



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA

**SOLUCIONES GEOTÉCNICAS APLICADAS A SUELOS LICUABLES
PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE
CIMENTACIONES SUPERFICIALES.**

TUTOR

PhD. CALERO AMORES MARCIAL SEBASTIAN

AUTOR

JORGE LUIS ALMEIDA BURGOS

GUAYAQUIL

2025

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TÍTULO Y SUBTÍTULO: Soluciones geotécnicas aplicadas a suelos licuables para mejorar el comportamiento mecánico de cimentaciones superficiales.	
AUTOR/ES: Almeida Burgos Jorge Luis	TUTOR: PhD. Calero Amores Marcial Sebastián
INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	Grado obtenido: Ingeniería Civil.
FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.	CARRERA: INGENIERÍA CIVIL.
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2025	N. DE PÁGS: 99
ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción.	
PALABRAS CLAVE: Ingeniería civil, Suelo, Sismicidad, Ciencias de la tierra, Geología, Tectónica.	
<p>El diseño y construcción de cimientos adecuados constituye un aspecto fundamental en la Ingeniería Civil, ya que garantiza la estabilidad y durabilidad de las estructuras. Uno de los factores más determinantes en este proceso es la capacidad portante del suelo, entendida como la capacidad del terreno para soportar cargas estructurales sin sufrir deformaciones excesivas o fallos. La realización de un estudio geotécnico detallado, basado en principios de la Geología y otras ramas de las Ciencias de la Tierra, permite caracterizar adecuadamente el suelo, evaluando propiedades como la resistencia, cohesión, densidad y su susceptibilidad a fenómenos como la licuación.</p> <p>En regiones de alta sismicidad, como la ciudad de Guayaquil, donde los suelos son predominantemente blandos y poco consolidados, existe un riesgo elevado de licuación, especialmente ante eventos sísmicos de baja o mediana intensidad. Este fenómeno está estrechamente vinculado con</p>	

<p>la actividad tectónica presente en la región. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo identificar las zonas más vulnerables a la licuación dentro del área de estudio y proponer soluciones técnicas viables orientadas a la mitigación del riesgo, mediante el uso de técnicas de mejoramiento del suelo como la compactación y estabilización.</p> <p>Adicionalmente, se analizan propuestas de diseño de cimentaciones adecuadas para suelos susceptibles a licuarse, buscando optimizar los costos sin comprometer la seguridad estructural. Este trabajo busca proporcionar una visión integral sobre la importancia del análisis geotécnico en zonas sísmicas, destacando la relevancia del conocimiento interdisciplinario entre la ingeniería civil, la geología y la tectónica para garantizar la seguridad de las edificaciones y sus ocupantes.</p>		
N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (Web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTOR/ES: Almeida Burgos Jorge Luis	Teléfono: 0985777740	E-mail: www.jorgealmeida33@gmail.com
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	PhD. Marcial Sebastián Calero Amores Teléfono: 2596500 Ext. 241 E-mail: mcalero@ulvr.edu.ec Mgst. Jorge Enrique Torres Rodríguez. Teléfono: 2596500 Ext. 242 E-mail: etorresr@ulvr.edu.ec	

SOLUCIONES GEOTECNICAS APLICADAS A SUELOS LICUABLES PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO MECANICO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES

INFORME DE ORIGINALIDAD

7% INDICE DE SIMILITUD	7% FUENTES DE INTERNET	1% PUBLICACIONES	2% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
----------------------------------	----------------------------------	----------------------------	--------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	es.slideshare.net Fuente de Internet	1%
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	< 1%
4	www.geotecnia.online Fuente de Internet	< 1%
5	repositorio.unesum.edu.ec Fuente de Internet	< 1%
6	repositorio.ulvr.edu.ec Fuente de Internet	< 1%
7	pdfcookie.com Fuente de Internet	< 1%
8	www.slideshare.net Fuente de Internet	< 1%
9	archive.org Fuente de Internet	< 1%
10	www.ulvr.edu.ec Fuente de Internet	< 1%
11	www.fellenius.net Fuente de Internet	< 1%
12	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	< 1%
13	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	< 1%
14	www.ptolomeo.unam.mx:8080 Fuente de Internet	< 1%



MARCIAL SEBASTIAN

62	moam.info Fuente de Internet	<1%
63	repositori.justicia.gencat.cat Fuente de Internet	<1%
64	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1%
65	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
66	www.aldeasostenible.net Fuente de Internet	<1%
67	www.dof.gob.mx Fuente de Internet	<1%
68	www.mecalux.es Fuente de Internet	<1%
69	www.revistaelabasto.com.ar Fuente de Internet	<1%
70	www.ujat.mx Fuente de Internet	<1%

Excluir citas Activo Excluir coincidencias Apagado
 Excluir bibliografía Activo

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación soluciones geotécnicas aplicadas a suelos licuables para mejorar el comportamiento mecánico de cimentaciones superficiales, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de ingeniería, industria y construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: Soluciones geotécnicas aplicadas a suelos licuables para mejorar el comportamiento mecánico de cimentaciones superficiales presentado por el (los) estudiante (s) JORGE LUIS ALMEIDA BURGOS como requisito previo, para optar al Título de ingeniero civil encontrándose apto para su sustentación.



Firma:

Phd. Calero Amores Marcial Sebastián

C.C. 0905197869

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El (Los) estudiante(s) egresado(s) JORGE LUIS ALMEIDA BURGOS, declara (mos) bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, soluciones geotécnicas aplicadas a suelos licuables para mejorar el comportamiento mecánico de cimentaciones superficiales, corresponde totalmente a el(los) suscrito(s) y me (nos) responsabilizo (amos) con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo (emos) los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)

Firma

JORGE LUIS ALMEIDA BURGOS

093035712-4

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia y amigos, quienes, con su apoyo incondicional y su confianza en la importancia de esta investigación, me han dado la fuerza y la motivación para continuar adelante en este proceso. Su aliento constante ha sido fundamental en cada paso de este proyecto, y su creencia en mí y en mi trabajo me ha impulsado a alcanzar este logro. A ellos les debo gran parte de este éxito, ya que, sin su amor, comprensión y respaldo, nada de esto habría sido posible.

Asimismo, agradezco profundamente al personal docente de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, cuyo conocimiento y experiencia han sido fundamentales para el desarrollo de esta tesis. Los consejos, sugerencias y opciones objetivas que me brindaron a lo largo de este proceso investigativo fueron cruciales para orientar mis pasos y asegurar que los resultados de esta investigación fueran los más adecuados. Su compromiso con mi formación académica me permitió identificar una solución eficiente y adaptable a las diferentes condiciones del suelo con las que frecuentemente se enfrentan los proyectos de construcción en nuestra región.

Este trabajo no solo es el reflejo de mi esfuerzo, sino también de la orientación y el apoyo de todos aquellos que han formado parte de este proceso, y por ello, estoy profundamente agradecido. Espero que los resultados de esta investigación puedan contribuir significativamente al avance y desarrollo de proyectos de construcción más seguros y eficientes.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a ofrecer un enfoque objetivo y profundo sobre la importancia del mejoramiento de suelos en la ciudad de Guayaquil, con el objetivo de proporcionar una solución viable que beneficie a todos los involucrados en el proceso de construcción de edificaciones. A través de esta investigación, se busca presentar una alternativa eficaz que no solo contribuya a mejorar la estabilidad y seguridad de las construcciones, sino también a optimizar los costos del proyecto, lo que repercutirá positivamente en los presupuestos y en la viabilidad económica de futuras obras. Sin embargo, el verdadero valor de esta propuesta radica en el impacto que puede tener en la comunidad, contribuyendo al bienestar y seguridad de sus habitantes.

Quiero dedicar esta tesis de manera especial a mi familia, amigos y docentes, quienes han sido un apoyo constante en este camino. A ellos, que siempre creyeron en la importancia de esta investigación y en el beneficio que su implementación puede traer a la sociedad, les agradezco profundamente. Sin su respaldo, motivación y confianza en mis capacidades, este proyecto no habría sido posible. Esta investigación es un reflejo del esfuerzo y dedicación de todos aquellos que, de una u otra manera, han sido parte de mi proceso académico y personal, y espero que sus frutos contribuyan significativamente al desarrollo de Guayaquil y otras regiones con problemáticas similares.

RESUMEN

El diseño y construcción de cimientos adecuados es uno de los aspectos más críticos en la ingeniería civil, ya que garantiza la estabilidad y durabilidad de las estructuras. La capacidad portante del suelo, que hace referencia a la habilidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sin sufrir deformaciones excesivas o fallos, es fundamental para determinar el tipo de cimentación más apropiado. El estudio geotécnico del suelo es esencial para conocer sus características, tales como su resistencia, cohesión, densidad y susceptibilidad a fenómenos como la licuación, que puede afectar gravemente la estabilidad de una edificación.

En regiones como Guayaquil, que se encuentran en zonas sísmicas y tienen suelos de baja capacidad portante, el riesgo de licuación del suelo es considerable, especialmente durante sismos de baja o mediana intensidad. Este fenómeno, donde los suelos granulares poco consolidados pierde temporalmente su resistencia al corte debido a la acción sísmica, puede generar fallas en las fundaciones y afectar la integridad estructural de los edificios.

Este trabajo tiene como objetivo identificar las áreas más vulnerables a la licuación en Guayaquil y proponer soluciones adecuadas para mitigar los riesgos asociados. Se abordarán técnicas de mejoramiento de suelos, como la compactación y estabilización, que permitirán aumentar la capacidad portante de los terrenos y asegurar la estabilidad de las fundaciones. La investigación también se centrará en el diseño de cimientos apropiados para suelos licuables, optimizando costos y garantizando la seguridad estructural.

El presente estudio proporciona una visión integral sobre la importancia del análisis geotécnico y el uso de tecnologías de mejoramiento de suelo para prevenir problemas relacionados con la licuación, asegurando la integridad de las edificaciones y la seguridad de los habitantes, particularmente en áreas vulnerables de Guayaquil.

Palabras claves: Geotecnia, mecánica de suelos, mejoramiento de suelos, licuefacción de suelos, sistema de clasificación de suelos.

ABSTRACT

The design and construction of appropriate foundations is one of the most critical aspects of civil engineering, as it ensures the stability and durability of structures. The bearing capacity of the soil, which refers to the ground's ability to support applied loads without experiencing excessive deformation or failure, is fundamental in determining the most suitable type of foundation. A geotechnical study of the soil is essential to understand its characteristics, such as strength, cohesion, density, and susceptibility to phenomena like liquefaction, which can seriously affect the stability of a structure.

In regions like Guayaquil, located in seismic zones and with soils of low bearing capacity, the risk of soil liquefaction is considerable, especially during low to moderate intensity earthquakes. This phenomenon—where poorly consolidated granular soils temporarily lose their shear strength due to seismic activity—can cause foundation failures and compromise the structural integrity of buildings.

The objective of this study is to identify the areas most vulnerable to liquefaction in Guayaquil and propose appropriate solutions to mitigate the associated risks. It will address soil improvement techniques, such as compaction and stabilization, which will increase the bearing capacity of the ground and ensure foundation stability. The research will also focus on designing appropriate foundations for liquefiable soils, optimizing costs while ensuring structural safety.

This study provides a comprehensive view of the importance of geotechnical analysis and the use of soil improvement technologies to prevent problems related to liquefaction, ensuring the integrity of buildings and the safety of residents, particularly in vulnerable areas of Guayaquil.

Keywords: Geotechnics, soil mechanics, soil improvement, soil liquefaction, soil classification system.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
1.1 Tema:.....	2
1.2 Planteamiento del Problema:	2
1.3 Formulación del Problema	3
1.4 Objetivo General	4
1.5 Objetivos Específicos.....	4
1.6 Idea a Defender	4
1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.....	5
CAPÍTULO II	6
2.1 Geología y su impacto en la sociedad	6
2.2 Mecánica de suelos	7
2.2.1 Suelos según su origen y composición.....	7
2.2.2 Humedad	9
2.2.3 Grado de saturación	9
2.2.4 Límites de Atterberg.....	10
2.2.5 Consistencia relativa.....	11
2.2.6 Granulometría.....	11
2.3 Sistemas de clasificación de suelos.....	13
2.3.1 Sistema de clasificación AASHTO.....	13
2.3.2 Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).....	14
2.4 Ensayos de Suelos	15
2.4.1 Resistencia al corte.....	15
2.4.2 Módulo de rigidez.....	16
2.4.3 Tipos de ensayos de suelo	16

2.5 Actividad sísmica	18
2.5.1 Escalas sísmicas	22
2.5.2 Leyes de atenuación.....	25
2.5.3 Medición de los sismos.....	25
2.5.4 Ondas superficiales	26
2.5.5 Esquema global de sismicidad	26
2.6 Comportamiento de los suelos sujetos a cargas por eventos sísmicos ..	28
2.6.1 Licuefacción del suelo.....	29
2.6.2 Causas principales que ocasionan la licuefacción del suelo.....	29
2.6.3 Aumento de la presión del agua en los poros.....	30
2.6.4 Carga cíclica	30
2.6.5 Suelos secos, no cohesivos. Arenas, gravas y limos.....	31
2.6.6 Suelos no cohesivos, parcialmente saturados.....	33
2.6.7 Suelos no cohesivos, saturados	34
2.6.8 Suelos cohesivos, saturados. Arcillas, limos orgánicos.....	36
2.6.9 Suelos cohesivos parcialmente saturados:.....	36
2.6.10 Rocas:.....	36
2.6.11 Suelos artificiales, rellenos:	37
2.6.12 Interacción suelo estructura.....	37
2.7 Mejoramiento de suelos	38
2.7.1 Metodología de mejoramiento de suelos:	40
2.8 Marco Legal	42
2.8.1 Normas ecuatorianas de la construcción (NEC)	42
2.8.2 Normas NTE INEN.....	42
2.8.3 Normas ASTM	43
CAPÍTULO III	44
3.1 Enfoque de la investigación	44

3.2 Alcance de la investigación.....	44
3.3 Técnica e instrumentos para obtener los datos	45
3.4 Población y muestra.....	45
3.5 Tipos de Muestra en investigación cualitativa	46
CAPÍTULO IV	47
4.1 Riesgo sísmico.....	48
4.2 Características actuales del suelo de Guayaquil.....	48
4.3 Zonificación de suelos de Guayaquil.....	51
4.4 Metodología de Trabajo en el Mejoramiento de Suelos con el Sistema Geopier	61
4.4.1 Pilas de Agregado Compactado	61
4.4.2 Densificación de Arena por Desplazamiento	61
4.4.3 Brigada Típica para la Ejecución del Sistema.....	61
4.4.4 Procedimiento para mejoramiento de suelo por medio de agregados compactados en caso que se tenga que realizar una excavación previa ..	62
4.4.5 Pasos a seguir en un sistema de desplazamiento: IMPACT	63
4.4.6 Ventajas vs. Las columnas de grava convencional sin ningún tipo de compactación.....	63
4.4.7 Mejoramiento de la Capacidad de Resistencia al Corte del Suelo ...	64
4.4.8 Eficiencia en Terrenos con Nivel Freático Superficial	64
4.4.9 Mayor Eficiencia en la Transmisión de Carga.....	64
4.4.10 Mejoramiento del Comportamiento ante Cargas Dinámicas y Sísmicas	64
4.4.11 Reducción de Asentamientos y Mejora en la Homogeneidad del Suelo.....	64
4.4.12 Mejor Integración con Sistemas de Cimentación y Mejora del Factor de Seguridad.	65
4.4.13 Método de cálculos para control de asentamientos.....	67

4.4.14 Asentamiento en la zona superior.....	67
4.4.15 Datos de diseño (ejemplo práctico).....	70
4.5 Presentación y análisis de resultados	75
CONCLUSIONES.....	78
RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	14
Tabla 2	17
Tabla 3	23
Tabla 4	24
Tabla 5	41
Tabla 6	45
Tabla 7	46
Tabla 8	49
Tabla 9	51
Tabla 10	53
Tabla 11	54
Tabla 12	55
Tabla 13	57
Tabla 14	57
Tabla 15	59
Tabla 16	77

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.....	8
Figura 2.....	21
Figura 3.....	27
Figura 4.....	28
Figura 5.....	31
Figura 6.....	50
Figura 7.....	60
Figura 8.....	62
Figura 9.....	63
Figura 10.....	65
Figura 11.....	66
Figura 12.....	69
Figura 13.....	75

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la ingeniería civil, la geotecnia juega un papel esencial, ya que se enfoca en el estudio de los materiales terrestres y su interacción con las estructuras construidas sobre ellos. Específicamente, la cimentación de una edificación, que incluye tanto zapatas como losas de cimentación, depende directamente de las características del suelo en el que se emplaza. La interacción suelo-cimiento es crucial para el cálculo de la cimentación, dado que este proceso depende estrechamente de las deformabilidades relativas tanto del suelo como del cimiento (Ruiz, 2020). De esta manera, las propiedades del suelo, como su capacidad portante, cohesión y densidad, afectan directamente el comportamiento y la estabilidad de las estructuras.

Una de las principales preocupaciones que enfrentan los ingenieros al momento de diseñar y construir sobre un terreno es la deformación del suelo, la cual se convierte en una problemática crítica que puede comprometer la integridad de la edificación. Este fenómeno está vinculado principalmente a la capacidad portante del suelo, es decir, la habilidad del terreno para soportar las cargas sin sufrir deformaciones excesivas o colapsos. Existen diferentes tipos de suelos, que pueden clasificarse de acuerdo con su origen (inorgánico u orgánico) y sus características, tales como gravas, arenas, limos y arcillas. Específicamente, los suelos rocosos son ideales para la construcción debido a su alta capacidad portante. Sin embargo, cuando no se dispone de suelos adecuados, es fundamental recurrir a técnicas de mejoramiento de suelo que permitan que el terreno alcance las propiedades necesarias para soportar la estructura sin comprometer la seguridad de la edificación.

Además de las características naturales del suelo, existen factores que pueden influir en su comportamiento, como el contenido de humedad, el grado de compactación y, particularmente, los fenómenos sísmicos, que tienen un impacto significativo en la capacidad portante del suelo. Uno de los principales fenómenos sísmico-geotécnicos es la licuación del suelo, que ocurre cuando un suelo granular y no consolidado pierde temporalmente su resistencia al corte debido a los movimientos sísmicos. Este fenómeno puede generar graves consecuencias, como asentamiento diferenciales y daños a las estructuras.

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1 Tema:

Soluciones geotécnicas aplicadas a suelos licuables para mejorar el comportamiento mecánico de cimentaciones superficiales.

1.2 Planteamiento del Problema:

En el campo de la ingeniería civil se estudian disciplinas que influyen en la decisión de un ingeniero al momento de diseñar y construir, una de esta es la geotecnia, cuya disciplina se enfoca en el estudio y comportamiento de los materiales terrestres y su comportamiento con las estructuras construidas sobre el suelo o dentro del mismo, esto debido a que es la cimentación la que habrá que proyectar acorde a las características del suelo, siendo así condicionada por la condiciones del suelo, motivo por el cual la interacción suelo-cimiento es importante para el cálculo de la cimentación y a su vez depende fuertemente de las deformabilidades relativas del suelo y del cimiento. (Ruiz, 2020)

Es justamente la deformación del suelo la principal problemática a la cual se enfrenta una estructura, siendo así la capacidad portante del suelo y su acción a deformarse las más relevantes, incluso en la actualidad se continúa estudiando la mecánica de los distintos suelos que existen y su comportamiento frente a variables externas ajenas al suelo, tales como el grado de compactación, contenido de humedad y capacidad para soportar cargas. Los suelos principalmente están clasificados de acuerdo al origen de sus elementos se dividen en dos amplios grupos: suelos cuyo origen se debe a la descomposición física y/o química de las rocas, o sea los suelos inorgánicos, y suelos cuyo origen es principalmente orgánico. (Crespo, 2007)

Referente a la información obtenida en cuanto a las características de los suelos y su comportamiento mecánico frente a fuerza externas, se los clasificara de la siguiente forma, por el tamaño del grano, su cohesión y densidad en:

- Gravas
- Arenas

- Limos
- Arcillas

Son estos tipos de suelos los que encontramos comúnmente al momento de tener que ejecutar cualquier proyecto, por lo que se debe tener en cuenta su capacidad portante y resistencia, motivo por el cual se recomienda que el tipo de suelo ideal para poder desarrollar cualquier tipo de estructura es el suelo rocoso, debido a su dureza y capacidad portante, en el caso de que exista otro tipo de suelo que no permita las facilidades para la ejecución de obras en las cuales se requiera una alta capacidad portante, se sugiere un mejoramiento de suelo para que este pueda prestar las condiciones necesarias para la ejecución del proyecto, e incluso en caso de ser necesario el uso de cimentaciones especiales.

Existen factores adicionales que pueden llegar a influir en la mecánica de los suelos de forma no convencional, representando un riesgo latente al cual la estructura está expuesta en el caso que no se tomen las medidas necesarias al momento de diseñar y construir, el fenómeno en el cual la capacidad portante del suelo se ve afectada debido a los movimiento sísmicos se conoce como licuación, al ser un fenómeno sismo-geotécnico provocado por los movimientos generados por los sismo y que afecta principalmente los depósitos de suelos granulares y poco consolidados, en el cual el suelo pierde su capacidad cortante y pasa a comportarse como un líquido viscoso que en la mayoría de los casos suelen ocasionar daños importantes a las estructuras, tales como:

- Fallas de edificios.
- Rotura de fundaciones.
- Fallas de muros de contención.
- Daños en pilotes.
- Afectaciones sobre servicios públicos.

1.3 Formulación del Problema

Ecuador en un foco de actividad sísmica debido que se encuentra en una región altamente vulnerable a los sismos, situado en el área de colisión entre la placa oceánica de Nazca y la placa continental sudamericana y producto de la fricción generada entre las placas en mención, se generan grandes cantidades de energía

que en este caso es liberada en forma de terremotos, según (PRIMICIAS, 2022) 70.000 sismos han sacudido a Ecuador en los últimos 10 años.

Esta información nos sirve como referencia a nuestra problemática debido a la alta incidencia con respecto a los eventos sísmicos que se producen en el Ecuador y principalmente con la zona costera que se encuentra próxima al cinturón de fuego del Pacífico. Guayaquil al formar parte del perfil costanero y estar ubicada entre el río Guayas y el Estero salado, tiene características especiales en cuanto a lo que se refiere al suelo, debido que la calidad del mismo no es la óptima y en varios casos al momento de ejecutar un proyecto, se debe realizar un mejoramiento de suelo, aumenta la probabilidad de que licuefacción de suelos. Generada por los eventos sísmicos de baja y mediana intensidad.

1.4 Objetivo General

Identificar una solución eficiente para suelos potencialmente licuables en la ciudad de Guayaquil.

1.5 Objetivos Específicos

- Identificar los sectores en la ciudad de Guayaquil con mayor riesgo de licuación.
- Evaluar técnicamente una solución de mejoramiento de suelo que se adapte a las necesidades del suelo.
- Proponer soluciones eficientes en suelos con alta probabilidad de licuación.

1.6 Idea a Defender

La mala calidad del suelo de la ciudad de Guayaquil sumada a procesos de construcción empíricos en alguno caso específicos y el alto riesgo sísmico al cual está expuesta la ciudad, aumenta la probabilidad de que exista licuefacción del suelo y esta a su vez afecte a la estructura, en el caso de que existan estructuras ya afectadas en sus columnas, con la recurrencia de otro evento sísmico existe la probabilidad de colapso y este afecte la integridad y vida de las personas.

1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad

El estudio de suelos con respecto a su comportamiento mecánico frente a eventos sísmicos juega un papel fundamental en la ingeniería civil, ya que el tipo de suelo influye directamente en el desempeño de las estructuras construidas sobre él. Los suelos tienen diferentes características que afectan su comportamiento ante cargas dinámicas, como las generadas por terremotos, lo que puede repercutir en la estabilidad, seguridad y durabilidad de las edificaciones. En particular, los suelos de mala calidad pueden experimentar un mayor asentamiento, licuefacción o amplificación de las ondas sísmicas, lo que aumenta el riesgo de daño estructural.

En el caso específico de la ciudad de Guayaquil, se encuentran presentes diversas áreas con suelos de baja capacidad portante, lo cual exige un enfoque especial en el diseño de cimentaciones. Al momento de diseñar una cimentación en este tipo de terrenos, es crucial realizar un estudio geotécnico exhaustivo que permita identificar las propiedades mecánicas del suelo, como su capacidad de carga, rigidez y comportamiento bajo condiciones sísmicas. Con esta información, se deben tomar decisiones de diseño que optimicen la adaptación de la estructura a las características del suelo, implementando medidas como el uso de pilotes, zapatas reforzadas o la elección de técnicas de cimentación profunda, con el fin de minimizar los efectos negativos de los movimientos sísmicos sobre la edificación.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Geología y su impacto en la sociedad

Rama de las ciencias naturales que estudia la historia, la composición, la estructura y los procesos de la tierra, más específicamente de las rocas que constituyen nuestro planeta desde la superficie hasta 100 o 200 kilómetros de profundidad. (Iriondo, 2007)

Como ciencia estudia la estructura de la tierra y los cambios que se han dado a lo largo de su historia con respecto al comportamiento de los minerales que están presentes en nuestro entorno, el conocimiento y comprensión de la geología nos brinda una visión más completa con respecto a los suelos frente a situaciones específicas, lo que permite entender los riesgos y desastres naturales que se puede llegar a presentar y así poder estar preparados para mitigar sus efectos en la sociedad.

Una amplia gama de servicios vitales depende de la geología, como son: la gestión de los residuos que producimos; el conocimiento y la obtención de materiales para la construcción de edificios, carreteras, presas, túneles y otros grandes proyectos de infraestructuras. (Sociedad Geológica de Londres, 2015)

La geología como tal es de vital importancia para la sociedad puesto que está ligada a varias áreas de la economía mundial, el estudio correcto y su entendimiento permiten tener una mejor gestión de los recursos que están presentes en cada nación, por lo que la investigación constante y desarrollo de nuevas tecnologías que permitan tener una mayor comprensión con respecto al comportamiento de los suelos y sus mecánicas permitirá un desarrollo social más eficiente en base a los recursos positivos o negativos de cada nación, respecto a lo que se refiere a suelos.

Para una mejor comprensión con respecto al comportamiento de los suelos, la rama de la geología que se encarga del estudio y desarrollo de técnicas para la ejecución de obras de formas eficiente y segura es la geotecnia, misma que se enfoca en detallar las propiedades físicas, composición mineralógica, tamaño, formas y

distribución. Mediante el uso de métodos científicos y principios de ingeniería que permitan conocer con mayor detalle los materiales presentes en la tierra.

2.2 Mecánica de suelos

El conocimiento del suelo con el cual se va trabajar es importante, debido que de este depende la estabilidad de la estructura, un suelo que presente una difícil trabajabilidad en cuanto al manejo de sus extractos, baja capacidad portante y alta porosidad son variables que influyen directamente en el diseño y ejecución de una obra civil, motivo por el cual se debe tener un claro conocimiento con respecto a las mecánicas de cada tipo de suelo y sus características.

El suelo como tal es la conformación de sedimentos no consolidados de partículas sólidas producto de la alteración de rocas y de una serie de espacios entre las partículas que en este caso es aire y agua, comúnmente en los suelos existe la presencia de agua y aire, rara vez se suele encontrar con suelos poco saturados y con un bajo nivel freático, incluso cuando los suelos que “provienen de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas presentan características diferentes si la alteración es física o química. (Crespo, 2007)

A lo que refiere el autor en el párrafo anterior es sobre la interacción que tiene el suelo frente a un proceso físico y uno químico en el cual se destaca que cuando el proceso es físico, se refiere a la interacción que tiene con: el viento, el agua y los glaciares. En cambio, cuando el proceso es químico, los agentes que actúan principalmente son: la oxidación, carbonatación y la hidratación.

Mediante este proceso el suelo cambia su composición mineralógica, esto significa que el suelo puede llegar a ser mejorado o debilitado según la composición química que actúe en el mismo.

2.2.1 Suelos según su origen y composición

La acción de los agentes de intemperismo antes mencionados se conocen comúnmente en el medio ingenieril como meteorización y alteración que dan origen a los suelos inorgánicos. (Crespo, 2007)

La tierra como planeta ha sufrido cambios desde su conformación, es la meteorización el proceso mediante el cual las rocas sufren un deterioro y alteración

con respecto a su composición y dureza. Afectando a los suelos con respecto a su calidad para la construcción debido a la vegetación y otros restos orgánicos.

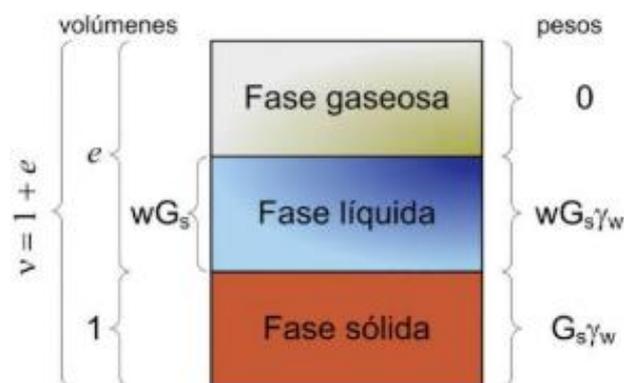
Con respecto al origen del suelo, como objeto de estudio, centraremos nuestra atención en aquellos suelos de origen inorgánico, debido a que estos son los que con mayor frecuencia se usan en la construcción y ejecución de obras civiles, los suelos orgánicos por su origen y características no son los más recomendables por su baja capacidad portante, estabilidad y económica, esto debido que se tiene que incurrir en costos adicionales con respecto al mejoramiento del suelo.

Los suelos en sí, están determinados y clasificados en base al nivel de composiciones de los siguientes estados, los cuales son:

- **Sólido:** Está formado por las partículas minerales del suelo.
- **Líquido:** Está compuesto por agua y en algunos casos petróleo o agua salada.
- **Gaseoso:** Comprende el aire presente entre los vacíos que existen entre las partículas del suelo, en algunos casos se presenta como vapores sulfurosos.

La capa viscosa del agua absorbida que presenta propiedades intermedias entre la fase sólida y líquida, (...). Es susceptible de desaparecer cuando el suelo es sometido a una fuerte evaporación. (Villalobos, 2016)

Ilustración 1. Diagrama trifásico del suelo mostrando las fases separadas en igual proporción.



Fuente: Villalobos (2016)

Elaborado por: Almeida (2025)

Es debido a la composición del suelo y su dispersión con respecto a los distintos tipos el mismo que existen y se clasifica por su nivel de contenido en cuanto a sólidos, agua y gases. Los que determinaran sus características en cuanto a estados y dureza.

En la actualidad existen muchas variables a tomar con respecto a la composición del suelo, en las que principalmente destacan:

2.2.2 Humedad

Se define como la relación entre el peso de agua contenida en una muestra y el peso del suelo.

$$\alpha = \frac{\varepsilon}{\delta} * 100$$

2.2.3 Grado de saturación

Parámetro propio de la mecánica de suelos y es muy usado. Dado que es un indicador de cuanto espacio libre tiene un suelo, o sea, no ocupado por el esqueleto mineral, entrega información sobre la densidad del suelo. (Villalobos, 2016)

Este índice nos permite conocer el nivel de saturación del suelo con respecto a sus vacíos, siendo así que cuando la relación volumen vacíos entre volumen solidos es 1 nos indica que el suelo posee igual volumen de solidos que de vacíos, es decir. Si el suelo está saturado, nos indicara que existe una mayor presencia de agua y si esta parcialmente saturado una menor presencia de agua.

$$e = \frac{\text{volumen de vacíos}}{\text{volumen de solidos}} = \frac{Vv}{Vs}$$

En caso de que se desee expresar el volumen total con respecto al volumen de solidos usaríamos la siguiente relación para poder obtener el volumen específico:

$$v = \frac{\text{volumen total}}{\text{volumen de solidos}} = \frac{Vv + Vs}{Vs} = e + 1$$

Con respecto a la porosidad que en esta estaría representado por la letra n y en si es un porcentaje de su presencia en el suelo.

$$n = \frac{\text{volumen vacíos}}{\text{volumen total}} = \frac{Vv}{Vt} = \frac{Vv}{V_s + Vv} = \frac{e}{1 + e} = \frac{v - 1}{v}$$

Una vez obtenido el volumen de agua y vacíos se podrá determinar el grado de saturación que estará representado por la siguiente ecuación y nos permitirá conocer cuanto liquido está presente en el suelo.

$$Sr = \frac{\text{volumen del agua}}{\text{volumen vacíos}} = \frac{Va}{Vt} = \frac{Va}{V_s + Vv} = \frac{(1 - Sr)e}{1 + e} = n(1 - Sr)$$

2.2.4 Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg definen los contenidos de agua característicos para los que una arcilla determinada, triturada, alcanza diferentes estados de consistencia relativa. (Graux, 1975) poder determinar el comportamiento de los suelos finos, tales como arcillas y limos en lo que se requiere conocer su grado de deformación, es en el ámbito de la ingeniería civil y geotecnia donde estos parámetros son importantes para determinar principalmente la calidad del suelos, divididos en los siguientes grupos:

- **Límite líquido (LL):** Es el contenido de agua con el cual el suelo pasa de un estado moldeable a un estado líquido, por medio de este estado se puede determinar la capacidad de retener agua del suelo y su comportamiento.
- **Límite plásticos (PL):** El suelo tiene tendencia a tener un comportamiento plástico según su contenido de agua, permitiendo que su principal característica es la maleabilidad del suelo.
- **Índice de plasticidad (IP):** Diferencia entre el índice plástico y el líquido, principalmente cuando el índice plástico es mayor, el suelo presentara una mayor plasticidad, lo que determinara su capacidad para soportar cargas y deformarse.

$$IP = LL - PL$$

Los límites de Atterberg son importantes al momento de clasificar los suelos, en estos se define su capacidad portante, la estabilidad de las estructuras y su comportamiento frente a condiciones de humedad y movimientos vibratorios como el

de los sismos. Su capacidad para poder evaluar su potencialidad con respecto a la expansión del suelo y su deformación frente a cargas externas.

2.2.5 Consistencia relativa

la consistencia relativa del suelo coherente representa su posición, en estado natural, respecto a los límites líquido y plástico. (Daniel Graux, 1975) a lo que se refiere el autor es la capacidad de retención de agua que tiene el suelo, lo que determina su deformación y su capacidad de carga. Se puede determinar mediante la siguiente fórmula para así poder tener una visión más cuantitativa que cualitativa del suelo.

$$CR = \frac{LL - W}{IP}$$

Donde:

CR= Consistencia relativa

LL= Límite líquido

W= Contenido actual de agua

IP= Índice plástico

En caso del que la consistencia relativa sea negativa como valor dado por la fórmula que antecede, se considerara que se está ante la presencia de un suelo lodoso y con una baja capacidad para soportar cargas, en cambio si el valor obtenido es superior a 1 nos indicara que el suelo no puede ser triturado con facilidad debido a su baja presencia de agua, siendo así que las características de este suelo permita tener una capacidad de carga mayor que puede variar según la calidad del extracto con el cual se vaya a trabajar. Permitiendo así determinar su comportamiento frente al agua y su potencial para ser un suelo expansivo.

2.2.6 Granulometría

Es la granulometría del suelo la que nos permitirá clasificarlo en base a la probabilidad de su comportamiento con respecto al tamaño de sus granos, nivel de cohesión, plasticidad, composición y entre otros factores que permitan un análisis cuantitativo con respecto al estudio del extracto del suelo con el cual se desea ejecutar un proyecto. Estudio que permite clasificar a los suelos en base a su comportamiento mecánico y capacidad de carga.

Depende en parte de su plasticidad y cohesión, lo que está relacionado con las propiedades mineralógicas, físicas y químicas de las partículas tanto como con su distribución de tamaños y con la cantidad y tipo de materia orgánica. (Hodgson, 1987)

Principalmente están agrupados en base al tamaño de sus granos por lo que se los clasifica como: gravas, arenas, limos y arcillas. En el cual las gravas son partículas de suelo con un diámetro mayor a 2 mm seguida por las arenas que debido a su baja cohesión tienen partículas con diámetros que están entre los 0.075 mm y 2 mm, son los limos las partículas con un tamaño de entre 0.002 mm y 0.075 mm, siendo las arcillas los granos de suelo más pequeños con diámetros menores a los 0.002 mm lo que permite tener un análisis cualitativo en base a datos cuantitativos con respecto al porcentaje de granos que pasan de un tamiz a otro al momento de estudiarlos.

Mediante el estudio, análisis y uso de ecuaciones se determinará el grado de saturación, porosidad, porcentajes de vacíos, límites plásticos, tamaños de granos y comportamientos mecánicos que varían entre los distintos tipos de suelos, se los clasificara en varios grupo específicos en el cual cada grupo cuenten con características que lo vuelven únicos para pertenecer a ese grupo como tal, por lo que se especifica que el suelo no solo se presenta como un sólido, también en su composición cuenta con otros estados que, según su nivel de saturación, permitirá clasificar al mismo en base a las propiedades únicas de cada extracto, sea:

- **Arcilla:** Material fino que se compacta con facilidad, con características pegajosas cuando se encuentre en estado húmedo, por lo que tiene tendencia a retener agua y su capacidad para drenarla es deficiente por lo que su índice de plasticidad es alto, así como su compresión y expansión.
- **Limo:** Tiene una característica en similar a la de las arcillas con respecto a su alta capacidad para retener agua por lo que tiende a deformarse con facilidad.
- **Arena:** Tiene partículas más grandes y es un material que permite fluir el agua con facilidad y regularmente es usado en la construcción al momento de realizar mezclas en la elaboración de concreto.
- **Grava:** Cuenta con partículas mucho más grandes que el resto de suelos que antecede, su alta permeabilidad permite que sea un material idóneo como

cimentación, siempre y cuando brinde las capacidades de cargas requeridas en el proyecto.

- **Orgánico:** este compuesto generalmente por restos de plantas y animales y debido a su baja resistencia al corte y alta compresibilidad, este suelo no es apto para la construcción por lo que se recomienda hacer un mejoramiento de suelo en que la mayoría de casos este es removido en su totalidad.

2.3 Sistemas de clasificación de suelos

En cuanto a la clasificación de los suelos, están clasificados en grupos y subgrupos en base a sus propiedades y a su función ingenieril al momento de tener que elegir un tipo de suelo en cuanto a sus características con respecto al tamaño de las partículas y su plasticidad, existen varios sistemas para poder clasificar los suelos, puesto que en la actualidad ninguno es definitivo debido a la gran variedad de suelos y sus aplicaciones para la ingeniería civil:

- Sistema de clasificación AASHTO (Asociación americana de funcionarios estatales de carreteras y transporte)
- Sistema unificado de clasificación del suelo (SUCS)

2.3.1 Sistema de clasificación AASHTO

En cuanto al sistema de clasificación AASHTO el suelo está clasificado en 7 grupos principales que van desde el A-1 hasta el A-7 en el caso de los suelos segmentados desde el A-1 al A-3 se los considera como materiales granulares que menos del 35 % o menos de las partículas pasa por el tamiz # 200 y aquellos que más del 35 % pasa por el tamiz # 200 se lo estandarizara en el grupo que va desde el A-4 hasta el A-7 que por lo general son materiales del tipo arcilloso, existen criterios específicos que se deben cumplir para poder clasificarlos:

- **Tamaño del grano**
 - Grava: Pasa el tamiz de 75 mm y es retenido en el tamiz # 10 (2 mm).
 - Arena: Pasa el tamiz # 10 (2 mm) y es retenido en el tamiz # 200 (0.075 mm)
 - Limo arcilla: Pasa el tamiz # 200 (0.075 mm)
- **Índice de plasticidad:** se considera limoso cuando el índice de plasticidad de 10 es menor y arcilloso cuando el índice de plasticidad es 11 o mayor.

2.3.2 Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

Se clasifica a los suelos en dos grandes categorías, las cuales se detallan a continuación:

- Suelos de granulado grueso que en la naturaleza encontramos como gravosos y arenosos con las características de que menos del 50% pasa a través del tamiz # 200
- Suelos de granulado fino que con el 50% o más pasa a través del tamiz # 200

Con respecto a su nomenclatura los suelos están clasificados acorde a la siguiente tabla:

Tabla 1

Nomenclatura de suelos en base al SUCS

Tipo de suelo	Prefijo	Subgrupo	Subfijo
Grava	G	Bien graduada	W
Arena	S	Pobrementemente graduada	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	baja plasticidad	L
		Alta plasticidad	H

Fuente: Sistema unificado de clasificación de suelos (1948)

Elaborado por: Almeida (2025)

En cuanto a la clasificación de los suelos existen otros factores importantes que se relacionan para determinar su comportamiento mecánico, trabajabilidad y resistencia al corte. Estos son los distintos tipos de ensayos y estudios que se realizan al suelo para así poder especificar con las variables antes mencionadas su clasificación en cada uno de los tipos y subgrupos de suelos que existen.

Inscripción en universidades locales, 2005

2.4 Ensayos de Suelos

En los ensayos de suelo se determina las propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo. Comprender los distintos tipos de ensayos y sus características frente a cada tipo de suelo es importante para todo ingeniero civil, en la información obtenida por cada ensayo se podrá determinar si el suelo es apto o no para el proyecto que se dese ejecutar. Para la selección correcta del tipo de ensayo con el cual se va determinar el estudio, se deben tener en cuenta variables como: el tipo de suelo, saturación, deformación y La topografía de los lugares y los alrededores podrá igualmente intervenir en la elección del método, pues una topografía accidentada puede suscitar problemas anexos tan importantes como el problema principal. (Cassan, 1982)

En los ensayos de suelo principalmente se busca identificar el ángulo de corte, resistencia al corte, nivel de cohesión de las partículas, comportamiento frente a cargas externas y rigidez que siempre variara según el tipo de suelo con el cual se desee realizar el ensayo.

2.4.1 Resistencia al corte

Es la capacidad que tiene el suelo para resistirse a la deformación frente a cargas externas, esta varía según el tipo de suelo con el cual se esté trabajando. Los suelos se comportan bajo la acción de las cargas como los materiales elásticos, aunque en algunos casos se producen deformaciones mayores que las normales, teniéndose que recurrir entonces a cálculos que tengan en cuenta la plasticidad del suelo. (Crespo, 2007)

Tanto el nivel de cohesión del suelo con respecto a que tan unidas están sus partículas entre sí, también se debe tener en cuenta su ángulo de fricción interna, mismo que está relacionado con fuerzas de fricción entre las partículas cuando se aplican fuerzas externas que ocasionan su deslizamiento, relacionado directamente con la resistencia al corte de un suelo que está determinada en base a la ecuación de Coulomb, quien fue matemático, físico e ingeniero especializado en el estudio de la mecánica de suelos:

$$\tau = C + \sigma \cdot \tan(\theta)$$

Donde:

τ = Resistencia al corte.

c = Cohesión del suelo.

σ = Tensión normal o presión efectiva.

Φ = Ángulo de fricción interna del suelo.

Como dato adicional entre mayor sea el ángulo de fricción, mayor será la resistencia al corte del suelo, permitiendo así identificar extractos de suelos que permitan la suficiente capacidad de carga asignada a cada proyecto.

2.4.2 Módulo de rigidez

Es la resistencia que tiene el suelo a deformarse frente a esfuerzos de corte, el correcto análisis del suelo frente a deformación provocadas por ondas sísmicas y vibraciones, forma parte crucial para el análisis técnico en cuento al diseño de una cimentación. En la actualidad el único parámetro racional que existe para la evaluación de la compresibilidad relativa de masas de suelos sujetas a cargas es el llamada índice de rigidez. (Crespo, 2007)

$$G = \frac{\tau}{\gamma}$$

Donde:

G = Módulo de rigidez.

τ = Esfuerzo de corte aplicado al suelo.

γ = Deformación por esfuerzo de corte

2.4.3 Tipos de ensayos de suelo

La selección del tipo de ensayo de suelo con el cual se va realizar un estudio, dependerá de las características del suelo a las que se esté enfrentando un ingeniero civil, este debe tener un enfoque técnico en base a sus propiedades físicas y mecánicas. Esto debido a que la resistencia de un suelo depende principalmente de su compacidad y en consecuencia de su densidad. Cuanto más compacto y denso es un suelo, más resistente será. (Llano, 1975)

Con frecuencia se suelen encontrar suelos que brinda una excelente capacidad portante con respecto a otros suelos que por su mineralogía tienen tendencia a tener comportamientos mecánicos no óptimos para la construcción, por lo que en este tipo de casos en específicos se requiere que en el suelo se realice un mejoramiento del mismo, con el objetivo de mejorar su capacidad portante, resistencia al corte, densidad y rigidez. El tipo de ensayo que se desee realizar depende de varios factores, entre los cuales se destaca el tipo de suelo con el cual se va trabajar, las condiciones del proyecto y la parte económica que juega un papel importante, debido que cada ensayo tiene un costo diferente uno del otro, en el que se destaca que el ensayo entre más cercano a la realidad de las condiciones a las cuales este va trabajar, el ensayo tendrá la tendencia a un costo mayor.

A continuación, se detallan los ensayos de suelo que con frecuencia se ejecutan en el ámbito de la ingeniería civil, su nombre y el objetivo de cada uno.

Tabla 2

Tipos de ensayos de suelo y objetivo de cada ensayo

Tipo de Ensayo	Objetivo
Ensayo de Granulometría	Determina el tamaño de las partículas por la cual está compuesto el suelo.
Limites de Atterberg	Se enfoca en determinar la consistencia de los suelos en base a su límite líquido y plástico.
Ensayo de Compactación (Proctor)	Se encarga de determinar la densidad y capacidad de retener agua del suelo para una compactación eficiente.
Ensayo de corte directo	Determina la resistencia al corte del suelo.
Ensayo de permeabilidad	Determina la capacidad del suelo para retener agua.

Ensayo de consolidación	Evalúa el comportamiento del suelo frente a cargas externas y la deformación provocada en el mismo.
Ensayo de penetración estándar (SPT)	Determina la resistencia del suelo al ser penetrado y así poder tener información con respecto a su densidad y capacidad de carga.
Ensayo triaxial	Determina la resistencia al corte en el suelo, sin embargo, de todos los métodos es el más cercano a la realidad, debido que simula condiciones reales del terreno.

Fuente: Graux (1975)

Elaborado por: Almeida (2025)

2.5 Actividad sísmica

Los Terremotos han sido siempre una constante amenaza para la Humanidad y un cambio natural en la conformación geológica del planeta, es así como estos fenómenos se reportan desde aproximadamente al año 1.800 antes de Cristo. (Carlos Trujillo, 2010)

Los sismos también son conocidos como terremotos o temblores, se los define también como movimientos repentinos producidos por la liberación de energía acumulada en el interior del planeta tierra, siendo así que alrededor del planeta existen placas importantes que, debido a las velocidades relativas entre placas, pueden alcanzar entre 10-15 cm/año, por lo que se destacan las variables que más relación tienen con respecto a la generación de sismos:

- **Movimientos de las placas tectónicas:** Debido al choque de las placas tectónicas por la que está conformada la tierra, se genera energía que al ser liberada provoca un evento sísmico.
- **Actividad Volcánica:** Por la actividad de volcanes en cuanto a su erupción y principalmente en aquellos volcanes que están bajo el mar es que se provocan eventos sísmicos y tsunamis.
- **No naturales:** Explosiones provocadas por el hombre de forma arbitrarios o el colapso de grandes estructuras pueden generar pequeños sismos.

Como objeto de investigación nos centraremos en el movimiento de las placas tectónicas que, en conjunto de la actividad volcánica del planeta, son los mayores responsables de eventos sísmicos de mayor intensidad y varianza debido que La corteza terrestre es relativamente delgada. Se extiende hasta profundidades de 70 Kms en los océanos y 150 Kms bajo los continentes y además está en un estado permanente de cambio. (Carlos Trujillo, 2010) Esto influye directamente en el comportamiento de los sismos en cuanto a los sectores donde estos se generen, su ocurrencia e intensidad varían según la cantidad de energía liberada.

Con respecto al comportamiento de las placas tectónicas se debe tener en cuenta los movimientos que estas provocan y su comportamiento en la corteza terrestre, siendo motivo de atención para distintas comunidades científicas en general, por lo que se dedican grandes esfuerzos en encontrar la manera más óptima de predecir un sismo. Debido al impacto que este tiene en la sociedad, al ser un fenómeno natural que en ciertos casos puede llegar a destruir ciudades enteras.

Cada año, los diferentes observatorios sismológicos determinan los parámetros hipocentrales de un gran número de sismos con epicentros en las zonas sísmicas que caracterizan a cada país. (Tavera, 2008)

Actualmente existen varias organizaciones encargadas de la medición e identificación de los sectores del planeta con mayor actividad sísmica. Entre ellos se encuentra el Instituto Geológico de los Estados Unidos (USGS), encargada del desarrollo y publicación de mapas sísmicos globales y locales mediante el uso de Mapa de peligro sísmico de los Estados Unidos al igual que el Centro sismológico europeo-Mediterráneo (CSEM) quien realiza mapas en tiempo real en Europa.

A continuación, se mencionan los sectores que forman parte de la mayor cantidad de eventos:

- Cinturón de fuego
- Zona de colisión de la placa euroasiática e indo-australiana
- Falla de San Andrés
- Región de mediterráneo-asiática
- Cinturón Alpino-Himalayo

- Dorsales oceánicas

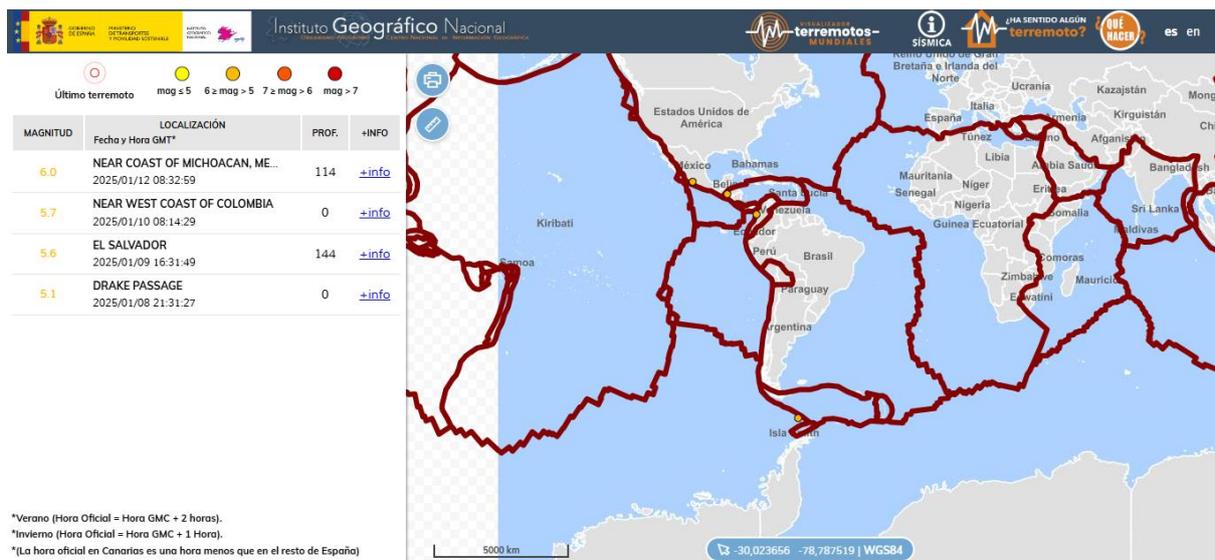
Con respecto al comportamiento de las placas tectónicas se debe tener en cuenta los movimientos que estas provocan y debido a esto la comunidad científica en general dedica grandes esfuerzos en encontrar la manera más óptima de predecir este todo de eventos.

Cada año, los diferentes observatorios sismológicos determinan los parámetros hipo centrales de un gran número de sismos con epicentros en las zonas sísmicas que caracterizan a cada país. (Tavera, 2008)

Mediante el Mapa de Sismicidad Mundial, se puede conocer la ubicación de las zonas de mayor sismicidad que originalmente ha sido considerada como la distribución espacio-tiempo de los terremotos en la tierra y de sus efectos destructivos, obtenidos a partir de la recopilación histórica de los datos, ha dado origen a los catalogo sísmicos (Rotondo, 2020)

Es así que se identificó la existencia de la región hoy conocida como La mayor zona de contacto entre placas en el mundo es la llamada Cinturón de Fuego del Pacífico (...), a la que se le puede asociar el 90% de la sismicidad total del planeta. (–INPRES–, 2025) como efecto de este fenómeno natural, se producen sismos y actividad volcánica que en algunos casos producen tsunamis que afectan a las costas de cada continente.

Ilustración 2. Zonas con mayor riesgo sísmico a nivel mundial.



Fuente: IG_EPN (2023)

Elaborado por: Almeida (2025)

Es en este mapa donde se puede evidenciar la incidencia del cinturón de fuego en los países antes mencionados, es por este motivo que los países que se ven afectados por tener asentamiento en zonas que pertenecen al cinturón de fuego aplican normativas técnicas específicas de construcción como forma de disminuir el riesgo sísmico al cual están expuestas las estructuras hechas por el hombre, desde una vivienda hasta un edificio de grandes proporciones.

Principalmente se debe tener en cuenta que los sismos son fenómenos naturales inevitables que a lo largo de tiempo han sido estudiado a tal detalle que hoy en día se los puede medir por su magnitud, su profundidad, la distancia a centros poblados, el tipo de terreno, el tipo de construcciones (no sólo viviendas, sino también caminos, vías férreas, conductos, embalses, etc.), la duración, la cantidad de réplicas. (Carlos Trujillo, 2010) refiriéndose el autor en aquellos sismos póstumos al sismo principal, conocidos como replicas, evento que se produce debido al acomodamiento de las placas póstumo a su movimiento y liberación de energía.

Frecuentemente algunos temblores grandes son precedidos por temblores de menor magnitud generados al inicio del fracturamiento alrededor de lo que será la región focal del gran temblor. (Espíndola, 1994)

2.5.1 Escalas sísmicas

Una forma en la que se podía tener una referencia con respecto a la intensidad y fuerza de un terremoto en general, era por medio de la observación directa en la que se buscaba identificar los daños y cambios por más mínimos que sean, para así documentarlos para poder determinar su intensidad, este método de observación presentaba problemas con respecto a su definición de intensidad en cuanto a mayor o menor, esto debido que era dado en base a interpretaciones de distintos investigadores, no fue hasta la escala Mercalli modificada es una de las escalas subjetivas. Mercalli mejoro en 1902 la escala sísmica elaborada en 1883-1884 por Rossi y Forel. La escala resultante ha sido perfeccionada en 1931 por Wood y Neuman. (Barbat, 1982)

En la escala de Mercalli se destacan los efectos ocasionados a las estructuras como un eje importante al momento de poder definir la intensidad de un sismo, llama la atención que al igual como en la escala japonesa de intensidad sísmica en la que se utilizan 7 grados de intensidad, también se tiene en cuenta criterios subjetivos, así como la reacción psicossomática de las personas y el comportamiento sísmico de las estructuras. (Barbat, 1982)

En la tabla que se detalla a continuación se denota el impacto que tienen los sismos no solo en la estructura, también se tiene en cuenta el daño psicossocial que tiene en las personas, su comportamiento y la percepción que suelen tener póstumo a un evento de gran magnitud sísmica. Segmentado en doce grados de intensidad sísmica, se denota que el primer grado es el de menor impacto para las personas y estructuras. Conforme el grado de intensidad sea mayor, se considerará un mayor impacto tanto a nivel estructural y psicossocial.

Tabla 3

Escala modificada de Mercalli

Grado sísmico	Efectos sobre las personas, objetos y construcciones
I	El terremoto es notado por muy poca gente que se encuentra en lugares favorables para esto.
II	El terremoto es notado por pocas personas, que se encuentra en las plantas superiores de los edificios.
III	Se nota en el interior de los edificios y especialmente en las plantas superiores.
IV	Es notado por muchas personas en el interior de los edificios. En el exterior es poco perceptible.
V	Es notado por toda la gente, averías ligeras en los enyesados; algunos objetos con poca estabilidad se vuelcan.
VI	El movimiento sísmico es notado por todos, produciendo pánico. Los enyesados caen, las chimeneas sufren averías. Averías estructurales de poca importancia en los edificios mal contruidos.
VII	El terremoto produce pánico y la gente sale de las viviendas. Averías insignificantes de los edificios bien diseñados y bien contruidos. Averías ligeras hasta moderadas de las estructuras de resistencia normales. Averías importantes de las construcciones mal diseñadas o mal contruidas. algunas chimeneas caen.
VIII	Averías ligeras de las construcciones antisísmicas. Averías considerables de las construcciones normales. Hundimiento de las construcciones mal diseñadas y contruidas. Se dislocan los tabiques de mampostería. Caen las chimeneas y los monumentos.
IX	Averías importantes de las estructuras antisísmicas. Se producen volcamientos de los edificios bien diseñados. Caen las estructuras mal ejecutadas. Aparecen grietas en la superficie de la tierra. Se rompen las tuberías subterráneas
X	La mayoría de las construcciones antisísmicas son destruidas. En la tierra aparecen grandes grietas. Se producen deslizamientos de tierra.
XI	Pocas estructuras no son destruidas. Aparecen fallas en la superficie de la tierra. Los conductos subterráneos se destruyen completamente.
XII	Destrucción total. Se observan las ondas sísmicas en la superficie de la tierra. Los objetos son lanzados verticalmente al aire.

Fuente: Barbat (1982)

Elaborado por: Almeida (2025)

Al ser una escala netamente cuantitativa, se requiere una evaluación cualitativa para poder tener bases sólidas con respecto a los daños que llega a causar un terremoto, personajes como Charles F. Richter (1900-1985) y Beno Gutenberg (1889-1960) quienes fueron expertos en el campo de la sismología, brindaron grandes aportaciones en ese campo, mismas que sirvieron para la creación de la escala de Richter, con la que se mide la energía de los terremotos ocasionados por el movimiento de las placas tectónicas, fenómenos volcánicos o eventos no naturales. Permitiendo así su clasificación y métodos para poder desarrollar mapas sísmicos.

En colaboración con el sismólogo y físico estadounidense Charles Francis Richter (1900-1985), el sismólogo alemán Beno Gutenberg (1889-1960) desarrolló, en 1932, la siguiente relación, conocida como escala de Richer (...) entre magnitud sísmica M y energía E , $\log E = 11.8 + 1.5M$." (Boccara, 2003)

Tabla 4

Escala de Richter

Magnitud, escala Richter	Efectos del sismo o terremoto
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado
3.5 - 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores.
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas donde vive mucha gente.
7.0 - 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños.
8 o mayor	Terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.

Fuente: Boccara (2004)

Elaborado por: Almeida (2025)

Esta escala de magnitud cumple con el objetivo de medir la energía liberada en un terremoto mediante valores que van desde menos de 3.5 hasta 8 o mayor, en el cual se destaca que los sismos a partir de los 5.5 grados de intensidad suelen genera ligeros daños a edificios y a partir de ese valor en adelante se consideran daños en los cuales pueden verse afectadas las personas que estén presentes en un evento sísmico.

El uso de escalas sísmicas permite medir y describir los terremotos en cuanto su magnitud e intensidad, por medio del uso de métodos científicos que evalúan la energía liberada por el choque de las placas tectónicas, principalmente las variables de mayor relevancia en las escalas antes mencionadas se utilizan para cuantificar o

medir los temblores. La escala de magnitud está relacionada con la energía liberada como ondas sísmicas; la intensidad con los daños producidos por el sismo. (Espíndola, 1994)

2.5.2 Leyes de atenuación

Una ley de atenuación es la expresión matemática que nos permite conocer el comportamiento de un sismo en base a su magnitud M con respecto a su disminución de intensidad en el momento cuando se aleja del sitio donde se originó el sismo. Las variables principales que se toman en cuenta para determinar la ecuación de una ley de atenuación son: la aceleración, velocidad, desplazamiento e intensidad propia de un sismo. Motivo por el cual se toman en cuenta los siguientes principios:

- A una distancia R se debe esperar a que la intensidad sísmica se la misma, es decir, la aceleración, velocidad y desplazamiento.
- La intensidad disminuye conforme se aleja del sitio donde se originó el sismo.

El efecto local (atenuación o amplificación) depende de la composición de suelo y de la topografía. Cada accidente topográfico (valle, cañón, colina, etc.) introduce un efecto diferente al movimiento que llega desde la fuente, debido a interferencias constructivas. (Benito, 2021)

2.5.3 Medición de los sismos

Medir un sismo tal y como se detalla es una tarea ardua en la que interfieren variables ya comprobadas con respecto al comportamiento de los factores que producen un terremoto, mediante el uso de fórmulas matemáticas en las que se mide la magnitud de onda de cuerpo con respecto a su origen, se detalla la siguiente formula:

$$mb = \log\left(\frac{A}{T}\right) + Q(D, h)$$

Donde:

A: amplitud del movimiento del suelo.

Q (D, H): factor de corrección que es en función de la distancia D (grados) entre el epicentro y la estación y la profundidad final h (km) del terremoto.

T: amplitud de las ondas superficiales.

El poder identificar la onda de cuerpo con respecto a su origen permite estimar la energía liberada por un terremoto, valor que se estima en base a la amplitud y el periodo de ondas que se registran en los sismógrafos, con el objetivo de poder identificar los sismos en cuanto a sus magnitudes pequeñas y grandes.

Con respecto a las ondas superficiales se destaca el comportamiento de los distintos grupos de ondas sísmicas generadas por el sismo. Las primeras son las de cuerpo, llamadas ondas P y S son más rápidas, su velocidad de propagación dentro de la tierra puede variar entre 1 y 11 km/s. (Zobin, 2004) con respecto al comportamiento de las ondas P y S frente a ondas superficiales y a distancias de menos de 1 km las ondas S y las superficiales son las que suelen descargar un mayor número de energía sísmica, misma que suele tener características destructivas.

2.5.4 Ondas superficiales

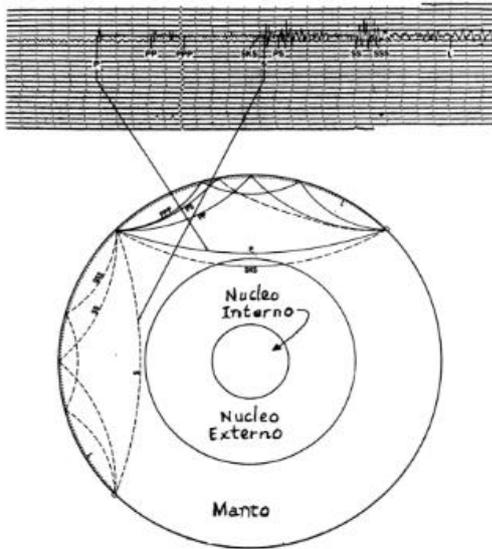
$$M_s = \log\left(\frac{A}{T}\right) + 1.66 \log(D) + 3.30$$

Al tener en cuenta todas estas variables con respecto al significado de los sismos y su impacto en la sociedad en base al daño que pueden generar a las estructuras, contradictoriamente a lo que parece, los temblores cuentan con un aspecto positivo a destacar, brindar información sobre el interior del planeta, en base al avance teórico e instrumental y la cooperación de organismos internacionales se ha logrado instalar redes mundiales de sismógrafos, permitiendo que en los últimos 80 años ha sido posible llevar a cabo un registro continuo de los sismos mayores, que permite hacer estudios cuantitativo de la sismicidad de la tierra (Espindola & Jimenez, 1994)

2.5.5 Esquema global de sismicidad

Producto de la información obtenida se destaca el esquema global de la sismicidad a nivel mundial se puede observar que la mayor parte de la energía sísmica se libera en las costas del océano pacífico, región conocida como el cinturón de fuego, debido a que en esta zona ocurre también gran actividad volcánica. (Espindola & Jimenez, 1994) además de otros sectores como el atlántico medio y el cinturón euroasiático coinciden con sus franjas de sismicidad y los límites de las placas.

Ilustración 3. Zonas del planeta con mayor riesgo sísmico en base a las escalas de Richter.



Fuente: Jiménez (1994)

Elaborado por: Almeida (2025)

Es claro que en ciertas zonas del planeta el riesgo a eventos sísmicos es superior a otro, al observar la actividad sísmica mundial se puede estimar el número de eventos y su magnitud en un periodo de un año, desde temblores de gran magnitud hasta temblores pequeños permiten obtener información de gran utilidad en el diseño de estructuras sismorresistentes, debido a su intensidad, generan acciones que, combinadas con las variables propias de cada situación como el suelo, tipo de cimentación y la geometría de la edificación, producen sollicitaciones mecánicas de gran importancia que pueden causar efectos destructivos que motivan su colapso. (Figuerola, 2024) esto afecta estáticamente a la estructura a tan punto que en casos específicos donde el daño llega a considerarse altamente peligroso para la seguridad de las personas, se considera la demolición. Por motivos de seguridad existen normativas internacionales enfocadas en brindar códigos de construcción universales que se adapten a las necesidades que requiere cada proyecto en los que principalmente se prioriza la vida de las personas

Ilustración 4. Promedio anual de temblores.

PROMEDIO ANUAL DE TEMBLORES	
MAGNITUD	NUMERO PROMEDIO
8	2
7	20
6	100
5	3000
4	15000
3	150000

Fuente: Figueroa (2024).

Elaborado por: Almeida (2025)

El promedio anual de temblores en base a su magnitud y numero promedio de temblores es un indicador que permite estudiar y analizar la actividad sísmica de una región en específico, herramienta principal en el campo de la ingeniería, sismología, gestión de riesgos y planificación humana. Esto debido que en el mundo se detectan alrededor de 500000 sismos al año. La mayoría de ellos no son perceptibles, pero unos 100 por año son de moderada intensidad y puede causar graves daños. (Rodríguez, 2022) motivo por el cual se debe tener en cuenta la incidencia de los sismos debido a la afectación que puede provocar en las estructuras artificiales y naturales, en los que se evalúa el riesgo sísmico y su incidencia en el suelo al afectarlo en cuanto a su capacidad portante y compactación.

2.6 Comportamiento de los suelos sujetos a cargas por eventos sísmicos

El suelo frente a eventos sísmicos de distintas magnitudes suele tener comportamientos distintos con respecto a su estructura y capacidad portante, esto debido a que la amplificación de ondas en suelos blandos o sueltos, de poco espesor y que descansan en suelos rocosos, es considerablemente grande. Diseñar para esas condiciones, implicaría costos exorbitado en la estructura, lo cual se hace poco factible. (Contreras, Proyecto Arquitectonico En Zonas Sísmicas, 2012) es por este motivo que al momento de diseñar se toman en cuenta varios factores y la condiciones con las que se presenta el suelo que va correlacionado a la región sísmica a la que este pertenece.

Con respecto a las principales condiciones con las que se presenta el suelo frente a un evento sísmico, se destacan las siguientes:

- **Deslizamientos de tierra:** Movimiento de tierra que se genera en suelo pocos compactados e inestables en los que el deslizamiento de tierra puede afectar carreteras y edificaciones.
- **Licuefacción del suelo:** la licuefacción del suelo es un evento sismo geotécnico en el cual el suelo pasa de tener un comportamiento sólido a uno líquido.
- **Compactación dinámica:** el suelo se compacta, lo que ocasiona la pérdida de su volumen, provocando asentamientos diferenciales en las estructuras.
- **Perdida de la capacidad portante:** El suelo a ceder y perder su capacidad para soportar el peso de la estructura, provoca daños a nivel estructural.

2.6.1 Licuefacción del suelo

Es la licuefacción del suelo el evento sismo geotécnico a tener en cuenta en el diseño de estructuras que se vayan a enfrentar a suelos blandos en los que la probabilidad para este tipo de evento se dé con mayor frecuencia, este evento se produce cuando el suelo se enfrenta a las vibraciones provocadas por los temblores, debido a los esfuerzos cortantes producidos en el suelo que ocasionan en la mayor parte de casos que los granos más pequeños se introduzcan en los vacíos entre granos más grandes, el volumen del suelo se reduce – el suelo se contrae – la presión de poros aumenta y el esfuerzo efectivo se reduce. (Fellenius, 2018) en una serie de temblores repetidos aumenta la presión de poros en el suelo, ocasionando su acumulación y afectación a su volumen y debido a la pérdida total de su tensión efectiva es que se provoca la licuación del suelo.

2.6.2 Causas principales que ocasionan la licuefacción del suelo

Entre las causas principales que suelen generar la licuefacción del suelo principalmente se destaca la calidad del suelo sumado a la intensidad de la onda sísmica, esto genera que el suelo se vea afectado y por ende la estructura, a continuación, se detallan las más importantes que servirán como objeto de estudio y análisis para la investigación:

- Aumento de la presión del agua en los poros.
- Carga cíclica.
- Suelos susceptibles.

2.6.3 Aumento de la presión del agua en los poros

El aumento de la presión del agua en los poros ocurre principalmente en suelos saturados y no cohesivos, como arenas finas o limos esto relacionado a las vibraciones producidas en el suelo efecto de un evento sísmico. Ocasionando que las partículas del suelo al acomodarse generen cambios en los esfuerzos internos del suelo. Al estar en presencia por un alto nivel freático el suelo tiene una mayor probabilidad licuable debido a la baja permeabilidad del suelo, reduciendo así su esfuerzo efectivo y aumenta la fricción entre partículas que como acción final tiene como consecuencia la pérdida de la resistencia al corte del suelo.

2.6.4 Carga cíclica

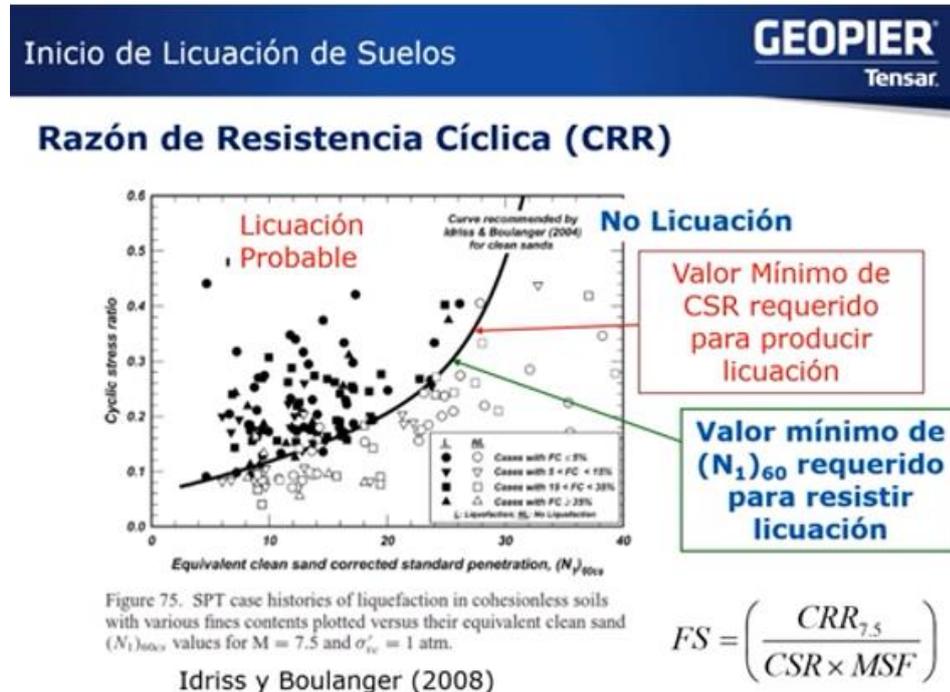
La carga dinámica producida por la fuerza generada por un terremoto o movimiento sísmico ocasionan alteraciones a nivel del suelo y la estructura, donde su repetición afecta en gran medida a la estructura, misma que varía su comportamiento en cuanto al aumento o disminución de las ondas sísmicas. Para poder determinar su comportamiento existen pruebas dinámicas como las antes mencionadas que se realizan en el terreno con el objetivo de analizar su comportamiento frente a cargas sísmicas repetitivas en las que aumente o disminuya su frecuencia. Ensayo como el de penetración estándar permiten tener un panorama claro con respecto a la respuesta dinámica del suelo, permitiendo un análisis correcto en cuanto a la interacción suelo estructura.

Según la calidad del suelo y el riesgo ante posibles eventos sísmicos, se debe evaluar la alta posibilidad de que se deba realizar un mejoramiento del suelo para poder aumentar su capacidad portante y su resistencia al corte frente a este tipo de eventos y así disminuir la probabilidad de licuefacción del suelo en cierta clase de extractos.

Es un tipo de licuación de naturaleza no fluida, provocada por la acción de sismo. Normalmente ocurre en suelos con esfuerzo de corte estáticos menores a la resistencia del suelo, esto no provoca la falla del suelo, sino la pérdida momentánea de la rigidez y resistencia. En caso de que las sollicitaciones cíclicas estén presentes, las deformaciones van a aumentar. Esto debido a que la rigidez del suelo depende del

esfuerzo efectivo, cuando cesan las cargas cíclicas la rigidez y resistencia del suelo se recuperan, este cambio se conoce como movilidad cíclica.

Ilustración 5. Inicio de licuación de suelos en base a su razón de resistencia cíclica.



Fuente: Geopier (2020)

Elaborado por: Almeida (2025)

2.6.5 Suelos secos, no cohesivos. Arenas, gravas y limos

Para poder tener un panorama más claro con respecto al comportamiento de este tipo de suelo, los subdividiremos en tres grupos:

- Suelos de granos medios sujetos a fuerzas
- Suelos constituidos por granos de gran tamaño en los que los cambios de volumen estarán determinados por su resistencia a la ruptura.
- Materiales de granos finos, como limos.

El comportamiento de los suelos del primer grupo está en función de su relación de vacíos crítica determinada por la correlación que existe entre las arenas sueltas y su disminución del volumen con respecto a la relación de vacíos por lo que en tanto que en las arenas compactas ambos aumentaran. De lo anterior se puede intuir la existencia de un valor intermedio de la relación de vacíos tal que, teóricamente, la arena que lo tuviese no variara su volumen al deformarse. (Badillo,

1974), en el cual el volumen que ocupen los granos del suelo estará más suelto versus otros suelos que se encuentren más compactados, esto con el fin de poder diferenciar su comportamiento con respecto a su cambio de volumen.

se denomina relación de vacíos, oquedad o índice de poros a la relación entre volumen de vacíos y el de los sólidos de un suelo. (Graux, 1975)

La relación de vacíos permite identificar cuando el suelo pierde su volumen original y se deforma por la aplicación de las fuerzas externas que pierde su capacidad de carga y afecta a la estructura, debido al sismo que producto de su magnitud e intensidad producirán ondas vibratorias en el suelo de tal forma que el suelo perderá su volumen, se debe tener en cuenta que si la relación de vacíos natural, se encuentra por debajo de la crítica, el suelo tendera a aumentar su volumen. (Contreras, 2012)

Se debe tener en cuenta que cuando nos encontramos con un talud en el que conserve su ángulo de fricción interna, se lo considerara en equilibrio estable, es decir que el talud presentara un riesgo alto frente a un evento o fuerza lo suficientemente grande como para hacer que su ángulo de fricción cambie y permita que exista un deslizamiento.

Por ser un suelo granular y seco no producirán efectos de presión de poro (esfuerzos neutros) y por lo tanto solo fallara al producirse cortantes tales que rebase el susodicho ángulo de fricción interna (esfuerzos efectivos). (Contreras, 2012)

En suelos constituidos por granos de gran tamaño y con fuerzas que lo sujetan, lo suficientemente grandes como para provocar su ruptura, en si el factor que determinara si este suelo falla o no es la resistencia al corte de cada grano, este tipo de suelo es muy poco probable que presente problemas frente a eventos sísmicos de baja intensidad y magnitud salvo en casos muy especiales, es remota la falla de este tipo de suelos por sismo únicamente, deberá unirse la fuerza sísmica con alguna otra falla local tal como derrumbamientos de elementos cercanos al suelo.

Una de las características y por ende propiedad más importante que tiene el suelo es la de su capacidad de resistencia y uno de los factores que mayor influencia tienen sobre ella es la distribución granulométrica de las partículas del suelo, sin

menospreciar a la forma y textura de estas. la resistencia de un suelo se ve entonces influenciada. (Montejo, 2019)

Con respecto a suelos de material fino como limos que están formados por partículas finas que, al encontrarse frente a las fuerzas de un sismo, tienen la tendencia a reducir su volumen y por ende su capacidad portante, este fenómeno provocado por la presión de poros aumentar a lo largo de la superficie del suelo produciendo una lubricación de aire y por ende se da el evento de la licuación.

2.6.6 Suelos no cohesivos, parcialmente saturados

Tal como se detalló en la explicación de los suelos anteriores, centraremos nuestra atención específicamente en tres grupos de suelos que presenten características importantes con respecto a su comportamiento:

- Cuando no existe ruptura importante de partículas, ni licuación.
- Cuando existe evidencia en la que se puede provocar una ruptura de granos.
- Cuando el suelo este conformado por partículas finas y bien graduadas.

En este caso en el primer grupo, existe una característica importante con respecto al suelo además del tamaño del grano, también se tiene en cuenta la cohesión que existe entre granos para poder estar unidos, en otras palabras, este comportamiento variara según el porcentaje de humedad que esté presente.

Si el contenido de humedad es inferior al optimo (17% para arenas típicas), el agua contenida por el suelo, creara un efecto de cohesión entre partículas (cohesión aparente) y por lo tanto aumentara su resistencia al corte. (Contreras, 2012) en cambio si el contenido es superior al ya estandarizado, este tendrá la tendencia a reducir su resistencia al corte.

Con respecto al segundo grupo de suelos, cuando la resistencia del suelo y la presión confinante que este tiene, presenten características que den algún indicio de que en algún momento se produzca una ruptura de granos a gran escala, es la cantidad de agua que contenga el suelo en base a sus límites ya estandarizados, a

mayor cantidad de humedad no significa que se puede evitar el fallo, al contrario, solo le brindara una leve inercia propia.

Si al igual que en el tercer grupo de suelos se evidencia que cuenta con un suelo bien graduado y con partículas finas, para que exista su falla este debe darse en base a las ocurridas en el primer grupo antes explicado.

2.6.7 Suelos no cohesivos, saturados

En este tipo de suelos se presentan dos variables importantes a tomar con respecto a su comportamiento:

- El agua contenida pueda entrar y salir a gran velocidad.
- Que el suelo confinado por otros extractos impida la fuga de agua y aire con rapidez.

El agua de los poros entra y sale del material con suficiente velocidad, de manera que no se produzcan presiones apreciables en los poros (incremento en ellos esfuerzos neutros), el comportamiento de estos suelos no difiere cualitativamente. (Contreras, 2012)

Es debido a la falta de drenaje del agua contenida en el suelo que existe una mayor probabilidad de que se genere un cambio drástico en el comportamiento del suelo, en el que principalmente se detallan tres fases:

- **licuación inicial:** Cuando el suelo tiene indicios de licuación.
- **licuación parcial:** El suelo empieza a presentar licuación.
- **licuación total:** El esfuerzo efectivo del suelo es cero, se da una licuación total.

Para poder tener una mayor perspectiva con respecto al comportamiento de este tipo de suelos, se requerirá el uso de una prueba triaxial no drenada, esta prueba consiste en someter a un extracto de suelo a estudiar, para el ensayo se requiere una muestra de aproximadamente 5 cm de diámetro por 10 de largo, a fuerzas de compresión en la dirección de los tres ejes principales. aplicando una fuerza cíclica en esta prueba, se obtiene que, hasta cierto número de ciclos. (Contreras, 2012)

Es el ensayo que permite más estudio y control de los cambios de tensiones en el suelo (normativa: UNE 103402: determinación de los parámetros resistentes de una muestra de suelo en el equipo triaxial. (Caballero, 2024)

La presión de poros al igual que el esfuerzo confinante en conjunto hacen que el esfuerzo efectivo sea igual a cero. Es justamente en esta etapa en que el esfuerzo efectivo es cero, el suelo entra a una licuación inicial, siendo así una amenaza debido a su equilibrio inestable. Cuando el número de ciclos aumenta, así mismo lo harán las deformaciones en el suelo, es en esta parte donde se evidencia una licuación parcial.

cuando la deformación cíclica alcanza el 20%, se dice que la arena se ha licuado completamente. (Contreras, 2012)

Es así que las tres variables más importantes que definen el comportamiento de los suelos saturados no cohesivos ante los movimientos sísmicos generados en los suelos son:

- **densidad relativa:** Es un parámetro que describe el grado de compactación del suelo, definida con la siguiente formula:

Con respecto a la densidad del agua destilada a 4°C. en condiciones perfectas, así pues, en un suelo la densidad relativa del mismo se define como la relación de la densidad absoluta o aparente promedio de las partículas que constituyen el suelo, a la densidad absoluta del agua destilada, a 4°C. que tiene un valor de $1 \frac{g}{cm^3}$. (Crespo, 2007) por ende se define la siguiente expresión:

$$Densidad\ absoluta = D_s = \frac{P_s}{V_s}$$

$$Densidad\ aparente = D'_a = \frac{P_s}{V_t}$$

$$Densidad\ absoluta = D_t = \frac{D_s}{D_w}$$

Donde:

P_s = Peso de la partícula solida en granos

V_s = Volumen de solidos en cm^3

V_t = Volumen de solidos más volumen de huecos en cm^3

D_w = Densidad absoluta del agua a temperatura de $4^\circ C$, en este caso $1 \frac{g}{cm^3}$

- **presión de confinamiento:** Se refiere a la presión que ejercía el agua y el aire en los poros del suelo, tiene relación directa con su grado de saturación.
- **condiciones de drenaje:** Es la capacidad que tiene el suelo para retener agua, lo que afecta su índice de plasticidad y capacidad de carga.

2.6.8 Suelos cohesivos, saturados. Arcillas, limos orgánicos

Con respecto a este tipo de suelos que presenta características granulométricas distintas a un suelo que brinde una capacidad portante mayor debido a que cuenta con granos más grandes y cohesión entre los poros, debido a la sensibilidad de las arcillas que tiene la tendencia a perder resistencia cuando es sometida a grandes cargas. El fenómeno este asociado con la reducción de presión efectiva, como en el caso de los suelos no cohesivos. A su vez, las reducciones son provocadas por el colapso de la estructura del suelo. (Contreras, 2012) entre mayor sensibilidad tenga el suelo, la probabilidad de fallo por un evento sísmico es alta y la falla por cohesión baja, es decir que primero puede fallar la estructura en su totalidad ande que el suelo sobre el cual esta edificada.

2.6.9 Suelos cohesivos parcialmente saturados:

Este tipo de suelos suele tener un comportamiento con respecto al fallo similar al de los suelos cohesivos saturados, con la diferencia de que al tener una sensibilidad menor es posible que su flujo o trabajo tenga un comportamiento similar al de las arcillas.

Los suelos cohesivos saturados o parcialmente saturados presentan más problemas de diseño por el efecto de cargas gravitacionales o sísmicas impuestas por las estructuras. (Contreras, 2012)

2.6.10 Rocas:

El comportamiento de suelos rocosos esta dado principalmente por su resistencia al corte y alta capacidad portante, fallara solo si existe la liberación de

grandes cantidades de energía provocadas por el movimiento de las placas tectónicas.

2.6.11 Suelos artificiales, rellenos:

Las condiciones con respecto al comportamiento de suelos rellenos sean con basura o material adecuado para su relleno, variara por las consideraciones en el proyecto con respecto a su comportamiento ante eventos sísmicos.

- La cimentación será soportada directamente por el relleno
- la cimentación será puesta sobre un extracto de suelo resistente.

La falla de este tipo de suelos se dará principalmente por cargas gravitacionales y no necesariamente por efectos sísmicos. (Contreras, 2012)

En caso de que el suelo sea relleno por medio de métodos de control durante su construcción y en el caso de que no se controló, tiene un factor importante debido que el primero al ser controlado brinda una mayor seguridad para la estructura debido que el suelo muy probablemente paso por un ensayo o estudio.

2.6.12 Interacción suelo estructura

El suelo soporta cargas de distinta índole, sea por eventos naturales o artificiales como los creados por el hombre, su comportamiento variara según su capacidad portante, ángulo de fricción y cohesión. Además de su contenido con respecto a su contenido de: aire, agua y sólidos. Un suelo arcilloso no se comporta igual que un suelo rocoso o limoso, por lo que la interacción suelo estructura juega un papel fundamental al momento de diseñar una cimentación que transmita las cargas de una edificación de forma eficiente. Uno de los principales objetivos que se busca al estudiar la interacción suelo-estructura es la de conocer su comportamiento dinámico y así poder predecir el comportamiento que tendrá la estructura frente a la interacción que existe entre las vibraciones sísmicas y el comportamiento del suelo.

Si llamamos T_s al periodo del suelo y T_e al periodo de la estructura, debe cumplirse que, $T_e \ll T_s$ ó $T_e \gg T_s$ pero nunca iguales o cercanos, para evitar el

acoplamiento de ondas y por lo tanto la amplificación de los efectos del sismo. (Contreras, 2012)

El mejoramiento de un suelo tiene relación directa con respecto a las condiciones del proyecto y principalmente al riesgo sísmico al cual este expuesto el terreno, debido al impacto que tienen las cargas sísmicas y su relación con la calidad del suelo.

2.7 Mejoramiento de suelos

El mejor criterio que puede tener un ingeniero, arquitecto o constructor es la selección del tipo de cimentación que se adapte mejor a las condiciones del terreno, sea por la calidad del suelo o por la alta probabilidad de que la cimentación se enfrente a fenómenos licuables producidos por eventos sísmicos con magnitudes específicas. El principal objetivo que debe cumplir la estructura es la de preservar la vida y evitar en lo más mínimo el fallo frente a fuerzas externas, principalmente debe ser:

- Seguridad
- Factibilidad
- Costo

Que tan factible puede llegar a ser un proyecto, dependerá mucho de las condiciones del terreno en cuanto al trabajo que se deba realizar con respecto a si se debe mejorar o no el suelo, en algunos casos se deben recurrir a cimentaciones mucho más profundas por medio de pilotajes donde se busque llegar a un extracto de suelo que brinde la suficiente capacidad portante para soportar el peso de la estructura, por lo que con respecto al mejoramiento de un suelo se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Cuando se modifique sus características sin agregar elementos ajenos a los consolidados por naturaleza propia del suelo, sea por compactación.
- Otro caso es en el que se agregan elementos adicionales al suelo con el objetivo de mejorar su resistencia y capacidad de carga.

Principalmente se debe tener especial cuidado con aquellos suelos limosos, blancos, baja resistencia y alta probabilidad de licuación a corto o largo plazo en el que se vea afectada la vida útil de la edificación.

Para suelos secos, no cohesivos como arenas, gravas y limos en el que los granos son de un tamaño medio y su característica correlación de vacíos crítico, se debe tener un tratamiento especial con el suelo en el que en primera instancia debe realizarse una compactación del suelo, sea por medios mecánicos o dinámicos. Esta es la forma más eficiente de lograr mejor estabilidad del suelo, se debe tener en cuenta su nivel de humedad ya que jugara un papel importante con respecto al trabajo de compactación que se desea realizar debido que al presentar un comportamiento menos denso, aumenta su probabilidad de licuefacción, por lo que se debe controlar este exceso de humedad en el caso que se dé, otra alternativa a este evento es la de confinar el área donde se trabajara para así poder mejorar el suelo en ese sector confinado, sin embargo esto no necesariamente es una solución eficiente, puesto que en alguno casos suele llegar a favorecer la licuación del suelo en vez de mitigarla.

Son los suelos cohesivos, saturado y parcialmente saturados en los que la presencia de agua es alta y la mejor alternativa para este tipo de suelos es la de evitar que el agua ejerza un empuje debido a su inercia lo cual se logra de manera muy económicas permitiendo el flujo desde el interior del suelo, hasta el exterior de la cimentación, por ejemplo, con la colocación de drenajes en los muros de contención (Contreras, 2012).

Con respecto a los suelos cohesivos, saturados parcialmente el nivel cohesivo es relativamente bajo por qué se debe recurrir en la sustitución de este tipo de suelos por suelos de mejor calidad y en el caso de que el suelo con respecto a su extracto sea demasiado grande lo mejor será diseñar cimentaciones más profundas que se asienten sobre suelos más profundo que brinden la capacidad portante que requiere la estructura. A diferencia de las rocas en las que el mayor problema será la de conseguir un nivel lo suficientemente horizontal para poder asentar la estructura.

Son los suelos artificiales los que requieren una mayor atención, en el caso de que el ingeniero se encuentre con un suelo previamente rellenado, deberá identificar

si el suelo cumple con los requerimientos necesarios para que la estructura pueda llegar a ser asentada.

si el relleno no es controlado las fuerzas inerciales eran importantes pero difíciles de predeterminar provocando un comportamiento errático. No es conveniente cimentar sobre estos suelos y se preferirá transmitir las cargas a suelos naturales más homogéneos. (Contreras, 2012)

Los suelos friccionantes con presencia de finos y baja plasticidad tienen un comportamiento igual que los suelos granulares con respecto a sus deformaciones, perdiendo así su rigidez y resistencia frente a cargas cíclicas. La diferencia frente a otros suelos que tienen a presentar grandes deformaciones es que a pesar que pierde características específicas, este no llega a colapsar debido a que su resistencia al corte es mayor que el esfuerzo de corte cíclico y cuando culminan las vibraciones el suelo recupera e incrementa ligeramente su resistencia.

2.7.1 Metodología de mejoramiento de suelos:

En muchos casos previo a la ejecución de un proyecto, se debe tener en cuenta las características del suelo con respecto a su composición, estabilidad y nivel de cohesión, entre otras variables que condicionan la capacidad portante de suelo para poder soportar las cargas del proyecto, en la actualidad existen metodologías enfocadas en el mejoramiento de suelos, entre las cuales se caracterizan por mejoramientos físicos, químicos y mecánicos. Especialmente en suelos de mala calidad y que presenten un alto potencial de licuefacción. Metodologías que varían unas de otras en cuanto a sus mecánicas y costos, estas deben adaptarse a las condiciones del terreno sin dejar de lado la rentabilidad del proyecto. Los métodos más comunes se detallan a continuación:

Tabla 5

Tipos de metodologías de mejoramiento de suelos.

Metodología	Objetivo
Compactación	Aumentar la densidad de un suelo mediante la aplicación de presión en el suelo.
Inyección de lechada	Inyección de material, como lechadas de cemento, polímeros y resinas.
Mejoramiento por aditivos	Consiste en mezclar el suelo con materiales como la cal, cemento o polímeros.
Drenaje	Su objetivo es el de reducir el contenido de agua en el suelo.
Vibración	Consiste en la utilización de grandes masas que caen repetidamente sobre el suelo.
Pilares de grava y pilotes	Transfieren las cargas de la estructura a capas de suelos más profundas.

Fuente: Castillo (1981)

Elaborado por: Almeida (2025)

Con respecto a las metodologías antes mencionadas, existen métodos que se adaptan de forma más eficiente que otros a los distintos tipos de suelos a los que se enfrenta con frecuencia un ingeniero civil. Así como la compactación y la vibración son métodos en los cuales se aplican fuerzas externas con el objetivo de mejorar un suelo que no presente la calidad suficiente para poder trabajar en él, ambos en combinación coinciden con respecto a la utilización de fuerzas que permita que el suelo mejore su capacidad de carga, los pilares de grava y pilotes son ideales cuando no se encuentra un extracto lo suficientemente duro como para poder cimentar las bases para una estructura, la desventaja de esta última metodología es que en algunos casos se tiene que recurrir en costes altos para el proyecto. Incluso en el caso de que se tenga que recurrir con el reemplazo de la totalidad del suelo de mala calidad por uno de mejor calidad, este tiene un alto impacto económico y esto es debido a que el reemplazo de la arcilla expansiva es evidentemente una solución excelente desde el punto de vista mecánico, pero frecuentemente no practicable, sea por razones económicas o de dificultad de excavación. (Rico, 1981) el costo de los movimientos de tierra en base a su gestión a retirarlo del terreno y ubicarlo en otro sitio en el cual no afecte a terceros, tiene un costo adicional y significativo por lo que esto reduce la rentabilidad del proyecto.

Es la metodología de mejoramiento de suelo la que debe ser adaptada a las condiciones del terreno, con el objetivo de no solo mejorarlos, también se debe optar por opciones que brinden beneficios en cuanto a eficiencia de costos que beneficien a la rentabilidad del proyecto y de igual forma el mejoramiento de terreno sea superior a los métodos en los cuales se viene trabajando dentro del campo de la construcción.

2.8 Marco Legal

El marco legal en ingeniería civil está compuesto por normas y leyes que regulan las actividades profesionales, asegurando la viabilidad, seguridad y sostenibilidad de los proyectos. Esta tesis analiza las normativas que afectan el diseño, construcción y mantenimiento de infraestructuras, enfocándose en la protección del medio ambiente, la seguridad laboral y la calidad de los materiales. También se abordarán los procedimientos para obtener permisos y licencias, fundamentales para garantizar el cumplimiento de los estándares legales y éticos. Este marco orienta a los profesionales hacia una práctica responsable y sostenible.

El marco legal en la ingeniería civil este compuesto por normas y leyes que regulan las actividades profesionales de una persona que tenga como objeto de ingresos al sector de la construcción, asegurando principalmente la seguridad, viabilidad y sostenibilidad de todo proyecto. Esta tesis analiza las normativas que aplican principalmente al objeto y variables de estudio del comportamiento de suelos, cargas sísmicas, diseños de cimentaciones, etc.

Se tendrán en cuenta en casos específicos normativas internacionales que tengan gran relevancia a nivel mundial. Las siguientes normas técnicas NTE INEN y de la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, ASTM, forman parte integrante del Reglamento.

2.8.1 Normas ecuatorianas de la construcción (NEC)

- NEC-SE-GM: Geotecnia y Diseño de Cimentaciones

2.8.2 Normas NTE INEN

- NTE INEN 692 Suelos. Ensayo para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad. (ASTM D 4318)

- NTE INEN 691 Suelos. Ensayo para determinar el límite líquido. (ASTM D 4318)
- NTE INEN 690 Suelos. Ensayo para determinar el contenido de agua. (ASTM D 2216)

2.8.3 Normas ASTM

- ASTM D 2166-06 — Suelos. Ensayo para determinar la resistencia a la compresión no confinada.
- ASTM D 6066 – 96 (2004) — Práctica estándar para determinar la resistencia de arenas a la 11 penetración normalizada, para evaluación del potencial de licuación.
- ASTM D 2850 Suelos cohesivos. Determinación de la resistencia. Método de compresión triaxial.
- ASTM D3080-04 Ensayo de Corte Directo de Suelos en condiciones Consolidada drenada.
- ASTM D2166 Ensayo de Compresión no-confinada de suelos cohesivos.
- ASTM D2850 Ensayo de Compresión Triaxial no consolidado no drenado en suelos cohesivos.
- ASTM D4767 Ensayo de Compresión Triaxial consolidado no drenado en suelos cohesivos.
- ASTM D3999 Ensayo para la determinación del módulo y propiedades de amortiguamiento de suelo usando el aparato triaxial cíclico.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la investigación

Una de las principales dificultades en un proyecto de investigación es la necesidad de que el investigador sea selectivo en cuanto al enfoque y las técnicas a utilizar, debido a la gran cantidad de variables que se presentan al inicio del proyecto. Al igual que en ingeniería civil, el enfoque de la investigación debe tener un objetivo claro y específico relacionado con una problemática particular. Por ello, esta tesis se basa en el análisis tanto cualitativo como cuantitativo, con el propósito de correlacionar la información obtenida de importantes investigadores y expertos en el campo de la mecánica de suelos, su comportamiento análisis y otros factores que pueden influir en sus condiciones frente a situaciones adversar. Para así poder determinar la alta probabilidad de licuefacción del suelo con el que cuenta la ciudad de Guayaquil y el alto riesgo sísmico ante el cual está expuesta, mediante la correlación de información obtenida en base a investigaciones realizadas en otros países con condiciones similares a la ciudad de Guayaquil, se tiene como objeto implementar una metodología de mejoramiento de suelos por medio de agregados compactados en los que se tenga como prioridad la eficiencia, seguridad y rentabilidad de todo proyecto en el que se requiere mejorar la capacidad portante del suelo. Información que como base asociada se tiene a la correlación de las variables que tienen un amplio grado de similitud a las del objeto de estudio se destaca que para establecer causalidad antes debe haberse demostrado correlación, pero además hay una determinación temporal, la causa debe ocurrir antes que el efecto, asimismo, los cambios en la causa deben provocar indefectiblemente cambios en el efecto. (Gómez, 2006)

3.2 Alcance de la investigación

Con respecto al alcance de esta investigación se la definirá con un enfoque correlacional, con el objetivo de establecer y analizar las relaciones entre las diversas variables que afectan a la estabilidad y comportamiento de los suelos que conforman la ciudad de Guayaquil. Entre las variables a considerar se encuentran las condiciones geológicas del suelo, la probabilidad de licuación y el riesgo sísmicos ante el cual está expuesta la región. Con el enfoque correlación se busca identificar

conexiones y patrones entre estos factores, facilitando una comprensión más profunda de como interactúan los suelos en específico de la ciudad de Guayaquil. Permitiendo así identificar una metodología eficaz para el mejoramiento de suelos por medio de agregados compactados.

3.3 Técnica e instrumentos para obtener los datos

Mediante el uso de una gran cantidad de información relacionada a un tema en específico con respecto a geología, mecánica de suelos, tipos de suelos, sismo, licuación de suelos, casos de estudios reales en los que se ah demostrados rentabilidad mediante el uso de agregados compactados con el objetivo de mejorar un suelo en específico. Apalancado tanto en información internacional y nacional en la cual se identificaron variables con una correlación alta con respecto a las mecánicas de suelos, comportamiento, riesgos sísmicos y proceso de mejoramiento de suelo. Se optaron por las siguiente técnicas e instrumentos para la investigación.

Tabla 6

Técnicas aplicadas

Técnica	Instrumentos
Estudio de caso	Guía de trabajo, entrevistas, cuestionarios,
Ensayos de laboratorio	Ensayos
Experimento	Prueba de variables, estadísticos, correlaciones

Fuente: Universidad Laica Vicente Rocafuerte (2025)

Elaborado por: Almeida (2025)

3.4 Población y muestra

Con respecto a la población objeto de estudio, al presentar la ciudad de Guayaquil una calidad dispersa con respecto a suelos, se opta por el análisis cuantitativo y cualitativo con respecto a la estratificación de suelos en zonas específicas de la ciudad que permitan un análisis de la calidad del suelo en general, permitiendo así obtener información más objetiva con respecto a la correlación de variables que coincidan con cada extracto de suelo.

Tabla 7

Zonas de Guayaquil objeto de estudio.

Metodología	Zona	Sector
ZONA 1	Centro	sector de 9 de octubre
ZONA 2	Centro	Sector la Bahia
ZONA 3	Sur	Sector Barrio el astillero, parque foresta
ZONA 4	Sur	Sector de capitán Najera entre Av. Quito y Tungurahua
ZONA 5	Norte	Sector Urdesa y Kennedy
ZONA 6	Norte	Sector Garzota, Mall del Sol, World Trade Center
ZONA 7	Norte	Parque industrial Inmacosa
ZONA 8	Sur	Via la costa
ZONA 9	Norte	Samborondón
ZONA 10	Norte	Durán

Fuente: Terreros (2019)

Elaborado por: Almeida (2025)

3.5 Tipos de Muestra en investigación cualitativa

- Muestreo teórico
- Muestreo para la presentación y demostración de evidencias

CAPÍTULO IV

PROPUESTA O INFORME

La calidad de los suelos es un factor importante para el desarrollo de proyectos en el ámbito de la ingeniería civil, debió que tiene un impacto directo en la estabilidad y durabilidad de las estructuras, es ampliamente estudiado y clasificados en base a un enfoque mixto en el que se obtiene información correlacionando datos y variables.

Una de las principales características con las que cuenta el suelo es que su comportamiento mecánico varía según el sector en el cual este se encuentre, su tipo estará determinado en base a las condiciones geológicas de cada región. Su comportamiento según la calidad del suelo será distinto uno del otro. Así mismo como el suelo varía según la región, existe también el riesgo sísmico que tiene la tendencia a variar su comportamiento según el sector en el cual se encuentre. Esta dispersión con respecto a los sismos y la variedad de características por la cual se puede categorizar el suelo, permiten tener variables de correlación, debió a la acción de los terremotos en el suelo, provocando en casos donde el suelo presente una calidad específica con respecto a su densidad, granulometría, resistencia al corte y alta saturación, son características que permiten que exista una mayor de probabilidad de que se genere la licuefacción del suelo, afectado a estructuras y a la sociedad en general debido al riesgo latente que este tiene.

En la actualidad existen varios autores que señalan el impacto social en espacios latinoamericanos donde se había perdido toda percepción de peligro por sismicidad o volcanismo durante largos periodos históricos se han expresado agudos problemas psicosociales con repercusiones negativas en la salud mental después de ocurrido alguno de estos dos fenómenos naturales. (Cunill, 2016)

A las 15:11 horas del domingo 22 de mayo de 1960, un ruido subterráneo y ronco irrumpió en la tranquilidad dominical de los residentes de la ciudad de Valdivia, ubicada en el sur de Chile, que a esa hora disfrutaban del sol otoñal. (Paúl, 2020)

Refiriéndose al evento sísmico que se dio en Chile el 22 de mayo de 1960 en el que contó con una magnitud de 9.5 Mw, provocando daños importantes a nivel estructural, social y económico. Desde sus inicios la tierra ha estado expuesta a constantes movimientos sísmicos producidos por las placas tectónicas presentes en

toda la corteza terrestre, esto debido a la liberación repentina de energía en áreas específicas del planeta provocando distintos eventos naturales que afectan a la población en general, específicamente en gran medida para aquellas zonas que están cerca o pertenecen al cinturón de fuego, países como Japón, Chile, Venezuela, Colombia y Ecuador han sido constantemente afectados por distintos eventos que afectaron directamente edificios, casas y más allá de las pérdidas materiales se han perdido muchas vidas.

según PRIMICIAS (2022) 70.000 sismos han sacudido a Ecuador en los últimos 10 años. Esto como punto de referencia a la exposición que tiene el Ecuador ante los movimientos sísmicos de distintas magnitudes.

De los riesgos relacionados a los fenómenos naturales que se presentan periódicamente en el Ecuador el riesgo por terremotos es, sin duda, el mayor y el que más impacto puede causar en su población y económica. (IG_EPN, 2023)

Esto como referencia de la alta exposición a eventos sísmicos que tiene el Ecuador y por ende la ciudad de Guayaquil, a la que se le debe sumar una problemática adicional a la de los sismos, la mala calidad de suelo con la que cuenta la ciudad es una variable más a tomar en cuenta al momento de ejecutar un proyecto.

4.1 Riesgo sísmico

La mala calidad del suelo en el Ecuador se ve exacerbada por la licuación del suelo y su relación con los sismos, lo que aumenta el riesgo sísmico en la región.

4.2 Características actuales del suelo de Guayaquil

Así lo refiere la doctora Carmen Terreros de Varela en el documento de categorización estratigráfica de los suelos de Guayaquil, en el que denota principalmente la mala calidad y dispersión con respecto a los suelos que existen en la ciudad, destacando la historia inicial de Guayaquil con respecto a la conformación de su suelo, en el que se denota la ubicación geográfica de la ciudad al estar entre el Ríos Guayas y el estero Salado contaba con la presencia de una gran cantidad de esteros, manglares, rellenos de basura y con cascajo encima dando lugar a muchos suelos de mala calidad, de poco o nula capacidad portante como la turba. (Terrero, 2019).

El comportamiento del subsuelo de Guayaquil es afectado por el alto nivel freático, producto de esteros, manglares, sumado a rellenos de mala calidad que dan origen a un suelo de baja capacidad portante, esto debido que los rellenos a nivel de la ciudad de Guayaquil en sus inicios fueron colocados en forma no técnica. Por lo que al momento de diseñar se debe ser especial en el diseño cuando nos enfrentamos a arcillas muy blandas, como las que existen en la ciudad de Guayaquil. Por lo que se hace hincapié e imprescindible hacer los estudios de suelos requeridos ya que el suelo suele variar de un sector a otro.

Como consecuencia de esteros, manglares, zonas bajas sometidas a constante inundación, el suelo de Guayaquil se encuentra en proceso de consolidación en el que solemos encontrar que gran parte de la ciudad esta rellena por una capa de cascajo a una altura de entre 0.5 y 1.5 metros, seguido por arcillas que varían su color con respecto al sector de la ciudad en la cual esta se encuentre.

Tabla 8

Color y ubicación de las arcillas en la ciudad de Guayaquil

Color de arcilla	Sector de la ciudad
Arcilla amarilla clara	Colombia y 5 de junio, P, Icaza y Córdova, Brasil y Lorenzo de Garaicoa, 10 de Agosto y G. Moreno.
Arcilla amarilla oscura	Urdesa norte, 6 de marzo, Julian Coronel y Rocafuerte, Escobedo y V.M. Rendon.
Arcilla gris verdosa	Todo el sur de la ciudad
Arcilla café	Urdesa Central
Arcilla azulada	6 de marzo entre Huancavilca y C. Nájera, Kennedy.

Fuente: Terreros (2019)

Elaborado por: Almeida (2025)

Tabla 9

Características cualitativas de arcillas gris y amarilla

Color de arcilla	Características	Retención de agua
Arcilla Amarilla	Tiene mayor concentración de óxidos de hierro, lo que le otorga mayor durabilidad y resistencia. Menor capacidad expansiva y estable en condiciones específicas de humedad y temperatura.	Al ser menos plástica, tiene tendencia a retener menos agua que la arcilla gris.
Arcilla gris	Contiene montmorillonita, lo que la hace altamente expansiva. Son más expansivas, por lo que tienen una alta probabilidad a deformarse.	Retiene altas cantidades de agua por lo que es difícil de consolidar.

Fuente: Terreros (2019)

Elaborado por: Almeida (2025)

De acuerdo a estas características es posible categorizar por niveles el grado de riesgo por licuefacción en base a los sectores donde existe una mayor probabilidad de incidencia en base al tipo de arcilla que existe en el sector.

4.3 Zonificación de suelos de Guayaquil

Al tener una alta dispersión con respecto a los suelos en la ciudad de Guayaquil se toma la información brindada en el documento categorización estratigráfica de los suelos de Guayaquil con el objetivo de tener una mejor perspectiva sobre la calidad del suelo y su importancia con respecto al conocimiento de poder identificar que en varios sectores de la ciudad se pueden encontrar suelos de distintas características uno muy cerca del otro, motivo por el cual en base a un análisis estratificado de la ciudad de Guayaquil con respecto a la recopilación de varios estudios de suelos realizados por el laboratorio de suelos ing. Arnaldo Ruffilli de la universidad de Guayaquil y varios extractos realizados por zonas específicas de la ciudad, detallados en el documento de la doctora terreros, identificamos que se divide a la ciudad en 10

zonas específicas y con condiciones de tal forma que permita un análisis objetivo con respecto a la calidad de suelo con la que se cuenta en la actualidad a nivel de ciudad.

Es fundamental resaltar que los estudios de suelo son absolutamente necesarios e imprescindibles. Aunque la zonificación geotécnica de la ciudad ofrece una guía útil, es posible que, a corta distancia de los lugares señalados en este análisis, se encuentren suelos con características muy diferentes. Por ejemplo, en la ciudadela La Garzota, en el parque, se encuentra un suelo muy firme, pero a solo dos cuadras de allí, el terreno es extremadamente blando. Esto puede deberse a que el primer suelo estaba sujeto a una sobrecarga natural, como un cerro, mientras que el segundo pudo haber sido parte de un manglar o salitral en épocas pasadas de la historia geológica. Dado que no existen planos antiguos de la zona, no es posible predecir con exactitud lo que se encontrará.

Asimismo, en ocasiones, cuando se construyen estructuras ligeras, se asume erróneamente que no habrá problemas debido a que el suelo tiene la capacidad de carga suficiente. Sin embargo, incluso en estos casos, pueden aparecer suelos expansivos que provocan daños como fisuras en pisos, pavimentos, tuberías, grietas grandes o incluso deterioros estructurales en columnas, lo que puede llevar a la destrucción total de la obra. Por lo tanto, siempre será indispensable realizar un estudio de suelo adecuado. A continuación, con respecto a la información obtenida en la categorización estratigráfica de los suelos de la ciudad de Guayaquil, procedemos a identificar las características y capacidades portante de cada suelo, por lo que se ha dividido en siete zonas específicas de la ciudad de Guayaquil, una zona en la ciudad de Duran, vía Samborondón y vía la costa.

Tabla 10

Sectorización y detalle de extractos de suelos en Guayaquil

ZONAS	Características
ZONA 1	Existen capas de rellenos de más de 50 años que aún se encuentran en estado de consolidación, en la actualidad se encuentran nuevos suelos mal rellenos.
ZONA 2	Debido a su alto nivel freático a esta junto al río Guayas el suelo presenta arcillas blandas y de mediana consistencia en el sector.
ZONA 3	Se evidencia la característica de los suelos con los que cuenta la ciudad, en el que a pesar de encontrarse con una calidad de suelo específica a pocos metros se encuentra con una totalmente distinta, debido que al norte de esta zona se puede llegar a encontrar arena a partir de 5 m.
ZONA 4	En este sector debido a los rellenos de tierra que se ejecutaron en el pasado, el suelo requiere mayor inversión para su mejoramiento con respecto a la capacidad portante.
ZONA 5	Se denota la capacidad portante del suelo al contar con la presencia de una arcilla blanda muy blanda de 2,3 t/m ² entre 1 - 2 metros de profundidad, a partir de ahí identificamos que su capacidad baja entre 1,8 -1,2 t/m ² por lo que se evidencia la calidad del suelo y su dispersión puesto que en algunos casos se identifica arena blanda compactada entre 2 y 4 m.
ZONA 6	Gran cantidad de rellenos en sitios cercanos al estero, adicional encontramos grava arcillosa hasta 5 o 6 m en unos sectores, pero en otros a partir de 1 o 2 metros
ZONA 7	qu= 6-24 t/m ²
ZONA 8	Debido a las condiciones geológicas del sector al estar rodeados por montañas y cerros el suelo se presenta con características óptimas y de buena calidad por lo general.
ZONA 9	cuenta con un espesor de 0,5 a 4 o 6 m. seguido de arcilla blanda
ZONA 10	Se identifica que Duran cuenta con arcillas firmes en su primer metro, seguido por arcillas medias y blandas.

Fuente: Terreros (2019)

Elaborado por: Almeida (2025)

Tal como se evidencia en la tabla el promedio de suelos en la ciudad de Guayaquil donde se realizaron los sondeos para el estudio, se identifica que en primera instancia podemos encontrar suelos rellenos de buena o mala calidad entre 1 y 2 metros de profundidad, por lo que para el desarrollo de las tablas a continuación, se discriminara esta profundidad con respecto al suelo y se enfocara el análisis en

suelos con una profundidad de 1 a 5 metros y 5 a 10 metros de profundidad. Se detallan los sectores por zonas en los que se detalla la capacidad portante promedio de cada una de ellas, ordenadas de mayor a menor.

En base a la información obtenida se realiza la sumatoria de las capacidades portantes del suelo por zonas y se promedia de forma individual para el número de datos que tiene cada zona en específico, para así poder una capacidad portante promedio de cada una de las muestras de nuestro estudio en el que se denotan las zonas que presentan una mayor capacidad portante versus otras.

Tabla 11

Sectorización y detalle por tipo de suelo a una profundidad entre 0 - 5m.

Zona	qu Promedio (t/m2)
ZONA 7	9,56
ZONA 6	7,68
ZONA 2	5,18
ZONA 3	4,67
ZONA 1	4,38
ZONA 5	3,12
ZONA 4	2,4

Fuente: Terreros (2019)
Elaborado por: Almeida (2025)

Se procede con el cálculo de media, varianza y desviación de estándar para los datos presentados por zonas en base a su capacidad por tante.

$$media = \frac{9.56 + 7.68 + 5.18 + 4.67 + 4.38 + 3.12 + 2.4}{7}$$

media = 5.28

Varianza

$$= \frac{(9.56 - 5.28)^2 + (7.68 - 5.28)^2 + (5.18 - 5.28)^2 + (4.67 - 5.28)^2 + (4.38 - 5.28)^2 + (3.12 - 5.28)^2 + (2.4 - 5.28)^2}{7 - 1}$$

Varianza = 6.40

desviación estandar = $\sqrt{6.4}$

desviación estandar = 2.53

Coefficiente de varianza = $\left(\frac{2.53}{5.28}\right) * 100$

Coefficiente de varianza = 48 %

Tabla 12

Sectorización y detalle por tipo de suelo a una profundidad de 5-10 m.

Zona	qu Promedio (t/m2)
ZONA 7	6,95
ZONA 2	4,9
ZONA 1	4,2
ZONA 3	3,81
ZONA 5	3,56
ZONA 6	3,28
ZONA 4	2,11

Fuente: Terreros (2019)

Elaborado por: Almeida (2025)

$$media = \frac{6.95 + 4.9 + 4.2 + 3.81 + 3.56 + 3.2 + 2.11}{7}$$

$$media = 4.12$$

Varianza

$$= \frac{(6.95 - 4.12)^2 + (4.9 - 4.12)^2 + (4.2 - 4.12)^2 + (3.81 - 4.12)^2 + (3.56 - 4.12)^2 + (3.28 - 4.12)^2 + (2.11 - 4.12)^2}{7 - 1}$$

$$Varianza = 2.32$$

$$desviación\ estandar = \sqrt{2.32}$$

$$desviación\ estandar = 1.52$$

$$Coeficiente\ de\ varianza = \left(\frac{1.52}{4.12}\right) * 100$$

$$Coeficiente\ de\ varianza = 37\ %$$

Con respecto a su media, varianza, desviación estándar y coeficiente de varianza se denota que los datos presentan una alta dispersión entre sí por lo que se concluye que debido a las distintas capacidades portantes que se suelen encontrar en el terreno, el suelo presenta varias características que lo hacen distinto uno de otro, por lo que se evidencia la alta probabilidad de llegar a encontrar distintos extractos de suelos, incluso en sectores próximos donde se realicen estudios para identificar las capacidades mecánicas del mismo.

La zona 7 que pertenece al sector de la vía Daule presenta buenas condiciones con respecto al suelo y su capacidad para soportar cargas, que a diferencia de las zonas 1,2,3,6 que presentan una capacidad portante similar entre sí. Esto debido a los constantes rellenos de suelos en los que en algunos casos se siguieron técnicas de mejoramiento de suelos siguiendo normativas técnicas y casos

en los cuales no se siguieron técnicas específicas con respecto al suelo, por lo que en general se lo denota como un suelo de mala calidad al contar con una gran presencia de arcillas blanda y muy blandas.

Zonas que destacan por la baja capacidad portante del suelo, son las zonas 5 y 4 que pertenecen al sector de Urdesa y el sur respectivamente. En la zona de Urdesa se identifica una gran variedad de suelos con características no favorables para la construcción por lo que se deben realizar estudios de suelos específicos y que sean muy apegado a la realidad debido a las condiciones a las cuales está expuesto este tipo de suelo, como lo es el alto nivel freático del sector al estar rodeado de manglares. Por lo que en casos así se requieren ensayos que demanden un mayor costo y tiempo. Al igual que la zona 4 que pertenece al sur de la ciudad presenta características similares a la de Urdesa con la diferencia de que existen una mayor presencia de arcillas blandas y muy blandas. En general y en primeras instancias se suelen identificar que a profundidades de entre 0 y 1 metro, podemos encontrar con distintas clases de rellenos, en los cuales en varios casos no se siguieron normas técnicas específicas para su mejoramiento por lo que existe un riesgo latente con respecto a los asentamientos diferenciales que se pueden dar en la estructura.

Además de presentar varios extractos distintos en los que mayor presencia se tiene con arcillas que van desde blanda a muy blanda con capacidades portantes muy pobres, lo que ocasiona un impacto en el presupuesto del proyecto debido que se tienen que incurrir en mayores gastos con respecto al diseño de sus cimentaciones en general, debido que se tiene que aumentar el tamaño de la zapata o losa de cimentación.

Motivo por el cual en base al coeficiente de varianza que existe entre los extractos obtenidos en profundidades de hasta 10 metros nos permite discriminar por su alto coeficiente de varianza que supera el 25 % de los datos, por lo que se excluye la zona 7 que pertenece a la Vía Daule debido que cuenta con una capacidad portante óptima y en caso de mejoramiento de suelos, el mismo no tendría un impacto significativo debido que el suelo es de buena calidad a diferencia de las otras zonas objeto de estudio en los cuales el mejoramiento de suelo sería un factor importante en caso que se detecten extracto con una capacidad deficiente.

Debido a su media basada en la capacidad portante promedio de los suelos pertenecientes a las siguientes zonas: 1-2-3-4-5-6

Tabla 13

Capacidad portante promedio en extractos de 0-10 metros.

Zona	qu Promedio (t/m2)
ZONA 6	5,48
ZONA 2	5,04
ZONA 1	4,29
ZONA 3	4,24
ZONA 4	3,65
ZONA 5	3,34

Fuente: Terreros (2019)

Elaborado por: Almeida (2025)

Se estratifica en tres extractos teniendo en cuenta su capacidad portante por lo que se promedió las siguientes zonas: 6-2, 1-3, 4-5.

Tabla 14

Capacidad portante promedio en extractos de 0-5 m. y 5-10 m.

Zona	qu Promedio (t/m2)
qu promedio zona 6-2	5,26
qu promedio zona 1-3	4,27
qu promedio zona 4-5	3,5

Fuente: Terreros (2019)

Elaborado por: Almeida (2025)

Se denota que la zona 6 y 2 pertenecen a sectores en los cuales se han realizado mejoramientos de suelos con el objetivo de soportar estructuras de mayor peso en general, esto debido que pertenece al centro y norte de la ciudad. Las zonas 1 y 3 comienzan a presentar capacidades portantes inferiores a los extractos antes

mencionas, esto se correlaciona a la dispersión en cuanto a sus extractos y su gran cantidad de arcillas blandas y muy blandas por lo que se denota también que existe una gran probabilidad de que con anterioridad se realizaran rellenos de suelos de mala calidad y en cuanto a la zona 4 y 5 que pertenecen al sur de la ciudad y al sector de toda Urdesa se denota que el suelo es de muy mala calidad.

Tabla 15

Tipos de suelos identificados en las 7 zonas de estudio y análisis

Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
relleno	relleno	relleno	relleno	relleno	relleno	relleno
arcilla firme	arcilla firme					
arcilla media	arcilla media					
arcilla blanda	arcilla muy blanda	arcilla blanda	arcilla blanda	arcilla blanda	arcilla blanda	arcilla blanda
arcilla muy blanda		arcilla muy blanda	arcilla muy blanda	arcilla muy blanda	arcilla muy blanda	arena mediana
arena mediana				arena compactada	arena mediana	
arena compactada				limo		
limo				relleno		

Fuente: Terreros (2019)

Elaborado por: Almeida (2025)

Tal como se evidencia en cada zona de la ciudad existe una alta presencia de suelos rellenados seguidos de arcilla firme, se denota la alta presencia de arcillas blandas y muy blandas con una baja capacidad portante en especial en aquellas zonas donde existe un alto nivel freático, como lo es la zona 4 y la zona 5 que pertenecen al sur de la ciudad y el sector de la Kennedy respectivamente. Así se destaca en la información que se presenta a continuación en la que se realiza la micronización sísmica y geotécnicas de la ciudad de Guayaquil.

Ilustración 7. Microzonificación sísmica y Geotecnia de la ciudad de Guayaquil

GEOESTUDIOS "Cda Kennedy Norte" - Calle Jose Assaf Bucaram Mz 704 Villa 3 Tel.: 04 280068 - 04 2685503		SONDEO Nº P-1 HOJA 1 de 7											
CLIENTE SECRETARIA DE GESTION DE RIESGOS		LOCALIZACIÓN Estadio Ramón Unamuno											
PROYECTO Microzonificación Sísmica y Geotecnia de la Ciudad de Guayaquil según la NEC-11													
FECHA COMIENZO 27/11/13		FECHA FINAL 30/11/13		ELEVACIÓN 4 m			TAMAÑO de SONDEO 75 mm						
CONTRATISTA: SECRETARIA DE GESTION DE RIESGOS					NIVEL FREÁTICO								
MÉTODO: PERCUSIÓN					DURANTE LA PERFORACIÓN 2.50m / Elev 1.50 m								
PERFORADOR: José Aguilar					DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN ---								
REGISTRADO POR: Jimmy Vargas					COORDENADAS X: 622353 Y: 9756925								
PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG			FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLASTICIDAD	
1	3.00		0.00m (GM) 52 % grava, 33 % arena, 15 % finos Grava limosa con arena de color amarillo oscuro de compactidad medianamente densa	MA 1	70	8-8-9 (17)			11.0	NP	NP	NP	15
			0.45m (SM) 13 % grava, 64 % arena, 23 % finos Arena limosa de color amarillo oscuro de compactidad medianamente densa	MA 2	30	6-4-6 (10)			7.0	NP	NP	NP	23
			0.90m (CH) 1 % grava, 10 % arena, 89 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia rígida	MA 3A	60	8-7-5 (12)			35.0	74.0	27.0	47.0	89
			1.20m (CH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Arcilla de color gris oscuro de consistencia rígida	MA 3B					42.0	-	-	-	98
			1.35m (CH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Arcilla de color gris oscuro de consistencia firme	MA 4	40	3-3-3 (6)			46.0	72.0	23.0	49.0	97
2	2.00		1.80m (CH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia rígida	MA 5	60	4-5-5 (10)			60.0	94.0	33.0	61.0	97
			2.25m (CH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia firme	MA 6A	90	3-2-3 (5)			76.0	92.0	37.0	55.0	98
			2.50m (CH) 0 % grava, 8 % arena, 92 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia firme	MA 6B					56.0	-	-	-	92
3	1.00		2.70m (CH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia muy blanda con pintas de oxidación	MA 7	90	1-1-1 (2)			85.0	94.0	35.0	59.0	98
			3.15m (CH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia muy blanda	MA 8	70	1-1-1 (2)			90.0	100.0	40.0	60.0	97
4	0.00		3.60m (CH) 23 % grava, 14 % arena, 63 % finos Arcilla gravosa con arena de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MA 9	40	1-1-1 (2)			55.0	-	-	-	63
			4.05m (CH) 5 % grava, 10 % arena, 85 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MA 10	100	1-1-1 (2)			75.0	54.0	26.0	28.0	85

Fuente: Geostudios (2013)

Elaborado por: Almeida (2025)

4.4 Metodología de Trabajo en el Mejoramiento de Suelos con el Sistema Geopier

El sistema Geopier emplea diversas metodologías enfocadas en el mejoramiento del suelo, adaptadas a las características específicas del terreno y los requerimientos del proyecto en términos de costos y eficiencia. Este sistema se divide en dos técnicas principales:

4.4.1 Pilas de Agregado Compactado

Este método se basa en la compactación directa de pilas de agregados como material sólido de mejor calidad, utilizando grava y, en algunos casos, concreto reciclado. Se subdivide en dos técnicas:

- **GP3 (Sustitución):** Se remueve el suelo existente y se sustituye por material granular compactado.
- **IMPACT (Desplazamiento):** Se desplaza el suelo original sin extracción, generando una mayor densificación del entorno.

4.4.2 Densificación de Arena por Desplazamiento

Este proceso implica la inclusión de concreto mediante desplazamiento, mejorando la resistencia y estabilidad del suelo de manera significativa.

4.4.3 Brigada Típica para la Ejecución del Sistema

Para la correcta implementación de estos sistemas, se requiere un equipo especializado conformado por:

- **2 operadores de excavadora** (manejo de taladro y martillo).
- **1 operador de Bobcat** (soporte y nivelación).
- **1 técnico de control de calidad** (supervisión y verificación de parámetros).

El reducido número de personas necesarias para ejecutar este tipo de trabajos demuestra su eficiencia en cuanto a mano de obra. Sin embargo, su correcta aplicación requiere un conocimiento técnico especializado para maximizar los beneficios del mejoramiento de suelos mediante agregados compactados.

4.4.4 Procedimiento para mejoramiento de suelo por medio de agregados compactados en caso que se tenga que realizar una excavación previa

- Se procede con una excavación con diámetro de entre 50 – 70 cm.
- Se coloca la grava o material para el mejoramiento mientras se realiza la compactación por medio del martillo compactador, cada extracto compactado debe contar con un alto de entre 30 – 60 cm.
- Por medio del barre helicoidal se vierte la grava, por medio de este proceso se compacta y densifica el suelo.

Como dato adicional las columnas de grava compactada, no se desmoronan debido a la presión de las herramientas usadas para su elaboración, una ventaja adicional que brinda este sistema, es que el suelo que está próximo a las columnas de grava, mejoran su densidad y rigidez disminuyendo así el riesgo potencial de licuefacción del suelo.

Ilustración 8. Pila de agregado compactado en suelo matriz donde se evidencia su rigidez.



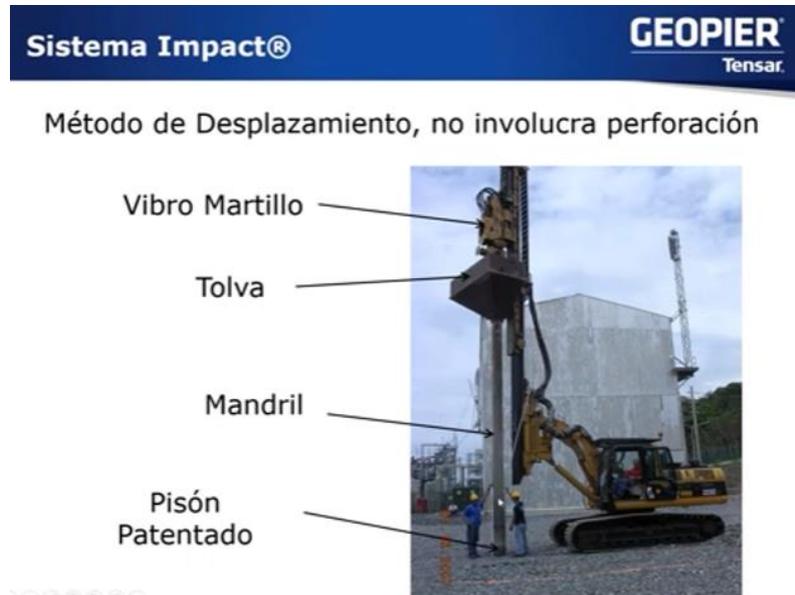
Fuente: Geopier (2020)

Elaborado por: Almeida (2025)

En cambio, si se desea realizar por medio de un sistema de desplazamiento del suelo, el número de actores en la actividad que se desea ejecutar no es distinto a cuando este procedimiento de mejoramiento de suelo se requiere realizar por medio de excavaciones para agregar el material con el cual se desee mejorar el suelo. Es el mecanismo de acción con respecto a los pasos a realizar los que cambian, debido

que en este caso el agregado será implementado al mismo tiempo que el suelo es perforado.

Ilustración 9. Funcionamiento sistema Impact.



Fuente: GEOPIER (2020)

Elaborado por: Almeida (2025)

4.4.5 Pasos a seguir en un sistema de desplazamiento: IMPACT

- Se inca herramienta por medio de impactos al suelo hasta la profundidad de diseño.
- Se alimenta de grava completamente el mandril y la tolva.
- Se inicia el proceso de compactación por medio de un sistema de check de cadenas, que permiten el flujo de la grava cuando esta se levanta.
- Se destaca que este sistema puede ser usado hasta los 21 m de profundidad.

4.4.6 Ventajas vs. Las columnas de grava convencional sin ningún tipo de compactación

Las ventajas vs. las columnas de grava convencional son significativas en cuanto al mejoramiento de la capacidad portante del suelo y de los beneficios que tiene para la cimentación en general con respecto a su diseño específico en cuanto a su eficiencia y trabajabilidad. A continuación, se detallan las más significativas.

4.4.7 Mejoramiento de la Capacidad de Resistencia al Corte del Suelo

Las pilas de agregado compactado rígidas permiten una mejora significativa en la resistencia al corte del suelo matriz. Esto se debe a que la compactación del agregado dentro del suelo genera mayores esfuerzos laterales, lo que induce una mayor consolidación y resistencia estructural. En contraste, las columnas de grava convencionales sin compactación pueden no inducir este efecto, lo que limita su capacidad de refuerzo en suelos blandos.

4.4.8 Eficiencia en Terrenos con Nivel Freático Superficial

El uso de pilas de agregado compactado rígidas es altamente beneficioso en zonas con nivel freático alto. La compactación de la piedra triturada dentro del sistema de desplazamiento impact reduce la posibilidad de colapso y saturación diferencial del suelo. En cambio, las columnas de grava sin compactación pueden no ofrecer la misma estabilidad bajo condiciones de alta saturación, ya que el material no consolidado puede desplazarse o perder su capacidad de carga con el tiempo.

4.4.9 Mayor Eficiencia en la Transmisión de Carga

Las pilas de agregado compactado rígidas distribuyen mejor las cargas de la estructura al suelo subyacente. Este tipo de refuerzo reduce la probabilidad de asentamientos diferenciales y aumenta la estabilidad general del suelo. Por otro lado, las columnas de grava sin compactación pueden experimentar mayor deformabilidad y asentamientos debido a la falta de compactación controlada.

4.4.10 Mejoramiento del Comportamiento ante Cargas Dinámicas y Sísmicas

En zonas de alta sismicidad, las pilas de agregado compactado rígidas ofrecen una mejor respuesta ante cargas dinámicas, reduciendo la susceptibilidad a la licuefacción y mejorando la estabilidad del suelo. El refuerzo generado por el proceso de compactación aumenta la rigidez del sistema y su capacidad de disipar energía sísmica. En comparación, las columnas de grava convencionales sin compactación pueden no ofrecer la misma resistencia ante cargas cíclicas, lo que podría aumentar el riesgo de inestabilidad estructural.

4.4.11 Reducción de Asentamientos y Mejora en la Homogeneidad del Suelo.

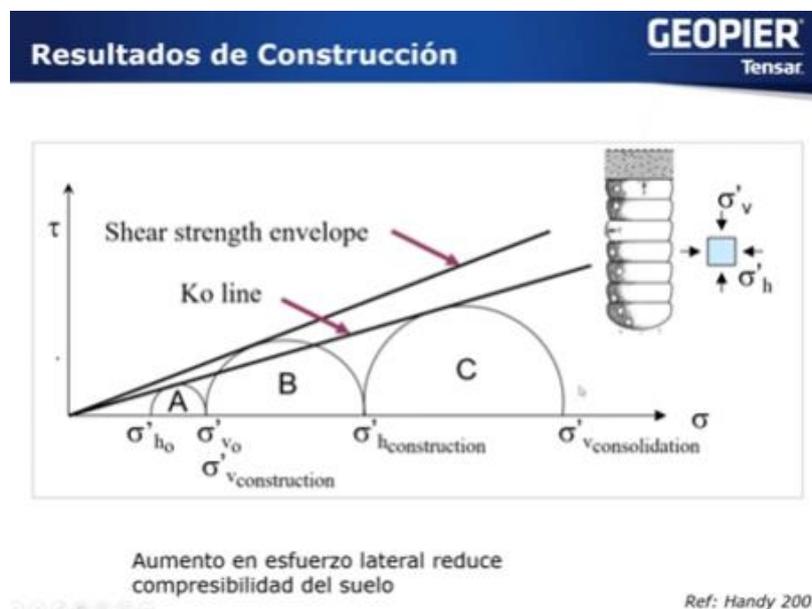
La compactación controlada de las pilas de agregado minimiza los asentamientos a largo plazo y proporciona una mayor uniformidad en el comportamiento del suelo. En cambio, las columnas de grava sin compactación

pueden experimentar compactación diferida con el tiempo, generando asentamientos no uniformes que podrían afectar la estabilidad de las estructuras sobrepuestas.

4.4.12 Mejor Integración con Sistemas de Cimentación y Mejora del Factor de Seguridad.

El aumento de la rigidez y capacidad de carga del suelo tratado con pilas de agregado compactado permite una mejor integración con cimentaciones superficiales y profundas, incrementando el factor de seguridad de la estructura. Las columnas de grava sin compactación pueden presentar una distribución menos homogénea de esfuerzos, lo que podría requerir cimentaciones más robustas y costosas.

Ilustración 10. Aumento de la capacidad en esfuerzo lateral donde se evidencia la compresibilidad del suelo.



Fuente: Geopier (2020)

Elaborado por: Almeida (2025)

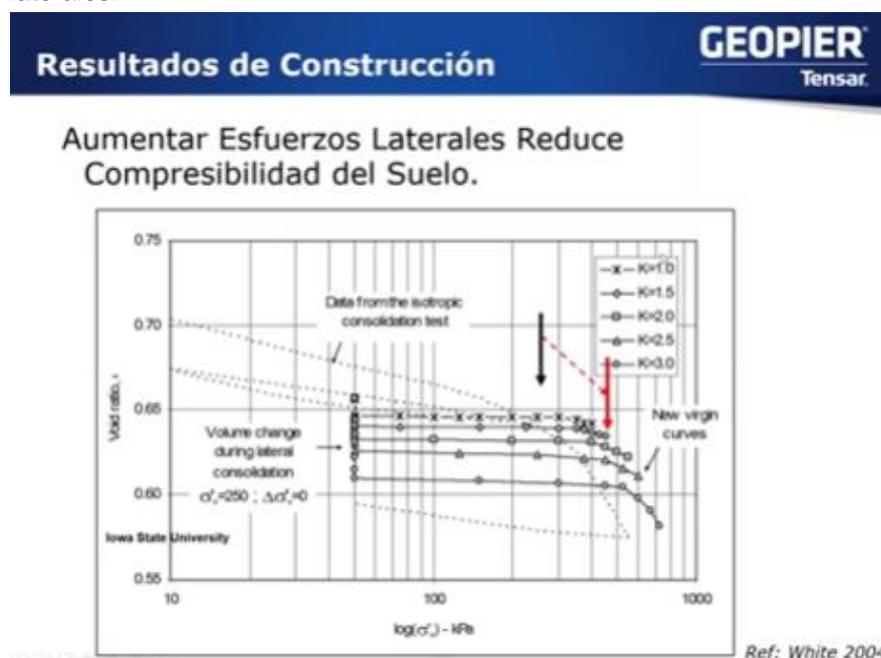
El comportamiento de los esfuerzos normales frente a los esfuerzos cortantes se puede observar en la gráfica adjunta. En esta, se evalúan diferentes condiciones del suelo bajo distintas cargas.

Cuando se introduce un proceso de compactación, como el que ocurre con la grava dentro de la perforación, los esfuerzos laterales aumentan, lo que provoca un cambio en el estado del suelo. Este cambio se representa en el Círculo de Mohr B, donde el esfuerzo principal mayor se convierte en el esfuerzo horizontal. Este proceso

mejora el confinamiento del suelo, lo que, a su vez, incrementa la resistencia al corte dentro del terreno.

El Círculo de Mohr A ilustra las condiciones de un suelo sin mejoramiento, mientras que el Círculo de Mohr B refleja las condiciones de un suelo mejorado. Este cambio permite aumentar la resistencia al corte en las zonas donde se realizan las mejoras, lo que aumenta los esfuerzos laterales y mejora la estabilidad bajo las estructuras que se están mejorando.

Ilustración 11. Disminución de la compresibilidad del suelo en base al aumento de los esfuerzos laterales.



Fuente: Geopier (2020)

Elaborado por: Almeida (2025)

Se observa que existe una relación de 5 a 3 veces al aumentar la compresibilidad del suelo matriz, lo que se refleja en una disminución en la pendiente de la rama de compresibilidad. Esto indica que, al mejorar la resistencia al corte del suelo, también se incrementa su compresibilidad. Dicho aumento en la compresibilidad se debe a la modificación en la estructura del suelo, que, aunque aumenta su capacidad para soportar esfuerzos cortantes, también hace que el suelo se vuelva más susceptible a deformaciones volumétricas bajo cargas adicionales.

4.4.13 Método de cálculos para control de asentamientos

Con respecto a los cálculos aplicados en esta metodología se debe tener en cuenta tres zonas específicas con respecto a las variables que se toman para el análisis, en este caso:

- **Zona reforzada o zona superior:** se refiere al área de mejoramiento donde están ocupando espacios las columnas de agregado compactado. Cabe destacar que el asentamiento de la zona superior se verifica por medio de una prueba de módulo de rigidez.
- **Zona bajo columnas de agregado compactadas:** es el área sobre el cual están asentadas las columnas de agregado compactado.
- **Asentamiento total:** Es la suma del asentamiento de la zona superior más la zona inferior.

4.4.14 Asentamiento en la zona superior

El asentamiento de la zona superior esta dado por la siguiente ecuación:

$$Q = qA = Qg + Qs = QgAg + QsAs$$

Donde:

Qg = Esfuerzo vertical sobre elemento de grava compactada

Ag = Área seccional de los elementos bajo zapata

Qs = Esfuerzo vertical en matriz de suelo bajo el área de zapata.

As = Área de matriz de suelo en contacto con el fondo de la zapata.

Esfuerzo de la columna de agregado compactado

En la formula existe una correlación con respecto al esfuerzo vertical del elemento de columna de grava compactada más el suelo matriz y su esfuerzo vertical.

$$Qg = q \left[\frac{Rs}{RsRa - Ra + 1} \right]$$

Donde:

q = presión de contacto aplicada por la zapata

Rs = Rigidez del suelo.

Ra = Relación área de reemplazo

Relación de rigidez

$$R_s = \frac{kg}{K_s}$$

Donde:

Kg = Rigidez de la columna de grava compactada.

Ks = Rigidez del suelo.

Relación área de reemplazo

$$R_a = \frac{A_g}{A}$$

Donde:

Ag = Área de la columna de grava compactada.

A = Área de la fundación

En base a la obtención de los datos por medio de las fórmulas antes presentadas, podemos determinar en base a la presión tope de la columna de grava compactada y su rigidez. El asentamiento que esta puede llegar a tener.

$$\delta = \frac{Q_g}{K_g}$$

Es importante que se tome la cuenta el módulo de rigidez del suelo para poder determinar una hipótesis de diseño acorde a las características del suelo.

Zona Superior como módulo elástico

Para el caso de zapatas que tengan más de 3 metros de ancho o longitudes del elemento de columnas de gravas mejorada con más de 4 metros se interpretara su comportamiento por medio de la analogía de resorte.

$$S = \frac{q \cdot I_\sigma \cdot H_{uz}}{E_{comp}}$$

Donde:

$$q = P/(BXL).$$

I_{σ} = Factor de influencia promedio UZ

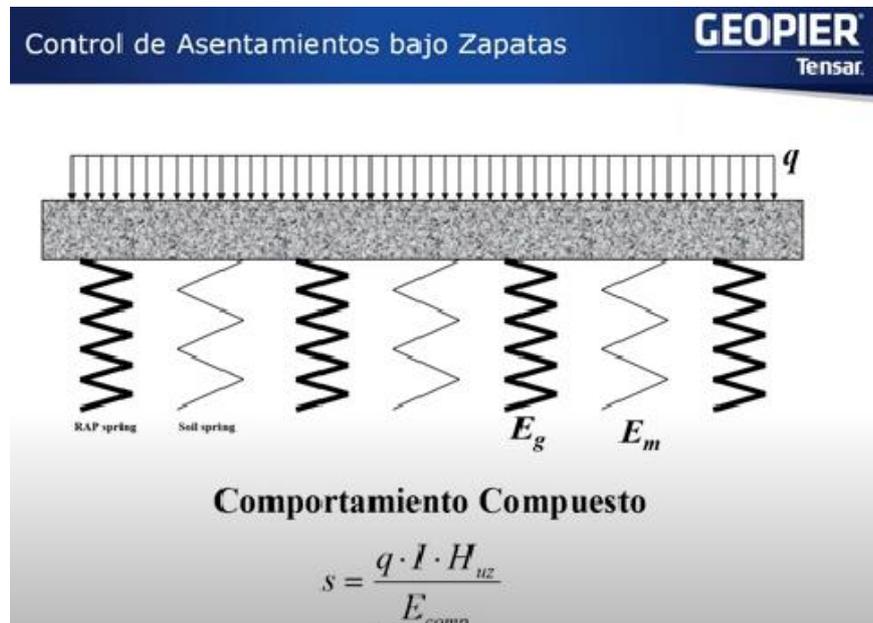
$$E_{comp} = E_g R_a + E_m (1 - R_a)$$

E_m = Módulo elástico de suelo matriz

E_g = Módulo elástico de RAP

Se asume que la zona mejora tendrá un módulo elástico único obtenido de ponderar el módulo elásticos elemento como columna de grava compactada por la relación del área de reemplazo y el módulo elástico del suelo matriz por el área del suelo que está en contacto con la zapata.

Ilustración 12. Analogía de resorte en base al asentamiento bajo la zapata.



Fuente: Geopier (2020)

Elaborado por: Almeida (2025)

En este caso se puede el módulo elástico compuesto será un intermedio entre el módulo del suelo matriz y el módulo del suelo matriz para así poder establecer los asentamientos en la zona superior para zapatas corridas, losas o plateas de fundación.

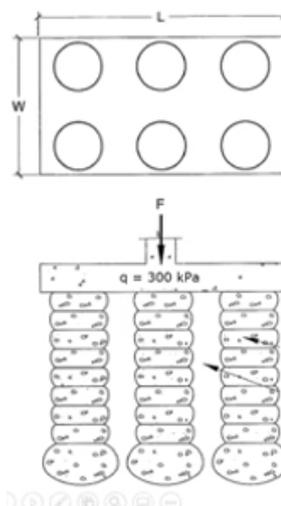
Asentamiento en zona inferior

- Ante la presencia de suelos arenosos nos enfocaremos en la teoría de la elasticidad.
- Para suelos arcillosos la teoría de la consolidación.

4.4.15 Datos de diseño (ejemplo práctico)

Para un ejemplo con respecto a la implementación de este método, como dato tendremos a un suelo arcilloso saturado, que requieren un numero de golpes de entre 7 – 9 por cada 30 cm. Y una carga aplicada de 2600 KN.

- Estos valores son estimados en base a estudios y casos de existo que se ha tenido con el sistema de mejoramiento de suelo por medio de agregados compactado.
- Valores estimados permisibles teniendo en cuenta un factor de seguridad de 3.
- Capacidad del suelo sin mejora $q_{all} = 100 \text{ kpa}$, teniendo en cuenta que para un suelo con numero entre 7 – 9 golpes cada 30 cm.
- Capacidad del suelo mejorada $q_{al} = 300 \text{ kpa}$ (se demuestra en el ejercicio)
- Celdas 76 cm diámetro.



$$A = L * W$$

$$L = 4m$$

$$W = 2.25m$$

$$A = 9m^2$$

$$A = A_g + A_m$$

$$A_g = 0.30$$

$$A_m = 0.70$$

$$q = \frac{F}{A}$$

$$q = 300 \text{ kpa}$$

En el diseño estructural de cimentaciones, la decisión de ampliar el área de cimentación tiene un impacto directo en diversos factores técnicos y económicos. En este caso, el ingeniero ha estructurado una cimentación con un área equivalente a tres veces el área original en metros cuadrados. Esta ampliación implica un mayor consumo de materiales de construcción, tales como concreto y acero de refuerzo, lo que a su vez incrementa significativamente los costos del proyecto.

- El incremento del área de cimentación conlleva una mayor utilización de concreto y acero.
- Dado que la cimentación debe abarcar una superficie tres veces mayor, el volumen de concreto requerido aumenta proporcionalmente.
- Para garantizar la estabilidad estructural y la capacidad de carga de la cimentación ampliada, es necesario incorporar más acero de refuerzo. Esto se traduce en un mayor peso de acero utilizado, lo que incrementa los costos.

El aumento del área de cimentación no solo repercute en los costos directos de materiales, sino también en otros aspectos del proyecto, como la mano de obra, el equipo necesario y los tiempos de ejecución.

Diseño Geopier: 76 cm diámetro $Q_{celda} = 440 \text{ KN}$

Para suelos arcillosos con rango de golpes se otorga a una cental compuesta por el suelo matriz y la pila de agregado compactado, se debe tener la influencia de la pila de agregado en el suelo matriz justo bajo la huella de cimentación.

Cantidad de pilas de agregado compactados

$$N = \frac{F}{Q_{celda}}$$
$$N = \frac{2600}{440}$$
$$N = 6$$

Razón de rigidez

$$R_s = \frac{kg}{K_s}$$

$$R_s = \frac{54}{5.4}$$

$$R_s = 10$$

Valor tomado de base de datos en promedio de 10.500 proyectos a nivel mundial con la metodología de mejoramiento de suelos por medio de agregados compactados para este tipo de suelos arcillosos saturados con ensayo SPT de 7 – 9 golpes cada 30 cm.

- Constante de resorte $kg = 54 \text{ Mn/m}^3$
- Rigidez $km = 5.4 \text{ Mn/m}^3$

Relación área de reemplazo

$$R_a = \frac{A_g}{A}$$

$$R_a = 0.30$$

Esfuerzo en el elemento

$$Q_g = q \left[\frac{R_s}{R_s R_a - R_a + 1} \right]$$

$$Q_g = 300 \left[\frac{10}{10(0.30) - 0.30 + 1} \right]$$

$$Q_g = 811 \text{ Kpa}$$

El esfuerzo en cada elemento es 811 Kpa esto debido a que la constante de resorte por el módulo de rigidez de la columna de agregado compactado es mucho más alta que el suelo matriz que refuerza y recibe en su área mayores cargas. Concepto de atracción de esfuerzo y el concepto de la analogía de resortes.

Entonces si $R_s = kg/km$ y el asentamiento es similar en el suelo se considera que:

Tanto la constante de resorte como la rigidez del elemento se correlación con el objetivo de determinar el asentamiento del suelo.

$$Qm = \frac{Qq}{Rs}$$

$$Qm = \frac{811}{10}$$

$$Qm = 81Kpa$$

Este valor obtenido con respecto al esfuerzo del suelo se destaca que es inferior incluso que el suelo no mejorar que presenta un esfuerzo de 100 kpa, por lo que se infiere el asentamiento que va ocurrir en la zona reforzada o zona superior con respecto a su rigidez y su esfuerzo constante de resorte.

$$\delta_{uz} = Suz = \frac{q_q}{K_g} = \frac{q_m}{K_m}$$

Sabiendo que la rigidez del RAP es de $K_g = 54 \text{ Mn/m}^3$ y el suelo es $K_m = 5.4 \text{ Mn/m}^3$

$$Suz = \frac{q_q}{K_g}$$

$$Suz = \frac{811}{54}$$

$$Suz = 1.5 \text{ cm}$$

$$Suz = \frac{q_m}{K_m}$$

$$Suz = \frac{81}{5.4}$$

$$Suz = 1.5 \text{ cm}$$

Con respecto a esta información nos da un asentamiento de 1.5 cm en la zona superior con respecto al suelo.

Capacidad portante permisible mejorada con el sistema de mejoramiento de suelo por medio de columnas de grava compactada

La capacidad portante es un factor fundamental al evaluar la estabilidad de las estructuras construidas sobre diferentes tipos de suelo. En el contexto de proyectos elaborados con el sistema en estudio, se ha registrado una capacidad portante superior a los 100,000 proyectos, lo que permite una amplia evaluación de su desempeño en diversas condiciones geotécnicas.

Uno de los aspectos clave en la evaluación de la capacidad portante es la relación entre:

- Compacidad relativa de los suelos
- Densidad relativa de los suelos

Estos parámetros son esenciales para determinar la resistencia de los suelos arenosos, limosos y turbas, ya que influyen significativamente en la capacidad del suelo para soportar cargas. La compacidad relativa es una medida de la densidad del suelo comparada con su densidad máxima y mínima, mientras que la densidad relativa se refiere a la relación entre el peso del suelo en su estado actual y el peso de un volumen de suelo del mismo tamaño cuando está completamente compacto.

Para los suelos arenosos, se observa que una mayor compacidad relativa mejora la capacidad portante, ya que los granos de arena se ajustan más estrechamente, reduciendo los espacios vacíos y aumentando la resistencia al corte. En los suelos limosos, la densidad relativa es un factor crítico debido a la tendencia del limo a ser más susceptible a la deformación y a la pérdida de resistencia bajo carga. En este caso, el sistema mejora la capacidad portante al optimizar la densidad del suelo mediante tratamientos que refuerzan su estructura. Finalmente, en las turbas, que son suelos orgánicos con una alta proporción de agua, el sistema utilizado tiene un impacto significativo en la densificación y la reducción de la compresibilidad, lo que contribuye a mejorar su capacidad para soportar cargas.

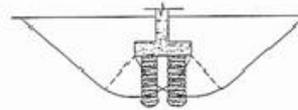
En conclusión, los más de 10,000 proyectos elaborados con el sistema demuestran una mejora consistente en la capacidad portante de los suelos, con un énfasis particular en la optimización de la compacidad relativa y la densidad relativa,

lo que asegura una mayor estabilidad y seguridad en las estructuras construidas sobre estos tipos de suelos.

Ilustración 13. Capacidad portante del suelo en base a mejoramiento por agregado compactado.



Unidades en (Ton/m²) Lbs/ft²



SPT-N	Arena y Limo Arenoso	Limo y Arcilla	Turbas y Suelo Orgánico
1 - 3	(25) 5000	(22) 4500	(17) 3500
4 - 6	(30) 6000	(25) 5000	(20) 4000
7 - 9	(35) 7000	(30) 6000	(25) 5000

Fuente: Geopier (2020)

Elaborado por: Almeida (2025)

4.5 Presentación y análisis de resultados

Los datos presentados permiten identificar que en general a nivel de la ciudad de Guayaquil la calidad del suelo es pobre con respecto a su capacidad portante y las características en base a su composición de arcillas firmes, medias, blandas y muy blandas en las que con frecuencia las encontramos combinadas con otros tipos de suelo. Por lo que se identifica que en sectores como la Kennedy, el sur y el centro de la ciudad existe aún alto riesgo con respecto a los asentamiento diferenciales que se pueden generar por la pérdida de capacidad portante que puede existir en el suelo producto de un evento por licuefacción del suelo, por lo que su mejoramiento juega un papel important3e para la estructura, es la metodología de mejoramiento de suelo por medio de agregados compactados en las que el suelo tiene una mejora significativa con resto a su rigidez y módulo de elasticidad. Siendo así que su capacidad de resistencia al corte aumentar tres veces más que con un mejoramiento de suelos convencional y así mismo tiene un impacto alto en el presupuesto del proyecto, debió que, al contar con una capacidad mejorada del suelo, el diseño de la

cimentación puede ser menor, debido que se diseñaría para un suelo con mejores características en cuanto a su capacidad de carga.

En cuanto a las capacidades portantes del suelo, se realizó un promedio considerando las zonas con características similares en cuanto a su capacidad para soportar cargas. Además, se evaluaron sus propiedades específicas, como las arcillas amarillas y grises, y su composición en relación con el tipo de suelo presente. Se determinó que, mediante el mejoramiento del suelo con agregados compactados, se podrían lograr mejoras significativas en la capacidad de estos suelos para soportar cargas. Este enfoque se correlaciona con los resultados obtenidos en más de 10,000 proyectos exitosos del sistema Geopier, realizados en suelos evaluados mediante ensayos de penetración estándar (SPT), cuyos valores oscilan entre 1 y 9 golpes. Estos suelos incluyen tipos como arenosos, limosos, turbas y orgánicos.

Se destaca que, en todos los casos analizados, las capacidades portantes podrían aumentar hasta cinco veces, lo que tendría un impacto positivo y significativo en el diseño de la cimentación, reduciendo considerablemente los riesgos asociados con la licuefacción del suelo. Esto se debe a que el suelo alrededor de las columnas de agregado compacto experimentaría un aumento en su densidad relativa, lo que mejoraría las condiciones del suelo matriz, brindando una mayor estabilidad al proyecto.

Además, este sistema de mejoramiento de suelos mediante agregados compactados se adapta a los diferentes tipos de suelo con los que podría enfrentarse el proyecto, convirtiéndose en una opción eficiente y rentable. Esto se debe a que permite diseñar cimentaciones para capacidades portantes mejoradas, lo que evita, en muchos casos, la necesidad de diseñar cimentaciones más grandes debido a la mala calidad del suelo. Dichas cimentaciones de mayor tamaño requieren un mayor tiempo y esfuerzo en su construcción, lo que incrementa los costos y la complejidad del proyecto. En cambio, el uso de este sistema permite optimizar tanto el diseño como los recursos necesarios, reduciendo significativamente los tiempos de ejecución y los costos asociados.

Tabla 16

Capacidad portante promedio en extractos de 0-10 m.

Zona	qu Promedio (t/m2)	qu mejorada (t/m2)	spt-n
zona 6-2	5,26	22-30	1-3
zona 1-3	4,27	25-35	4-6
zona 4-5	3,5	17-25	7-9

Fuente: Terreros (2019)

Elaborado por: Almeida (2025)

El mejoramiento del suelo permite un aumento significativo en su rigidez y densidad, incrementando estas propiedades entre 4 y 5 veces en las zonas con mayor probabilidad de licuefacción. Este proceso reduce la probabilidad de que dicho evento ocurra, lo que a su vez genera un impacto positivo en el proyecto, ya que se podría diseñar la cimentación para un suelo de mejor calidad. El uso de agregados compactos contribuye a este mejoramiento, permitiendo que el suelo se adapte de manera más eficiente a las diversas condiciones del terreno, ya sea en suelos arcillosos, limosos u orgánicos.

CONCLUSIONES

Con respecto a la identificación de zonas con un mayor riesgo de licuefacción del suelo en base a sus condiciones de suelo y capacidad portante se identifica que el riesgo a nivel de la ciudad es considerable debido a las mal calidad del suelo y al alto nivel freático, por lo que una solución eficiente para poder mitigar su impacto en la estructura es la del mejoramiento de suelo por medio de agregados compactados en el que se aumente su rigidez y capacidad de resistencia al corte. Lo que impacta significativamente al proyecto en cuanto a precios, esto debido que al contar con una mejora calidad de suelo, se pueden diseñar zapatas y losas de cimentación en las que se tenga que usar una menos cantidad de concreto y acero para su diseño.

Por lo tanto, el estudio y análisis adecuado del suelo en un proyecto de construcción es crucial para la seguridad estructural de la vivienda. Cuando el terreno presenta limitaciones en su capacidad portante, las técnicas de mejoramiento de suelo ofrecen soluciones efectivas para incrementar la resistencia del suelo y permitir un diseño más eficiente de las cimentaciones. Esto no solo mejora la estabilidad de la estructura, sino que también reduce los costos de construcción al hacer que sea posible el uso de cimientos menos complejos.

Por lo tanto, la integración de un estudio geotécnico detallado, junto con las técnicas adecuadas de mejoramiento de suelo, es esencial para el diseño económico y seguro de las fundaciones y para asegurar la longevidad de la estructura en el tiempo.

RECOMENDACIONES

El estudio y análisis del suelo en el que se va a construir una edificación es fundamental para garantizar la estabilidad y durabilidad de la estructura. La fundación, ya sea una zapata o una losa de cimentación, depende en gran medida de las propiedades geotécnicas del terreno. Por esta razón, se recomienda realizar un estudio geotécnico exhaustivo antes de proceder con el diseño de cualquier tipo de cimentación. Este análisis tiene como objetivo evaluar aspectos clave del suelo, como su capacidad portante, composición, compactación, nivel freático y resistencia al corte.

En muchos casos, los suelos naturales no cumplen con las condiciones requeridas para soportar las cargas de la construcción de manera segura. Esto puede ser debido a la baja resistencia al corte del suelo, lo que puede generar asentamientos excesivos y afectar la estabilidad de la estructura. Para resolver este problema, es posible aplicar técnicas de mejoramiento de suelo.

El mejoramiento del suelo tiene un impacto directo en el diseño de la fundación y, por ende, en la estructura de la vivienda. Al mejorar la capacidad portante del terreno, se reducen las necesidades de cimientos profundos o estructuras costosas que podrían ser necesarias si el terreno no estuviera tratado.

- Disminuir el costo total de la construcción: Las fundaciones más sencillas y superficiales (como las zapatas o losas de cimentación) son menos costosas que las fundaciones profundas (pilotes, micropilotes), que requieren más materiales y técnicas especializadas.
- Optimizar el diseño estructural: Al conocer las características mejoradas del suelo, se pueden diseñar cimientos más económicos y adecuados para las cargas que la estructura debe soportar, sin comprometer la seguridad.
- Ajuste a las condiciones del suelo: Cada terreno tiene características únicas. El mejoramiento del suelo permite diseñar una fundación adaptada a las condiciones geotécnicas locales, lo que asegura la eficiencia y estabilidad de la estructura durante toda su vida útil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badillo, E. J. (1974). MECANICA DE SUELOS. Mexico: Limusa-Noriega.
- Barbat, A. H. (1982). Cálculo sísmico de las estructuras. Editores Técnicos Asociados: España.
- Benito, M. (2021). Estructuras sismorresistentes: Fundamentos de proyecto. España: U.P.M. Press.
- Boccaro, N. (2003). Modeling Complex Systems. New York: Springer New York.
- Caballero, M. G. (2024). El terreno. España: Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politécnica.
- Carlos Trujillo, R. O. (2010). LOS TERREMOTOS: UNA AMENAZA NATURAL LATENTE. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Cassan, M. (1982). LOS ENSAYOS IN SITU EN LA MECANICA DEL SUELO: SU EJECUCION E INTERPRETACION. Barcelona: Editores Técnicos Asociados.
- Contreras. (2012). Proyecto Arquitectónico En Zonas Sísmicas. Mexico: Palibrio.
- Crespo, C. (2007). Mecánica de suelos y cimentaciones. México: Limusa.
- Cunill. (2016). Las transformaciones del espacio geohistórico latinoamericano 1930-1990. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Espindola, J. M. (1994). Terremotos y ondas sísmicas. . Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica.
- Fellenius, B. H. (2018). Bases para el Diseño de Fundaciones. Sidney: Lulu.com.
- Figueroa, L. H. (2024). Degradación, daños, lesiones en la edificación: El estudio patológico. . Colombia: Universidad del Valle.
- Gómez, M. (2006). Introducción a la metodología de la investigación científica. Cordova: Brujas.
- Graux, D. (1975). Fundamentos de mecánica del suelo, proyecto de muros y cimentaciones. Barcelona: Editores Técnicos Asociados (ETA).

- Geopier. (16 de junio 2020). Geopier Solutions Introducción al Mejoramiento y Refuerzo de Suelos Usando Pilas de Agregado Compactado Geopier: <https://www.youtube.com/watch?v=mD6OvEtWw8M>
- Geopier. (26 de junio 2020). Geopier Soluciones de Mejoramiento de Suelos Geopier® para Mitigación de Licuación: <https://www.youtube.com/watch?v=CoSPIDfbgts&t=732s>
- Geopier. (1 de mayo 2019). Sistema de Mejora de Suelos con Columna de Grava Compactada: <https://www.youtube.com/watch?v=PvKcZCCwvXc>
- Geopier. (27 de mayo 2020). Mejoramiento y refuerzo de suelos usando columnas de agregado compactado Geopier: <https://www.youtube.com/watch?v=YDavrc-nfaU>
- Hodgson, J. (1987). Muestreo y descripción de suelos. Barcelona: Reverté.
- IG_EPN. (1 de Noviembre de 2023). Instituto Geofísico EPN. Obtenido de Instituto Geofísico EPN: <https://www.igepn.edu.ec/mapas/peligro-sismico/mapa-peligro-sismico.html>
- INPRES–, I. N. (01 de 01 de 2025). Instituto Nacional de Prevención Sísmica. (I. N. Sísmica, Editor) Obtenido de [argentina.gob.ar](https://www.argentina.gob.ar): <https://www.argentina.gob.ar/inpres/docentes-y-alumnos/deriva-continental>
- Iriondo, M. H. (2007). Introducción a la Geología. Argentina: Editorial Brujas.
- Llano, S. (1975). Mecánica de suelos. Barcelona: Editores Técnicos Asociados.
- Montejo, M. M. (2019). Estabilización de suelos. Colombia: Ediciones de la U.
- Paúl, F. (21 de Mayo de 2020). BBC NEWS MUNDO. Obtenido de BBC NEWS MUNDO: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-52704487>
- Rico, H. d. (1981). La ingeniería de suelos en las vías terrestres. Balderas: Limusa.
- Rodríguez, H. S. (2022). MANUAL DE CRITERIOS GENERALES PARA LA ESTRUCTURACIÓN DE EDIFICIOS DE ACERO. Mexico: CENTRO REGIONAL DE DESARROLLO EN INGENIERIA CIVIL.

Rotondo, L. M. (2020). Diseño sismorresistente de edificios: Técnicas convencionales y avanzadas. España: Reverte.

Sociedad Geológica de Londres, c. c. (15 de Marzo de 2015). ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS. Obtenido de ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS: https://www.icog.es/TyT/files/geo_sociedad.pdf

Tavera, H. (2008). La sismicidad en el mundo. Geofísica, 25-27.

Terrero, C. (2019). Caracterización estratigráfica de los suelos de Guayaquil. Guayaquil: Universidad Espiritu Santo.

Villalobos, F. (2016). Mecánica de suelos. Chile: Ediciones UCSC.

Zobin, V. M. (2004). Los terremotos y sus peligros: cómo sobrevivir a ellos. México: Universidad de Colima.