ingeniería más recientes en esta área de investigación.



## 2. METODOLOGÍA

### CRITERIOS DE INCLUSION

Se procedió una investigación de revisión sistemática que cumplen con las dos variables que son “Análisis” y “Licuación de Suelos”. Para que se pueda especificar y reducir los resultados de búsqueda, tales como: texto completo, y también se tuvo en cuenta que haya sido publicado en un intervalo de tiempo (2010-2020), publicaciones académicas, artículos científicos, artículos de revisión, idioma español e inglés. También los requisitos es que sean provenientes de una Universidad, asimismo que el artículo tenga la estructura IMRD, y se haya encontrado en base de datos que son confiables como “Scielo” “Redalyc” “Google Académico” “Scopus” “Biblioteca Virtual UPN”, lo que da un respaldo a la seguridad, para poder escoger un buen artículo.

### RECURSO DE INFORMACION

En el tema de información para la revisión sistemática se escogieron bases de datos que contienen artículos científicos, revisión y tesis, referido al tema de investigación y rubro son: “Biblioteca Virtual UPN” “Scielo” “Scopus” “Redalyc” y “Google Académico”

Se utilizaron términos y palabras que accedieron a buscar información de investigaciones relacionadas con el tema de investigación y con dos idiomas (inglés y español) que fueron: Análisis (Analysis), Licuefacción de suelo (Liquefiable soils), Franja costera (Coastal zone)

La estrategia que se utilizó para buscar artículos de revisión, científicos y tesis, primero se busca en la base de datos confiables que son: “Biblioteca Virtual UPN” “Scielo” “Scopus” “Redalyc” y “Google Académico”, inmediatamente que hablen del tema de investigación, se verifico si estaban las dos variables en los artículos. Se analizo si tenía los requisitos que sea

provenientes de una universidad y que tenga la estructura del IMRD, A pesar que se realizo la búsqueda de artículos en español, la oferta de literatura científica del tema mayormente se encuentra en inglés, por lo que se consideró buscar artículos en inglés.

Por lo tanto, el resultado que se encontró de artículos científicos, revisión, tesis y que guardaban relación al tema de investigación fueron treinta, solo se utilizó veinte artículos científicos, revisión y tesis cumplían con los requisitos, y se descartó diez artículos que no se utilizó para el tema de investigación, ya que no se mostraba resultados claros y también porque no utilizaban las dos variables, tampoco no estaba en el rango publicado en un intervalo de tiempo (2010-2020) de año, y finalmente no cumplía con los requisitos de IMRD.

A partir de una búsqueda de artículos en la base de datos se realizó una selección de artículos que guardaban mayor relación con el tema de investigación reduciéndose a 16 artículos y 4 tesis. Finalmente, se eliminaron los artículos duplicados y los que no guardaban relación al tema de investigación. Los artículos y las tesis fueron seleccionados para completar la matriz de base de datos que se identificaron el título de la investigación, el autor, si era una tesis, o un artículo científico o de revisión, país, verificar sus dos variables y el año de publicación.

### 3. RESULTADOS

La revisión sistemática descrita en la sección anterior, se obtuvo un total de 16 artículos y 4 tesis en los resultados de búsqueda ya que guardaban mayor relación con el tema de investigación. De lo artículos y tesis se elaboraron tablas que se extrajo el autor, el año de publicación, el título de investigación y finalmente la base de datos confiables que son: “Biblioteca Virtual UPN” “Scielo” “Scopus” “Redalyc” y “Google Académico”, se organizaron en una tabla. (ver Tabla 1)

**TABLA 1**

*Matriz de registro de artículos*

N°	Base de Datos	Autor / Autores	Año	Título de artículo de investigación
1	Scielo	Ochoa Cornejo Felipe, Muñoz Sergio Campos Muñoz Denisse, Ramos Canon	2017	Laponita: una nanotecnología que retarda la licuefacción
2	Scielo	Dianet, Alfonso Mariano y Prada Sarmiento Luis Felipe	2017	Evaluación probabilística de licuación en arenas de la ciudad de Piura en Perú
3	Scielo	Sandoval Eimar, Wilmer Diaz y Alejandro Cruz Efraín Ovando Shelley,	2013	Resistencia A Licuación De La Arena Terrígena De Aguablanca En Santiago De Cali
4	Scielo	Vanessa Mussio, Miguel Rodríguez y José G. Acosta Chang	2014	Evaluation of soil liquefaction from surface analysis
5	Scielo	Eimar A. Sandoval y Miguel A. Pando	2012	Experimental assessment of the liquefaction resistance of calcareous biogenous sands
6	Scielo	Eimar Sandoval Vallejo	2012	Resistencia a Licuación De Arenas Calcáreas

7	Scielo	Rodolfo Cabezas y Christian Ledezma	2019	Estimación de cargas y asentamientos en pilotes debido a fricción negativa producto de licuefacción. Aplicación a terremoto del Maule 2010, Chile
8	Redalyc	Liuska Fernández, Irayaselis Bandera, Rafael Guardado y Ricardo Oliva	2017	Susceptibilidad a la licuefacción de los suelos en la ciudad de Caimanera, Guantánamo
9	Redalyc	Pastor Jose luis, Tomás Roberto y Cano Miguel	2018	Estudio comparativo del potencial de licuación de suelos usando las normas españolas y el Eurocódigo
10	Biblioteca UPN	Silvia Palacios y Laura Perucca	2020	Patrimonio geológico efímero: propuesta metodológica para el inventario y evaluación de las estructuras generadas por licuación de suelos durante sismos, San Juan-Argentina
11	Biblioteca UPN	David Stay Coello Enrique Herbozo Alvarado	2017	Cimentación en suelos potencialmente licuables mediante un bloque de suelo reforzado utilizando micropilotes con inyecciones cementicias
12	Biblioteca UPN	Mora, Sergio Yasuda, Susumu	2011	Licuefacción de suelos y fenómenos asociados durante el terremoto de limón
13	Biblioteca UPN	Palacios, Silvia Beatriz Perucca, Laura Patricia A. Pantano Zuñiga, Ana Vanesa Lara Ferrero, Gabriela Cristina	2017	Propuesta metodológica para el análisis de la licuefacción de suelos asociada a sismos destructivos. Pre-Andes centrales, Argentina (31° 30' S y 68° 25' O)
14	Google Académico	S. Bhattachary, R. Sarkar Y. Huang	2013	Seismic Design of Piles in Liquefiable Soils
15	Google Académico	Binhua Xu, Ning He y Denghua Li	2019	Study on the treatments and countermeasures for liquefiable foundation
16	Google Académico	Guangyin Du, Han Xia, Jun Cai, Huangsong Pan y Changshen Sun	2020	Liquefiable Ground Treatment Using Cruciform Section Probe Resonant Compaction Method: A Case Study in the Xitong Expressway, Eastern China

17	Google Académico	Chiriboga Zapata, Fernando Marcelo; Moreno Álvarez, Mauro Alejandro	2018	Evaluación de la interacción suelo-pilote prebarrenado bajo carga lateral en suelos licuables. Caso real. Puente peatonal de Muisne
18	Google Académico	Bilma Flor Silva Rojas	2019	Evaluación del Potencial de licuefacción de suelos en las zonas en las costeras del centro poblado lagunas y centro poblado cherrepe, distrito lagunas, provincia chichlayo, 2017
19	Google Académico	Juan Daniel Adanaque Guerrero	2019	Evaluación Del Potencial De Licuefacción De Suelos En Las Zonas Costeras De Lambayeque Y Mórrope, Provincia De Lambayeque, 2017
20	Google Académico	Adriana Cubides Cruz	2017	Zonificación a partir del potencial de licuación de la zona urbana del municipio de Apartadó, Antioquia

Esta tabla se presenta los 16 artículos y 4 tesis finales seleccionados de la base de datos SCIELO, GOOGLE ACADEMICO, BIBLIOTECA UPN y REDALYC donde abarca 3 aspectos: título, año y el autor.

**TABLA 2**

*Características de los Estudios*

Tipo de documento	Frecuencia de Uso	%
Artículos Científicos	80	54,1
Articulo Revisión	40	27,0

Tesis	28	18,9
<b>TOTAL</b>	<b>148</b>	<b>100</b>

Nota: Clasificación de estudios por tipo de documento, frecuencia de uso y su valor porcentual

En el procedimiento de búsqueda que hemos mencionado se localizó treinta artículos y tesis, pero se seleccionaron inicialmente dieciséis artículos científicos, revisión, y cuatro tesis que cumplieran con los requisitos del tema de investigación, en la Tabla 2 se puede visualizar que la mayor frecuencia de uso fue de artículos científicos teniendo un total de 80 veces, y consiguiendo un porcentaje de cada tipo de documento, siendo los artículos científicos los de mayor porcentaje con un 54,1.

Posteriormente, se realizó la clasificación de artículos de investigación por año de publicación, obteniéndose los años en que existe mayor número de publicaciones referidas al tema de investigación. En el año 2011 y 2014 solo se publicó un artículo, tal como lo muestra en la tabla 3. Si bien en el año 2017 se muestra que se publicaron más artículo que en los demás años. Se podría señalar que en el 2019 debería terminar con más artículos presentados que el 2017. (ver Tabla 3)

**TABLA 3**

*Clasificación de artículos por año de publicacio*

<b>Año de publicación</b>	<b>Cantidad de artículos</b>	<b>%</b>
2011	1	5
2012	2	10
2013	2	10
2014	1	5
2017	6	30
2018	2	10
2019	4	20
2020	2	10
<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	<b>100</b>

Nota: Clasificación de artículos por año de publicación y valoración porcentual

Así mismo, se realizó una distribución de los artículos de investigación según las revistas donde fueron publicados. La que mayor cantidad de artículos publicados posee es “Obras y Proyectos” con 3 artículos (18,75%) y le sigue “Boletín de la Sociedad Geología Mexicana” con 2 artículos (12,5%). Se puede visualizar en la Tabla 4, que son varias revistas publicada con un solo artículo con 6,25% (9 artículos).

**TABLA 4**

*Distribucion de articulos por revista de publicacion*

<b>Revista de Publicación del artículo</b>	<b>Cantidad de Articulos</b>	<b>%</b>
Revista de la Asociación Geológica Argentina	1	6,25
Obras y Proyectos	3	18,75
Universidad Nacional de Colombia	1	6,25
Boletin de la Sociedad Geologica Mexicana	2	12,5
Revista Multidisciplinaria de Investigacion Cien	1	6,25
Mineria y Geologia	1	6,25
Universidad de Costa Rica	1	6,25
MATEC Web of Conferences 272	2	12,5
Advances in Civil Engineering	1	6,25
Geofisica Internacional	1	6,25
Earth Sciences Research Journal	1	6,25
Dyna	1	6,25
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>100</b>

Nota: Distribucion de articulos por revista de publicacion y valoracion porcentual.

Por último, se puede verificar la tabla de inducción de categoría donde se realizó una búsqueda en los artículos científicos, revisión y tesis para sacar ideas principales de discusión o conclusiones que guarden relación al tema de investigación, finalmente tenemos tres categorías llamadas “Análisis de Suelos Licuación”, “Mejoramiento y Resistencia para Suelos Licuables” y “Ciudades donde ocurrieron el efecto de licuación” con sus aportes de cada artículo científico, revisión y tesis. (ver Tabla 5)

En la primera categoría de Análisis de suelos licuables, se presentaron 7 aportes que hablan sobre el comportamiento del suelo arenoso ante un efecto sísmico, y para su análisis debe cumplir que sea granular, homogéneo, y poseer un nivel freático superficial, frecuentemente el efecto de licuación ocurre más en zonas costeras, asimismo habla sobre dos métodos. El primero el Método pasivo de Análisis de Microtremores (MAM) y el Método activo de Análisis



multicanal de Ondas superficiales (MASW) con ambos se puede evaluar potencialmente la licuación. Ya que el suelo entra en estado de licuación, su resistencia del suelo va bajando haciendo que la estructura que esta encima se vaya asentando y perdiendo la capacidad que soporta. Cuando ocurre eventos sísmicos donde ya se han presentado el efecto de licuación de suelos, existe una alta posibilidad de que vuelva la recurrencia del proceso en una misma Por lo si no se compacta el terreno, se volverá a repetir el mismo proceso de licuación.

En la segunda categoría de Mejoramiento y Resistencia para suelos licuables se presentaron 8 aportes donde se dialoga que para los suelos que sufren este tipo de fenómeno se puede tratar con el CSPRCM porque refuerza la base del terreno y mejora las propiedades del suelo. Hace que la estructura original del suelo es destruida y la arena que esta licuada; el poro el agua se descarga del suelo y los tamaños de poro son reducidos. Por lo tanto, las partículas del suelo se reorganizan para formar una nueva estructura. Además, los micropilotes con inyecciones cementicias es otro tipo de tratamiento ya que permite obtener mejoras en la resistencia de los suelos licuables. También habla sobre la resistencia a licuación que se va reduciendo a medida que va aumentando el contenido de finos y no plásticos, ambos se deben que si aumenta la compresibilidad también la resistencia de la estructura del suelo.

La tercera categoría es de la ciudades que fueron afectadas por el efecto de licuación, tiene 5 aportes los cuales hablan que el fenómeno de Licuación de suelos es un problema mundial, que cualquier país puede poseer este problema, por el cual este efecto de licuación se debe tratar de solucionar para impedir ciertos daños utilizando tratamientos para disminuir el riesgo de licuefacción y así mismo pueda resistir el suelo.

**TABLA 5**

***Inducción de Categorías***

<b>Categorías</b>	<b>Aportes</b>
<p><b>Análisis de Suelos Licuables</b></p>	<p>El método pasivo de Análisis de Microtremores (MAM) y el activo de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) se comenzaron a usar recientemente en estudios de licuación de arenas. En el trabajo se describe un método que se empleó en el Valle de Mexicali para caracterizar el suelo en términos de su velocidad de onda de corte con el fin de evaluar el potencial de licuación. (Shelley, Mussio, Rodríguez y Chang, 2014)</p> <p>El fenómeno de Licuefacción de suelos es un problema mundial, que cualquier país puede poseer este problema. El análisis de licuación tiene que cumplir lo siguiente: ser granular, homogéneo, poseer un nivel freático superficial, presencia sísmica y poseer grandes estratos. La magnitud del fenómeno de licuefacción de suelos se incrementa, conforme aumente la magnitud del sismo, por lo cual es responsabilidad del proyectista considerar la presencia de este fenómeno en sus cálculos, ya que al diseñar se debe considerar que suceda el peor de los casos. (Adanaque, 2019).</p> <p>En los suelos de arena arcillosa y arena limosa identificados en el área de estudio son propensos a la ocurrencia de la licuefacción que constituye uno de los problemas en la ingeniería sismo-geotécnica, el cual se evidencia en suelos con ciertas propiedades, principalmente después de ser sometidos a cargas cíclicas como terremotos o vibraciones. (Diéguez, Cuñat, Lacaba y Álvarez, 2016)</p> <p>La metodología para analizar la licuación que se usa como parámetro la resistencia a la velocidad de onda de corte, son confiables y reflejan resultados apropiados según la resistencia del suelo, lo que permite evaluar el potencial de la licuación de los estratos lenticulares que se presentan en zonas costeras. también el comportamiento del suelo con alta probabilidad de licuación sufre mayor afecto debido a los asentamientos y pérdida de la capacidad que soporta (Cruz, 2019)</p> <p>Las zonas costeras que se encuentran descampadas presentan probabilidad de licuación mayor porque se debe a constante movimiento de los sedimentos ocasionado por el viento que no permiten la compactación del material y se refleja en una mayor inestabilidad en estas zonas. (Campos, Cañón y Sarmiento, 2017)</p> <p>A medida que el suelo entra en estado de licuefacción la resistencia lateral del suelo baja, haciendo que el periodo natural de la estructura disminuya, presentándose la posibilidad de que la estructura entre en resonancia si la frecuencia de la misma coincide con la frecuencia del sismo, otro efecto negativo que se produce con la pérdida de resistencia lateral es la posible amplificación del momento flector en la cabeza del pilote, aunque esto depende de la capacidad de amortiguamiento del suelo. (Zapata y Álvarez, 2018)</p> <p>Youd (1984) señaló que "en eventos sísmicos donde se ha presentado licuación de suelos, existe una alta posibilidad de la recurrencia del proceso en una misma zona la licuación puede repetirse cuando las condiciones del suelo, así como los niveles freáticos, permanecen iguales o con características semejantes". Por lo en el proceso se repetirá en las mismas zonas hasta que se compacte el terreno (Palacios y Perucca, 2020)</p>

**Mejoramiento  
y Resistencia  
para suelos  
licuables**

Para el tratamiento suelos licuables en cimientos de suelos licuables siempre ha sido una parte importante de la construcción. La licuefacción de arena disminuye la capacidad de cimientos y puede causar graves accidentes de construcción, carreteras o puentes (Du, Xia, Cai, Pan y Sun,2020)

La resistencia a licuación va disminuyendo a medida que va aumentando el contenido de finos y no plásticos, esto se debe a que se aumenta la compresibilidad y la resistencia de la estructura del suelo (Vallejo, Díaz y Escobar, 2013)

Para mejorar la licuefacción existente en dos categorías. Una de las ideas proviene de las propiedades de los suelos de cimentación licuables, mediante la mejora de las cualidades del suelo para mejorar la capacidad de anti-licuefacción del suelo en la etapa inicial. La otra idea es considerar de las condiciones de estrés de los suelos de cimentación licuables, y para reducir los desastres inducidos por licuefacción al cambiar las condiciones de estrés del suelo. (Xu,He y Li 2019)

Los micropilotes con inyecciones cementicias permite obtener mejoras en la resistencia de los suelos licuables lo que se tuvo que comprobar con pruebas de penetración, SPT, y geofísicas. También se determinó que los materiales limosos presentaron menor resistencia en las pruebas, comparado con los materiales arenosos (Coello y Alvarado, 2017)

El CSPRCM refuerza la base de arena y también mejora propiedades de arena limosa. El fortalecimiento del CSPRCM involucra un martillo que hace vibrar el suelo para inducir ondas transversales y longitudinales. Hace que la estructura original del suelo es destruida y la arena este licuada; el poro el agua se descarga del suelo y los tamaños de poro son reducidos. Por lo tanto, las partículas del suelo se reorganizan para formar una nueva estructura. (Du, Xia,Cai, Pan y Sun, 2020)

Para retardar y mejorar la licuación en los suelos se utiliza un material llamado Laponita que es una nano-arcilla y su fluido tixotrópico tiene un comportamiento de tipo sólido, reduciendo el movimiento de las partículas de arena, ya que retarda el exceso de presiones de poros y aumenta la resistencia a la licuación (Ochoa y Muñoz, 2017).

Uno de los métodos para aminorar el daño por la licuefacción se tiene que basar en las propiedades de la base del suelo licuable. La resistencia a la licuefacción mejora al mejorar las propiedades del suelo. (Xu,He y Li 2019)

Las arenas calcáreas de Cabo Rojo tuvieron mayor resistencia a licuación, comparada con otras arenas. También se puede verificar las diferencias en cuanto a las características de generación de presiones de poros y acumulación de deformaciones axiales (Sandoval y Pando, 2012)

**Ciudades  
afectadas por  
el efecto de  
licuación  
suelos**

El fenómeno de licuación causó muchos daños en ciudades como en Cuba en 1932 y en Bayamo en 1947 y en 1964 el efecto de licuación fueron devastadores para Alaska (USA) y Niigata (Japón), El efecto sísmico se entiende por modificaciones en amplitud, duración y contenido frecuencial que experimentan las ondas sísmicas cuando llegan a la superficie. Entre más blando sea el tipo de suelo que exista bajo la estación, mayor será la amplificación. (Diéguez, Cuñat, Lacaba y Álvarez, 2016)

El terremoto de Limón, causó bastantes daños en Costa Rica y Panamá fue afectado por la licuefacción de suelos, se desarrolló en el sector oriental del litoral del Caribe, varios de sus puentes y localidades sufrieron graves daños originados por la licuefacción. La deformación y los movimientos se desarrollaron aprovechando las suaves pendientes formadas hacia las depresiones, lo que generó una intensa fracturación del suelo (Mora y Yasuda, 2011)

Los terremotos de 1894, 1944, 1952 y 1977 provocaron licuefacción en el centro oeste de Argentina y particularmente en numerosos sitios de la provincia San Juan, resultando la zona norte del valle de Tulum, una de las más afectadas. Los registros históricos de procesos de licuefacción de suelos ocurridos durante los terremotos mencionados, evidencian grietas, volcanes de arena, cráteres y asentamientos diferenciales, los que ocasionaron importantes daños a las viviendas y al sector agro industrial de la región. (Palacios,Perucca,Pantano y Lara, 2017)

En el terremoto de Maule 2010 ocurrió licuefacción del suelo que rodea al pilote debido al reacomodo y la disminución volumétrica de las capas licuables. En muchas ocasiones, la magnitud de los asentamientos y cargas generadas por el efecto del downdrag en pilotes no estaban bien definidas. (Cabezas y Ledezma,2019)

La cimentación se ubica en una zona que ha experimentado efectos del fenómeno de licuación de suelos debido a fuertes movimientos sísmicos durante el terremoto en Ecuador el 16 de abril de 2016 que provocó el colapso de varias edificaciones en la denominada Zona Cero de Manta, en la provincia de Manabí. Los análisis de ingeniería geotécnica en el área del estudio indicaron que hay un alto riesgo de licuación en los suelos de cimentación hasta profundidades entre 8 y 10 metros. Por lo que se determinó que se requiere el tratamiento del suelo en toda el área de la cimentación, mediante micropilotes con inyecciones de lechada de cemento (Coelloa y Alvarado, 2017)

*Fuente: Elaboración Propia*

#### 4. CONCLUSIONES

La presente revisión sistemática de literatura propone un aporte significativo para futuras investigaciones sobre el análisis de licuación de suelos en los sectores costeros ya que es un tema muy importante para la ingeniería y para el mundo.

En los resultados obtenido, se da respuesta a la interrogante planteada y objetivo en la presente investigación, para el cual existen investigación en los últimos 10 años y se presentarán los aportes a la ingeniería más recientes en esta área de investigación.

Además, la limitación de esta investigación se relaciona con el tipo de documento seleccionado, que corresponden a artículos indexados en formato paper, limitando a otros tipos de documentos que contienen información más extensa y variada sobre el tema, reduciéndolos a tan solo artículos en formato paper, sintetizando la información por criterios como año, revista, y sector, así mismo valorándolos porcentualmente para su posterior interpretación.

## REFERENCIAS

- Adanaque. (2019). *Evaluación del potencial de licuefacción de suelos en las zonas costeras de Lambayeque y Mórrope, provincia de Lambayeque, 2017*. Obtenido de <http://tesis.usat.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12423/1819>
- Bhattacharya, Sarkar , y Huang. (2017). *Seismic Design of Piles in Liquefiable Soils*. Obtenido de <file:///C:/Users/PAOLA/Downloads/Seismic%20Design%20of%20Piles%20in%20Liquefiable%20Soils.pdf>
- Binhua, Ning, y Denghua. (2019). *Study on the treatments and countermeasures*. Obtenido de <file:///C:/Users/PAOLA/Downloads/Study%20on%20the%20treatments%20and%20countermeasures.pdf>
- Campos, Ramos , y Prada. (2016). *Evaluación probabilística de licuación en arenas de la ciudad de Piura en Perú*. Obtenido de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-28132017000200061#B13](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132017000200061#B13)
- Fernández, Bandera, Guardado, y Oliva. (2017). *Susceptibilidad a la licuefacción de los suelos*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2235/223549947003.pdf>
- Ochoa, y Muñoz. (2017). *Laponita: una nanotecnología que retarda la licuefacción*. Obtenido de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-28132017000100001&lang=es](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132017000100001&lang=es)
- Pastor, Tomás, Cano, y Riquelme. (2018). *Estudio comparativo del potencial de licuación de suelos usando las normas españolas y el Eurocódigo*. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/bsgm/v70n3/1405-3322-bsgm-70-03-761.pdf>
- Stay , y Herbozo. (2017). *Cimentación en suelos potencialmente licuables mediante un bloque de suelo reforzado utilizando micropilotes con inyecciones cementicias*. Obtenido de <http://www.revistaespirales.com/index.php/es/article/viewFile/128/71>