



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis del potencial de licuación para mejorar los suelos arenosos en el
sector de Lomo de Corvina - Villa el Salvador

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero(a) Civil

AUTORES

Bellido Garcia, Jordan Fabricio

ORCID: 0000-0002-7380-294X

Camayo Romero, Yumira Lesly

ORCID: 0000-0002-9686-0587

ASESOR

Torres Chung, César Roberto

ORCID: 0000-0002-3212-2817

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos de autores

Bellido Garcia, Jordan Fabricio

DNI: 70617344

Camayo Romero, Yumira Lesly

DNI: 74159458

Datos de asesor

Torres Chung, César Roberto

DNI: 41182279

Datos del jurado

JURADO 1

Donayre Córdova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-4778-3789

JURADO 2

Chavarria Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

ORCID: 0000-0002-1759-2132

JURADO 3

Chavarry Vallejos, Carlos Magno

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 02.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

A Dios, por siempre darme la fortaleza de nunca rendirme. A mis padres, Jenny e Freddy, que siempre me dieron su apoyo incondicional, sus consejos y sus ejemplos con acciones hacen de mi la mujer perseverante que soy. A mi hermana Angie, que siempre me apoyó en este camino, y a quienes me brindaron sus consejos, apoyo y conocimientos.

Camayo Romero, Yumira Lesly

A mi mamá Anita que desde el cielo guía mi camino, por todo su apoyo incondicional durante todos estos años, que con su motivación hizo de mi lo que soy ahora, gracias mamá un beso al cielo; a mi papá Tito por todo su apoyo; a mi hermano Paul, por motivarme a ser un profesional y enseñarme a superar todos mis miedos.

Bellido Garcia, Jordan Fabricio

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra alma mater, que en todos estos años de pregrado nos ha brindado los conocimientos tanto morales como académicos de esta maravillosa carrera; a nuestro asesor Cesar Torres que nos brindó sus conocimientos y su apoyo, y a todas personas que de alguna manera nos apoyaron en el desarrollo de la tesis, entre ellos docentes y familiares.

Bellido Garcia, Jordan Fabricio

Camayo Romero, Yumira Lesly

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.1.1 Árbol del problema.....	4
1.2 Formulación del problema.....	5
1.2.1 Problema general.....	5
1.2.2 Problemas específicos	5
1.3 Objetivos de la investigación.....	6
1.3.1 Objetivos generales	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.4 Delimitación de la investigación:	6
1.5 Importancia y justificación del estudio.....	6
1.5.1 Conveniencia	6
1.5.2 Relevancia social.....	7
1.5.3 Aplicaciones practicas.....	7
1.5.4 Utilidad metodológica	7
1.6 Importancia de la investigación.....	7
1.7 Limitaciones del estudio.....	7
1.7.1 Falta de estudios previos de investigación	7
1.7.2 Metodológicos o prácticos	8
1.7.3 Medidas para la recolección de los datos	8
1.7.4 Obstáculos en la investigación	8
1.8. Alcance	8
1.9. Viabilidad del estudio.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1 Marco histórico.....	9
2.2 Investigaciones relacionadas con el tema.....	12
2.2.1 Investigaciones internacionales	12
2.2.2 Investigaciones nacionales	12
2.2.3 Artículos científicos	13

2.3 Estructura teórica.....	15
2.3.1 Clasificación de Suelos	15
2.3.2. Licuación de suelos	16
2.3.2 Características de un suelo licuable	19
2.3.3 Caracterización Geotécnica.....	20
2.3.4 Ensayos en Campo	20
2.3.5 Ensayos de Laboratorio.....	22
2.3.6 Criterios para calcular los efectos del daño inducido por licuación.....	23
2.3.7 Métodos para la Mitigación de la Licuefacción	28
2.4. Definición de términos básicos.....	44
CAPÍTULO III: HIPÓTESIS	46
3.1 Hipótesis	46
3.1.1 Hipótesis general	46
3.1.2 Hipótesis específica.....	46
3.2 Sistema de variable.....	46
3.2.1. Definición conceptual y operacional.....	46
3.2.2 Operacionalización de las variables	47
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	48
4.1 Método de investigación.....	48
4.1.1 Orientación de investigación.....	48
4.1.2 Enfoque de investigación	48
4.1.3 Fuente de información.....	48
4.2 Tipo de investigación	48
4.3. Nivel de la investigación	48
4.4 Diseño de investigación.....	49
4.5. Población del estudio.....	49
4.5.1 Población.....	49
4.5.2 Muestra.....	49
4.6 Técnicas e instrumentación de recolección de datos	49
4.6.1 Instrumentación de recolección de datos	49
4.7. Descripción de procesamiento de análisis	49
CAPITULO V: PRESENTACION Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	50
5.1 Diagnóstico y situación actual.....	52
5.1.1. Características Geográficas del proyecto	52

5.1.2 Geomorfología y Geología de la zona de estudio	53
5.2 Presentación de resultados.....	56
5.2.1 Perfil Geotécnico de los Punto Estudiados	56
5.2.2 Ensayo de corte directo	60
5.2.3 Cálculo de los Esfuerzos	62
5.2.4 Determinación de la Susceptibilidad de Licuación (M=7.5)	68
5.2.5 Determinación de la Susceptibilidad de Licuación (M=8.0)	73
5.2.6 Modelamiento en PLAXIS 2D	76
5.3 Análisis de los resultados	81
5.4 Contrastación de hipótesis	84
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	87
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES	89
REFERENCIAS	90
ANEXO.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Censos de población y vivienda 1981-1993-2007-2017	1
Tabla 2. Criterio de clasificación de los suelos según casa grande	16
Tabla 3. Corrección por eficiencia de martinete.....	21
Tabla 4. Corrección por el diámetro de perforación.....	22
Tabla 5. Corrección de muestreador.....	22
Tabla 6. Corrección por longitud de barra.....	22
Tabla 7. Factores de escala de magnitud.	25
Tabla 8: Clasificación de métodos de mejora del terreno	31
Tabla 9. Diferencia entre tratamiento, mejora y refuerzo.....	33
Tabla 10. Clasificación de los métodos de mejora del terreno.....	33
Tabla 11. Tabla de variables.....	47
Tabla 12. Clasificación de suelos por zonas.....	51
Tabla 13. Ensayos de laboratorio	56
Tabla 14. Ensayos de laboratorio	57
Tabla 15. Ensayos de laboratorio	59
Tabla 16. Ensayo de corte directo.	60
Tabla 17. Cálculo de esfuerzo en el punto PP- 03.....	62
Tabla 18. Calculo del esfuerzo en el punto PP-04.....	63
Tabla 19. Calculo del esfuerzo en el punto PP-05.....	64
Tabla 20. correcciones tomadas de las tablas 3, 4,5 y 6.....	65
Tabla 21. correcciones tomadas de las tablas 3, 4,5 y 6.....	66
Tabla 22. Calculo de corrección presión por sobrecarga.....	66
Tabla 23. Calculo de corrección de presión por sobrecarga.....	66
Tabla 24. Cálculo de corrección de presión por sobrecarga.....	67
Tabla 25. Susceptibilidad del suelo	70
Tabla 26. Susceptibilidad de suelos.....	71
Tabla 27. Susceptibilidad de suelos.....	72
Tabla 28.Susceptibilidad de suelos.....	73
Tabla 29. Susceptibilidad de suelos.....	74
Tabla 30. Susceptibilidad de suelos.....	75
Tabla 31. Análisis comparativas de distintas técnicas de tratamientos de terreno.	81
Tabla 32. Factores de seguridad obtenidos de M=7.0 y M=8.0	87

Tabla 33. Matriz de Consistencia.	93
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Perfil Longitudinal de Villa el Salvador	2
Figura 2. Derrumbe de una casa de tres pisos en Lomo de Corvina	2
Figura 3. Tipo de Suelo Lomo de Corvina	3
Figura 4. Número total de ocurrencia de eventos de tipo peligroso 2014-2017.....	4
Figura 5. Árbol de Problemas.....	5
Figura 6. Licuación de suelos en la cimentación del Puente Yauca.....	10
Figura 7. Falla del talud.....	11
Figura 8. Daños en berma y pavimento de la calzada norte de la carretera.	11
Figura 9. Componentes del suelo.	15
Figura 10. Licuación de suelos en Italia ensayo con explosivos.	17
Figura 11. Volcanes de Arena Ciudad de Moyobamba- San Martin.	17
Figura 12. Línea de volcanes de arena y fisuras.....	18
Figura 13. Licuación a detalle en arenas.	18
Figura 14. Aplicabilidad de las técnicas de mejora del terreno.....	30
Figura 15. Clasificación de las técnicas de mejora de terrenos.....	31
Figura 16. Proceso de colmatación de suelos por inyección de mortero.....	34
Figura 17. Ejecución de Lechada de compactación.	35
Figura 18. Aplicaciones de Lechada.....	36
Figura 19. Método de inyección de lechada U/D.	36
Figura 20. Ejecución de columnas de grava.....	38
Figura 21. Ámbito de aplicación de las técnicas	39
Figura 22. Principales típicos de inclusiones rígidas.....	40
Figura 23. Inclusiones prefabricadas ejecutadas in situ.	40
Figura 24. aplicabilidad de la vibrocompactación.....	41
Figura 25. Ladera de lomo de corvina que mira hacia la panamericana Sur.....	50
Figura 26. Casas prefabricadas sector Lomo de Corvina.	50
Figura 27. Presencia de excavación de la parte baja del sector lomo de corvina.....	51
Figura 28. Ubicación del sector Lomo de Corvina.....	52
Figura 29. Delimitación de la zona de estudio	52
Figura 30. Referencia de la ubicación del cerro Lomo de corvina.....	53
Figura 31. Mapa Geológico del sector Lomo de Corvina.	54
Figura 32. Gráfico de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal del PP-03.	61
Figura 33. Gráfico de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal del PP-04	61

Figura 34. Gráfico de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal del PP-05.	62
Figura 35. Diagrama de esfuerzos vertical, con 5.4 m de nivel freático – PP 03.....	63
Figura 36. Diagrama de esfuerzos vertical, con 5.4 m de nivel freático – PP 04.....	64
Figura 37. Diagrama de esfuerzos vertical, con 5.4 m de nivel freático – PP 05.....	65
Figura 38. Aceleración Sísmica.....	68
Figura 39. Relaciones de esfuerzos cíclicos.	69
Figura 40. Relaciones de esfuerzos cíclicos	69
Figura 41. Gráfico de profundidad vs Factor de seguridad (M=7.5).....	70
Figura 42. Gráfico de profundidad vs Factor de seguridad (M=7.5).....	71
Figura 43. Gráfico de profundidad vs Factor de seguridad (M=7.5).....	73
Figura 44. Gráfico de profundidad vs Factor de seguridad (M=8.0).....	74
Figura 45. Gráfico de profundidad vs Factor de seguridad (M=8.0).....	75
Figura 46. Gráfico de profundidad vs Factor de seguridad (M=8.0).....	76
Figura 47. Dimensionamiento en PLAXIS 2D del terreno a estudiar.	77
Figura 48. propiedades de terreno del suelo modelado.	77
Figura 49. Aplicación de desplazamiento vertical.....	78
Figura 50. Grafico de tensiones generadas por el desplazamiento aplicado.	78
Figura 51. Grafico de nivel freático.	79
Figura 52. Grafico de deformaciones verticales.....	79
Figura 53. Grafico de desplazamientos totales.....	80
Figura 54. Grafico de desplazamientos verticales (bulbo de presiones).	80
Figura 55. Tabla de valores obtenidos del cálculo.	81
Figura 56. Equipo vibrador con desplazamientos verticales.	83
Figura 57. Reordenación de los granos durante la compactación.	84
Figura 58. Procedimiento constructivo de la vibrocompactación.	84

RESUMEN

Esta investigación, tuvo como objetivo principal analizar el potencial de Licuación de Suelos para determinar zonas altamente licuables en caso de un sismo en la zona de Lomo de Corvina Villa El Salvador, se recopiló información y metodologías de análisis; así como también se recopiló el estudio de Mecánica de suelos y análisis de laboratorio de la zona de estudio, con la metodología elegida se hizo el análisis del Potencial de Licuación de suelos. El método de investigación es deductivo, tipo de investigación descriptiva y explicativa, diseño de investigación es no experimental. Se inicio con la recopilación de información acerca de antecedentes de sismo en el Perú como también se recopiló las metodologías existentes para analizar el potencial de licuación de suelos; así como también información preliminar del área en estudio tal como su topografía, geología, geomorfología, se ejecutó el Estudio de Mecánica de Suelos basado en recopilación de ensayos de penetración estándar (SPT), para posteriormente obtener , la ubicación del nivel freático y la resistencia a la penetración del suelo. En la etapa final, se aplicó la metodología simplificada de Seed e Idriss para analizar el Potencial de Licuefacción de Suelos, posteriormente se identificó las profundidades en las cuales había el fenómeno de licuación tras la interpretación de los resultados se pudo determinar que de los tres puntos estudiados el PP 05 es el cuál es de mayor potencial de licuación, se recomienda la aplicación de otros métodos para determinar la susceptibilidad de la licuación y así hacer una comparación con los resultados obtenidos en esta investigación.

Palabras Clave: Licuefacción, Ensayo de Penetración Estándar, Nivel Freático, Metodología Simplificada, mitigación de licuación.

ABSTRACT

The main objective of this research was to analyze the potential of Soil Liquefaction to determine highly liquefiable areas in the event of an earthquake in the area of Lomo de Corvina Villa El Salvador, information and analysis methodologies were collected; as well as the study of Soil Mechanics and laboratory analysis of the study area, with the chosen methodology the analysis of the Liquefaction Potential of soils was made. The research method is deductive, type of descriptive and explanatory research, non-experimental research design. It began with the collection of information about the history of earthquakes in Peru, as well as the existing methodologies to analyze the potential for soil liquefaction; as well as preliminary information of the area under study such as its topography, geology, geomorphology, the Soil Mechanics Study was carried out based on the compilation of standard penetration tests (SPT), to subsequently obtain the location of the water table and the resistance to soil penetration. In the final stage, the simplified methodology of Seed and Idriss was applied to analyze the Liquefaction Potential of Soils, later the depths in which there was the liquefaction phenomenon were identified after the interpretation of the results it was possible to determine that of the three points Study pp05 is the one with the highest liquefaction potential, the application of other methods is recommended to determine the susceptibility of liquefaction and thus make a comparison with the results obtained in this investigation.

Key Words: Liquefaction, Standard Penetration Test, Water Table, Simplified Methodology, liquefaction mitigation.

INTRODUCCIÓN

La licuación de suelos es un fenómeno presente a lo largo de la historia en el Perú debido a que nos encontramos dentro del cinturón de fuego lo que nos hace más propensos a que en cualquier momento volvamos a pasar por un sismo de magnitudes fuertes, empezamos abordando el concepto de licuación de suelos y cuando se presenta, este fenómeno es causado por la vibración de los sismos en suelos granulares en otras palabras podría decirse también que el material no consolidado por lo general arenas, pierde resistencia al esfuerzo cortante a causa de algún movimiento sísmico, que rompe su estructura granular. Al iniciar una vibración a causa de un sismo, el material se expande y las partículas sólidas adoptan un estado muy suelto; cuando el movimiento sísmico cesa, el material tiende a compactarse bruscamente, produciendo las presiones intersticiales que causan la licuación.

La licuación de suelos ha sido el culpable de los daños causados en diversas infraestructuras dado que van desde pequeños volcanes de arena hasta deslizamientos de terreno masivo. hoy en día se presentan diversos estudios con distintas metodologías para evaluar el potencial de licuefacción; muchos de estas metodologías derivan del método simplificado de Seed & Idriss (1971); con estos métodos es posible realizar estudios para determinar la licuación de los suelos, el objetivo de esta tesis, es dar las herramientas necesarias para determinar el análisis de un suelo potencialmente licuable y conocer si existe o no la licuefacción de suelos como también darle una solución para poder mitigar la licuefacción en suelos arenosos.

El presente trabajo de investigación se divide en cinco capítulos: El Capítulo I EL planteamiento del problema, se presenta la realidad problemática del fenómeno licuefacción de suelos y sus consecuencias, el planteamiento del problema, hipótesis, delimitaciones, justificación e importancia de la investigación. Finalmente se definen los objetivos de la Investigación. El Capítulo II comprende el Marco Teórico, donde se presenta una recopilación de sismos ocurridos en el Perú a lo largo de estos años como también se recopiló investigaciones más importantes en el ámbito nacional e internacional, como también los artículos científicos; las Bases Conceptuales. El Capítulo III llamado Marco Metodológico, se expone los procedimientos seguidos para los ensayos

de mecánica de suelos, el cálculo de licuefacción con el método simplificado de Seed e Idriss. Capítulo IV: Análisis e interpretación de los resultados, se exponen los resultados obtenidos de los ensayos recopilados y del cálculo de licuefacción con el método simplificado de Seed e Idriss. El Capítulo V comprende las Conclusiones y Recomendaciones.

CAPÍTULO I: PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Partiendo de la problemática sobre nuestro tema de investigación sabemos que vivimos en un país el cual no para de desarrollarse en el ámbito de la ingeniería civil y esto lo podemos ver con el aumento de construcciones ya sea de edificaciones como aperturas de carretera, puentes, túneles, etc. Sabemos también que en el borde occidental de nuestro país se muestra un alto índice de ocurrencia de eventos sísmicos y que de acuerdo a su magnitud, muchos de ellos han producido daños importantes en ciudades (Tavera, 2017) pero una gran cantidad de la población no es consciente de ello y debido a eso existen muchas construcciones informales y en zonas peligrosas en nuestro país, teniendo en cuenta también el gran crecimiento poblacional que tenemos en los últimos años como se puede apreciar en la tabla 1.

Tabla 1. Censos de población y vivienda 1981-1993-2007-2017

Ámbito Territorial	Superficie		Población censada			
	Territorial		1981	1993	2007	2017
	Km2	%				
Lima	2738.13	100	4608010	6345856	8482617	85749.74
Metropolitana						
Villa el Salvador	35.46	1.3	135.449	254.641	381.79	393.254

Fuente: (INEI, 2018)

Precisamente en la zona de villa el salvador existe zonas muy vulnerables a desastres debido principalmente a su tipo de suelo ya que el material predominante son arenas sueltas la cual genera asentamientos afectando gravemente las construcciones informales realizadas por la población, Precisamente, el riesgo de afectación en caso de un desastre natural es mucho mayor entre quienes habitan viviendas construidas informalmente. (CAPECO, 2018)

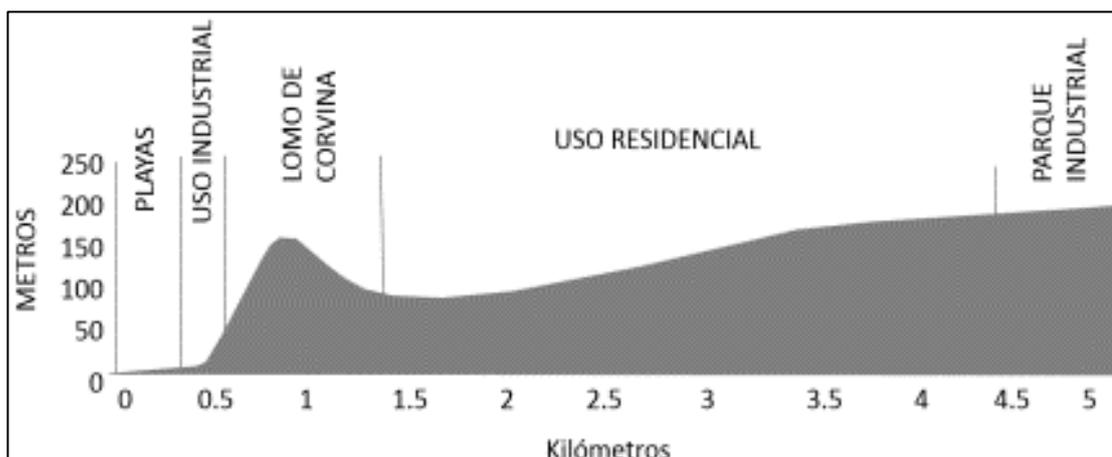


Figura 1 Perfil Longitudinal de Villa el Salvador.

Fuente. (Desco, 2007)

En la figura N 1 podemos observar el perfil longitudinal del sector de villa el salvador, en ella podemos observar que el AA. HH son acumulaciones eólicas que con el tiempo se han conformado como cerros de arena que constituyen una lomada aislada de unos 150 m de altura y 5km de longitud en el sentido SE-NO (Municipalidad Distrital de Villa El Salvador, 2019), estas arenas formadas por el lomo de corvina han migrado desde las playas del litoral transportadas por el viento.

Otros puntos a observar debido a las construcciones informales es el nivel económico de las personas las cuales toman aquellas zonas vulnerables para vivir, ya que no solo se puede observar construcciones de albañilería sino también de materiales nobles, el cual incrementa los daños que pueden sufrir la población de la zona de lomo de corvina debido a la licuación de los suelos. Los factores de sitio, y algunos sectores con pendiente de 18 a 25 grados e incluso en algunas zonas hasta 45 grados, no permiten la construcción de viviendas de más de dos pisos.



Figura 2. Derrumbe de una casa de tres pisos en Lomo de Corvina.

Fuente. (Pérez, 2021)

Recalcando lo mencionado anteriormente el sector de lomo de corvina de ubica en una zona altamente sísmica de la costa, que esto podría generar un potencial desencadenamiento de procesos geodinámicos como la licuefacción de suelos, derrumbes y flujos secos, por ello es considerada una zona de alto riesgo por Defensa Civil y el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2018)

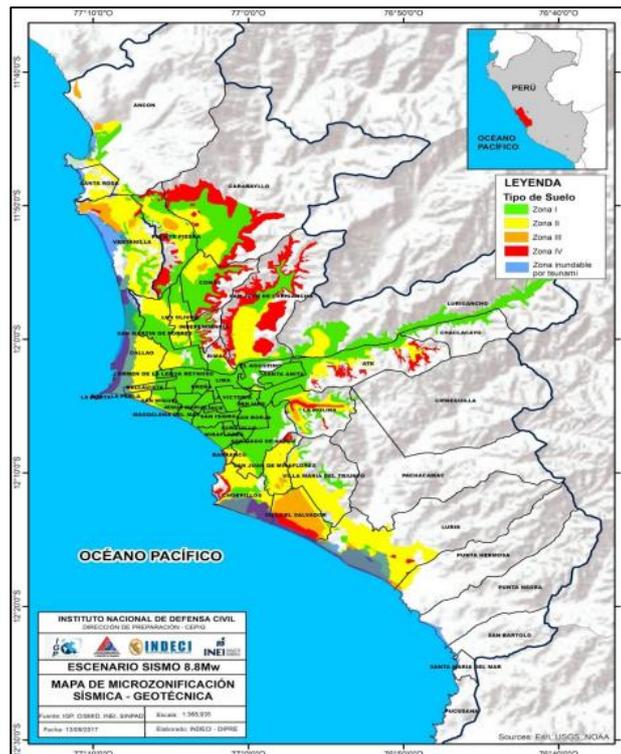


Figura 3 Tipo de Suelo Lomo de Corvina.
Fuente. (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2018)

Como se aprecia en la figura 3 el AA. HH Lomo de corvina se ubica en la zona IV el cual indica que está formado por depósitos de arena eólicas de gran espesor en estado suelto y los depósitos marinos. Se encuentran conformando taludes de fuerte pendiente, en consecuencia, son susceptibles a sufrir deslizamientos que involucren a grandes masas de suelos. Esta zona está considerada como un alto nivel de peligro sísmico. (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2018)

Se identifica un pendiente promedio del 36%, esto puede resultar muy peligroso ante lo sismos futuros que puedan suceder en la zona, generando derrumbes en la zona perjudicando sectores vecinos perjudicando su calidad de vida.

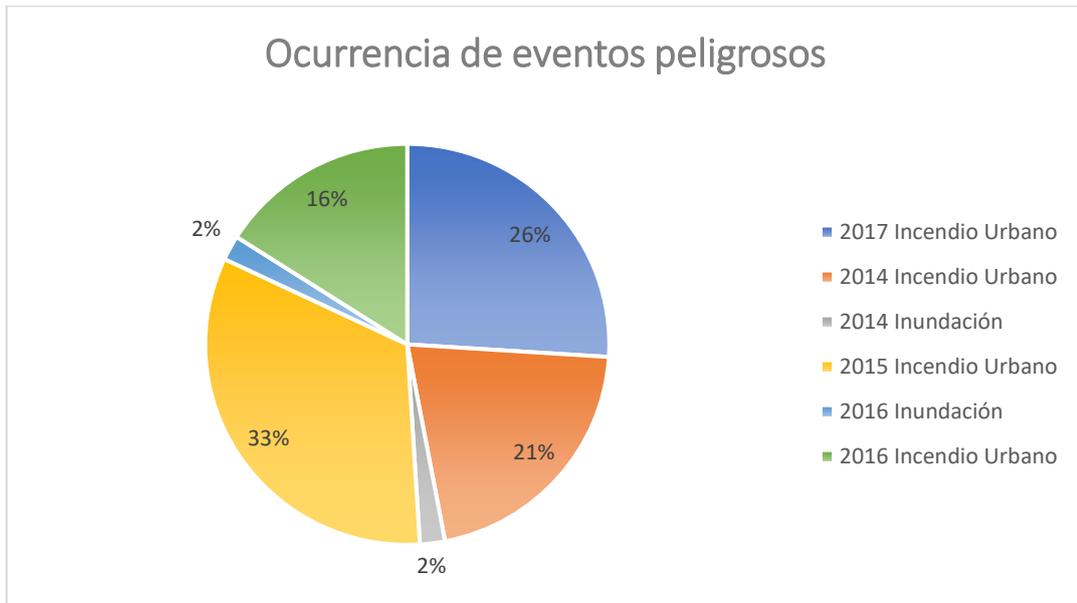


Figura 4. Número total de ocurrencia de eventos de tipo peligroso 2014-2017.
Fuente. (Municipalidad Distrital de Villa El Salvador, 2019)

De la figura 4 podemos observar la ocurrencia de eventos peligrosos en el distrito de villa el salvador en donde podemos destacar las inundaciones ocurridas en el año 2016 el cual esto puede alterar de manera peligrosa los suelos de este sector generando la licuefacción del terreno.

La intención de este análisis es identificar el grado de susceptibilidad en los suelos de lomo de corvina para evitar los futuros riesgos de asentamientos, así como también evitar las construcciones informales, con ello buscamos dejar evidenciado el mejor método de mitigación de licuación para futuras construcciones en la zona de estudio.

1.1.1 Árbol del problema

En la figura 5 se puede observar el principal problema de la población; las causas y los efectos por el que genera la licuación de los suelos arenosos.

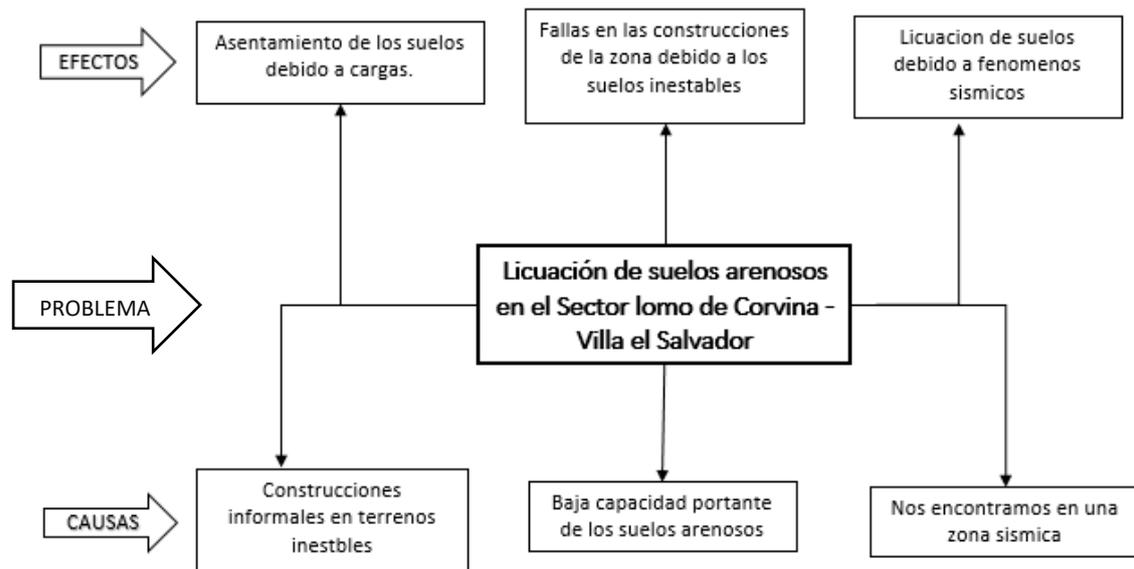


Figura 5. Árbol de Problemas.
Fuente Elaboración Propia

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo se determinará el potencial de licuación para suelos arenosos en el sector de Lomo de Corvina- Villa el Salvador?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo evaluar el potencial de licuación para suelos arenosos potencialmente licuables usando la metodología Seed E Idriss?
- ¿Cuáles son las propiedades físicas y parámetros geotécnicos para determinar el grado de susceptibilidad de licuación de suelos el sector Lomo de Corvina - Villa el Salvador?
- ¿De qué manera un movimiento sísmico puede generar que el suelo pierda su estabilidad y provoque asentamiento?
- ¿Qué tipo de método de mitigación de licuefacción serán más efectivos para los suelos del sector Lomo de corvina – Villa el salvador?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivos generales

Determinar el potencial de licuación en suelos arenosos para obtener una solución que permita mitigar la licuefacción de los suelos en el sector de Lomo de Corvina-Villa el Salvador.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Evaluar el potencial de licuación para suelos arenosos usando la metodología Seed E Idriss.
- b) Determinar cuáles son las propiedades físicas y parámetros geotécnicos para determinar el grado de susceptibilidad de licuación de suelos.
- c) Identificar como un movimiento sísmico genera que el suelo pierda su estabilidad y provoque asentamiento.
- d) Determinar el método de mitigación de licuefacción más efectivo para los suelos.

1.4. Delimitación de la investigación:

- a. Geográfica: La zona de estudio donde se realizará la recolección de datos se encuentra situada en el sector Lomo de Corvina en el distrito de Villa El Salvador, Lima, Perú. Con un área aproximada de 0.17 km² y una elevación entre 90 – 120 m.s.n.m.
En este sector encontramos viviendas de material noble e incluso prefabricadas, en este sector no se encuentran vías asfaltadas.
- b. Temporal: Este estudio abarco el periodo comprendido entre los meses mayo y noviembre del año 2022.
- c. Temática: Este estudio corresponde al análisis del potencial de licuación para suelo arenosos en el sector de Lomo de Corvina – Villa El Salvador.
- d. Muestral: En la presente investigación se recopilará información de artículos científicos, tesis nacionales, tesis internacionales, libros e informes por parte de la municipalidad de Villa el Salvador – Lima.

1.5 Importancia y justificación del estudio

1.5.1 Conveniencia

Esta investigación tiene como propósito estudiar el análisis del potencial de licuación que existe en suelos arenosos, de una forma en la que se puede cerrar brechas de conocimiento de la misma lo cual se beneficiaría en buscar un mejor

método para disminuir la licuación en los suelos que muchas veces provoca asentamientos.

1.5.2 Relevancia social

Con esta propuesta tenemos la finalidad de mejorar la calidad de trabajos realizados en esta zona proponiendo diferentes métodos para mitigar la licuefacción con ello también mejoraremos la vida de los habitantes de la zona del lomo de corvina, teniendo un lugar seguro en el cual vivir, en donde puedan realizar las construcciones de sus viviendas sin miedo que posteriormente suceda algún desastre debido a algún movimiento sísmico.

1.5.3 Aplicaciones practicas

La presente investigación se enfoca en el desarrollo de distintos métodos de análisis de riesgos con el fin de evitar la licuación de suelos y evitar su asentamiento.

Se busca dar métodos de solución con los problemas de la inestabilidad de los suelos licuables no solo del sector de Lomo de Corvina sino también en diferentes zonas del Perú que presenten tipos de suelos similares.

1.5.4 Utilidad metodológica

Con nuestra investigación buscamos no solo dar soluciones a un sector, sino también se pueda usar como referencia en otros sectores con suelos de similar condición en el Perú.

1.6 Importancia de la investigación

La importancia de esta investigación radica en el cierre de brechas de conocimiento brindando un análisis de licuación para suelos arenosos, ya que vivimos en una zona sísmica donde este tipo de falla es común en distintos puntos de nuestro país esta investigación llega como un aporte a ser de referencia para las futuras construcciones en la zona de estudio.

1.7 Limitaciones del estudio

1.7.1 Falta de estudios previos de investigación

Se tiene estudios generales de la zona, pero falta de estudios específicos de licuefacción de suelos en la zona, por ello hemos tomado como referencia investigaciones nacionales e internacionales.

1.7.2 Metodológicos o prácticos

Para esta investigación se recopiló datos de investigaciones internacionales, por ello los resultados obtenidos pueden variar a gran medida ya que estamos aplicándolo a suelos de característica similar pudiendo obtener resultados negativos.

1.7.3 Medidas para la recolección de los datos

Según lo investigado para un estudio de licuefacción se necesita un estudio de microzonificación sísmica de la zona de estudio, la obtención de esto nos dificulta para la toma de datos de nuestra investigación.

1.7.4 Obstáculos en la investigación

Para aplicar este método se necesita de un proveedor el cual cuente con personales capacitados específicamente para su realización, pero en nuestro país existen escasos proveedores con personales capacitados por lo que limita su aplicación.

1.8. Alcance

Mediante esta investigación buscamos analizar el potencial de licuación en suelos arenosos con el fin de evitar asentamientos en las futuras construcciones, como la zona elegida es un pueblo joven aun con construcciones precarias buscamos dar soluciones para construcciones futuras.

1.9. Viabilidad del estudio

Si bien no encontramos muchas aplicaciones y/o investigaciones nacionales sobre este tema, si encontramos investigaciones internacionales el cual las propiedades de sus suelos son similares a la nuestra.

Esta investigación servirá de gran ayuda para los habitantes de Lomo de Corvina el cual mejorará su calidad de vida ofreciéndole mayor seguridad a sus construcciones ante este problema de la licuación de suelos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco histórico

El terremoto es uno de los desastres naturales más graves. Los grandes terremotos a menudo causan pérdidas de vidas humanas y bienes. (Binhua, Ning, & Denghua, 2018) El Perú se encuentra en una región de alta actividad sísmica debido a la interacción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamérica, así como por la actividad de fallas geológicas superficiales. Estos eventos sísmicos han provocado considerables y continuos daños humanos y materiales. (Ortiz & Alva, 2019)

Y dado que somos un país ubicado en el cinturón de fuego estamos en constante movimiento sísmico, el resultado de estos movimientos es evidenciados en las fallas del suelo y a lo largo de la historia vemos en documentación fotográfica los problemas de licuefacción en suelos.

A continuación, mostraremos los cuatro últimos movimientos sísmicos cerca de nuestra zona de estudio, recopilación gracias a (Ortiz & Alva, 2019).

a) Sismo Lima del 17 de octubre de 1966

La ciudad de Lima fue sacudida por un terremoto. Aparecieron numerosas grietas en la Hacienda San Nicolás, 156 km al norte de Lima, varias de las cuales expulsaron agua de color amarillo. Este fue un sismo de magnitud (Ms) 6.3 con una intensidad máxima de MM VIII. (Ortiz & Alva, 2019)

b) Sismo Cañete del 3 de octubre de 1974

Los fenómenos de licuefacción local ocurrieron en el valle de Cañete donde el nivel freático es muy somero. El fenómeno local más significativo ocurrió en la Cooperativa La Quebrada, cubriendo un área de 30.000 m². (Ortiz & Alva, 2019)

c) Sismo De Nasca del 12 De noviembre de 1996

La región de Nasca - Acarí, a 450 km al sur de Lima. El sismo fue de subducción de magnitud Mw = 7.7, profundidad focal de 33 km y ocurrió 135 km al suroeste de la ciudad de Nasca. Intensidad de VII MM en Nasca. Licuación de suelos en el lecho del río Yauca observándose volcanes de arena, eyección de lodo y agrietamientos.

En la figura 6 observamos el desplazamiento del tablero del puente del río Yauca por licuación de suelos en la cimentación. (Ortiz & Alva, 2019)

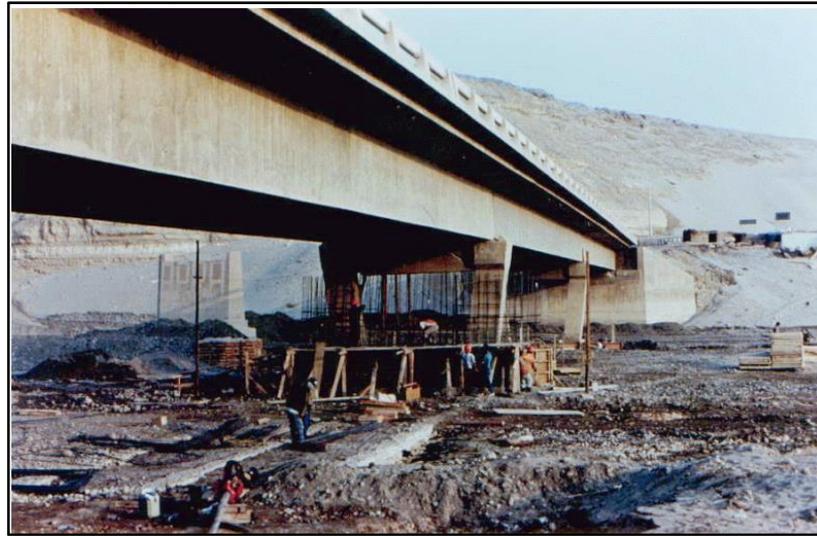


Figura 6. Licuación de suelos en la cimentación del Puente Yauca.

Fuente. Alva J. (2019)

d) Sismo Pisco del 15 de agosto de 2007

A las 6:40 pm hora local, un fuerte sismo sacudió la costa del centro del Perú. El epicentro se ubicó a 40 km al noroeste de la ciudad de Chincha, 105 km al noroeste de la ciudad de Ica y 150 km al sureste de Lima, la capital de Perú. Las coordenadas del epicentro fueron 13.354°S 76.509°W, según el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, 2008). El USGS estimó que la Magnitud Momento de este evento fue $M = 8,0 \pm 0,1$, y la profundidad del hipocentro estuvo entre 26 km y 39 km. La intensidad sísmica máxima fue de VIII grados en la escala de Mercalli Modificada y la aceleración máxima registrada fue de 483 cm/s² en la estación Parcona (IGP) en Ica. (Ortiz & Alva, 2019)

Como vemos en la figura 7 se localizó una falla de talud de 400 m de longitud en la carretera panamericana Sur.



Figura 7. Falla del talud.

Fuente: Alba J. (2019)

Los daños en carreteras, puentes, caída de postes de energía, ruptura de líneas de agua y alcantarillas, avería de las instalaciones del puerto fueron notorios en la figura 8 se puede observar falla en desplazamiento lateral por licuación de suelos.



Figura 8: Daños en berma y pavimento de la calzada norte de la carretera.

Fuente: Alba J. (2019)

2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1 Investigaciones internacionales

(Yepes, 2021) el libro trata de los aspectos relacionados con los procedimientos constructivos, la maquinaria y los medios auxiliares necesarios para realizar la compactación y la mejora del terreno. La novedad de esta obra radica en el tratamiento constructivo de estas técnicas, donde las fotografías e ilustraciones añaden valor a las explicaciones realizadas en el texto. Además de incluir una amplia bibliografía, se aportan cuestiones de autoevaluación con respuestas para el aprendizaje de los conceptos más importantes. Es un libro de texto dirigido a estudiantes de ingeniería y arquitectura, con una fuerte orientación hacia la construcción. No obstante, también se estructura como un manual de consulta para los profesionales relacionados con el proyecto y la construcción de obras. Además, este libro complementa los aspectos constructivos de otro tipo de textos estructurales o geotécnicos, más orientados a la teoría y los problemas.

2.2.2 Investigaciones nacionales

(Iturriaga Anco, 2018) de investigación está orientado a determinar en qué medida se mejora el suelo con inyección de concreto líquido con fines de cimentación en edificaciones, Para la elaboración de la presente tesis se realizó en un primer momento, ensayos en laboratorio para determinar las propiedades físicas del suelo a través de la excavación de una calicata en la zona de estudio. Posteriormente conociendo los parámetros físicos del suelo, se procedió a excavar dos nuevas calicatas, donde en una primera calicata se moldeó tres muestras sin alterar y la segunda calicata de igual manera se moldeó tres muestras alterándolo con la adición de concreto líquido o grout usando el método de la inyección donde se concluyó que la inyección de concreto en APV. Ramiro Priale del distrito de Santiago, Cusco ha mejorado y tiene mayor resistencia al corte como también mejoro la capacidad de carga admisible.

(Orozco & Seminario)el presente trabajo de investigación se ha desarrollado a partir de una amplia búsqueda bibliográfica de diversos autores que se han enfocado en dar soluciones al fenómeno descrito así como también en estudios que determinan que algunas zonas de Piura presentan potencial de licuación, para luego de ello seleccionar una zona de exploración y realizar cálculos de gabinete

que permitan calcular el potencial de licuación con el objetivo de analizar los resultados obtenidos y de esta manera escoger la solución más óptima en relación a las condiciones encontradas. De acuerdo a los modernos métodos de identificación de los suelos potencialmente licuables, Piura tiene zonas vulnerables al fenómeno de licuación. Para las condiciones de Piura, los métodos podrían ser usados para reducir esta vulnerabilidad son la consolidación dinámica rápida, el deep mixing, la vibro compactación, la vibro sustitución, el premezclado, los pilotes o geomallas.

2.2.3. Artículos científicos

(Dhritiman & Risshav, 2020) este artículo describe la licuefacción del suelo debido a la pérdida de la fuerza de cohesión en los suelos en condiciones saturadas debido al aumento repentino de la presión del agua intersticial durante un terremoto en condiciones no capacitadas. Muchas fallas de diversas estructuras, como presas sísmicas, estructuras de contención y puertos, se han atribuido a la licuefacción de suelos saturados. Este artículo se centra en dar solución al terreno de la ciudad de Kolkata – India dando como conclusión que la "hinca de pilotes" es el mejor método adecuado para una medida anti licuefacción aplicable a la ciudad de Kolkata. Dado que se cree que el hincado de pilotes da como resultado un aumento en la tensión horizontal del suelo y, en consecuencia, un cambio en el coeficiente de presión del suelo en reposo, Al hincar los pilotes en los estratos del suelo, no solo aumenta su capacidad de carga, sino que también densifica el suelo al vibrar y compactarse mientras se hinca en el suelo. Como resultado, la proporción de vacíos dentro del suelo se reduce sustancialmente, por lo que no habrá posibilidad de un aumento repentino del exceso de presión intersticial.

(Ortiz & Alva, 2019) Este trabajo presenta la información disponible sobre el fenómeno de licuefacción de suelos inducido por la acción sísmica en el Perú y su representación en un mapa de peligrosidad de licuefacción de suelos. Toda la documentación que evidencia el fenómeno de la licuefacción, como la formación de pequeños forúnculos de lodo y arena, la expulsión violenta de agua del suelo, la presencia de intensas fisuras y los asentamientos diferenciales desencadenados por la acción sísmica. El fenómeno de licuefacción de suelos se ha presentado en las zonas de la costa, sierra y selva del Perú. Hay mayor incidencia de este

fenómeno a lo largo de la Costa donde hay una mayor concentración de la población y la sismicidad es mayor. La sismicidad ha aumentado en los últimos años en la región nororiental, donde se puede observar el fenómeno de licuefacción.

(Takano, Nishimura, Takahashi, & Morikawa, 2019) La lechada de compactación (CPG) es una técnica de inyección de lechada in situ que se utiliza para mejorar la resistencia a la licuefacción de suelos arenosos sueltos mediante la densificación y el aumento de la presión de confinamiento lateral. El presente estudio investiga el efecto de la presión de confinamiento lateral sobre la resistencia a la licuefacción mediante simulación numérica, como el método de elementos finitos de tensión efectiva. En la simulación, el aumento de la presión de confinamiento lateral causado por la inyección de lechada se simuló aplicando un desplazamiento forzado a la matriz de nodos dobles ubicados en la misma coordenada. El aumento de la presión de confinamiento lateral producido por la simulación numérica tiene una buena concordancia con los resultados de la prueba del modelo centrífugo y la investigación de campo, se concluyó que la licuefacción se suprimió con un valor K medio de 1,0 o más en el análisis dinámico. Por lo tanto, se sugiere que cierto nivel de relación de mejora, menor espaciamiento de pilas de cemento o mayor diámetro de pilas, no contribuye en gran medida a la resistencia a la licuefacción en términos del valor K.

(Wen & Huang, 2015) los métodos tradicionales de mitigación de la licuefacción se han aplicado ampliamente en la práctica de la ingeniería, persisten algunos problemas destacados. En cuanto a la mitigación de la licuefacción, se han propuesto algunos conceptos relativamente nuevos, como la remediación pasiva del sitio, la geo tecnología microbiana y la saturación parcial inducida, y se han desarrollado nuevos métodos basados en estos conceptos. Se menciona varios métodos nuevos típicos, como la lechada de sílice coloidal, la lechada de suspensión de bentonita, el bio cementación, la inyección de aire, el biogás y la mitigación con astillas de neumáticos.

2.3 Estructura teórica

2.3.1 Clasificación de Suelos

Se entiende por suelo al seudosólido constituido por un conjunto de partículas sólidas que forman una estructura en cuyo seno existen huecos ocupados por agua y aire en proporciones variables. A efectos prácticos, podemos considerar como “suelo” aquel material que puede ser excavado sin el uso de explosivos, para diferenciarlo de la “roca”. Se observa en la figura 9 los componentes de un suelo, con las notaciones que sobre sus pesos y volúmenes permiten definir parámetros que caracterizan su estado físico. (Yepes, 2021)

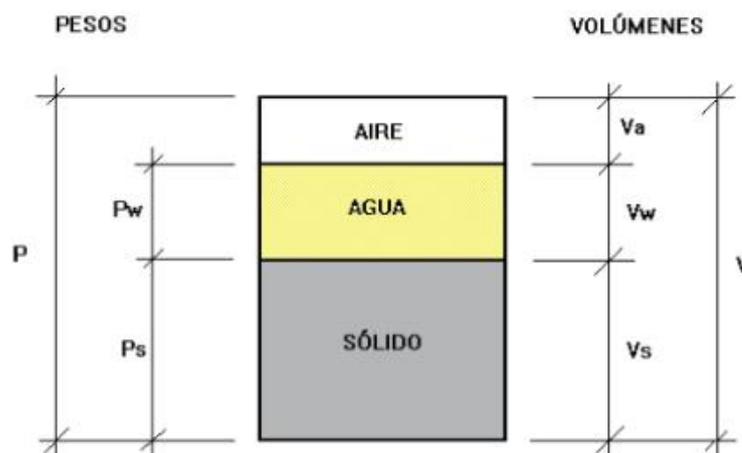


Figura 9. Componentes del suelo.
Fuente. (Yepes, 2021)

Se denomina límite plástico al grado de humedad para el que se considera que el suelo comienza a ser plástico, y límite líquido al que considera que el suelo empieza a fluidificarse. La diferencia entre los anteriores se denomina índice de plasticidad. Existen distintas clasificaciones de suelos en función de la composición, granulometría y plasticidad de la porción sólida. La primera clasificación de carácter general la desarrolló Casagrande en 1942 y la adoptó el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU 1952. Se denomina Clasificación de Suelos USC (Unified Soil Classification). Con posterioridad, la American Society for Testing Materials la incluyó entre sus métodos normalizados (ASTM: D 2487-69). En la Tabla N 2 se encuentran los criterios de clasificación según Casagrande. (Yepes, 2021)

Tabla 2: Criterio de clasificación de los suelos según casa grande

Símbolos	Características generales	
GW		Bien Graduadas
GP		Limpias (linos <5%) Pobrement Graduadas
GM	GRAVAS (>5 % en tamiz #4 ASTM)	Componente Limoso
GC		con finos(finosa>12%) Componente arcilloso
SW		Bien Graduadas
SP		Limpias (linos <5%) Pobrement Graduadas
SM	ARENAS (<50% en tamiz #4 ASTM)	Componente Limoso
SC		con finos(finosa>12%) Componente arcilloso
ML		Baja plasticidad (LL<50)
MH	LIMOS	Alta plasticidad (LL>50)
CL		Baja plasticidad (LL<50)

Fuente: (Yepes, 2021)

2.3.2. Licuación de suelos

La licuefacción del suelo ha sido uno de los principales culpables de los daños causados a diversas infraestructuras durante los terremotos, daños que van desde pequeños volcanes de arena hasta deslizamientos de tierra masivos. (Ortiz & Alva, 2019)

Se define la licuación como el fenómeno causado por la vibración de los sismos en los suelos granulares sumergidos y que produce el incremento de la presión del agua dentro del suelo con la consecuente reducción de la tensión efectiva. Reglamento Nacional de Edificaciones, norma E 050, suelos y cimentaciones (2018).

Las causas de la licuefacción del suelo es básicamente una concentración de muchas partículas de suelo que permanecen en contacto debido a su propiedad de cohesión y fricción (c y v). (Dhritiman & Risshav, 2020) en pocas palabras se incrementa la presión de poros y el esfuerzo efectivo disminuye y el suelo se comporta como un líquido lo que genera que el agua suba a la superficie.

En la figura 10 vemos la licuación de suelos provocada con explosivos en Italia, lo que se observa es que debido a la explosión el agua subió a la superficie.



Figura 10. Licuación de suelos en Italia ensayo con explosivos.
Fuente. (Geopier, 2020)

La principal causa de destrucción durante un terremoto es la falla de la estructura del suelo. Bajo carga sísmica, algunos suelos pueden compactarse, aumentando la presión intersticial y provocando una pérdida de resistencia al corte, y comportarse como lodo líquido. (Dhritiman & Risshav, 2020)

Si después de un sismo el terreno muestra pequeños volcanes de arena es notorio que el terreno es licuable, como apreciamos en la figura 11 nos muestra los volcanes de arena en la ciudad de Moyobamba del 25 de setiembre del 2005 y en la figura 12 es una imagen del terremoto de Niigata en Japón del 16 de junio de 1964.



Figura 11. Volcanes de Arena Ciudad de Moyobamba- San Martin.
Fuente. Alva J. (2020)



Figura 12. Línea de volcanes de arena y fisuras.
Fuente. Alva J. (2020)

La licuefacción ocurre más comúnmente en arena suelta, saturada, limpia a limosa, pero también se ha observado en gravas y limos no plásticos. (Ortiz & Alva, 2019) como en la figura 13 donde se puede apreciar a detalle la licuación de arenas sueltas.

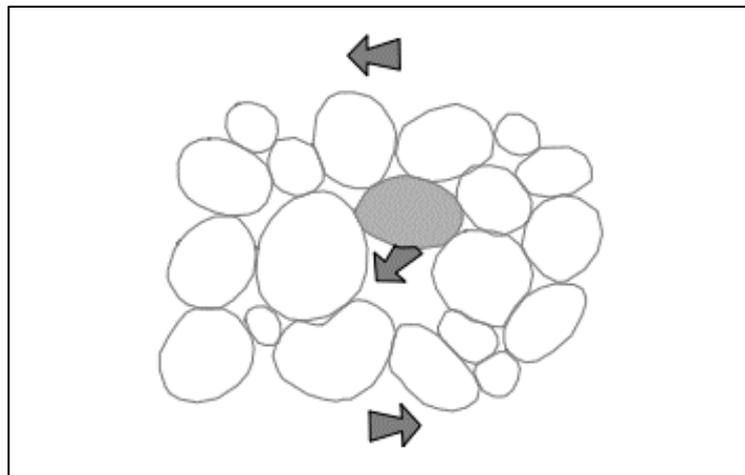


Figura 13. Licuación a detalle en arenas.
Fuente. Alva J. (2020).

Podemos decir que la base compuesta de roca y arcilla con viscosidad no se licua. Sin embargo, la licuefacción en un terremoto también ocurre cuando los suelos de

grava cumplen ciertas condiciones lo que se evidencio en la investigaron el terremoto de Wenchuan en mayo del 2008. (Binhua, Ning, & Denghua, 2018)

2.3.2 Características de un suelo licuable

Según (Binhua, Ning, & Denghua, 2018) un suelo es licuable cuando el:

a) Tipo de suelo:

Generalmente en suelos sin cohesión; Sin embargo, las arcillas muy sensibles pueden licuarse. (Binhua, Ning, & Denghua, 2018)

b) Tamaño y gradación de partículas:

Las arenas finas y uniformes son más propensas a la licuefacción que las arenas gruesas bien graduadas. Dado que la permeabilidad de las arenas gruesas es mayor que la de las arenas finas, la presión del agua intersticial se disipa en dichas arenas y normalmente no se produce la licuefacción. El potencial de licuefacción de las arenas depende del porcentaje de finos (tamaño $< 0,075$ mm) presentes en ellas. Para una arena de densidad relativa, a medida que aumenta el porcentaje de finos, disminuye el potencial de licuefacción (Binhua, Ning, & Denghua, 2018).

c) Densidad:

A licuefacción de la arena depende en gran medida de la densidad relativa. En arenas densas, tanto la presión intersticial como los asentamientos son considerablemente menores que en arenas sueltas. Por lo tanto, la propensión de la arena a la licuefacción se reduce con un aumento de la densidad relativa. (Binhua, Ning, & Denghua, 2018)

d) Longitud de la ruta de drenaje:

Si la longitud de la ruta de drenaje es grande, un depósito de arena se comporta como si no estuviera drenado cuando la presión del agua intersticial aumenta repentinamente debido a un terremoto y puede ocurrir la licuefacción. (Binhua, Ning, & Denghua, 2018)

e) Características de la vibración:

Las principales características de la vibración son su aceleración, frecuencia, amplitud y velocidad. Para la licuefacción de suelos, la aceleración y la frecuencia son más dominantes. La aceleración durante la vibración es la característica más importante que afecta la licuefacción de los suelos, en

general, cuanto mayor es la aceleración, mayores son las posibilidades de licuefacción (Binhua, Ning, & Denghua, 2018).

f) Edad del depósito de suelo:

Si el depósito de suelo es muy antiguo, su propensión a la licuefacción es relativamente baja en comparación con la de un depósito de suelo reciente. (Binhua, Ning, & Denghua, 2018)

g) Pérdida de capacidad de carga:

Puede ocurrir una gran deformación debido a la licuefacción que puede provocar grandes asentamientos o la inclinación de las estructuras. La licuefacción se desarrolla inicialmente en la capa de arena a unos pocos metros por debajo de una zapata. Se propaga hacia arriba a través de las capas de arena suprayacentes y posteriormente debilita el suelo que soporta la estructura. (Binhua, Ning, & Denghua, 2018)

h) Grado de saturación:

En suelos secos no se produce licuefacción. Hay muy poca susceptibilidad de licuefacción en arenas parcialmente saturadas. La resistencia a la licuefacción del suelo aumenta con la disminución del grado de saturación. (Binhua, Ning, & Denghua, 2018)

2.3.3 Caracterización Geotécnica

- a) Distribución del tamaño de los granos (D10, D30, D50 Y D60), contenido de finos, coeficiente de uniformidad, contenido de fracción arcillas, coeficiente de gradación.
- b) Resistencia de penetración estándar.

2.3.4 Ensayos en Campo

a) Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

El ensayo de penetración estándar o SPT (del inglés Standard Penetration Test), un tipo de prueba de penetración dinámica, empleada para ensayar terrenos en los que se quiere realizar un reconocimiento geotécnico. Constituye el ensayo o Consiste en contar el número de golpes necesarios para que se introduzca a una determinada profundidad una cuchara (cilíndrica y hueca) muy robusta (diámetro exterior de 51 milímetros e interior de 35 milímetros, lo que supone una relación de áreas superior a 100), que permite

tomar una muestra, naturalmente alterada, en su interior. El peso de la masa está normalizado, así como la altura de caída libre, siendo de 63'5 kilopondios y 76 centímetros respectivamente prueba más utilizada en la realización de sondeos, y se realiza en el fondo de la perforación. (Puentes, 2018)

N corregido por las condiciones decampo N_{60}

Para poder calcular el N_{60} , se utilizará la siguiente ecuación (1):

$$N_{60} = \frac{N * \eta_H * \eta_B * \eta_S * \eta_R}{60} \tag{1}$$

Donde:

N : Numero de golpes determinados por el ensayo SPT.

η_H : Eficiencia del martinete al 60%.

η_B : Diámetro del muestreador.

η_S : Corrección del muestreador.

η_R : Longitud de barra; este valor dependerá de la profundidad en la que se encuentre la barra:

0.75	0-4 m
0.85	4-6 m
0.95	6-10 m

Los valores de corrección η_H , η_B , η_S y η_R , fueron obtenidos de la Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6 respectivamente.

Tabla 3. Corrección por eficiencia de martinete.

Variación η_H eficiencia de martinete (%)			
País	Tipo de martinete	Liberación del Martinete	$\eta_H(\%)$
Japón	Toroide	Caída Libre	78
	Toroide	Cuerda y Polea	67
Estados Unidos	De Seguridad	Cuerda y Polea	60
	Toroide	Cuerda y Polea	45

Argentina	Toroide	Cuerda y Polea	45
	Toroide	Caída Libre	60
China	Toroide	Cuerda y Polea	50

Fuente: Norma Técnica Peruana

Tabla 4. Corrección por el diámetro de perforación.

Corrección por el diámetro de perforación	
Diámetro mm	η_B
60-120	1
150	1.05
200	1.15

Fuente. Norma Técnica Peruana.

Tabla 5. Corrección de muestreador.

Corrección de muestreador	
Muestra estándar	
Muestra estándar	1
Con recubrimiento para aren ay arcilla densa	0.8
Con recubrimiento para arena suelta	0.9

Fuente: Norma Técnica Peruana.

Tabla 6. Corrección por longitud de barra.

Corrección por longitud de la barra	
Long de la barra	η_R
>10	1
06-10	0.95
4-6	0.85
0-4	0.75

Fuente: Norma Técnica Peruana.

b) Ensayo de Permeabilidad L'enfranc

Este ensayo permite conocer la conductividad hidráulica de un terreno, las cuales consiste en introducir un valor de caudal constante con la finalidad de mantener el nivel del agua dentro de un punto sondeado estabilizado a una altura predeterminada. (Max, 2020).

2.3.5 Ensayos de Laboratorio

- a) Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D-422), define al ensayo como un proceso para la obtención de la distribución por tamaño de las partículas

que se encuentran en una muestra de suelo; estas se pueden clasificar en sistemas como AASHTO o SUCS. normativa E-060 (2018).

- b) Límite líquido (ASTM D-4318) lo define como el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, dicho valor se encuentra en el límite entre el estado plástico y el estado líquido. Benites y Vílchez (2017).
- c) Límite plástico (ASTM D-4318, indica que es la humedad más baja con la que pueden formarse barras de suelo de 3.2 mm (1/8") de diámetro, dichas barras, que son formadas con la palma de la mano ante una superficie de vidrio esmerilado estándar. Benites y Vílchez (2017).
- d) Contenido de Humedad (ASTM D-2216-05) MTC (2019), define al ensayo como la relación del peso del agua en una masa dada del suelo, al peso de las partículas expresada en porcentaje. MTC (2019).
- e) Corte directo (ASTM D-3080) lo define como la resistencia al corte de una masa de suelo al deslizamiento a lo largo de cualquier plano en su interior; se llega a obtener valores de cohesión y ángulo de fricción. Ricaldoni, J. (2019).

2.3.6 Criterios para calcular los efectos del daño inducido por licuación

Según (Alva, 2017) existen básicamente dos métodos disponibles para evaluar el potencial de licuación de una arena saturada sometida a sacudimiento sísmico

Usando métodos basados en una evaluación de las condiciones de ese esfuerzo cíclico y una comparación de estos esfuerzos o deformaciones con aquellos observados para causar licuación en muestras representativas del depósito en un ensayo de laboratorio. (Alva, 2017).

Usando métodos basados en observaciones de campo del comportamiento de depósitos de arena en terremotos pasados que impliquen el uso de alguna característica ínsita de los depósitos para determinar probables semejanzas o diferencias. (Alva, 2017).

a) Métodos basados en el ensayo de penetración estándar

El procedimiento más común en todo el mundo para evaluar la resistencia a la licuefacción es el "procedimiento simplificado" (Binhua, Ning, & Denghua, 2018).

b) Método Simplificado de Seed E Idriss:

El procedimiento más común en todo el mundo para evaluar la resistencia a la licuefacción es el "procedimiento simplificado", que fue desarrollado por Seed e Idriss utilizando el conteo de golpes de la penetración estándar. (Binhua, Ning, & Denghua, 2018).

Seed e Idriss propusieron que la relación de esfuerzo cíclico para un suelo a una profundidad determinada durante un terremoto (Alva, 2017) mediante la ecuación 2.

$$\frac{\tau_d}{\sigma_o} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_o}{\sigma_o} r_d \quad (2)$$

donde:

- τ_d : esfuerzo de corte promedio inducido por el terremoto.
- a_{max} : aceleración máxima en la superficie del terreno.
- g : aceleración de la gravedad.
- σ_o : esfuerzo total vertical a la profundidad considerada.
- σ_o : esfuerzo efectivo vertical a la profundidad considerada.
- r_d : factor de reducción del esfuerzo que decrece de 1 en la superficie a 0.9 a 10 m. de profundidad.

La resistencia a la penetración del suelo usada en las correlaciones es la resistencia a la penetración normalizada N_1 , bajo esfuerzo efectivo vertical de 1 kg/cm² mediante la ecuación 3. (Alva, 2017).

$$N_1 = C_n N \quad (3)$$

donde:

- C_n : factor de corrección que puede ser evaluado del gráfico.

Liao y Whitman propusieron la siguiente relación para evaluar C_n .

$$C_n = \sqrt{\frac{1}{\bar{\sigma}_o}} \quad ; \quad \bar{\sigma}_o \text{ en kg/cm}^2 \quad y < 2 \quad (4)$$

Para el caso de CRR para diferentes magnitudes del sismo, se corregirá con las siguientes ecuaciones:

$$CRR_M = CRR_{7.5} * K_\sigma * MSF \quad (5)$$

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma * \ln\left(\frac{\sigma'_v}{p_a}\right) \leq 1 \quad (6)$$

$$C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55 * \sqrt{(N_1)_{60}}} \leq 0.3 \quad (7)$$

La siguiente tabla muestra el factor correctivo MSF para CRRM en base a criterios de Seed e Idriss (1982).

Tabla 7: Factores de escala de magnitud.

Magnitud	Seed e Idriss (1982)	Ambraseys (1988)	NCEER (1997-2003)
5.50	1.43	2.86	2.21
6.00	1.32	2.20	1.77
6.50	1.19	1.69	1.44
7.00	1.08	1.30	1.19
7.50	1.00	1.00	1.00
8.00	0.94	0.67	0.84
8.50	0.89	0.44	0.73

Fuente: (Benites Alarcón & Vilchez Pérez, 2017).

c) Método Simplificado De Tokimatsu Y Yoshim

Indicaron que los efectos de movimientos sísmicos que causan licuación pueden ser representados por dos parámetros: la aceleración horizontal del terreno y el número de ciclos de movimientos significativos. (Alva, 2017).

$$\frac{\tau_d}{\sigma_o} = \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_o}{\sigma_o} r_d r_n \quad (8)$$

donde:

τ_d : amplitud de los ciclos de esfuerzo de corte uniforme, equivalente a un registro tiempo-historia de esfuerzo de corte sísmico.

a_{max} : aceleración máxima en la superficie del terreno.

g : aceleración de la gravedad.

σ_o : esfuerzo total vertical.

σ_o : esfuerzo efectivo vertical.

r_d y r_n : son factores de corrección en términos de la profundidad y la magnitud del terremoto, respectivamente, y los veremos en las ecuaciones (6) y (7).

$$r_d = 1 - 0.015 z \quad (9)$$

$$r_n = 0.1 (M - 1) \quad (10)$$

donde:

z : profundidad en metros.

M : magnitud del terremoto.

Los valores de la resistencia a la penetración, o valores de N corregidos para una profundidad dada, se obtienen mediante la ecuación 8:

$$\begin{aligned} N_a &= N_1 + \Delta N_f \\ N_1 &= C_n N \end{aligned} \quad (11)$$

el valor de C_n se obtiene de la ecuación 9.

$$C_n = \sqrt{\frac{1}{\bar{\sigma}_o}} ; \bar{\sigma}_o \text{ en kg/cm}^2 \quad (12)$$

donde:

N_a : valor corregido de la penetración estándar.

N_1 : resistencia a la penetración estándar normalizada para un esfuerzo efectivo vertical de 1 Kg/cm^2 .

ΔN_f : valor de N adicional que se incrementa proporcionalmente con el contenido de finos de la arena.

d) Método simplificado de Iwasaki y Tatsuoka

Índice de potencial de licuación

En base al trabajo realizado por Seed e Idriss (1971), la carga dinámica inducida en el elemento de suelo por un movimiento sísmico puede ser estimada mediante la ecuación 10: (Alva, 2017)

$$\frac{\tau_d}{\bar{\sigma}_v} = \frac{\tau_{max}}{\bar{\sigma}_v} = \frac{a_{max}}{g} \frac{\bar{\sigma}_v}{\bar{\sigma}_v} r_d \quad (13)$$

donde:

τ_{max} : esfuerzo de corte máximo

a_{max} : aceleración máxima en la superficie del terreno

g : aceleración de la gravedad

σ_v : esfuerzo total vertical
 σ'_v : esfuerzo efectivo vertical

Para hallar el valor del factor de reducción es mediante la ecuación 11.

r_d	=	$1-0.015 z$	(14)
z	=	profundidad en metros	

donde:

r_d : factor de reducción del esfuerzo de corte dinámico para tomar en cuenta la deformación elástica del terreno

e) Evaluación de la resistencia a la licuación

Cada uno de los métodos simplificados descritos, basados en las experiencias de campo y de laboratorio de sus autores, proponen diversas expresiones para evaluar, tanto la relación de esfuerzos que se requiere para causar licuación en un suelo dado, cuyas características son conocidas ($v_l \tau / \sigma$), como la relación de esfuerzos que induce un movimiento sísmico cuyas características también son conocidas ($v_d \tau / \sigma$). Por lo tanto, se puede definir el factor de seguridad contra la ocurrencia del fenómeno de licuación (FL), mediante la ecuación 12.

$FL = \frac{(\tau_l / \bar{\sigma}_v)}{(\tau_d / \bar{\sigma}_v)}$	(15)
--	------

Por lo tanto: Si $FL > 1$ no se producirá licuación Si $FL \leq 1$ se producirá licuación.

2.3.7 Métodos para la Mitigación de la Licuefacción

La disponibilidad de suelos con suficiente capacidad portante ha ido disminuyendo conforme se iban desarrollando las áreas urbanas. De este modo, fueron quedando parcelas con suelos de pésimas características geotécnicas que había que recuperar de alguna forma para seguir construyendo. Sin embargo, en la actualidad existen un buen número de técnicas de mejora del terreno que

permiten construcciones seguras en lugares donde hace poco tiempo hubieran sido considerados como terrenos inadecuados. Algunas de estas técnicas cuentan con un gran recorrido como la compactación, la precarga o la estabilización de suelos, mientras que otras son más recientes y sofisticadas, como la vibrosustitución, las inyecciones o el jet-grouting. (Yepes, 2021)

El Comité Técnico TC-211 de la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica (ISSMG) clasificó los métodos de mejora en cinco grupos:

- a. Mejora del terreno sin adiciones en suelos no cohesivos o materiales de relleno: compactación dinámica, vibrocompactación, compactación por explosivos, compactación por impulso eléctrico y compactación superficial (incluyendo la compactación dinámica rápida). (Ostensen, 2002)
- b. Mejora del terreno sin adiciones en suelos cohesivos: sustitución/desplazamiento (incluyendo la reducción de carga mediante materiales ligeros), precarga mediante relleno (incluyendo el empleo de drenes verticales), precarga mediante vacío (incluyendo la combinación de relleno y vacío, consolidación dinámica con drenaje mejorado (incluyendo el empleo de vacío), electroósmosis o consolidación electro-cinética, estabilización térmica usando calentamiento o congelación y compactación por hidrovolidura. (Ostensen, 2002) ·
- c. Mejora del terreno con adiciones o inclusiones: vibrosustitución o columnas de grava, sustitución dinámica, pilotes de arena compactada, columnas encapsuladas con geotextiles, inclusiones rígidas, columnas reforzadas con geosintéticos o rellenos pilotados, métodos microbianos y otros métodos no convencionales (formación de pilotes de arena mediante explosivos y el uso de bambú, madera y otros productos naturales). (Ostensen, 2002)·
- d. Mejora del terreno con adiciones tipo inyección: inyección de partículas, inyección química, métodos de mezclado (incluyendo la mezcla previa y la estabilización profunda), jet-grouting, inyecciones de compactación e inyecciones de compensación. · (Ostensen, 2002)
- e. Refuerzo del terreno: tierra reforzada con acero o geosintéticos, anclajes al terreno o claveteado del terreno y métodos biológicos mediante vegetación. (Ostensen, 2002)

GRAVA	ARENA	LIMO	ARCILLA
VIBROCOMPACTACIÓN			
VOLADURAS			
INYECCIÓN DE PARTÍCULAS			
INYECCIÓN QUÍMICA			
INYECCIÓN DE DESPLAZAMIENTO			
PRECARGA CON O SIN DRENES			
COMPACTACIÓN DINÁMICA			
ELECTROÓSMOSIS			
REFUERZO (COLUMNAS DE GRAVA, SUELO CLAVETEADO)			
TRATAMIENTO TÉRMICO			
ESTABILIZACIÓN CON ADITIVOS			

Figura 14. Aplicabilidad de las técnicas de mejora del terreno.
Fuente. (Yepes, 2021)

En la figura 14 es un resumen de aplicabilidad de las técnicas de mejora de terreno atendiendo a su granulometría, para la figura 15 vemos de manera simplificada la mejora de terreno de manera temporal o de manera permanente adaptado de Van (1989).

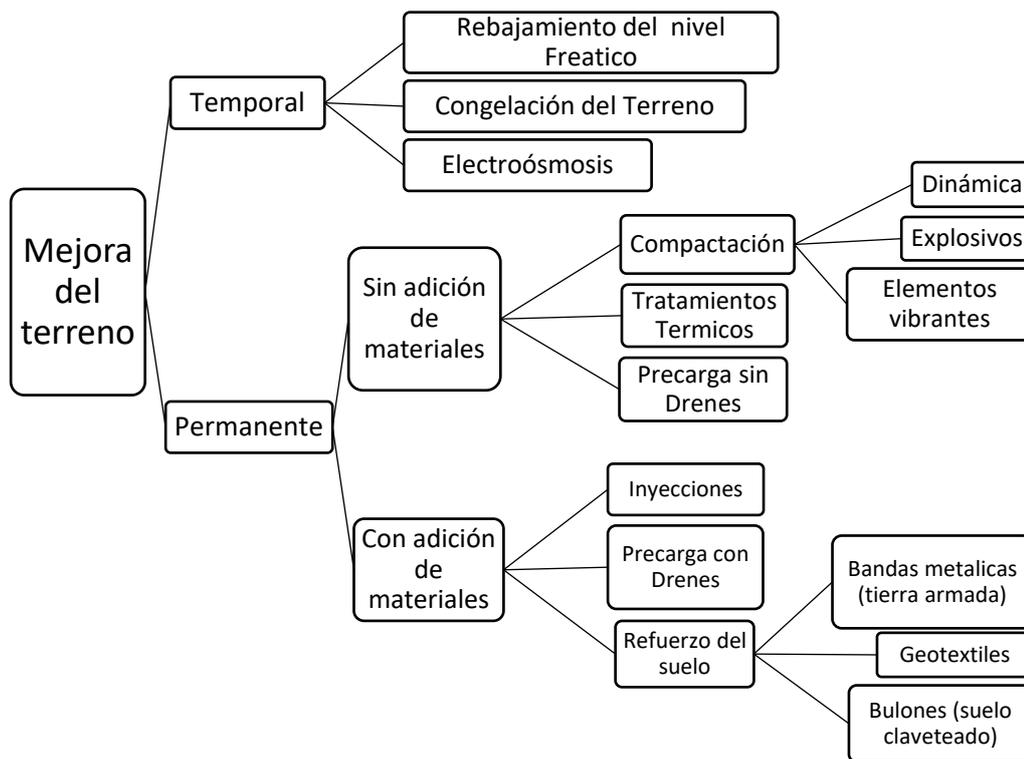


Figura 15: Clasificación de las técnicas de mejora de terrenos

Fuente: (Yepes, 2021)

En la tabla 8 vamos a clasificar los métodos de mejora de terreno la tabla está adaptada del comité técnico TC -211 del ISSMG(CHU,2009)

Tabla 8: Clasificación de métodos de mejora del terreno

CATEGORIA	METODO
A. Mejora del terreno sin adiciones en suelos no cohesivos o materiales de relleno	A.1. Compactación dinámica
	A.2. Vibro compactación
	A.3. Compactación por explosivos
	A.4. Compactación por impulso eléctrico
	A.5. Compactación superficial (incluyendo compactación dinámica rápida RIC)
B. Mejora del terreno sin adiciones en suelos cohesivos	B.1. Sustitución/ desplazamiento (incluyendo la reducción de carga mediante materiales ligeros)
	B.2. Precarga mediante relleno (incluyendo el uso de drenes verticales)
	B.3. Precarga mediante vacío (incluyendo la combinación de relleno y vacío)
	B.4. Consolidación dinámica con drenaje mejorado (incluyendo el uso de vacío)
	B.5. Electroósmosis o consolidación electrocinética
	B.6. La estabilización térmica usando calefacción o congelación

	B.7. Compactación por hidrovibración
C. Mejora del terreno con adiciones o inclusiones	C.1. Vibrosustitución o columnas de grava C.2. Sustitución dinámica C.3. Pilotes de arena conectada C.4. Columnas encapsuladas con geotextiles C.5. Las inclusiones Rígidas C.6. Columnas reforzadas con geosintéticos o rellenos pilotados C.7. Métodos microbianos C.8. Otros métodos
D. Mejora del terreno con adiciones tipo inyección	D.1. Inyección de partículas D.2. Inyección Química D.3. Métodos de mezclado (incluyendo la mezcla previa y la estabilización profunda) D.4. Jet- grouting D.5. Inyecciones de compactación D.6. Inyecciones de compensación
E. Refuerzo del terreno	E.1. Tierra reforzada con acero o geosintéticos E.2. Anclajes el terreno o claveado E.3. Métodos biológicos mediante vegetación

Fuente: (Yepes, 2021)

Clasificación de técnicas de mejora de terreno según la fase del proyecto

- a. Mejoras previas a la construcción. Se trata de métodos eficientes en cuanto a coste y, por tanto, deseables si son posibles. Se trata de mejorar el emplazamiento de la obra como parte de la planificación de las tareas definidas en el proyecto. Como ejemplos tenemos la compactación, la preconsolidación, el rebajamiento del nivel freático o las inyecciones. (Nisholson, 2015).
- b. Mejoras durante la construcción. Estas técnicas se realizan a la vez que el proyecto y pueden quedar como parte permanente del mismo. Sería el caso de las columnas de grava, tratamientos superficiales del terreno (compactación superficial, estabilización con cal o cemento, etc.), congelación de suelos, geosintéticos, anclajes, claveteado del terreno, etc. (Nisholson, 2015)
- c. Mejora tras la construcción. Se trata normalmente de técnicas de reparación, normalmente caras y que suponen la última alternativa para resolver un problema como pudiera ser la estabilización de una ladera o problemas de filtración de agua. Entre estas técnicas se encontrarían el rebajamiento del nivel freático, micropilotes de refuerzo, etc. (Nisholson, 2015)

En la tabla 9 se distinguió las técnicas en tres grupos para tener los métodos de mitigación según su enfoque si es refuerzo, mejora o tratamiento según.

Tabla 9. Diferencia entre tratamiento, mejora y refuerzo

REFUERZO	MEJORA	TRATAMIENTO
Columnas de grava	Compactación dinámica	Mezcla con cemento
Jet-grouting	Precarga	Mezcla con cal
Anclaje	Drenaje	Cenizas volantes
Bulonado	Electroósmosis	Drenaje por vacío
Micropilotes	Compactación con explosivos	Calentamiento
Columnas de cal		Congelación
Columnas de suelo - cemento		Vitrificación
Geosintéticos		

Fuente: (Yepes, 2021)

Tabla 10: Clasificación de los métodos de mejora del terreno.

CATEGORIA	FUNCIÓN	MÉTODOS
Densificación	Incrementa el peso específico la capacidad de carga y la resistencia a corte, incrementa la resistencia a la licuación de los suelos granulares, disminuye la compresibilidad, incrementa la resistencia de los suelos cohesivos	Vibrocompactación Compactación dinámica Compactación con explosivos Inyecciones de compactación Compactación superficial (incluyendo la compactación dinámica rápida)
Consolidación	Acelera la consolidación reduce el asentamiento, incrementa la resistencia	Precarga sin drenes Precarga con drenes verticales Consolidación por vacío Electroósmosis
Reducción de carga	Reduce la carga en los suelos de los cimientos reduce los asentamientos, incrementa la estabilidad en las laderas	Geo espumas Hormigón celular Rellenos ligeros virutas de neumáticos, etc
Tratamientos Químicos	Incremento del peso específico, incrementos de la resistencia a compresión y tracción, relleno de huecos, interrupción de filtraciones	Tierra estabilizada mecánicamente Suelo claveteado/anclajes Micropilotes Columnas (columnas de grava, columnas encapsuladas con geotextil, pilotes de arena compactada, jet grouting) Refuerzo de fibras

		Terraplenes apoyados en columnas con plataforma de transferencia de carga Terraplenes reforzados con geotextiles.
Tratamientos químicos	Incremento del peso específico, incremento de la resistencia a compresión y tracción relleno de huecos interrupción de filtraciones	Impermeabilización con lechada o inyecciones químicas Relleno de huecos Jet grouting Inyección de compactación Mezcla profunda del suelo - húmeda y seca Inyección de fracturación Columnas de cal
Estabilización térmica	Incremento de la resistencia cortante, proporciona barreras	Congelación de terrenos calentamiento de terrenos y vitrificación
Estabilización biológica	Incremento de la resistencia, refuerzo	Refuerzo de taludes con vegetación Métodos microbiológicos
Varios	Recuperación de suelos contaminados	Métodos electrocinéticas, métodos químicos.

Fuente: (Yepes, 2021)

Clasificación de Métodos para la mitigación del suelo

a. Mitigación de licuación a través de inyección química

Una forma de cambiar la permeabilidad de un terreno y, por tanto, contener mediante barrera el agua subterránea, es mediante la inyección del terreno. La técnica, muy utilizada también como mejora del terreno, consiste en introducir en el medio una mezcla fluida que reacciona con las partículas de suelo mediante una reacción hidráulica o química. De esta forma se conforma una masa de mayor resistencia mecánica y permeabilidad, así como menor deformabilidad, pues se consigue aumentar la compacidad, disminuyendo el índice de huecos (Yepes, 2021)

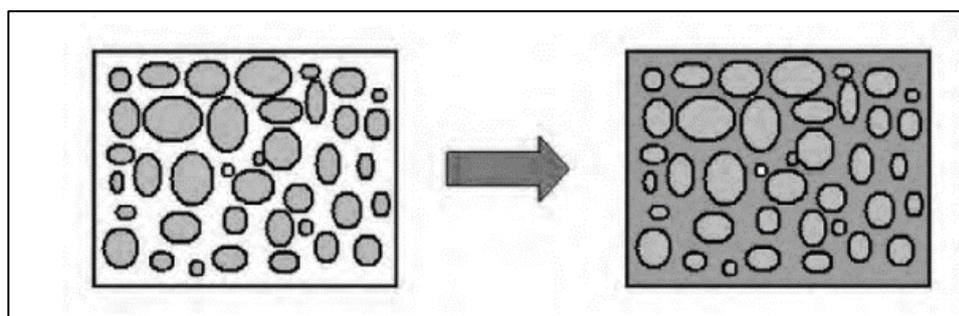


Figura 16. Proceso de colmatación de suelos por inyección de mortero.

Fuente: Yepes Piqueras, 2021

Técnicas de Lechada

Lechada por compactación:

La lechada de compactación involucra la inyección de una lechada muy rígida (mezcla de suelo-cemento-agua con suficientes tamaños de limo para proporcionar plasticidad, junto con tamaños de arena y grava para desarrollar fricción interna) que no penetra el suelo nativo, pero da como resultado un crecimiento controlado de la masa del bulbo de lechada que desplaza el suelo circundante. El objetivo principal de la lechada de compactación es aumentar la densidad del suelo blando, suelto o perturbado, generalmente para el control de asentamientos, la renivelación estructural, el aumento de la capacidad de carga del suelo y la mitigación del potencial de licuefacción. (Orence, 2008)

La lechada de compactación es una técnica de mejora del suelo que mejora la resistencia y/o la rigidez del suelo mediante la inyección lenta y controlada de una lechada de baja movilidad (Shinji , 2020)

El levantamiento de la superficie del suelo es importante en muchas aplicaciones de lechada de compactación. Como informa Graf, el suelo se mejora gradualmente con la inyección de lechada hasta que se produce el levantamiento. Al producirse un levantamiento, se puede esperar poca o ninguna compactación, ya que la ocurrencia de un levantamiento indica una cierta pérdida de compactación que, de lo contrario, se produciría. (Shinji , 2020)

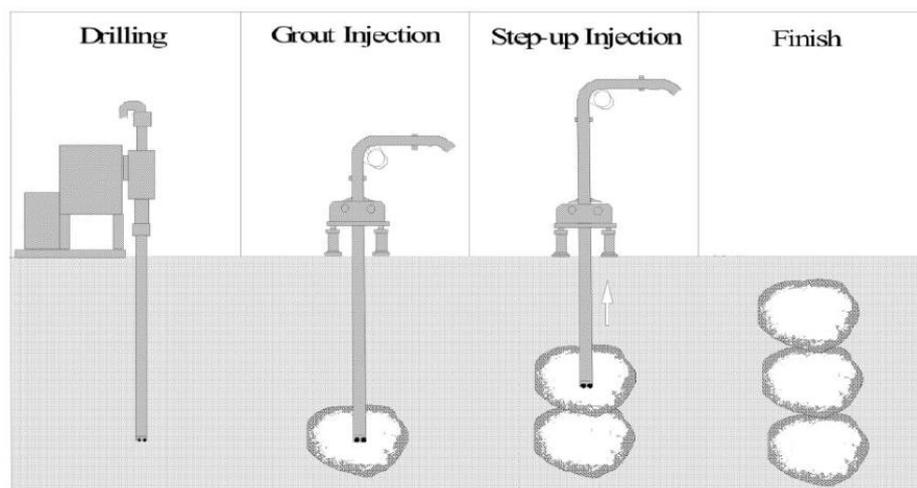


Figura 17: Ejecución de Lechada de compactación.

Fuente: (Orence, 2008)

En la figura 18 se puede observar las aplicaciones de la lechada de compactación en espacios abiertos y con construcciones.

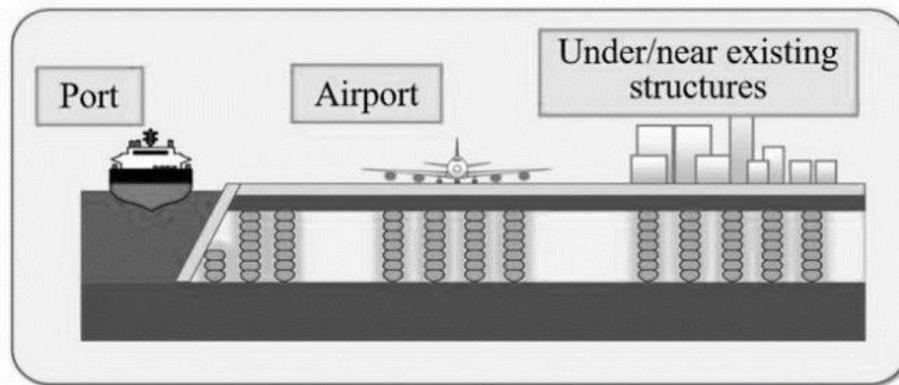


Figura 18: Aplicaciones de Lechada.

Fuente: (Shinji , 2020)

Método de inyección U/D

Es un método para inyectar la lechada (mortero) mientras se mueve el tubo de inyección hacia arriba y hacia abajo como se puede observar en la figura 19.

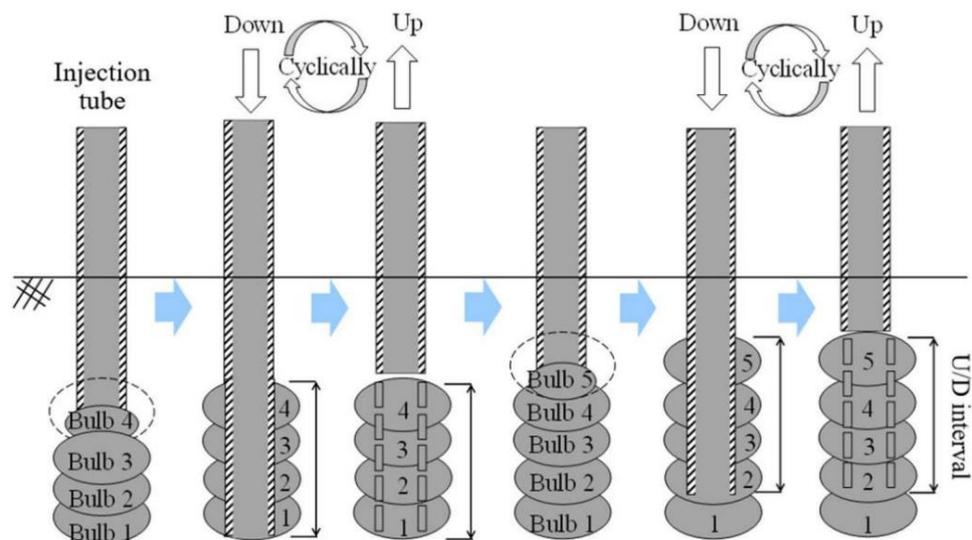


Figura 19. Método de inyección de lechada U/D.

Fuente: (Shinji , 2020)

b. Mitigación por el Método de Compactación Dinámica

La compactación dinámica se usa para aumentar la densidad relativa del suelo, cuando ciertas restricciones subsuperficiales hacen que otros métodos resulten inapropiados. Con ella se busca incrementar la capacidad portante de suelos de

compacidad suelta y reducir asentamientos verticales diferenciales. Puede usarse para reducir el hundimiento por licuefacción e inducir asentamientos en suelos colapsables. (Serrano, Cruz, & Schadke, 2020)

El impacto de la masa en el suelo genera ondas de corte (*rayleigh*) que densifican el suelo, disminuyen la relación de vacíos y aumentan su densidad relativa. La densidad relativa sirve para determinar el grado de compacidad de un suelo; se emplea para suelos en estado natural y para rellenos compactados artificialmente. Adicionalmente a esta densificación vertical, se inducen grandes deformaciones específicas laterales en el suelo adyacente a los impactos, incrementándose el coeficiente de balasto horizontal. Dichas ondas de tensión de corte pueden penetrar hasta una profundidad máxima de 10 m a 15 m. En suelos poco cohesivos a no cohesivos, y estando saturados o próximos a ello, estas ondas generan la compactación del suelo. En suelos cohesivos, las ondas crean un incremento en la presión intersticial (de poros) que es seguida por la compactación del suelo. (Serrano, Cruz, & Schadke, 2020)

c. Mitigación con refuerzo de Columnas de Grava, suelo claveteado

El método de las pilas de grava o vibro sustitución surge a finales de los años cincuenta como una modificación del procedimiento de vibro compactación, el cual no necesita de grava. En el caso de suelos predominantemente cohesivos el sistema de pilas de grava se basa más que todo en la utilización de la vibración profunda, la cual consiste en el desplazamiento lateral del terreno y en la incorporación y compactación de grava contra el terreno.

Las columnas de grava constituyen un método de mejora de terrenos cohesivos blandos mediante la rigidización que produce la introducción de columnas de grava en los orificios creados por el vibrador o equipo de pilotaje convencional, según sea el método de ejecución escogido. Aumenta la capacidad portante del terreno, la estabilidad al deslizamiento en terraplenes, acelera el proceso de consolidación del terreno (constituyen drenes verticales) y provoca una reducción de los asientos en servicio. Se aplica sobre arenas limosas, limos, limos arcillosos, arcillas y rellenos heterogéneos. (Yepes, 2021)

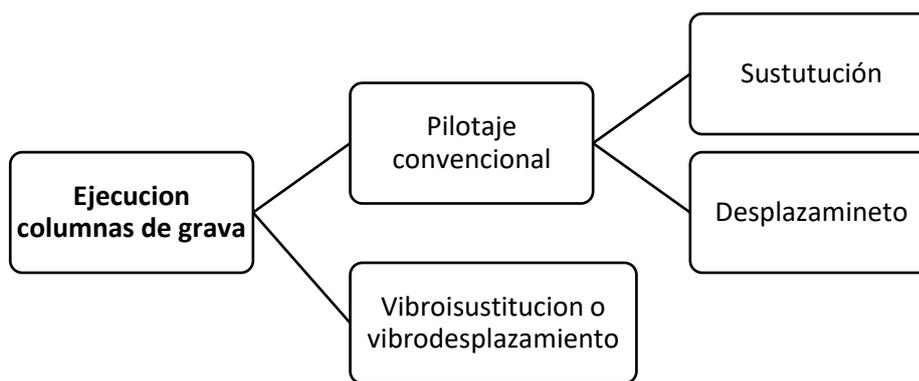


Figura 20: Ejecución de columnas de grava

Fuente: (Yepes, 2021)

Las columnas de grava aparecieron como una extensión de las técnicas de vibro compactación profunda de suelos finos. Puede realizarse mediante un pilotaje convencional o mediante el uso de vibradores especiales. La técnica mediante pilotaje convencional puede ser por sustitución o por desplazamiento. La vibrosustitución o vibrodesplazamiento, se aplica en terrenos cohesivos (contenido de finos > 12%), y supone la sustitución del terreno por un material granular de aportación. (Yepes, 2021)

El procedimiento para construir pilas de grava consiste en incorporar al suelo de forma controlada material granular, compactándolo mediante un vibrador con el fin de formar inclusiones no rígidas, muy parecidas a bulbos, las cuales presentan propiedades mecánicas competentes y una alta capacidad de drenaje. (Yepes, 2021)

No obstante, también se puede aplicar la vibración profunda en suelos granulares (contenidos de finos < 12%), normalmente con vibradores específicos de baja frecuencia y usando agua a presión para facilitar el hincado, lo que produce una licuación parcial del terreno y su densificación. Este procedimiento se denomina vibroflotación o vibrocompactación. El terreno no se sustituye, rellenándose el cono de hundimiento alrededor del vibrador con el terreno, no siendo propiamente una columna de grava. Sin embargo, a veces se aporta material granular de mayor calidad transportado a la obra, por ejemplo, árido de machaqueo de 20-40 mm, por lo que se podría hablar en este caso de una columna de grava. (Yepes, 2021)

En la figura 18 se puede observar el ámbito de aplicación de las columnas de grava frente a la vibrocompactación en función del tipo de terreno. En las arenas se comprueba que existe una zona, No obstante, también se puede aplicar la vibración profunda en suelos granulares (contenidos de finos < 12%), normalmente con vibradores específicos de baja frecuencia y usando agua a presión para facilitar el hincado, lo que produce una licuación parcial del terreno y su densificación.

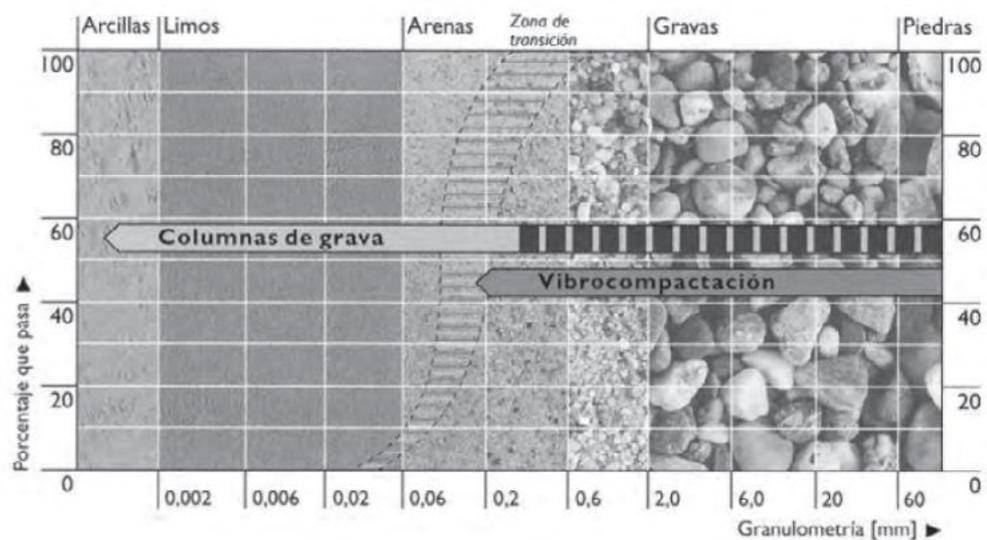


Figura 21. Ámbito de aplicación de las técnicas.

Fuente: (Yepes, 2021)

Ámbito de aplicación de las técnicas

Este procedimiento se denomina vibroflotación o vibrocompactación. El terreno no se sustituye, rellenándose el cono de hundimiento alrededor del vibrador con el terreno, no siendo propiamente una columna de grava. Sin embargo, a veces se aporta material granular de mayor calidad transportado a la obra, por ejemplo, árido de machaqueo de 20-40 mm, por lo que se podría hablar en este caso de una columna de grava. (Yepes, 2021)

d. Refuerzo de inclusiones Rígidas

Adaptado de Briancom (2002)

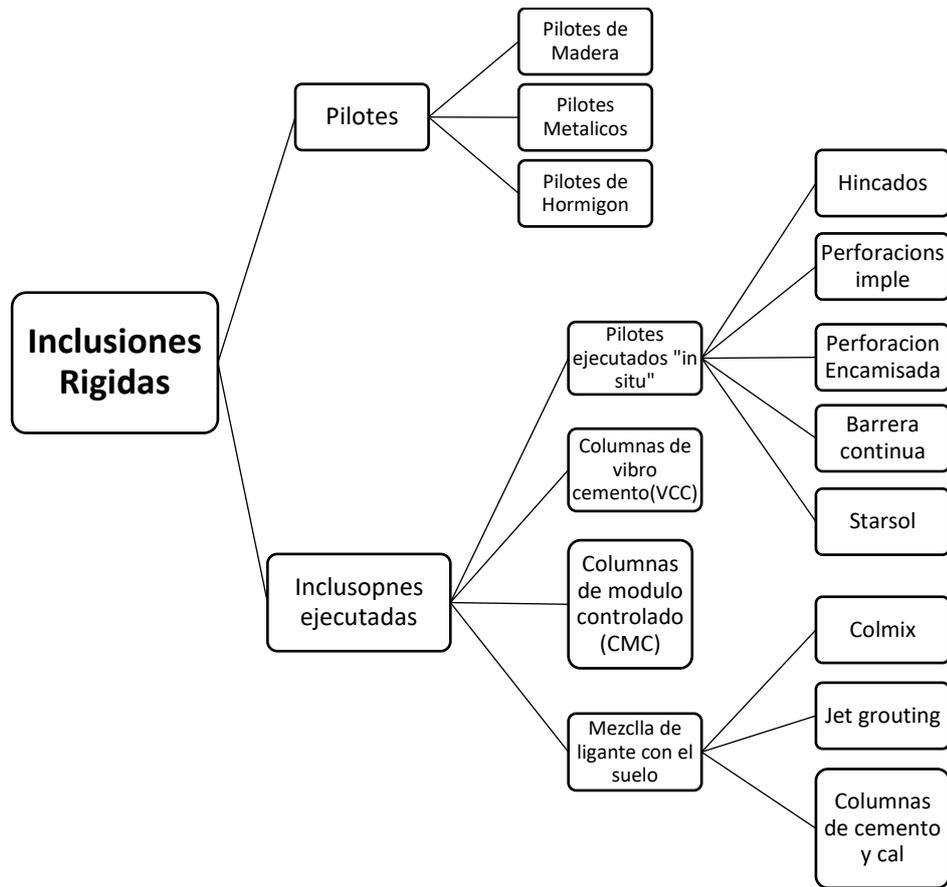


Figura 22: Principales típicos de inclusiones rígidas
 Fuente: (Yepes, 2021)

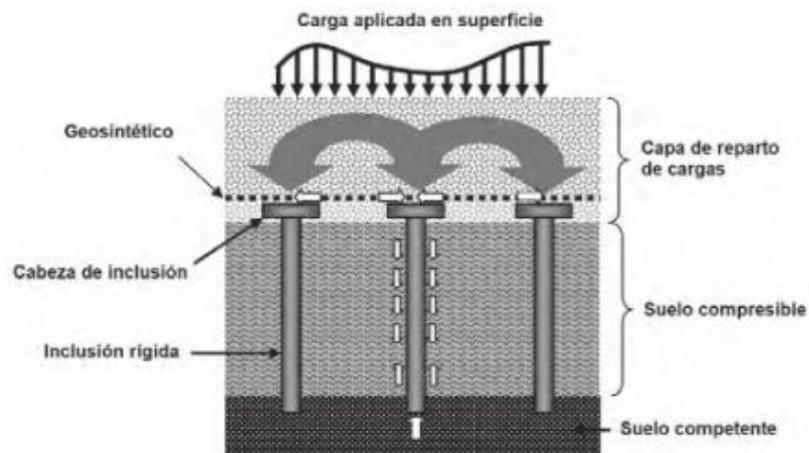


Figura 23. Inclusiones prefabricadas ejecutadas in situ.
 Fuente: (Yepes, 2021)

Las inclusiones rígidas se clasifican atendiendo a su proceso constructivo y a su mecanismo de transferencia de cargas. Una primera división, formulada por

Briançon (2002), permite distinguir las inclusiones prefabricadas de las ejecutadas in situ. Las primeras se hincan por golpeo o presión distinguiéndose los pilotes de hormigón, acero y madera. Las segundas se subdividen en pilotes de extracción e inclusiones ejecutadas por medio de un ligante añadido al suelo. Sin embargo, una clasificación más utilizada divide las inclusiones rígidas atendiendo a su procedimiento constructivo en inclusiones por desplazamiento, por extracción y por mezclado. Las inclusiones rígidas producen los siguientes efectos sobre el terreno:

Mayor resistencia y menor deformación del suelo tratado. La magnitud depende del espaciamiento entre las inclusiones, de las condiciones del terreno, del empotramiento y de la dosificación del mortero de la inclusión. ·

Descarga de las tensiones al suelo blando debido al efecto arco entre las inclusiones, que puede ser del 60 al 95% de la carga. · Disminución de la consolidación de rellenos blandos saturados, al aliviar las inclusiones la carga que le llega al terreno. (Yepes, 2021)

e. Compactación profunda de suelos

Mejora del terreno mediante vibrocompactación

Una forma de mejorar los terrenos consiste en introducir un vibrador para conseguir su densificación, es lo que se conoce como vibración profunda. Si el suelo es poco cohesivo (un contenido de finos inferior al 10-15%), dicha técnica se denomina vibrocompactación o también vibroflotación. En la figura 21 se observa la aplicabilidad de la vibrocompactación (Yepes, 2021).

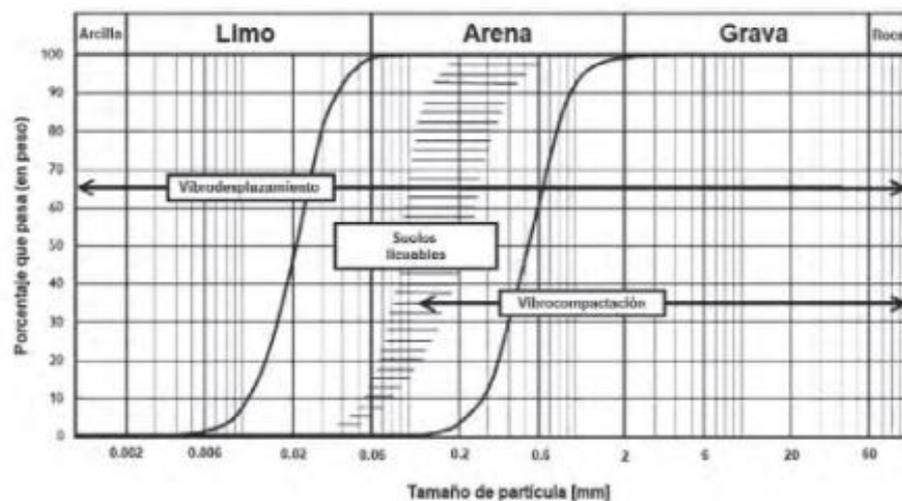


Figura 24. Aplicabilidad de la vibrocompactación.

Fuente: (Yepes, 2021)

Aplicación de la vibrocompactación

Para ello se utilizan unas sondas vibrantes o vibroflots que compactan en profundidad al introducirse en el terreno. Estos vibradores suelen presentar longitudes entre 3 y 5 m, así como diámetros de 0,50 m, con potencias entre 40 y 230 kW. Permiten tratar con eficacia el terreno hasta una profundidad de unos 15 a 20 m, lo cual los hace competitivos frente a la compactación dinámica o los puits ballastés. No obstante, la vibrocompactación solo es eficaz a partir de 1 a 2 m de profundidad debido a la ausencia de presión de confinamiento vertical en superficie. (Yepes, 2021)

f. Compactación Dinámica

La compactación dinámica (dynamic compaction, DC) es una técnica que mejora la capacidad portante de los suelos al dejar caer una masa desde cierta altura. El nombre de compactación dinámica no refleja con exactitud los procesos reales de carga y transmisión de energía, por lo que también suele llamarse compactación dinámica profunda (deep dynamic compaction). (Yepes, 2021)

Uno de los mitos de la compactación dinámica es que se trata de un tratamiento superficial del suelo debido a que las cargas se aplican en la superficie. Pero, a diferencia de la compactación superficial, es un proceso de densificación que llega a profundidades de 10-12 m. (Yepes, 2021)

Tras el impacto, se crean cráteres de hasta dos metros o más de profundidad, que deben ser rellenados y compactados. La densificación en profundidad se produce como resultado de la energía de las ondas dinámicas que se transmite a través del suelo. El tratamiento se aplica en edificios industriales, plataformas portuarias y aeroportuarias, terraplenes viarios y ferroviarios, etc. Además, es idóneo para obras extensas, con rendimientos de más de 10 000 m² por mes. (Yepes, 2021)

g. Sustitución Dinámica

La sustitución dinámica o puits ballastés constituye una variante diferenciada de la compactación dinámica en la cual la energía de compactación sirve para constituir inclusiones granulares de gran diámetro, como refuerzo de los

terrenos compresibles, de los que se necesitan varios metros de espesor sobre un estrato de terreno con capacidad portante suficiente. (Yepes, 2021)

Se punzona en este caso el terreno con una maza pequeña y pesada que se deja caer desde cierta altura. Este procedimiento crea un cráter que se rellena con material granular, que se golpea nuevamente con el objeto de desplazar el terreno y hacer penetrar dicho material granular. Con este procedimiento se consigue rigidizar el terreno creando puntos de apoyo que presentan una mayor carga admisible. Además, la ventaja adicional es que constituyen drenes verticales, aunque no muy profundos, por lo que podrían combinarse con tratamientos de mejora de precarga, de forma que se reducirían los tiempos de consolidación del suelo. (Yepes, 2021)

h. Compactación con Explosivos

Este procedimiento es más eficiente que la vibrocompactación, por el empleo de mayor energía, pero siempre que se domine la técnica.

También es muy aplicable en suelos con grandes bolos, suelos finos o con niveles superiores más rígidos, donde otras técnicas no son útiles. Los resultados son muy buenos, pudiéndose incrementar la densidad relativa de una arena floja en un 15-30%. Se trata de un procedimiento rápido y económico, no siendo necesario el empleo de una maquinaria especial. Suele terminarse el tratamiento con una compactación final de tipo superficial mediante rodillos vibrantes. Como inconvenientes a este método cabría destacar el efecto de las explosiones sobre estructuras próximas al radio de acción, la falta de uniformidad en el terreno tratado, el factor psicológico negativo asociado al uso de explosivos y el cumplimiento de la normativa relacionada con los explosivos, especialmente en áreas pobladas. A veces se pueden utilizar productos expansivos no explosivos para evitar algunos de estos problemas. Por otra parte, el control de resultados requiere una exploración geotécnica posterior para evaluar el efecto del tratamiento. En función de la situación donde se aloje la carga del explosivo, las voladuras pueden ser confinadas (la carga se coloca dentro de la capa del suelo, superficiales o subacuáticas (pero por encima del nivel del terreno a compactar). Lo más normal es usar voladuras confinadas. (Yepes, 2021)

2.4. Definición de términos básicos

- a. Licuación de suelos: Es un término que se utiliza para describir la pérdida de resistencia y rigidez de un depósito de suelo debido al aumento de la presión intersticial provocada generalmente por terremotos, lo que hace que el suelo se agriete y permita la erupción de agua y arena. La licuefacción ocurre más comúnmente en arena suelta, saturada, limpia a limosa, pero también se ha observado en gravas y limos no plásticos. (Ortiz & Alva, 2019)
- b. Inyección de mortero: constituye un método que mejora el terreno por desplazamiento, sin impregnarlo o fracturarlo. Se inyecta material con un elevado ángulo de rozamiento interno que impide que el material inyectado se mezcle con el propio suelo. Normalmente es mortero seco de alta viscosidad, morteros de baja movilidad o resinas expansivas. (Yepes, 2021)
- c. Ensayos triaxiales Cíclicos es un ensayo de laboratorio que permite la medición de las propiedades dinámicas bajo cargas cíclicas. En este ensayo se le aplica al espécimen estudiado cargas que simulan la acción de un sismo, aplicando un esfuerzo desviador cíclico y un confinamiento constante. (Aquino, Patiño, Portal, & Yeckle, 2021)
- d. Asentamiento diferencial Máxima diferencia de nivel entre dos cimentaciones adyacentes unidos por un elemento estructural, que pertenecen a la misma estructura. (Norma Técnica E.050 Suelos Y Cimentaciones,2018)
- e. Asentamiento diferencial tolerable Máximo asentamiento diferencial entre dos elementos adyacentes unidos por un elemento estructural, que pertenecen a la misma estructura, que al ocurrir no produce daños visibles ni causa problemas (Norma Técnica E.050 Suelos Y Cimentaciones,2018)
- f. Suelo colapsable. Suelos que al ser humedecidos sufren un asentamiento o colapso relativamente rápido, que pone en peligro a las estructuras cimentadas sobre ellos. (Norma Técnica E.050 Suelos Y Cimentaciones,2018)
- g. Suelo expansivo. Suelos que al ser humedecidos sufren una expansión que pone en peligro a las estructuras cimentadas sobre ellos. (Norma Técnica E.050 Suelos Y Cimentaciones,2018)
- h. Cimentación profunda Aquella que transmite cargas a capas del suelo mediante pilotes, pilares u otros elementos que transmitan las cargas no comprendidas en el numeral (Norma Técnica E.050 Suelos Y Cimentaciones,2018)

- i. Cimentación superficial Aquella en la cual la relación Profundidad/Ancho (D_f / B) es menor o igual a 5, siendo D_f la profundidad de la cimentación y B el ancho o diámetro de la misma. (Norma Técnica E.050 Suelos Y Cimentaciones,2018)

CAPÍTULO III: HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

Se presentará licuefacción en suelos arenosos para el sector de lomo de corvina-villa el salvador.

3.1.2. Hipótesis específica

- a. Evaluar el riesgo geotécnico de los suelos arenosos potencialmente licuables usando la metodología Seed E Idriss.
- b. Se obtendrá las propiedades físicas y parámetros geotécnicos para determinar el grado de susceptibilidad de licuación de suelos el sector Lomo de Corvina - Villa el Salvador.
- c. Se identificará como los suelos licuables generarán que el suelo pierda su estabilidad y provoque asentamiento.
- d. Se determinará el mejor método de mitigación de licuefacción para suelos del sector de Lomo de Corvina -Villa El Salvador.

3.2 Sistema de variable

a. Variable Independiente: suelos licuables

Debido a que cada suelo presenta diferentes características dependiendo de su ubicación y el tipo de suelo que tiene.

b. Variable Dependiente: Asentamiento de Suelos

Es la deformación vertical o desplazamientos ocurridos en la superficie de un terreno al ser sometido a una carga o debido a alteraciones.

3.2.1. Definición conceptual y operacional

a. Variable independiente

Suelos licuables

b. Variable dependiente

Asentamiento de suelos arenosos potencialmente licuables

3.2.2 Operacionalización de las variables

Tabla 11: Tabla de variables

Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores	Índices	Unidad de medida	Escala	Instrumento	Herramienta
Variable Independiente: suelos licuables	Arenas sueltas sometidas a vibración, lo que causa disminución de volumen.	Suelos licuables	Resistencia a la Compresión	Propiedades del suelo	Kg/cm2	Cuantitativa		NTP 339.034
			asentamiento		m			
Variable dependiente: Mejoramiento de suelos arenosos potencialmente licuables	Suelos que al ser humedecidos sufren un asentamiento o colapso relativamente rápido	Investigaciones Geotécnicas	Capacidad Portante (Ensayo de corte directo)	Tipología de suelo	Kg/cm2	Cuantitativa Continua	Especificaciones técnicas	NTP 339.171
			Asentamiento		cm		NTP 050	
			Ensayo SPT		Q		NTP 339.133	
			Ensayo CPT		N		NTP 339.148	
			Ensayo de placa de cargas		Kg/cm2			NPT 339.153

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Método de investigación

El método de estudio es deductivo, ya que partiremos de investigaciones realizadas en diferentes países para poder corroborar si es factible utilizar la inyección de mortero en los suelos del sector Lomo de Corvina - Villa el Salvador.

4.1.1 Orientación de investigación

La orientación de nuestra investigación es aplicada, ya que partiendo de investigaciones anteriores buscamos dar una alternativa para el mejoramiento del terreno potencialmente licuable en el sector Lomo de Corvina - Villa el Salvador.

4.1.2 Enfoque de investigación

El enfoque de investigación es cuantitativo ya que se basa en la recopilación de información de ensayos de laboratorio y la toma de data del software para verificar el comportamiento del suelo licuable ante la inyección de mortero.

4.1.3 Fuente de información

Nuestra fuente de recolección de datos es retroelectiva, ya que de reuniendo información de fuentes existentes como informes, trabajos de grados y documentos realizados para validar este método innovador.

4.2 Tipo de investigación

El tipo de estudio es descriptiva y explicativa, ya que pretende definir el potencial de licuación de la zona de estudio y especificar que método de mitigación de licuación es mejor para el tipo de suelo en estudio.

4.3. Nivel de la investigación

El nivel de la investigación es descriptivo ya que su finalidad es describir el potencial de licuación y proponer cual es la mejor solución para mitigar la licuación del suelo.

4.4 Diseño de investigación

Es no experimental, retrospectivo ya que usaremos datos recolectados con anterioridad que serán utilizarlos para poner a prueba las conjeturas; y transversal ya que los datos recopilados son tomados en un tiempo específico.

4.5. Población del estudio

4.5.1 Población

La investigación es de aplicación para los suelos arenosos con presencia de nivel freático ya que son potencialmente licuables en el sector de Loma de Corvina – Villa El Salvador-Lima.

4.5.2. Muestra

Se desarrollará un muestreo no intencionado, en donde determinaremos el potencial de licuefacción en suelos arenosos en las laderas de lomo de corvina él y con ello propondremos la mejor técnica para mejorar los suelos arenosos potencialmente licuables.

4.6 Técnicas e instrumentación de recolección de datos

4.6.1. Instrumentación de recolección de datos

Métodos y técnicas

Utilizaremos el método de recolección de datos de investigaciones realizadas anteriormente, realizaremos cálculos para el mejoramiento de los suelos y de ensayos recopilados de otros autores sobre investigaciones similares.

4.7. Descripción de procesamiento de análisis

Se recopilará los datos de muestras realizadas en el sector y con ello realizaremos los cálculos para determinar la susceptibilidad del suelo con la metodología Seed E Idriss, estos datos lo procesaremos en Excel, gráficos y mediante el uso del software PLAXIS 2D el cual no permitirá modelar el terreno de estudio y así también determinaremos los asentamientos.

CAPITULO V: PRESENTACION Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El proyecto sobre el cual se desarrolla la tesis de investigación, es en la zona de Loma de Corvina ubicado en el distrito de Villa el Salvador en la ciudad de Lima. A continuación, se detallará las características geográficas, técnicas y geotécnicas del proyecto, resaltando estas últimas que se emplearan para la evaluación del potencial de licuefacción, y algunas otras consideraciones extraídas del Estudio de Mecánica de Suelos realizado para este proyecto.



Figura 25. Ladera de lomo de corvina que mira hacia la panamericana Su.r
Fuente. Google Earth.



Figura 26. Casas prefabricadas sector Lomo de Corvina.
Fuente. Google Earth.

En la figura 25 y 26 se muestran casas rústicas en su mayoría donde se estima que la pendiente del terreno es de 18° a 20° como también se observa que la mayoría de casas en la pendiente son casas prefabricadas. cómo se puede observar en la figura 24 se puede observar que se ha desprendido parte de los depósitos eólicos debido a la extracción de arena para la elaboración de ladrillos y otros productos de construcción, por lo que se ha observado si bien es verdad que la mayoría de las casas son de material rústico existen casas que son de material noble que no tienen las características adecuadas. (Indeci, 2018)



Figura 27. Presencia de excavación de la parte baja del sector lomo de corvina
Fuente. Google Earth

En la tabla 12 veremos la clasificación de suelos dividido en tres zonas: zona norte, zona centro, zona sur.

Tabla 12: Clasificación de suelos por zonas

CLASIFICACION	
Zona Norte	Constituida por rellenos heterogéneos de hasta un (1) metro de espesor conformado por material gravoso, ladrillo y basura.
Zona Centro	Conformado por arena fina en estado suelto, seguida por un estrato de espesor de 0.45 m de arena mal graduada con limo fino en estado suelto.
Zona Sur	Lomada, 150 m de altura y 5 Km de longitud (SE-NO) aproximadamente, paralelo al litoral marino y Panamericana Sur (parte baja)

Fuente: (Indeci, 2018)

5.1. Diagnóstico y situación actual

5.1.1. Características Geográficas del proyecto

El terreno en el cual se va a desarrollar el proyecto se encuentra en el kilómetro 23 de la carretera panamericana sur a las faldas del Lomo de Corvina en el distrito de villa el salvador.

En la figura 28 se muestra el mapa de ubicación del sector lomo de corvina y en la figura 29 se aprecia el área de estudio a los pies del Lomo de Corvina.

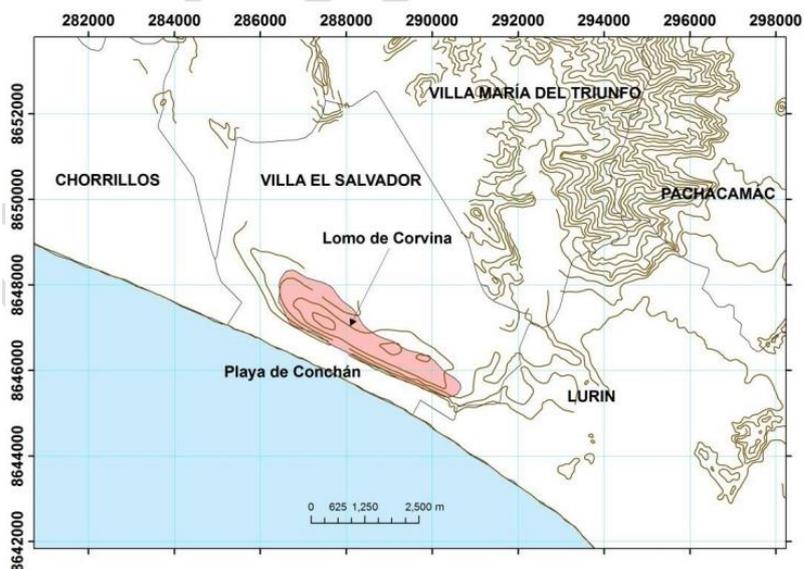


Figura 28. Ubicación del sector Lomo de Corvina.

Fuente. (Medina, Gómez, & Benavente, 2013)



Figura 29. Delimitación de la zona de estudio

Fuente. Google Earth.

5.1.2 Geomorfología y Geología de la zona de estudio

A continuación, se determinaron las condiciones geomorfológicas y geodinámicas en la estabilidad de los taludes del acantilado.

a. Geomorfología

El cerro Lomo de Corvina es la acumulación eólica antigua (probablemente del Pleistoceno), siendo acumulaciones de sedimentos transportados por el viento en regiones secas de todo el mundo y a lo largo de costas arenosas. Estos depósitos de arena se acumulan cuando el viento deja caer su carga de sedimento en el que una obstrucción situada en el camino ralentice (frenar) su movimiento. (INDECI, 2018), en la figura N27 se puede observar las laderas del lomo de corvina donde se puede observar la acumulación eólica, hoy en día hay extracción de sedimentos para diferentes usos.



Figura 30. Referencia de la ubicación del cerro Lomo de corvina.

Fuente. (INDECI, 2018)

El sector Lomo de Corvina corresponde a una duna fósil formada por acumulación de materiales eólicos provenientes de los cerros bajos ubicados al NE (Cordillera occidental; figura 30). Presenta una altura aproximada de 250 m y pendientes hasta de 30°. Se observan en el sector evaluado dos relieves: laderas con pendiente menores a 10°, donde no se generan procesos de movimiento en masa, pero que puede sufrir deformaciones por sismos; y laderas cuyas pendientes son entre 10° y 30°, susceptibles a derrumbes y flujos de arena secos. La ladera oeste de la duna

presenta una pendiente entre 18°- 25°. (Medina, Gómez, & Benavente, 2013)

b. Geología

De acuerdo a la Carta Geológica de Lomo de Corvina, elaborado por el INGEMMET, los depósitos superficiales son de naturaleza arenosa, de tipo y origen eólico. Provenientes de las primeras estribaciones de la Cordillera Occidental habiéndose movilizado y depositado al borde del abanico aluvial de Lima por acción del viento en este sector. Las acumulaciones han formado la duna del mismo nombre, de edad Pleistoceno – Holoceno (INDECI, 2018)

La geología en el sector de lomo de corvina lo podemos ver en la figura 31 donde podemos leer la leyenda de la siguiente manera Qn-al; depósitos holocénicos aluviales. Qn-e; depósitos holocénicos eólicos, QN-m depósitos holocénicos marinos y Qpi-w-e; depósitos pleistocénicos eólicos. (Medina, Gómez, & Benavente, 2013)

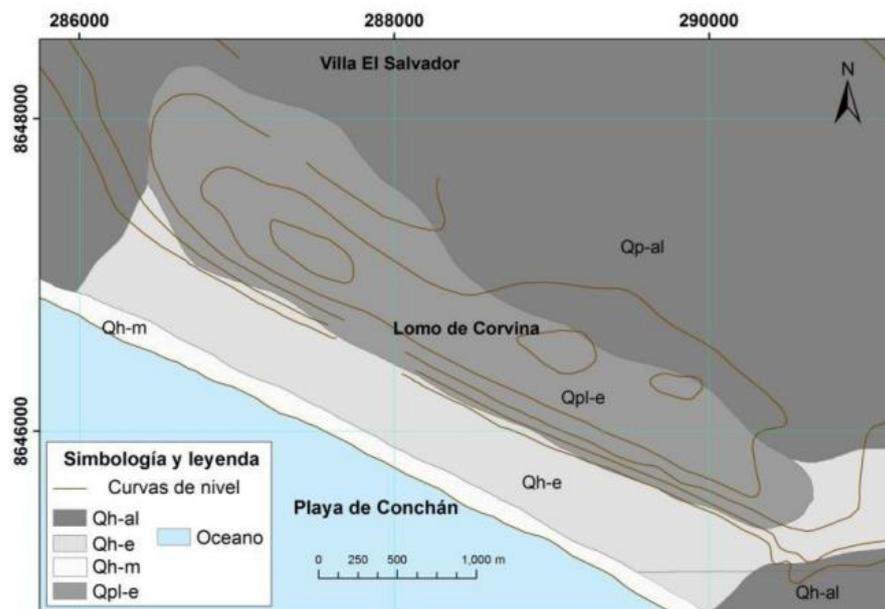


Figura 31. Mapa Geológico del sector Lomo de Corvina.
Fuente. (INDECI, 2018)

Peligros Geológicos

De acuerdo a las condiciones de sitio en Lomo de Corvina, los peligros geológicos que se pueden presentar en la duna Lomo de Corvina, ocupada por viviendas de varios AA.HH (Mirador de Villa Ampliación La Encantada, A.H. 11 de Diciembre, A.H. Collasuyo, San Ignacio de Loyola,

Noveno 3 A, Noveno 6, Noveno 3, Noveno 5, Mirador de Villa 200 Millas, Villa Rica, Huasi Huasi, Oasis 2 A, Oasis 3 A, Oasis 4 A, Jardines de Pachacamac, Laureles de Villa, Ida Lossio, Villa del Mar, Ampliación Edilberto Ramos, Villa Las Palmeras, Héroes del Cenépa, Valle de Jesús, Los Ficus de Monte Carmelo, Asociación Señor del Morro de Conchan) son: derrumbes (por corte de talud), flujos secos (típicos en materiales granulares), licuación de suelos (con sismos y rotura de tuberías de agua y/o desagüe), arenamientos (proceso ligado a la migración de las arenas). Las viviendas asentadas al pie y al oeste de “Lomo de Corvina” como: la Asociación Villa El Milagro, Asociación de Vivienda Santa Rosa de Llanavilla, Asociación de Familias Santa Rosa de Villa y Asociación Huertos de los Rosales pueden ser afectadas por tsunamis. Cabe resaltar que también se podrían generar colapsos de talud, por la carga aplicada en él (como viviendas, tanque de agua potable, cortes de talud, rupturas de tuberías de agua potable o desagüe, entre otros). Un sismo de gran magnitud, como el que se espera en Lima, desencadenaría todos lo descrito en los párrafos descritos anteriormente. (Medina, Gómez, & Benavente, 2013)

c. Propiedades Mecánicas y dinámicas en el suelo

La caracterización y distribución del tipo de suelo en Lima Metropolitana considera las propiedades mecánicas y dinámicas contenidas en el código de Diseño Sismo resistente del Reglamento Nacional de Construcciones (Norma E-030, 2016) y estudios del CISMID, de las cuales el distrito de Villa el Salvador, y en especial el Asentamiento Humano de Lomo de Corvina, se encuentran ubicados en la Zona IV, cuyo tipo de suelo es S4 (rojo), lo cual significa según la Norma E-030, que: Tipo de suelo S4: A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables. (INDECI, 2018).

d. Microzonificación Sísmica – Geotécnica

En función a las características sísmicas de la costa, el sector de Lomo de Corvina se ubica dentro de una zona altamente sísmica, que, ante un movimiento sísmico se genera el potencial desencadenamiento de los procesos geodinámicos como licuación de suelos, derrumbes y flujos

secos. Siendo el más peligroso la licuefacción (comportamiento de suelos que estando sujetos a la acción de una fuerza externa adquieren la consistencia de un líquido pesado, siendo inducidos en gran parte por la actividad sísmica). El asentamiento humano Lomo de Corvina mantiene un conflicto entre su aparente propiedad y seguridad, pues familias enteras viven allí desde hace más de dos décadas. Sin embargo, ha sido clasificada como una zona de alto riesgo por Defensa Civil y el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

5.2 Presentación de resultados

5.2.1 Perfil Geotécnico de los Punto Estudiados

a. Punto PP3

Tabla 13: de los ensayos de laboratorio se ha obtenido el siguiente perfil geotécnico

Muestra	Profundidad		Granulometría			Limites (%)		Contenido de humedad (%)	Clasificación SUCS
			Grava	Arena	Finos	<i>L.L</i>	<i>L.P</i>		
M-1	0.00	0.70	51.97	40.47	7.55	NP	NP	2.14	GP-GM
M-2	0.70	1.50	51.81	37.87	10.32	NP	NP	0.85	GP-GM
M-3 (SPT 1)	1.50	1.95	0.98	74.09	24.93	NP	NP	10.41	SM
M-4	1.95	2.40	0.23	71.08	28.69	NP	NP	0.39	SM
M-5	2.40	3.00	4.04	63.42	32.54	NP	NP	2.22	SM
M-6 (SPT 2)	3.00	3.20	0.00	82.43	17.57	NP	NP	7.53	SM
M-7	3.20	4.00	0.10	85.67	14.23	NP	NP	11.88	SM
M-8	4.00	4.50	0.08	80.58	19.34	NP	NP	13.51	SM
M-9 (SPT 3)	4.50	4.85	0.00	80.51	19.49	NP	NP	12.90	SM
M-10	4.85	5.50	4.61	90.70	4.69	NP	NP	6.22	SP
M-11	5.50	6.00	3.24	96.09	0.67	NP	NP	5.39	SP
M-12 (SPT 4)	6.00	6.45	1.64	96.84	1.51	NP	NP	12.43	SP
M-13	6.45	7.10	0.00	99.26	0.74	NP	NP	17.00	SP
M-14	7.10	7.60	0.00	99.55	0.45	NP	NP	18.20	SP
M-15	7.60	8.00	0.00	99.66	0.34	NP	NP	20.35	SP
M-16 (SPT 5)	8.00	8.20	0.00	99.63	0.37	NP	NP	18.23	SP
M-17	8.20	8.80	0.00	99.62	0.08	NP	NP	22.06	SP

M-18	8.80	9.30	0.00	99.61	0.39	NP	NP	20.73	SP
M-19	9.30	10.00	0.00	98.25	1.75	NP	NP	20.04	SP
M-20 (SPT 6)	10.00	10.10	0.00	99.63	0.37	NP	NP	23.40	SP
M-21	10.10	10.70	0.47	98.46	1.07	NP	NP	17.39	SP
M-22	10.70	11.20	0.77	98.31	0.86	NP	NP	20.35	SP
M-23	11.20	11.70	0.06	99.06	0.88	NP	NP	18.97	SP
M-24	11.70	12.10	0.07	97.79	2.14	NP	NP	20.86	SP
M-25	12.10	12.50	0.47	97.75	1.79	NP	NP	19.26	SP
M-26 (SPT 7)	12.50	12.77	0.00	88.70	11.30	NP	NP	21.23	SP-SM
M-27	12.77	13.77	0.31	99.18	0.50	NP	NP	16.79	SP
M-28	13.77	13.97	0.06	99.16	0.77	NP	NP	16.19	SP
M-29	13.97	14.47	0.00	94.39	5.61	NP	NP	16.19	SP-SM
M-30	14.47	15.00	0.00	94.42	5.58	NP	NP	19.50	SP-SM
M-31 (SPT 8)	15.00	15.10	0.00	90.83	9.17	NP	NP	16.89	SP-SM
M-32	15.10	15.70	0.15	94.81	5.04	NP	NP	19.04	SP-SM
M-33	15.70	16.30	1.28	95.56	3.16	NP	NP	13.52	SP
M-34	16.30	17.00	0.63	94.81	4.55	NP	NP	7.98	SP
M-35	17.00	17.50	0.18	96.82	3.00	NP	NP	8.65	SP
M-36	17.50	18.00	0.00	97.24	2.76	NP	NP	20.55	SP
M-37 (SPT 9)	18.00	18.15	0.21	79.28	20.51	NP	NP	18.11	SM
M-38	18.15	18.70	2.99	95.97	1.04	NP	NP	8.90	SP
M-39	18.70	19.40	3.11	96.28	0.61	NP	NP	14.22	SP
M-40	19.40	20.10	4.94	93.94	1.15	NP	NP	9.35	SP
M-41	20.10	20.50	1.75	97.05	1.20	NP	NP	4.49	SP
M-42	20.50	21.00	5.73	92.45	1.82	NP	NP	43.68	SP
M-43 (SPT 10)	21.00	21.35	2.31	95.47	2.23	NP	NP	13.19	SP

Fuente: (Max, 2020)

b. Punto de sondeo PP-04

Tabla 14: De los ensayos de laboratorio se ha obtenido el siguiente perfil geotécnico

Muestra	Profundidad	Granulometría			Límites (%)		Contenido de humedad (%)	Clasificación SUCS
		Grava	Arena	Finos	L.L	L.P		

M-1	0.00	0.80	73.21	19.81	6.98	NP	NP	0.28	GP-GM
M-2	0.80	1.50	63.10	33.37	3.52	NP	NP	0.81	GW
M-3 (SPT 1)	1.50	1.90	16.30	49.39	36.32	NP	NP	3.14	SM
M-4	1.90	2.50	16.20	60.71	23.09	NP	NP	0.67	SM
M-5	2.50	3.50	0.00	98.21	1.79	NP	NP	8.95	SP
M-6 (SPT 2)	3.50	3.90	0.22	84.88	14.90	NP	NP	12.28	SM
M-7	3.90	4.40	0.07	85.47	14.46	NP	NP	8.80	SM
M-8	4.40	5.00	0.06	78.62	21.32	NP	NP	7.02	SM
M-9 (SPT 3)	5.00	5.45	0.00	88.69	11.32	NP	NP	15.84	SP-SM
M-10	5.45	6.00	0.00	80.19	19.87	NP	NP	10.07	SM
M-11	6.00	6.50	0.00	87.58	12.42	NP	NP	10.55	SM
M-12 (SPT 4)	6.50	6.70	0.00	88.50	11.50	NP	NP	14.80	SP-SM
M-13	6.70	8.00	0.00	81.07	18.93	NP	NP	11.61	SM
M-14 (SPT 5)	8.00	8.40	0.33	91.24	8.43	NP	NP	16.86	SP-SM
M-15	8.40	9.10	0.00	92.21	7.79	NP	NP	12.80	SP-SM
M-16	9.10	9.50	0.00	80.04	19.96	NP	NP	9.80	SM
M-17 (SPT 6)	9.50	9.95	0.10	89.07	10.83	NP	NP	19.79	SP-SM
M-18	9.95	10.50	0.00	90.92	9.08	NP	NP	20.02	SP-SM
M-19	10.50	11.00	0.00	87.51	12.49	NP	NP	21.02	SM
M-20	11.00	11.60	0.00	79.67	20.33	NP	NP	13.32	SM
M-21	11.60	12.00	1.46	72.42	26.12	NP	NP	12.71	SM
M-22	12.00	12.50	2.74	91.38	5.88	NP	NP	12.05	SP-SM
M-23 (SPT 7)	12.50	12.90	0.00	93.06	6.94	NP	NP	17.99	SP-SM
M-24	12.90	13.50	0.00	94.54	5.46	NP	NP	17.52	SP-SM
M-25	13.50	14.20	0.11	89.45	10.44	NP	NP	16.20	SP-SM
M-26	14.20	14.80	0.00	93.01	6.99	NP	NP	13.31	SP-SM
M-27	14.80	15.50	0.00	92.57	7.43	NP	NP	17.43	SP-SM
M-28 (SPT 8)	15.50	15.95	0.00	93.74	6.26	NP	NP	22.61	SP-SM
M-29	15.95	16.50	0.00	94.08	5.92	NP	NP	21.12	SP-SM
M-30	16.50	17.00	0.00	86.59	13.41	NP	NP	19.78	SM
M-31	17.00	17.40	0.00	90.72	9.28	NP	NP	26.04	SP-SM
M-32	17.40	18.00	0.09	87.20	12.71	NP	NP	13.78	SM
M-33 (SPT 9)	18.00	18.50	0.00	89.43	10.57	NP	NP	13.78	SP-SM
M-34	18.50	19.35	0.00	98.11	1.89	NP	NP	23.49	SP
M-35	19.35	19.95	0.00	98.22	1.78	NP	NP	22.99	SP
M-36	19.95	20.65	0.00	97.08	2.92	NP	NP	23.55	SP

M-37	20.65	21.25	0.00	96.43	3.57	NP	NP	26.28	SP
M-38	21.25	21.55	0.00	97.49	2.54	NP	NP	24.41	SP
M-39	21.55	21.70	1.90	82.92	15.19	NP	NP	22.95	SM

Fuente: (Max, 2020)

c. Punto de sondeo PP-05

Tabla 15 Ensayos de laboratorio se ha obtenido el siguiente perfil geotécnico

Muestra	Profundidad		Granulometría			Límites (%)		Contenido de humedad (%)	Clasificación SUCS
			Grava	Arena	Finos	L.L	L.P		
M-1	0.00	1.00	41.95	46.96	11.09	NP	NP	1.50	SP-SM
M-2	1.00	1.50	0.00	91.01	8.99	NP	NP	1.14	SP-SM
M-3 (SPT 1)	1.50	1.95	12.11	76.85	11.05	NP	NP	11.94	SP-SM
M-4	1.95	2.50	16.88	71.74	11.58	NP	NP	3.26	SP-SM
M-5	2.50	3.00	17.68	72.19	10.13	NP	NP	2.16	SP-SM
M-6 (SPT 2)	3.00	3.45	0.00	98.54	1.46	NP	NP	15.84	SP
M-7	3.45	4.10	0.00	98.62	1.38	NP	NP	14.90	SP
M-8	4.10	4.50	1.32	96.22	2.46	NP	NP	1.94	SP
M-9 (SPT 3)	4.50	4.75	4.72	88.84	6.45	NP	NP	16.67	SP-SM
M-10	4.75	5.20	0.28	87.18	12.54	NP	NP	11.34	SM
M-11	5.20	6.00	0.76	68.61	30.63	NP	NP	1.89	SM
M-12 (SPT 4)	6.00	6.05	0.00	89.50	10.50	NP	NP	13.15	SP-SM
M-13	6.05	6.70	0.00	83.38	16.62	NP	NP	9.40	SM
M-14	6.70	7.50	0.06	72.35	12.59	NP	NP	4.79	SM
M-15 (SPT 5)	7.50	7.60	0.40	91.01	8.59	NP	NP	14.80	SW-SM
M-16	7.60	8.10	1.05	95.60	3.36	NP	NP	15.69	SP
M-17	8.10	8.50	0.38	98.75	0.86	NP	NP	6.04	SP
M-18	8.50	9.00	0.16	99.49	0.35	NP	NP	10.19	SP
M-19	9.00	9.50	0.62	98.76	0.32	NP	NP	4.05	SP
M-20 (SPT 6)	9.50	9.95	0.00	99.52	0.48	NP	NP	21.45	SP
M-21	9.95	10.65	1.06	97.19	1.75	NP	NP	8.70	SP
M-22	10.65	11.25	0.30	99.53	0.17	NP	NP	11.79	SP
M-23	11.25	11.85	0.00	99.84	0.16	NP	NP	19.11	SP
M-24	11.85	12.55	0.00	99.59	0.41	NP	NP	12.60	SP
M-25 (SPT 7)	12.55	12.85	34.83	57.97	7.19	NP	NP	9.76	SP-SM
M-26	12.85	13.50	0.00	73.13	26.87	NP	NP	10.02	SM

M-27	13.50	14.00	0.28	84.81	14.91	NP	NP	11.44	SM
M-28	14.00	14.50	0.47	94.08	5.45	NP	NP	14.84	SP-SM
M-29	14.50	15.00	0.00	97.83	2.17	NP	NP	11.09	SP
M-30	15.00	15.50	0.82	96.21	2.97	NP	NP	12.41	SP
M-31 (SPT 8)	15.50	15.95	0.85	90.04	9.10	NP	NP	18.97	SP-SM
M-32	15.95	16.50	0.00	99.59	0.41	NP	NP	20.28	SP
M-33	16.50	17.10	0.00	99.79	0.21	NP	NP	16.57	SP
M-34	17.10	17.50	0.00	99.76	0.24	NP	NP	14.79	SP
M-35	17.50	18.00	0.00	99.38	0.62	NP	NP	16.85	SP
M-36	18.00	18.50	0.00	99.53	0.47	NP	NP	16.90	SP
M-37 (SPT 9)	18.50	18.95	2.43	96.75	0.81	NP	NP	19.85	SP
M-38	18.95	19.55	0.31	97.03	2.66	NP	NP	15.36	SP
M-39	19.55	20.25	0.18	98.93	0.89	NP	NP	14.97	SP
M-40	20.25	20.85	0.00	99.46	0.54	NP	NP	12.25	SP
M-41	20.85	21.35	0.00	99.48	0.52	NP	NP	10.41	SP
M-42	21.35	21.95	0.00	98.62	1.38	NP	NP	17.19	SP
M-43 (SPT 10)	21.95	22.05	0.00	98.97	1.03	NP	NP	21.80	SP

Fuente: (Max, 2020)

5.2.2. Ensayo de corte directo

Se realizaron ensayos de corte directo de muestras a cierta profundidad de las 3 que se realizaron siguiendo las normas ASTM.

Tabla 16: ensayo de corte directo.

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD		CORTE DIRECTO	
				<i>c</i> (Kg/cm ²)	ϕ (°)
PP-03	<i>M-9 (SPT 3)</i>	<i>4.50</i>	<i>4.85</i>	<i>0.15</i>	<i>31.38</i>
PP-04	<i>M-6 (SPT 2)</i>	<i>3.50</i>	<i>3.90</i>	<i>0.17</i>	<i>29.25</i>
PP-05	<i>M-9 (SPT 3)</i>	<i>4.50</i>	<i>4.75</i>	<i>0.17</i>	<i>30.54</i>

Fuente: (Max, 2020)

Donde la cohesión (*c*) y el ángulo de fricción (ϕ) se obtiene de las figuras 29,30,31.

Los valores de la cohesión (c) y el ángulo de fricción (ϕ) se obtuvieron del gráfico de Esfuerzo normal y esfuerzo cortante.

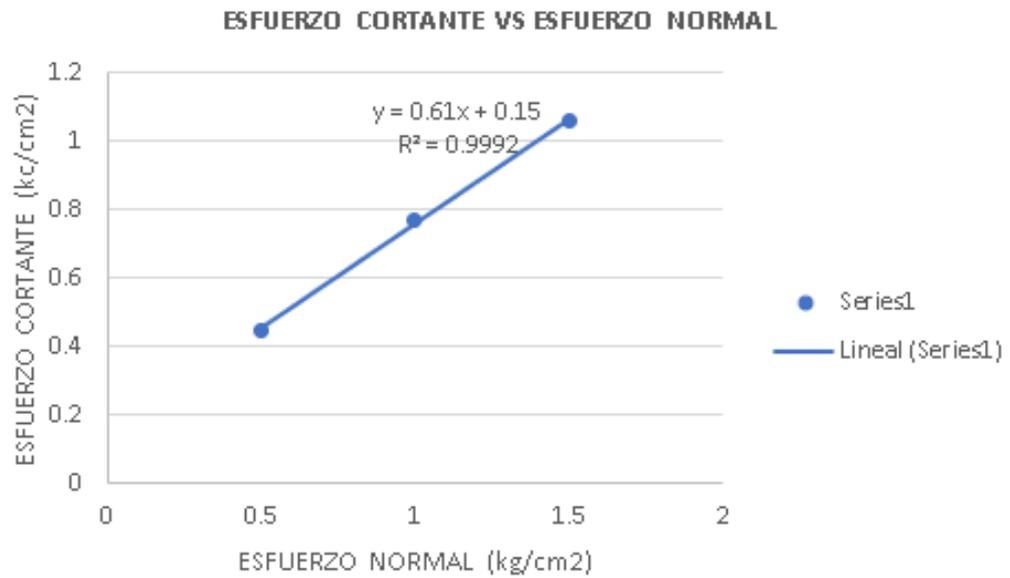


Figura 32: Gráfico de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal del PP-03.
Fuente: (Max, 2020)

Donde:

C: 0.15

ϕ : $\arctan(0.61) = 31.38$

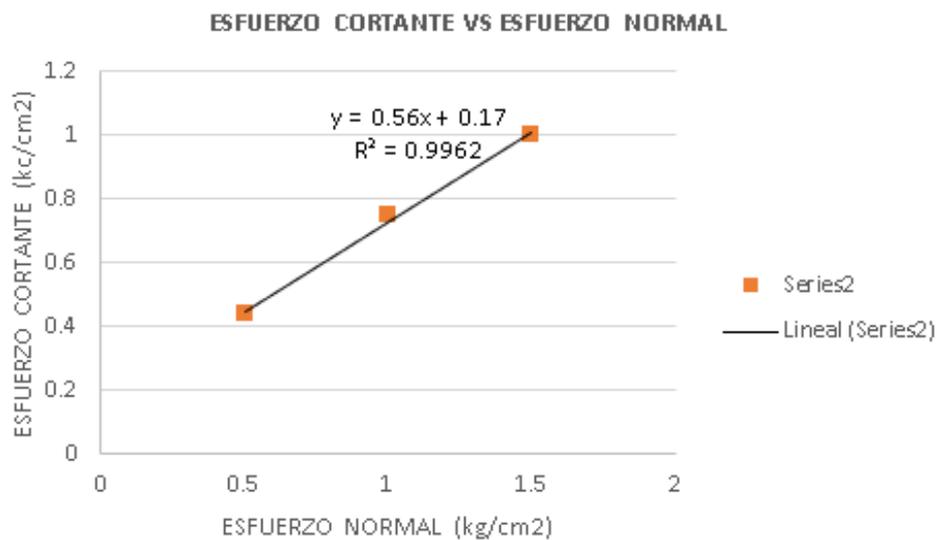


Figura 33. Gráfico de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal del PP-04
Fuente. (Max, 2020)

Donde:

$$C = 0.17$$

$$\phi = \arctan(0.56) = 29.25$$

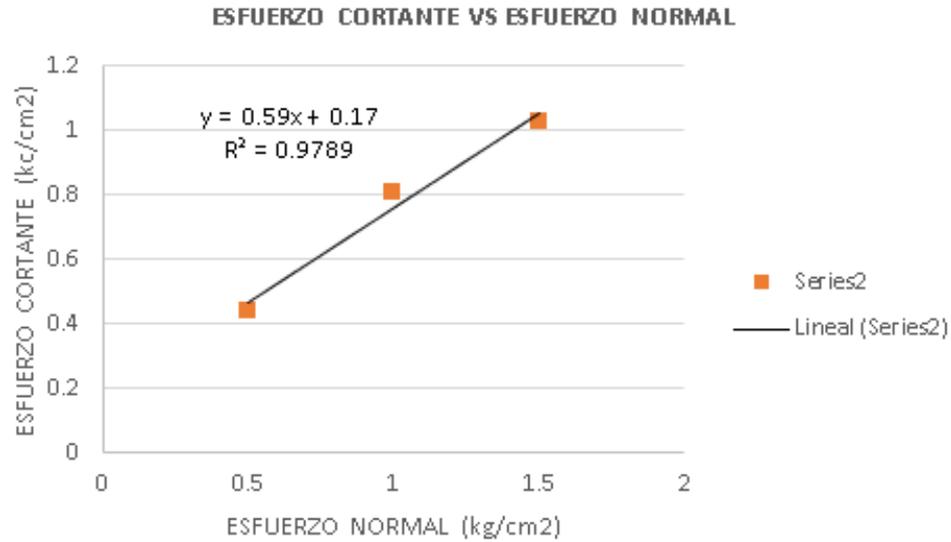


Figura 34. Gráfico de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal del PP-05.

Fuente. (Max, 2020)

Donde:

$$C = 0.17$$

$$\phi = \arctan(0.59) = 30.54$$

5.2.3. Cálculo de los Esfuerzos

a. Perfil Geotécnico PP-03

Tabla 17: cálculo de esfuerzo en el punto 03

Profundidad (m)	Tipo de Suelo	Valor de N SPT en Campo	Peso Específico Total Suelo Γ (Tn/m ³)	Peso específico Agua γ_w (Tn/m ³)	Esfuerzo Total (Tn/m ²)	Presión Intersticial (Tn/m ²)	Esfuerzo Efectivo (Tn/m ²)
1.95	SM	50	1.98	1	3.85	0	3.85
3.2	SM	50	1.98	1	6.32	0	6.32
4.85	SM	50	1.98	1	9.58	0	9.58
6.45	SP	50	2.08	1	13.42	1.05	12.37
8.2	SP	50	2.08	1	17.06	2.8	14.26
10.1	SP	50	2.08	1	21.01	4.7	16.31
12.77	SP-SM	50	2.10	1	26.82	7.37	19.45

15.1	SP-SM	50	2.10	1	31.71	9.7	22.01
18.15	SM	50	2.10	1	38.12	12.75	25.37
21.35	SP	50	2.10	1	44.84	15.95	28.89
24.45	SM	50	2.10	1	51.35	19.05	32.30

Fuente: Elaboración Propia

Del cual encontramos el nivel freático a una profundidad de 5.4m

Elaboramos un gráfico para observar el comportamiento de los esfuerzos al tener contacto con el nivel freático.

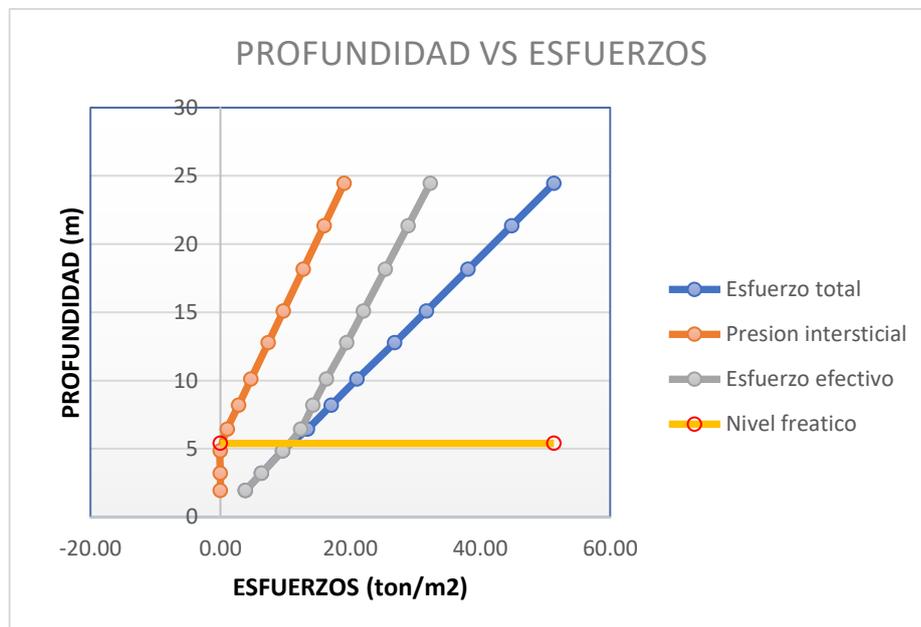


Figura 35. Diagrama de esfuerzos vertical, con 5.4 m de nivel freático – PP 03

Fuente. Elaboración Propia

b. Perfil geotécnico PP04

Tabla 18: Calculo del esfuerzo en el punto PP-04

Profundidad (M)	Tipo De Suelo	Valor De N SPT En Campo	Peso Específico Total Suelo Γ (Tn/M3)	Peso Específico Agua Γ_w (Tn/M3)	Esfuerzo Total (Tn/M2)	Presión Intersticial (Tn/M2)	Esfuerzo Efectivo (Tn/M2)
1.9	SM	50	1.98	1	3.76	0	3.76
3.9	SM	50	1.98	1	7.72	0	7.72
5.45	SP-SM	30	1.86	1	10.14	1.23	8.91

6.7	SP-SM	50	2.03	1	13.60	2.48	11.12
8.4	SP-SM	50	2.08	1	17.47	4.18	13.29
9.95	SP-SM	20	1.79	1	17.81	5.73	12.08
12.9	SP-SM	50	2.1	1	27.09	8.68	18.41
15.95	SP-SM	12	1.72	1	27.43	11.73	15.70
18.5	SP-SM	50	2.1	1	38.85	14.28	24.57
21.7	SM	50	2.1	1	45.57	17.48	28.09

Fuente: Elaboración Propia

Del cual encontramos el nivel freático a una profundidad de 4.22m.

Elaboramos un gráfico para observar el comportamiento de los esfuerzos al tener contacto con el nivel freático.

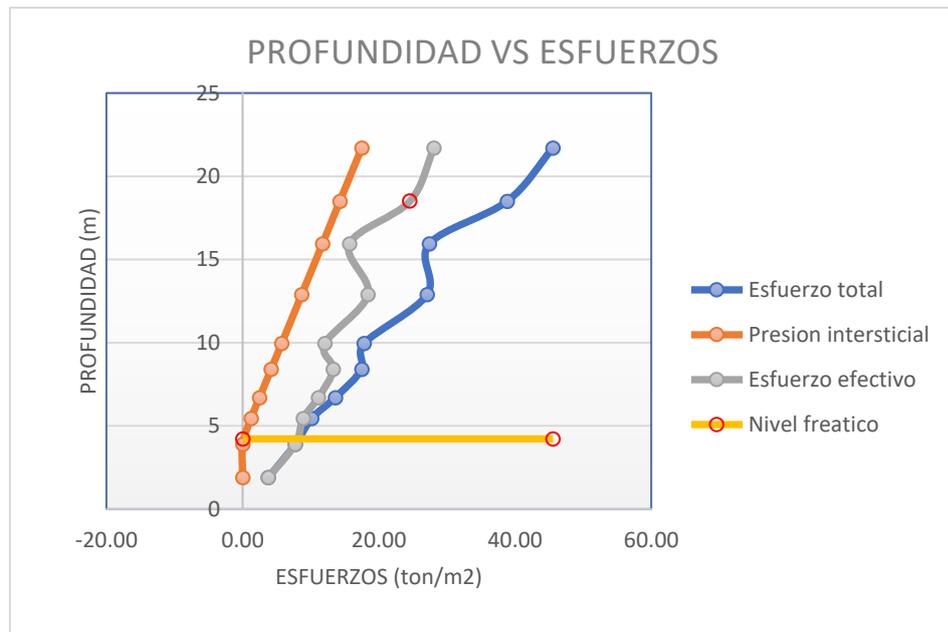


Figura 36. Diagrama de esfuerzos vertical, con 5.4 m de nivel freático – PP 04

Fuente. Elaboración Propia

c. Perfil Geotécnico PP-05

Tabla 19: Calculo del esfuerzo en el punto PP-05

Profundidad (M)	Tipo De Suelo	Valor De N SPT En Campo	Peso Específico Total Suelo Γ (Tn/M3)	Peso Específico Agua Γ_w (Tn/M3)	Esfuerzo Total (Tn/M2)	Presión Intersticial (Tn/M2)	Esfuerzo Efectivo (Tn/M2)
1.95	SP-SM	32	1.84	1	3.59	0	3.59

3.45	SP	67	2.1	1	7.25	0	7.25
4.75	SP-SM	50	1.98	1	9.41	0	9.41
6.05	SP-SM	50	1.98	1	11.98	0	11.98
7.6	SW-SM	50	1.98	1	15.05	1	14.05
9.95	SP	11	1.68	1	16.72	3.35	13.37
12.85	SP-SM	50	1.98	1	25.44	6.25	19.19
15.95	SP-SM	50	1.98	1	31.58	9.35	22.23
18.95	SP	45	1.94	1	36.76	12.35	24.41
22.05	SP	80	2.2	1	48.51	15.45	33.06

Fuente: Elaboración Propia

Del cual encontramos el nivel freático a una profundidad de 6.6m
Elaboramos un gráfico para observar el comportamiento de los esfuerzos al tener contacto con el nivel freático

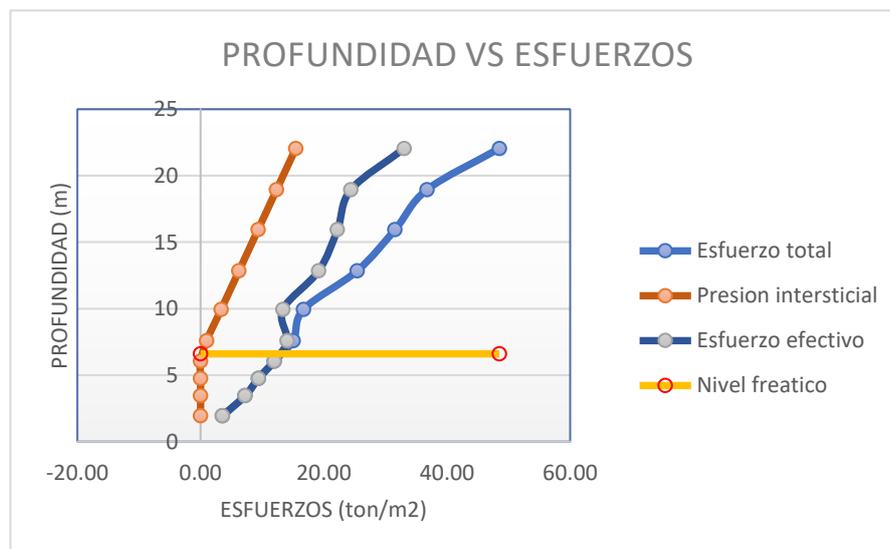


Figura 37. Diagrama de esfuerzos vertical, con 5.4 m de nivel freático – PP 05
Fuente. Elaboración Propia

5.2.4. Corrección de los valores N del ensayo SPT

Para las correcciones de los valores de N tomaremos los datos indicados por la Norma Técnica Peruana.

Tabla 20: correcciones tomadas de las tablas 3, 4,5 y 6

60	<i>Eficiencia del martinete 60%</i>
-----------	--

1	<i>diámetro de muestreador</i>
1	<i>corrección del muestreador</i>
0.75	<i>longitud de la barra</i>

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 21: correcciones tomadas de las tablas 3, 4,5 y 6

60	<i>Eficiencia del martinete 60%</i>
1	<i>diámetro de muestreador</i>
1	<i>corrección del muestreador</i>
0.75	<i>longitud de la barra</i>

Fuente: Elaboración Propia

a. Análisis Para PP-03

Tabla 22: Calculo de corrección presión por sobrecarga

Profundidad (M)	Valor De N SPT En Campo	Esfuerzo Efectivo (Tn/M2)	Esfuerzo Efectivo (Hg/Cm2)	Valor N60 Spt	Corrección Presión De Sobrecarga *	(N1)60 *
	CN					
1.95	50	3.85	0.39	38	1.61	60
3.2	50	6.32	0.63	38	1.26	47
4.85	50	9.58	0.96	38	1.02	38
6.45	50	12.37	1.24	38	0.90	34
8.2	50	14.26	1.43	38	0.84	31
10.1	50	16.31	1.63	38	0.78	29
12.77	50	19.45	1.94	38	0.72	27
15.1	50	22.01	2.20	38	0.67	25
18.15	50	25.37	2.54	38	0.63	24
21.35	50	28.89	2.89	38	0.59	22
24.45	50	32.30	3.23	38	0.56	21

Fuente: Elaboración Propia

b. Análisis para PP-04

Tabla 23: Calculo de corrección de presión por sobrecarga

Profundidad (m)	VALOR DE N SPT EN CAMPO	Esfuerzo Efectivo (Tn/m2)	Esfuerzo Efectivo (hG/cm2)	Valor N60 SPT	Corrección Presión de Sobrecarga *	(N1))60 *
	CN					

1.9	50	3.76	0.38	38	1.63	61
3.9	50	7.72	0.77	38	1.14	43
5.45	30	8.91	0.89	23	1.06	24
6.7	50	11.12	1.11	38	0.95	36
8.4	50	13.29	1.33	38	0.87	33
9.95	20	12.08	1.21	15	0.91	14
12.9	50	18.41	1.84	38	0.74	28
15.95	12	15.70	1.57	9	0.80	7
18.5	50	24.57	2.46	38	0.64	24
21.7	50	28.09	2.81	38	0.60	22

Fuente: Elaboración Propia

c. Análisis para PP-05

Tabla 24: Cálculo de corrección de presión por sobrecarga

Profundidad (m)	VALOR DE N SPT EN CAMPO	Esfuerzo Efectivo (Tn/m ²)	Esfuerzo Efectivo (hG/cm ²)	Valor N60 SPT	Corrección Presión de Sobrecarga CN	(N1)60 *
1.95	32	3.59	0.36	24	1.67	40
3.45	67	7.25	0.72	50	1.17	59
4.75	50	9.41	0.94	38	1.03	39
6.05	50	11.98	1.20	38	0.91	34
7.6	50	14.05	1.40	38	0.84	32
9.95	11	13.37	1.34	8	0.86	7
12.85	50	19.19	1.92	38	0.72	27
15.95	50	22.23	2.22	38	0.67	25
18.95	45	24.41	2.44	34	0.64	22
22.05	80	33.06	3.31	60	0.55	33

Fuente: Elaboración Propia

5.2.4. Determinación de la Susceptibilidad de Licuación (M=7.5)

Teniendo nuestra zona sísmica está considerada como Zona 4, tomaremos una $a_{Max} = 0.45g$



Fuente. Tomado de (NTP E030, 2018)

Figura 38. Aceleración Sísmica

Fuente. Norma técnica peruana, 2018

En la siguiente tabla determinaremos el FS en las distintas profundidades para determinar los puntos en donde el suelo presenta licuación considerando una magnitud sísmica (M) = 7.5

Para determinar los valores de CRR se usará las siguientes tablas, tanto para contenido de finos $\geq 5\%$ como $\leq 5\%$. En la figura 39 se ve la relación de esfuerzos cíclicos que causan licuación en función de (N1)₆₀ que son para arenas limosas y sismos M=7.5

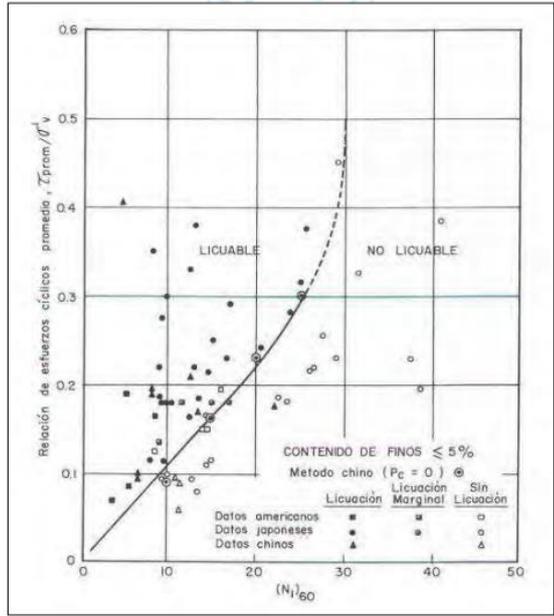


Figura 39. Relaciones de esfuerzos cíclicos.
 Fuente. (Henríquez, 2007)

En la figura 40 se observa Relaciones de esfuerzos cíclicos que causan licuación en función de $(N1)60$, para arenas limosas y sismo $M=7.5$ (Seed y otros, 1985).

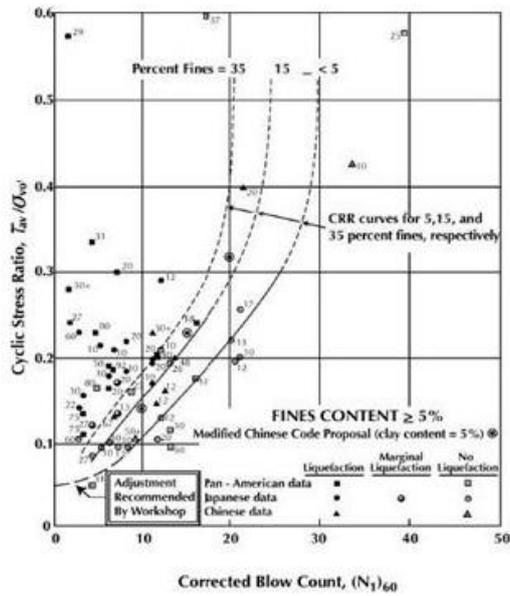


Figura 40. Relaciones de esfuerzos cíclicos
 Fuente. Tomado de (Henríquez, 2007)

a. Punto PP-03

Tabla 25: Susceptibilidad del suelo

Profundidad (m)	Esfuerzo Total (T/m ²)	Rd	Esfuerzo Efectivo (T/m ²)	N1 (60)	CSR (M=7.5)	(CRR) M=7.5	% Finos	FS	Susceptibilidad De Licuación
1.95	3.85	0.99	3.85	60	0.293717				NO LICUABLE
3.2	6.32	0.98	6.32	47	0.2908661				NO LICUABLE
4.85	9.58	0.96	9.58	38	0.287102				NO LICUABLE
6.45	13.42	0.95	12.37	34	0.307521				NO LICUABLE
8.2	17.06	0.94	14.26	31	0.334349				NO LICUABLE
10.1	21.01	0.90	16.31	29	0.347350	0.4	0.37	1.15157	NO LICUABLE
12.77	26.82	0.83	19.45	27	0.342516	0.5	11.3	1.45978	NO LICUABLE
15.1	31.71	0.77	22.01	25	0.331124	0.34	9.17	1.02680	NO LICUABLE
18.15	38.12	0.69	25.37	24	0.308877	0.6	20.5	1.94251	NO LICUABLE
21.35	44.84	0.60	28.89	22	0.279515	0.25	2.23	0.89440	LICUABLE

Fuente: Elaboración Propia

De la zona de estudio PP-03 podemos observar que la licuación se presenta a una profundidad de 21.35m

Esto podemos verlo mediante una representación gráfica.

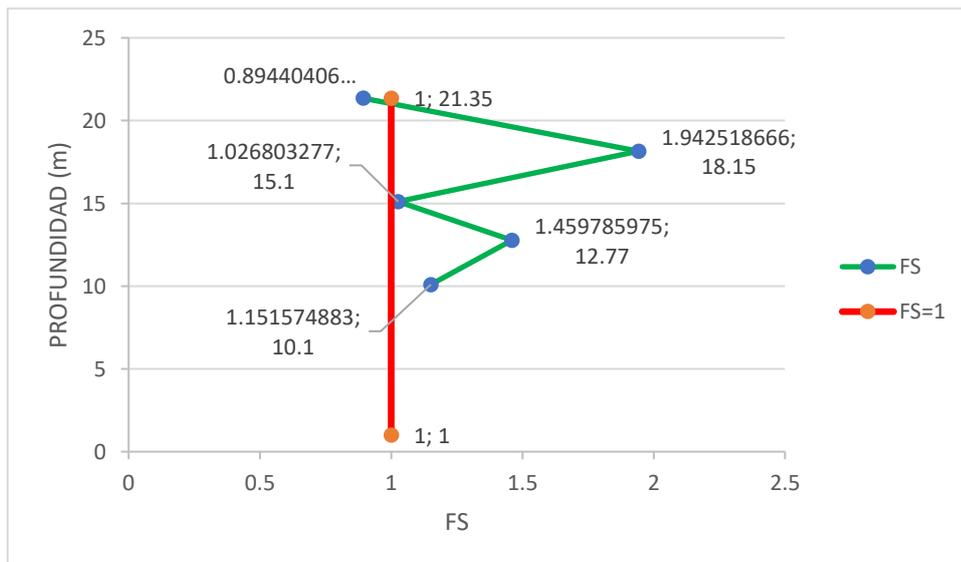


Figura 41. Gráfico de profundidad vs Factor de seguridad (M=7.5)

Fuente. Elaboración Propia

b. Punto PP-04

Tabla 26: Susceptibilidad de suelos

Profundidad (m)	Esfuerzo Total (T/m ²)	Rd	Esfuerzo Efectivo (T/m ²)	N1 (60)	CSR (M=7.5)	(CRR M=7.5)	% Finos	FS	Susceptibilidad De Licuación
1.9	3.76	0.99	3.76	61	0.2938313				NO LICUABLE
3.9	7.72	0.97	7.72	43	0.2892694				NO LICUABLE
5.45	10.14	0.96	8.91	24	0.3251919	0.34	11.32	1.0455364	NO LICUABLE
6.7	13.60	0.95	11.12	36	0.345966				NO LICUABLE
8.4	17.47	0.94	13.29	33	0.3667451				NO LICUABLE
9.95	17.81	0.91	12.08	14	0.3992952	0.19	10.83	0.4758384	LICUABLE
12.9	27.09	0.83	18.41	28	0.3639696	0.38	6.94	1.044043	NO LICUABLE
15.95	27.43	0.75	15.70	7	0.3896868	0.08	6.26	0.205293	LICUABLE
18.5	38.85	0.68	24.57	24	0.3206148	0.33	10.57	1.0292724	NO LICUABLE
21.7	45.57	0.59	28.09	22	0.2876182	0.37	15.19	1.286427	NO LICUABLE

Fuente: Elaboración propia

En este punto vemos que ocurre licuación a los 21.35m de profundidad, el material es una arena fina mal gradada (SP), las cuales se encuentran en estado saturado ya que el nivel freático viene desde una profundidad de 5.4 metros con respecto a la cota de altura.

Representación gráfica de la licuación de suelos en el punto PP-04

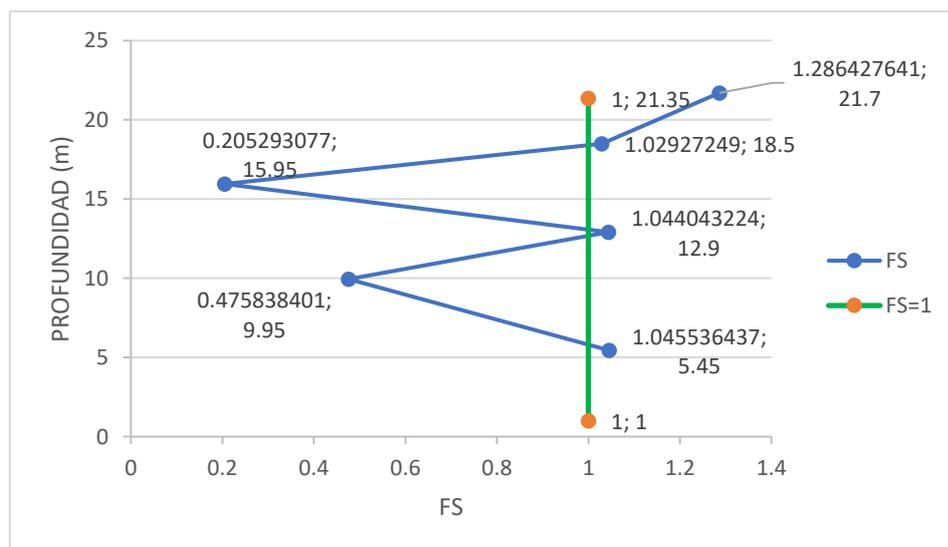


Figura 42. Gráfico de profundidad vs Factor de seguridad (M=7.5)

Fuente. Elaboración Propia

En este punto vemos que ocurre licuación a los 9.95m y 15.95m de profundidad, el material es una arena fina mal gradada con limo (SP), las cuales se encuentran en estado saturado ya que el nivel freático viene desde una profundidad de 4.22 metros con respecto a la cota de altura.

c. Punto PP-05

Tabla 27: Susceptibilidad de suelos

Profundidad (m)	Esfuerzo Total (T/m ²)	Rd	Esfuerzo Efectivo (T/m ²)	N1 (60)	CSR (M=7.5)	(CRR) M=7.5	% Finos	FS	Susceptibilidad De Licuación
1.95	3.59	0.99	3.59	40	0.293				NO LICUABLE
3.45	7.25	0.97	7.25	59	0.290				NO LICUABLE
4.75	9.41	0.96	9.41	39	0.287				NO LICUABLE
6.05	11.98	0.95	11.98	34	0.284				NO LICUABLE
7.6	15.05	0.94	14.05	32	0.300				NO LICUABLE
9.95	16.72	0.91	13.37	7	0.338	0.08	0.48	0.2361	LICUABLE
12.85	25.44	0.83	19.19	27	0.328	0.36	7.19	1.0961	NO LICUABLE
15.95	31.58	0.75	22.23	25	0.316	0.36	9.10	1.1360	NO LICUABLE
18.95	36.76	0.67	24.41	22	0.299	0.27	0.81	0.9001	LICUABLE
22.05	48.51	0.59	33.06	33	0.256				NO LICUABLE

Fuente. Elaboración Propia.

En este punto vemos que ocurre licuación a los 9.95m y 15.95m de profundidad, el material es una arena fina mal gradada con limo (SP), las cuales se encuentran en estado saturado ya que el nivel freático viene desde una profundidad de 6.66 metros con respecto a la cota de altura.

Representación gráfica de la licuación de suelos en el punto PP-04

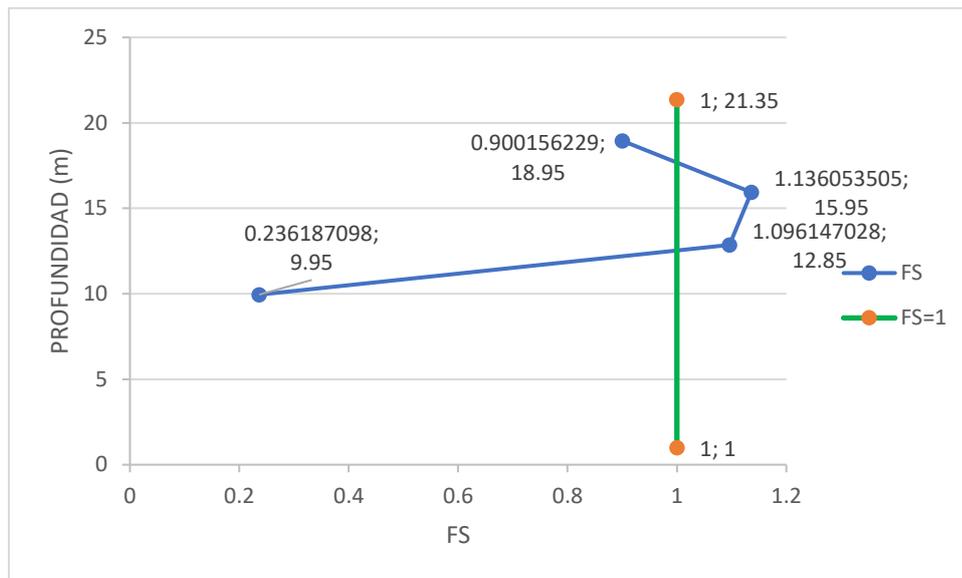


Figura 43. Gráfico de profundidad vs Factor de seguridad ($M=7.5$)

Fuente: Elaboración Propia

En este punto vemos que ocurre licuación a los 9.95m y 15.95m de profundidad, el material es una arena fina mal gradada con limo (SP), las cuales se encuentran en estado saturado ya que el nivel freático viene desde una profundidad de 6.66 metros con respecto a la cota de altura.

De los resultados obtenidos en los 3 puntos de estudio, podemos observar que los posibles puntos en el cual ocurriría licuación son las profundidades medianamente altas las cuales abarcan entre los 10m a los 21m.

Analizando los datos de los ensayos spt y granulometría vemos que los el tipo de terreno donde se presenta este problema son en arenas finas mal gradadas (SP).

5.2.5. Determinación de la Susceptibilidad de Licuación ($M=8.0$)

Para la determinación de la susceptibilidad para una magnitud de 8.0 usamos las ecuaciones (5), (6) y (7) para la determinar la resistencia cíclica (CRR) y la tabla de factores de escala de magnitud determinar el valor de MSF.

a. Punto PP-03

Tabla 28: Susceptibilidad de suelos.

Profundidad (m)	Esfuerzo Total (T/m ²)	Rd	Esfuerzo Efectivo (T/m ²)	N1 60	C σ	K σ	MSF	(CRR)M	(CSR) M	FS	Susceptibilidad
1.95	3.85	0.99	3.85	60							

3.2	6.32	0.98	6.32	47								
4.85	9.58	0.96	9.58	38								
6.45	13.42	0.95	12.37	34	0.244	0.943	0.89					
8.2	17.06	0.94	14.26	31	0.216	0.918	0.89					
10.1	21.01	0.90	16.31	29	0.196	0.899	0.89	0.3203939	0.390281	0.82	LICUABLE	
12.77	26.82	0.83	19.45	27	0.176	0.879	0.89	0.3913572	0.384849	1.01	NO LICUABLE	
15.1	31.71	0.77	22.01	25	0.164	0.867	0.89	0.2623788	0.372050	0.70	LICUABLE	
18.15	38.12	0.69	25.37	24	0.153	0.854	0.89	0.4562718	0.347053	1.31	NO LICUABLE	
21.35	44.84	0.60	28.89	22	0.144	0.843	0.89	0.1877866	0.314062	0.59	LICUABLE	

Fuente: Elaboración Propia

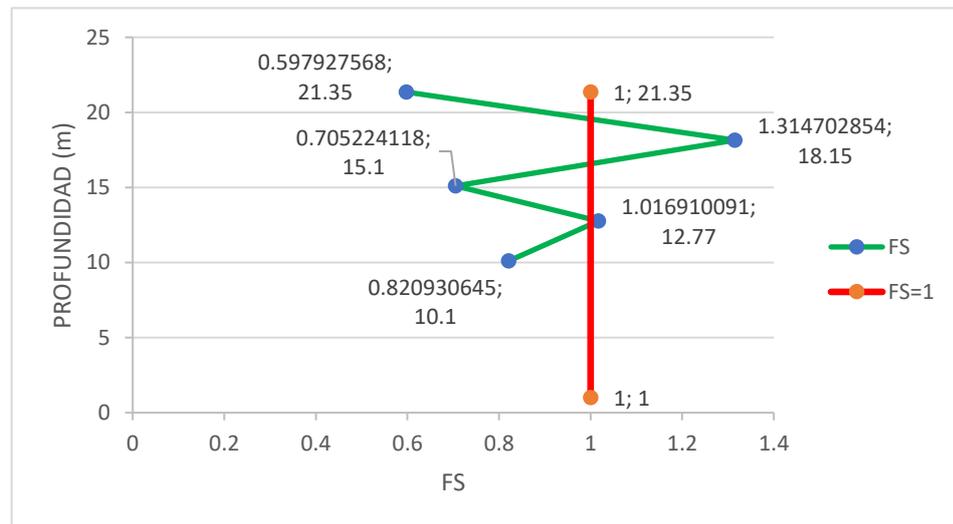


Figura 44. Gráfico de profundidad vs Factor de seguridad (M=8.0)

Fuente: Elaboración Propia

b. Punto PP-04

Tabla 29: Susceptibilidad de suelos

Profundidad (m)	Esfuerzo Total (T/m ²)	R _d	Esfuerzo Efectivo (T/m ²)	N ₁ (60)	C _σ	K _σ	MSF	(CRR) M	(CSR) M	FS	Susceptibilidad
1.9	3.76	0.99	3.76	61							
3.9	7.72	0.97	7.72	43							
5.45	10.14	0.96	8.91	24	0.155	1.014	0.89				
6.7	13.60	0.95	11.12	36	0.270	0.966	0.89				

8.4	17.47	0.94	13.29	33	0.229	0.930	0.89				
9.95	17.81	0.91	12.08	14	0.105	0.978	0.89	0.165	0.44864	0.368	LICUABLE
12.9	27.09	0.83	18.41	28	0.182	0.885	0.89	0.299	0.40895	0.732	LICUABLE
15.95	27.43	0.75	15.70	7	0.082	0.961	0.89	0.068	0.43785	0.156	LICUABLE
18.5	38.85	0.68	24.57	24	0.155	0.857	0.89	0.251	0.36024	0.698	LICUABLE
21.7	45.57	0.59	28.09	22	0.146	0.846	0.89	0.278	0.32316	0.862	LICUABLE

Fuente: Elaboración Propia

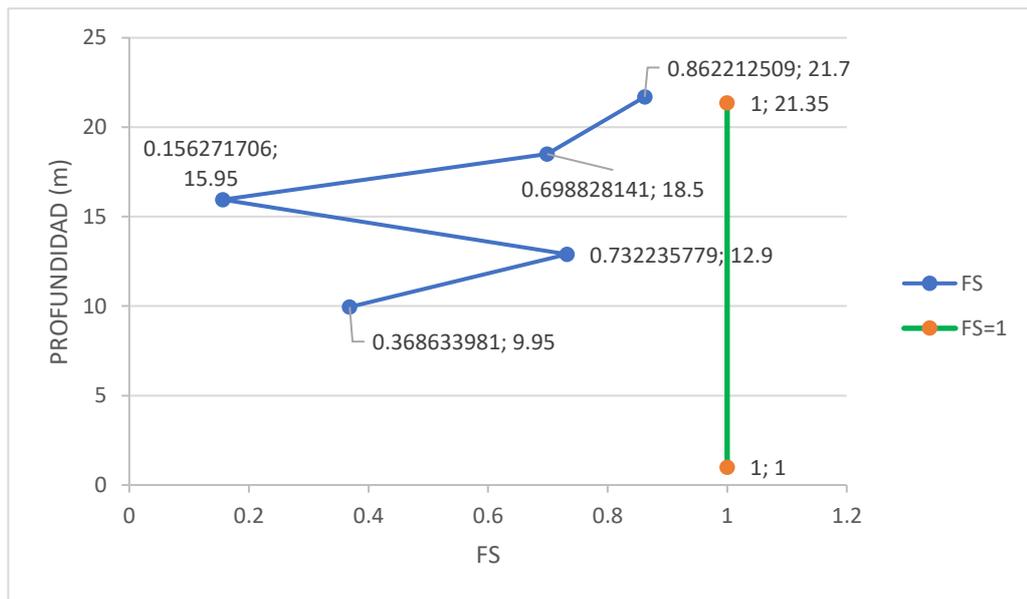


Figura 45. Gráfico de profundidad vs Factor de seguridad (M=8.0)

Fuente: Elaboración Propia

c. Punto PP-05

Tabla 30: Susceptibilidad de suelos

Profundidad (m)	Esfuerzo Total (T/m ²)	Rd	Esfuerzo Efectivo (T/m ²)	N1 (60)	Cσ	Kσ	M SF	(CRR) M	(CSR)M	FS	Susceptibilidad
1.95	3.59	0.99	3.59	40							
3.45	7.25	0.97	7.25	59							
4.75	9.41	0.96	9.41	39							
6.05	11.9	0.95	11.9	34	0.251						
7.6	15.0	0.94	14.0	32	0.215						
9.95	16.7	0.91	13.3	7	0.082	0.974	0.89	0.0693	0.3805	0.182	LICUABLE

12.85	25.4	0.83	19.1	27	0.177	0.880	0.89	0.2822	0.3690	0.764	LICUABLE
15.95	31.5	0.75	22.2	25	0.163	0.866	0.89	0.2775	0.3560	0.779	LICUABLE
18.95	36.7	0.67	24.4	22	0.141	0.870	0.89	0.2092	0.3370	0.620	LICUABLE
22.05	48.5	0.59	33.0	33	0.235						

Fuente: Elaboración Propia.

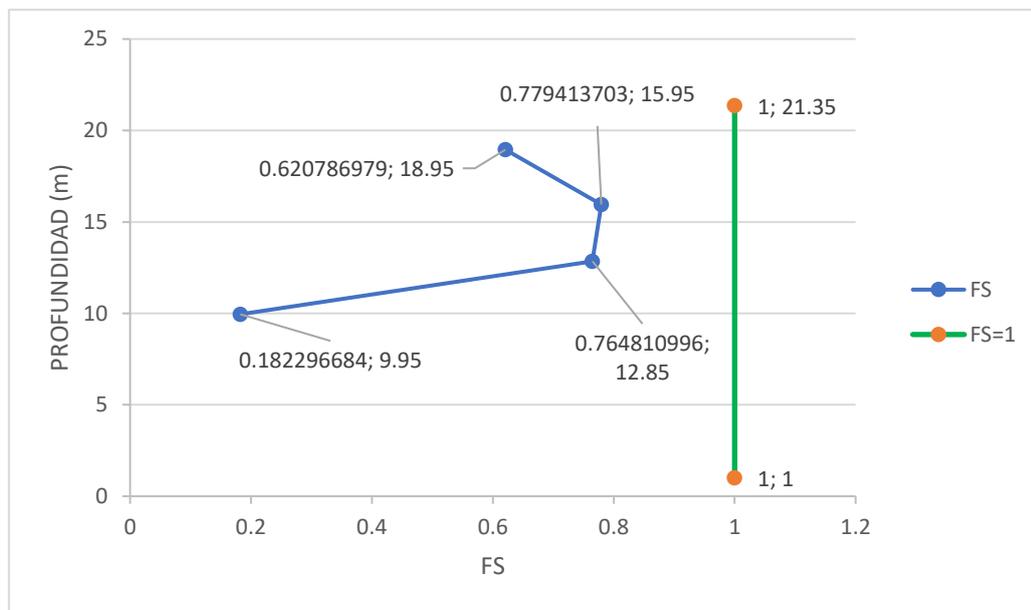


Figura 46. Gráfico de profundidad vs Factor de seguridad ($M=8.0$).

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.6. Modelamiento en PLAXIS 2D

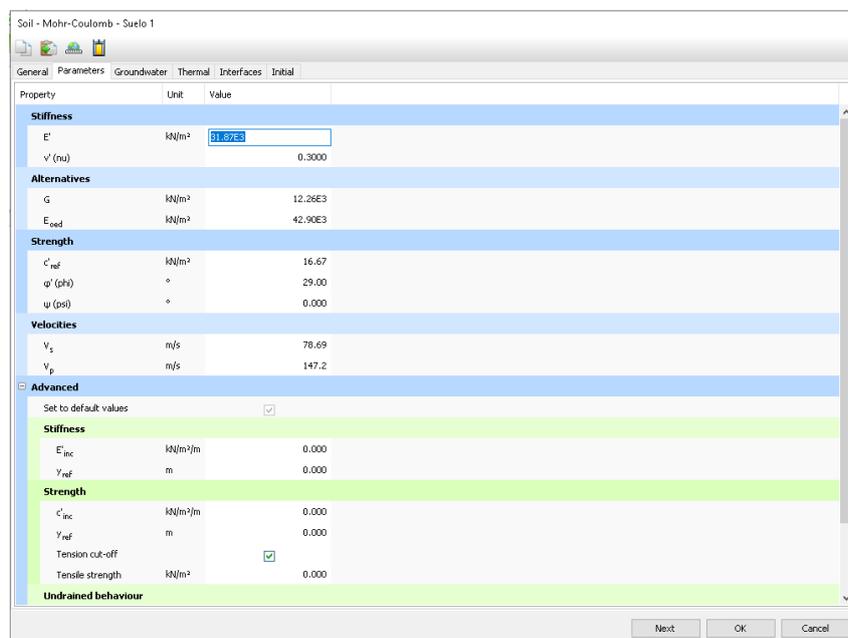


Figura 47. Dimensionamiento en PLAXIS 2D del terreno a estudiar.

Fuente: Elaboración propia.

Realizamos un modelamiento a través del programa PLAXIS 2D para determinar los asentamientos que sucederían en este tipo de terreno al someterlo a una carga.

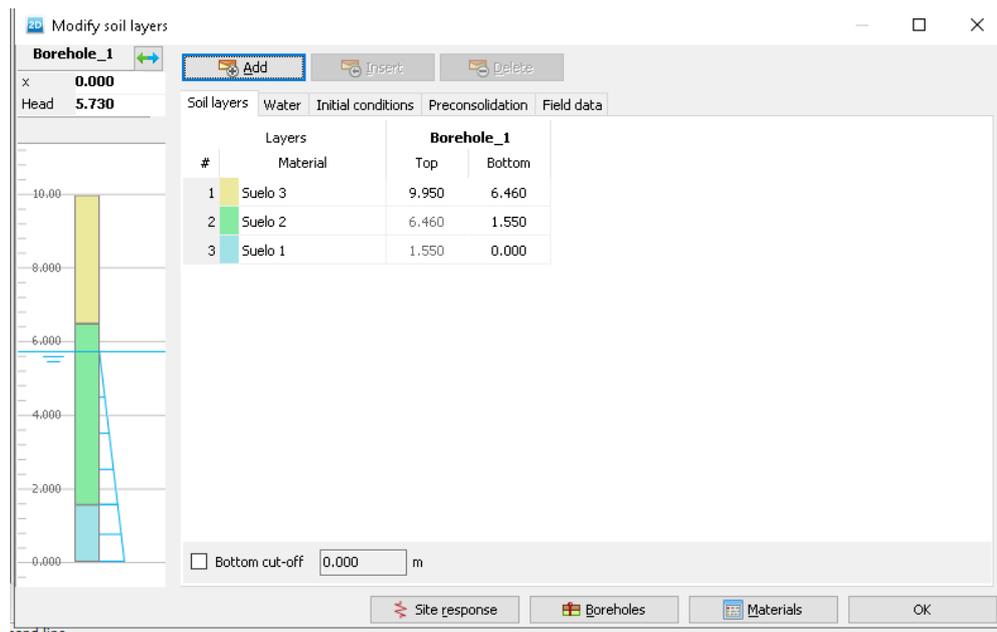


Figura 48. propiedades de terreno del suelo modelado.

Fuente: Elaboración propia.

Lo que determinaremos es la carga a aplicar para obtener un asentamiento de 0.015m. para ello aplicaremos un desplazamiento vertical al modelamiento elaborado.

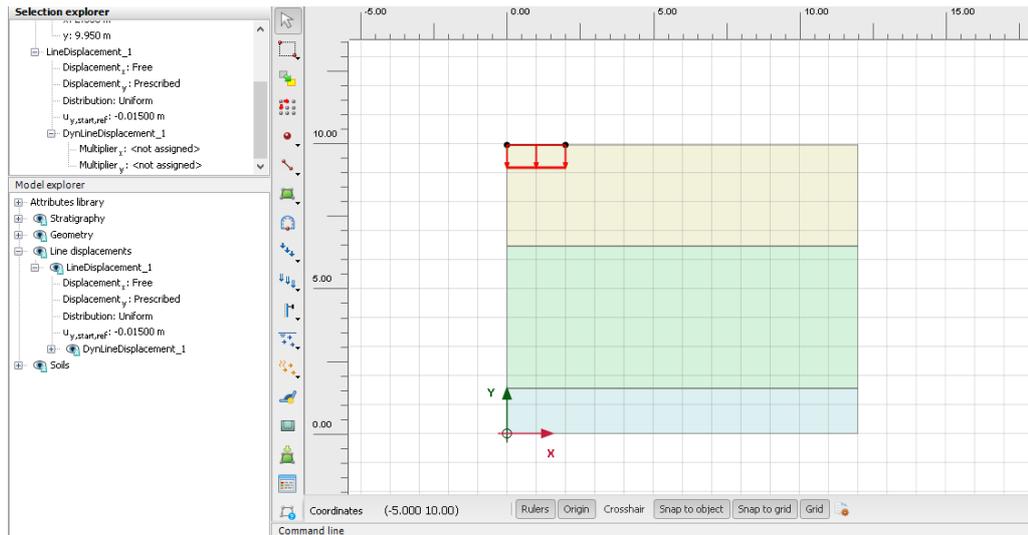


Figura 49. Aplicación de desplazamiento vertical.

Fuente: Elaboración propia.

Verificamos que el desplazamiento aplicado está actuando en el terreno modelado mediante el grafico de tensiones.

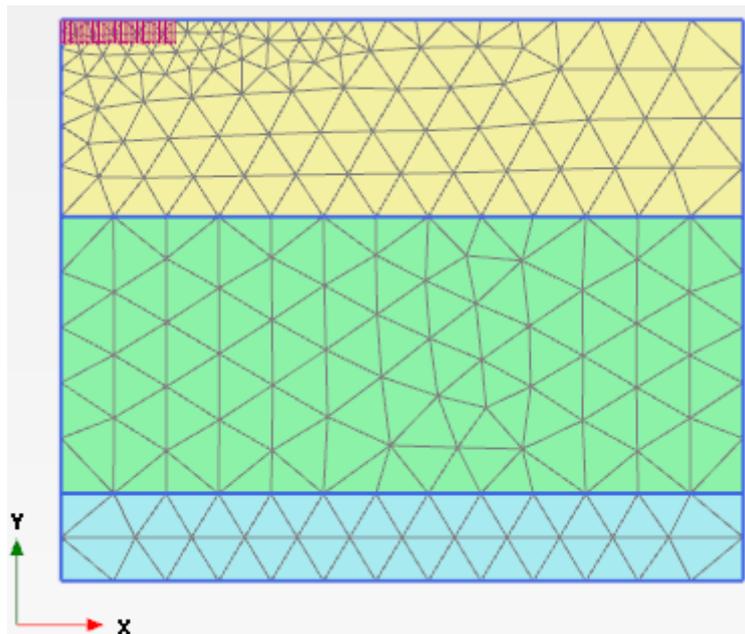


Figura 50. Gráfico de tensiones generadas por el desplazamiento aplicado.

Fuente. Elaboración propia.

Verificamos también que el nivel freático este actuando en el modelamiento

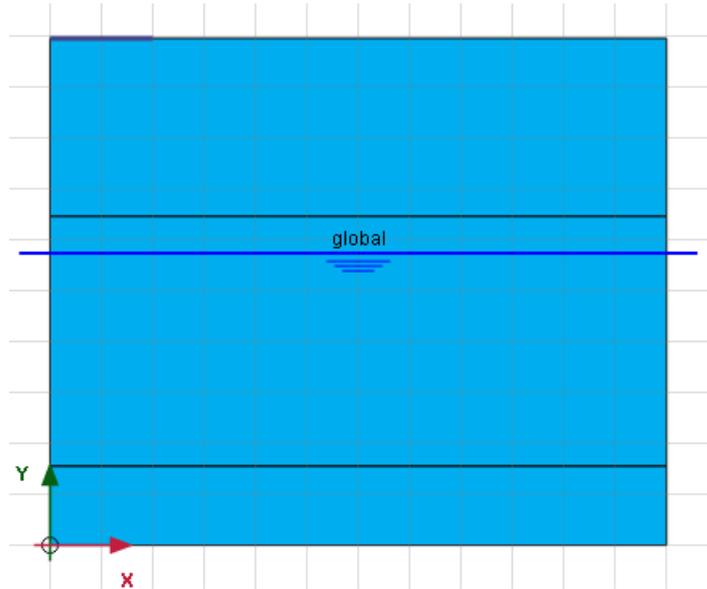


Figura 51. Gráfico de nivel freático.
Fuente. Elaboración propia.

Ya verificado que estén actuando todos los parámetros y datos aplicados procedemos con el cálculo del desplazamiento.

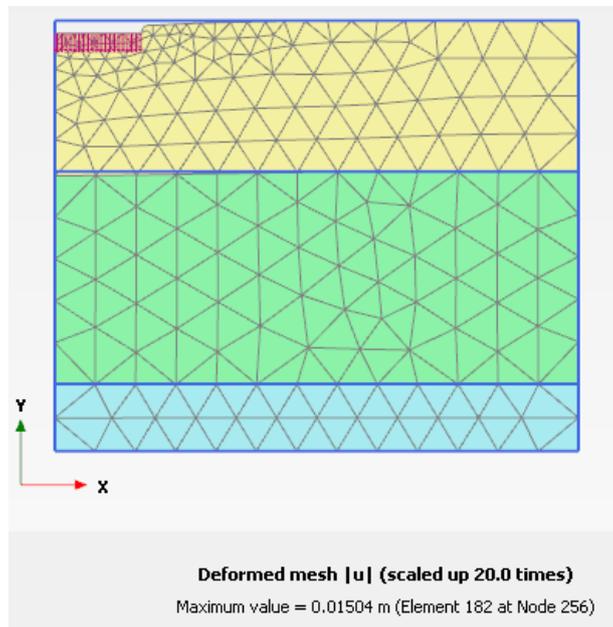


Figura 52. Gráfico de deformaciones verticales.
Fuente. Elaboración propia.

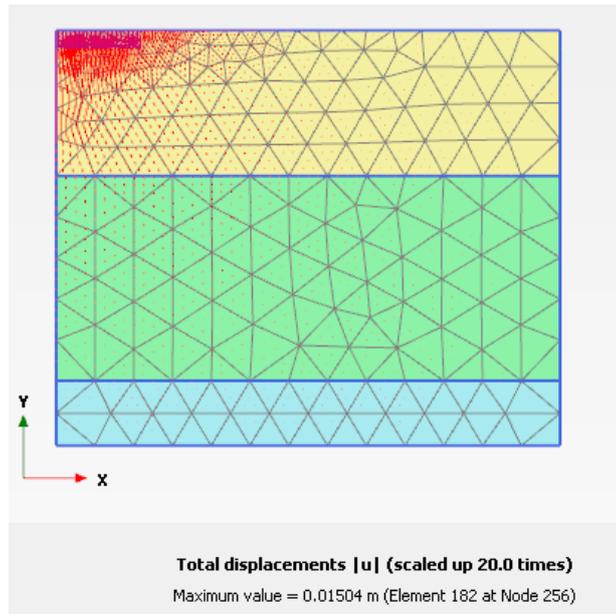


Figura 53. Gráfico de desplazamientos totales.

Fuente. Elaboración propia

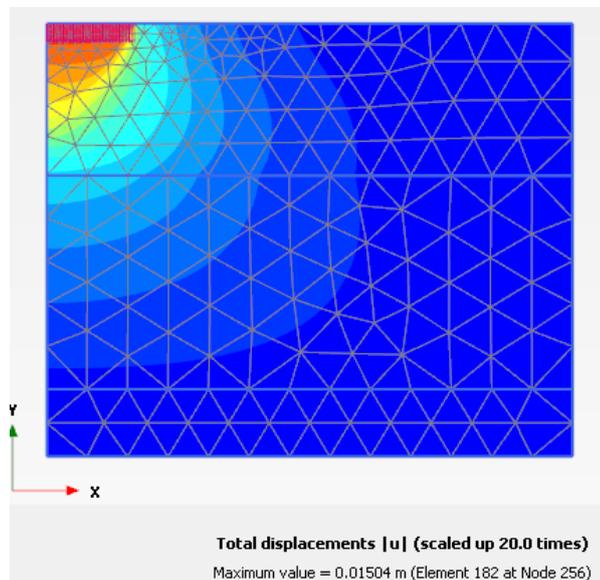


Figura 54. Gráfico de desplazamientos verticales (bulbo de presiones).

Fuente. Elaboración propia

Ya verificado el modelamiento podemos verificar la carga necesaria para generar un asentamiento de 0.015m.

Name	Value
General	
ID	Desplazamiento [Phase_1]
Start from phase	Initial phase
Calculation type	Plastic
Loading type	Staged construction
ΣM_{stage}	1.000
ΣM_{weight}	1.000
Pore pressure calculation type	Phreatic
Thermal calculation type	Ignore temperature
Time interval	0.000 day
First step	1
Last step	9
Design approach	(None)
Special option	0
Deformation control parameters	
Numerical control parameters	
Reached values	
Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	0.07620
ForceX - Reached total force	0.000 kN
ForceY - Reached total force	-119.2 kN
Pmax - Reached max pp	0.000 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	1.000
ΣM_{weight} - Reached weight	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1.000

Figura 55. Tabla de valores obtenidos del cálculo.

Fuente. Elaboración propia.

Podemos observar que el asentamiento se genera mediante una carga de 119.2kN, podemos concluir que por cada 12,13 Ton ocurrirá un asentamiento de 0.015m.

5.3. Análisis de los resultados

Enfocándonos específicamente para (M=7.5) en el punto de estudio PP-04 en donde vemos que el efecto de licuación, se presenta un % de arenas mayor al 90% y el nivel freático lo encontramos a los 4.22 m, analizando la tabla podemos encontrar un método para mitigar este problema de la licuación.

Tabla 31: Análisis comparativas de distintas técnicas de tratamientos de terreno.

Tipo de tratamiento	Profundidad de máxima influencia	Tipo de suelo a tratar	Mejora de la capacidad de carga	Reducción de asentamientos totales	Acercamiento de asentamientos consolidados	Reducción del potencial de Licuación	Coste estimado
Saneamiento y sustitución	Capa sancada	Cualquiera	Efectivo	Efectivo		Efectivo	Bajo

Precarga	Variable	Cualquiera	Poco efectivo	Efectivo		Poco efectivo	Bajo
Drenes Verticales	Hasta 50m	Cohesivo			Muy efectivo		Bajo
Compactación dinámica	Hasta 8-10m	Granular	Efectivo	Efectivo		Efectivo	Medio
Vibro compactación	hasta 50 m	Granular	Efectivo	Efectivo		Efectivo	Medio/Alto
Columnas de grava	hasta 15-25m	Cohesivo	Efectivo	Efectivo	Muy efectivo	Muy efectivo	Alto
Inclusiones Rígidas	hasta 20-30 m	Cualquiera	Efectivo	Muy efectivo		Efectivo	Alto
Inyecciones Jet Grouting	hasta 50 m	Cualquiera	Muy Efectivo	Muy efectivo		Muy efectivo	Alto/Muy alto

Fuente: (Oteo & Oteo, 2012)

De la tabla 31 mostrada podemos ver que la vibro compactación sería la solución más eficaz ya que su profundidad máxima de influencia es mayor, y es efectivo para la reducción del potencial de licuación, las demás soluciones son poco efectivos para el problema a tratar o son de costo muy alto.

La vibro compactación es una técnica la cual funciona muy bien con suelos granulares con porcentajes de finos entre el 10 y 15%, en nuestro caso el punto de presencia de licuación tiene un % de finos de 10.83%.

Para realizar esta técnica se introducirá el equipo vibrador a las profundidades deseadas las cuales serían 9.95m y 15.95m, este equipo densificará el terreno mediante energía vibratoria y debido al desplazamiento lateral del terreno.

Esta densificación se realiza mediante subidas y bajadas del equipo vibrador con desplazamiento verticales de entre 0.5 a 1m.

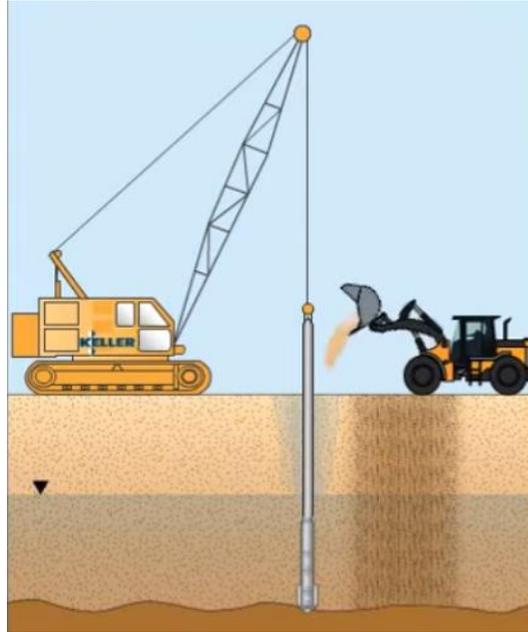


Figura 56. Equipo vibrador con desplazamientos verticales.

Fuente: (Group, 2022)

El proceso de densificación se produce ayudado por el efecto combinado de los chorros de agua y la vibración inducida, a partir de los cuales se logra movilizar la fricción resistente entre los contactos de las partículas del suelo, obteniéndose un movimiento y reorganización de las partículas en una configuración más densa que la del suelo en su estado inicial. De este modo, se logra incrementar la densidad relativa de suelos granulares hasta valores del 70% al 85%, y como consecuencia se obtiene un importante incremento de su ángulo de rozamiento y rigidez.

A través de la vibración las partículas del suelo se reorganizarán haciendo el terreno más denso al tenido inicialmente, se logrará incrementar la densidad relativa de los suelos granulares hasta el 85% incrementando también su ángulo de rozamiento y rigidez.

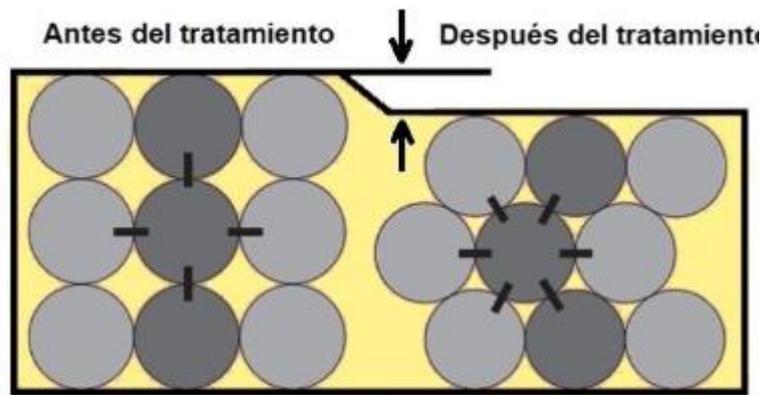


Figura 57. Reordenación de los granos durante la compactación.

Fuente: (Oteo & Oteo, 2012)

La reducción del volumen producido por la reorganización de las partículas, el cual será aproximadamente el 15% del suelo, se compensarán colocando arena limpia, sin finos.

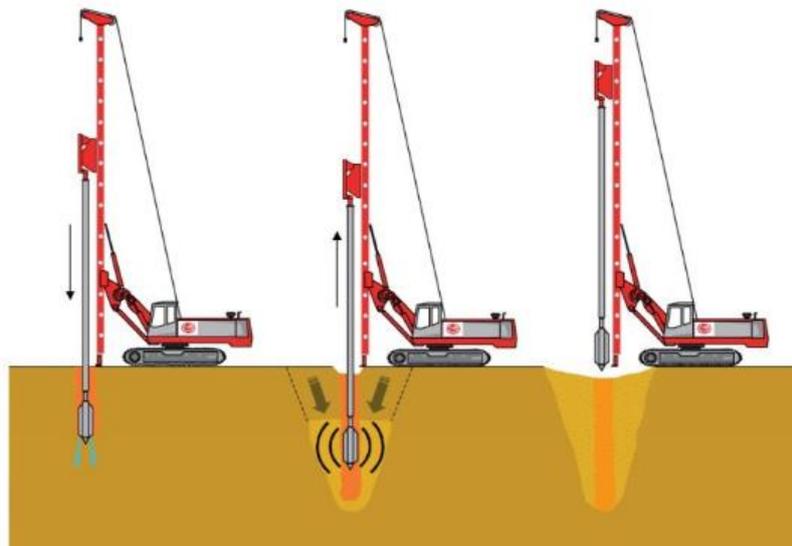


Figura 58. Procedimiento constructivo de la vibrocompactación.

Fuente. (Oteo & Oteo, 2012)

La separación entre los puntos de compactación habitualmente varía de 1,8 m a 3,5 m, pudiendo emplearse mallas triangulares o cuadradas.

5.4. Contrastación de hipótesis

H.0. Se presentará licuefacción en suelos arenosos para el sector de lomo de corvina-villa el salvador.

De acuerdo al capítulo 5.2.4, se determinó el factor seguridad en las distintas profundidades de los 3 puntos de estudio, para los sismos de magnitud 7.5, se observó que el suelo licuó pasando la profundidad en la que encontramos el nivel freático.

En el capítulo 5.2.5, se realizó el mismo estudio, pero para un sismo de magnitud 8.0, el cual es el sismo que se espera en Lima, aquí observamos que la licuación se presenta de mucha mayor intensidad en las mismas profundidades.

- H.1. Evaluar el riesgo geotécnico de los suelos arenosos potencialmente licuables usando la metodología Seed E Idriss.

Del capítulo 5.2.5, usando el método Seed E Idriss se pudo determinar el punto de mayor magnitud licua el suelo, como vemos en la tabla 29 para la magnitud de sismo 8.0 a la profundidad de 15.95m fue el punto donde mayor inestabilidad del suelo debido a la licuación se encontró, con ello podemos entender el riesgo geotécnico que hay en esta zona de lomo de corvina.

Debido a estos resultados obtenidos debemos tomar las medidas correspondientes para mitigar la licuación de estos suelos como las realizadas en el capítulo 5.3, obteniendo el mejor método de mitigación y asumiendo el nivel de mejora de los suelos de lomo de corvina.

- H.2. Se obtendrá las propiedades físicas y parámetros geotécnicos para determinar el grado de susceptibilidad de licuación de suelos el sector Lomo de Corvina - Villa el Salvador.

Estos parámetros son obtenidos de los ensayos de laboratorio ya realizados, como observamos en el capítulo 5.2 se obtuvo el tipo de suelo a través de calicatas realizadas en 3 puntos (PP-03, PP-04 y PP-05) en donde también encontramos nivel freático a distintas profundidades.

De las nuestras obtenidas se realizaron los cálculos de corte directo y se determinó también los esfuerzos totales los cuales se necesitaron para determinar la susceptibilidad de los suelos en las distintas profundidades y así obtener el factor seguridad.

- H.3. Se identificará como los suelos licuables generarán que el suelo pierda su estabilidad y provoque asentamiento.

En el capítulo 5.2.6, se realizó un modelamiento con la ayuda del software PLAXIS 2D en el cual se verifico cuanto se asienta el suelo al ser sometida a una carga, partimos simulando un asentamiento de 0.015m, de acuerdo al software como se observa en la figura N53, obtuvimos que para que el suelo modelado se asiente esa profundidad debe ser sometida a una carga de 12,13 Ton, el cual es una carga aproximada de una vivienda.

H.4. Se determinará el mejor método de mitigación de licuefacción para suelos del sector de Lomo de Corvina -Villa El Salvador.

Del capítulo 5.3 pudimos determinar de la tabla 31 que para los suelos de lomo de corvina la solución más óptima para mitigar la licuación de estos suelos potencialmente licuables, con la vibro sustitución mejoraremos has un 85% la densidad relativa del suelo ya que este método es muy efectivo para suelos granulares y debido a que la licuación ocurre en profundidades mayores este método puede llegar a profundidades de hasta 50m facilitando hace el mejoramiento de los suelos.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tabla 32: Factores de seguridad obtenidos de M=7.0 y M=8.0

SONDEO	N.F.	PROFUNDIDAD	MAGNITUD 7.5	MAGNITUD 8.0
PP-03	5.40	15.10	0.90	0.60
PP-04	4.22	15.95	0.21	0.16
PP-05	6.60	9.95	0.24	0.18

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 32, vemos que en el punto PP-04 y PP-05 son los puntos de mayor potencial de licuación tanto para sismos de magnitud 7.5 como sismos de magnitud 8.0, es por ello que se necesita mitigar la licuación de los suelos de este punto de estudio.

También es importante verificar el asentamiento de estos suelos al ser sometido en condiciones naturales a distintas cargas, por ello se realizó el modelamiento para tener conocimiento de la zona de estudio como podemos ver en el grafico N 52 y ver el riesgo que se tiene al hacer construcciones informales, ya que las viviendas pueden sufrir un asentamiento vertical considerable y sumando que son suelos licuables al interactuar con el sismo pueden obtener resultados no deseados.

Es importante implementar métodos de mitigación para reducir el peligro de la licuación de suelos, como pudimos ver del capítulo 5.3 nuestra propuesta es el uso de la vibrocompactación para el mejoramiento del suelo y reducir así el potencial de licuación.

CONCLUSIONES

1. Aplicando la metodología Seed e Idriss se pudo determinar los siguientes resultados: para sismos de magnitud ($M=7.5$) (Tabla 25, 26 y 27) el punto de estudio PP-03, donde mayor potencial de licuefacción se observa es en la profundidad 21.35m con un $FS= 0.89$, para PP-04 es en la profundidad 15.95m con un $FS= 0.21$, para PP-05 es en la profundidad 9.95m con un $FS= 0.24$; para sismos de magnitud ($M=8.0$) (Tabla 28, 29 y 30) el punto de estudio PP-03, donde mayor potencial de licuefacción se observa es en la profundidad 21.35m con un $FS= 0.60$, para PP-04 es en la profundidad 15.95m con un $FS= 0.16$, para PP-05 es en la profundidad 9.95m con un $FS= 0.18$.
2. De los resultados obtenidos en los suelos de la zona de Lomo de Corvina podemos ver que son susceptibles a la licuación, en los puntos PP-04, y PP-05 a la profundidad de 15.95m y 9.95m respectivamente es altamente crítico debido a que el factor de seguridad (FS) obtenidos son mucho menor a 1.
3. En las profundidades en el que el suelo licua a gran magnitud vemos presencia de arena pobremente graduada de bajo contenido de finos, con una consistencia muy blanda (SP) y arena pobremente graduada con limo y grava (SP-SM), con esto entendemos que este tipo de suelos al son potencialmente licuables.
4. Mediante el modelamiento ejecutado en PLAXIS 2D podemos también observar que el terreno se desplaza verticalmente 0.015m al aplicarle una carga de 12.13tn, en ello podemos concluir que este suelo tendrá un desplazamiento considerable al recibir una gran carga viva como las que producen las viviendas mayores a 2 pisos, por ello también es importante mejorar la capacidad portante del suelo mediante la vibrocompactación.
5. La propuesta escogida para mitigar la licuación en los suelos fue la vibrocompactación debido a que el tipo de suelo cumple con lo requerido para usar este método, ya que las profundidades en el cual el suelo licua son mayores a 9 metros y es muy eficaz en suelos granulares además de no tener un costo tan elevado como las demás soluciones, logrando mejorar la densidad relativa del suelo hasta un 85%.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la aplicación de otros métodos para determinar la susceptibilidad de licuación de los suelos de lomo de corvina para hacer poder hacer una comparación de los resultados obtenidos y a partir de ello encontrar la solución más óptima para mitigar los suelos licuables.
2. Se recomienda tomar las precauciones a los puntos mencionados (PP-04 Y PP-05), en donde fue la zona de estudio donde mayor potencial de licuación se encuentra, por ello debemos realizar más calicatas en puntos cercanos a ellos para así tener un panorama más claro del comportamiento del suelo de este sector.
3. Es importante realizar mayor cantidad de calicatas en la zona para tener un mapeo más preciso de los puntos en los cuales la licuación actúa de mayor magnitud.
4. Es importante determinar el asentamiento y/o comportamiento del suelo realizando un diseño de una edificación de 2 pisos a más para tener un resultado real de los asentamientos producidos, incluso verificar también la licuación de los suelos a través del software LiqSVs 2.0.
5. Para aplicar la propuesta realizada de la vibrocompactación necesitamos realizar una investigación más detallada del comportamiento de los suelos de lomo de corvina luego de ya realizada la propuesta para tener un conocimiento exacto de cuanto mejorara y que tan propenso es a licuar.

REFERENCIAS

- Alva, j. E. (2017). Dinamica de suelos.
- Aquino, k., patiño, r., portal, j., & yeckle, j. (2021). Ensayos especiales de laboratorio en suelos. Pontifica universidad catolica del Perú, Lima.
- Benites alarcón, l. M., & vilchez perez, j. J. (2017). Potencial de licuefacción en el distrito de santa rosa. Universidad señor de sipán. , Chiclayo.
- Binhua, x., ning, h., & denghua, l. (2018). Estudio sobre los tratamientos y contramedidas para base licuables. Icfmce 2018.
- Bommer, j. J. (2022). Analisis de peligro y riesgo sismico para sismicidad natural e inducida: hacia evaluaciones objetivas frente a la incertidumbre. Boletín de ingeniería sísmica.
- Camargo, d., & zapata, nicole. (s.f.). Evaluación de la reducción del potencial de licuefacción usando la metodología de análisis de Seed .
- Capeco. (2018). Construyendo formalidad. Construcción y vivienda comunicadores.
- Desco. (2007). Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas en América Latina. Estudio de caso específico. Villa El Salvador. Lima.
- Dhritiman, m., & risshav, s. (2020). Estudio sobre las características del suelo de Calcuta en la base de la susceptibilidad a la licuación. Blind review & arbitrated quarterly international journal.
- Geopier. (2020). Soluciones de mejoramiento de suelos Geopier® para mitigación de licuación.
- Group, c. K. (2022). Keller. Obtenido de <https://www.keller.com.es/experiencia/tecnicas/vibrocompactacion#:~:text=la%20vibrocompactaci%3bn%20es%20una%20t%3a9cnica,con%20un%20vibrador%20en%20profundidad>.
- Indeci. (2018). Informe de estimación de riesgo para la gestión reactiva - lomo de corvina (sector x - grupo 4) Villa El Salvador. Lima: Instituto Nacional de Defensa Civil.
- Inei, i. N. (2018). Provincia de Lima - resultados definitivos.
- Instituto nacional de defensa civil. (2018). Informe de estimación de riesgo para la gestión reactiva - ahhh lomo de corvina - villa el salvador. Lima: Indeci.
- Iturriaga anco, l. (2018). "Mejoramiento de suelos con inyección de concreto líquido con fines de cimentación en edificaciones en el sector de la Av Ramiro Priale comité 4 – distrito Santiago – Cusco. 2018. Universidad Alas Peruanas, Cuzco.

- Max, p. (2020). Analisis de suscetibilidad de licuacion en la comunidad campesina de llama villa. Universidad Peruana Unión, Lima.
- Medina, l., gómez, d., & benavente, c. (2013). Inspección técnica de peligros deológicos en el asentamiento humanos del sector Lomo de Corvina. Lima.
- Miller, e., & roycroft, g. (2004). Programa de prueba de lechada de compactacion para el control de licuefaccion. Revista de ingenieria geotecnica y geoambiental .
- Mu can, c., & liang, w. (2018). Aplicacion de pilas de arena de compactacion en cimientos anti-licuefaccion de revestimiento de taludes. Ingenieria de navegacion y instituto de diseño.
- Municipalidad distrital de villa el salvador. (2019). Plan de prevención y reducción del riesgo de desastres de Villa El Salvador. Lima.
- Nisholson, p. (2015). Soil improvement and ground modification methods. Elsevier butereorth- heinemann.
- Orence, r. (2008). Remediación de licuefacción mediante lechada de compactación. Departamento de ingeniería civil y ambiental, Universidad de Auckland.
- Orozco, k., & seminario, l. (s.f.). Estudio de métodos de prevención y mitigación contra la licuefacción en los suelos de piura. 2020. Universidad de Piura, Piura.
- Ortiz, c., & alva, j. (2019). Actualizacion sobre la ocurrencia del fenomeno de licuacion de suelos en el Perú. Tecnia vol 30 n°2.
- Ostensen, o. (2002). Iso/tc 211 and geographic information standards. Berlin.
- Oteo, c., & oteo, j. (2012). Innovaciones recientes en el campo de la mejora y refuerzo del terreno. Madrid: revista de obras públicas.
- Pérez, n. (2021). Analisis de riesgo en los asentamientos humanos lomo de corvina, distrito de villa el salvador. Universidad y Sociedad.
- Puentes, j. (2018). Correlacion entre los resultados obtenidos del ensayo de cbr de campo y el ensayo de resitencia a la penetracion estandar spt en condiciones normales, en suelos cohesivos localidad de suba de Bogota. Bogota.
- Serrano, c., cruz, m., & schadke, i. (2020). Application of the dynamic compaction for large imprint structures in cordoba, argentina. Universidad Católica de Córdoba, Córdoba.
- Shen, m., juang, h., & chen, q. (2019). Mitigacion de riesgo de lucuefaccion mediante compactacion dinamica:una perspectiva de campo aleatorio . Nrc research press.
- Shinji , s. (2020). Nuevos horizontes en la predicción práctica de licuefacción y.

- Takano, d., nishimura, s., takahashi, h., & morikawa, y. (2019). Evaluacion del efecto de la resistencia a la licuefaccion por medio de lechada de compactacion usando analisis de estres efectivo. Asian regional conference on soil mechanics and geotechnical engineering.
- Tavera, h. (2017). Zonificación sísmica-geotécnica de la ciudad de san vicente de cañete. Lima: instituto geofísico del Perú.
- Wen, z., & huang, y. (2015). Desarrollos recientes de metodos de mejora de suelo para la mitigacion de la licuefaccion sismica. Riesgos nacionales.
- Xiaohong, b., chao, y., & yanping, w. (2020). Capacidad portante vertical de una cimentacion de suelo arenoposo licuable por pilotes bajo fuerza sismica horizontal. Universidad China de mineria y tecnologia.
- Yepes, v. (2021). Procedimiento de construcción para la compactación y mejora del terreno. Valencia: Universidad Politecnica deValencia.
- Zhang, c. L., jiang , g. L., su, l. J., liu , w. M., & zhou , g. D. (2018). Efecto de la densidad seca sobre el comportamiento de licuefaccion del limo cuaternario. Revista ciencias de la montaña.
- Zhang, y., & wu, a. (2020). Estudio de revision de características físicas y mecánicas de suelo mixto con particulas de cauchi de neumaticos de desecho. Revista de ingenieria mecanica e industrial.

ANEXO

Tabla 33. Matriz de Consistencia.

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGIA
¿Cómo se determinará el potencial de licuación para suelos arenosos en el sector de lomo de corvina- villa el salvador?	Determinar el potencial de licuación para en suelos arenosos en el sector de lomo de corvina- villa el salvador.	Se presentará licuefacción en suelos arenosos para el sector de lomo de corvina- villa el salvador	VARIABLE INDEPENDIENTE Potencial Licuación	<i>Profundidad</i>	<i>Investigación</i> Deductivo
					<i>Orientación</i> Aplicada
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL			
a) ¿Cómo evaluar el potencial de licuación para suelos arenosos potencialmente licuables usando la metodología Seed E Idriss?	Evaluar el potencial de licuación para suelos arenosos usando la metodología Seed E Idriss.	Evaluar el riesgo geotécnico de los suelos arenosos potencialmente licuables usando la metodología Seed E Idriss.			<i>Enfoque</i> Cuantitativo
b) ¿Cuáles son las propiedades físicas y parámetros geotécnicos para determinar el grado de susceptibilidad de licuación de suelos el sector Lomo de Corvina - Villa el Salvador?	Determinar cuáles son las propiedades físicas y parámetros geotécnicos para determinar el grado de susceptibilidad de licuación de suelos el sector Lomo de Corvina - Villa el Salvador.	Se obtendrá las propiedades físicas y parámetros geotécnicos para determinar el grado de susceptibilidad de licuación de suelos el sector Lomo de Corvina - Villa el Salvador.	VARIABLE DEPENDIENTE suelos arenosos	<i>capacidad portante del suelo</i>	<i>Tipo de Investigación</i> Descriptivo Explicativa
c) ¿De qué manera un movimiento sísmico puede	Identificar como un movimiento sísmico genera				<i>Nivel de investigación</i> Descriptivo

generar que el suelo pierda su estabilidad y provoque asentamiento?	que el suelo pierda su estabilidad y provoque asentamiento.	Se identificará como un movimiento sísmico generará que el suelo pierda su estabilidad y provoque asentamiento.
d) ¿Qué tipo de método de mitigación de licuefacción serán más efectivos para los suelos del sector Lomo de corvina – Villa el salvador?	Determinar el método de mitigación de licuefacción más efectivo para los suelos del sector Lomo de corvina – Villa el salvador.	Se determinará el mejor método de mitigación de licuefacción para suelos del sector de Lomo de Corvina - Villa El Salvador

Fuente. Elaboración Propia.

<i>Asentamiento de suelos</i>	
	<i>Diseño de investigación</i> No experimental Retrospectivo