



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

**Micropilotes raíz para reforzar cimentaciones de viviendas construidas
sobre suelos vulnerables a licuefacción sísmica.**

AUTORAS:

Aliatis Andrade, Melanie Rachelle

Vicuña Vera, Jennia Melissa

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL**

TUTOR:

Martínez Rehpani, Colón Gilberto

Guayaquil, Ecuador

2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente Trabajo de Titulación fue realizado en su totalidad por **Melanie Rachelle Aliatis Andrade** y **Jennia Melissa Vicuña Vera**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniera Civil**.

TUTOR

f. 

Ing. Colón Gilberto Martínez Rehpani

DIRECTORA DE CARRERA

f.

f.



firmado digitalmente por:
STEFANY ESTHER
ALCIVAR BASTIDAS

Ing. Stefany Alcívar Bastidas M.Sc

Guayaquil, a los 24 días del mes de febrero del año 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotras, **Aliatis Andrade, Melanie Rachelle** y **Vicuña Vera, Jennia Melissa**

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación: **Micropilotes raíz para reforzar cimentaciones de viviendas construidas sobre suelos vulnerables a licuefacción sísmica**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Civil**, se ha desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

f. _____ f. _____

Aliatis Andrade, Melanie Rachelle

Vicuña Vera, Jennia Melissa

Guayaquil, a los 24 días del mes de febrero del año 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Nosotras, **Aliatis Andrade, Melanie Rachelle** y **Vicuña Vera, Jennia Melissa**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Micropilotes raíz para reforzar cimentaciones de viviendas construidas sobre suelos vulnerables a licuefacción sísmica**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 24 días del mes de febrero del año 2023

LAS AUTORAS:

f. _____

Aliatis Andrade, Melanie Rachelle

f. _____

Vicuña Vera, Jennia Melissa

REPORTE DE URKUND

Document Information

Analyzed document	TESIS_ Aliatis Melanie - Vicuña Jennia.docx (D158292836)
Submitted	2/10/2023 12:17:00 AM
Submitted by	
Submitter email	clara.glas@cu.ucsg.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	clara.glas.ucsg@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA **tesis formato final.docx**
Document tesis formato final.docx (D31476600)



Clara

AGRADECIMIENTO

Agradecida inmensamente con Dios por no desampararme en ningún momento a lo largo de mi vida y esta ardua meta alcanzada, mostrándome constantemente su amor y misericordia a través de cada obstáculo superado.

Agradezco con el mismo cariño y respeto inmensurable a mis padres y abuelos por apoyarme tanto moral y afectiva como económicamente en todo momento de esta y cada una de las etapas de mi vida.

Y finalmente agradezco considerablemente a mis profesores, compañeros y demás profesionales por su soporte y apreciables conocimientos impartidos; en especial a mi tutor de tesis quien con perseverancia y consideración nos guio y brindó bases necesarias para culminar con triunfo este valioso propósito personal y académico.

Melanie Rachelle Aliatis Andrade

DEDICATORIA

Dedico primordialmente y con inmenso cariño este trabajo investigativo a Dios y mis padres quienes han sido mi cimiento principal y fortaleza constante a través de mi exitosa formación como persona y futura profesional.

Dedico de igual manera este logro a mis abuelos, Lola y René, quienes me demostraron verdadera afección y soporte incesantemente.

Y por último dedico de manera especial este trabajo a mi hermana porque además de ser mi más admirable ejemplo a seguir y jamás dudar de mis aptitudes, me obsequió la indescriptible dicha de convertirme en tía, reforzando y volviéndose el propósito esencial de nuestras vidas.

Melanie Rachelle Aliatis Andrade

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por ser parte fundamental en la construcción de la persona que soy hoy en día, por poder culminar esta gran meta y lograr ser una profesional, y por guiarme siempre por el buen camino.

Quiero agradecerles a mis padres, quienes han estado desde el primer día apoyándome y alentándome día a día para continuar con este gran proceso; por estar para mí en los buenos y en los malos momentos, cuando más los he necesitado; por enseñarme a ser perseverante, responsable y honesta; y por criarme siempre con buenos valores. A mi hermano mayor, quien ha sido un gran ejemplo para seguir y quien me ha sacado una sonrisa en los momentos en los que más lo he necesitado para poder continuar con este sueño. A mis hermanitos, quienes me han inspirado a querer ser un ejemplo para ellos y por darme fuerzas con un gran abrazo.

Quiero agradecer a toda mi familia, quienes me apoyaron en el transcurso de toda mi carrera estudiantil, me enseñaron buenos valores y estuvieron junto a mí en cada paso que di a lo largo de mi carrera universitaria. También agradezco a mi novio, quien ha estado junto a mí en cada momento, alentándome a ser perseverante.

Finalmente, quiero agradecer a mi tutor, el ingeniero Gilberto Martínez, y a los docentes de mi carrera universitaria, por brindarme de sus conocimientos y valores, ayudándome a culminar mi carrera.

Jennia Melissa Vicuña Vera

DEDICATORIA

Quiero dedicarle este escrito a mi familia. A mi madre, Yenny Vera, por confiar siempre en mí y por enseñarme los valores para ser la gran persona que soy hoy en día, por no dudar nunca de mí y ser un apoyo incondicional. A mi padre, Marcos Vicuña, quien me ha enseñado a ser perseverante para poder cumplir mis sueños y por ser un gran apoyo para mí. A mis hermanos, Marco Vicuña, Adriano Vicuña y Arianny Vicuña, por ser el mejor apoyo emocional que me ha ayudado a seguir adelante con mis sueños y metas. A mi novio, Manuel Cervantes, por estar siempre a mi lado en este proceso y por no dudar de mí, por alentarme en cada momento de este gran proceso.

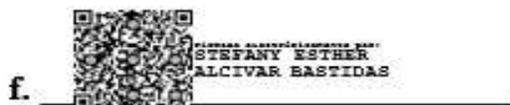
Jennia Melissa Vicuña Vera



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Stefany Alcívar Bastidas M.Sc

DIRECTORA DE CARRERA



Ing. José Barros Cabezas M. Sc

COORDINADOR DE AREA



Ing. Daniel de la Pared, MSc.

OPONENTE

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	2
1 INTRODUCCIÓN.....	2
ANTECEDENTES.....	3
1.1 Licuefacción de Suelos Generada por Sismos	3
1.1.1 Licuefacción Sísmica en el Ecuador	5
1.1.2 Peligro de Licuefacción en Suelos de Guayaquil.....	8
1.2 Planteamiento del Problema.....	9
1.3 Zona de Estudio.....	9
1.4 Justificación.....	9
1.5 Objetivos	11
1.5.1 Objetivo General	11
1.5.2 Objetivos Específicos.....	11
CAPÍTULO II	12
2 MARCO TEÓRICO	12
2.1 Educación Ambiental	12
2.2 Objetivos de Desarrollo Sostenible	12
2.3 Riesgo y Peligrosidad Sísmica en el Ecuador	14
2.4 Licuefacción Sísmica	18
2.4.1 Definición.....	18
2.4.2 Causas de la generación de licuefacción sísmica:.....	20
2.4.3 Propiedades de suelos licuefactables:	20
2.4.4 Factores que inciden en su ocurrencia.....	21
2.4.5 Métodos para evaluar la susceptibilidad a la licuefacción	22

2.4.6	Criterio Magnitud – Máxima Distancia para determinar la ocurrencia de licuefacción.....	23
2.4.7	Caracterización de los Suelos de Vía a Samborondón.....	24
2.5	Micropilotes Raíz	30
2.5.1	Clasificación de Micropilotes.....	33
2.5.2	Métodos de Perforación de micropilotes raíz.....	34
2.5.3	Clasificación por Armado	35
2.5.4	Clasificación por Sistema de Inyección	36
2.5.5	Principales aplicaciones	37
2.5.6	Ventajas del uso de micropilotes.....	42
2.5.7	Desventajas del uso de micropilotes	43
CAPÍTULO III.....		44
3	PROPUESTA METODOLÓGICA	44
3.1	Metodología	44
3.1.1	Profundidad a la que Ocurre la Licuefacción.....	45
3.1.2	Procedimiento Simplificado de Seed e Idris para la determinación de licuefacción.....	47
3.2	Propuesta de diseño e inyección de micropilotes raíz.....	51
3.2.1	Granulometría.....	51
3.3	Diseño de mortero para 6 probetas.....	57
3.4	Diseño de mortero para 1 metro cúbico	57
3.4.1	Metodología de inyección de micropilotes	60
3.4.2	Detalle gráfico de propuesta central.....	61
3.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	70
4	CONCLUSIONES.....	71
5	RECOMENDACIONES.....	73
6	REFERENCIAS.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Calle Anchorage, Alaska. Terremoto en 1964</i>	3
Figura 2. <i>Hundimiento de piso en estructura tras terremoto en Pisco, Perú, 2007</i>	4
Figura 3. <i>Zona Tarquí posterior al terremoto del 16 de abril de 2016</i>	6
Figura 4. <i>Características geotécnicas y zonas de licuefacción de zona Tarquí, Manta</i>	6
Figura 5. <i>Ubicación de Samborondón, Guayaquil</i>	9
Figura 6. <i>Episcentros de los terremotos mayores a 6.5 grados en la escala de Richter, ocurridos en Ecuador durante el periodo 1900-2017</i>	10
Figura 7. <i>Mapa geodinámico de Ecuador, las Islas Galápagos y la cordillera de Carnegie</i>	15
Figura 8. <i>Curvas de peligro sísmico para ciertas provincias de Ecuador</i>	16
Figura 9. <i>Mapas de peligro sísmico en Ecuador para diferentes periodos de retorno: a) 50 años, b) 100 años, c) 500 años y d) 2500 años</i>	17
Figura 10. <i>Licuefacción de suelos</i>	19
Figura 11. <i>Distancia desde el epicentro hasta el sitio más lejano donde ocurrió licuación SEGÚN, para magnitudes de ondas superficiales (Ms)</i>	23
Figura 12. <i>Tipos de suelos</i>	25
Figura 13. <i>Probable falla geológica por alineamiento de los ríos Daule y Babahoyo</i>	26
Figura 14. <i>Mapa geológico de Ecuador</i>	28
Figura 15. <i>Tipología geológica de la costa perteneciente al periodo cuaternario</i>	28
Figura 16. <i>Área de estudio "La Puntilla"</i>	29
Figura 17. <i>Islote El Palmar</i>	29
Figura 18. <i>Recalce y refuerzo de muros con micropilotes en la iglesia de San Andrés, Roma</i>	30
Figura 19. <i>Recalce y refuerzo con micropilotes del castillo de Bootham en York, Inglaterra</i>	31
Figura 20. <i>Recalce de viaducto de Teruel, España</i>	31

Figura 21. Refuerzo con micropilotes de la torre inclinada de Burano en Venecia, Italia	32
Figura 22. Ejemplo de cabezal de perforación a rotopercusión	34
Figura 23. Colocación de armadura tubular	35
Figura 24. Tipos de inyección en micropilotes	37
Figura 25. Ejemplo de cimentación reforzada con micropilotes raíz	38
Figura 26. Ejemplos de recalce de cimentaciones preexistentes mediante micropilotes raíz	38
Figura 27. Ejemplo de micropilotes como estructura de contención o sostenimiento	39
Figura 28. Ejemplo de micropilotes para estabilización de taludes o laderas	40
Figura 29. Ejemplo de micropilotes como paraguas de sostenimiento.....	41
Figura 30. Ejemplo de micropilotes como mejora del terreno	42
Figura 31. Km 1, vía La Puntilla, Samborondón, Guayas	44
Figura 32. Microzonificación de sondeos obtenidos dentro de la zona de estudio	44
Figura 33. Rangos granulométricos con posibilidad de licuefacción según Tsuchida y Hayashi (Código de Cimentaciones de Costa Rica, 1994).....	46
Figura 34. Profundidad vs. coeficiente de reducción de esfuerzos	47
Figura 35. Relación P_v vs. C_q	49
Figura 36. Relación Q_c vs τ'_{pv}	50
Figura 37. Recolección de arena más gravilla del río Cañar.....	52
Figura 38. Secado al horno.....	52
Figura 39. Proceso de granulometría	53
Figura 40. Clasificación granulométrica	53
Figura 41. Proceso de probetas	54
Figura 42. Curado de probetas	54
Figura 43. Ensayos de rotura a la compresión	55
Figura 44. Rotura de probeta. Se observa la granulometría perfecta del mortero de inyección.....	55

Figura 45. <i>Curva granulométrica perfecta con huso establecido por la Norma ASTM C-33 para morteros de cemento</i>	56
Figura 46. <i>Resistencia vs. Edad de los especímenes</i>	58
Figura 47. <i>Resistencia a la compresión de muestras a los 7 días</i>	59
Figura 48. <i>Resistencia a la compresión de muestras a los 14 días</i>	59
Figura 49. <i>Resistencia a la compresión de muestras a los 28 días</i>	60
Figura 50. <i>Vivienda tipo en zona de estudio</i>	61
Figura 51. <i>Ejemplo de máquina de perforación en el interior de una vivienda</i> ...	61
Figura 52. <i>Edificación sobre suelos licuables, antes de un sismo</i>	62
Figura 53. <i>Hundimiento de la edificación sobre suelos licuables, después de un sismo</i>	63
Figura 54. <i>Edificación sobre suelos licuables protegida con micropilotes inyectados con mortero de cemento</i>	64
Figura 55. <i>Cimentación tipo en corte</i>	65
Figura 56. <i>Micropilote en corte</i>	65
Figura 57. <i>Vista transversal de armadura</i>	66
Figura 58. <i>Cimentación tipo</i>	66
Figura 59. <i>Cimentación tipo con micropilotes</i>	67
Figura 60. <i>Cimentación tipo en 3D</i>	67
Figura 61. <i>Cimentación tipo reforzada con micropilotes raíz en 3D</i>	68
Figura 62. <i>Proceso de inyección de micropilotes raíz</i>	68
Figura 63. <i>Armadura del micropilote raíz</i>	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Historia sísmica del mundo</i>	5
Tabla 2. <i>Historia sísmica de los últimos 70 años en Ecuador</i>	5
Tabla 3. <i>Tipos de suelos</i>	24
Tabla 4. <i>Relación entre N y q_c en la punta del cono holandés, en kg/cm^2</i>	49
Tabla 5. <i>Perforación km1, La Puntilla, Samborondón para evaluación de potencial de licuefacción</i>	50
Tabla 6. <i>Datos de perforación km1, La Puntilla, Samborondón para evaluación de potencial de licuefacción</i>	51
Tabla 7. <i>Registro granulométrico obtenido en laboratorio</i>	56
Tabla 8. <i>Ensayos de probetas a los 7 días</i>	57
Tabla 9. <i>Ensayos de probetas a los 14 días</i>	58

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo proporcionar una solución socioambiental e innovativa a un problema ingenieril común, acontecido frecuentemente en países con características sísmicas y geológicas semejantes a las de Ecuador. Para dicho propósito, se realiza un estudio del uso de micropilotes raíz elaborados con inyecciones de mortero para reforzar cimentaciones de viviendas existentes, construidas sobre suelos con alta probabilidad de incursionar dentro del fenómeno de licuación sísmica en el sector Samborondón, Ecuador.

Para un desarrollo más amplio de la investigación, se lleva a cabo un estudio ingeniero geológico, basado en diferentes autores, de sondeos estratigráficos adquiridos del sector Samborondón. Todo ello, obteniendo como resultado la comprobación de la presencia de suelos licuables dentro de la zona de estudio establecida.

Finalmente, se realizan ensayos de rotura de las probetas de mortero diseñado en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería y posteriormente ensayados en el Centro de Investigaciones en Ingeniería Estructural Sismo Resistente (CEINVES), con el fin de comprobar la alta resistencia de los micropilotes raíz para soportar las cargas sísmicas, de gravedad y los posibles asentamientos de estructuras de viviendas de dos pisos, transmitiéndolas hacia una cimentación estable y, sobre todo, proporcionándole una adecuada seguridad, resistencia y rigidez ante el problema de licuación sísmica.

Palabras clave: Licuefacción, Licuación Sísmica, Samborondón, Micropilotes Raíz, Susceptibilidad, Ensayo de Rotura.

ABSTRACT

This research was developed with the purpose of providing a socio-environmental and innovative solution to a common and recurrent engineering problem in countries with seismic and geological characteristics similar to those of our country. This research is based on the study of the use of root micropiles using mortar injections that are used to reinforce the foundations of existing houses that were built on soils with high probability of being affected by the phenomenon of seismic liquefaction in the Samborondón area.

For further development of the research, a geological study was carried out based on different authors of stratigraphic soundings acquired from the research area in Samborondón, from which we were able to obtain results that proved the presence of liquefiable soils within the established study area.

Finally, breakage tests were performed on the mortar specimens designed in the Soil Laboratory of the School of Engineering; and subsequently tested at CEINVES, to verify the high resistance of the root micropiles to withstand seismic loads, gravity and possible settlements of two-story housing structures, transmitting them to a stable foundation and, above all, providing adequate safety, strength and stiffness to the problem of seismic liquefaction.

Keywords: Liquefaction, Seismic Liquefaction, Samborondón, Root Micropiles, Susceptibility, Failure Test.

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia del Ecuador, así como en muchos otros lugares con características similares, han ocurrido distintos eventos destructivos naturales y antrópicos, siendo los terremotos uno de los fenómenos naturales más frecuentes y catastróficos que ha provocado cuantiosos daños materiales y devastadoras e irreparables pérdidas humanas. Gracias a la evaluación posterior de estructuras bajo distintas condiciones, magnitudes sísmicas y zonificación geotécnica, se evidenció el surgimiento de los suelos licuables, capaces de ocasionar hundimientos, desplazamientos verticales y/o laterales, y grandes asentamientos de diversas edificaciones.

La licuación o licuefacción de suelos es uno de los fenómenos más destructivos y polémicos, en el que el suelo, a causa de un movimiento cíclico y de intensidad fluctuante (carga sísmica), pierde su capacidad cortante y, por tanto, tiende a comportarse como un líquido, siendo de gran importancia social por la rapidez en la que ocurre. Actualmente, para combatir dicha problemática, es necesario realizar un mejoramiento en la resistencia de suelos a mayor profundidad.

Dicho lo anterior, desde un punto de vista geotécnico ingenieril, por medio de esta investigación se propuso realizar un análisis y estudio de micropilotes o también llamados pilotes raíz, como alternativa de refuerzo y seguridad de edificaciones ubicadas en zonas potencialmente susceptibles a licuefacción sísmica en la ciudad de Guayaquil, Ecuador.

ANTECEDENTES

Licuefacción de Suelos Generada por Sismos

A lo largo de la historia, han acontecido diferentes terremotos de gran magnitud, a través de los cuales ha sido posible registrar y evidenciar los daños de licuefacción que pueden ocurrir en los suelos. A continuación, se describen algunos casos:

Después de la colonización española, se han registrado al menos trece terremotos con características destructivas y fenómenos de licuefacción asociados (1817, 1861, 1844, 1894, 1899, 1920, 1927, 1929, 1944, 1948, 1949, 1952) que han impactado negativamente en el desarrollo y la economía de la región a lo largo de los últimos 200 años. (Perucca 2006)

Los casos históricos de licuefacción comenzaron a hacerse cada vez más notables a partir de las desastrosas consecuencias ocasionadas por un sismo en Niigata, Japón y en Anchorage, Alaska en 1964. En esa oportunidad, se realizaron estudios sobre el comportamiento del suelo debido a cargas causadas por el sismo donde se observó que la aplicación de una serie de esfuerzos cíclicos con magnitudes relativamente pequeñas a arenas saturadas con mediana a alta densidad bajo condiciones no drenadas puede generar una elevada presión de poro e inducir deformaciones significativas en muestras que presentan comportamientos dilatantes. (Mussio, 2012, p. 10)

Figura 1. *Calle Anchorage, Alaska. Terremoto en 1964*



Nota. Tomado de Archivo: AlaskaQuake-FourthAve.jpg, por Wikimedia, 2008 (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AlaskaQuake-FourthAve.jpg>).

“El sismo del 15 de agosto de 2007, ocurrido al sur de Lima, Perú: ha originado graves daños debido al desarrollo del fenómeno de licuación en extensas áreas industriales y de vivienda, apoyadas sobre suelos arenosos saturados” (Carrillo y Alcayhuamán, 2008, p. 1).

Figura 2. *Hundimiento de piso en estructura tras terremoto en Pisco, Perú, 2007*



Nota. Tomado de *Pisco: hace 12 años se registró uno de los terremotos más destructivos del Perú | FOTOS*, por Diario El Comercio, 2019 (<https://elcomercio.pe/peru/ica/pisco-12-anos-registro-terremotos-destructivos-peru-noticia-ecpm-547135-noticia/>).

En el Estado Veracruz, los efectos dañinos generados por el evento sísmico del 7 de septiembre de 2017 se apreciaron en los municipios sureños de Coatzacoalcos, Cosoleacaque, Hidalgotitlán, Jáltipan, Minatitlán y Texistepec, lo que obligó a la Secretaría de Gobernación a emitir la declaratoria de desastre natural para estos 6 municipios. De estos, el municipio con mayores reportes de daños fue Coatzacoalcos, donde viviendas de uno a dos niveles del sur de la ciudad, presentaron fallas asociadas al fenómeno de la licuación de suelos. (Guzmán et al., 2018, p. 82)

Tabla 1. *Historia sísmica del mundo*

Fecha	Epicentro	Profundidad al hipocentro (km)	Magnitud	Muertes estimadas
Enero 12, 2010	Haití	10	7.0 M_l	300 000
Mayo 31, 1970	Perú	45	7.8 M_s	80 000
Enero 15, 1939	Chile	60	7.8 M_s	24 000
Febrero 4, 1976	Guatemala	5	7.5 M_w	23 000
Diciembre 23, 1972	Nicaragua	5	6.2 M_w	10 000

Nota. Adaptado de *Los 10 terremotos más potentes y mortíferos de la historia en América Latina*, por BBC News Mundo, 2017 (<https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-41343606>)

1.1.1 Licuefacción Sísmica en el Ecuador

Ecuador cuenta con un alto riesgo sísmico, dado que se encuentra ubicado en un movimiento tectónico. El tipo de fuente sísmica es de subducción (interplaca e intraplaca) de la placa oceánica, tal como se puede evidenciar en la Tabla 2.

Tabla 2. *Historia sísmica de los últimos 70 años en Ecuador*

Fecha	Epicentro	Profundidad al hipocentro (km)	Magnitud	Muertes estimadas
Agosto 05, 1949	Ambato	40	6.8 M_l	5000
Enero 19, 1958	Esmeraldas	60	7.6 M_s	111
Marzo 05, 1987	Napo	10	6.5 M_s	300
Agosto 04, 1998	Bahía de Caráquez	33	7.2 M_w	3
Agosto 12, 2010	Riobamba	211	7.1 M_w	0
Agosto 12, 2014	Quito	12	5.1 M_w	4
Abril 16, 2016	Pedernales	20	7.8 M_w	Más de 650

Nota. Adaptado de United States Geological Survey (USGS).

El fenómeno de licuación de suelos por actividad sísmica se pudo evidenciar en Ecuador, por medio del siguiente acontecimiento catastrófico:

El terremoto del 16 de abril de 2016 tuvo como epicentro Pedernales, cantón perteneciente a la provincia de Manabí, dentro de la cual se encuentra Tarquí, zona de suma importancia comercial de Manta, altamente afectada por la licuación a causa del terremoto de magnitud de momento (M_w) 7.8, dando lugar a altas deformaciones y asentamientos en la infraestructura urbana (ver Figura 3).

Figura 3. Zona Tarquí posterior al terremoto del 16 de abril de 2016



Nota. Tomado de *Seis metros de peligro en el suelo de Tarquí*, por El Diario, 2016 (<https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/408066-seis-metros-de-peligro-en-el-suelo-de-tarqui/>).

En la Figura 4 se observan las zonas donde existe una alta probabilidad de que ocurra la licuefacción de los suelos, identificadas por las zonas 7 y 8. El Edificio “Adrianita” que colapsó durante el terremoto se halla en la zona 4, caracterizada por ser una zona de terrenos arenosos y con probable licuefacción de suelos (Aguiar et al., 2018).

Figura 4. Características geotécnicas y zonas de licuefacción de zona Tarquí, Manta



Nota. Tomado de *Estudio geotécnico y de riesgo sísmico de la zona Tarqui de la ciudad de Manta de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015*, por Geoestudios, 2016, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.

Para el sitio de Manta, los suelos saturados cubren el substrato rocoso de las arcillolitas y limolitas de la formación Tosagua. Aquí, las propagaciones de las ondas sísmicas tienen comportamientos diferentes en los diversos tipos de rocas dependiendo mucho de su consistencia litológica y espesor, sin embargo, esta amplificación puede ser incrementada (ie., efecto de sitio) en los sedimentos holocénicos (últimos 11 784 años). (Chunga, 2016, p. 1)

1.1.2 Peligro de Licuefacción en Suelos de Guayaquil

Según Argudo (1999), “La Licuación de Suelos es un fenómeno que se produce debido a la pérdida de la resistencia al cortante de los suelos arenosos sueltos y saturados de agua durante vibraciones sísmicas intensas” (p. 86). Cuando se habla de riesgos geológicos, se hace referencia a los sucesos que han ocurrido de manera natural. Sin embargo, a través de la contaminación, la minería, la deforestación, entre otras actividades, el ser humano ha generado riesgos inducidos que incrementan de manera significativa los riesgos geológicos. La ciudad de Guayaquil es una urbanización masiva poco planificada, lo cual se ha traducido en deslizamientos peligrosos y acontecimientos como, por ejemplo: sacudimiento del terreno, fallo de superficie, deslizamiento y licuefacción cuando hay presencia de terremotos.

De acuerdo con el *Manual Práctico para la Caracterización Geológica, Geotécnica y Sísmica de la ciudad de Guayaquil* y Vera (2005), existen tres macrodominios geológicos, a saber:

- La llanura aluvial de los ríos Daule y Babahoyo.
- El complejo deltaico-estuarino del río Guayas.
- Las colinas de la cordillera Chongón-Colonche.

La ciudad de Guayaquil cuenta con varios ambientes geológicos, por lo que la diversidad de los suelos es muy grande. Desde una perspectiva geológica, dentro de la ciudad es posible identificar suelos residuales, transportados, coluviales, aluviales y deltaicos.

En 1999, el riesgo sísmico de Guayaquil impulsó a la Municipalidad de la ciudad a lanzar una serie de estudios, análisis y recomendaciones en colaboración con la Secretaría del Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales (DIRDN) de las Naciones Unidas, la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil y GeoHazards International, efectuando así el proyecto RADIUS. De esa manera, se elaboró un plan de acción para la reducción del riesgo sísmico en la ciudad de Guayaquil.

Planteamiento del Problema

El problema geotécnico y el alto riesgo sísmico que presentan las estructuras en la ciudad de Guayaquil, Ecuador, obedece a la existencia de suelos susceptibles a licuefacción sísmica. De acuerdo con Argudo (1999), “Se han identificado algunos suelos con potencial de licuación en La Puntilla y a lo largo de la vía a La Aurora, [...], sobre los cuales se han construido algunas edificaciones con riesgo de experimentar daño” (p. 2).

Zona de Estudio

El presente trabajo de investigación se enfocó en la zona de Samborondón de la ciudad de Guayaquil, buscando disminuir el riesgo o la vulnerabilidad sísmica de las viviendas en Guayaquil y sus alrededores, así como también en Ecuador.

Figura 5. *Ubicación de Samborondón, Guayaquil*

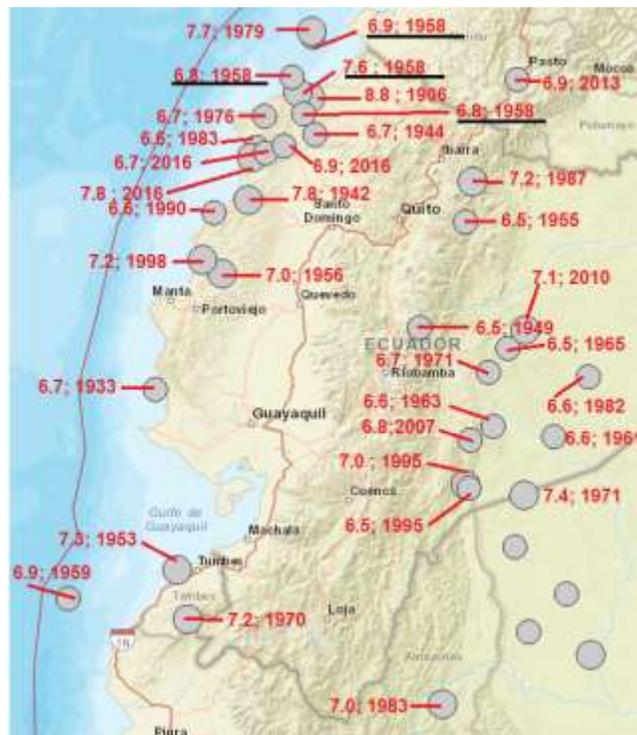


Nota. Tomado de Google Maps.

Justificación

Ecuador se ha caracterizado por ser un país con potencial actividad sísmica, por encontrarse en el anillo de fuego del Pacífico, donde se registra aproximadamente el 85 % de la actividad sísmica mundial, lo cual ha producido destrucción, daños materiales y pérdidas humanas.

Figura 6. *Epicentros de los terremotos mayores a 6.5 grados en la escala de Richter, ocurridos en Ecuador durante el periodo 1900-2017*



Nota. Tomado de *Experto habla de reactivación sísmica en el norte de Ecuador*, por El Universo, 2017 (<http://www.eluniverso.com/noticias/2017/02/02/nota/6027484/experto-habla-reactivacion-sismica-norte>).

En Ecuador ocurrieron sismos con focos de menos de 20 km, como se expone a continuación:

- Terremoto de 6.1 y 6.9 M_s , ocurrido el 5 de marzo de 1987
- Terremoto de 5.1 M_w , ocurrido el 12 de agosto de 2014 en Quito.
- Terremoto de 5.8 M_w , ocurrido el 19 de diciembre de 2016 en Esmeraldas.
- Terremoto de 6.1 M_w , ocurrido el 18 de abril de 2017 en Amazonía.
- Terremoto de 6.0 M_w , ocurrido el 10 de junio de 2017 en Bahía de Caráquez.

La licuefacción es un fenómeno sísmico destructivo que no se debe subestimar al igual que el fenómeno sísmico, ya que en el caso de un terremoto de 4.2 de la Escala Richter existe la posibilidad de que algunos terrenos arenosos y llenos de agua pierdan resistencia de forma rápida y, como si fueran líquido denso, lo que

ocurrirá que los edificios suprayacentes se hundan y se expulsen barros y arenas en superficies. (GEOSEC Ground Engineering, s.f., párr. 1)

Es por todo lo anterior que la presente investigación plantea una alternativa local para un problema socioambiental que se encuentra latente en algunas comunidades, contribuyendo, en el mediano plazo, con una solución piloto para enfrentar los problemas de licuefacción sísmica, generada por la alta sismicidad existente en Ecuador.

Objetivos

1.1.3 Objetivo General

Estudiar el uso de micropilotes raíz elaborados con inyecciones de mortero, como alternativa socioambiental para reforzar las cimentaciones de viviendas construidas sobre suelos potencialmente susceptibles a licuación sísmica en la ciudad de Guayaquil y sus alrededores.

1.1.4 Objetivos Específicos

- Identificar, a nivel global, las investigaciones relacionadas con el tema, con sus respectivos autores y definir la perspectiva teórica desde la cual se abordará la presente investigación.
- Definir, con ensayos de laboratorio, los parámetros aplicables al diseño de morteros que se empleará en el llenado de micropilotes raíz, de acuerdo con su comportamiento en estado fresco y a la normativa pertinente recomendada; con el fin de adaptar la metodología de dosificación experimental al proceso ejecutivo de reforzamiento que se utilizará en viviendas ya construidas.
- Establecer, a nivel esquemático, una propuesta del arreglo general de los micropilotes raíz para una vivienda de dos plantas, con cimentación en zapatas corridas y construida sobre suelos potencialmente susceptibles a licuefacción sísmica, buscando garantizar una adecuada transmisión de esfuerzos entre los micropilotes y la estructura a ser reforzada. Estos elementos estructurales se ejecutarán en interiores de difícil acceso.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Educación Ambiental

Con respecto a la educación ambiental, la Constitución Política de la República del Ecuador plantea lo siguiente:

Art. 281.- La soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiado de forma permanente. Dotar de alimentos a las poblaciones víctimas de desastres naturales o antrópicos que pongan en riesgo el acceso a la alimentación. Los alimentos recibidos de ayuda internacional no deberán afectar la salud ni el futuro de la producción de alimentos producidos localmente

Art. 389.- El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad.

Art. 397.- En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Establecer un sistema nacional de prevención, gestión de riesgos y desastres naturales, basado en los principios de inmediatez, eficiencia, precaución, responsabilidad y solidaridad.

Objetivos de Desarrollo Sostenible

Trabajo decente y crecimiento económico: promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos.

Industria, innovación e infraestructuras: construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.

Ciudades y comunidades sostenibles: lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.

Alianzas para lograr los objetivos: revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible (ONU, 2015).

Según Marskey (1989), los programas de mitigación del riesgo, llevados a cabo por gobiernos, agencias y organizaciones no gubernamentales (ONG), “solo buscan mitigar las consecuencias de fenómenos naturales específicos y no reducir la vulnerabilidad. Como tal, solo atacan los síntomas y no las causas de los desastres” (p.35).

La importancia de vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado es un deber del Estado y los miembros de cada pueblo. Para ello, el artículo 395 de la Constitución del Ecuador reconoce el siguiente principio ambiental: “El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución, y control de toda actividad que genere impactos ambientales” (Ministerio del Ambiente, 2013, p. 1).

La teoría de riesgos, en cuanto a geografía, trata acerca de la dificultad que presenta el ser humano al estar sometido dentro de un medio natural que puede traer consigo dificultades como peligros, amenazas, las cuales podrían afectar incluso a la supervivencia de los mismos, ante este problema es necesario analizar todas las acciones del hombre como especie dentro de un ecosistema para que su relación con el medio ambiente sea óptima y ayude a mantener y mejorar su calidad de vida, ante este punto de vista el ser humano mantiene diversas formas de adaptación dentro de un territorio que le permite optimizar y obtener todos los recursos necesarios que le ayuden a satisfacer sus necesidades y desechar otros aspectos que puedan ser perjudiciales en algún momento. (García-Tornel, 1984, p. 1)

Para determinar la magnitud de estos problemas es necesario realizar una evaluación de impactos con el fin de obtener información acerca de los impactos generados en el ambiente. Después del terremoto se han evidenciado problemas ambientales como cambios a nivel de paisaje, cambios de uso de suelo,

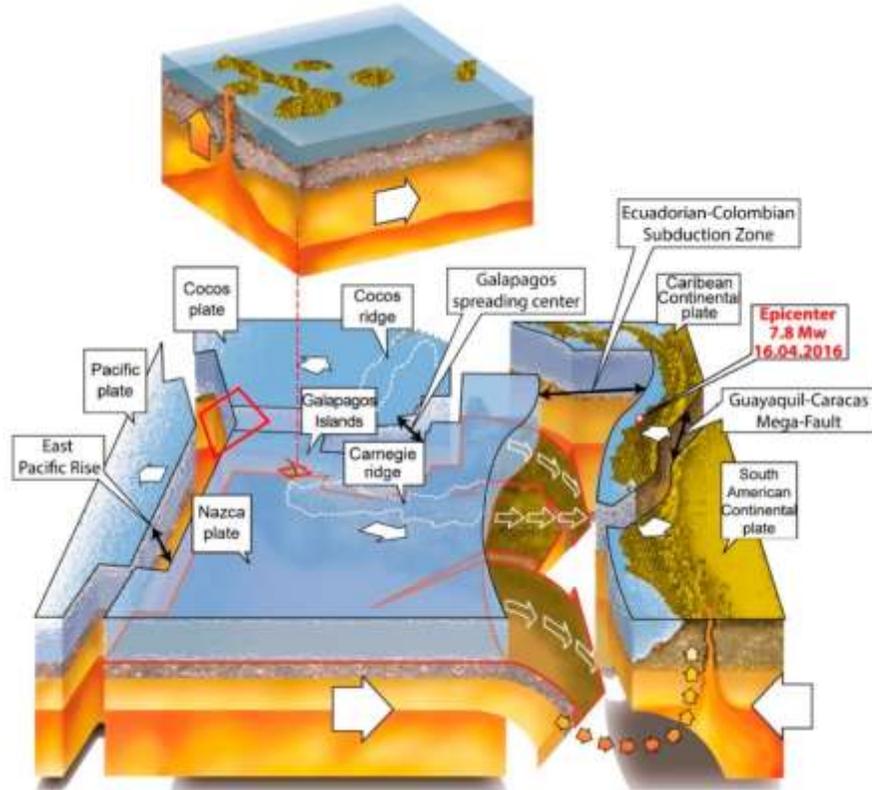
afectaciones a la biodiversidad típica de la zona, contaminación del agua y el aire, etc. (García-Tornel, 1984, p. 1)

Riesgo y Peligrosidad Sísmica en el Ecuador

Ecuador es un foco de actividad sísmica. Su costa se extiende a lo largo de la zona de intersección entre la placa oceánica de Nazca y la placa continental sudamericana. La primera se está hundiendo bajo la segunda a gran velocidad (47 mm al año). La acumulación de energía producida por este proceso de subducción se libera periódicamente en forma de terremotos imprevisibles a profundidades de 5 y 40 km en la zona de fricción. Estas descargas de tensión también pueden desencadenar sismos a lo largo de las fallas de la corteza terrestre o incluso en la placa oceánica subducida a 50 - 200 km de profundidad. (Beauval, 2021, párr. 2)

La geodinámica de Ecuador está caracterizada por el límite de placas convergentes que conforman una trinchera paralela que se extiende en dirección NNE-SSO al margen continental. En él se inicia la subducción de las placas oceánica de Nazca que incluye la Cordillera de Carnegie bajo la corteza continental de la placa Sudamericana formando un arco volcánico muy activo. (Duque et al., 2018, p. 12)

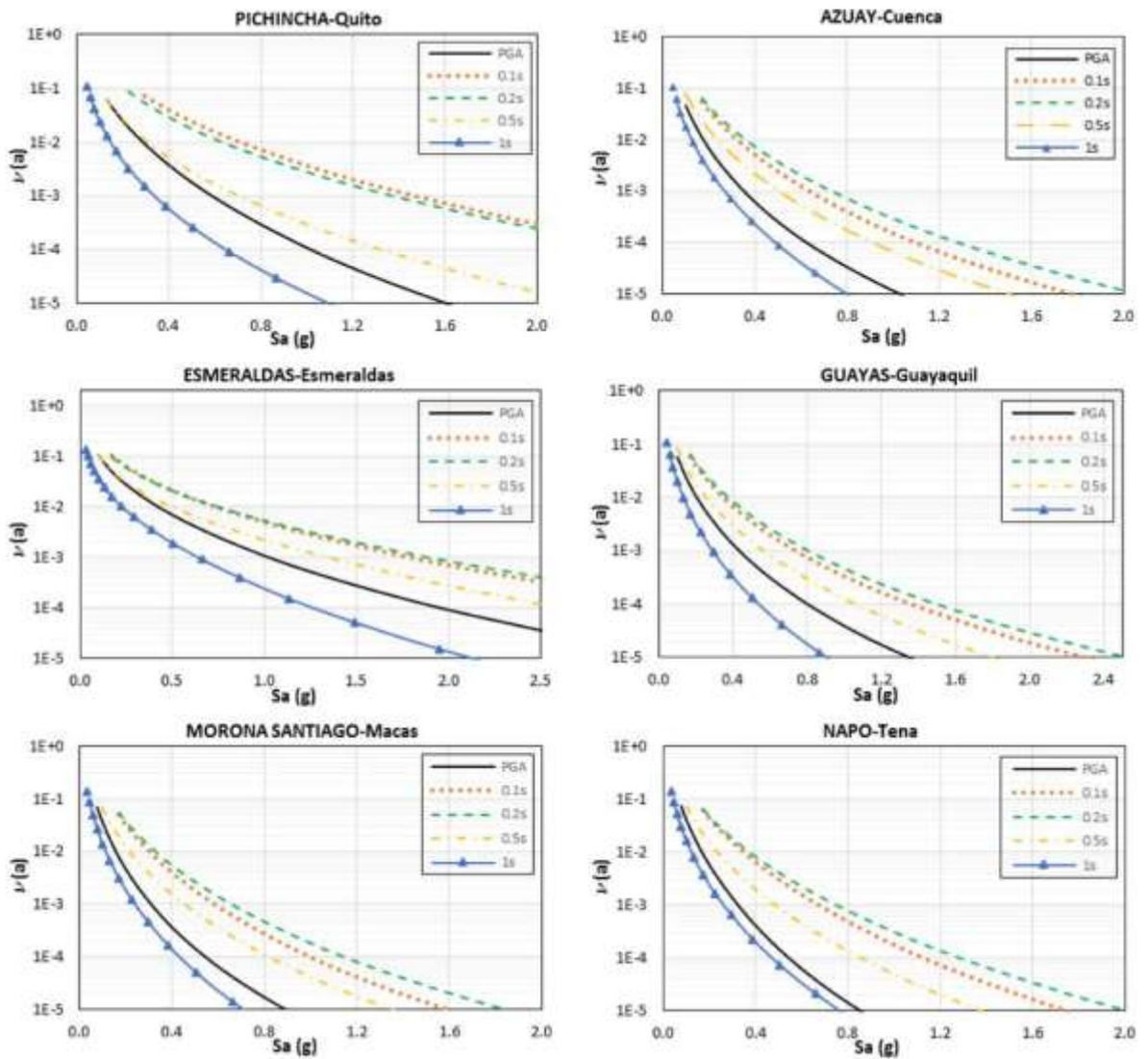
Figura 7. Mapa geodinámico de Ecuador, las Islas Galápagos y la cordillera de Carnegie



Nota. Tomado de “Dos precursores independientes en tiempo real del terremoto de 7.8 Mw en Ecuador basados en procesos radiactivos y geodésicos: herramientas poderosas para un sistema de alerta temprana”, por Toulkeridis et al., 2019, *Journal of Geodynamics*, 126.

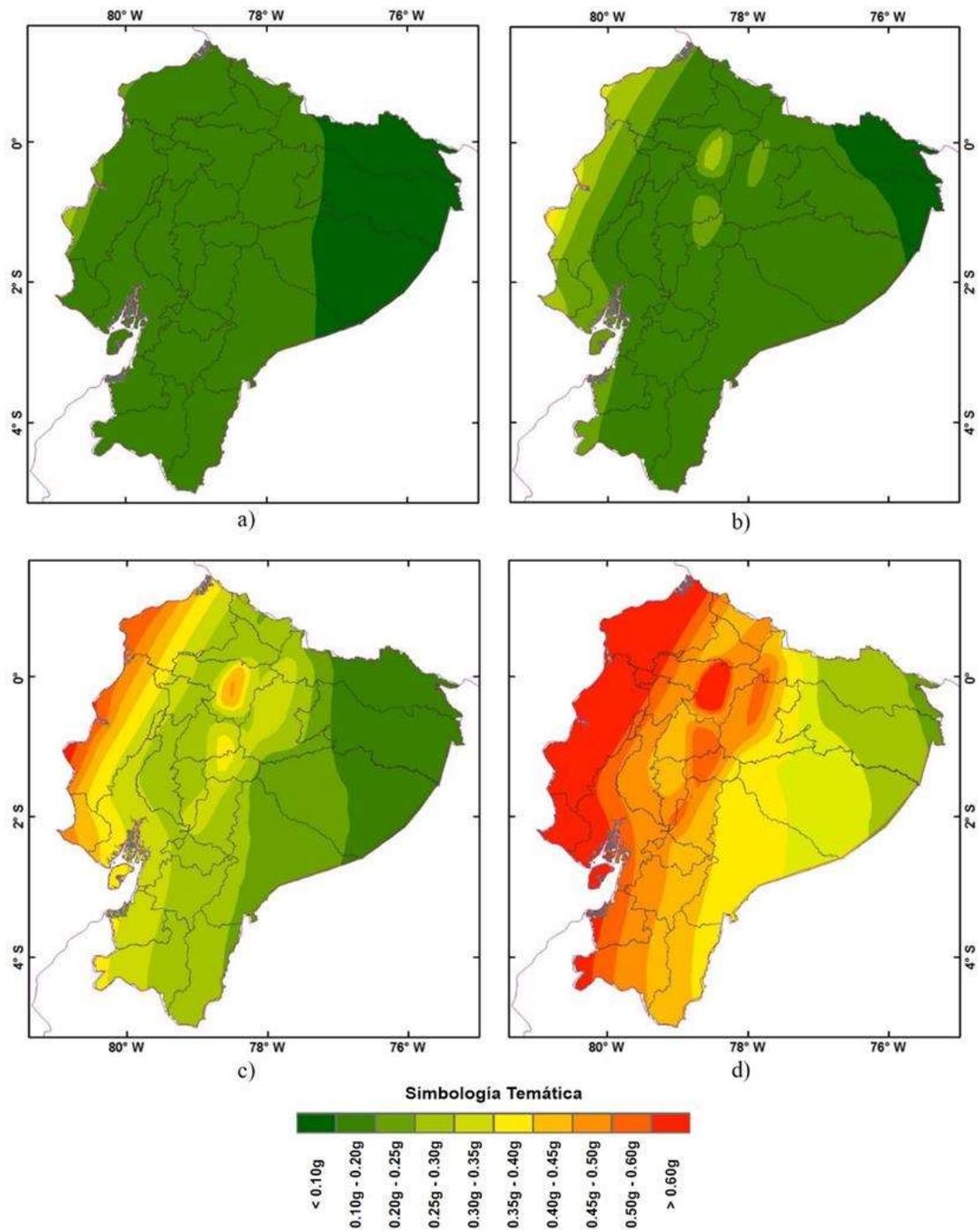
En la Figura 8 se observan las curvas de peligro sísmico para la aceleración máxima del suelo (PGA, por sus siglas en inglés) y pseudoaceleración para periodos estructurales de 0.1s, 0.2s, 0.5s y 1s (Sa(g)). Asimismo, en la Figura 9 se muestran los mapas de las zonas de amenaza sísmica, en términos de aceleraciones del suelo (para diferentes periodos de retorno de diseño establecido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción [NEC]), lo que consecuentemente podría atentar contra la seguridad estructural.

Figura 8. Curvas de peligro sísmico para ciertas provincias de Ecuador



Nota. Tomado de “Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca”, por Quinde y Reinoso, 2016, *Revista de Ingeniería Sísmica*, (94).

Figura 9. Mapas de peligro sísmico en Ecuador para diferentes periodos de retorno: a) 50 años, b) 100 años, c) 500 años y d) 2500 años



Nota. Tomado de “Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca”, por Quinde y Reinoso, 2016, *Revista de Ingeniería Sísmica*, (94).

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, para la costa ecuatoriana recomienda que el PGA debe ser mayor a 0.5 g no se indica que tan mayor, y gran parte de proyectistas estructurales trabajan con 0.5 g. En este contexto los valores registrados en la estación de Chone (ACHN) de 0.367 g, en Manta (AMNT) de 0.504 g, y en Portoviejo de 0.42 g son iguales o ligeramente menores al PGA del NEC-15. Pero en la Normativa de 2011 NEC-11 o en el Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2000, el valor de PGA para la Costa era de 0.4 g. (Aguiar, 2017, p. 9)

La mayor parte de las estructuras que colapsaron o tuvieron un mal comportamiento sísmico fueron diseñadas en el siglo pasado, seguramente con el Código Ecuatoriano de la Construcción de 1977, donde no existía una zonificación sísmica, de tal manera es de suponer que fueron diseñadas con fuerzas sísmicas menores. (Aguiar, 2017, p. 9)

No se esperaba tener un PGA tan elevado en la ciudad de Pedernales; las edificaciones de esa ciudad no fueron diseñadas para un valor tan alto, de ahí que buena parte de las edificaciones de la ciudad colapsaron o tuvieron un daño grande por lo que fueron derrocadas después del terremoto. (Aguiar, 2017, p. 9)

Licuefacción Sísmica

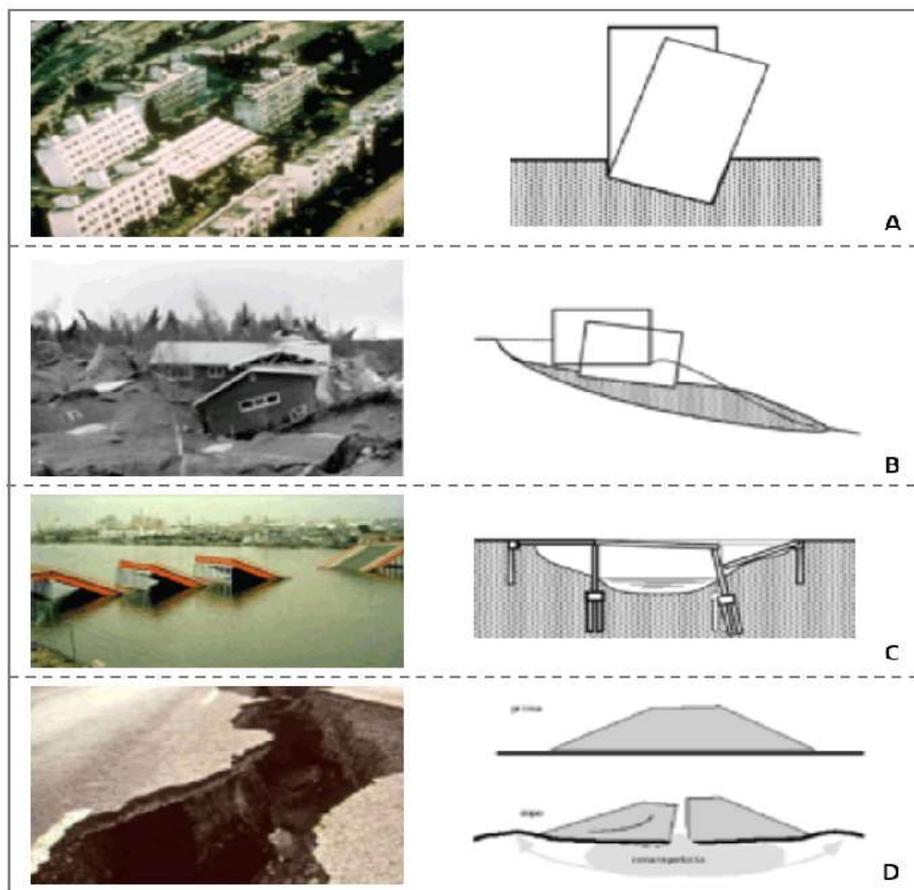
1.1.5 Definición

La licuefacción de suelos es un fenómeno en el cual los terrenos, a causa de saturación de agua y particularmente en sedimentos recientes como arena o grava, pierden su firmeza y fluyen como resultado de los esfuerzos provocados en ellos debido a los temblores. La licuefacción es una causa mayor de destrucción relacionada con terremotos (más aún que por la acción directa de las ondas sobre los edificios). En otras palabras, la licuefacción es capaz de desplazar, hundir o incluso producir vuelco de infraestructuras, sean casas, edificios u otros. Como es de esperarse, la infraestructura de regiones costeras es la que más peligro corre por la posibilidad de sismos cercanos y, por tanto, toda obra construida en estas zonas

debe contar con estudios previos y detallados que caractericen el tipo de suelo que presenta el sitio. (Universidad de Costa Rica, 2014, párr. 1)

A nivel internacional, existen pruebas de fenómenos macroscópicos de los efectos dañinos de la licuefacción, tal como se puede evidenciar en los registros históricos y geológicos de los fuertes terremotos ocurridos en California, como Loma Prieta (1989) y Northridge (1994); y otros ocurridos en Kobe (1995), Turquía (1999) y Taiwán (1999) (Fernández, 2015).

Figura 10. *Licuefacción de suelos*



Nota. A) Hundimiento de edificios en la ciudad de Niigata (Japón, 1964); B) Efectos de la licuefacción del suelo en el terremoto de Alaska, 1964; C) Fallas del puente Showa durante el terremoto de Niigata (Japón, 1964); D) Hundimiento de calzada debido a la expansión lateral del suelo (Alaska, 1964). *Nota.* Tomado de *Licuefacción de suelos: qué*

es y cómo intervenir, por GeoStru, 2021 (<https://blog.geostru.eu/es/licuefaccion-de-suelos-que-es-y-como-intervenir/>).

1.1.6 Causas de la generación de licuefacción sísmica:

Se requieren ciertas condiciones geológicas para que este fenómeno ocurra, a saber: a) los suelos deben ser recientes y de compacidad baja, b) deben contar con ambientes sedimentarios con formación reciente, y, por último, c) existir capas de arenas saturadas e intercaladas con capas de arcillas.

Concretamente, se pueden establecer las siguientes circunstancias desencadenantes de este fenómeno:

- Sismos de magnitud igual o superior a 5.5, con aceleraciones superiores o iguales a 0.2 g.
- A partir de los 15 m de profundidad no se han conocido fenómenos de licuefacción en suelos.
- El nivel freático, en la mayoría de los casos en los que se ha presentado la licuefacción se encontraba a poca profundidad, inferior a 3 m; por debajo de los 5 m de profundidad, la susceptibilidad a la licuefacción es muy baja. (Geotecnia Fácil, 2020)

1.1.7 Propiedades de suelos licuefactables:

Los suelos susceptibles a licuefacción sísmica suelen ubicarse en el centro de la ciudad, dada la mayor parte del asentamiento poblacional y la presencia de material de relleno existente que tiende a comportarse como un suelo tipo arena arcillosa o arcilla arenosa con grava (arenas finas, medias, limosas, con bajo porcentaje de arcilla, con partículas, sedimentos aluviales, llanuras y zonas de manglar).

Los parámetros principales que influyen en la ocurrencia de licuefacción se caracterizan con propiedades de ingeniería geológica como, por ejemplo: límite líquido, índice de plasticidad, humedad natural, densidad húmeda y densidad seca, por ciento de partículas finas, cortante, saturación, compactación del suelo, peso específico y prueba estándar de penetración.

En términos generales, las propiedades que caracterizan a los suelos licuefactables son las siguientes:

- Grado de saturación del 100 %.
- Diámetro medio D_{50} entre 0.05 y 1.0 mm.
- Coeficiente de uniformidad $C_u = D_{60}/D_{10} < 15$.
- Contenido en finos inferior al 10 %.
- Bajo grado de compactación, es decir $N_{SPT} < 10$ para profundidades $< 10m$ y $N_{SPT} < 20$ para profundidades $> 10m$. (Brenes, 2008, p. 14)

Históricamente se consideró que las arenas eran el único tipo de suelo susceptible a la licuación, sin embargo, se ha observado el fenómeno en gravas y limos en años más recientes. Los suelos finos también pueden sufrir licuación si cumplen los siguientes criterios:

- Fracción con tamaños menores a 0.005 mm < 15 %.
- Límite Líquido (LL) < 35 %.
- Humedad natural > 0.9 LL.
- Índice de Liquidez < 0.75 . (Brenes, 2008, p. 14)

1.1.8 Factores que inciden en su ocurrencia

Los factores que influyen en la ocurrencia de la licuefacción son los siguientes:

1. **Distribución de la granulometría.** La arena uniformemente graduada, con partículas muy gruesas tienen mayor probabilidad de licuarse, mientras que las arenas limosas y gravas lo hacen bajo cargas cíclicas muy severas.
2. **Profundidad de las aguas subterráneas.** Cuanto menor sea el nivel de las aguas subterráneas, será mayor la probabilidad de que ocurra licuefacción.
3. **Densidad.** Bajo una carga repetitiva el suelo puede densificarse, reduciendo su volumen de suelo-agua e incrementando la presión intersticial si los poros intergranulares se llenan de agua. Cuando esto ocurre habrá menor posibilidad de que se produzca su licuefacción.
4. **Peso del recubrimiento y profundidad del suelo.** Las tensiones entre partículas aumentan a medida que aumenta la presión del recubrimiento y

mientras mayor sea dicha tensión menor será la probabilidad que ocurra licuefacción. Por lo general, ocurre a profundidades menores de 9 metros; rara vez a mayores de 15 metros.

5. **Amplitud y duración de la vibración del terreno.** La licuefacción de suelos bajo condiciones de tensión provocadas por un terremoto puede ocurrir ya sea: cerca del epicentro si son pequeños o moderados, o a cierta distancia si son moderados a severos.
6. **Vida útil del depósito.** Los suelos jóvenes (menos de 3000 años) son débiles y no cohesivos, de modo que tienen mayor probabilidad de licuarse que aquellos más antiguos donde actuaron procesos como compactación y cementación que incrementaron su resistencia. (Obando, 2009, p. 61)

1.1.9 Métodos para evaluar la susceptibilidad a la licuefacción

Existen tres métodos para evaluar el potencial de licuefacción de un depósito de suelo:

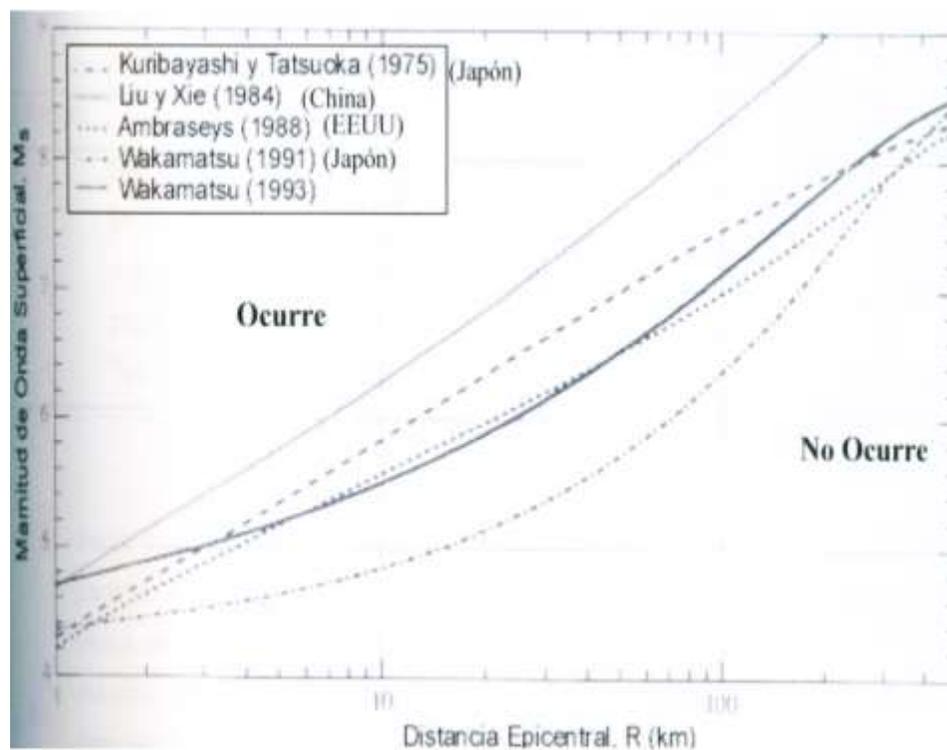
- a) **Métodos simplificados.** Se basan en los diferentes resultados obtenidos de los esfuerzos cortantes cíclicos requeridos para desarrollar licuefacción con los esfuerzos que causará el sismo calculado con métodos simplificados.
- b) **Métodos basados en comportamientos pasados.** Se apoyan en correlaciones empíricas de los resultados obtenidos a partir de las propiedades físicas-mecánicas del área de estudio donde se haya evidenciado la existencia de licuefacción sísmica.
- c) **Análisis de respuesta.** Basados en modelos matemáticos que comprenden un número creciente de modelos donde los esfuerzos cíclicos inducidos de un depósito de suelo son calculados mediante un análisis de respuesta dinámica del terreno sujetos a fuerzas sísmicas. (Brenes, 2008, p. 29)

1.1.10 Criterio Magnitud – Máxima Distancia para determinar la ocurrencia de licuefacción

De acuerdo con Brenes (2008), ese criterio “Compara la distancia desde el epicentro al sitio más lejano donde se presentó el fenómeno de licuación, con la magnitud del sismo y la relación con los datos históricos locales y/o mundiales” (p. 16).

Varios autores han relacionado la magnitud del sismo con la distancia desde el epicentro hasta el lugar más alejado donde se observó licuación, entre ellos Kuribayashi y Tatsuoka (1975) y Wakamatsu (1991), como se citó en Brenes (2008), tal como se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Distancia desde el epicentro hasta el sitio más lejano donde ocurrió licuación SEGÚN, para magnitudes de ondas superficiales (M_s)



Nota. Tomado de *Evaluación del Potencial de Licuefacción en Suelos*, por Brenes, 2008, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

1.1.11 Caracterización de los Suelos de Vía a Samborondón

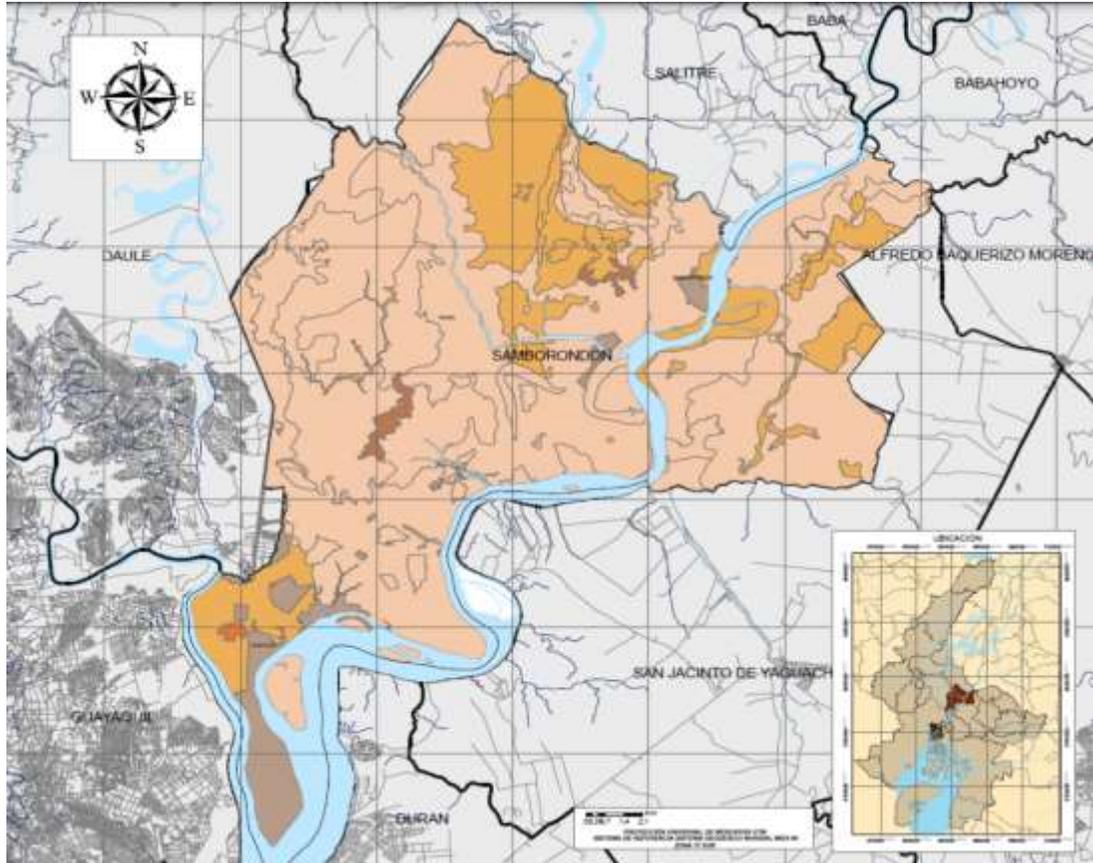
Los suelos del cantón de Samborondón se clasifican en las siguientes categorías de acuerdo con su función (ver Tabla 3):

Tabla 3. *Tipos de suelos*

Características de los suelos	Descripción	Extensión ha	Porcentaje
Franco arcillosos	Mal drenados. Moderadamente profundos. PH ligeramente alcalino. Bajo contenido de materia orgánica. Fertilidad mediana.	269.96	0.5 %
Franco arcillosos	Buen drenaje. Moderadamente profundos. PH prácticamente neutro. Fertilidad mediana y alta.	3328.09	6.7 %
Suelos francos	Buen drenaje. En superficie y a profundidad. Poco profundos. PH ligeramente ácido. Fertilidad mediana.	49.06	0.1 %
Arcillosos a franco arcillosos	Mal drenados. Poco profundo a moderadamente profundos. PH neutro a muy ácido. Materia orgánica media a alta. Fertilidad media a alta.	45 179.88	91.3 %
Arcillosos	Buen drenaje. Superficiales y poco profundos. Pedregosos y rocosos. PH ligeramente ácido. Bajo contenido de materia orgánica. Fertilidad mediana.	666.68	1.3 %

En la Figura 16 es posible observar cómo se divide Samborondón en los diferentes tipos de suelos.

Figura 12. *Tipos de suelos*

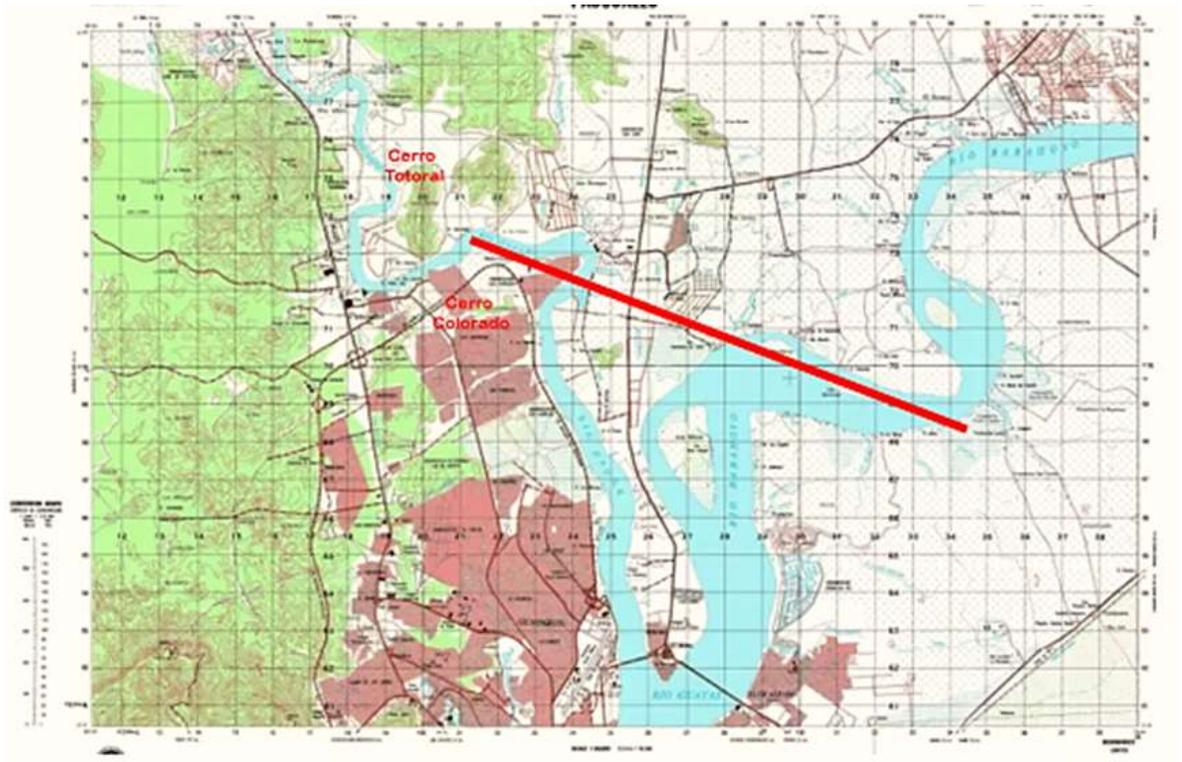


Nota. Municipal del cantón de Samborondón (GAD), 2015-2019.

Simbología:

-  Límite Samborondón.
-  Arcilloso.
-  Franco.
-  Franco arcilloso-arenoso.
-  Franco arcilloso.
-  No aplicable.

Figura 13. Probable falla geológica por alineamiento de los ríos Daule y Babahoyo



Nota. Adaptado de “Carta Topográfica 1:50.00 de Guayaquil, 2023”.

Durante el Terciario Superior sucedieron constantes transgresiones y regresiones marinas, que dieron como resultado la acumulación de rocas de origen oceánico (tipo terrígeno, nerítico, sublitoral) y molásico. Durante el Cuaternario se depositaron grandes cantidades de rocas de origen continental provenientes de la erosión de la Cordillera de los Andes, acarreadas por aguas torrenciales o fluviales, que han dado lugar a la formación de las plataformas de Daule y Babahoyo (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2009).

Un estrato de suelo tiene alto potencial de colapso o pérdida significativa de resistencia al corte cuando ocurren las siguientes condiciones:

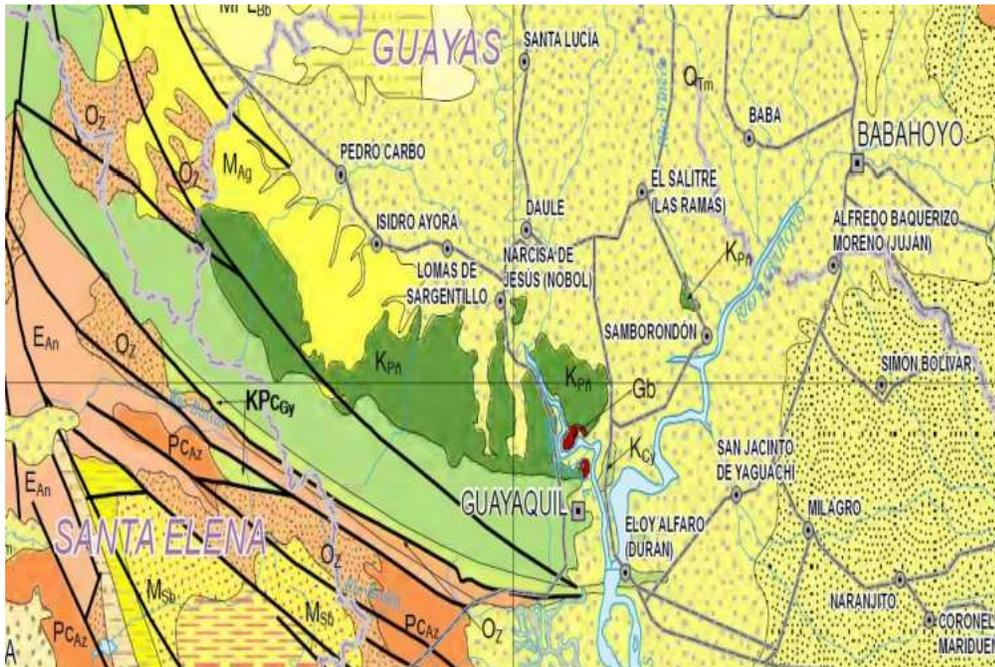
- Estratos de suelo arenosos, areno-limosos de compacidades muy bajas y, en menor medida, estratos limo-arenosos o arcillo-arenosos de muy baja plasticidad.
- Nivel freático alto.
- Sismo de alta intensidad.

Cuando estas propiedades se combinan en los suelos con alto riesgo sísmico, existe un alto peligro de ocurrencia del fenómeno de licuefacción sísmica, el cual, debido a sus graves consecuencias, debe evaluarse, cuantificarse y solucionarse previo a la construcción de la estructura, como ocurre en muchas zonas de Ecuador y particularmente en la zona de La Puntilla.

Es importante mencionar que la resistencia de un suelo de grano fino se basa principalmente en la cohesión molecular de sus partículas, mientras que la resistencia de un suelo granular está determinada principalmente por la fricción entre las partículas; es decir, dependen de la fuerza de contacto que existe entre las partículas. Estas fuerzas de contacto son función de la tensión efectiva de las partículas granulares. Cuando ocurre un sismo de alta intensidad, debido a su corta duración, la fuerza sísmica es absorbida casi por completo por el agua intersticial presente en la formación completamente saturada, dando lugar a aumentos repentinos y periódicos en la presión intersticial, lo cual se refleja en la reducción de la tensión efectiva de las partículas del suelo.

El área de La Puntilla es el resultado del transporte y la deposición de sedimentos de los lechos de los ríos Daule y Babahoyo. Estos depósitos forman suelos aluviales, los cuales se depositan en diferentes capas, formando principalmente capas arenosas, franco-arenosas y arcillosas (ver Figura 14). La Puntilla es un depósito aluvial y se estima que tiene al menos 100 metros de espesor. Un buen ejemplo de este fenómeno se encuentra en la zona de Plaza Lagos. Las áreas cercanas a las montañas pueden tener depósitos aluviales más delgados con profundidades de hasta 30 metros en el lecho rocoso.

Figura 14. Mapa geológico de Ecuador



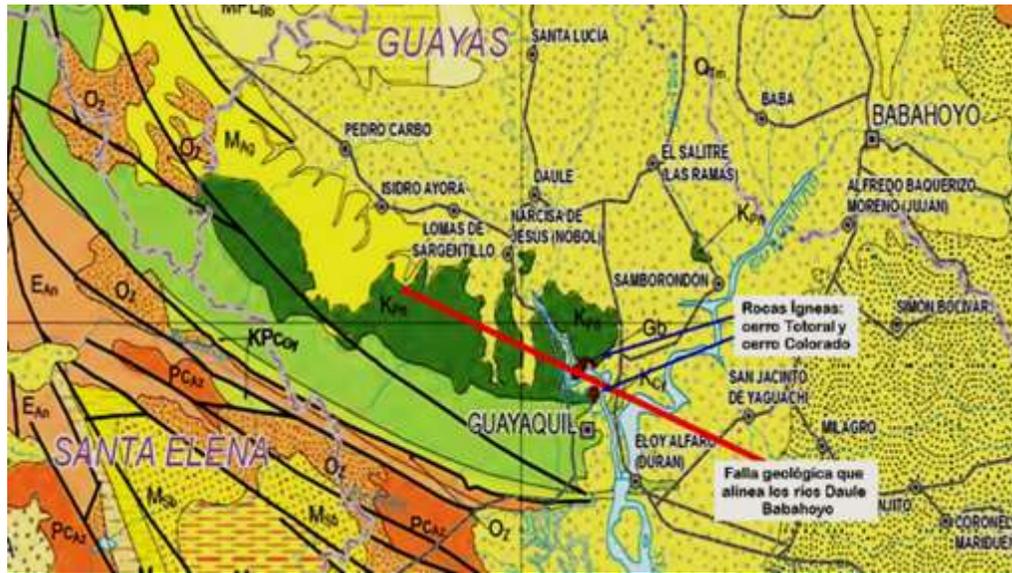
Nota. Tomado de Home, por Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico [INIGEMM], 2017 (<https://www.geoenergia.gob.ec/>).

Figura 15. Tipología geológica de la costa perteneciente al periodo cuaternario

Periodo/Época	COSTA	
	CENTRAL NORTE	SUR CENTRAL
CUATERNARIO	<p>Q_{tm} Terraza marina Arcillas marinas de estuario.</p>	<p>Q_{tm} Terraza marina Arcillas marinas de estuario.</p>
	<p>Q_{la} Llanura aluvial Arcillas, limos y arenas.</p>	<p>Q_{la} Llanura aluvial Arcillas, limos y arenas.</p>
	<p>Q_{aa} Depósito de Abanico aluvial Cantos rodados polilíticos en matriz areno-limo-arcillosa.</p>	<p>Q_{aa} Depósito de Abanico aluvial Cantos rodados polilíticos en matriz areno-limo-arcillosa.</p>

Nota. Tomado de Home, por INIGEMM, 2017 (<https://www.geoenergia.gob.ec/>).

Figura 16. Área de estudio "La Puntilla"



Nota. Tomado de Home, por INIGEMM, 2017 (<https://www.geoenergia.gob.ec/>).

Figura 17. Islote El Palmar



Nota. Tomado de *Pertenencia del islote El Palmar está en el limbo, según prefecto Jimmy Jairala*, por Diario “El Universo”, 2014 (<https://www.eluniverso.com/noticias/2015/11/06/nota/5224023/pertenencia-islote-palmar-esta-limbo-segun-prefecto/>).

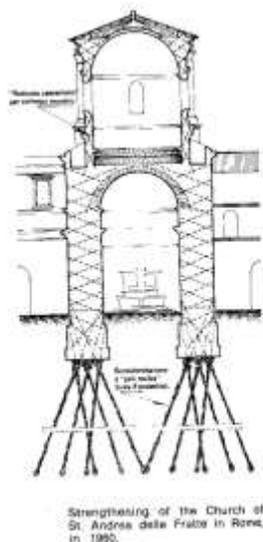
Micropilotes Raíz

El origen de los micropilotes se sitúa alrededor de los años 50 en Italia. Su primera aplicación documentada fue en el recalce de la Escuela A. Angiulli en Nápoles. Se utilizaron pali radice de 13 m de longitud, 100 mm de diámetro nominal y una armadura central (barra de 12 mm). Debido a su buen comportamiento, el sistema se extendió rápidamente por toda Europa. (Eadic, 2014, párr. 4)

“Aparecieron para solucionar los problemas de recalces de edificios o estructuras, que eran perforaciones con un diámetro pequeño (de 3” o menos), donde se introducía un redondo de acero y se inyectaban con una lechada de cemento” (Yepez, 2020, p. 480).

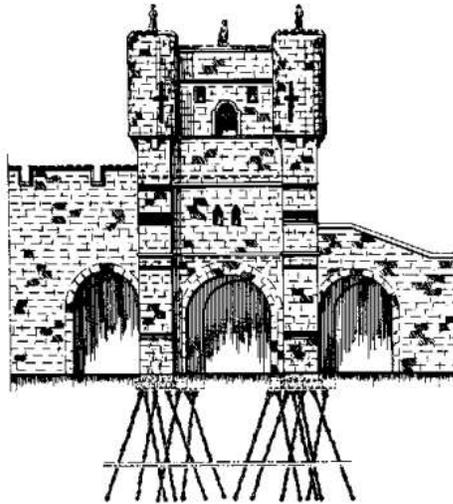
Desde el punto de vista técnico ingenieril, entre los ejemplos de casos de recalce y refuerzo de alta relevancia se encuentran los siguientes: la iglesia de San Andrés, Roma, donde los muros de mampostería se “armaron” y reforzaron con micropilote (año 1960) (ver Figura 18); el castillo de Bootham en Inglaterra (ver Figura 19), el viaducto de Teruel en España (ver Figura 20) y la torre inclinada de Burano en Italia (ver Figura 21).

Figura 18. *Recalce y refuerzo de muros con micropilotes en la iglesia de San Andrés, Roma*



Nota. Tomado de *The use of “pali radice” (root pattern piles) in the underpinning of monuments and old buildings and in the consolidation of historic centers*, por Lizzie, 1980, Fondedile S.p.A., Naples.

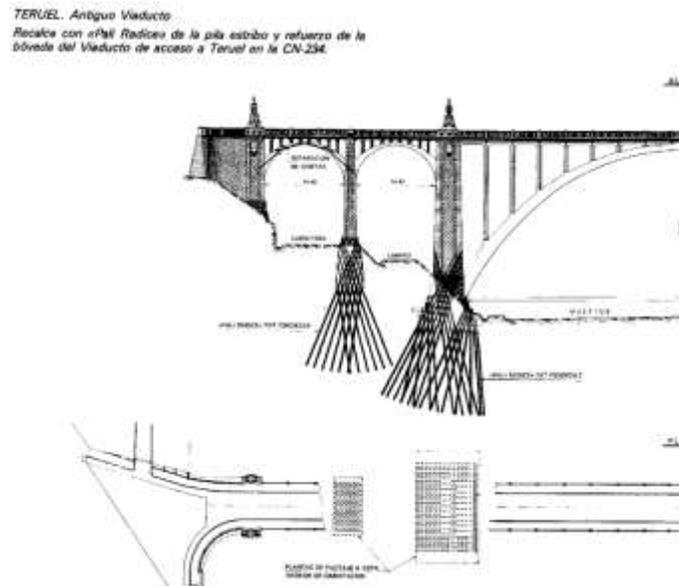
Figura 19. Recalce y refuerzo con micropilotes del castillo de Bootham en York, Inglaterra



Underpinning of « Bootham Bar »,
York (England).

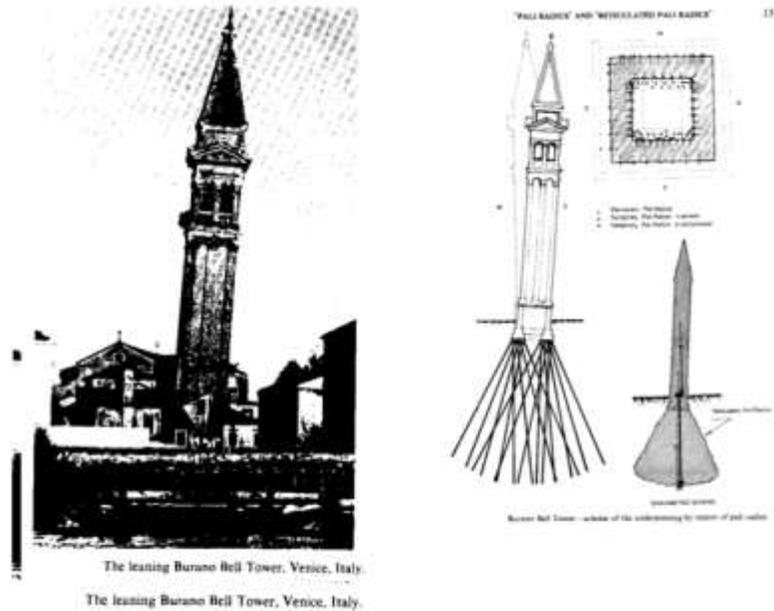
Nota. Tomado de *The use of “pali radice” (root pattern piles) in the underpinning of monuments and old buildings and in the consolidation of historic centers*, por Lizzie, 1980, Fondedile S.p.A., Naples.

Figura 20. Recalce de viaducto de Teruel, España



Nota. Tomado de *The use of “pali radice” (root pattern piles) in the underpinning of monuments and old buildings and in the consolidation of historic centers*, por Lizzie, 1980, Fondedile S.p.A., Naples.

Figura 21. *Refuerzo con micropilotes de la torre inclinada de Burano en Venecia, Italia*



Nota. Tomado de *“Pali radice” (root piles) and reticulated pali radice*, por Lizzie, 1985, Surrey University Press.

En Venecia y Holanda, en la Edad Media, este método era usado para las construcciones. En estas épocas, las pilas eran de árboles los cuales tenían un diámetro decreciente hacia la punta, se hincaban hasta que la penetración se volvía imposible. Se utilizaba golpes de mazo o golpes por medios mecánicos; por ejemplo: sistemas de palanca o ruedas de agua. (Bruce, 1989, p. 1)

En concordancia con Ferros La Pobla (2019), los pilotes se pueden clasificar según su material:

- Pilotes de madera: este es el pionero de los materiales. Los primeros pilotes se hicieron con madera y se utilizan para pilotar zonas blandas de gran extensión.
- Pilotes de acero: suelen ser perfiles tubulares.
- Pilotes de hormigón prefabricado: pueden ser de hormigón armado u hormigón pretensado

- Pilotes mixtos: son aquellos que están formados por perfiles tubulares rellenos de cemento. (párr. 1)

Con respecto a los micropilotes, Yopez (2020) afirmó lo siguiente:

Los micropilotes son pilotes de pequeño diámetro de perforación, normalmente de 80 a 300 mm, compuestos por una barra, tubo de acero o de armadura de acero que constituye el núcleo portante, el cual se recubre normalmente de lechada inyectada de cemento que forma el bulbo. Esta inyección favorece el trabajo por rozamiento lateral del fuste. No obstante, también se denominan micropilotes a aquellos elementos hincados por golpeo o hincados mediante vibración, con un diámetro no superior a 150 mm. (p. 480)

Son elementos estructurales con menor dimensión en relación con los pilotes, lo que le permite ser maniobrable en espacios reducidos y de difícil acceso, proporcionándole una gran ventaja constructiva, es ideal para materiales granulares y rocas meteorizadas, a diferencia de los pilotes de mayor tamaño y de mayor complejidad constructiva. (Arnez, 2019, p. 1)

Según Construmática (2018), los micropilotes pueden emplearse en los siguientes casos:

- Como refuerzo de cimentaciones para la ampliación de edificios.
- En recalce de edificios.
- Cimentaciones profundas en predios de dimensiones reducidas con difícil acceso.
- Refuerzo y sostenimiento de cimientos existentes para excavación de sótanos.
- Cimentaciones profundas en predios con terreno no apto para pilotes convencionales. (párr. 2)

1.1.12 Clasificación de Micropilotes

Micropilote Alluvial Anker

El micropilote llamado Alluvial Anker puede alcanzar diámetros de aproximadamente 13 cm, es autoperforado por rotación con una broca en forma de

flecha la cual va unida a la punta de un tubo de acero de 62.5 mm de diámetro conectado a una máquina perforadora. Por medio de un mandril que inyecta constantemente líquido refrigerante a la punta cortante. Este líquido puede ser lechada de cemento o agua, dependiendo del tipo de suelo. Después de terminado el proceso de perforación con el líquido refrigerante a la profundidad deseada, se deja el tubo como refuerzo del pilote y se procede a la inyección por gravedad de lechada rica en cemento (si el líquido refrigerante fue agua). (Mendoza et al., 2012, p. 62)

Al hacer referencia a los micropilotes, también es posible obtener varias soluciones de cimentación o recalce de edificaciones, como se expone a continuación:

1.1.13 Métodos de Perforación de micropilotes raíz

Barrena helicoidal: similar a la de perforación de pilotes. La barrena extrae el terreno al mismo tiempo que lo perfora. Si bien, la ejecución de pilotes permite utilizar esta técnica en terrenos más duros, la maquinaria de ejecución de micropilotes, en función de su tamaño y prestaciones, puede limitar su uso a determinados tipos de terreno y profundidades. (Sanjuán, 2018, párr. 4)

Rotación: una máquina provista de un cabezal de perforación con una corona en punta penetra en el terreno por medio del empuje y la rotación. La técnica requiere del aporte de agua para la refrigeración del sistema de perforación. Se utiliza en terrenos con mayor cohesión. (Sanjuán, 2018, párr. 5)

Rotopercusión: similar al anterior, al sistema de rotación lo acompaña la percusión del cabezal (similar al que tienen las taladradoras caseras) El cabezal suele ser una corona reforzada que se refrigera mediante agua. Se utiliza para perforar terrenos rocosos y el hormigón de una cimentación existente. Se debe tener en cuenta las vibraciones que se puedan transmitir al edificio o al terreno a través de la cimentación. (Sanjuán, 2018, párr. 6)

Figura 22. *Ejemplo de cabezal de perforación a rotopercusión*



Nota. Tomado de *Micropilotes (I) Tipos*, por Sanjuán, 2018 (<https://www.patologiasconstruccion.net/2012/10/micropilotes-i-tipos/>).

1.1.14 Clasificación por Armado

La armadura se ejecuta regularmente mediante un tubo de acero hueco montado mediante tramos roscados o soldados, siendo este último de mayor resistencia a flexión. Si se procede al vertido por gravedad o sistema de inyección única (IGU) se trata de un tubo sin orificios de inyección en el que podremos introducir algunas barras de refuerzo previamente al vertido. (Sanjuán, 2018, párr. 6)



Figura 23. *Colocación de armadura tubular*

Nota. Tomado de *Micropilotes (I) Tipos*, por Sanjuán, 2018 (<https://www.patologiasconstruccion.net/2012/10/micropilotes-i-tipos/>).

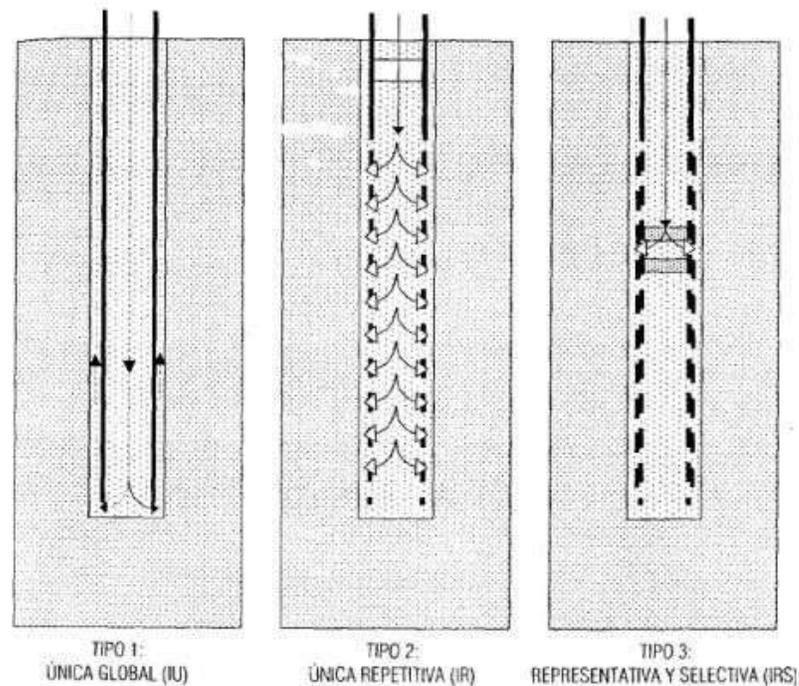
1.1.15 Clasificación por Sistema de Inyección

Sistema de inyección continua (IU o IGU): sin manguitos de inyección. El cabezal de inyección o vertido se sitúa en la boca de la armadura del micropilote, o bien, ayudados por una tubería auxiliar, en el fondo de la armadura. La inyección discurre a través del tubo y sube por las paredes de la perforación hasta completar el micropilote. Sistema utilizado en rocas sanas, suelos muy cohesivos y en terreno granular. Si se produce pérdida significativa de lechada es necesario reinyectar antes de que se alcance el fraguado de la lechada. (Sanjuán, 2018, párr. 7)

Sistema de inyección repetitiva (IR): la inyección se realiza en dos fases. La primera llenando el interior de la armadura. La segunda fase puede ejecutarse desde el interior de la armadura por los manguitos de inyección, que deben contar con válvulas antirretorno. O bien inyectando entre la armadura y el hueco de perforación. Uso en rocas fisuradas, suelos granulares de granulometría gruesa y terreno con cohesividad media. (Sanjuán, 2018, párr. 8)

Sistema de inyección repetitiva-selectiva (IRS): la inyección se ejecuta por los manguitos desde el interior de la armadura mediante pasadas de inyección, que pueden contar con distintas presiones y caudales, en función de la cantidad de lechada admitida. Previamente hay que rellenar el hueco entre la armadura y la perforación, lo que se conoce como inyección de sellado. Esto evita que la posterior inyección por los manguitos escape a la superficie por dicho hueco. Entre un pasada y la siguiente, la lechada va endureciendo por lo que hay que llegar a la hidrofracturación para conseguir inyectar. Suelos de consistencia baja y granulares. (Sanjuán, 2018, párr. 9)

Figura 24. Tipos de inyección en micropilotes



Nota. Tomado de Ministerio de Fomento.

(<https://www.patologiasconstruccion.net/2012/10/micropilotes-i-tipos/>).

1.1.16 Principales aplicaciones

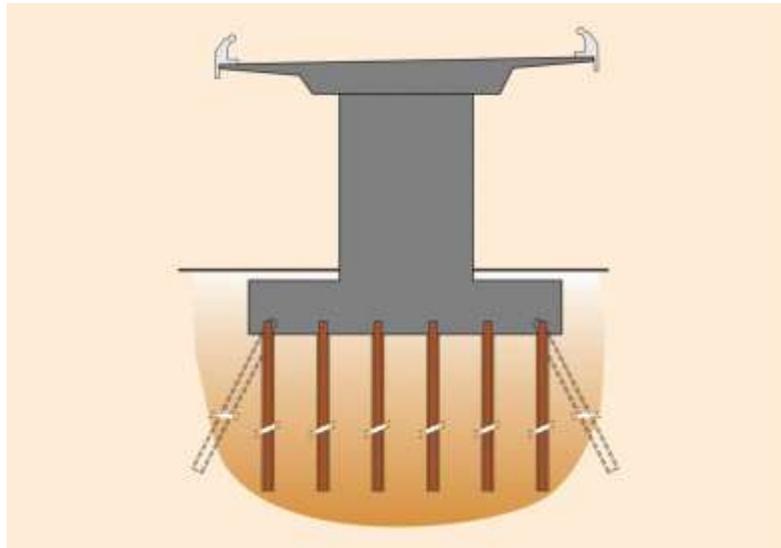
El Ministerio de Fomento (2005) indicó que existen diferentes aplicaciones de micropilotes o pilotes de raíz, las cuales se describen a continuación:

Estructuras de cimentación:

— Obras de nueva planta: su campo de aplicación fundamental son las estructuras con espacio de trabajo reducido o acceso complicado, los terrenos difíciles de perforar por intercalación de niveles rocosos, bolos o bloques de grandes dimensiones, etc. Los micropilotes transmiten las cargas de manera menos concentrada y más uniforme que los pilotes, pudiendo suponer una ventaja en determinadas circunstancias, como por ejemplo en zonas constituidas por roca alterada, etc. (p. 8)

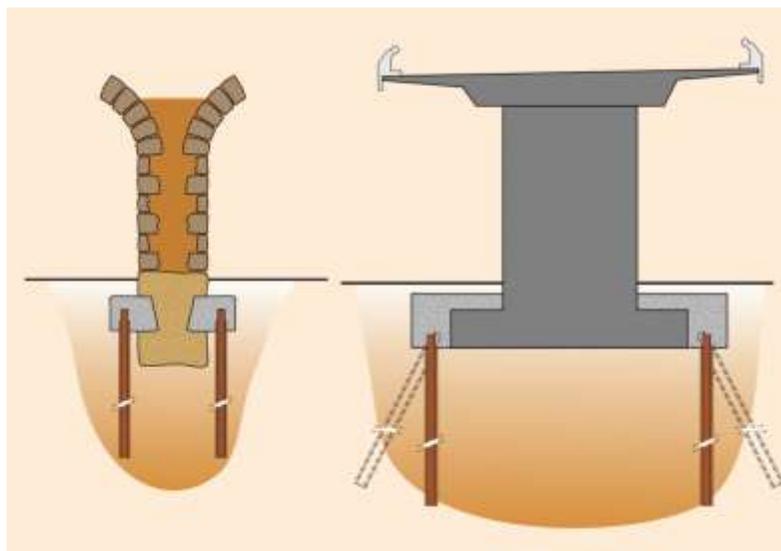
— Obras de reparación, refuerzo, rehabilitación, mejora o recalce de estructuras preexistentes: incluye la remodelación de aquellas que presentan incrementos de las solicitaciones, la actuación frente a determinadas patologías geotécnicas, etc. (p. 8)

Figura 25. *Ejemplo de cimentación reforzada con micropilotes raíz.*



Nota. Tomado de *Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera*, por Ministerio de Fomento, 2005 (https://www.mitma.es/recursos_mfom/0710200.pdf).

Figura 26. *Ejemplos de recalce de cimentaciones preexistentes mediante micropilotes raíz.*

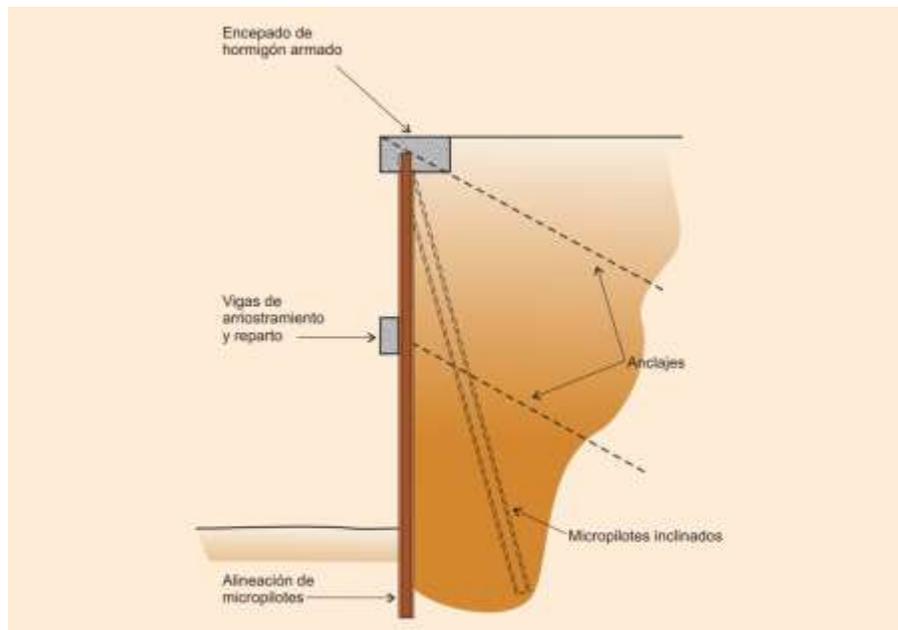


Nota. Tomado de *Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera*, por Ministerio de Fomento, 2005 (https://www.mitma.es/recursos_mfom/0710200.pdf).

- Estructuras de contención o sostenimiento del terreno

Normalmente se disponen formando alineaciones o grupos numerosos con varias inclinaciones, se encepán en cabeza y se acompañan de anclajes u otras unidades de obra. Se sitúan en un mismo plano (generalmente vertical) o formando abanico. (Ministerio de Fomento, 2005, p. 10)

Figura 27. *Ejemplo de micropilotes como estructura de contención o sostenimiento*



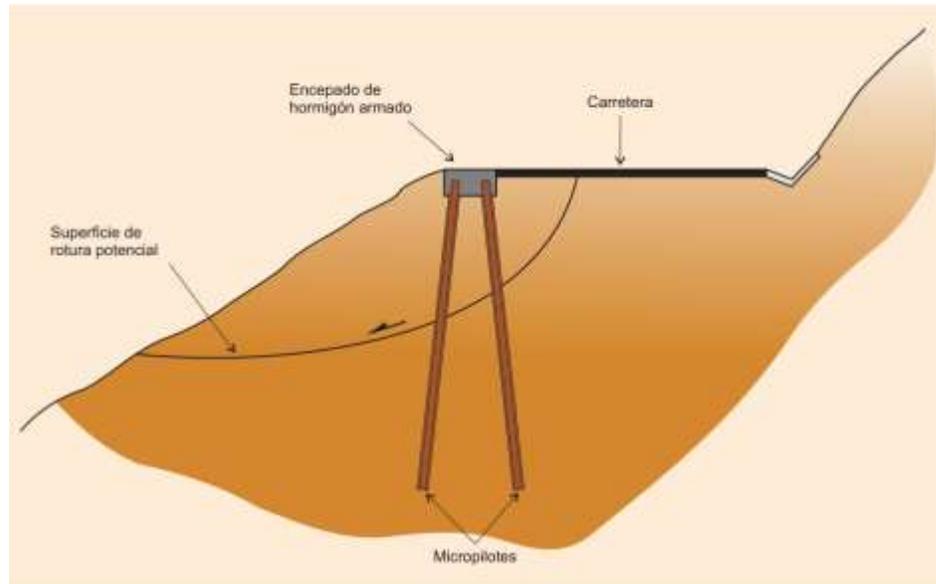
Nota. Tomado de *Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera*, por Ministerio de Fomento, 2005 (https://www.mitma.es/recursos_mfom/0710200.pdf)

- Estabilización de taludes o laderas

Se disponen formando alineaciones o grupos numerosos con varias inclinaciones y se encepán en cabeza, pudiendo ir acompañados de anclajes u otras unidades de obra. Producen una mejora del coeficiente de seguridad global de los taludes o laderas por incremento de la resistencia al corte de estas, evaluada según

potenciales superficies de rotura, que comprenden secciones transversales a la alineación de micropilotes. (Ministerio de Fomento, 2005, p. 10)

Figura 28. Ejemplo de micropilotes para estabilización de taludes o laderas

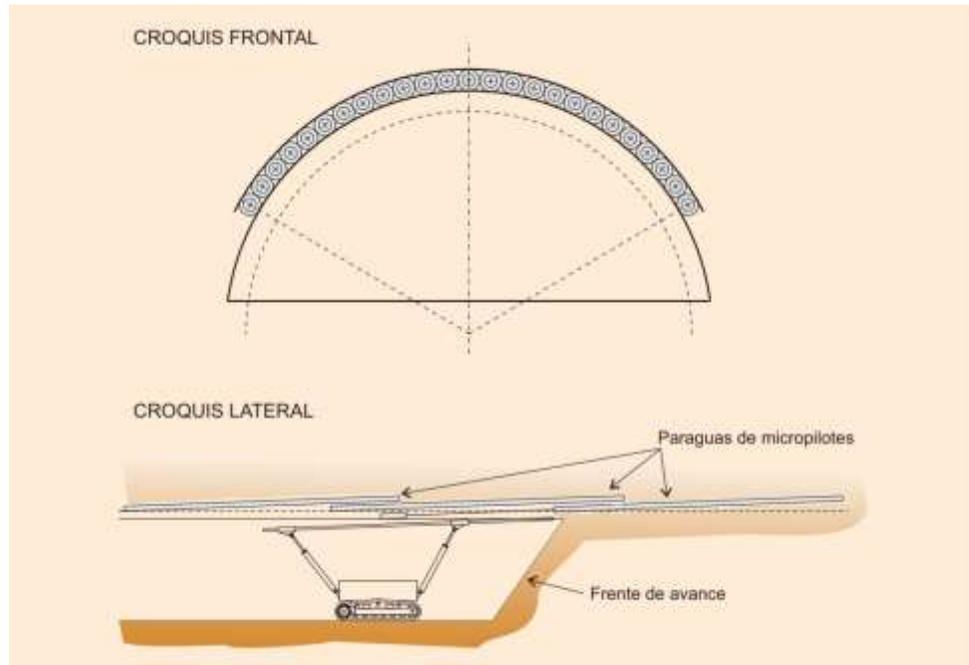


Nota. Tomado de Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera, por Ministerio de Fomento, 2005 (https://www.mitma.es/recursos_mfom/0710200.pdf).

- Paraguas de sostenimiento

“Ejecutados como sostenimiento del terreno en la excavación de túneles, normalmente antes de la fase de avance, bien con carácter general en toda una obra, en emboquilles, zonas de especial dificultad, etc.” (Ministerio de Fomento, 2005, p. 10).

Figura 29. Ejemplo de micropilotes como paraguas de sostenimiento

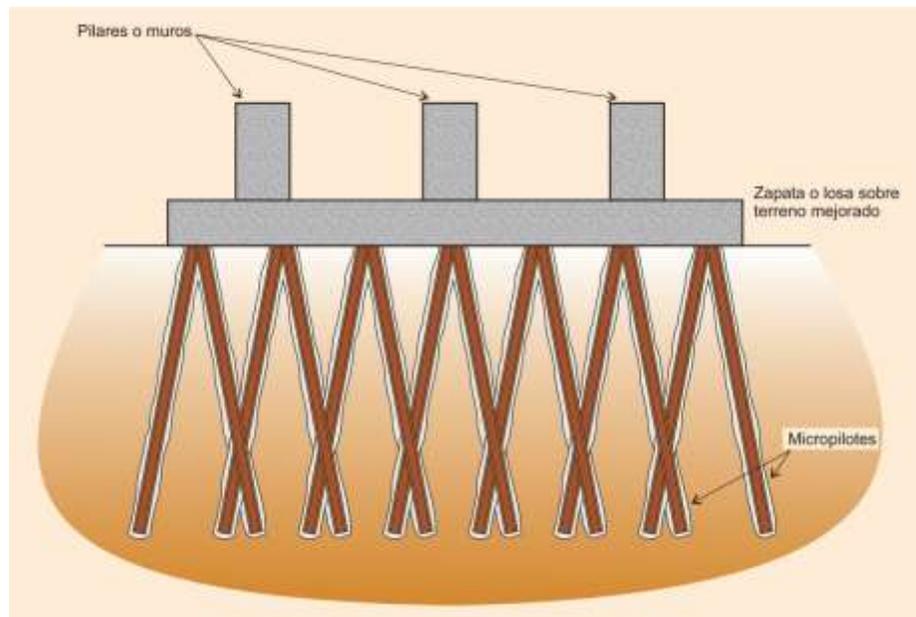


Nota. Tomado de *Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera*, por Ministerio de Fomento, 2005 (https://www.mitma.es/recursos_mfom/0710200.pdf).

- Mejora del terreno

“Pretenden el aumento de la capacidad de soporte global de una masa de terreno y la reducción de asentamientos de las estructuras, cimentadas posteriormente sobre el mismo” (Ministerio de Fomento, 2005, p. 11).

Figura 30. Ejemplo de micropilotes como mejora del terreno



Nota. Tomado de *Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera*, por Ministerio de Fomento, 2005 (https://www.mitma.es/recursos_mfom/0710200.pdf).

1.1.17 Ventajas del uso de micropilotes

- Los equipos y máquinas de aplicación de micropilotes son muy versátiles, económicos y pueden trabajar en zonas de reducido espacio y difícil acceso.
- Facilidad de ejecución en ángulos inclinados, lo cual permite aumentar su capacidad portante frente a fuerzas horizontales.
- Posibilidad de incorporar micropilotes en parte sana de la estructura sin necesidad de involucrar elementos estructurales adicionales.
- Rapidez y mínimas molestias en obra, ya que no requiere grandes excavaciones de suelos.
- Pueden adaptarse a posibles condiciones cambiantes y perforar cualquier tipo de terreno incluidos cimentaciones antiguas de hormigón.

- Dado que la perforación es similar a la de un sondeo, es posible la testificación de los detritus de perforación, detección del nivel freático y/o zonas blandas o cavidades. (Geotecnia Fácil, 2020)

1.1.18 Desventajas del uso de micropilotes

- Capacidad de resistencia horizontal a tensión relativamente pequeña.
- Calidad dependiente de proceso de ejecución.
- La mayoría de los procesos de cálculo son empíricos y solo se pueden contrastar con pruebas de carga si se pretende aprovechar al máximo la resistencia del micropilote.
- No existen metodologías de diseño universalmente aceptadas.
- Se requiere colocación de gran cantidad de micropilotes para la estabilización de deslizamientos de tamaño mediano o grande. (Geotecnia Fácil, 2020)

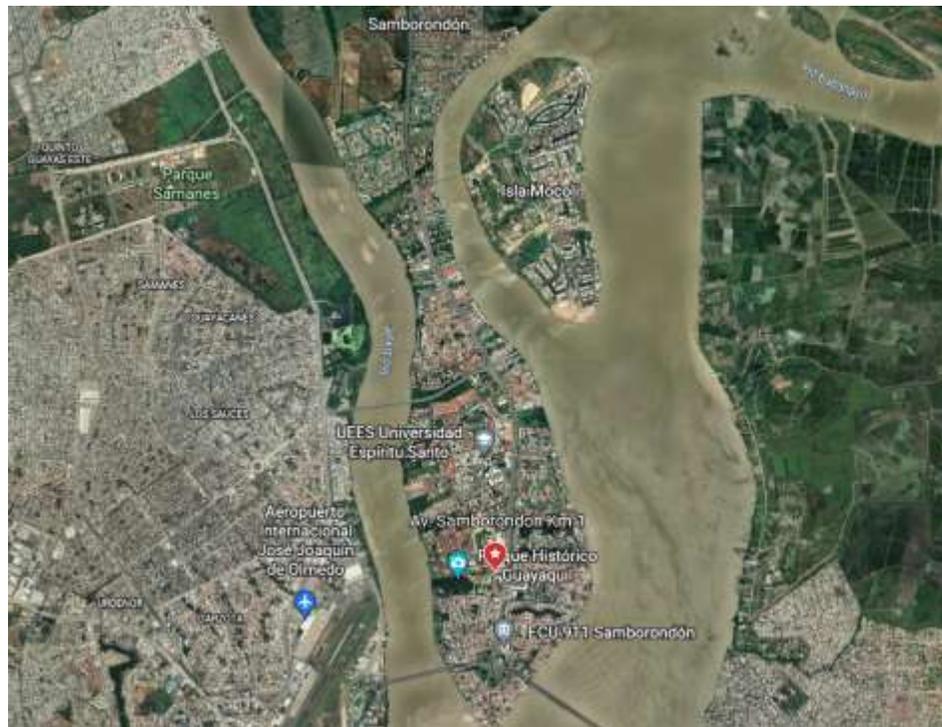
CAPÍTULO III

PROPUESTA METODOLÓGICA

Metodología

La zona de estudio en la que se realizaron los sondeos estratigráficos está ubicada en el km 1, vía La Puntilla, Samborondón, el cual, según el Mapa Geológico de la República de Ecuador (2019), se encuentra formado por arcillas marinas de estuario y rocas ígneas del cerro Totoral y Colorado. Esta estratigrafía y la alta sismicidad de la zona la hacen ser altamente licuable, por lo que, para determinar el potencial de licuefacción, se utilizaron los siguientes criterios (ver figuras 31 y 32):

Figura 31. *Km 1, vía La Puntilla, Samborondón, Guayas*



Nota. Tomado de Google Earth Pro.

Figura 32. *Microzonificación de sondeos obtenidos dentro de la zona de estudio*



Nota. Adaptado de *Google Maps*, (2023).

1.1.19 Profundidad a la que Ocurre la Licuefacción

De acuerdo con Kramer (1996), como se citó en Barrenechea y Rojas (2017):

Las tensiones entre partículas aumentan a medida que se incrementa la presión del recubrimiento. Mientras mayor sea la tensión entre las partículas, menor será la probabilidad de que ocurra la licuefacción. Por lo general, la licuefacción ocurre a profundidades menores de 30 pies (9 metros); rara vez ocurre a profundidades mayores de 50 pies (15 metros). (p. 60)

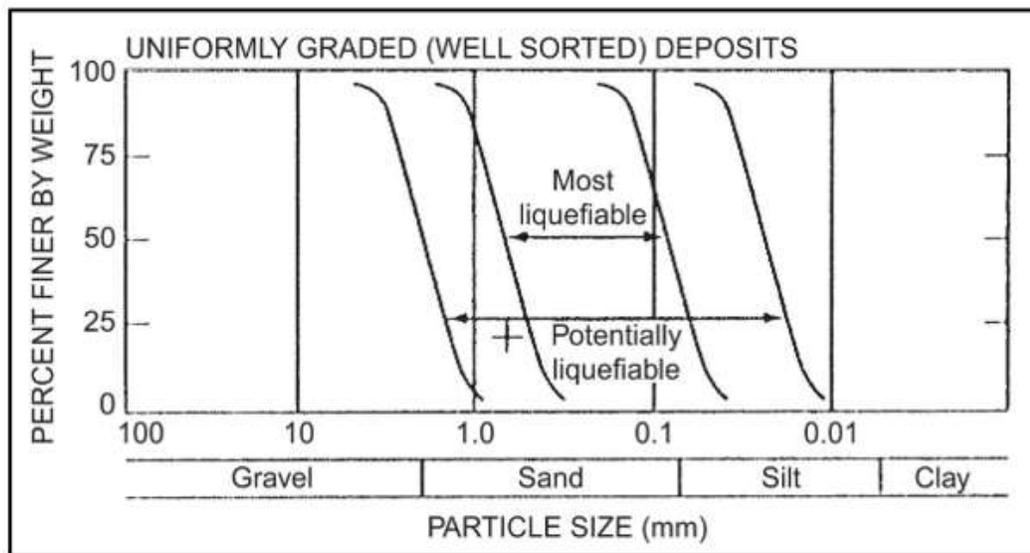
Youd y Hoose (1977) indican que depósitos de suelos aluviales, fluviales, coluviales y suelos recientes, con el nivel de aguas freáticas (NAF) muy superficial tienen un mayor riesgo de licuarse. La licuación generalmente ocurre en depósitos

granulares del Holoceno al Pleistoceno donde el nivel de agua está a menos de 15 m de profundidad. (p. 60)

Dado que la granulometría del suelo es uno de los factores que inciden en la susceptibilidad de la licuefacción:

Tsuchida y Hayashi (1971) propusieron rangos de susceptibilidad a la licuación de acuerdo con su granulometría. Según este criterio, los suelos con tamaño promedio de partículas, D50 entre 0.075 mm (malla #200) y 0.85 mm (malla #20) son los más susceptibles. Adicionalmente, para materiales con tamaños promedios entre 0.02 mm y 0.075 mm (límite izquierdo en la figura) y 0.85 mm y 2.0 mm (límite derecho) son también fácilmente licuables. La forma de las curvas de la figura indica que los materiales deben tener coeficientes de uniformidad bajos ($C_u = 2.0$ para los límites marcados). (Mays y Torres, 2018, p. 15)

Figura 33. Rangos granulométricos con posibilidad de licuefacción según Tsuchida y Hayashi (Código de Cimentaciones de Costa Rica, 1994)



Nota. Tomado de *Análisis y diseño de la defensa ribereña del río reque, tramo puente reque-desembocadura en el océano pacífico, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque*, 2017, por Mays y Torres, 2018

(https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1643/1/TL_MaysFarroAngel_TorresSelenRubber.pdf).

1.1.20 Procedimiento Simplificado de Seed e Idriss para la determinación de licuefacción

La razón del esfuerzo cíclico inducido por la propagación de ondas cortantes (CRS) que se induce en la masa arenosa, a una profundidad dada, se define por la relación desarrollada por Seed e Idriss (1971):

$$\frac{\tau_{avprom}}{\sigma_0'} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_0}{\sigma_0'} r_d$$

(1)

Donde:

a_{max} : es la aceleración sísmica pico en la superficie del terreno generada por el sismo

g : es la aceleración de la gravedad.

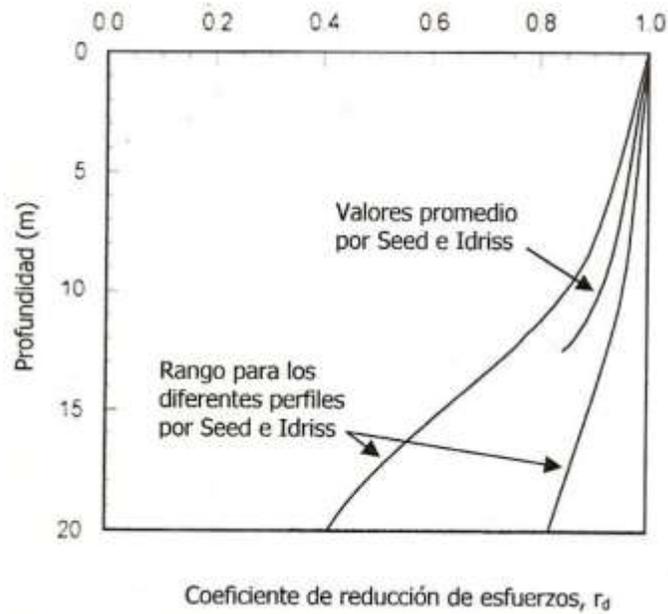
T_{avprom} : es el promedio del esfuerzo cortante cíclico.

σ_0' y σ_0 : son el esfuerzo efectivo y el esfuerzo total a la profundidad considerada.

r_d : es un coeficiente de reducción de esfuerzos, cuyo valor es igual a uno en la superficie y disminuye con la profundidad.

El parámetro $r_d \leq 1.0$ se utiliza para tomar en cuenta los efectos de amplificación que sufren las ondas sísmicas al atravesar materiales de poca rigidez, como los suelos. Este valor se puede obtener de la siguiente figura o bien del análisis de la respuesta sísmica del depósito estudiado. Para depósitos poco profundos suele aceptarse que un valor medio para este parámetro es $r_d = 0.9$. (Santoyo et al., 1989, p. 1)

Figura 34. *Profundidad vs. coeficiente de reducción de esfuerzos*



Nota. Tomado de *Seed e Idris*, (1971)

Ejemplo: estrato 1, GC.

Profundidad del estrato = 0.59 m.

$\gamma_{sat} = 1.96 \text{ t/m}^3$.

Aceleración máxima = 0.4 g.

Número de golpes, $N = 27$.

Profundidad NAF = 1.9 m.

A continuación, se calculó el esfuerzo efectivo:

$$P_v = \text{Profundidad} * \gamma_{sat}$$

$$P_v = 1.9 * 1.96$$

$$P_v = 0.12 \frac{kg}{cm^2}$$

Asimismo, se calculó el esfuerzo vertical:

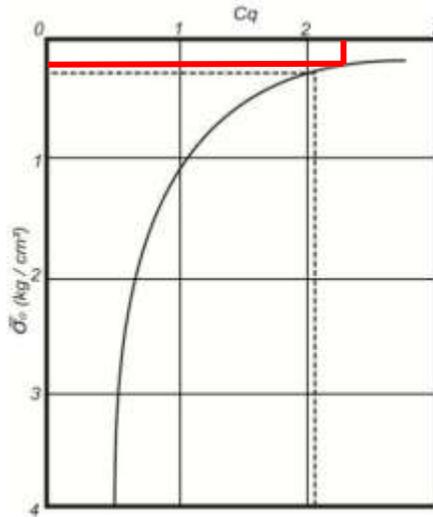
$$P_v' = [(NAF * \gamma_{sat})] + [(Profundidad - NAF) * 0.6]$$

$$P_v' = [1.9 * 1.96] + [(0.59 - 1.9) * 0.6]$$

$$Pv' = 0.29 \frac{kg}{cm^2}$$

Por otra parte, se determinó el valor de corrección Cq , ingresando el valor de Pv (ver Figura 35).

Figura 35. Relación Pv vs. Cq



Nota. Adaptado de *Seed e Idris*, (1971)

De esa manera, se obtuvo un valor de $Cq = 2.3$.

En la Tabla 4 se expone la relación entre N y q_c en la punta del cono holandés:

Tabla 4. Relación entre N y q_c en la punta del cono holandés, en kg/cm^2

Suelo	q_c/N
Limo, limo arenoso	2
Arena de fina a media. Arena poco limosa	3.5
Arena gruesa. Arena con poca grava	5
Arena con grava. Grava	6

$$\frac{q_c}{N} = 6$$

$$q_c = 162$$

El valor de la resistencia modificada y r_d se obtuvo de la siguiente manera:

$$Q_c = Cq * q_c$$

$$Q_c = 2.3 * 162 = 372.60$$

$$r_d = 0.9$$

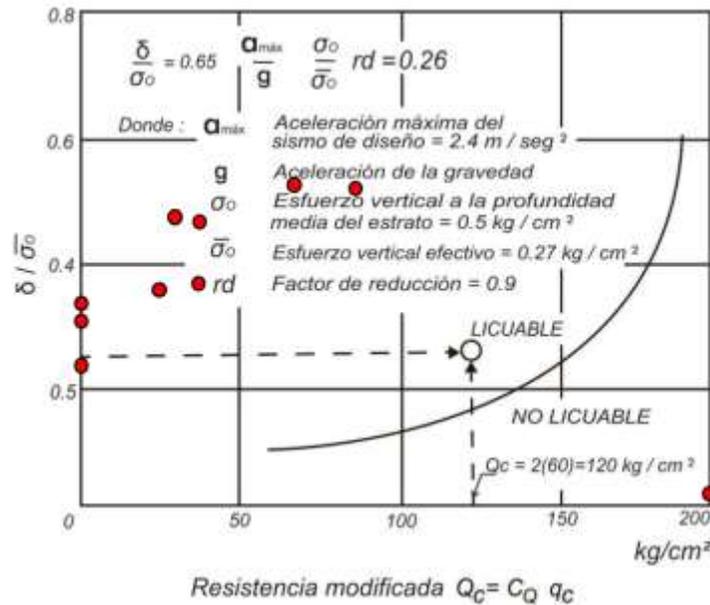
Sustituyendo en la Ecuación 1:

$$\frac{\tau}{\rho'v} = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) * \frac{\rho v}{\rho'v} r_d$$

$$\frac{\tau}{\rho'v} = 0.65 * 0,4 * \frac{0.12}{0.29} * 0.9 = 0.09$$

En la Figura 36 se analiza la relación Q_c vs $\frac{\tau}{\rho'v}$, por medio de la cual se obtuvo la presencia de suelos licuables a partir del segundo estrato evaluado a través del método simplificado de Seed e Idris.

Figura 36. Relación Q_c vs $\frac{\tau}{\rho'v}$.



Nota. Adaptado de Seed e Idris, (1971)

Tabla 5. Perforación km1, La Puntilla, Samborondón para evaluación de potencial de licuefacción

Perforación km 1 La Puntilla - Samborondón

Estrato	SUCS	Descripción	Profundidad (m)	Y sat (Ton/m3)	Número de golpes STP	Esfuerzo efectivo Pv (kg/cm2)	Esfuerzo vertical Pv' (kg/cm2)	Cq	qc	Resistencia modificada Qc (kg/cm2)	Razón de esfuerzo corante cíclico $\tau/p'u$	PROBABILIDAD DE LICUEFACCIÓN
1	GC	Grava Arcillosa	0,59	1,96	27	0,12	0,29	2,3	162,00	372,60	0,09	NO LICUABLE
2	CH - MH	Arcilla - Limo Alta Plasticidad	2,00	1,38		0,28	0,27	1,85	0,00	0,00	0,24	ALTA
3	CL	Arcilla de Plasticidad Media	3,00	1,42		0,43	0,34	1,65	0,00	0,00	0,30	ALTA
4	CH	Arcilla de Alta Plasticidad	3,90	1,4		0,55	0,39	1,45	0,00	0,00	0,33	ALTA
5	SM	Arena Limosa	5,00	1,69	9	0,85	0,51	1,25	31,50	39,38	0,39	MEDIA
6	SM	Arena Limosa	6,00	1,36	6	0,82	0,50	1,2	21,00	25,20	0,38	MEDIA
7	SM	Arena Limosa	7,00	1,73	12	1,21	0,63	0,95	42,00	39,90	0,45	BAJA
8	SM	Arena Limosa	8,00	1,69	9	1,35	0,69	0,9	31,50	28,35	0,46	BAJA
9	SM	Arena Limosa	9,00	2	30	1,80	0,81	0,75	105,00	78,75	0,52	BAJA
10	SM	Arena Limosa	10,00	1,93	25	1,93	0,85	0,7	87,50	61,25	0,53	BAJA

Tabla 6. Datos de perforación km1, La Puntilla, Samborondón para evaluación de potencial de licuefacción

Aceleración máxima (g)	0.4
Profundidad NAF (m)	1.9
Coficiente de reducción de esfuerzos rd	0.9

Propuesta de diseño e inyección de micropilotes raíz

1.1.21 Granulometría

Luego de crear el mortero especial para inyección de micropilotes, con granulometría perfecta, que tuvo lugar en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería, se procedió a realizar las roturas de los cilindros para evaluar su resistencia en el Centro de Investigaciones en Ingeniería Estructural Sismo Resistente (CEINVES) – Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, a los 7, 14 y 28 días, obteniendo los siguientes resultados:

Proceso en Laboratorio

Figura 37. *Recolección de arena más gravilla del río Cañar*



Figura 38. *Secado al horno*



Figura 39. *Proceso de granulometría*

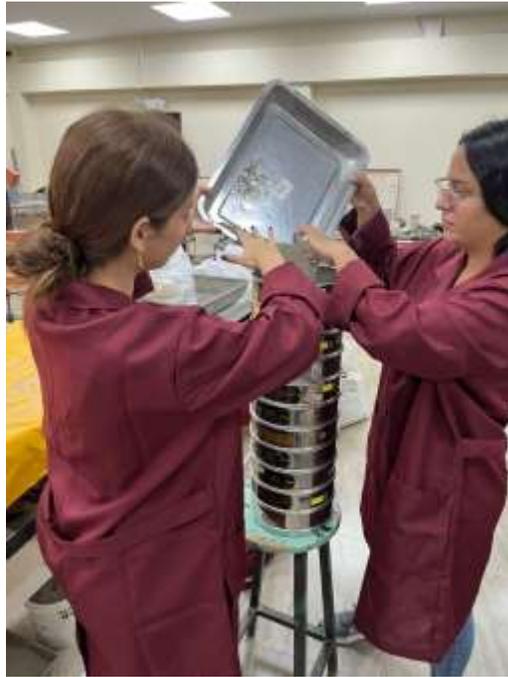


Figura 40. *Clasificación granulométrica*



Figura 41. *Proceso de probetas*



Figura 42. *Curado de probetas*



Figura 43. *Ensayos de rotura a la compresión*



Figura 44. *Rotura de probeta. Se observa la granulometría perfecta del mortero de inyección*



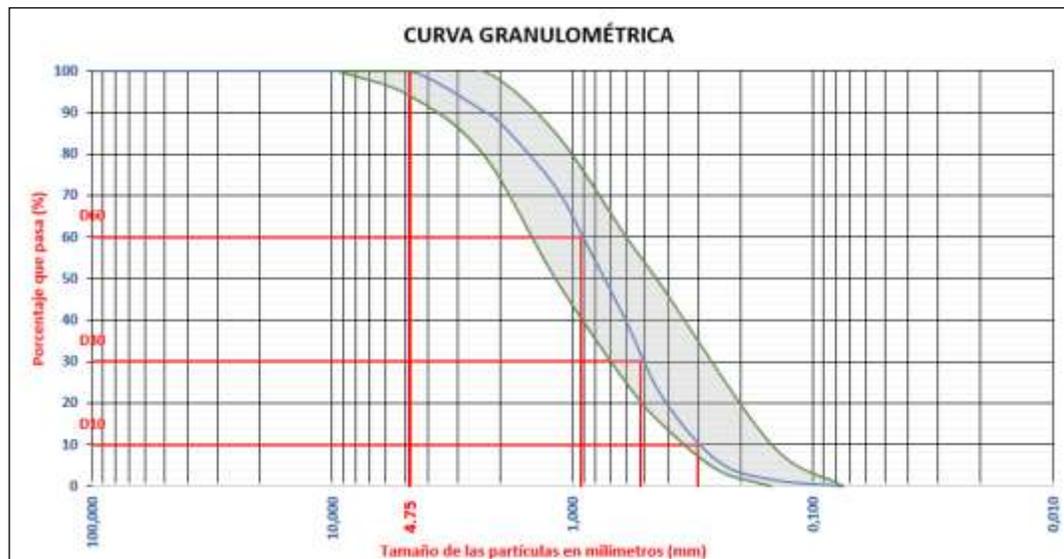
Resultados del diseño de mortero para inyección

Tabla 7. Registro granulométrico obtenido en laboratorio

Tamiz	mm	Peso parcial (gr)
N.º 4	4.750	0.0
N.º 8	2.360	96.0
N.º 10	2.000	29.0
N.º 16	1.180	154.0
N.º 20	0.850	152.0
N.º 30	0.600	170.0
N.º 40	0.425	182.0
N.º 60	0.250	154.0
N.º 100	0.149	45.0
N.º 200	0.075	16.0
Fondo		1.0

Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. Curva granulométrica perfecta con huso establecido por la Norma ASTM C-33 para morteros de cemento



Fuente: Elaboración propia

Diseño de mortero para 6 probetas

- Arena más gravilla = 1,436 kg
- Cemento = 0,5744 kg
- Agua = 0,216 L
- Aditivo = 8,4 cc
- a/c = 0,38

Diseño de mortero para 1 metro cúbico

- Arena más gravilla = 1685,7 kg
- Cemento = 674,27kg
- Agua = 253,53 L
- Aditivo = 9859,5 cc
- a/c = 0,38

Tabla 8. *Ensayos de probetas a los 7 días*

Rotura de cilindros a 7 días			
Cilindros	Medidas (mm)	Resistencia (kN)	Resistencia (kg/cm ²)
#12	88 x 44.9	36.7	236.48
#3	89 x 44.9	41.0	264.18
#23	87.3 x 44.1	35.3	227.45
#1	87.8 x 44.9	32.6	210.06
#17	88.8 x 45.8	28.0	180.42
#20	87.8 x 44.1	28.7	184.93
#14	85.1 x 44.1	28.4	182.99
#5	87.8 x 44.1	35.5	228.74
PROMEDIO		33.3	214.41

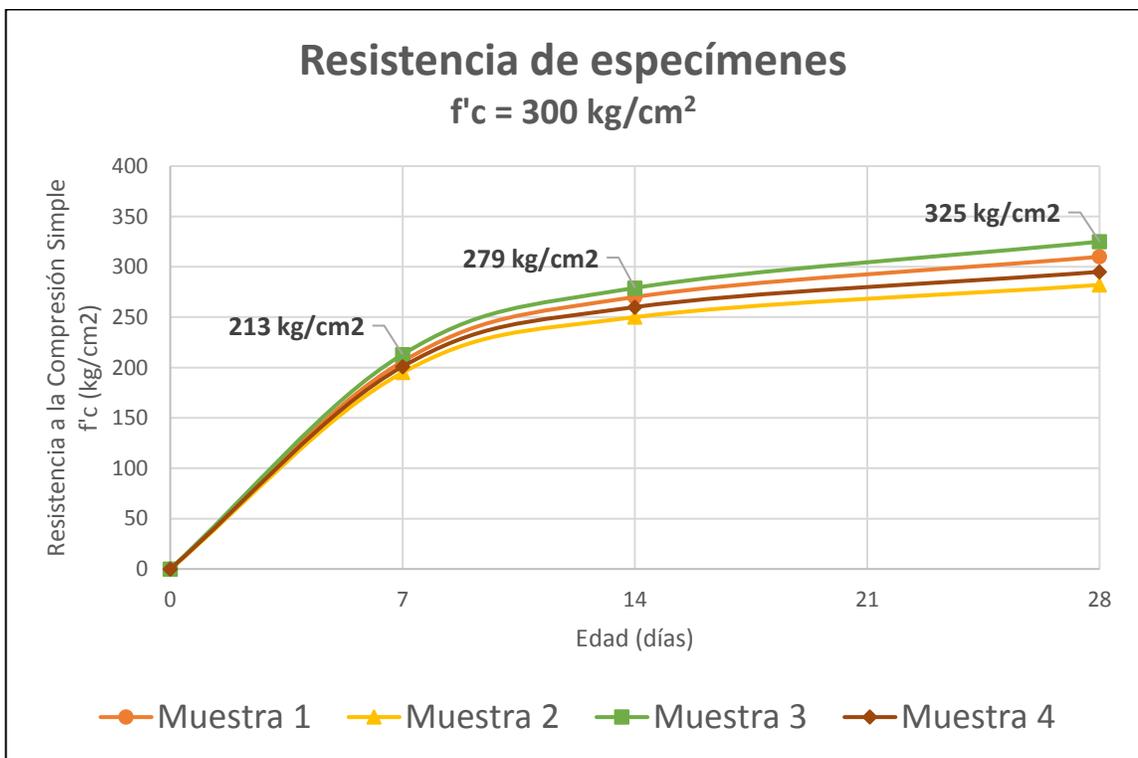
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Ensayos de probetas a los 14 días

Rotura de cilindros a 14 días			
Cilindros	Medidas (mm)	Resistencia (kN)	Resistencia (kg/cm ²)
#19	89 x 49.1	34.5	222.30
#21	89.5 x 45.6	40.8	262.89
#15	86.3 x 45.6	36.1	232.61
#18	88.5 x 44.9	45.2	291.24
#7	88 x 44.1	28.1	181.06
#13	86.8 x 45.1	43.4	279.65
#22	87.8 x 44.6	31.0	199.75
#25	88 x 44.1	40.5	260.96
PROMEDIO		37.5	241.31

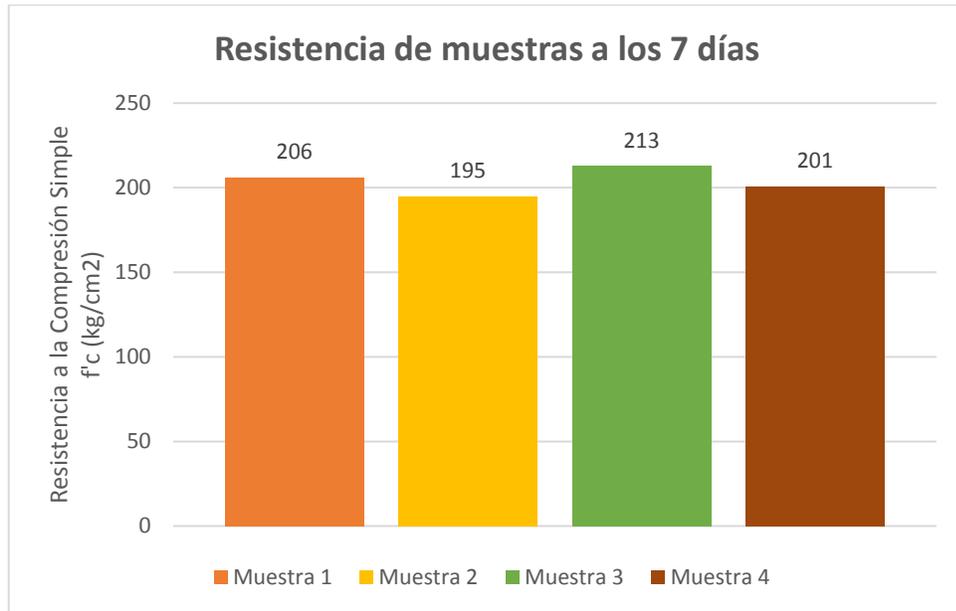
Fuente: Elaboración propia.

Figura 46. Resistencia vs. Edad de los especímenes



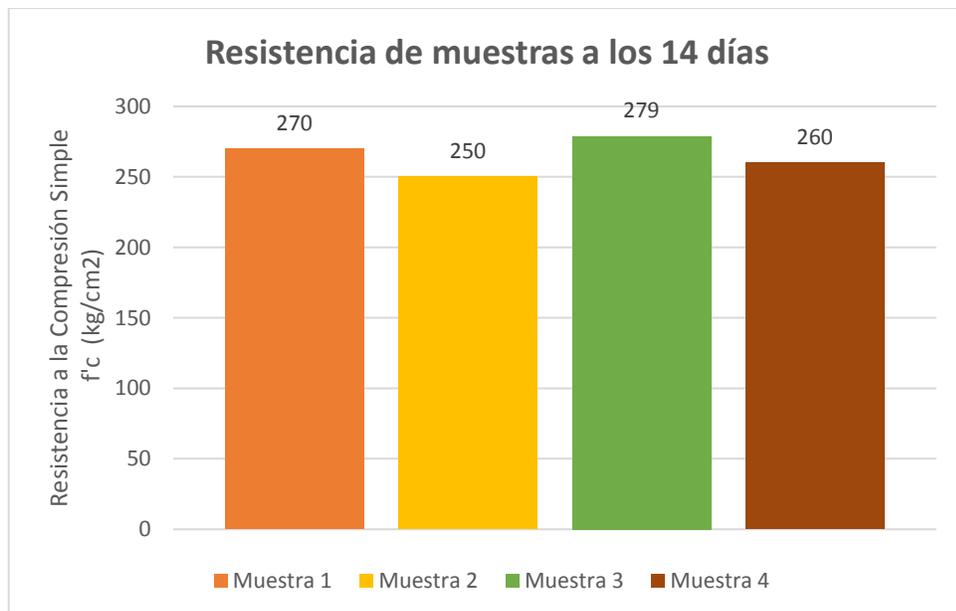
Fuente: Elaboración propia.

Figura 47. Resistencia a la compresión de muestras a los 7 días



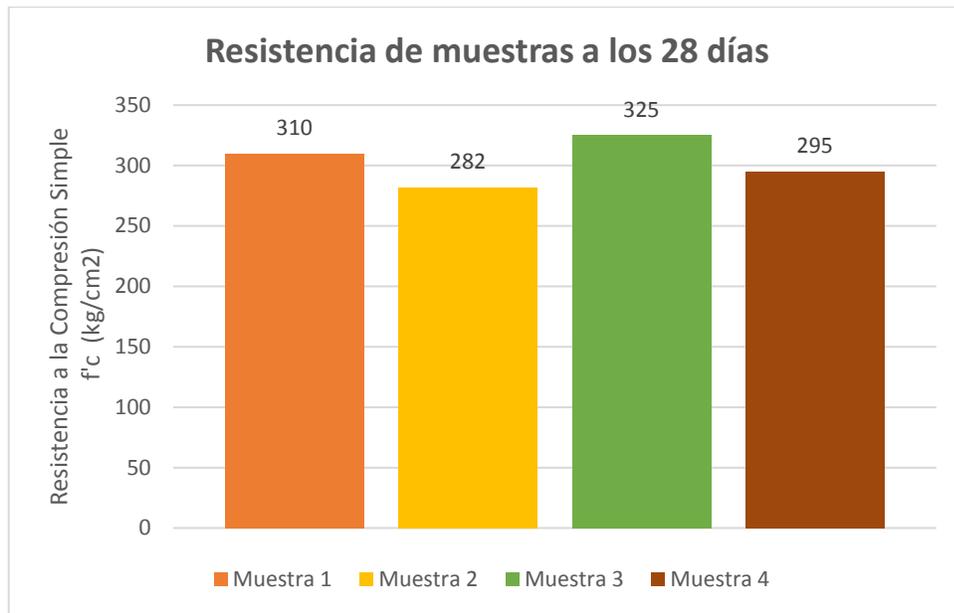
Fuente: Elaboración propia.

Figura 48. Resistencia a la compresión de muestras a los 14 días



Fuente: Elaboración propia.

Figura 49. Resistencia a la compresión de muestras a los 28 días



Fuente: Elaboración propia.

1.1.22 Metodología de inyección de micropilotes

1. Rotura del contrapiso de la residencia.
2. Retiro parcial del material de relleno entre cimientos en la zona de intervención.
3. Perforación de los dos micropilotes de 25 cm de diámetro por 6 m de longitud en las zapatas corridas en dos direcciones en la zona de intervención con equipo de perforación apropiado.
4. Introducción de la armadura convencional para pilar circular de 16 cm de diámetro, con estribos independientes cada 10 cm, en tramos de 1,5 m, con recubrimiento entre generatriz externa del pilote y armadura de 4,5cm.
5. Proceso de inyección de mortero especial diseñado por autoras, revenimiento 22 cm, tamaño máximo del agregado 4.750 mm, diseño de 250 kg/cm² de resistencia, con retardador de fraguado autonivelante de 6 horas, para poder controlar los derrumbes, evitando uso de vibradores.

1.1.23 Detalle gráfico de propuesta central

Figura 50. Vivienda tipo en zona de estudio



Nota. Obtenido de *Plusvalía*, (2023)

Figura 51. Ejemplo de máquina de perforación en el interior de una vivienda



Nota. Obtenido de Pilotes y Recalces, S.L.

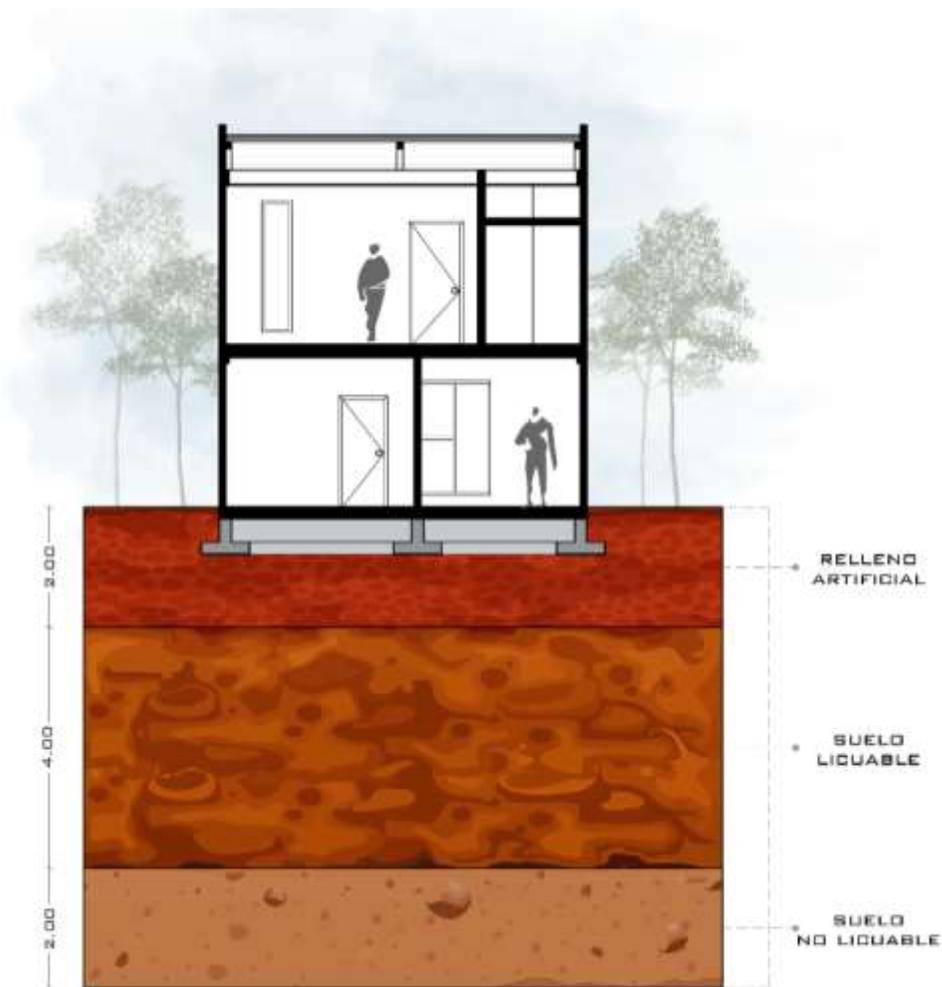
(<https://www.piresa.es/recalces-de-cimentaciones/>)

Como explicación gráfica de la propuesta y objetivos 2 y 3,

En la figura 50, se observa el tipo de vivienda de 2 pisos en la zona de estudio, en la cual se propone realizar reforzamiento con micropilotes raíz.

En las siguientes figuras 52 y 53, se observa la vivienda tipo sin reforzamiento con micropilotes raíz antes de que ocurra un sismo y la misma vivienda después de la ocurrencia de un sismo en la zona de estudio, logramos observar el hundimiento en el estrato del relleno artificial ocasionado por licuefacción sísmica.

Figura 52. *Edificación sobre suelos licuables, antes de un sismo*



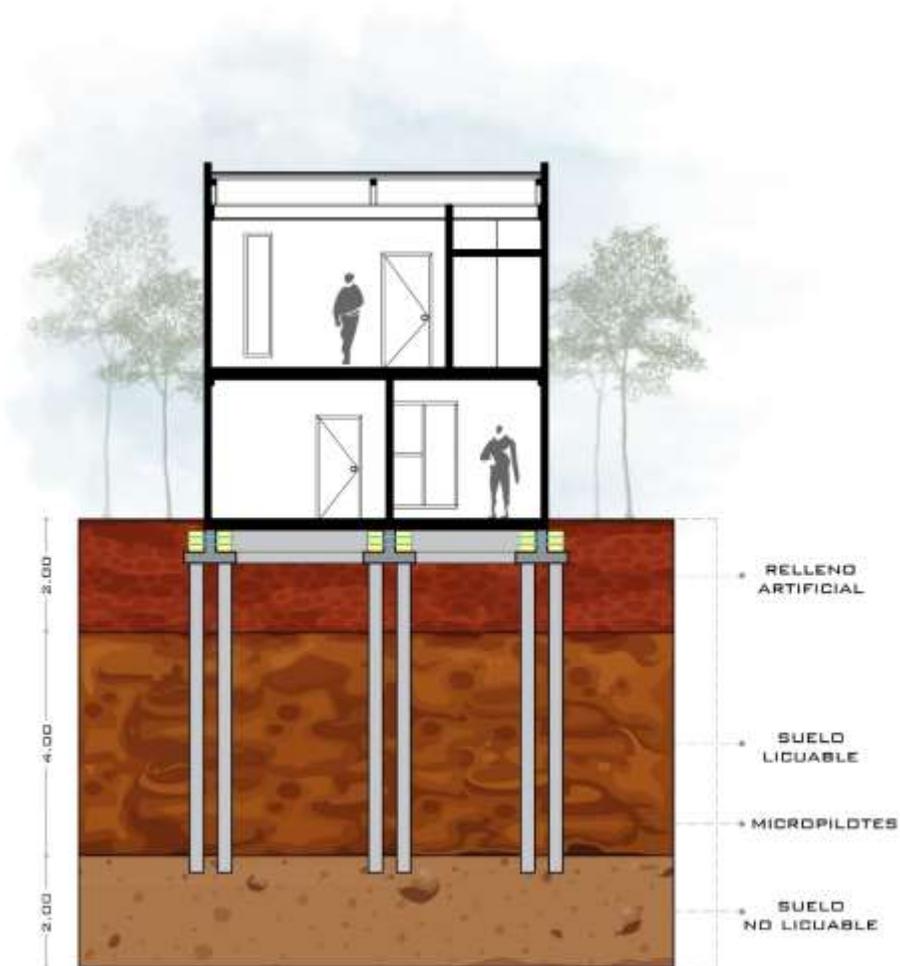
Fuente: Elaboración propia.

Figura 53. Hundimiento de la edificación sobre suelos licuables, después de un sismo



Fuente: Elaboración propia.

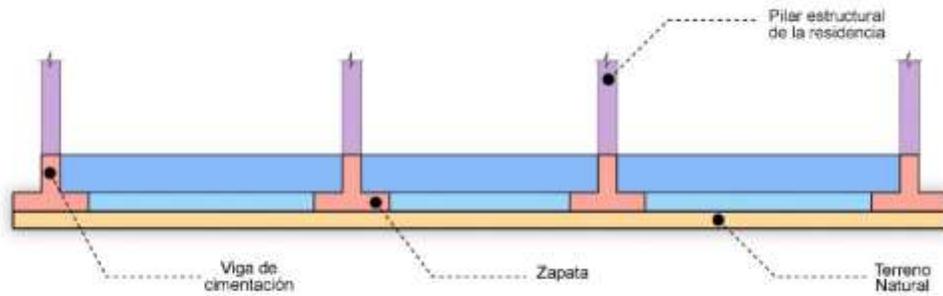
Figura 54. *Edificación sobre suelos licuables protegida con micropilotes inyectados con mortero de cemento*



Fuente: Elaboración propia.

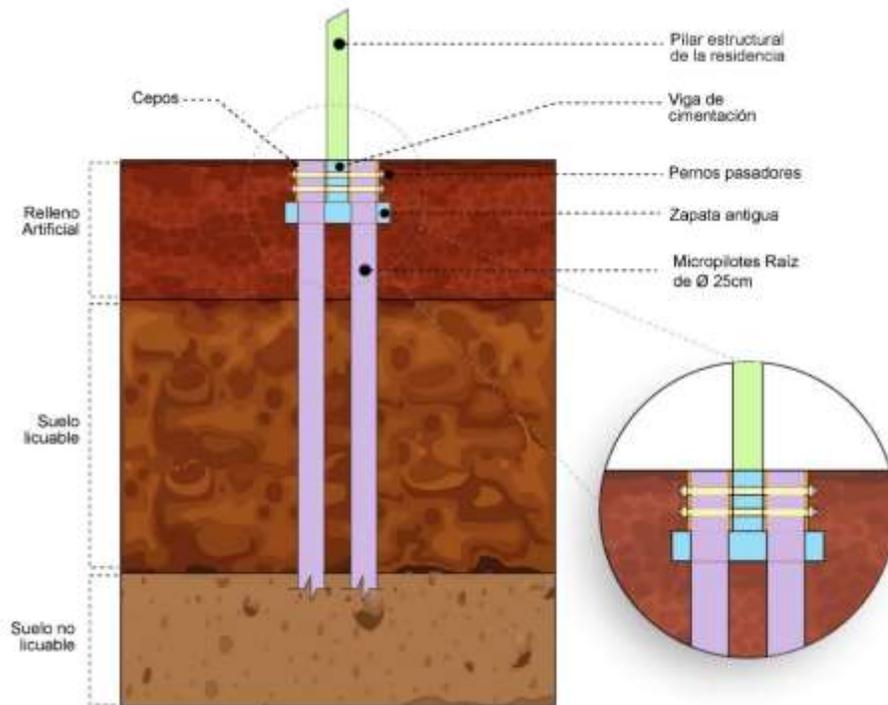
En la figura 54, se observa el comportamiento de la vivienda con reforzamiento de micropilotes raíz cuando hay la aparición de un sismo en una zona con presencia de suelo licuable.

Figura 55. *Cimentación tipo en corte*



Fuente: Elaboración propia.

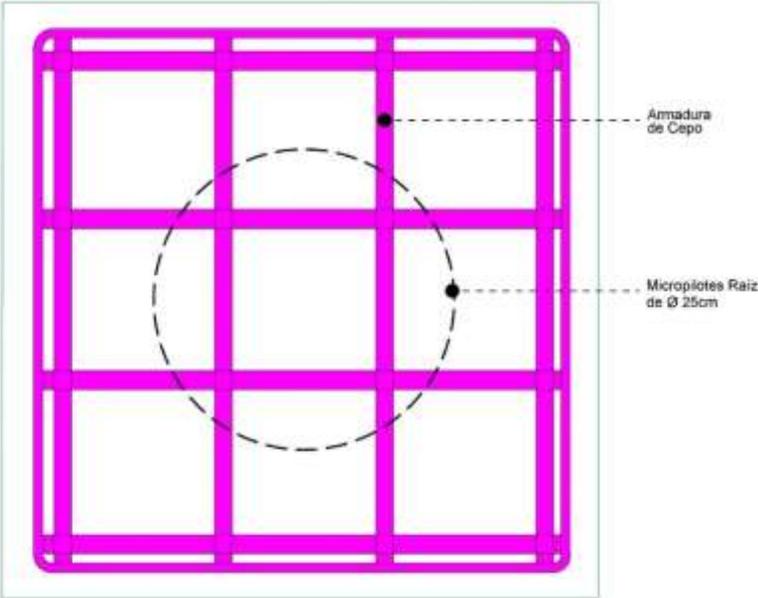
Figura 56. *Micropilote en corte*



Fuente: Elaboración propia.

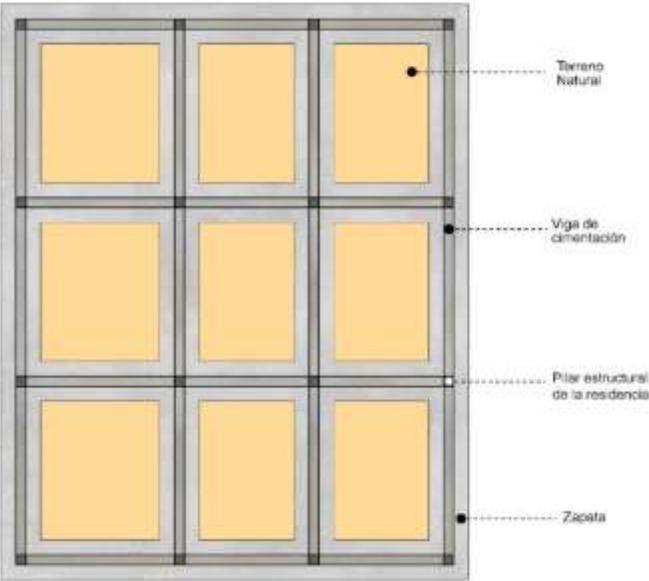
En la figura 56, se observa con claridad la unión del hormigón nuevo con el hormigón viejo.

Figura 57. Vista transversal de armadura



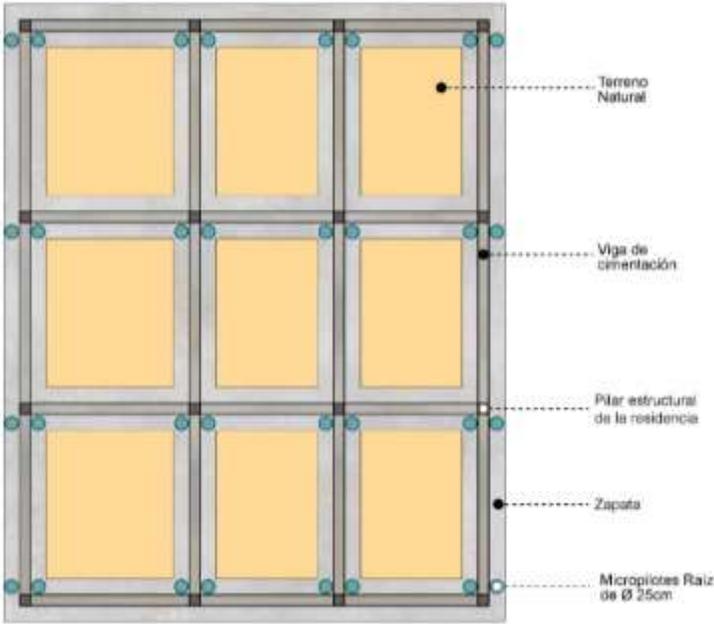
Fuente: Elaboración propia.

Figura 58. Cimentación tipo



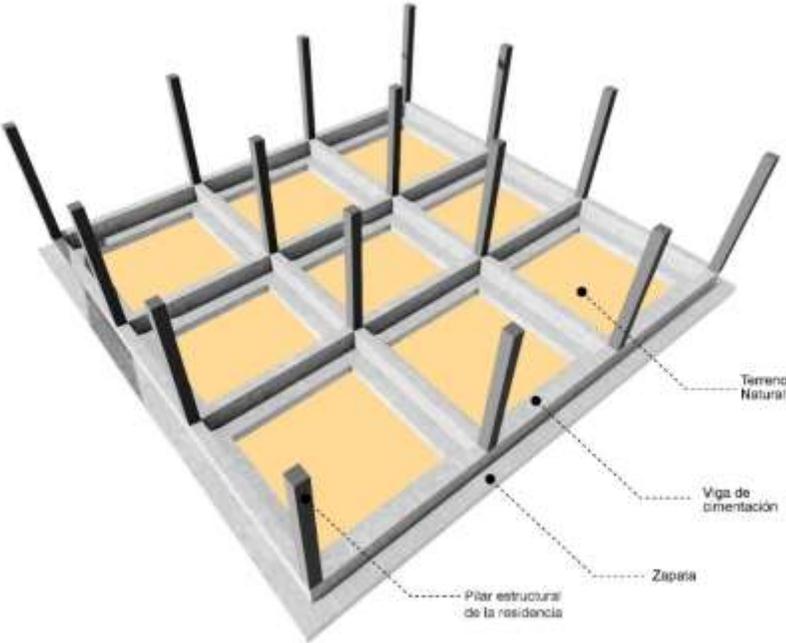
Fuente: Elaboración propia.

Figura 59. Cimentación tipo con micropilotes



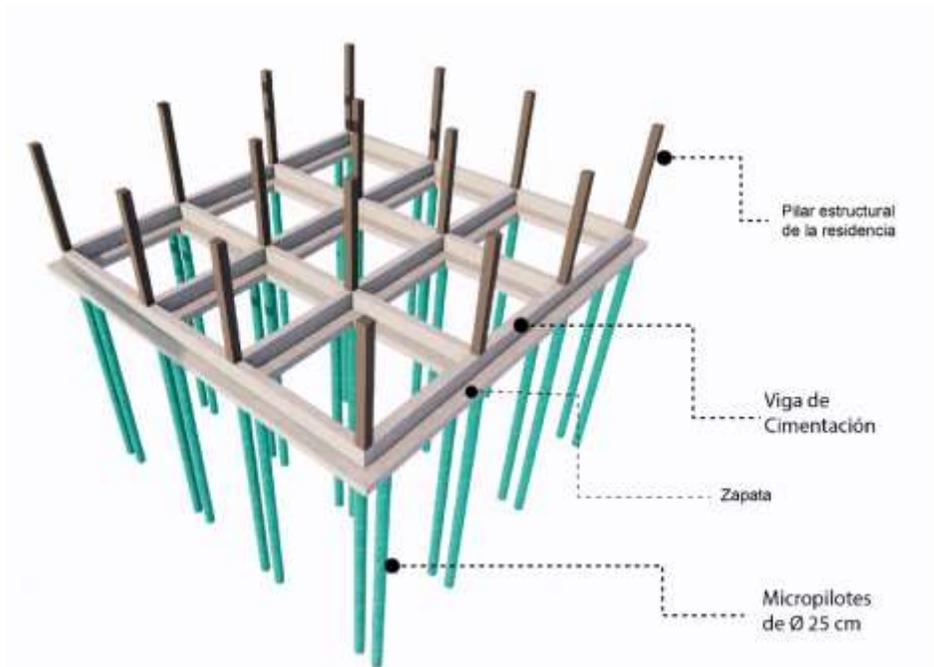
Fuente: Elaboración propia.

Figura 60. Cimentación tipo en 3D



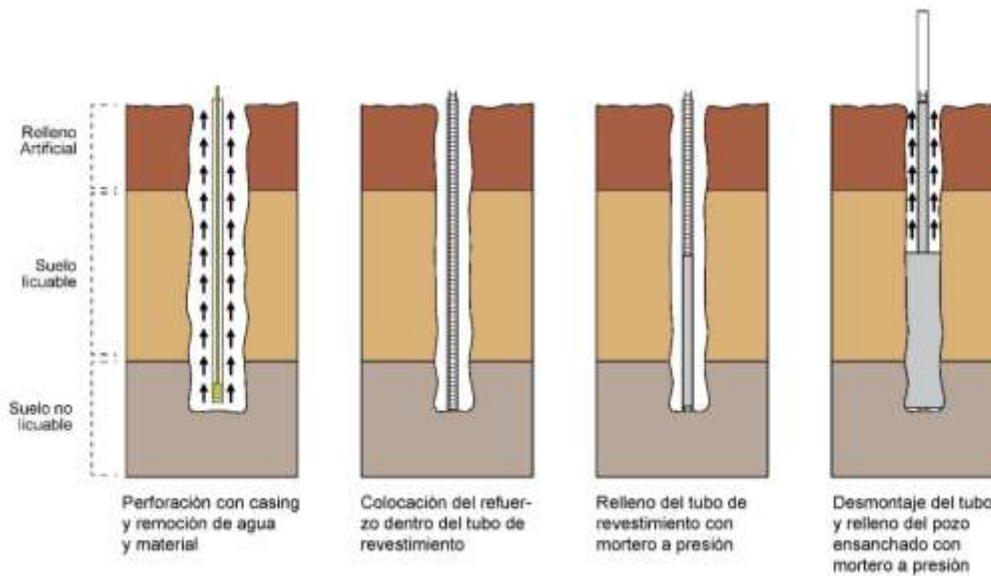
Fuente: Elaboración propia.

Figura 61. Cimentación tipo reforzada con micropilotes raíz en 3D



Fuente: Elaboración propia.

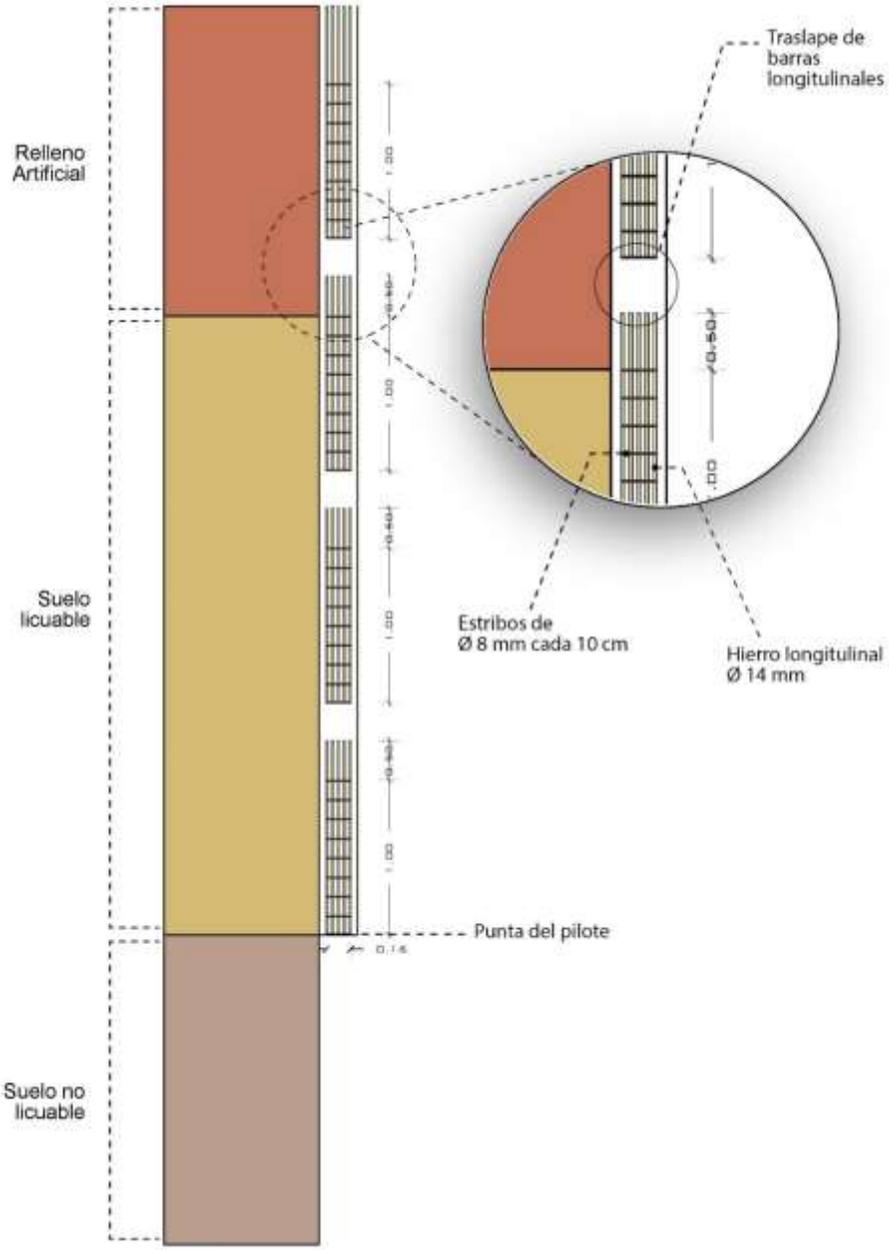
Figura 62. Proceso de inyección de micropilotes raíz



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 62, se observa el proceso de perforación e inyección de micropilotes raíz para suelos licuables en la zona de estudio.

Figura 63. Armadura del micropilote raíz.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 63, se observa que la armadura se ingresará al orificio perforado separados por tramos de 1,5 metros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A pesar de que la licuefacción es actualmente uno de los temas más importantes y controversiales de la ingeniería sísmica y geotécnica, se realizó una extensa investigación teórica sobre sus conceptos, funcionamiento y sobre todo el estudio de los micropilotes raíz como solución innovativa para combatirla.

Para llevar a cabo esta investigación se inició haciendo un estudio de sondeos obtenidos para comprobar la presencia de suelos licuables en la zona de estudio, Samborondón; en el cual dio como resultado la alta probabilidad de licuefacción de suelos en los primeros 6 metros de la estratificación del suelo.

Se propuso un diseño especial de mortero de inyección para los micropilotes en el cual hicimos uso de un aditivo autonivelante retardador de 6 – 24 horas y basándonos en la norma pertinente, arena más gravilla del río Cañar para obtener de esta manera una granulometría perfecta en nuestro diseño, el cual alcanzó una resistencia a la compresión $f'c$ de aproximadamente 250 kg/cm^2 .

En base al estudio y diferentes criterios establecidos por autores, decidimos realizar el diseño de los micropilotes raíz con una longitud de 6 metros, 25 cm de diámetro, armaduras de barras de hierro de 14 mm de diámetro para la sección longitudinal y 8mm para los estribos, hierro en barras longitudinales con estribos cada 10 centímetros con espaciadores de 4,5 centímetros para reforzar la vivienda tipo del área de estudio, lo cual se aprecia en el detalle gráfico de nuestra propuesta central.

Se propuso utilizar una máquina perforadora para instalar los micropilotes raíz dentro de una vivienda, las cuales se pueden observar en las figuras ya que una de sus características más importantes es la dimensión adecuada de estas para realizar el proceso dentro de dicha vivienda. Una vez concluida la inyección, se continúa rellenando los espacios vacíos abiertos, corregir el contrapiso retirado parcialmente y, por último, reinstalar el revestimiento de piso.

CONCLUSIONES

- Fue realizada una recopilación de investigaciones a nivel mundial, sobre el fenómeno de licuefacción sísmica, producido durante un evento de gran magnitud y aceleración. Se recopiló sondeos realizados en la zona de estudio y se realizó una microzonificación sísmica localizada para el sector, donde existe en la actualidad más de 100.000 residencias construidas sobre suelos cuaternarios recientes. Se concluye que la zona de estudio, parroquia La Puntilla del cantón “Samborondón”, se encuentra en su mayoría asentada sobre suelos saturados, superficiales, inconsolidados y arenosos finos. Mediante el procedimiento simplificado de Seed e Idris para la determinación de la susceptibilidad a la licuefacción, se obtuvo que, en la mayor parte del sector, predomina la susceptibilidad de licuarse.
- Fue desarrollado en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la UCSG, un diseño de mortero de cemento para inyecciones, para ser utilizado en la fabricación de micropilotes raíz, los mismos que podrían ser implementados en las residencias construidas para controlar el fenómeno de licuefacción sísmica. A este mortero se lo logró desarrollar con material ígneo del río Cañar cercano a la ciudad de Guayaquil, con granulometría perfecta, fluidez de 22 cm en el ensayo de Cono de Abrams, y resistencia a la compresión simple superior a 320 kg/cm². Se verificó que este diseño será capaz de mantener el mortero trabajable por tiempos prolongados, y no producirá segregación dentro del pilote, al momento de la inyección. El mismo también posee características auto nivelantes para eliminar la necesidad de vibrado y facilitar el bombeo.
- Se realizó una propuesta gráfica y a nivel esquemático, del proceso constructivo y del arreglo general de los micropilotes raíz, para una vivienda tipo del sector, de dos plantas. Para esto, fue utilizado el tipo de

cimentación que se pudo observar como el más utilizado en el área de estudio, el de zapatas corridas en dos direcciones, para una residencia que se encuentre construida sobre suelos potencialmente susceptibles a importantes asentamientos por licuefacción sísmica. Esta propuesta garantizará una adecuada transmisión de esfuerzos entre el armado estructural de los micropilotes raíz y los cimientos de la vivienda ya construida, sin demoler la estructura existente. Se propone además que los micropilotes raíz serán implementados como elementos estructurales, y podrán ser ejecutados en interiores de difícil acceso.

- Esta propuesta de solución, a partir del uso de micropilotes raíz, inyectados con mortero de cemento, es innovativa y económicamente viable. Resuelve un problema socio ambiental latente, y puede ser replicado en otras áreas del país donde existan suelos potencialmente susceptibles a sufrir licuefacción sísmica.

RECOMENDACIONES

Las autoras sugieren continuar con la investigación, e implementar la presente propuesta en una vivienda construida en la zona de estudio.

Continuar con la recopilación de sondeos realizados en el resto de la ciudad y que presente zonas con suelos cuaternarios recientes para elaborar una microzonificación sísmica con suelos potencialmente susceptibles a licuefacción.

REFERENCIAS

- Aguiar, R. (2017). Peligrosidad sísmica de la costa norte de Ecuador y el terremoto de Pedernales de 2016. *Revista Geofísica*, 67, link.gale.com/apps/doc/A557425513/IFME?u=anon~28dbbc03&sid=googleScholar&xid=a8382774.
- Aguiar, R., Vega, A., Fioravanti, M., Intriago, J., Mero, R., Moreira, P., . . . Luzardo, D. (2018). Comportamiento de estructuras ubicadas en la zona cero de tarqui en manta, durante el terremoto de 2016. *Ciencia*, 20(1), 55-72.
- Argudo, J. (1999). *Herramientas de evaluación del riesgo para el diagnóstico de zonas urbanas contra desastres sísmicos*. IIFI-UC.
- Arnez, G. (2019). *Diseño y construcción de micropilotes*. Obtenido de <http://ddigital.umss.edu.bo:8080/jspui/handle/123456789/14921>
- Barrenechea, B., & Rojas, T. (2017). *Potencial de licuefacción en el distrito de San José*. Obtenido de https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/3165/Barrenechea_Mantilla_Brayan.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- BBC News Mundo. (2017). Los 10 terremotos más potentes y mortíferos de la historia en América Latina. págs. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-41343606>.
- Beauval, C. (2021). *Mapa de peligrosidad sísmica de Ecuador*. Obtenido de <https://lemag.ird.fr/es/mapa-de-peligrosidad-sismica-de-ecuador>
- Bruce, D. A. (1989). *American Development in the use of small diameter Inserts as piles and in situ reinforcement*. DFI Int. Conf. on Piling and Deep Foundations.
- Carrillo, A., & A.L., A. (2008). *Licuefacción de suelos durante el sismo Pisco-Perú-2007*. Obtenido de http://www.laccei.org/LACCEI2008-Honduras/Papers/Env166_Carrillo.pdf
- Carta Topográfica 1:50.00 de Guayaquil*. (7 de febrero de 2023). Obtenido de http://www.igm.gob.ec/work/files/cartabase/n/NV_A3.htm

- Chunga, K. (2016). estudio de geología de superficie y subsuelo para el “ estudio geotécnico y de riesgo sísmico de la zona Tarqui de la ciudad de Manta de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015. *Geoestudios*, 1-55.
- Diario El Comercio. (2019). *Pisco: hace 12 años se registró uno de los terremotos más destructivos del Perú | FOTOS*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/peru/ica/pisco-12-anos-registro-terremotos-destructivos-peru-noticia-ecpm-547135-noticia/>
- Duque, E., Tamay, J., & Rojas, H. (2018). *Observatorio Sísmico del Ecuador (OSSE)*. Obtenido de https://sica.utpl.edu.ec/media/uploads/material/Reporte_extendido_-_Sismo_Cumanda.pdf
- Eadic. (2014). *Micropilotes Parte I: Características, origen y usos*. Obtenido de [https://eadic.com/blog/entrada/micropilotes/#:~:text=El-origen-de-los-micropilotes,central-\(barra-de-12mm\)](https://eadic.com/blog/entrada/micropilotes/#:~:text=El-origen-de-los-micropilotes,central-(barra-de-12mm)).
- El Diario. (2016). *Seis metros de peligro en el suelo de Tarqui*. Obtenido de <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/408066-seis-metros-de-peligro-en-el-suelo-de-tarqui/>
- El Universo. (2014). *Pertenencia del islote El Palmar está en el limbo, según prefecto Jimmy Jairala*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2015/11/06/nota/5224023/pertenencia-islote-palmar-esta-limbo-segun-prefecto/>
- El Universo. (2017). *Experto habla de reactivación sísmica en el norte de Ecuador*. Obtenido de <http://www.eluniverso.com/noticias/2017/02/02/nota/6027484/experto-habla-reactivacion-sismica-norte>
- Fernández, L. (2015). *Licuefacción de los suelos generada por sismos de gran magnitud. Caso de estudio Caimanera y Santiago de Cuba*. Obtenido de <http://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1174/TesismaestriaLiuska.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Ferros La Pobla. (2019). *Tipos de pilotes y sus características estructurales*. Obtenido de <https://ferroslapobla.com/tipos-de-pilotes-y-sus-caracteristicas-estructurales/>

- García-Tornel, F. (1984). *La Geografía de los riesgos*. Obtenido de <http://www.ub.edu/geocrit/geo54.htm>
- Geoestudios. (2016). *Estudio Geotécnico y de Riesgo Sísmico de la zona Tarqui de la ciudad de Manta de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- GEOSEC Ground Engineering. (s.f.). *Licuefacción de terrenos*. Obtenido de <https://www.geosec.es/mejora-de-terreno/licuefaccion-terrenos/>
- GeoStru. (2021). *Licuefacción de suelos: qué es y cómo intervenir*. Obtenido de <https://blog.geostru.eu/es/licuefaccion-de-suelos-que-es-y-como-intervenir/>
- Geotecnia Fácil. (2020). *Licuefacción de suelos*. Obtenido de <https://geotecniafacil.com/licuefaccion-suelos/>
- Google Maps. (s.f.).
- Guzmán, J., Linerea, F., Trujillo, G., Vargas, A., & Soberanis, R. (25 de Septiembre de 2018). Fallas de licuación de suelos inducidas por el sismo de tehuantepec del 7 de septiembre de 2017 (mw 8.2) en la ciudad de coatzacoalcos, veracruz, méxico. *Ingeniería sísmica*, (102), 82-106. <https://www.redalyc.org/journal/618/61866767005/html/>. doi:10.18867/RIS.102.526
- Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico. (2017). *Home*. Obtenido de [vhttps://www.geoenergia.gob.ec/](https://www.geoenergia.gob.ec/)
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2009). *Caracterización Hidrogeológica de la zona sur de la cuenca baja del Río Guayas*. Quito.
- Lizzie, F. (1980). *The use of "pali radice" (root pattern piles) in the underpinning of monuments and old buildings and in the consolidation of historic centers*. Fondedile S.p.A., Naples.
- Lizzie, F. (1985). "Pali radice" (root piles) and reticulated pali radice. En J. Thorburn, & S. Hutchinson, *"Micropiling" Cap. 4 y 5 de "Underpinning"* (págs. 152-159). Surrey University Press.

- Marskey, A. (1989). *El manejo popular de los desastres naturales. Estudios de vulnerabilidad y mitigación.* Obtenido de <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBsQFjAA&url=http://www.solucionespracticas.org.pe-Descargar&ei=HjBIVYLHGSP5ggTrm4PoDw&usg=AFQjCNENvYiLPopzMJs g7X0hshI0h4ADyQ&sig2=0uFeMUuLPMzJRBpSFQ>
- Mays, A., & Torres, R. (2018). *Análisis y diseño de la defensa ribereña del río reque, tramo puente reque–desembocadura en el océano pacífico, provincia de chiclayo, departamento de lambayeque, 2017.* Obtenido de Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo: https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1643/1/TL_MaysFarroAngel_TorresSeclenRubber.pdf
- Mendoza, C., Ramos, A., Cunha, R., & Lizcano, A. (2012). Análisis del proceso constructivo y variabilidad de parámetros geotécnicos en la capacidad de carga de micropilotes usando elementos finitos aleatorios. *Obras y Proyectos, 11*, 61-70. scielo.cl/pdf/oyp/n11/art06.pdf.
- Ministerio de Fomento. (2005). *Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera.* Obtenido de https://www.mitma.es/recursos_mfom/0710200.pdf
- Ministerio de Fomento. (2017). *Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Micropilotes.* Obtenido de Guía para el proyecto la ejecución de micropilotes en obras de carretera. 2005. Dirección General de Carreteras.: <https://www.patologiasconstruccion.net/2012/10/micropilotes-i-tipos/>
- Ministerio del Ambiente. (2013). *Home.* Obtenido de <https://sociobosque.ambiente.gob.ec/files/images/articulos/archivos/am131.pdf>
- Municipal del Cantón de Samborondón (GAD). (2015-2019).
- Mussio, V. (2012). *Potencial de licuación mediante el método de microtemores en la colonia solidaridad social, Mexicali.* Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5177/tesis.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Obando, T. (2009). *Estado actual del Conocimiento del proceso cíclico de licuefacción en suelos sujetos a solicitaciones sísmicas. Ejemplos de Casos*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos-pdf2/proceso-ciclico-licuefaccion-suelos-sismicas/proceso-ciclico-licuefaccion-suelos-sismicas.pdf>

ONU. (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible de la ONU*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Perucca, L., Pérez, A., & Navarro, C. (2006). Fenómenos de licuefacción asociados a terremotos históricos. Su análisis en la evaluación del peligro sísmico en la Argentina. *Rev. Asoc. Geol. Argent.*, 61(4), 567-578. scielo.org.ar/scielo.php?pid=S0004-48222006000400011&script=sci_abstract&tlng=es.

Pilotes y Recalces, S.L. (2019). *Recalce de cimentaciones*. Obtenido de <https://www.piresa.es/recalces-de-cimentaciones/>

Quinde, P., & Reinoso, E. (Junio de 2016). Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca. *Ingeniería sísmica*, (94), 1-26. <https://www.scielo.org.mx/pdf/ris/n94/0185-092X-ris-94-00001.pdf>.

Sanjuán, C. (2018). *Micropilotes (I) Tipos*. Obtenido de <https://www.patologiasconstruccion.net/2012/10/micropilotes-i-tipos/>

Toulkeridis, T., Porras, T., Tierra, A., Toulkeridis-Estrella, K., Cisneros, D., Luna, M., . . . Pérez, J. (Mayo de 2019). Dos precursores independientes en tiempo real del terremoto de 7,8 Mw en Ecuador basados en procesos radiactivos y geodésicos: herramientas poderosas para un sistema de alerta temprana. *Science Direct*, 126, 12-22. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264370718302382>

United States Geological Survey (USGS). (2020).

- Universidad de Costa Rica. (2014). *¿Qué es la licuefacción de suelos?* Obtenido de <https://rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/geologia/571-licuacion-de-suelos-durante-terremotos>
- USGS. (5 de Enero de 2017). Latest Earthquakes Terremotos.news. *United States Geological Survey*.
- Vera, X. (2005). Proyecto:elaboración del documento de lamicrozonificación sísmica y geotécnica de la ciudad de guayaquil según la norma ecuatoriana de la construcción 2011. págs. <https://es.scribd.com/document/254974435/Manual-Tecnico-Practico-Zonif-Sismica-Gye#>.
- Wikimedia. (2008). *Archivo : AlaskaQuake-FourthAve.jpg*. Obtenido de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AlaskaQuake-FourthAve.jpg>
- Yepez, V. (2020). *Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención*. Editorial Universitat Politècnica de València.



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotras, **Aliatis Andrade, Melanie Rachelle** y **Vicuña Vera, Jennia Melissa**, con C.C: #1311495723 y #1723919344 autoras del trabajo de titulación: **Micropilotes raíz para reforzar cimentaciones de viviendas construidas sobre suelos vulnerables a licuefacción sísmica**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaramos tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizamos a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **24 de febrero del 2023**

f. _____

Nombre: **Aliatis Andrade, Melanie Rachelle**

C.C: **1311495723**

f. _____

Nombre: **Vicuña Vera, Jennia Melissa**

C.C: **1723919344**



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Micropilotes raíz para reforzar cimentaciones de viviendas construidas sobre suelos vulnerables a licuefacción sísmica		
AUTOR(ES)	Melanie Rachelle Aliatis Andrade, Jennia Melissa Vicuña Vera		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Colón Gilberto Martínez Rehpani		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniera civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	24 de febrero del 2023	No. DE PÁGINAS:	78
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ingeniería, Cimentación, Construcción		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Licuefacción, Licuación Sísmica, Samborondón, Micropilotes Raíz, Susceptibilidad, Ensayo de Rotura.		
RESUMEN:	<p>La presente investigación tiene como objetivo proporcionar una solución socioambiental e innovativa a un problema ingenieril común, acontecido frecuentemente en países con características sísmicas y geológicas semejantes a las de Ecuador. Para dicho propósito, se realiza un estudio del uso de micropilotes raíz elaborados con inyecciones de mortero para reforzar cimentaciones de viviendas existentes, construidas sobre suelos con alta probabilidad de incursionar dentro del fenómeno de licuación sísmica en el sector Samborondón, Ecuador.</p> <p>Para un desarrollo más amplio de la investigación, se lleva a cabo un estudio ingeniero geológico, basado en diferentes autores, de sondeos estratigráficos adquiridos del sector Samborondón. Todo ello, obteniendo como resultado la comprobación de la presencia de suelos licuables dentro de la zona de estudio establecida.</p> <p>Finalmente, se realizan ensayos de rotura de las probetas de mortero diseñado en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería y posteriormente ensayados en el Centro de Investigaciones en Ingeniería Estructural Sismo Resistente (CEINVES), con el fin de comprobar la alta resistencia de los micropilotes raíz para soportar las cargas sísmicas, de gravedad y los posibles asentamientos de estructuras de viviendas de dos pisos, transmitiéndolas hacia una cimentación estable y, sobre todo, proporcionándole una adecuada seguridad, resistencia y rigidez ante el problema de licuación sísmica.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-98 268 8917 +593-99 602 9151	E-mail: rachellealiatis@hotmail.com jennia.melissa@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4 -2206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			