



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**MAPA GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIONES
SUPERFICIALES PARA EL CENTRO POBLADO CIUDAD DE
DIOS, DISTRITO DE SAN JOSÉ, PROVINCIA Y REGIÓN DE
LAMBAYEQUE**

**PRESENTADA POR
WALTHER KEVIN COELLO TORRES
CHRISTIAN JAVIER SALINAS GALLO**

ASESOR

**ERNESTO ANTONIO VILLAR GALLARDO
JUAN MANUEL OBLITAS SANTA MARÍA**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

TOMO I

LIMA – PERÚ

2020



CC BY-NC-SA

Reconocimiento – No comercial – Compartir igual

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**MAPA GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DE
CIMENTACIONES SUPERFICIALES PARA EL CENTRO
POBLADO CIUDAD DE DIOS, DISTRITO DE SAN JOSÉ,
PROVINCIA Y REGIÓN DE LAMBAYEQUE**

TOMO I

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

PRESENTADA POR

**COELLO TORRES WALTHER KEVIN
SALINAS GALLO CHRISTIAN JAVIER**

LIMA – PERÚ

2020



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**MAPA GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DE
CIMENTACIONES SUPERFICIALES PARA EL CENTRO
POBLADO CIUDAD DE DIOS, DISTRITO DE SAN JOSÉ,
PROVINCIA Y REGIÓN DE LAMBAYEQUE**

TOMO I

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

PRESENTADA POR

**COELLO TORRES WALTHER KEVIN
SALINAS GALLO CHRISTIAN JAVIER**

LIMA – PERÚ

2020

Dedicado a Dios, por permitirme gozar de una vida maravillosa y plena, por darme una familia hermosa y un hogar donde vivir.

A mis padres, Walther y Maria del Rosario, quienes me transmiten sus virtudes y su invaluable amor, quienes me apoyan en cada paso que doy. Lo son todo para mí.

A mis hermanos, Daniel y Claudia, fieles compañeros de toda mi vida, porque sé que cuento con ellos para todo lo que me proponga.

A mi amada enamorada Claudia, por impulsarme cada día a ser mi mejor versión. Por la motivación que me da y su confianza en mí.

Dedicado a Dios por brindarme tantas bendiciones día tras día, iluminando mi camino y guiándome por el sendero del conocimiento constante.

A mis padres por el inigualable amor que me ofrecen y el gran apoyo brindado en cada día de mi vida.

A mis hermanos por ofrecerme ayuda de forma incondicional.

RESUMEN

La falta de una planificación urbana y el crecimiento poblacional ha generado la presencia de asentamientos humanos ubicados en zonas donde no se tiene información de las propiedades del suelo; poniendo en riesgo las edificaciones y cualquier obra civil que se ejecute.

La presente investigación tiene como finalidad la determinación de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los suelos del centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque; con el objetivo de elaborar un mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales.

Se caracteriza por ser una investigación de tipo aplicada, enfoque cuantitativo, nivel descriptivo y diseño no experimental. En un área de 11.86 hectáreas se realizaron 20 calicatas, se extrajeron 72 muestras; determinándose el tipo de suelo, contenido de sales solubles y la capacidad portante admisible.

La hipótesis fue que las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los suelos se permitirán realizar un mapa geotécnico de la zona de estudio.

Los resultados muestran la predominancia de arenas arcillosas y arcillas ligeras en un 78%. Además, prevalecen suelos extremadamente salinos en un 58% por lo que se recomienda utilizar un cemento Tipo V en las cimentaciones. Respecto a la capacidad portante admisible se determinó que para las profundidades de cimentación de 1.2 m., 1.5 m. y 1.8 m son de 2.42 a 4.13 kg/cm², 2.68 a 4.53 kg/cm² y de 2.64 a 4.92 kg/cm² respectivamente.

En conclusión, la hipótesis fue corroborada y se logró elaborar el mapa geotécnico de la zona de estudio.

Palabras clave: mapa geotécnico, profundidad de cimentación, capacidad portante admisible

ABSTRACT

The lack of urban planning and population growth has generated the presence of human settlements in areas where there is no information about the properties of the soils; putting at risk buildings and any civil works that are executed.

The purpose of this research is to study the physical, chemical and mechanical properties of the soils of Ciudad de Dios town, San José district, province and region of Lambayeque; with the aim of preparing a geotechnical map for the design of shallow foundations.

It is characterized by being an application type research, quantitative focus, descriptive level and non-experimental. In an area of 11.86 hectares, 20 trial pits were registered, 72 samples were extracted; determining the type of soil, content of soluble salts and the admissible bearing capacity.

The hypothesis was that by means of the physical, mechanical and chemical properties of the soils, a geotechnical map of the study area could be made.

The results show 78% predominance of clayey sands and light clays. In addition, extremely saline soils prevail in 58%, so it is recommended to use a Type V cement in foundations. Regarding the admissible bearing capacity, it was determined that for foundation depths of 1.2 m, 1.5 m. and 1.8 m ranges go from 2.42 to 4.13 kg/cm², 2.68 to 4.53 kg/cm² and from 2.64 to 4.92 kg/cm² respectively.

In conclusion, the hypothesis was proven and the geotechnical map of the study area was realized.

Key words: geotechnical map, foundation depth, admissible bearing capacity

INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico y la alta migración a ciudades urbanizadas han traído con el paso del tiempo la constante evolución de invasiones y asentamientos humanos que no han tenido consideraciones técnicas al establecerse y expandirse. La alta vulnerabilidad estructural y otros riesgos que genera este factor para los propios pobladores se ve fortalecida con las pocas consideraciones técnicas que se toman en cuenta al momento de construir las cimentaciones y los elementos estructurales.

Con el propósito de dar una solución a este problema, el objetivo general del estudio es la elaboración de un mapa geotécnico con fines de diseño de cimentaciones superficiales para el centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque. Buscando lograr este objetivo general, se han establecido tres objetivos específicos que son determinar las propiedades físicas, determinar las propiedades químicas y determinar las propiedades mecánicas de los suelos de la zona de estudio a través de ensayos en laboratorio.

El impacto práctico de nuestra investigación abarca el ámbito público y privado. Para el primero, se podrá conocer información importante para el planeamiento del desarrollo urbano, de la misma forma, se podrán reconocer terrenos favorables para la construcción para edificaciones de índole pública. Para el ámbito privado, los pobladores conocerán los terrenos favorables para la construcción y las condiciones de construcción, como, la agresividad de los suelos. Por otro lado, el impacto teórico, se conocerán las propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo., complementando la información geotécnica mapeada de la región.

El diseño metodológico empleado para llegar a los objetivos tiene un tipo de investigación aplicada, un enfoque cuantitativo, un nivel descriptivo, y un diseño no experimental debido a que se estudian los suelos de la zona de

estudios sin alterarlos. La Operacionalización de variables posee a las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los suelos como variable independiente y al mapa geotécnico como variable dependiente. La población es de 20 calicatas distribuidas en una distancia que no superó los 200m entre ellas en un área de 11.86Ha, logrando una relación de 1.69 cal/Ha, superior a los antecedentes nacionales de la investigación. El muestreo obtenido dependió del número de estratos identificados tras la excavación de las calicatas; de esta forma se obtuvieron 36 estratos. Para cada uno de ellos se extrajo muestra alterada e inalterada a las que se les realizó ensayos de propiedades físicas, ensayos de propiedades químicas y un ensayo de propiedad mecánica. El procedimiento seguido para la obtención del objetivo general fue el Reconocimiento de campo y recolección de muestras, seguido de los Ensayos de Laboratorio, los cuales permitieron la Obtención de Resultados, guiándonos finalmente a la Representación Gráfica.

La estructura de la presente investigación titulada “Mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales para el centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque” fue Capítulo I: Planteamiento del problema. En este primer capítulo se trata de los antecedentes y descripción de la situación problemática, la formulación del problema, los objetivos, la justificación de la investigación, las limitaciones, la viabilidad y el impacto práctico y teórico del estudio. En el Capítulo II: Marco Teórico, se consideran los antecedentes nacionales e internacional de la investigación, las bases teóricas, las definiciones de términos básicos y la hipótesis del estudio. Posteriormente, el Capítulo III: Metodología, contiene el tipo, el enfoque, el nivel y el diseño de la investigación; también, la operacionalización de variables, la población y la muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos y el diseño metodológico. En el Capítulo IV: Desarrollo, abarca el caso de la investigación, la localización, excavación de calicatas y extracción de muestras; los ensayos de propiedades físicas, químicas y mecánicas en el laboratorio y los pasos para elaborar el mapa geotécnico. En el Capítulo V: Discusión de Resultados, se presentan los resultados obtenidos tras la realización de los ensayos de propiedades físicas,

químicas y mecánicas de los suelos y el mapa geotécnico a distintas alturas. Tras ello, en el Capítulo VI: Discusión de Resultados, se analiza la validez de las hipótesis específicas planteadas, se realiza una comparación con los antecedentes del estudio y se propone una nueva hipótesis. Finalmente, se mencionan las conclusiones, recomendaciones y los anexos de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN	vi
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.0 Antecedentes de la situación problemática	1
1.1 Descripción de la situación problemática	3
1.2 Formulación del problema	5
1.2.1 Problema General	6
1.2.2 Problemas Específicos	
1.3 Objetivos	7
1.3.1 Objetivo General	
1.3.2 Objetivos Específicos	
1.4 Justificación de la investigación	
1.4.1 Importancia de la Investigación	
1.5 Limitaciones del Estudio	8
1.6 Viabilidad de la Investigación	9
1.7 Impacto práctico y teórico	
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la Investigación	11
2.1.1 Antecedentes Internacionales	
2.1.2 Antecedentes Nacionales	15
2.2 Bases teóricas	19
2.2.1 Mapa geotécnico	
2.2.2 Polígonos de Thiessen	22

2.2.3 Cimentación superficial	23
2.2.4 Distribución granulométrica	
2.2.5 Límites de Atterberg	25
2.2.6 Contenido de humedad	31
2.2.7 Clasificación de los suelos	
2.2.8 Peso Específico Relativo (Gs)	35
2.2.9 Contenido total de sales solubles	36
2.2.10 Contenido de Sulfatos Solubles	38
2.2.11 Contenido de Cloruros Solubles	40
2.2.12 Corte directo	43
2.2.13 Relaciones volumétricas del suelo	47
2.2.14 Capacidad Portante	49
2.2.15 Teoría de Capacidad portante de Terzaghi	51
2.2.16 Teoría de Capacidad portante de Meyerhoff	54
2.2.17 Factor de Seguridad	57
2.3 Definición de términos básicos	58
2.4 Hipótesis	63
2.4.1 Hipótesis General	
2.4.2 Hipótesis Específicas	
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	
3.1 Diseño metodológico	64
3.1.1 Tipo de investigación	
3.1.2 Enfoque de la investigación	
3.1.3 Nivel de la investigación	
3.1.4 Diseño de la investigación	65
3.1.5 Operacionalización de variables	
3.1.6 Población y muestra	66

3.1.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	68
CAPÍTULO IV: DESARROLLO	
4.1 Caso de la investigación	72
4.1.1 Ubicación del área de estudio	
4.1.2 Rutas de acceso al centro poblado	73
4.1.3 Clima	
4.1.4 Geología, geomorfología y topografía	
4.1.5 Servicios básicos	75
4.1.6 Vías de comunicación	75
4.1.7 Vivienda	
4.2 Localización, excavación de calicatas y extracción de muestras	76
4.3 Ensayos de Laboratorio	81
4.3.1 Ensayos de Propiedades Físicas	
4.3.2 Ensayos de propiedades químicas	98
4.3.3 Ensayos de propiedades mecánicas	104
4.4 Obtención de la Capacidad Portante	107
4.5 Creación del mapa geotécnico	
CAPÍTULO V: RESULTADOS	
5.1 Ensayos de Laboratorio	114
5.1.1 Ensayos de Propiedades físicas	
5.1.2 Ensayos de Propiedades químicas	122
5.1.3 Ensayos de Propiedades mecánicas	127
5.2 Obtención de la Capacidad Portante	129
5.3 Elaboración del mapa geotécnico	131
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
6.1 Interpretación de los resultados según Hipótesis Específicas	135
6.2 Comparación y contraste con Antecedentes de la investigación	137

6.3 Formulación de nueva hipótesis	141
CONCLUSIONES	142
RECOMENDACIONES	145
ANEXOS	145
FUENTES DE INFORMACIÓN	540

ÍNDICE DE GRÁFICOS

TABLAS	Página
Tabla 1. Tipos de registro de la información	21
Tabla 2. Masas recomendadas para el ensayo	36
Tabla 3. Suelos salinos según la conductividad eléctrica.....	38
Tabla 4. Requisitos para concreto a soluciones de sulfatos.....	40
Tabla 5. Valores límites recomendados según EN 206 para concreto	41
Tabla 6. Soluciones necesarias para ensayo de cloruros solubles.....	42
Tabla 7. Tiempos de sumersión	46
Tabla 8. Factores de capacidad de carga modificados para falla por corte local de suelos.....	53
Tabla 9. Operacionalización de variables.....	65
Tabla 10. Relación Calicata - Hectáreas de Antecedentes Nacionales.....	66
Tabla 11. Procedimientos e Instrumentos de recolección de datos.....	69
Tabla 12. Coordenadas UTM de calicatas realizadas	77
Tabla 13. Estratigrafía encontrada tras realización de 20 calicatas.....	80
Tabla 14. Pesos mínimos de la porción por diámetro nominal del suelo.....	84
Tabla 15. Orden de tamices para Ensayo de Granulometría	85
Tabla 16. Estratos más salinos.....	101
Tabla 17. Tiempos de saturación	104
Tabla 18. Indicadores y Tipo de Registro de la Información	111
Tabla 19. Resultados del Ensayo de Contenido de humedad	114
Tabla 20. Resultados del Ensayo de Límites de Atterberg.....	117
Tabla 21. Resultados de Clasificación de suelos según SUCS	119
Tabla 22. Resultados del Ensayo de Peso Específico Relativo	121
Tabla 23. Resultados del Ensayo de Contenido Total de Sales Solubles	123
Tabla 24. Los cinco estratos más salinos según el Ensayo de Contenido Total de Sales Solubles	124
Tabla 25. Resultados del ensayo de Contenido de Sulfatos.....	125
Tabla 26. Resultados del Ensayo de Contenido de Cloruros.....	126

Tabla 27. Resultados del Ensayo de Corte Directo	128
Tabla 28. Resultados de Capacidad Portante Última	129
Tabla 29. Resultados de Capacidad Portante Admisible	130
Tabla 30. Valores mínimos y máximos de los resultados de Capacidad Portante Admisible	131
Tabla 31. Indicadores y zonas del Mapa geotécnico a 1.20m bajo el NTN	131
Tabla 32. Indicadores y zonas del Mapa geotécnico a 1.50m bajo el NTN	132
Tabla 33. Indicadores y zonas del Mapa geotécnico a 1.80m bajo el NTN	133
Tabla 34. Ensayos de Propiedades Físicas por realizar y realizados.....	135
Tabla 35. Ensayos de propiedades químicas por realizar y realizados.....	136
Tabla 36. Ensayos de propiedades mecánicas por realizar y realizados.....	137
Tabla 37. Capacidad portante admisible mediante teoría de Terzaghi	140
Tabla 38. Rangos obtenidos según Terzaghi.....	140

FIGURAS	Página
Figura 1. Geología del centro poblado Ciudad de Dios y alrededores	2
Figura 2. Mapas geotécnicos en la región Lambayeque al año 2020	4
Figura 3. Diagrama de Ishikawa.....	5
Figura 4. Polígonos de Thiessen.....	23
Figura 5. Curva de distribución granulométrica	25
Figura 6. Definición de los límites de Atterberg	26
Figura 7. Suelo golpeado después de cerrar la ranura	28
Figura 8. Símbolos para identificación de suelos	33
Figura 9. Carta de plasticidad.....	34
Figura 10. Nombres típicos de los materiales.....	35
Figura 11. Aparato de corte directo.....	44

Figura 12. Diagramas de falla para arena (diagrama izquierdo) y arcilla (diagrama derecho).....	45
Figura 13. Componentes de un suelo	47
Figura 14. Mecanismo de falla de un cimiento continuo poco profundo según Terzaghi.....	51
Figura 15. Mecanismos de falla en cimentaciones superficiales	51
Figura 16. Desarrollo metodológico para la investigación.....	71
Figura 17. Vista panorámica del Centro Poblado Ciudad de Dios y límites cardinales	73
Figura 18. Centro poblado Ciudad de Dios y alrededores	73
Figura 19. Distancia entre calicatas	78
Figura 20. Proceso de recolección de muestras.	80
Figura 21. Procedimiento de Ensayo de Contenido de Humedad.	83
Figura 22. Procedimiento de Ensayo de Granulometría	86
Figura 23. Procedimiento del ensayo de Límite Líquido	89
Figura 24. Procedimiento de Ensayo de Límite Plástico	91
Figura 25. Símbolos de grupo y criterios para selección.....	93
Figura 26. Carta de plasticidad para clasificación de suelos según SUCS.	94
Figura 27. Diagrama de flujo para nombre de grupo de suelos arenosos.	94
Figura 28. Procedimiento de Ensayo de peso específico relativo	97
Figura 29. Procedimiento de Ensayo de Contenido de Sales Solubles	100
Figura 30. Recepción de muestras en laboratorio.....	101
Figura 31. Carbonización del papel filtro y su contenido en un beaker.	102
Figura 32. Proceso del Ensayo de Contenido de Cloruros	103
Figura 33. Procedimiento de Ensayo de Corte Directo	106
Figura 34. Creación de nuevo proyecto en ArgGIS Pro 10.0.....	108
Figura 35. Importación de Plano de Ubicación de calicatas	108
Figura 36. Generación de área de influencia para cada calicata.....	109
Figura 37. Inserción de propiedades a las áreas de influencia de cada calicata	110

Figura 38. Creación de capas de propiedades similares	111
Figura 39. Dibujo de manzanas y lotes en el mapa geotécnico.....	112
Figura 40. Layout de mapa geotécnico a 1.80m bajo el NTN.....	113
Figura 41. Ejemplo de curva granulométrica	115
Figura 42. Ejemplo de Diagrama de Fluidez.....	116
Figura 43. Valores de Límite Líquido menores y mayores al 50%.....	118
Figura 44. Número total de suelos por simbología	120
Figura 45. Número total de suelos por nombre	120
Figura 46. Resultados de Ensayo de Contenido Total de Sales Solubles	124
Figura 47. Mapa geotécnico a 1.20m bajo el nivel del terreno natural	132
Figura 48. Mapa geotécnico a 1.50m bajo el nivel del terreno natural	133
Figura 49. Mapa geotécnico a 1.80m bajo el nivel del terreno natural	134
Figura 50. Geología de Ciudad Olmos, Lambayeque	138

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.0 Antecedentes de la situación problemática

La provincia de Lambayeque es una provincia con una larga historia y tradición. Está ubicada en el Norte del Perú, en el Departamento de Lambayeque, que pasó de ser cuna de civilizaciones precolombinas como la Cultura Lambayeque o Sipán a ser parte y eje del Imperio Inca y parte importante del sistema comercial del Virreinato. Fue en esta época que tanto el departamento como la provincia se consolidaron como unas de las más pobladas, construyéndose un sin número de monumentos y edificaciones, que, sumadas a los sitios arqueológicos, forman lo que es la cultura lambayecana.

Siendo una de las regiones más importantes en el país, pobladores de otras regiones la eligen para establecerse y tener una mejor calidad de vida. La constante migración y crecimiento demográfico han ocasionado una expansión urbana desorganizada que a su vez ha generado el surgimiento de invasiones, habilitaciones urbanas nuevas o progresivas, urbanizaciones populares de interés social, caseríos, etc, que no cuentan, en su mayoría, con servicios básicos. Las edificaciones rústica e improvisadamente construidas en estos poblados tienen poca o nula consideración técnica de los materiales, procesos constructivos o del medio ambiente en el que se construye (del cual el suelo es un factor muy importante).

Más allá de tener un problema donde el individuo se expone a un riesgo letal cuando construye sin conocimientos técnicos, la desorganización urbana causa a largo plazo problemas de naturaleza física, social y económica. Ante estos problemas, la creación de un mapa geotécnico se convierte en el instrumento para fortalecer el planeamiento urbano local, preservar el medio ambiente, determinar el uso y la ocupación más adecuada de un suelo y minimizar repercusiones ambientales y riesgos naturales.

En otros países, como en Brasil, está sistematizado el contar con estos mapas para abordar problemas que puedan suceder cuando hay una modificación significativa del medio ambiente. Son muy usados como base en la lectura técnica de planificación de los municipios, y constituyen referencias activas cuando elaboran sus Planes de Desarrollo de Ciudades Sostenibles (Freitas, 2007).

Como información base, la Municipalidad Distrital de San José cuenta con información de la geología y geomorfología de la zona dados por INGEMMET. Geológicamente, se posee depósitos aluviales rodeados de depósitos eólicos; respecto a la geomorfología, se cuenta con planicies aluviales urbanizadas ligeramente inclinadas. Esta información es valiosa, pero no detalla la capacidad portante o tipo de suelo a nivel ingenieril que se necesita para construir una edificación, es por ello que el estudio de estas características es importante.

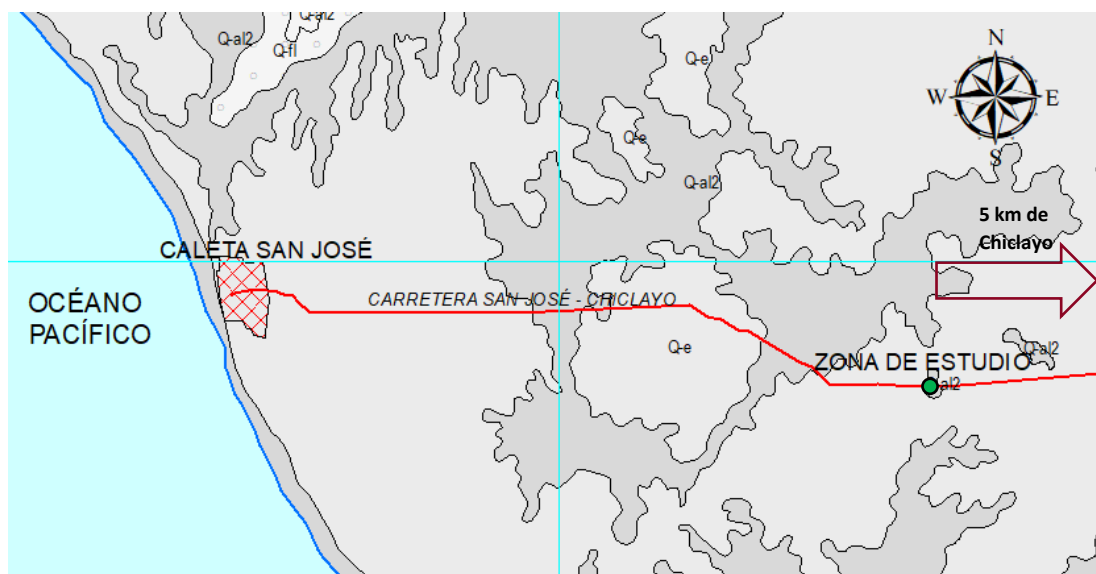


Figura 1. Geología del centro poblado Ciudad de Dios y alrededores
Fuente: Mapa Geológico del Cuadrángulo de Chiclayo. (INGEMMET, 2012)

Es necesario saber que el Plan de Desarrollo del Distrito de San José para los años 2013-2021 no contiene en sus objetivos del sector Vivienda, la creación de un mapa que zonifica el tipo de suelo, el contenido total de sales solubles o la capacidad portante de la zona de estudio. El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) por su parte, tampoco tiene ningún plan de acción considerado a ejecutar en la actualidad respecto al estudio de suelos en la

zona de estudio. Finalmente, el Plan de Contingencia por Emergencia y Desastres de la Provincia de Lambayeque para los años 2020 y/o 2021 no estipula, en ninguno de sus informes, la inversión de alguna cantidad de dinero en la ejecución de proyectos priorizados en el estudio de suelos en esta zona.

1.1 Descripción de la situación problemática

La zona de estudio, el centro poblado de Ciudad de Dios, ubicado en el distrito de San José, provincia de Lambayeque y departamento de Lambayeque es una de esas zonas de expansión urbana que nació de invasiones y que evidentemente no ha considerado un planeamiento técnico en su desarrollo, además de ello, ha sufrido la desilusión de no contar con un sistema de agua potable y alcantarillado útil pues en la implementación de este servicio básico se resalta el proyecto **MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE EN EL H.U.P. JUAN TOMIS STACK Y CIUDAD DE DIOS - DISTRITO DE SAN JOSÉ - PROVINCIA DE LAMBAYEQUE- REGIÓN LAMBAYEQUE**, que consistía en la inversión de S/8'261,015.89 pero que a día de hoy no está en funcionamiento (EPSEL, 2016) y que ha requerido una nueva inversión a inicios del 2020 con el proyecto **REPARACIÓN DE ESTACIÓN DE BOMBEO Y COLECTOR SECUNDARIO; EN EL(LA) LOS SERVICIOS DE ALCANTARILLADO EN LA LOCALIDAD CIUDAD DE DIOS, DISTRITO DE SAN JOSE, PROVINCIA LAMBAYEQUE, DEPARTAMENTO LAMBAYEQUE**, convirtiéndola en un poblado con precarias condiciones de vida actuales y de nulo desarrollo económico donde la delincuencia y los delitos contra la libertad sexual crecen día a día.

La insuficiente situación se traduce de igual manera en la ausencia de estudios técnicos de mecánica de suelos, que son imprescindibles a tener en cuenta a la hora de construir y de planificar una expansión ordenada y controlada. La obtención de las propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo, el tipo de suelo, la capacidad portante del terreno, asentamientos o deformaciones, entre otros, para elegir la cimentación adecuada y evitar la formación de grietas o cualquier tipo de falla estructural no está disponible.

Además, se debe considerar que la zona de estudio se encuentra en una de las zonas sísmicas más activas del mundo: el Cinturón Circum-pacífico. Lo que obliga tener conocimiento técnico para la construcción de edificaciones, de las cuales la relación cimentación-suelo es importante de saber.

La zona de estudio se encuentra comprendida entre la Caleta de San José y la ciudad de Chiclayo, que cuentan ya con un mapa geotécnico que muestra la capacidad portante del suelo. Por el norte de la zona de estudio se cuenta con un mapa geotécnico de la Ciudad de Lambayeque y por el sur se cuenta con un mapa geotécnico de Ciudad Etén. Esto supone un vacío en la región de Lambayeque respecto a estudios del tipo de suelo y capacidad portante que se tiene:



Figura 2. Mapas geotécnicos en la región Lambayeque al año 2020
Fuente: Elaborado por los autores

Esta investigación propone la elaboración de un mapa geotécnico en el centro poblado Ciudad de Dios para el diseño de cimentaciones superficiales como una forma de buscar el desarrollo urbano de la comunidad y la mejora continua en la construcción.

1.2 Formulación del problema

Además de las falencias que los autores detectamos en la zona de estudio respecto al conocimiento geotécnico se realizó una Validación Externa a nueve expertos del área de Mecánica de Suelos que consistió en una encuesta para evaluar el tema de estudio en diferentes asuntos, entre las cuales se tenían las causas de la inexistencia de un mapa geotécnico en el centro poblado. Así, se dividieron las causas en las 6 ramas de Ishikawa (maquinaria, mano de obra, medio ambiente, medición, materia prima y método). La respuesta de los expertos permitió formar el siguiente diagrama de Ishikawa:

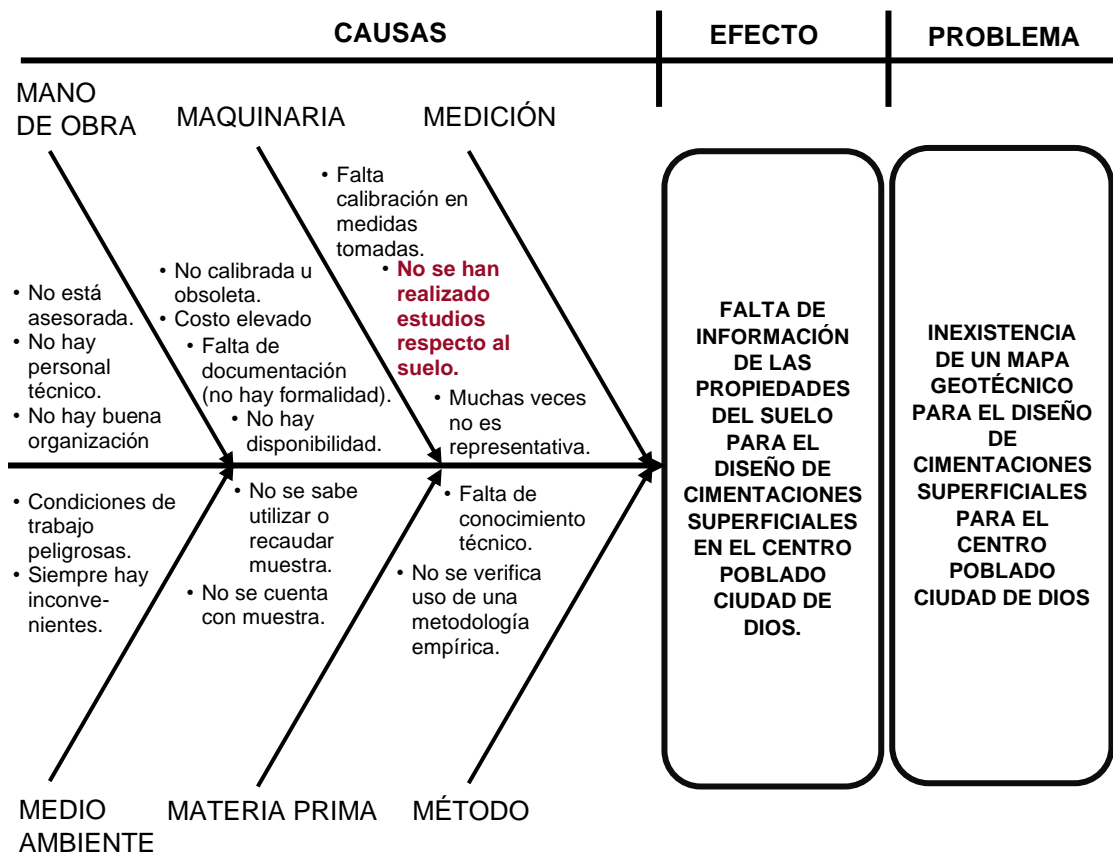


Figura 3. Diagrama de Ishikawa

Fuente. Validación Externa realizada por los autores

Del diagrama se puede resaltar que para los expertos la causa principal de la inexistencia del mapa geotécnico en el centro poblado Ciudad de Dios es que no se han realizado estudios respecto a las propiedades del suelo.

Esta es la causa en la que se enfoca la presente investigación para dar una solución y generar el mapa geotécnico mediante la obtención de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los suelos de la zona de estudio.

1.2.1 Problema General

¿Cómo las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los suelos influyen en la elaboración de un mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales para el Centro Poblado Ciudad de Dios, Distrito de San José, Provincia y Región de Lambayeque?

1.2.2 Problemas Específicos

¿Cómo las propiedades físicas de los suelos influyen en la elaboración de un mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales para el centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque?

¿Cómo las propiedades químicas de los suelos influyen en la elaboración de un mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales para el centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque?

¿Cómo las propiedades mecánicas de los suelos influyen en la elaboración de un mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales para el centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los suelos con el fin de elaborar un mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales para el Centro Poblado Ciudad de Dios, Distrito de San José, Provincia y Región de Lambayeque

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Determinar las propiedades físicas de los suelos con el fin de elaborar un mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales para el centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque.
2. Determinar las propiedades químicas de los suelos con el fin de elaborar un mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales para el centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque.
3. Determinar las propiedades mecánicas de los suelos con el fin de elaborar un mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales para el centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Importancia de la Investigación

Tras la elaboración del estudio, se contará con información relevante de Mecánica de Suelos en la zona de estudios para futuras construcciones: tipo de suelo que se tiene, cantidad de sales solubles y capacidad portante.

Esto se traduce en información técnica a la hora de realizar la cimentación y construcción de la edificación, la cual significa un avance significativo para esta zona de aproximadamente 250 lotes que tienen algunas construcciones realizadas rústicamente y que no han considerado ninguna información técnica.

La investigación significa el desarrollo social y económico para los pobladores pues tendrán una visión previa de cómo y dónde construir. Posiblemente, de dónde comprar un terreno, causando beneficios sociales. Estos beneficios a personas naturales sin conocimiento del suelo se acompañan a su vez, para el Estado, pues la información encontrada servirá para futuros estudios de hacia dónde realizar las habilitaciones urbanas. Más importante aún, el estudio va a servir al Estado para establecer y localizar importantes edificaciones de uso público como hospitales, clínicas, escuelas y edificios de administración pública que requieran una mayor seguridad y prevención en su construcción.

1.5 Limitaciones del Estudio

El actual proyecto contó con una delimitación geográfica definida de un área aproximadamente de 11.86 hectáreas. También, la toma de muestras de suelos está muy condicionada a la presencia de construcciones en adobe o ladrillo que dificultan la toma ordenada y homogénea como se desea de las calicatas. Otro punto que desfavorece la excavación de las calicatas es la existencia de numerosas tuberías clandestinas de agua potable realizadas por los pobladores en vista de que el sistema de agua potable es inservible en su mayor proporción.

El resultado final de la capacidad portante se dio por el ensayo de corte directo, debido a que es la única máquina para hallarla con la que se cuenta en el laboratorio de la Universidad San Martín de Porres. De la misma forma, los resultados fueron influenciados especialmente por fórmulas de Meyerhof, despreciando otras teorías.

Una limitación en el ámbito de realidad nacional y coyuntura mundial, es que el año de desarrollo de nuestro estudio, el año 2020, sufre la pandemia de la COVID19. Esta situación ha obligado a toda la población a guardar cuarentena, cerrándose de este modo el acceso a centros públicos, instituciones, laboratorios, entre otros, causando limitación en movilización, tiempos de trabajo y relativamente acceso a la información.

1.6 Viabilidad de la Investigación

El presente proyecto contó con los recursos humanos, financieros e intelectuales para su realización. Cuenta, además, con el apoyo de la Municipalidad Distrital de San José, especialmente, de su Sr. Alcalde Sánchez Cobeñas Agustín, quien nos facilitó el permiso para realizar las calicatas y el libre acceso a la información de las diferentes direcciones municipales y del Archivo Municipal. También se tuvo información respecto a la zona de estudios obtenida de la empresa prestadora de servicios de agua potable EPSEL, para no dañar ninguna tubería existente. Además, se contó con un certificado de inexistencia de nuestro estudio por parte de INDECI que impulsa y motiva la investigación.

Por otro lado, los ensayos necesarios para completar los objetivos fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad San Martín de Porres, del cual ya solicitaron los permisos requeridos y se consideraron los protocolos de seguridad para su acceso.

1.7 Impacto práctico y teórico

El impacto práctico de la investigación beneficiará al ámbito público, debido a que la Municipalidad distrital de San José y la Municipalidad provincial de Lambayeque sabrán reconocer las mejores ubicaciones para construir edificios de administración pública, salud, educación, etc. que requieren mayores consideraciones sismorresistentes a la hora de construir.

De la misma manera, se podrá tener información al momento de realizar un planeamiento urbano adecuado, que lleve a futuro a ciudades más ordenadas. Por otro lado, el ámbito privado se ve beneficiado pues se podrá contar con información de terrenos favorables para la construcción y con recomendaciones a la hora de construir como es elegir el tipo de cemento apto para la agresividad salina de los suelos.

El impacto teórico es la obtención de propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo, es decir, información geotécnica base, complementando la información geológica, geomorfológica y topográfica. También, se complementará la información geotécnica mapeada de la región Lambayeque, que no cuenta con estudios geotécnicos del suelo en la zona de estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Escalante, López y Zepeda (2018), el objetivo principal de esta tesis fue elaborar un mapa con las características geotécnicas del municipio de San Salvador en el país de El Salvador, con la propuesta de requerimientos mínimos en un estudio de suelos para urbanizaciones y obras de protección, edificaciones de tres y más niveles.

Se realizó una base de datos a partir de los estudios de suelos, estos estudios consideraron parámetros geotécnicos, previamente analizados. Se determinó las propiedades físicas y mecánicas requeridas para la elaboración del mapa de características geotécnicas, se utilizó el software ArcGis y otros programas relacionados los cuales facilitaron la elaboración del mapa geotécnico.

En esta tesis se presentaron los siguientes mapas de características geotécnicas: Mapa de curvas de contenido de humedad en estación seca y lluviosa, Mapa de compacidad de suelos y Mapa de clasificación de suelos.

Del presente estudio se pudo concluir lo siguiente: Los mapas de características geotécnicas de la zona previamente estudiada, son de carácter informativo y no sustituyen la ejecución de un estudio de suelos.

Los suelos de tipo limos arenosos y arenas limosas son los más predominantes para el área estudiada en ambas profundidades, confirmando la geología de la zona.

De esta tesis podemos rescatar los componentes de un mapa geotécnico, como pueden ser: la escala, objetivos, importancia de factores geológico-geotécnicos y la información disponible. Además, teoría de las

diferentes clasificaciones de los mapas geotécnicos según: objetivos, contenido y escala.

Razmyar y Eslami (2017), reconocieron que el incremento poblacional de Teherán en el país de Irán es un motivo por el cual es necesaria la identificación geotécnica para el diseño de las construcciones. La necesidad de una mejor identificación de las características de los suelos para ejecutar construcciones seguras en la zona de estudio es la razón por la cual se lleva a cabo esta investigación. Entonces, el objetivo principal de este estudio fue encontrar una zonificación que mejore la calidad de la construcción mediante estudios de suelos.

Lograron mostrar en diferentes mapas geotécnicos, distintas características del suelo como porcentaje de humedad, capacidad portante, tipo de suelo, límites de Atterberg, permeabilidad, entre otras.

Este estudio destaca por la gran cantidad de mapas de zonificación de diferentes indicadores. En este estudio se puede observar mapas individuales sobre: Cohesión, Angulo de Fricción interna, Limite Plástico, Limite Liquido, Índice de Plasticidad y Densidad. Esto nos motiva a presentar una gama de mapas de zonificación como: capacidad portante, ángulo de fricción interna, límites de Atterberg, peso específico relativo, tipo de suelo, entre otros.

Pereira, Gómez, Osorio y Majarrez (2012) realizaron una investigación en la ciudad de Sincelejo en el departamento de Sucre del país de Colombia. Su objetivo principal fue diseñar una cimentación que adecuada que cumpla con las normas y requerimientos para una edificación apoticada de concreto armado de tres niveles con sótano, tomando en cuenta las características geotécnicas del edificio localizado en la Universidad de Sucre.

Se realizaron sondeos en el área de estudio con la finalidad de obtener muestras de los suelos, para luego estudiar las propiedades y características en el laboratorio. Después de realizar los ensayos de laboratorio se obtuvieron

las características físicas y mecánicas de los suelos estudiados. Se obtuvieron resultados de los ensayos referidos a teorías de capacidad de carga y diseño de cimentaciones.

Se concluyó que en donde se iba a construir, el tipo de suelo es una arcilla blanda de baja plasticidad y tiene una consistencia de rigidez media, deducida mediante los ensayos de compresión no confinada, penetración estándar y límites de Atterberg.

Esta tesis describe muy bien los ensayos realizados y menciona las normas internacionales seguidas para su correcto desarrollo y aplicación. Estos dos factores nos servirán a lo largo del desarrollo del presente estudio.

Díaz-Díaz, Pando, Arias y López-Fernández (2017), Este estudio se realizó en Avilés, una ciudad costera en el país de España. Esta investigación aborda el estudio del subsuelo urbano a través del desarrollo de un sistema de información geográfica con una base de datos que contiene miles de datos terrestres no publicados, parcialmente extraídos de informes geotécnicos. Esto permitió analizar la distribución y los cambios de espesor de los depósitos superficiales y formaciones litoestratigráficas, así como la evaluación de sus principales propiedades geotécnicas.

El resultado de esta investigación fue un mapa de geoingeniería a escala 1: 25,000 con todos los detalles pertinentes que se habían trazado en los objetivos.

Este informe es importante para el presente estudio pues destaca que hoy en día, las bases de datos digitales implementadas en los sistemas de información geográfica (GIS) se han convertido en un elemento fundamental herramienta en el procedimiento de preparación de geoingeniería; ello nos inspira a utilizar el software conocido como ArcGIS 10.0, que se ha establecido como la herramienta confiable más moderna e utilizada.

Thiesen, Dos Reis y Veira (2015), Este artículo describe los procedimientos y el procesamiento de datos realizados para preparar un mapeo geotécnico para la ciudad de Blumenau, Brasil. Para desarrollar el estudio, se analizaron 27 cuencas hidrográficas. Se generaron varios conjuntos de información a través de recursos de geoprocésamiento: modelado digital del terreno; mapas hidrográficos, hipsométricos, de pendiente, geológicos, litológicos y pedológicos; una prueba de penetración estándar preliminar de la capa impenetrable y el mapa del nivel del agua.

Para lograr los objetivos, utilizan los mapas digitales que se caracterizan por el almacenamiento y análisis de una gran cantidad de información, ya que presentan un mayor potencial para la manipulación y análisis más complejos. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han utilizado más intensamente para apoyar la toma de decisiones, presentando los medios necesarios para mejorar la eficiencia en las tareas que involucran información contenida en mapas digitales. También mencionan que integran información gráfica y datos en un único entorno computacional, lo que permite una resolución de problemas más rápida, más clara y más completa que involucra un entorno espacial, así como parámetros puntuales para caracterizarlos.

La conclusión del estudio fue que la base de datos geotécnica desarrollada permite la comprensión geográfica de la geología, la litología, la pedología y el declive, así como el mapeo geotécnico, lo que permite formar propiedades de ingeniería geotécnica de los suelos subterráneos para muchos usos en la planificación y ejecución de servicios de ingeniería.

Finalmente, este estudio señala la gran importancia de los mapas digitales de zonificación y de qué forma Los Sistemas de Información Geográfica (GIS) mejoran la eficacia de los mapas digitales. Es por ello, nuestra elección en este método para poder realizar nuestra zonificación geotécnica.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Hernández y Zeña (2009), entre los objetivos de su estudio realizado en la ciudad de Olmos, el principal fue formular una propuesta integral de mapas de peligro, que plantearía la zonificación de usos urbanos motivando racionalmente la ocupación sobre zonas seguras. Además de poder definir las características físicas y mecánicas de los suelos a estudiar.

La metodología para el desarrollo de este estudio se dividió en tres etapas: Organización y Preparación del estudio, Formulación del Diagnóstico Situacional y Formulación de la Propuesta.

La primera etapa consiste en recopilar y revisar información ya existente de la ciudad en la que se realizará el estudio. La segunda etapa consiste en evaluar vulnerabilidades y peligros, estimar riesgos y por último sintetizar la situación actual. Y la tercera etapa es en la que se formula un plan de prevención con dos grandes componentes: Uso del suelo y la identificación de proyectos de investigación.

Se realizaron 26 calicatas en un área aproximada de 314 hectáreas, a una profundidad en promedio de 1,50 m. Se obtuvieron un total de 97 muestras alteradas y 22 inalteradas.

Se concluyó que la Ciudad de Olmos posee suelos sedimentarios heterogéneos, entre ellos tenemos: Gravas y arenas mal graduadas, Arenas Arcillosas, Arenas Limosas, Arcillas de baja plasticidad, Limos de baja plasticidad.

También se llegó a la conclusión que existen zonas en la Ciudad de Olmos propensas a sufrir una licuación de baja a media, específicamente fuera de la zona urbana al norte y este, de acuerdo a su densidad de arenas, estratigrafía del depósito y tipo de suelo.

Esta tesis influye en gran medida en el desarrollo, ya que los ensayos de laboratorio casi en su totalidad son los que se planea realizar. Entre estos

se tiene: Contenido de Humedad, Granulometría por tamizado, Peso específico de sólidos, Limite Líquido, Limite Plástico, Contenido de sales y Corte Directo.

Sánchez (2019), elaboró un estudio en la ciudad de Huancayo se realizó por el crecimiento demográfico, el cual genera la necesidad de asentamiento poblacional. Se realizaron 18 calicatas en un área aproximada de 11 hectáreas, a profundidades entre 1,75 m a 2,20 m.

Tuvo como principal objetivo desarrollar un estudio geotécnico enfocado en cimentaciones superficiales, específicamente en viviendas unifamiliares para el Centro Poblado de Huamanmarca. Se determinaron las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los suelos.

Se buscó también obtener la capacidad portante admisible y parámetros de resistencia del suelo para el diseño de cimentaciones superficiales en viviendas unifamiliares para dicho centro poblado.

Se completó de manera satisfactoria el objetivo principal y cumplió con todas las normas técnicas vigentes afirmando que los resultados de la tesis son confiables. Se logró obtener los parámetros de resistencia del suelo, referentes al ángulo de fricción y cohesión de manera óptima. Se obtuvo el valor mínimo y máximo de estos dos parámetros para el estudio.

Además de los aportes metodológicos para las propiedades físicas y mecánicas que ofrece esta tesis, también señala la ejecución de ensayos químicos para poder determinar el contenido de sulfatos y cloruros. Los cuales se tomarán presentes para el desarrollo de la presente investigación.

Vigil (2017), en su investigación tuvo como principal objetivo, zonificar el Asentamiento Humano Satélite ubicado en el Distrito de la Banda de Shilcayo, Provincia y Región de San Martín mediante la capacidad portante

del suelo, en base a las características geotécnicas, geológicas y geomorfológicas.

Se realizó el muestreo y exploración de suelos mediante calicatas, se realizaron 20 calicatas en un área aproximada de 20 hectáreas. Para posteriormente realizar los respectivos ensayos de laboratorio, siguiendo lo estipulado en la Norma Técnica Peruana y en concordancia a la norma E-050. Se elaboró los perfiles estratigráficos de los suelos en estudio y se identificó el tipo de suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). También, procesaron los datos con la finalidad de determinar la capacidad portante de los suelos y finalmente se elaboró el mapa de zonificación de la capacidad portante de los suelos del Asentamiento Humano a una profundidad de cimentación $D_f = 1.50\text{m}$.

Esta tesis aporta a la presente investigación en la forma en la que presentan los resultados de laboratorio de cada calicata, pues explica textualmente dichos resultados obtenidos en el laboratorio.

Rocha (2010), el propósito de esta tesis fue realizar estudios de suelos, con la finalidad de encontrar el tipo de suelo y la capacidad portante, fue realizada en el distrito de Morales, provincia y región de San Martín.

El objetivo principal de esta tesis es elaborar un mapa de zonificación con estos dos datos importantes: capacidad portante y tipo de suelo. Además, conocer la zonificación sísmica de dicho distrito.

Para esta tesis se realizaron 12 calicatas en un área aproximada de 4400 hectáreas.

El estudio dio como resultado final, de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), los tipos de suelos siguientes: Arcillas con límite líquido alto, Arenas arcillosas, Arenas limosas y Orgánicos con límite líquido alto. Esta tesis también indica que estos suelos tienen un comportamiento medianamente permeable y en épocas de grandes precipitaciones pluviales se pueden presentar licuefacciones de arenas y

posteriormente asentamientos diferenciales, debido a las infiltraciones relacionadas con eventos sísmicos, demostrando la vulnerabilidad de los suelos ante estos hechos.

Esta tesis comparte paso a paso el desarrollo de cada ensayo de laboratorio de su Estudio de Mecánica de Suelos. Siendo un apoyo importante para el desarrollo de la presente investigación, ya que permitirá ser una guía para el uso de los instrumentos y equipo de laboratorio.

Aya (2015), realizó el estudio geotécnico del suelo en el distrito Alto de la Alianza en Tacna, específicamente en el sector VII. Se determinaron las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los suelos estudiados. En esta tesis se realizaron 12 calicatas en un área aproximada de 214 hectáreas.

Se incluyó la capacidad portante y la posibilidad de ocurrencia de asentamientos diferenciales. Se realizó una microzonificación geotécnica sobre la capacidad portante y el potencial de colapso en la zona estudiada.

Se concluyó que estos suelos estudiados, presentan una clasificación SUCS de arena limosa no plástica. Estos suelos estudiados están conformados de arenas limosas uniformes en estado suelto, con bajo contenido de humedad y plasticidad. La capacidad portante de los suelos estudiados es 1,63 kg/cm² para zapatas y 0,92 kg/cm² para cimientos corridos.

Esta tesis es relevante para la presente investigación debido a que menciona el procedimiento adecuado para elaborar un mapa de zonificación de capacidades portantes del suelo de la zona de estudio mediante teoría de Meyerhof, ignorando la de Terzaghi debido a sus limitaciones.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Mapa geotécnico

Es una herramienta gráfica que poco a poco se ha ido consolidando como una gran contribuyente a ramos como la ingeniería y las ciencias de los suelos, llevando su empleo desde el planeamiento de obras hasta el diagnóstico del medio físico. (Barreto, Gomes, Calijuri, Lima, 2010)

Zuquette y Gandolfi (2010) indican que la antigüedad de estos mapas es difícil de saber, pues se tiene registro de que han sido herramientas para identificar zonas donde existían carbón u otros materiales. Ellos citan a Segundo Raisz (1962), quien indicaba que el mapa más antiguo del que se tiene conocimiento data del año 2800 a.C. Zuquette y Gandolfi (2004) citados por Barreto, Gomes, Calijuri y Lima (2010) señalan que su origen técnico se remonta al año 1913, donde Langen presentó en la Feria de Construcciones de Leipzig documentos gráficos, que dieron comienzo a la cartografía geotécnica en el mundo. Así, a partir de ese evento, los mapas fueron evolucionando incluyendo mayor información, análisis diferenciados y detalles en función de las escalas, en los cuales se clasificaban los atributos del medio físico para distintos usos.

En 1968, la Asociación Internacional de Ingeniería Geológica propuso la creación de la Comisión de Mapeo de Ingeniería Geológica para desarrollar estudios que permitiesen reglamentar la elaboración de mapeamientos geotécnicos y sus productos, con el fin de difundir tendencias y conocimientos. Esto conllevó la creación de documentos de diversas especialidades. Es importante mencionar que a partir de la década de 1960 surgió la cartografía digital geotécnica, pero de una forma simple con el uso de las computadoras. De esta forma, la cartografía digital dio un salto superior, permitiéndose su manejo de forma sencilla, teniendo acceso fácil a un banco de datos numérico y generando información descriptiva. Es aquí cuando nacen los Sistemas de Informaciones Geográficas SIGs, instrumentos para planeamiento y gestión, constituyendo una representación gráfica de las limitaciones y ventajas del medio físico (Barreto, Gomes, Calijuri, Lima, 2010).

Freitas y Campanha (2007), citados por Barreto, Gomes, Calijuri y Lima (2010) mencionan que la cartografía geotécnica se ha convertido en un instrumento importante de gestión ambiental, pues fortalece, a través de la representación del conocimiento geológico, las directrices para que las actividades humanas minimicen el compromiso de la calidad ambiental y sus impactos. Este conocimiento contempla la caracterización del medio físico en cuanto a las propiedades de los materiales constituyentes (rocas, suelos y aguas), en relación a los procesos geodinámicos naturales o inducidos y las modificaciones de estos materiales tras la intervención humana (uso y ocupación del suelo). Así, la información que la cartografía geotécnica contempla las necesidades de gestión ambiental en distintos niveles, desde la formulación de políticas de uso, condiciones de uso, planeamiento y gerencia ambiental de los diferentes sectores del territorio.

En la ciencia de la cartografía geotécnica podemos encontrar dos términos: carta y mapa. Zuquette (1993), citado por Barreto, Gomes, Calijuri y Lima (2010) señala que estos términos pueden generar confusión debido a que una ha sido traducida de la lengua francesa y otra de la lengua inglesa. La primera de “Cartographie Geotechnique” y “Engineering Geological Mapping”. Zuquette y Gandolfi explican que el mapa geotécnico es la representación de los atributos del medio físico, sin la realización de un análisis interpretativo, que sirve como base para estudios más grandes con mayores detalles, ayudando e influenciando en el planeamiento del uso y ocupación del suelo. Ya la carta geotécnica resulta la interpretación de los resultados, para aplicaciones pre establecidas, siendo más utilizada para el ambiente urbano, subsidiando la definición del direccionamiento de la expansión urbana. Zuquette y Gandolfi (2010) también explican que ambos términos tienen orígenes distintos: “mapa” viene del latín *mappa* y “carta”, del latín *charta*.

En cuanto a lo mostrado por un mapa geotécnico, es necesario tener en cuenta el tipo de atributos que se va a mostrar. Según Varnes (1974), citado por Zuquette (2010), la definición de atributos exige la observación de algunos puntos que son: la identificación de la finalidad del mapa a elaborar, la designación de las unidades (espaciales, por ejemplo), una especificación

de qué propiedades son necesarios y suficientes y, el grado de heterogeneidad interna que puede ser permitido y atiende a las finalidades del documento cartográfico. Una vez identificado lo que se busca mostrar se puede elegir cómo clasificarlo conforme al tipo de registro.

Tabla 1. Tipos de registro de la información

Tipo	Característica	Ejemplos
Nominal	Cuando se adopta un número, nombre o código para el atributo en análisis	Tipos de materiales
Ordinal	Grandeza numérica, que puede ser discreta o continua	Conductividad Eléctrica
Intervalo	Cuando se adoptan valores límites para un atributo	Clases de declive
Lógica	Cuando se identifica igualdad de los atributos	Índice de vacíos

Fuente: Zuquette y Gandolfi, 2010, p. 30

Los datos obtenidos y representados deben estar finalmente ordenados de manera deseada, de aquí surge la necesidad de tratarlos hasta que se obtenga el gráfico buscado. El desarrollo debe seguir un conjunto de operaciones básicas donde se resalta la generalización, selección, adición y transformación. La generalización implica realizar una simplificación en cuanto a la información que está muy detallada y a veces confusa. En los mapas geotécnicos, por lo general, las pequeñas unidades son absorbidas por las

mayores, haciendo disminuir la heterogeneidad, pero también llevan a la pérdida de los detalles informativos, disminuyendo la calidad del trabajo. La selección viene a ser un proceso adoptado para separar la información deseada y adecuada para un determinado fin. La adición es, por decirlo de una manera sencilla, la sobreposición de diversos atributos en uno solo. Finalmente, la transformación viene a ser el cambio de un atributo por otro. (Zuquette, 2010)

2.2.2 Polígonos de Thiessen

Son una herramienta de interfaz utilizada para la introducción de información en ramas de hidráulica, geotécnica y geofísica. Estos a su vez permiten la predicción de características de puntos no estudiados directamente mediante un acercamiento de combinaciones lineales. (Aguilar, Negreiros y Painho, 2008)

Este método asigna polígonos cuyos límites definen el área que está más cerca a cada punto en relación a los otros. Matemáticamente, es una manera de dividir espacio entre un número de regiones. El número de puntos definidos es especificado previamente y para cada uno de ellos se crea una región que consisten en todos los puntos cercanos a ella más que a cualquier otra. Estas regiones llevan el nombre de celdas de Voronoi.

En el caso más familiar, se tienen un número finito de puntos $\{p_1, \dots, p_n\}$ en el plano Euclíniano. En este caso, cada punto "pk" es un simplemente un punto y tiene una celda de Voronoi correspondiente llamada "Rk" que se componen de cada uno cuya distancia al punto "pk" es menor o igual a la distancia que tiene de otro punto. Cada una de las celdas "Rk" es obtenida de la intersección de la mitad de los espacios, y es, por ende, un polígono. (Asmah, Hijazi, Jerdaneh, s.f)

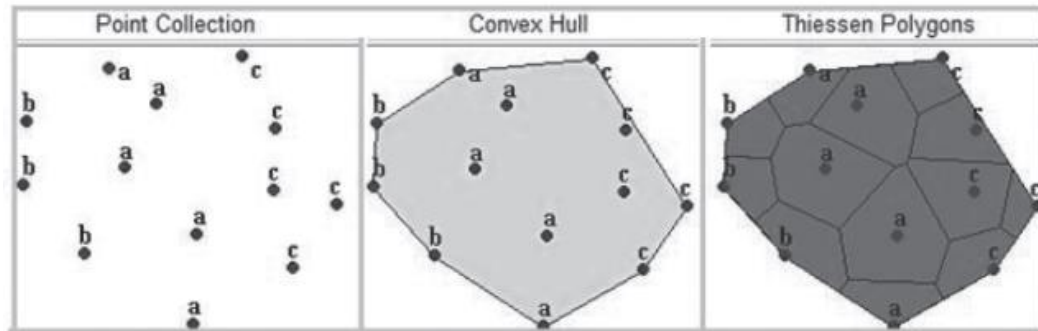


Figura 4. Polígonos de Thiessen
Fuente: Asmah, Hijazi, Jerdaneh, s.f, p. 3

Quando se usa este método, nunca hay regiones vacías y el tamaño de cada uno de los polígonos es inversamente proporcional a la cantidad de puntos que se tienen. (Aguilar, Negreiros y Painho, 2008)

2.2.3 Cimentación superficial

Son el tipo de cimentación que están localizadas a una profundidad que puede ser hasta tres veces la menor de sus dimensiones. Ella incluye zapatas aisladas y combinadas, muros de contención, cimientos corridos, vigas de cimentación, entre otros. (Basma, s.f) Para el autor Zhou (2006), las cimentaciones superficiales son aquellas donde la profundidad de la cimentación es pequeña comparada con la sección transversal, sea el ancho o largo.

Indica que para su diseño se debe tomar en cuenta todas las cargas que pueden actuar, una investigación minuciosa del sitio en el que se va a realizar su construcción, la profundidad de cimentación y analizar la falla por asentamiento y la falla por capacidad de carga. (Teymur, s.f)

2.2.4 Distribución granulométrica

Es una de las propiedades físicas necesarias para la clasificación de un suelo, esta describe la gradación de los tamaños de los granos que se encuentran dentro del total de suelo estudiado. Das (2012) menciona que generalmente se realiza a través de un análisis granulométrico con tamices.

Solo en ciertas ocasiones, donde el suelo es muy fino, teniendo una gran cantidad de partículas con un diámetro de 0.075 mm se realiza por medio del análisis hidrométrico.

2.2.4.1 Análisis de la granulometría por tamices

Este análisis se realiza con una porción de suelo seco que se pasa a través de tamices apilados que tienen aberturas cada vez más pequeñas finalizando con un fondo que retiene lo más fino. Se pesa cada porción retenida en cada uno de los tapices y se calcula el porcentaje de suelo que pasa por cada una de ellas (Das, 2012). Para lograr una correcta obtención de los pesos, los tamices deben ser movidos con la ayuda de una tamizadora mecánica o de manera manual. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC, 2016) señala que el tamizado manual debe considerar movimientos laterales y circunferenciales que aseguren la circulación constante de la muestra sobre la malla. El tamizado estará terminando cuando menos del 1% de la muestra retenida al mover los tamices durante un minuto pasa al tamiz siguiente.

El porcentaje de muestra que pasa cada uno de los tamices es representado finalmente en una gráfica semilogarítmica, ver Figura 5, con el Tamaño del grano en las abscisas en una escala logarítmica y el Porcentaje de muestra que pasa en las ordenadas en una escala aritmética. (Das, 2015)

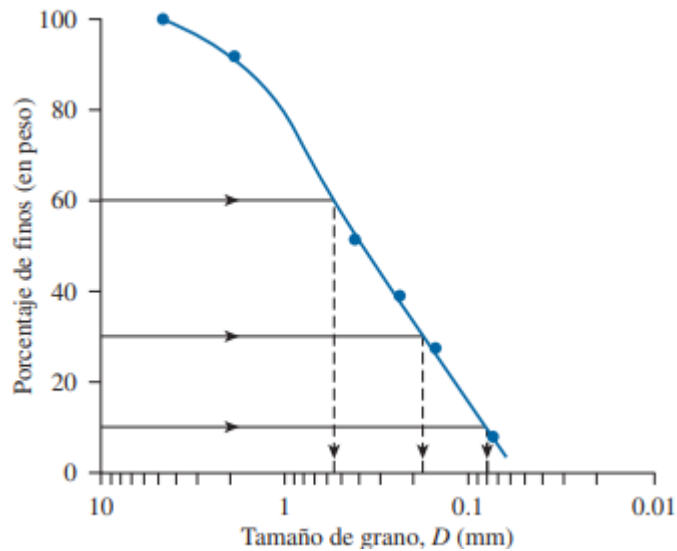


Figura 5. Curva de distribución granulométrica
Fuente: Das, 2012, p. 3

Resulta importante también encontrar los parámetros de coeficiente de uniformidad C_u y coeficiente de curvatura C_c . Ambos se calculan de la siguiente manera:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}, C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Siendo D_{60} , D_{30} y D_{10} los diámetros por los cuales pasa el porcentaje del peso descrito en el subíndice.

2.2.5 Límites de Atterberg

La relación entre cambios en el volumen debido a la humedad que posee es lo que conocemos como los límites de Atterberg o límites de consistencia. (Razmyar y Eslami, 2017) Estos son encontrados principalmente mediante la aplicación de métodos de la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM). Fueron introducidos por Atterberg en el año 1911 para caracterizar la plasticidad de las arcillas y así encontrar su viabilidad para su cultivo. Sin embargo, su uso principal ha sido para la clasificación de suelos con fines ingenieriles. (E. De Jong, D. F. Acton y H.B Stonehouse, 1990)

Los límites de Atterberg pueden dividirse en límite líquido (L.L), límite plástico (L.P) y límite de contracción (L.C). Los dos primeros son usados

mayormente en la clasificación de suelos, por ejemplo, en la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). La diferencia aritmética de estos dos límites crea un tercero: el índice de plasticidad (I.P), que resulta de la diferencia de los mismos. (Das, 2012). Así, se pueden apreciar cuatro estados del suelo presentes en la Figura 6.

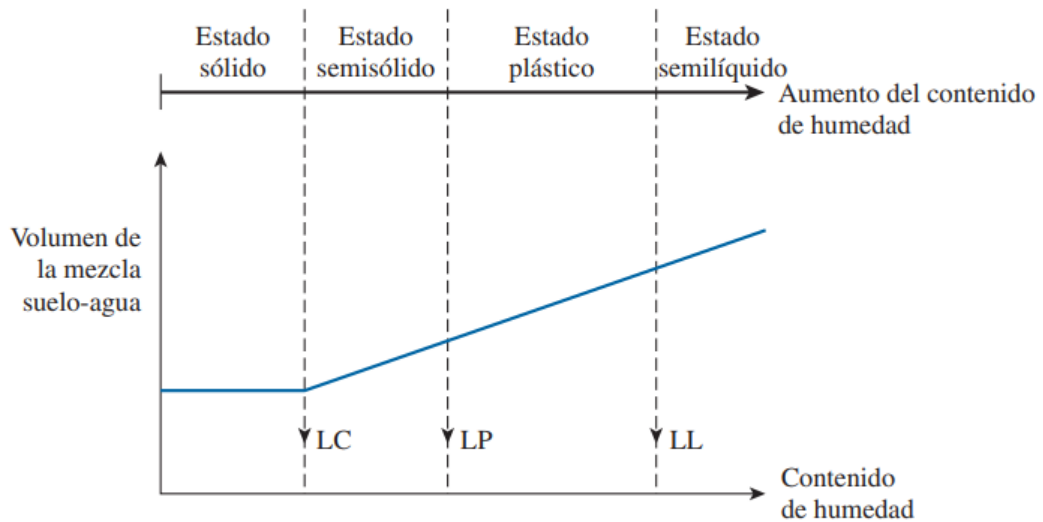


Figura 6. Definición de los límites de Atterberg
Fuente: Das, 2012, p, 16

Cabe destacar también que existe una fuerte influencia de la salinidad en las propiedades del suelo, sobre todo si son arcillas. Según Goedomoed y Vermeijden (2005), algunas áreas de zona costera cuyo tipo de suelo es arcilloso, contienen un contenido de sales extremadamente alto, por lo que las ecuaciones geotécnicas convencionales de límite líquido, límite plástico y contenido de humedad, que asumen que el contenido de fluidos en los poros es agua, no pueden ser empleados como resultados finales y requieren una corrección. Esta teoría presentada por los autores es fuertemente sostenida por la misma ASTM D4318, que en su punto 1.6 explica que la composición y concentración de sales solubles en un suelo afecta los valores del límite líquido y del límite plástico, así como el del contenido de humedad. Por ello, se les debe dar una consideración especial a todos aquellos suelos de ambiente marino o de otras fuentes donde altos contenidos de sales son encontrados. (ASTM D4318, 2000) Según Flores (1991), citado por (Ramirez, 2016), se puede conocer la salinidad de un suelo según su conductividad

eléctrica donde extremadamente salino tiene una conductividad eléctrica en Ds/m a 25°C mayor a 16. Esta se puede encontrar una vez hallado el contenido total de sales solubles en partes por millón (ppm) del suelo estudiado. Este punto es importante en la presente investigación pues la zona de estudio se encuentra en un lugar costero a unos 5 km, aproximadamente, del océano Pacífico.

2.2.5.1 Límite Líquido

Es el punto último, expresado en porcentaje, en el cual la consistencia es transformada de un estado plástico a un estado líquido. (Das, 2012) La norma internacional que registra los métodos estándar para la obtención de este límite es la ASTM D4318, de la cual se basan las normas de cada país para dar una normativa nacional; en Perú, las Normas del MTC y de las Normas Técnicas Peruanas (NTP).

Existen dos métodos usados para encontrar el límite líquido: el método de punto único y el método de múltiples puntos. En Perú, el método más usado debido a su aprobación es el segundo debido a su precisión. La ASTM D4318 también recomienda su uso cuando se requiere una precisión más exacta pues el método de punto único requiere la identificación del operador cuando el espécimen de prueba está aproximadamente en su estado líquido, lo cual requiere una mayor experiencia. (ASTM D4318, 2000) El método de múltiples puntos requiere tres o más pruebas de un rango de contenido de humedad para ser desarrollado y la información de aquellos resultados calculados para generar una relación de la cual el límite líquido es generado.

Cada una de las pruebas se realiza con un aparato mecánico que lleva el nombre de Copa de Casagrande. Este consiste en una copa de metal suspendida desde un pilar diseñado para dejarla caer controladamente sobre una base dura de caucho cada vez que se gira una manecilla giratoria. Aquí se moldea la muestra, el material requerido es de aproximadamente 150 a 200g que pasa el tamiz N° 40 al que se le agrega agua destilada en un plato

de vidrio y se mezcla con una espátula. Si se usa el método de puntos múltiples se debe ajustar el contenido de humedad del material y lograr una consistencia que requiera entre 15 a 25 golpes, 20 a 30 golpes y 25 a 35 golpes para unir las dos mitades por una longitud de aproximadamente 13 mm.



Figura 7. Suelo golpeado después de cerrar la ranura
Fuente: ASTM D 4318, 2000, p. 8

Se debe anotar el número de golpes requeridos para cerrar la ranura. Posteriormente, se saca una porción del suelo de aproximadamente el ancho de la espátula cuya longitud debe extenderse de borde a borde de la masa del suelo a ángulos correctos y donde se debe incluir la porción de la ranura que el que el suelo ya está junto. Esta porción se coloca en un contenedor cuya masa ya se conoce, se pesa nuevamente y se deja secar al horno. Después, se pesa y se calcula el porcentaje de humedad de cada muestra, generando un gráfico conocido como Diagrama de Fluidez. Esta curva de flujo representará la relación entre contenido de humedad y número de golpes en un gráfico semi logarítmico. En las abscisas irá el Número de golpes (N) en una escala logarítmica y en las ordenadas irá el contenido de humedad en una escala aritmética. La curva de flujo será una línea recta dibujada lo más

cercana posible entre tres o más puntos graficados. (Department of Transportation, 2010)

Una vez ejecutada la curva de flujo, se traza una recta vertical en el punto de los 25 golpes y en el punto donde se intersectan nace una línea horizontal que intersectará el eje de las ordenadas y obtendremos el contenido de humedad. Este contenido de humedad vendrá a ser el Límite Líquido (L.L).

En caso de presencia extremada de sales, según lo determinado en Límites de Atterberg, se debe realizar la corrección siguiente en caso se use agua destilada para realizar el ensayo:

$$r_L = \frac{\frac{r}{1-r}}{\frac{L.L}{w} + \frac{r}{1-r}}$$

Donde

$$r_L = \text{salinidad del límite líquido} \left(\frac{kg}{kg} \right)$$

$$r = \text{salinidad del fluido} \left(\frac{kg}{kg} \right)$$

$w = \text{contenido de humedad no corregido}$

$L.L = \text{límite líquido no corregido}$

Este valor r_L a su vez se aplica para encontrar el $L.L^*$ (límite líquido corregido), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$L.L^* = \frac{L.L}{1 - r_L - r_L * L.L}$$

Según ellos, el límite líquido puede tener un error hasta de 80%. (Goedomoed y Vermeijden, 2005)

2.2.5.2 Límite Plástico

Es el contenido de humedad, en porcentaje, de un suelo en el límite entre su estado plástico y semisólido. La obtención de este límite se puede trabajar con material preparado para el límite líquido.

Para la ejecución de este ensayo se requiere 20g en el que se busca reducir el contenido de humedad del suelo para lograr una consistencia en el cual se pueda hacer rollitos con la muestra sin que se pegue a las manos mientras se trabaja con ella en el plato de vidrio. El procedimiento manual requiere enrollar la masa entre la palma de la mano o los dedos contra el plato de vidrio de forma que la presión ejercida para enrollar la masa forme una tira cuyo largo tenga un diámetro uniforme de 3.2 mm (1/8 pulg.) en menos de dos minutos. La cantidad de presión ejercida puede variar en gran medida dependiendo del suelo examinado, que típicamente, a mayor presión se tiene mayor plasticidad. (ASTM D4318, 2000)

La muestra recogida debe ser aquella en la que se vean grietas justo antes de llegar a los 3.2 mm de diámetro. Cuando se logra esto se toman las piezas del rollo quebrado y se pone en una tara de la cual se conoce el peso, se pesa la tara y la muestra obtenida y se seca al horno. Después, una vez seca la muestra, se pesa para obtener el contenido de humedad. Se repite el ensayo las veces que se consideren adecuadas y con los datos obtenidos se realiza un promedio para encontrar el límite plástico final. (NITTTR Changigarh Technology Enabled Learning, 2013) La fórmula general es:

$$L.P = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso de la tara} - \text{muestra seca}} * 100$$

El reajuste que se le hace por presencia extremada de sales, que puede tener un error de hasta 35%, es el siguiente:

$$L.P^* = \frac{L.P}{1 - r - r * L.P}$$

Donde

$L.P^*$ = *límite plástico corregido*

$$r = \text{salinidad del fluido} \left(\frac{kg}{kg} \right)$$

L.P = límite plástico no corregido

2.2.5.3 Índice de plasticidad

Se define como el rango de contenido de humedad sobre el cual el suelo se comporta plásticamente. Numeralmente, es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. (ASTM D4318, 2000) La fórmula es la siguiente:

$$I.P = L.L^* - L.P^*$$

Estos tres miembros de la fórmula deben ser aproximados a números enteros, obviando el porcentaje designado. En caso el límite líquido o límite plástico no pudieran ser determinados, o si el límite plástico es numéricamente mayor o igual que el límite líquido se debe reportar el suelo como no plástico (NP).

2.2.6 Contenido de humedad

Es la relación expresada en porcentaje de una masa de “poros” o agua en una masa dada de un material del cual se conoce su parte sólida. Para obtener el contenido de humedad se selecciona una porción de suelo cuya preservación ha sido extremadamente cuidada para mantener los valores de humedad cerca de lo real. A continuación, se seca en el horno a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$. La pérdida de masa debido al secado se considera agua. El contenido de humedad es calculado usando la masa de agua y el peso de la masa seca del espécimen estudiado. (ASTM D2216, 1998) La fórmula es la siguiente:

$$w = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso de la muestra seca}} * 100$$

Como lo hemos visto anteriormente, en caso de una presencia excesiva de sales en el suelo, el contenido de humedad (w) debe ser reajustado a lo siguiente:

$$w^* = \frac{w}{1 - r - r * w}$$

Donde

w^* = *contenido de humedad corregido,*

r = *salinidad del fluido* $\left(\frac{kg}{kg}\right)$

w = *contenido de humedad no corregido*

2.2.7 Clasificación de los suelos

La adopción de principios de mecánica de suelos por profesionales de la ingeniería ha provocado numerosos intentos de inducir un sistema de clasificación de suelos que le muestre al ingeniero las propiedades de un suelo de manera sencilla. Como consecuencia de ello, muchos sistemas de clasificación han nacido en base a distintas propiedades de los suelos como textura, plasticidad, fuerza, entre otras características. Solo pocos de ellos han ganado aceptación de manera amplia, pero raramente alguno de ellos ha dado información completa del suelo de acuerdo a lo que el ingeniero necesita. Sin embargo, es necesaria la existencia de una base común de clasificación de suelos para que al momento en el que un ingeniero determine un tipo de suelo, esta clasificación, muestre realmente las características y comportamiento de un material a sus colegas. (Department of the Army, 2001)

2.2.7.1 Clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Este sistema se basa en la identificación de los suelos de acuerdo a su textura y propiedades plásticas. Los suelos individualmente existen en la naturaleza de manera separada como arena, grava, limos y arcillas, catalogados especialmente por el tamaño que tienen. Ellos usualmente son encontrados mezclados en distintas proporciones; cada uno de ellos contribuye en las características del suelo encontrado. Para el SUCS, será grava o arena si menos del 50% pasa el tamiz N° 200 o, será arcilla o limo si más del 50% de la muestra pasa el tamiz N°200. Los siguientes símbolos son los que usa para su clasificación:

Símbolo	G	S	M	C	O	Pt	H	L	W	P
Descripción	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Limos orgánicos y arcilla	Turba y suelos altamente orgánicos	Alta plasticidad	Baja plasticidad	Bien graduado	Mal graduado

Figura 8. Símbolos para identificación de suelos
Fuente: Das, 2012, p. 19

Para encontrar cada uno de aquellos símbolos que describen el suelo, el SUCS se basa en aquellas características del suelo que indican cómo se va a comportar el suelo como un material de construcción en el ámbito de la ingeniería. Los siguientes atributos son los usados para el propósito de caracterización y pueden ser determinados por ensayos sencillos:

- Porcentaje presente de grava, arena y finos
- Forma de la curva de distribución granulométrica
- Características de plasticidad

Además de ello, toma en consideración la Carta de plasticidad para intersectar el índice de plasticidad y el límite líquido, y calificar la plasticidad del suelo. Ver Figura 9.

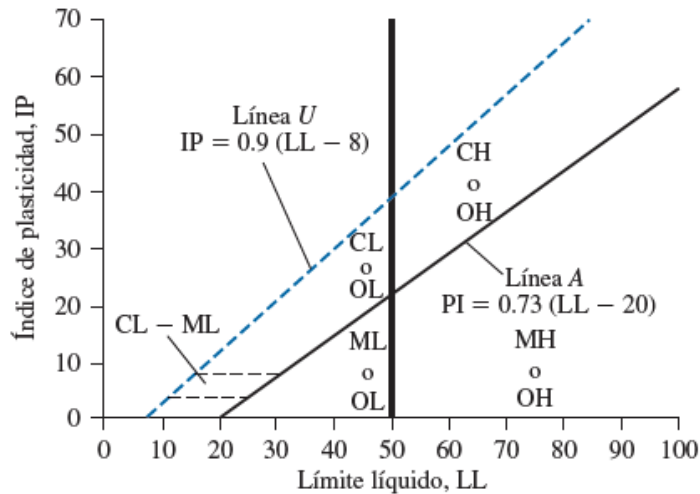


Figura 9. Carta de plasticidad
Fuente: Das, 2015, p. 84

Donde:

- La Línea A se define como $IP = 0.73 (L.L. - 20)$. Se usa para separar arcillas, que se marcan sobre la línea, de limos, que se marcan debajo de la misma.
- La línea vertical $L.L = 50$. Se usa para dividir limos y arcillas en alta plasticidad ($L.L > 50$) y baja o mediana plasticidad ($L.L < 50$)
- La Línea U, definida como $IP = 0.90 (L.L - 8)$, que es una línea adicional valorable porque representa el límite superior de valores encontrados para suelos naturales. Por ello, sirve para reconocer correcta o errónea información, sugiriendo que cualquier resultado que se marque sobre la línea debe ser verificado o vuelto a ensayar. (Fakhry, Hughes, LaMoreaux, 2004)

Finalmente, con la aplicación de todos los parámetros anteriores se pueden formar las siguientes clasificaciones:

GRUPO	NOMBRES TÍPICOS DEL MATERIAL
GW	Grava bien gradada, mezclas gravosas, poco o ningún fino.
GP	Grava mal gradada, mezclas grava – arena, poco o ningún fino.
GM	Grava limosa, mezclas grava, arena, limo.
GC	Grava arcillosa, mezclas grava – arena arcillosas.
SW	Arena bien gradada.
SP	Arena mal gradada, arenas gravosas, poco o ningún fino.
SM	Arenas limosas, mezclas arena – limo.
SC	Arenas arcillosas, mezclas arena – arcilla.
ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, limo arcilloso, poco plástico, arenas finas limosas, arenas finas arcillosas.
CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras (pulpa)
OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos (ambiente marino, naturaleza orgánica silíceo), suelos elásticos.
CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.
OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.
Pt	Turba (carbón en formación) y otros suelos altamente orgánicos.

Figura 10. Nombres típicos de los materiales

Fuente: Duque y Escobar, 2016, p. 4

2.2.8 Peso Específico Relativo (Gs)

Es una de las propiedades físicas más importantes por determinar debido a que con ella se pueden encontrar otras variables como saturación del suelo, peso y volumen. Esta se define como la relación que existe entre el peso específico de la masa del suelo y el peso específico del agua a una temperatura dada.

Según Badillo y Rodríguez (2005), citados por Alarcón y Terán (2019), esta propiedad se puede determinar fácilmente en laboratorio siguiendo las fórmulas:

$$W_{f_{sa}} - W_{fa} = W_s - \text{Peso de agua desplazada por sólidos}$$

Donde:

$$W_{fa} = \text{peso del picnómetro lleno con agua}$$

$$W_{f_{sa}} = \text{peso del picnómetro lleno con suelo y agua}$$

$$W_{s_{yo}} = \text{peso del picnómetro lleno con suelo y agua ensayado}$$

$K = \text{Coeficiente de temperatura del agua a } 20^{\circ}\text{C}$

Y, el peso de agua desplazada por la masa sólida del suelo viene dada por:

$$W_{so} = V_{syo} = W_s / \gamma_s$$

Entonces, finalmente, el peso específico relativo será:

$$G_s = \frac{W_s}{W_{syo} + W_s - W_{fsa}} * K$$

En este ensayo, dictado por la ASTM D 854 Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer se debe tomar en cuenta la cantidad de muestra a ensayar, tomando como recomendación las cantidades siguientes:

Tabla 2. Masas recomendadas para el ensayo

Tipo de Suelo	Masa de suelo seco al usar un picnómetro de 250ml (g)	Masa de suelo seco al usar un picnómetro de 500ml (g)
SP, SP-SM	60 ± 10	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Arcilla o Limo	35 ± 5	50 ± 10

Fuente: ASTM D854, 2002, p. 3

2.2.9 Contenido total de sales solubles

Como su nombre lo indica, viene a ser la proporción de sales solubles presentes en un suelo. Por lo general, la aglomeración de sales se da por problemas de drenaje y a la excesiva y continua irrigación que un suelo pueda recibir, seguida de sequías. (Inga, 2016)

Encontrar el total de sales disueltas se puede lograr aplicando la Norma Técnica Peruana 339.152 SUELOS. Método de ensayo normalizado para la

determinación del contenido de sales solubles en suelo y agua subterránea. La cual establece la preparación de un extracto acuoso usando una relación de agua-suelo de 3:1 o 5:1. (NTP 339.152, 2015)

El primer paso que se debe realizar es pasar muestra del suelo previamente secado al aire por el tamiz N° 10 y separar 100g. Posteriormente, se agrega 300 ml de agua destilada en un frasco completamente limpio. Se agita continuamente durante una hora y se deja reposar de un día al otro. Seguido de este paso, se filtra la suspensión del frasco a través de papel filtro con la ayuda de un embudo en un matraz de Erlenmeyer. En caso la suspensión filtrada resulte muy amarillenta, se debe pasar nuevamente por otro filtro, hasta que se torne lo más transparente posible.

Una vez se tenga el extracto total, se toma un beaker del cual se conozca el peso, y se vierte 100ml (como mínimo) en él. Se pesa nuevamente y se pone al horno a una temperatura mínima de 100 °C.

Los resultados se expresan de la siguiente manera para muestras de suelo:

$$SS = \frac{(m_2 - m_1)xD}{E} * 10^6$$

Donde:

$$SS = \text{total de sales solubles, en ppm} \left(\frac{mg}{kg} \right)$$

$$(m_2 - m_1) = \text{peso del residuo de evaporación en g}$$

$$D = \text{relación de mezcla suelo: agua}$$

$$E = \text{volumen de extracto acuoso evaporado}$$

Este valor, a su vez, indica el nivel de conductividad eléctrica de un suelo en dS/m, donde

$1 \frac{dS}{m} = 1 ppm * 0.00156$, que resulta importante saber para poder catalogar la salinidad de un suelo. Ver Tabla 3.

Tabla 3. Suelos salinos según la conductividad eléctrica

Clasificación	CE en dS/m a 25°C
No Salino	0 - 2
Ligeramente salino	2 - 4
Moderadamente salino	4 - 8
Fuertemente salino	8 - 16
Extremadamente salino	> 16

Fuente: Ramirez, 2016, p. 14

2.2.10 Contenido de Sulfatos Solubles

Es la cantidad de iones de sulfatos solubles en agua contenidos en el suelo. Se determina de distintos métodos, pero las normas de muchos países se basan en la norma AASHTO T 290 – 95 (2012), que se divide en dos partes. La primera, especifica el procedimiento para obtener la muestra y prepararla para el ensayo. La segunda, especifica dos métodos para la obtención de la concentración de los resultados buscados: el método gravimétrico y el turbidimétrico. La elección del método depende de la precisión buscada. (AASHTO T290 – 95, 2012)

El método A es una medición primaria del sulfato ion. El método B toma menor tiempo en ser realizado, pero puede conllevar algunos problemas de interferencia al realizarse. Generalmente, el método B, se utiliza cuando la presencia de sulfatos se estima que es baja y puede ser usada como un ensayo de proyección.

Para realizar ambos ensayos se necesita secar el suelo a una temperatura de hasta 60°C, luego, pasarlo por el tamiz N°10 y conseguir aproximadamente 250g del material que pasa.

El Método A, consiste en utilizar solo 100g de la muestra obtenida y ponerlo en un matraz Erlenmeyer de 500ml. Luego, agregar 300ml de agua destilada ya agitarla hasta conseguir centrifugar la muestra. Posteriormente, se filtra lo obtenido con mucho cuidado a través de una membrana de 0.45µm.

Seguido de ello, se agrega 30ml de lo extraído a un beaker de 250ml y se añade la cantidad de solución cloruro de bario dihidratado ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (relación de 100g/L) mientras se mantiene la temperatura justo debajo del punto de ebullición por como mínimo 2 horas o hasta que el líquido se haya tornado limpio y el precipitado haya asentado completamente. Seguidamente, se filtra la suspensión a través de un papel filtro hasta que la muestra queda completamente limpia y el papel filtro con lo retenido se coloca en una tara de platino. Aquí se debe quemar el papel filtro cuidadosamente; los restos de carbón que genere, deben ser eliminados poniendo la tara al horno a una temperatura de 800°C por una hora. Finalmente, a lo obtenido se le agrega una gota de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y algunas gotas de fluoruro de hidrógeno (HF), se pone de nuevo a una temperatura de 800°C por una hora y se seca en un desecador. Por último, se determina la masa del sulfato de bario (BaSO_4) que será el material restante.

Los resultados se calculan de la siguiente manera:

Sulfatos (mg/L o ppm) = $W \times 411500 / 10$, donde W = gramos de BaSO_4

Para la tesis en curso, ya que habla de cimentaciones superficiales embebidas en suelos que seguramente tengan contenidos totales de sales solubles altos, debido a la cercanía de la zona de estudio con el océano Pacífico, es importante realizar ensayos más especializados como el de contenido de sulfatos.

En Perú, la norma E-060 Concreto Armado, describe ciertos parámetros en cuanto a la exposición de sulfatos del concreto y el tipo de cemento y relación máxima agua-cemento que se deben usar para concretos de peso normal. Así mismo, si el concreto formará parte de elementos estructurales, recomienda una resistencia a la compresión f'_c . Así, la norma nos presenta la siguiente tabla:

Tabla 4. Requisitos para concreto a soluciones de sulfatos

Exposición a sulfatos	Sulfato soluble en agua (SO ₄) presente en el suelo, porcentaje en peso	Tipo de cemento	Relación máxima agua-cemento	f'c mínimo para concreto de peso normal (Mpa)
Insignificante	$0 < SO_4 < 0.1$	-	-	-
Moderada	$0.1 \leq SO_4 \leq 0.2$	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0.5	28
Severa	$0.2 \leq SO_4 \leq 2.0$	V	0.45	31
Muy severa	$2 < SO_4$	V + puzolana	0.45	31

Fuente: E-060 Concreto Armado, 2009, p. 26

2.2.11 Contenido de Cloruros Solubles

Encontrar el contenido de iones de cloruros negativos en el suelo al que está expuesto el concreto importante debido a que provoca roturas localizadas en aquellos puntos débiles de la capa que protege el acero. Los cloruros atacan y penetran las capas de óxido del acero con mayor facilidad que los sulfatos. Ello incrementa la permeabilidad del acero causando su corrosión. (Bermúdez, citado por Jiménez y Lozano, 2018) A pesar de que el concreto por sí mismo otorga protección contra la corrosión del acero debido a la alta alcalinidad de la pasta de cemento, es importante encontrar los valores de cloruros a los que está expuesto el concreto en la zona de estudio. Se ha determinado que concretos expuestos a sulfatos y cloruros tienen una disminución hasta del 11% en su resistencia a los 28 días (Jiménez y Lozano, 2018)

La norma E-060 Concreto Armado en Perú, toma ciertas recomendaciones dictadas por el American Concrete Institute (ACI) para concretos expuestos a cloruros en su norma ACI 318 – 08 Requisitos de

Durabilidad. Así, la norma peruana indica que para un concreto expuesto a cloruros debe tomarse una relación a/c máxima de 0.4 y una $f'c$ de 350 kg/cm². (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018). Esta referencia no contempla rangos de exposición a evaluar según el contenido de cloruros de un suelo, pero existe información empírica en la que se considera que una concentración mayor a 1500 p.p.m es un nivel dañino para el acero.

Por otro lado, la Norma Española EN 206 (9), da recomendaciones para aquellos concretos expuestos a esta condición. Ellos mencionan que una corrosión inducida por cloruros procedentes de agua de mar se divide en tres clases: XS1, XS2 y XS3. La primera, describe a estructuras en la costa o en proximidades, la segunda, a elementos de estructuras marinas y la tercera, a aquellos elementos sometidos a la marea, a salpicaduras y a la espuma del mar. (Aguirre y Mejía, 2013). Ver Tabla 5.

Tabla 5. Valores límites recomendados según EN 206 para concreto

Clase de exposición	Máxima relación a/c	Resistencia mínima (kg/cm ²)	Mínimo recubrimiento para concreto armado (cm)
XS1	0.5	300 - 370	3.5
XS2	0.45	350 - 450	4
XS3	0.45	350 - 450	4.5

Fuente: Aguirre y Mejía, 2013, p. 21-22

Para conocer la cantidad de cloruros en mg/kg que están en un suelo se requiere realizar el ensayo de contenido de cloruros que puede seguir la norma AASHTO T 291 Determining Water-Soluble Chloride Ion Content in Soil (AASHTO, 2013) o con la NTP 339.177 Método de ensayo para la determinación cuantitativa de cloruro solubles en suelos y agua subterránea (NTP, 2015). Sigue un método más sencillo que el método para determinar la cantidad sulfatos, pero se debe tener igual de precaución al realizarse. Este método es capaz de detectar concentraciones de cloruros hasta 10000 ppm en agua o 3.00% en el suelo. (Colorado Department of Transportation, 2014).

Se necesita secar una porción del suelo a una temperatura de hasta 60°C, luego, pasarlo por el tamiz N°10 y conseguir aproximadamente 250g del material que pasa. Como el método de determinación de sulfatos, se utiliza solo 100g del material obtenido y se coloca en un matraz Erlenmeyer junto con 300ml de agua destilada para agitar y remover durante una hora. Tras esta agitación se deja reposar durante una hora, y nuevamente se vuelve a agitar por otros 60 minutos. Después de realizado esto, se filtra a través de una membrana de filtro de 0.45µm. Se debe verificar que el pH del líquido obtenido esté entre 6 y 8; si es menor a 6 se debe agregar bicarbonato de sodio hasta que esté en este rango, y si está sobre 8, se debe agregar ácido nítrico hasta que esté entre 6 y 8.

A continuación, se elabora la solución estándar de nitrato de plata (1 mL = 1 mg de cloruro). En esta se disuelva 4.7929g de AgNO₃ en agua destilada y se le añade una gota de ácido nítrico para evitar la precipitación del hidróxido de plata. También se forma la solución indicadora al 5% de cromato de potasio preparada con 5g de cromato de potasio en 100ml de agua destilada. El último reactivo será una solución de cloruro de sodio.

Tabla 6. Soluciones necesarias para ensayo de cloruros solubles

Reactivo	Masa necesaria (g)	Volumen de Agua destilada	Relación equivalente
Nitrato de plata (AgNO ₃)	4.7929	1L	1 ml = 1 mg de cloruro
Cromato de potasio (K ₂ CrO ₄)	5	100ml	5%
Cristales de cloruro de sodio de alta pureza (NaCl)	1.6484	1L	1 ml = 1 mg de cloruro

Fuente: Elaborado por los autores

El paso siguiente es el cálculo del título de la solución de nitrato de plata con la solución obtenida tras mezclar los cristales de cloruro de sodio con el agua destilada. Esto se realiza diluyendo los tres reactivos en 100ml de agua destilada y apuntando el volumen de nitrato de plata utilizado. Esto se expresa en la siguiente fórmula:

$$T = \frac{mgCl^-}{mL AgNO_3 - 0.2}$$

El último paso se realiza poniendo 30 ml del extracto acuoso obtenido tras agitación del suelo en agua destilada en un matraz de Erlenmeyer. A este se le añade 1 ml de la solución indicadora de cromato de potasio y se le titula con la solución de nitrato de plata hasta que el indicador cambie de amarillo a rojo. Se anota el volumen de nitrato de plata empleado y se calcula finalmente de la siguiente forma:

$$\text{Contenido de } Cl^- \text{ (mg/L o ppm)} = \frac{(\text{Volumen } AgNO_3 - 0.2) * T * 1000}{M}$$

Donde:

M = 10% peso de suelo utilizado, en este caso 10g.

2.2.12 Corte directo

Es un ensayo realizado bajo la norma ASTM D 3080 Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. Como su nombre lo explica, se ensaya la muestra deformándola bajo una fuerza controlada. Este ensayo es importante pues analiza los problemas de estabilidad, capacidad de carga, presión lateral, entre otros a través de la aproximación del esfuerzo cortante sobre el plano de falla como una función lineal que involucra a parámetros de resistencia al corte como cohesión y ángulo de fricción. (Dpto. Ingeniería Geotécnica, 2018)

El primer término, la cohesión, está calificada como la adherencia entre las partículas del suelo producto de las fuerzas internas. El segundo, el ángulo de fricción, es la representación matemática del coeficiente de rozamiento cuando dos masas son puestas en contacto, deslizándolos en sentidos contrarios. (Suárez (2004), citado por Alarcón y Terán, 2019)

La función lineal es la siguiente:

$$\tau = c + \sigma' * \tan \Phi \text{ (ecuación de falla de Mohr y Coulomb)}$$

Donde

$$\tau = \frac{F_h}{A}, \quad \sigma = \frac{F_v}{A}$$

Y a su vez:

$A =$ Área del plano donde se aplica la fuerza

$F_h =$ Fuerza cortante horizontal

$F_v =$ Fuerza vertical normal

$\sigma =$ Esfuerzo normal efectivo

$c =$ cohesión

$\Phi =$ ángulo de fricción

Visto en la realidad, aparece como el esquema siguiente:

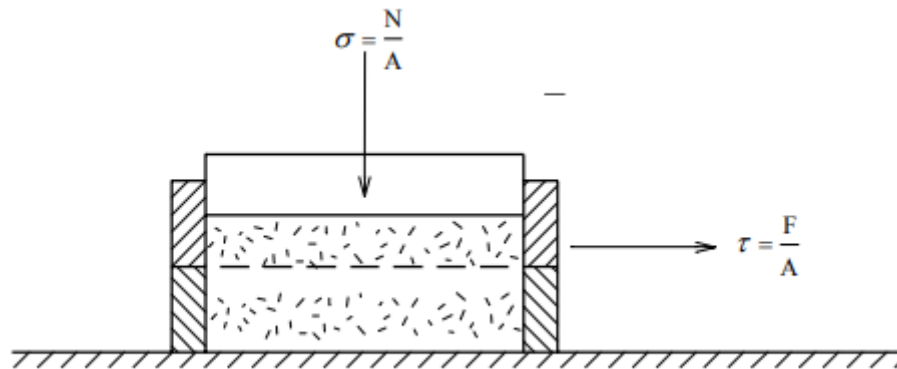


Figura 11. Aparato de corte directo
Fuente: Alva, s.f, p. 49

Se debe resaltar que la gráfica lineal respeta la siguiente estructura:

$$y = b + mx$$

Donde $b =$ cohesión y $\Phi = \tan^{-1}(m)$

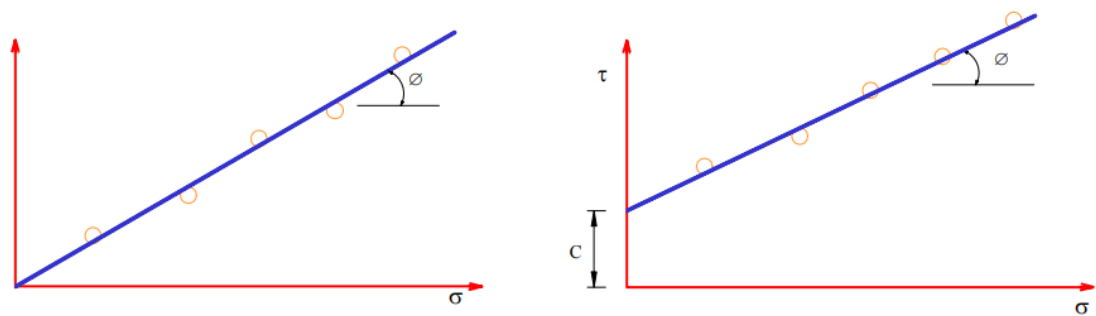


Figura 12. Diagramas de falla para arena (diagrama izquierdo) y arcilla (diagrama derecho)
Fuente: Alva, 2011, d. 35

El ensayo de corte directo se realiza con el fin de obtener las gráficas y valores superiores. Para lograr ello, tres o más especímenes son ensayados, cada uno bajo una carga normal distinta; esto se realiza con el fin de determinar los efectos de desplazamientos y resistencia al corte, así como para generar la envolvente del círculo de Mohr. (ASTM D 3080, 2003)

La norma MTC E 123 – Corte Directo (consolidado drenado) señala que es una manera para determinar rápidamente las propiedades mecánicas de un suelo pues el método permite la presión excesiva de los poros y se puede disipar rápidamente el agua. Es importante resaltar que el ensayo se realiza con muestras inalteradas donde se ignoran las partículas muy grandes que pudieron haber sido obtenidas. (MTC, 2016)

Los pasos que se siguen son:

1. Obtención de la muestra inalterada
2. Remoldeo de la muestra inalterada en molde rectangular de mínimo 2” de ancho (FIC - UNI, 2006)
3. Saturación de la muestra según Tabla N°4
4. Colocación de la muestra en la caja de corte
5. Aplicación de carga normal
6. Liberación de la carga normal y del espécimen a ser ensayado
7. Aplicación de la fuerza de corte

Tabla 7. Tiempos de sumersión

Clasificación SUCS	Tiempo mínimo de sumersión en agua
SW, SP	No requiere
SM	3
SC, ML, CL	18
MH, CH	36

Fuente: MTC, 2016, p. 175

Para lograr ello, los equipos utilizados son los siguientes:

- Aparato de corte: Es un que debe proveer una manera de aplicar carga normal a las caras del espécimen para medir el cambio en el grosor de la muestra y permitir el drenaje del agua. Las paredes de este aparato deben ser completamente rígidos para eliminar cualquier posibilidad de distorsión durante el corte. También, debe estar hecho de algún material no vulnerable a la corrosión por humedad o por sustancias que están dentro del suelo.
- Caja de corte: Puede ser circular o cuadrada hecha de acero inoxidable, bronce o aluminio; que permita el drenaje a través de la parte superior e inferior. La caja está dividida horizontalmente en dos partes de igual grosor que se juntan y alinean mediante tornillos perfectamente ubicados. Esta se ubica en el aparato de corte con tornillos y permiten la transmisión de las cargas a la muestra.
- Piedras porosas: Deben permitir el drenaje del agua del suelo por la parte superior e inferior. Sirven también para transferir fuerzas de corte al suelo ensayado. El diámetro que deben tener desde ser de 0.2 a 0.5mm.
- Bridas: Son instrumentos que buscan dar la misma utilidad que la caja de corte cuando se busca saturar la muestra. Para usarlas, se ubican sobre y debajo del papel filtro de la muestra. Se unen con tornillos. Luego, se ponen a sumergir.

- Placas de transmisión de carga: Aquellas placas que se ubica en la parte inferior y superior de la caja de corte y que recibe las piedras porosas y a la muestra ensayada. Como su nombre lo indica, transmite las fuerzas verticales y horizontales.
- Diales: Indican los cambios de espesor en la muestra
- Dispositivo para aplicación de fuerza normal: Aquel dispositivo que aplica la fuerza sin superar ni disminuir su medida en más de 1%.
- Dispositivo para aplicación de fuerza de corte: Cumple la función de aplicar la carga horizontal con una precisión de 2,5N.

2.2.13 Relaciones volumétricas del suelo

Según Sánchez (2019) el suelo está compuesto por tres estados: líquido, sólido y gaseoso.

El primero, el estado sólido se compone de partículas minerales del suelo. Del otro lado, el estado líquido y gaseoso se componen por agua, aire (u otros gases como vapores sulfurosos) y vacíos. Estos se representan de la siguiente manera:

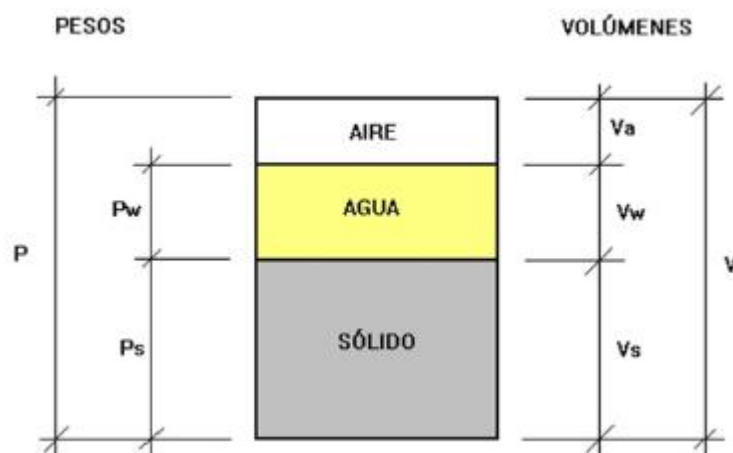


Figura 13. Componentes de un suelo
Fuente: Yepes, 2014, p. 1

Donde:

$P = \text{peso total del suelo muestreado}$

$P_w = \text{peso del agua}$

$P_s = \text{peso de la masa sólida}$

$P_a = \text{peso del aire (se estima el valor de 0)}$

$V = \text{volumen del suelo muestreado}$

$V_s = \text{volumen de la masa sólida}$

$V_w = \text{volumen del agua}$

$V_a = \text{volumen del aire}$

De los cuales se resalta que P_a no está considerado en el gráfico porque se le estima un valor de 0 y que los volúmenes de agua (V_w) más el volumen de aire (V_a) generan un tercer valor conocido como volumen de vacíos al cual se le asigna el símbolo V_v .

Huanca (1996) citado por Terán y Alarcón (2019), señala que las relaciones de volúmenes y pesos indican relaciones de vacíos, saturación y pesos específicos, de las cuales se resaltan las siguientes:

- Relación de vacíos (e)

$$e = V_v/V_s$$

- Porosidad

$$n \% = \frac{V_v}{V} * 100 = \frac{1}{1 + e}$$

- Grado de Saturación (S)

$$S \% = V_w/V_v * 100 = \frac{w \% * G_s}{e}$$

- Humedad del suelo (w%)

$$w\% = \frac{P_w}{P_s} * 100$$

- Peso específico de la masa del suelo (γ_m)

$$\gamma_m = \frac{P_m}{V} = \frac{P_s + P_w}{V}$$

- Peso específico de la parte sólida (γ_s)

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V_s}$$

- Peso específico relativo de la parte sólida (G_s)

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{P_s}{V_s * \gamma_w}$$

- Peso específico saturado (γ_{sat})

$$\gamma_{sat} = \frac{P_s + P_w}{V}$$

- Peso específico seco (γ_d)

$$\gamma_d = \frac{P_s}{V}$$

2.2.14 Capacidad Portante

Según Vigil (2017) es la capacidad que tiene el terreno para soportar la aplicación de cargas. En el ámbito ingenieril, la capacidad portante es la máxima presión media entre la cimentación y el suelo de forma que no se produzca ninguna falla por cortante del suelo ni se genere un asentamiento diferencial extremo. Por lo general, envuelve dos estados; un estado admisible límite, que generalmente se traduce en un máximo asentamiento o un asentamiento diferencial, y un estado último. (Fenton y Griffiths, 2003) El segundo, para una zapata suficientemente resistente como pieza estructural

de concreto armado, el estado último, consiste en la tensión que provoca la ruptura del suelo del suelo en el que la zapata está embebida o apoyada ($h=0$) (Aoki, Cintra, Albiero, 2011) o como el máximo valor de carga que puede ser ubicado en la cimentación justo antes de la falla por capacidad portante.

Es importante mencionar que son conocidas tres tipos de falla: la general, la local o por corte y la falla por punzonamiento (se debe evitar y no existe fórmula para determinarla).

Teóricamente, la falla general supone que al ir penetrando al suelo el cimiento se puede producir un desplazamiento lateral, de forma que los estados plásticos del suelo se amplían hasta los puntos E y E' de la Figura 14, de modo que, en el momento de la falla, toda esa superficie entre los puntos está trabajando al esfuerzo límite. (López, Legorreta y Rivera, s.f) La falla por punzonamiento, sucede en suelos sueltos, donde el área de falla no se alarga tanto como en el corte general y se genera en el área de cimentación. En esta falla no se pueden evidenciar claramente movimientos del suelo con la cimentación. (Nij, 2009) Por otro lado, la falla local o por corte del suelo (dada generalmente en arenas sueltas o arcillas muy blandas), se ubica entre las dos anteriores, de tal manera que el estado plástico se desarrolla en medidas más cortas y cercas a los límites del cimiento, ocurriendo una falla más temprana, con una carga menor, que llega al máximo nivel de asentamiento posible, provocando la falla del elemento. Esta consideración ocasiona que los factores de carga modificados se reduzcan. (López, Legorreta y Rivera, s.f)

Los tres tipos de falla podemos evidenciarlos en la Figura 15.

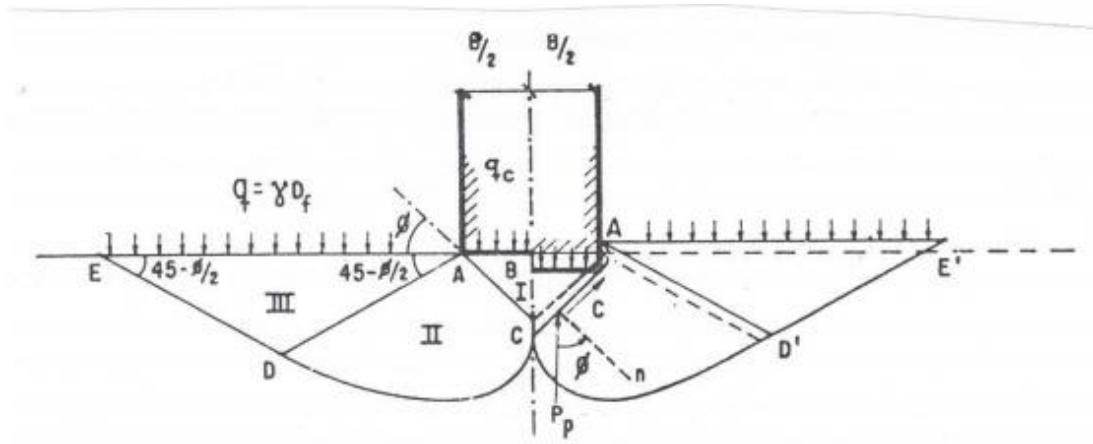


Figura 14. Mecanismo de falla de un cimiento continuo poco profundo según Terzaghi
Fuente: López, Legorreta y Rivera, s.f, p. 7

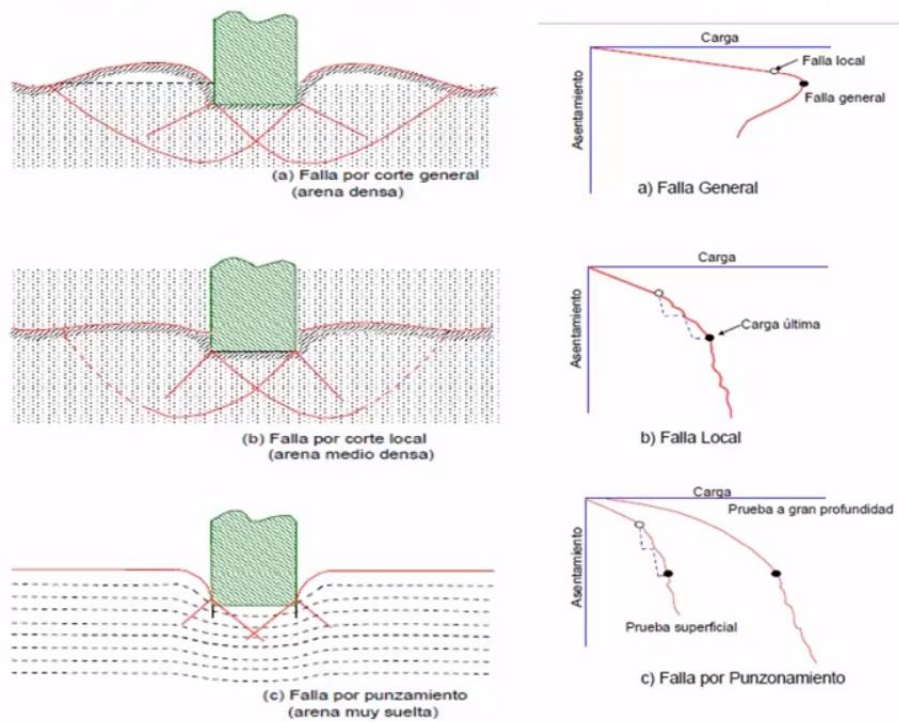


Figura 15. Mecanismos de falla en cimentaciones superficiales
Fuente: Sísmica Adiestramiento, 2020, video

2.2.15 Teoría de Capacidad portante de Terzaghi

Es la teoría más antigua de capacidad de carga. La relación dada por Terzaghi en el 1943, que establece que la capacidad de carga por falla de tipo general puede encontrarse con la ecuación:

$$q_u = cN_c + \bar{q}N_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma \text{ (cimiento corrido)}$$

Donde:

$q_u =$ capacidad portante última

$c =$ cohesión (*)

$$\bar{q} = \gamma D_f$$

$\gamma =$ densidad del suelo

$B =$ ancho de la cimentación

N_c, N_q, N_γ

= factores de capacidad de carga adimensionales en función de Φ (*)

$K_{p\gamma} =$ coeficiente de empuje pasivo

(*): Obtenido de ensayo de corte directo

Y, según Nij (2009),

$$N_q = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\Phi}{2}\right)\tan\Phi}}{2 \cos^2\left(45 + \frac{\Phi}{2}\right)}$$

$$N_c = \cot\Phi * (N_q - 1)$$

$$K_{p\gamma} = 3 * \tan^2\left(45 + \frac{\Phi + 33}{2}\right)$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2} \left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2\Phi} - 1 \right) \tan\Phi$$

Se debe mencionar también que las predicciones de capacidad de carga, en especial los factores de capacidad de carga, están comúnmente basados en la teoría de homogeneidad del suelo debajo de la cimentación.

Esto significa que se asume que las propiedades del suelo son constantes en el espacio.

La ecuación se puede reajustar de la forma:

$$q_u = 1.3cN_c + \bar{q}N_q + 0.4\gamma BN_\gamma \text{ (zapata cuadrada)}$$

Para falla de tipo local o corte local del suelo:

$$q_u = \frac{2}{3}cN_c' + \bar{q}N_q' + 0.3\gamma BN_\gamma' \text{ (cimentación corrida)}$$

$$q_u = 0.867cN_c' + \bar{q}N_q' + 0.4\gamma BN_\gamma' \text{ (cimentación cuadrada)}$$

Donde: N_c' , N_q' , N_γ' = factores de capacidad de carga modificada.

Estos se calculan usando las ecuaciones de factores de capacidad de carga generales pero se sustituye ϕ por $\phi = \tan^2\left(\frac{2}{3} * \tan \phi\right)$ en cada una de ellas o se puede utilizar la Tabla 8.

Tabla 8. Factores de capacidad de carga modificados para falla por corte local de suelos

ϕ	N_c'	N_q'	N_γ'	ϕ	N_c'	N_q'	N_γ'
0	5.7	1	0	26	15.53	6.05	2.59
1	5.9	1.07	0.01	27	16.3	6.54	2.88
2	6.1	1.14	0	28	17.13	7.07	3.29
3	6.3	1.22	0.04	29	18.03	7.66	3.76
4	6.51	1.3	0.06	30	18.99	8.31	4.39
5	6.74	1.39	0.07	31	20.03	9.03	4.83
6	6.97	1.49	0.1	32	21.16	9.82	5.51
7	7.22	1.59	0.13	33	22.39	10.69	6.32
8	7.47	1.7	0.16	34	23.72	11.67	7.22
9	7.74	1.82	0.2	35	25.18	12.75	8.35
10	8.02	1.94	0.24	36	26.77	13.97	9.41
11	8.32	2.08	0.3	37	28.51	15.32	10.9
12	8.63	2.22	0.35	38	30.43	16.85	12.75
13	8.96	2.38	0.42	39	32.53	18.56	14.71
14	9.31	2.55	0.48	40	34.87	20.5	17.22
15	9.67	2.73	0.57	41	37.45	22.7	19.75
16	10.06	2.92	0.67	42	40.33	25.21	22.5
17	10.47	3.13	0.76	43	43.54	28.06	26.25
18	10.9	3.36	0.88	44	47.13	31.34	30.4
19	11.36	3.61	1.03	45	51.17	35.11	36

20	11.85	3.88	1.12	46	55.73	39.48	41.7
21	12.37	4.17	1.35	47	60.91	44.45	49.3
22	12.92	4.48	1.55	48	66.8	50.46	59.25
23	13.51	4.82	1.74	49	73.55	57.41	71.45
24	14.14	5.2	1.97	50	81.31	65.6	85.75
25	14.8	5.6	2.25				

Fuente: Kumbhojkar, citado por Aya, 2015, p. 56

Resulta necesario mencionar que la teoría de Terzaghi es aplicable solamente para cimentaciones continuas, cuadradas y circulares. Ella no toma en cuenta la resistencia al corte a lo largo de la superficie de falla en el suelo por encima del nivel de desplante de la cimentación ni toma en cuenta que la carga sobre la cimentación pudiera estar inclinada.

2.2.16 Teoría de Capacidad portante de Meyerhoff

Resulta difícil poder hablar de una sola teoría de capacidad portante debido a las limitaciones que puede traer. Por ello, la teoría de Meyerhof busca cubrir los vacíos dejados por Terzaghi:

1. La teoría de Terzaghi se debe aplicar a cimentaciones donde D_f es menor o igual que el ancho de la cimentación. (López, Lejorreta y Rivera, s.f). En este aspecto, Meyerhof considera factores de profundidad debido a que toma en cuenta efectos de fricción del suelo sobre el nivel de cimentación. (Beltrán y Díaz, 2018)
2. Terzaghi no considera la resistencia cortante a lo largo de la superficie de falla del suelo, arriba del fondo de la cimentación.
3. Terzaghi no considera inclinación en la carga. (Paucara, 2011)
4. Terzaghi considera que el suelo que está sobre la base de la zapata o cimiento tiende a ser una sobrecarga ($q = \gamma * D_f$); Meyerhof, en

cambio, considera que esto ayuda a incrementar la resistencia al esfuerzo cortante del suelo en la cual pueden desarrollarse superficies de deslizamiento. (Beltrán y Díaz, 2018)

Es así como se da origen a la ecuación general de Meyerhoff, que establece que:

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + \bar{q} N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + 0.5\gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

Donde:

$q_u =$ capacidad portante última

$c =$ cohesión (*)

$$\bar{q} = \gamma D_f$$

$\gamma =$ densidad del suelo

$B =$ ancho de la cimentación

$$N_c, N_q, N_\gamma$$

= factores de capacidad de carga adimensionales en función de Φ (*)

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s} =$ factores de forma adimensionales en función de Φ (*)

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d} =$ factores de profundidad adimensionales en función de Φ (*)

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i} =$ factores de inclinación adimensionales en función de Φ (*)

(*): Obtenido de ensayo de corte directo

Siendo:

- Factores de carga

$$N_q = \tan^2\left(45 + \frac{\Phi}{2}\right) * e^{\pi \tan \Phi}$$

$$N_c = \cot \Phi * (N_q - 1)$$

$$N_{\gamma} = 2(N_q + 1) \tan \Phi$$

- Factores de forma (shape)

$$F_{cs} = 1 + \frac{B * N_q}{L * N_c}$$

$$F_{qs} = 1 + \frac{B}{L} * \tan \Phi$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$$

- Factores de profundidad (depth)

- Condición 1: $D_f/B \leq 1$

$$F_{cd} = 1 + 0.4 \frac{D_f}{B}$$

$$F_{qd} = 1 + 2 * \tan \Phi * (1 - \sin \Phi)^2 * \frac{D_f}{B}$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

- Condición 2: $D_f/B > 1$

$$F_{cd} = 1 + 0.4 * \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B} \right)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 * \tan \Phi * (1 - \sin \Phi)^2 * \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B} \right)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

- Factores de inclinación (inclination)

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ} \right)^2$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{\Phi} \right)^2$$

β° = inclinación de la carga sobre la cimentación con respecto a la vertical

Es importante considerar el hecho de que, en la práctica, los valores de Meyerhof tienden a ser mayores que los valores obtenidos mediante teoría de Terzaghi, pues a pesar de que ambos dependen básicamente de la cohesión y ángulo de fricción del suelo, existen otras variables que pueden alterar los resultados. Por lo general, los valores obtenidos mediante teoría de Meyerhof, alcanzan mayores valores de acuerdo a la profundidad en la que se realiza el cálculo de capacidad portante.

2.2.17 Factor de Seguridad

Es un factor que se utiliza para obtener un valor menor al valor máximo al que se puede exigir a una estructura. (Pricop, Oncica, Scurtu, 2013) En suelos, es un factor divisor a la capacidad portante última para dar un valor a la capacidad portante admisible de un suelo. Nació con la motivación de dar seguridad a las estructuras diseñadas y construidas, para algunos autores, debe tener un valor entre 2 – 4. Este valor refleja también la seguridad que pone el ingeniero en los ensayos de laboratorio y resultados de los cálculos obtenidos.

Como se mencionó anteriormente, el factor de seguridad permite obtener la carga portante admisible del suelo, mediante la ecuación:

$$q_{adm} = \frac{q_u}{FS}$$

Donde:

$$q_{adm} = \text{capacidad admisible del suelo}$$

$$FS = \text{factor de seguridad}$$

$$q_u = \text{capacidad portante última}$$

2.3 Definición de términos básicos

- **Suelo**

Es una capa delgada sobre la corteza terrestre obtenida de la desintegración de las rocas debido al intemperismo físico y químico. (Crespo, 2004, p.18) El propósito que tiene en la ingeniería civil es permitir su uso para cimentaciones o servir de alguna manera en la que el estudio de su comportamiento pueda ser caracterizado para propósitos de diseño. (Cooley, 2019)

- **Perfil de suelos**

Es el perfil en el que se reúne y detalla información de una excavación realizada en el terreno. La información que presenta se obtiene mediante la visualización en campo y ensayos de laboratorio. A medida que se profundiza se visualiza los estratos del suelo con sus respectivos espesores, donde cada estrato tendrá sus características propias. (Rocha, 2010)

- **Zapatas**

Son aquellas cimentaciones superficiales diseñadas para distribuir cargas concentradas dadas por una columna para prevenir falla por corte en el suelo debajo de la cimentación. (Zhou, 2006)

- **Cimiento corrido**

Son aquellas cimentaciones cuya relación Largo/Base es mayor o igual que 10. Generalmente se usan para unir zapatas en una misma dirección para reducir la presión de la carga. (Zhou, 2006)

- **Calicata**

Es una excavación sin forma definida en la cual se puede observar directamente el terreno, con el objetivo de realizar ensayos in situ y la extracción de muestras. (Norma E.050, 2018)

- **Vernier o Calibrador**

Este instrumento de medición es una regla perfeccionada que posee una escala auxiliar denominada nonio o vernier, con la finalidad de aumentar la precisión en las mediciones. (Departamento de Ingeniería de Diseño y Manufactura, DIMEI, s.f.)
- **Profundidad de cimentación**

Es la distancia existente entre la superficie del terreno y la base de cimentación para zapatas y cimientos corridos. (Norma E.050, 2018)
- **Cimentación superficial**

Es una cimentación en la que la relación entre la profundidad y el ancho es menor o igual a 5. (Norma E.050, 2018)
- **Estrato**

Capa de suelo que posee características de tal forma que puede representar a otros estratos similares o iguales. (Norma E.050, 2018) El conjunto de estratos forman un perfil de suelo superficial o lo que conocemos como Estratigrafía.
- **Estudio de Mecánica de Suelos (EMS)**

Es el conjunto de exploraciones de campo, ensayos en laboratorio y análisis en gabinete. Con el objetivo de estudiar los suelos y su comportamiento. (Norma E.050, 2018)
- **Caja De Corte**

Caja de acero inoxidable que puede ser cuadrada o circular, con la función de permitir el drenaje en la parte inferior y superior. Es dividida en dos partes iguales. (Garcia & Ramirez, 2006)

- **Placas porosas**
 Placas anticorrosivas que tiene como función drenar la muestra de suelo por su cara inferior y superior. (Garcia & Ramirez, 2006)
- **Indicador de deformación**
 Es un dial indicador que mide el cambio de espesor en la muestra de suelo con una sensibilidad como mínimo de 0.0025 mm y la medida de desplazamiento con sensibilidad como mínimo de 0.025 mm. (Garcia & Ramirez, 2006)
- **Taras**
 Son recipientes metálicos anticorrosivos, resistentes a calentamientos frecuentes y capaces de ser limpiados para el uso continuo. (Garcia & Ramirez, 2006)
- **Embudo**
 Instrumento liso de forma cónica, que posee una boca estrecha adecuada para verter la muestra en el picnómetro. (Garcia & Ramirez, 2006)
- **Tamiz**
 Malla de acero inoxidable enumeradas según las aperturas por pulgada lineal, con la función de retener volúmenes. (Sánchez, 2019)
- **Muestras Alteradas**
 Muestras que en su obtención se puede modificar la naturalidad del suelo; se recolecta el suelo introduciéndolo en frascos o bolsas. (Garcia & Ramirez, 2006)

- **Muestras Inalteradas**
 Muestras que en su obtención se preserva la naturalidad del suelo, la relación de vacíos y el contenido de humedad. (Garcia & Ramirez, 2006)
- **Agua Destilada**
 Es agua purificada que no posee iones disueltos o impurezas debido a que paso por el proceso de destilación. (Angulo & Ortega, 2017)
- **Vasos de precipitados o beakers**
 Son piezas de vidrio capaces de exponerse al calor sin tener contacto a las llamas directamente, su función es contener, verter y mezclar muestras. (Fernández & García, 2016)
- **Ajustador digital**
 Son un instrumento de dispensación de alta precisión que contienen cartuchos de compuestos o concentrados que permiten análisis en laboratorio, planta o en campo. (Hash, 2019)
- **Balanza de laboratorio**
 Instrumento para medir el peso de un objeto con una sensibilidad de 0.01g. (MTC, 2016)
- **Matraz de Erlenmeyer**
 Piezas de vidrio con forma cónica capaces de exponerse al calor sin tener contacto a las llamas directamente, poseen una boca estrecha para evitar evaporaciones y que la muestra se exponga al aire. (Fernandez & Garcia, 2016)

- **Horno de Secado**
Es un equipo de laboratorio capaz de regular la temperatura y conservar una temperatura de 110 ± 5 grados Celsius. (Garcia & Ramirez, 2006)
- **Muestra**
Cantidad de material a granel que ha sido seleccionado por algún proceso de muestreo. (ASTM D 653 – 97, 2000)
- **Gravas**
Son aquellas partículas de suelo cuyo tamaño esta entre 75 mm a 4,75 mm (Sánchez, 2019)
- **Arenas**
Son aquellas partículas de suelo cuyo tamaño esta entre 4,75 mm a 0,075 mm (Sánchez, 2019)
- **Limos**
Son aquellas partículas de suelo cuyo tamaño esta entre 0,075 mm a 0,005 mm (Sánchez, 2019)
- **Arcillas**
Son aquellas partículas de suelo cuyo tamaño es menor de 0,005 mm. (Sánchez, 2019)
- **Fiola o Matraz aforado**
Pieza de vidrio que posee un cuello largo en la parte superior y una forma esférica en la parte inferior. Su función es medir volúmenes. (Sandoval, 2016)

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis General

- Las propiedades físicas, mecánicas y químicas permitirán elaborar un mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales para el Centro Poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque.

2.4.2 Hipótesis Específicas

1. La obtención de las propiedades físicas, mediante los ensayos respectivos, permitirán elaborar un mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales para el centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque
2. La obtención de las propiedades físicas, mediante los ensayos respectivos, permitirán elaborar un mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales para el centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque
3. La obtención de las propiedades físicas, mediante el ensayo respectivo, permitirán elaborar un mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales para el centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

3.1.1 Tipo de investigación

Es aplicada porque busca aplicar conocimientos adquiridos a lo largo de los años de estudio, especialmente el área de Mecánica de Suelos, para resolver los problemas de desconocimiento técnico a la hora de diseñar y construir cimentaciones y el poco planeamiento urbano que tiene la zona de estudio. Respecto a esto, el presente estudio busca investigar las propiedades de los suelos en el centro poblado de Ciudad de Dios de forma que se obtenga un Mapa Geotécnico. Este último no existe, de modo que es un nuevo modelo del que se pueden basar personas comunes, como una herramienta en el proceso de construcción de las viviendas; y entidades públicas, como una herramienta de gestión.

3.1.2 Enfoque de la investigación

El presente estudio es de tipo cuantitativo, debido a que se busca medir las propiedades de los suelos a través de la realización de ensayos que trabajan bajo fórmulas matemáticas donde el resultado son valores numéricos. Con estos, se realizarán tablas, ecuaciones y gráficas para cada una de las muestras, generando gran cantidad de resultados que se analizarán para elaborar el mapa geotécnico.

3.1.3 Nivel de la investigación

Es de nivel descriptivo ya que busca obtener las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los suelos en la zona de estudio. Para ello, utiliza

ensayos y procedimientos estandarizados, de normas nacionales y de otros países, que podrán ser descritos y ordenados en un mapa geotécnico.

3.1.4 Diseño de la investigación

La presente investigación tiene un carácter no experimental, debido a que estudiaremos los suelos de la zona de estudio tal y como son; buscando encontrar sus propiedades físicas, químicas y mecánicas como están en la naturaleza. El diseño es transversal pues recolecta la muestra en un rango de tiempo muy corto que fue a inicios de enero del 2020.

3.1.5 Operacionalización de variables

Tabla 9. Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable independiente		
Propiedades físicas, mecánicas y químicas de los suelos	Propiedades físicas	Distribución granulométrica
		Límites de Atterberg
		Peso específico relativo
		Contenido de humedad
	Prop. mecánicas	Resistencia al corte
	Propiedades Químicas	Contenido de Cloruros
		Contenido de Sulfatos
		Cont. Total de Sales Solubles
Variable dependiente	DIMENSIONES	INDICADORES

Mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales para el Centro Poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, Provincia y Región de Lambayeque	Tipo de Suelo	Clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
	Cap.Portante	Df = 1.2m, 1.5m, 1.8m
	Contenido de Sales	Contenido de Cloruros
		Contenido de Sulfatos
Cont. Total de Sales Solubles		

Fuente: Elaborado por los autores.

3.1.6 Población y muestra

3.1.6.1 Población

La población del estudio comprende las 20 calicatas de aproximadamente 3 metros de profundidad realizadas en el centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque, Perú.

La cantidad de calicatas depende básicamente del número de hectáreas que tiene el área de estudio y del nivel de fiabilidad que damos a la investigación; se recomienda realizar 3 calicatas por hectárea en habilitaciones urbanas no construidas. Además, se debe considerar la homogeneidad geológica de la zona para analizar el terreno y con ello, disminuir o elevar el número de calicatas a realizar. Un parámetro que influyó para el cálculo de calicatas fue el número de calicatas por hectárea de los antecedentes nacionales.

Tabla 10. Relación Calicata - Hectáreas de Antecedentes Nacionales

Ant.	Autor	Título	Ha.	N° Cal.	Cal/Ha
1	Hernández y Zeña (2009)	Microzonificación de la Ciudad de Olmos y zonas de expansión para reducción de desastres	314	26	0.083
2	Sánchez (2019)	Estudio geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales en viviendas unifamiliares en el Centro Poblado de Huamanmarca	10.93	18	1.65
3	Vigil (2017)	Zonificación de la capacidad portante del suelo en el asentamiento humano Satélite, distrito de la Banda de Shilcayo, provincia de San Martín, Región San Martín	19.93	20	1.00

4	Rocha (2010)	Zonificación de la capacidad portante del suelo del distrito de Morales	1500	12	0.008
5	Aya (2015)	Estudio de los suelos con fines de cimentación en las asociaciones de vivienda San Cristobal, San Juan Bosco y San Fernando del Sector VII del distrito Alto de la Alianza - Región Tacna	214	12	0.056

Fuente: Elaborado por los autores.

Así, debido a que la zona de estudio es un área de 11.86 Ha con intervención humana respecto a la construcción y está en una zona geológica homogénea, se decidió realizar 20 calicatas (prom de 1.69 calicatas/Ha). En el Anexo 3: Plano de ubicación de calicatas se pueden apreciar la ubicación de cada una de ellas.

3.1.6.2 Muestra

Se tiene como muestra 36 estratos obtenidos de las 20 calicatas en el centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque. Esta cantidad de muestra depende de lo encontrado visiblemente en campo; se excluirá todo tipo de capa de suelo que no se considere relevante para el estudio de mecánica de suelos, específicamente la capa superficial de cada calicata que por lo general son material afirmado o material orgánico. El muestreo es cuantitativo debido a que se está recogiendo una cantidad determinada de suelo para cada estrato que será analizado en el laboratorio mediante los ensayos necesarios.

A cada estrato, que representa la unidad muestreada, se le extraerá una muestra alterada de 7kg en bolsas plásticas etiquetadas y dos muestras inalteradas en cilindros de PVC. Para las muestras inalteradas que serán utilizadas para el ensayo de corte directo, las medidas del cilindro serán de 30cm de altura y 15cm de diámetro; para aquellas que nos sirvan para contenido de humedad, los tubos de PVC serán de un diámetro de 7.5cm y una altura de 15cm. Los demás ensayos se realizarán con las muestras alteradas.

3.1.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.1.7.1 Técnicas de recolección de datos

El procedimiento es el siguiente:

- Reconocimiento del campo y recolección de muestras: Se debe conocer la zona de estudio, solicitar planos de agua y alcantarillado y elegir cuidadosamente los puntos de excavación. En este paso se logran identificar el número de hectáreas y el número de calicatas a realizar. Se debe, nuevamente, visitar la zona de estudio para verificar los puntos a excavar. También, se debe considerar la máxima distancia entre ellas para que la tesis tenga mayor validez. El respeto hacia la población y sus servicios debe ser el principal factor a tomar en cuenta, es por ello que se debe tener autorización municipal para ejecutar las calicatas. Además, se debe encontrar todos los equipos y herramientas para realizar las excavaciones, esto incluye: mano de obra (pobladores de la zona), maquinaria y equipos (retroexcavadora, palana, barreta, etc.), y materiales (para recolección, transporte y almacenamiento de muestras).
- Ensayos de laboratorio: Lo que implica encontrar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los suelos a través de ensayos dados por normas nacionales o aquellas dictadas por instituciones de otros países que sean avaladas en Perú.
- Obtención de Resultados: Mediante las fórmulas dictadas por los manuales de los ensayos y los valores numéricos obtenidos en cada uno de ellos, se generarán resultados más específicos que caractericen las propiedades de los suelos estudiados.
- Representación gráfica: Con los resultados obtenidos en la etapa anterior, se realiza una agrupación y ordenamiento de ellos, de modo

que se obtenga el mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales en el centro poblado Ciudad de Dios.

3.1.7.2 Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos vienen influenciados por las técnicas para la recolección de información expuestos en el punto 3.7.1. Se pueden observar en la tabla siguiente:

Tabla 11. Procedimientos e Instrumentos de recolección de datos

Procedimientos	Instrumentos
Validación externa	Plantilla de encuesta en Microsoft Excel 2016
Reconocimiento del campo	Planos de ubicación y de catastro del Centro Poblado Ciudad de Dios otorgado por Municipalidad de San José
	Planos de agua y alcantarillado alcanzados por Entidad Prestadora de Saneamiento de Lambayeque EPSEL
Recolección de muestras	Gps etrex Legend H Garmin
	Retroexcavadora, automóvil
	Herramientas manuales: pico, palana o lampa, barreta
	EPP, bolsas plásticas, tubos de PVC, cintas adhesivas, marcadores, papel bond, cinta de peligro roja, postes de señalización, lápiz, fólter, escalera
Ensayos de laboratorio	Balanza digital con precisión de 0.01 g
	Horno de laboratorio de 110 ± 5 °C
	Picnómetros, beakers, matraces de Erlenmeyer
	Aparto de Casagrande, ranudrador, vidrio esmerilado, tamices granulométricos, Máquina de Corte Directo
	Taras, marcadores, cinta masking tape, diluyente acrílico, bandejas metálicas, termómetro, guantes de hule, lejía, espátula, mascarillas, 80 litros de agua destilada, baldes

Obtención de Resultados	Plantillas para ensayos o formatos de Granulometría, Límites de Atterberg, Clasificación de Suelos SUCS, Estratigrafía, Calibración de Picnómetros, Peso específico relativo, Contenido Total de Sales Solubles, Corte Directo, Capacidad Portante en Microsoft Excel 2016
Representación Gráfica	Mapas geotécnicos generados en ArcGis 10.0

Fuente: Elaborado por los autores.

La validación externa, mencionada en la tabla, es la misma utilizada para la formulación del problema y nos ayudó también en recomendaciones respecto a la importancia, relación con el área de ingeniería civil, objetivos, título de la investigación, bibliografía, entre otras, para nuestro estudio.

Los cálculos, en la obtención de los resultados, se consiguieron mediante el uso del software Microsoft Excel. Este software posee celdas con valores numéricos, tablas, gráficas y fórmulas matemáticas que permiten plasmar valores y generar nuevos resultados. Así mediante la creación de plantillas de hojas de cálculo pudimos conseguir las propiedades buscadas. Las plantillas se encuentran anexadas a la investigación:

- Anexo 5: Ensayo de Contenido de Humedad
- Anexo 6: Ensayo de Análisis de Distribución Granulométrica
- Anexo 7: Ensayo de Límites de Atterberg
- Anexo 8: Clasificación de los suelos según SUCS
- Anexo 9: Calibración de picnómetros
- Anexo 10: Ensayo de Peso específico relativo
- Anexo 11: Ensayo de Contenido Total de Sales Solubles
- Anexo 12: Ensayo de corrección de contenido de humedad, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad
- Anexo 14: Ensayo de Corte Directo
- Anexo 15: Ensayo de Capacidad Portante de Meyerhof

La validez de este instrumento se evaluó una vez obtenidos los resultados, en donde se evaluó cada uno de ellos y analizó si los valores eran normales o extraordinarios.

En estas plantillas no se incluye el Anexo 13: Ensayo de Contenido de Cloruros y Contenido de Sulfatos, debido a que son resultados obtenidos por medio de un laboratorio contratado.

3.1.7.3 Desarrollo metodológico

El presente estudio contó con los siguientes pasos:

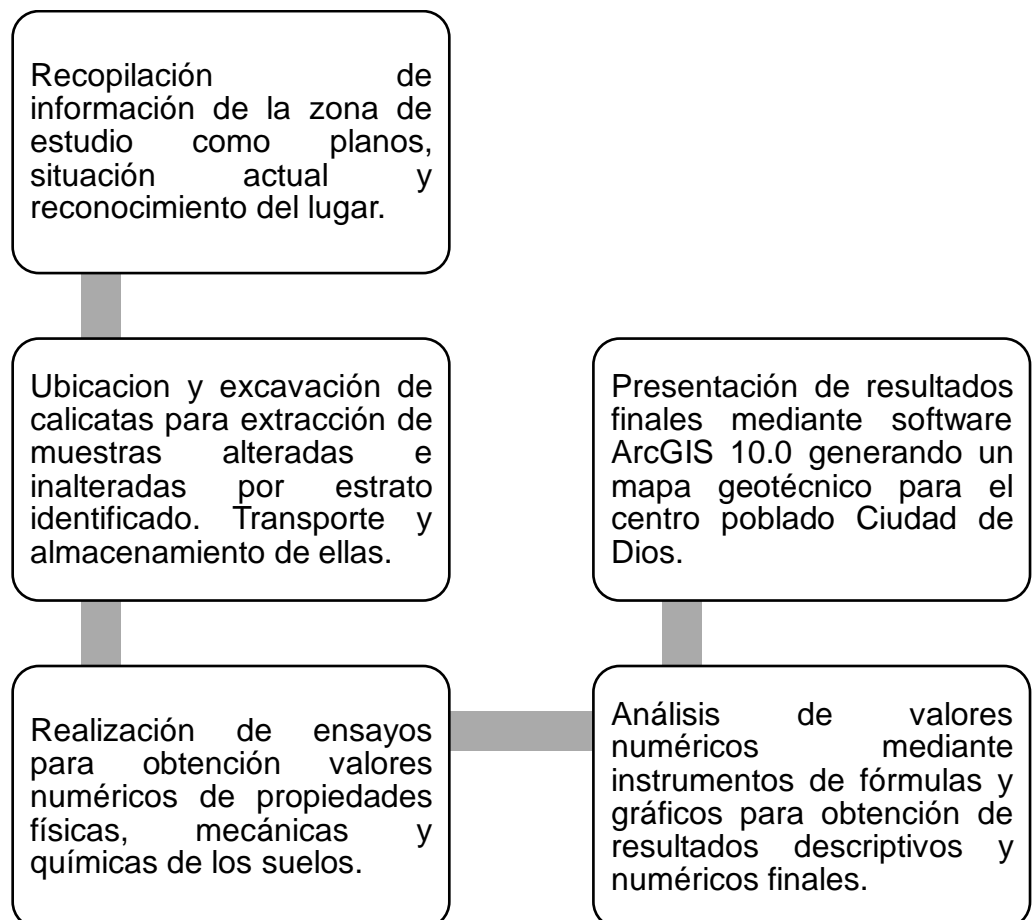


Figura 16. Desarrollo metodológico para la investigación
Fuente: Elaborado por los autores.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO

4.1 Caso de la investigación

4.1.1 Ubicación del área de estudio

La presente tesis tiene como zona de estudio al centro poblado Ciudad de Dios, ubicado en el distrito de San José, en la provincia de Lambayeque y región de Lambayeque. Las coordenadas, registradas como su punto central son: 618992.12E, 9251223.74, en la Zona 17M.

El centro poblado limita al Norte con la Habilitación Urbana Progresiva Juan Tomis Stack 1 (Zona 1 y Zona 2), por el Sur con la Habilitación Urbana Progresiva Juan Tomis Stack 2 (Zona 2), por el Este con el caserío Gallito y al Oeste con la habilitación urbana California. Estas localidades en conjunto limitan al Oeste con la Caleta de San José (centro económico pesquero y social del distrito), al Este con la ciudad de Chiclayo, al sur con el distrito de Pimentel y al Norte con la ciudad de Lambayeque. Se ha señalado la zona de estudio en el Anexo 3: Plano de Localización y Ubicación de Calicatas.



Figura 17. Vista panorámica del Centro Poblado Ciudad de Dios y límites cardinales
Fuente: Google Earth Pro, 2020

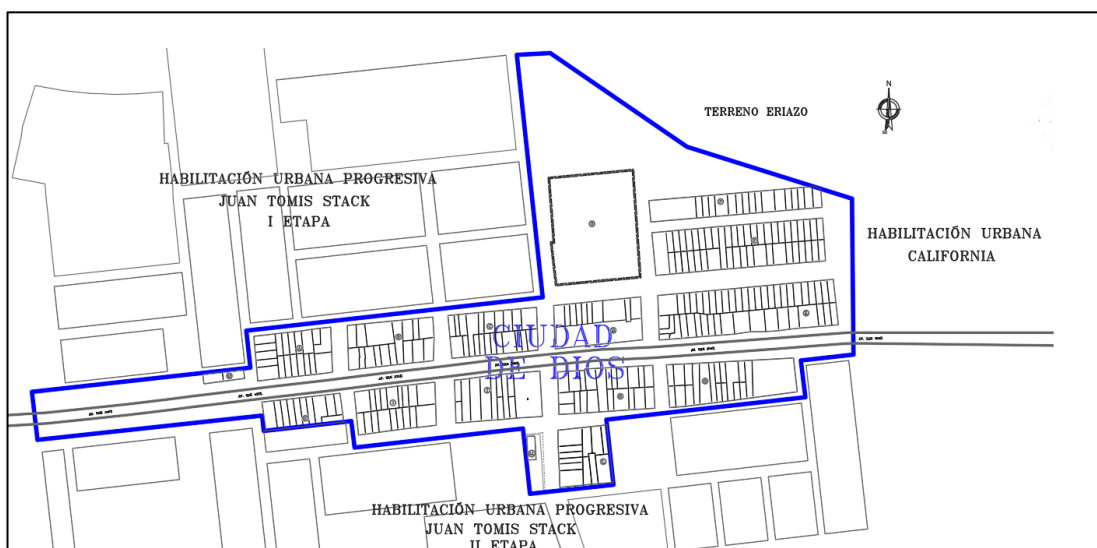


Figura 18. Centro poblado Ciudad de Dios y alrededores
Fuente: Municipalidad Distrital de San José, 2019

4.1.2 Rutas de acceso al centro poblado

En cuanto a las vías de comunicación, el centro poblado rodea una carretera de primera clase, siendo la única vía terrestre entre la ciudad de Chiclayo y San José. El tiempo estimado para un recorrido desde la ciudad de Chiclayo hasta el centro poblado Ciudad de Dios es de aproximadamente 15 minutos conduciendo.

4.1.3 Clima

El clima del centro poblado está clasificado como un clima desértico subtropical árido por la influencia directa de la fría corriente marina de Humboldt, que actúa como elemento regulador de fenómenos meteorológicos. Su mayor temperatura en verano llega hasta 35°C y la mínima en invierno desciende hasta los 15°C. (Municipalidad Distrital de San José, 2013)

4.1.4 Geología, geomorfología y topografía

La geología pertenece a una franja costera desértica que antiguamente pudo ser fondo marino de agua poco profunda. Esta ciudad actualmente cuenta con un manto superficial homogéneo de materiales arenosos, limosos, arcillosos, materiales de desecho, raíces de vegetación y materiales orgánicos. En el subsuelo se cuenta con un manto sedimentario de materiales finos. La ciudad posee tres canales, por el lado norte cuenta con los canales Chucupe y El Padre, mientras por el lado sur cuenta con el canal Jarrín.

En la Carta Geológica del Perú, la zona de estudio se puede encontrar en el Mapa Geológico del Cuadrángulo de Chiclayo – Hoja 14d3. Así, Ciudad de Dios está construido sobre depósitos aluviales 2 (Ql-al2), que son grandes abanicos aluviales, constituidos por bloques y gravas en una matriz limo-arenosa. En los alrededores, se pueden apreciar depósitos eólicos de arenas sueltas formadas por acción del viento.

La geomorfología, según INGEMMET, el área de estudio se encuentra sobre una planicie aluvial urbanizada (PI-aurb) pues es una zona con cambios en las geoformas originales.

La topografía del centro poblado describe un terreno llano y/o inclinado con pendiente suave de 0 a 3°. Esta topografía estuvo inicialmente conformada por terrazas fluviales y por algunos abanicos proluviales.

4.1.5 Servicios básicos

En cuanto a los establecimientos de salud del centro poblado, se tiene solamente 1 (un) puesto de Salud que cuenta con 1 (un) técnico en enfermería. La infraestructura no es la adecuada y no se cuentan con los servicios básicos relevantes para su correcto funcionamiento.

El agua potable y alcantarillado son servicios deficientes en todo el distrito, siendo el número de usuarios apenas 1800 personas, de los cuales 95% no cuentan con medidor y pagan S/30.00 mensuales. (Municipalidad Distrital de San José, 2013) El centro poblado cuenta con 1 (un) Reservorio que no está operativo. Además, a la actualidad, el centro poblado sufre la deficiencia técnica de estos servicios de saneamiento debido a obras mal ejecutadas en el pasado como el proyecto “MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE EN EL H.U.P. JUAN TOMIS STACK Y CIUDAD DE DIOS - DISTRITO DE SAN JOSÉ - PROVINCIA DE LAMBAYEQUE- REGIÓN LAMBAYEQUE” que significó una inversión de más de 15 millones de soles.

En cuanto la energía eléctrica, sí se logra cubrir gran parte la demanda urbana del centro poblado. Sin embargo, en el rubro de comunicaciones, son pocas las viviendas que cuentan con conexión a Internet (29 viviendas en el distrito al año 2013).

4.1.6 Vías de comunicación

Interiormente, no cuentan con pavimentación y todas sus calles son trochas en mala condición por las que generalmente se movilizan en mototaxi.

4.1.7 Vivienda

En el 2015, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) estudió al centro poblado Ciudad de Dios, junto con las habilitaciones urbanas progresivas Juan Tomis Etapa I y II y habilitación urbana privada California. El INEI determinó que estas localidades contaban con 2850 habitaciones y 787 viviendas. De estas, 80% tenían paredes de ladrillo y casi 17% de viviendas

eran construidas con adobe. El techo de las viviendas con techo de concreto armado ascendían al 60% (471) y aquellas viviendas que usaban una plancha de calamina representaban el 40% (305).

4.1.8 Vulnerabilidad de Inundación Pluvial

CENEPRED, en 2015, determinó que casi el 80% de las edificaciones en el centro poblado Ciudad de Dios tienen una Vulnerabilidad Media respecto al Riesgo por Inundación Pluvial. La descripción de aquellas viviendas con este nivel de vulnerabilidad en su dimensión social tenía a la población que se abastece por servicio de agua mediante camiones cisternas u otros, que utilizan los servicios higiénicos a través de pozos ciegos y emplean como tipo de alumbrado el petróleo, gas o lámpara; en su dimensión económica, las viviendas presentan como material predominante a la quincha con caña y cuyo techo es de calamina, el ingreso promedio familiar está de los 1501 a los 2200 soles mensuales. (CENEPRED, 2019)

4.2 Localización, excavación de calicatas y extracción de muestras

Se realizaron 20 calicatas, en las 11.86 Ha del centro poblado Ciudad de Dios con una retroexcavadora que tenía como operador a un poblador de la zona que fue recomendado por el alcalde del distrito de San José.

La ubicación de cada una de las calicatas dependía de los espacios libres que se encontraron superponiendo los planos de alcantarillado y de agua potable obtenidos por EPSEL. Este cuidado fue importante debido a la coyuntura de la población que no cuenta con servicios de saneamiento completamente operativos, generando sensibilidad y miedo de los pobladores en que mediante la excavación de las calicatas se puedan dañar las tuberías existentes. Finalmente, la ubicación de las calicatas, en coordenadas UTM, se pueden apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 12. Coordenadas UTM de calicatas realizadas

CALICATA	COORDENADAS UTM ZONA 17M - WGS 84	
	ESTE	NORTE
1	618817	9251167
2	618968	9251182
3	618944	9251212
4	618859	9251215
5	619070	9251186
6	619163	9251186
7	619242	9251173
8	619287	9251098
9	619363	9251192
10	619278	9251534
11	619500	9251415
12	619527	9251300
13	619222	9251467
14	619246	9251381
15	619339	9251447
16	619222	9251298
17	619151	9251288
18	619255	9251271
19	619060	9251251
20	619348	9251275

Fuente: Elaborado por los autores.

La presentación de la localización de puntos de excavación se aprecia en el Anexo 3: Plano de Localización y Plano de Ubicación de Calicatas.

Se intentó que entre cada una de ellas la distancia máxima sea de 130m, pero la realidad urbana no permitió que se cumpla este objetivo debido a las angostas calles en esta zona y a la existencia de una larga tubería clandestina ubicada entre la calicata 20 y la calicata 12, de tal forma que las medidas más elevadas se ubican en esta zona y tienen una distancia de 181.20 m entre las calicatas 12 y 20, y una distancia mayor de 196.67 m entre las calicatas 9 y 12. La distancia entre calicatas se puede apreciar en la siguiente figura:

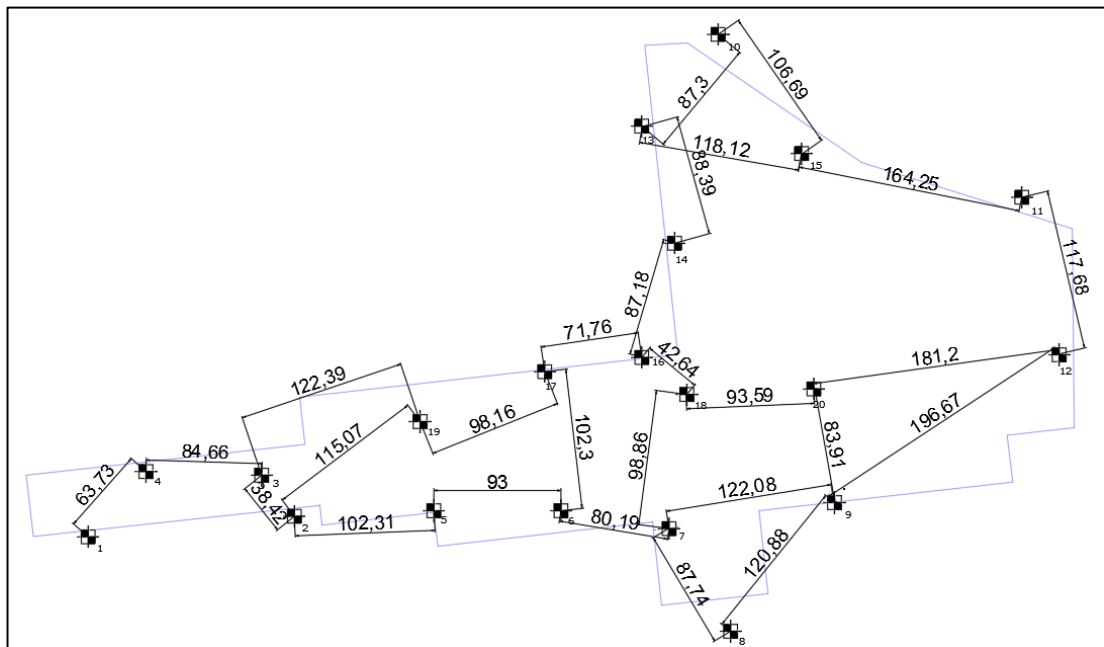


Figura 19. Distancia entre calicatas
Fuente: Elaborado por los autores.

Las fotografías de la excavación de las calicatas se encuentran en el Anexo 17: Panel Fotográfico.

Una vez que las calicatas se encontraron abiertas, se procedió a la identificación de los estratos de cada una de ellas. Los indicadores eran el cambio de color de suelo o la presencia de napa freática. Se procedió a la medición de la altura de cada uno de los estratos, despreciando en la parte superior la existencia de alguna capa de afirmado, material orgánico o basura.

Este paso es totalmente importante debido que va a determinar el estrato que estará involucrado (tipo de suelo, resistencia al corte) finalmente en la ecuación de Capacidad Portante de Meyerhof.

Tras la identificación de los estratos y su medición, se prosiguió con la toma de muestras alteradas e inalteradas. Las muestras alteradas fueron recolectadas en bolsas plásticas limpias, buscando como mínimo 7 kg de muestra alterada para cada estrato debido a los numerosos ensayos en el laboratorio a posteriori. Las muestras inalteradas se tomaron cuidadosamente con un tubo de 6" de PVC en la parte inferior o en las paredes de la calicata. Este tubo, una vez llenado, se cubrió con papel film para evitar la pérdida de humedad debido a la temperatura del ambiente. Para el ensayo de contenido de humedad, se realizó la toma de muestras inalteradas más pequeñas, en un tubo de PVC de 4", cuidado en las mismas condiciones que las muestras inalteradas para el ensayo de corte directo.

El proceso toma de puntos de excavación se realizó el 5 de enero, la excavación de las calicatas se realizaron los días 24 de diciembre de 2019 (1 calicata), 6 de enero (9 calicatas) y 7 de enero de 2020 (10 calicatas) con la ayuda de dos peones y el operador de la retroexcavadora, los tres fueron pobladores de la zona. El transporte de las muestras al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad San Martín de Porres Filial Norte fue el día 8 de enero de 2020.

En resumen, el proceso de recolección de muestras fue el siguiente:



Figura 20. Proceso de recolección de muestras.
Fuente: Elaborado por los autores.

Finalmente, los estratos encontrados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 13. Estratigrafía encontrada tras realización de 20 calicatas

Cal.	Estrato	Profundidad	Profundidad de calicata	Profundidad de Nivel Freático
C1	E1	0.50 m - 1.30 m	3.00 m	No presentó
	E2	1.30 m - 2.00 m		
	E3	2.00 m - 3.00 m		
C2	E1	0.80 m - 1.60 m	3.00 m	3.00 m
	E2	1.60 m - 2.30 m		
	E3	2.30 m - 3.00 m		
C3	E1	1.00 m - 3.00 m	3.00 m	No presentó
C4	E1	0.40 m - 2.10 m	3.00 m	No presentó
	E2	2.10 m - 3.00 m		
C5	E1	0.70 m - 3.00 m	3.00 m	No presentó
C6	E1	1.00 m - 3.00 m	3.00 m	No presentó
C7	E1	0.40 m - 3.00 m	3.00 m	No presentó

C8	E1	0.50 m - 2.10 m	2.90 m	2.90 m
	E2	2.10 m - 2.90 m		
C9	E1	0.80 m - 1.90 m	3.00 m	2.70 m
	E2	1.90 m - 2.70 m		
	E3	2.70 m - 3.00 m		
C10	E1	1.00 m - 2.80 m	3.00 m	2.80 m
	E2	2.80 m - 3.00 m		
C11	E1	0.60 m - 2.00 m	3.00 m	No presentó
	E2	2.00 m - 3.00 m		
C12	E1	0.60 m - 2.20 m	2.20 m	No presentó
C13	E1	0.50 m - 1.40 m	3.00 m	2.80 m
	E2	1.40 m - 2.80 m		
	E3	2.80 m - 3.00 m		
C14	E1	0.40 m - 1.80 m	3.00 m	No presentó
	E2	1.80 m - 3.00 m		
C15	E1	0.60 m - 1.80 m	3.00 m	No presentó
	E2	1.80 m - 3.00 m		
C16	E1	0.60 m - 3.00 m	3.00 m	No presentó
C17	E1	0.60 m - 2.40 m	2.40 m	No presentó
C18	E1	0.50 m - 1.80 m	2.90 m	No presentó
	E2	1.80 m - 2.90 m		
C19	E1	0.90 m - 3.00 m	3.00 m	No presentó
C20	E1	0.80 m - 2.60 m	3.00 m	No presentó
	E2	2.60 m - 3.00 m		

Fuente: Elaborado por los autores

El detalle de la estratigrafía se encuentra en el Anexo 4: Estratigrafía de los suelos.

4.3 Ensayos de Laboratorio

4.3.1 Ensayos de Propiedades Físicas

4.3.1.1 Ensayo de Contenido de Humedad

Para realizar este ensayo cada estrato contó con una muestra inalterada en tubo de PVC de 4" de diámetro con 15 cm de altura, forrada con fill durante la exploración de campo con el fin de no perder la humedad ni propiedades de la muestra.

Las muestras inalteradas fueron ensayadas a solo 2 días de ser extraídas durante la exploración de campo.

Los utensilios para desarrollar el ensayo fueron: recipientes o capsulas para muestra, espátula, bandeja, guantes, horno, marcador negro y cinta masking tape.

Procedimiento:

Para generar resultados más acertados, se realizó el ensayo de contenido de humedad dos veces por cada estrato, con el fin de promediar los dos resultados obtenidos. Los pasos fueron los siguientes:

1. Se comenzó catalogando cada recipiente donde se puso la muestra utilizando cinta masking tape y un marcador negro. Para luego ser pesados y añadidos al control.
2. Se procedió a abrir cada muestra inalterada, escogiendo dos porciones de suelo de la mitad del tubo de PVC. Luego las porciones fueron colocadas en cada recipiente respectivamente, para pesarlas y añadirlas al control.
3. Los recipientes fueron colocados en bandejas para poder introducirlos en el horno, permanecieron en el horno por un periodo de 24 horas.
4. Después de las 24 horas con la ayuda de los guantes se extrajeron las bandejas con los recipientes. Los recipientes después del proceso fueron pesados nuevamente y añadidos al control, ya que perdieron humedad durante el proceso.

Paso 1

Paso 2



Figura 21. Procedimiento de Ensayo de Contenido de Humedad.
Fuente: Elaborado por los autores

La plantilla elaborada para el desarrollo de este ensayo se puede encontrar en el Anexo 5: Ensayo de Contenido de Humedad, junto con los valores para cada una de las muestras.

4.3.1.2 Ensayo de granulometría

Para realizar este ensayo cada estrato contó con una muestra alterada en bolsa plástica de aproximadamente 7kg, extraída de la exploración en campo.

Se expuso todas las muestras alteradas al aire con la finalidad de obtener el secado adecuado para realizar la granulometría. Las muestras

fueron colocadas en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad de San Martín de Porres – Filial Norte, en la ciudad de Chiclayo.

Se realizó un cuarteo para cada muestra alterada, el cual consistió en mezclar la muestra y apilarla en forma de cono tres veces, para después aplanarla y extenderla dándole una forma circular. Una vez que la muestra se encontró extendida con un espesor y diámetro uniforme, se dividió en 4 partes iguales, de las cuales se unieron 2 cuartos de diagonales opuestas. Como resultado se obtuvo una porción de muestra para cada estrato.

Antes de realizar el ensayo de granulometría por tamices, se tomó en cuenta el peso mínimo de muestra para la fracción retenida en el Tamiz N°4, señalado en siguiente tabla extraída del Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.

Tabla 14. Pesos mínimos de la porción por diámetro nominal del suelo.

Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg.)	Peso mínimo aproximado de la porción (g)
9,5 (3/8")	500
19,6 (3/4")	1000
25,7 (1")	2000
37,5 (1 1/2")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2016.

El Manual de Ensayo de Materiales también señala que para la fracción que pasa el tamiz N°4 de suelos arenosos se requiere aproximadamente 115 g, mientras que para suelos arcillosos y limosos se requiere 65 g aproximadamente. Para este ensayo se emplearon los tamices, taras amplias para recibir el material, balanza, bandejas, mascarillas contra el polvo.

Los pasos fueron los siguientes:

1. Se lavó una de las dos porciones resultantes del cuarteo, utilizando la malla N° 200 (0,074 mm). Se hizo el lavado de muestra con un

día de anticipación ya que tuvo que permanecer en el horno por 24 horas. Después

2. Se procedió a realizar el tamizado, según el orden recomendado por la NTP 339.128, el cual se muestra en la siguiente tabla. Se apilaron los tamices para proceder a verter la muestra en la parte superior.

Tabla 15. Orden de tamices para Ensayo de Granulometría

Tamiz	Abertura (mm)
3"	75,000
1 ½"	38,100
¾"	19,000
⅜"	9,500
N° 4	4,760
N° 8	2,360
N° 16	1,100
N° 30	0,590
N° 50	0,297
N° 100	0,149
N° 200	0,075

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2016, p. 44

3. Se agitaron los tamices con la finalidad de que la muestra pase y se retenga en cada tamiz. Se comprobó que el tamizado se realizó correctamente debido a que sacudiendo independientemente cada tamiz por 1 minuto aproximadamente no pasó más del 1%.
4. Luego de haber agitado se procede a tomar control del peso retenido en cada tamiz.
5. Se generó una tabla de datos a partir del peso retenido por tamiz, para obtener los porcentajes de retenido parcial, retenido acumulado y que pasan.
6. Se realizó la curva granulométrica para cada muestra a partir de la tabla de datos obtenida anteriormente

Cabe resaltar que el material que se perdió tras el lavado por el tamiz N° 200 (0,074 mm) se contabilizó para el fondo, por ser material fino perdido.

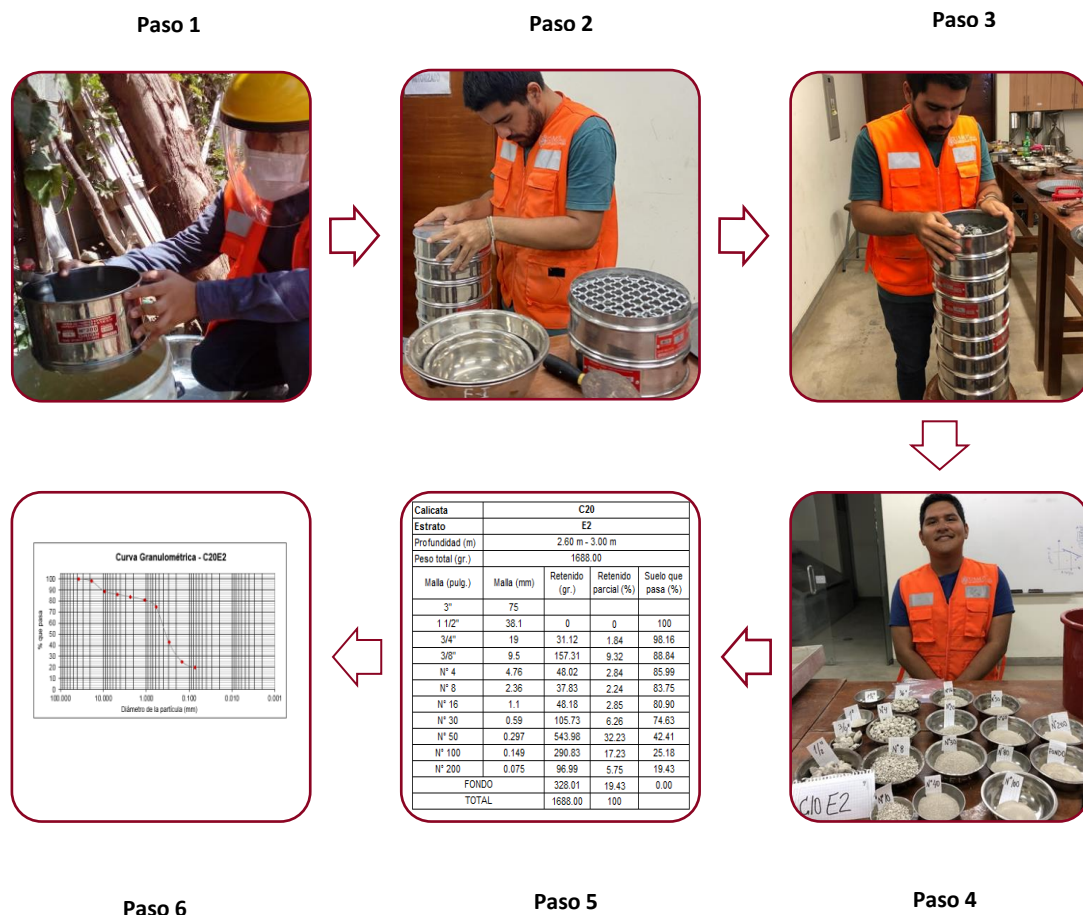


Figura 22. Procedimiento de Ensayo de Granulometría
Fuente: Elaborado por los autores

En el Anexo VI: Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado, se pueden encontrar las tablas generadas con los pesos retenidos de cada tamiz y la curva granulométrica que se forma para cada estrato extraído.

4.3.1.3 Ensayos de Límites de Atterberg

Para el desarrollo de estos ensayos se utilizó la segunda porción de muestra alterada que se obtuvo después del cuarteo. La misma que ya había sido secada en temperatura ambiente previamente en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad de San Martín de Porres – Filial Norte,

en la ciudad de Chiclayo. Es importante que la muestra que se use para estos ensayos no hayan estado en el horno debido a que las altas temperaturas disminuyen las características plásticas de los suelos.

El tipo de muestra que se necesita para realizar estos ensayos debió haber pasado previamente por la malla N°40. Se optó por usar un aproximado de 250g de muestra, con el fin de prevenir posibles pérdidas de muestra en la búsqueda de los valores necesarios. Esta muestra se colocó en un recipiente de acero de capacidad aproximada de 1 litro, luego con la ayuda de la piseta se vertió agua destilada encima de cada muestra, hasta lograr obtener una masa con textura homogénea.

Cada recipiente fue cubierto con rollo film y catalogado por muestra, es decir según el número de calata y el número de estrato. En estos ensayos se emplearon materiales como: Copa de Casagrande, ranurador, espátula, plato de vidrio esmerilado, piseta, recipientes para secado, balanza y horno.

4.3.1.3.1 Ensayo de Limite Liquido (LL)

Para el desarrollo de este ensayo se tomó en cuenta el rango de golpes establecido por la ASTM D4318, el cual consiste en encontrar valores entre 15-25, 20-30 y 25-35.

Procedimiento:

1. Se catalogaron 3 recipientes vacíos para cada rango establecido por muestra, luego cada recipiente fue pesado y añadido al control.
2. Del recipiente de acero que ha reposado 24 horas se extrajo una porción de muestra y se colocó en la Copa de Casagrande.
3. Con la ayuda de la espátula se esparce y se enraza la muestra, tomando en cuenta que, en la parte más profunda de la copa, se tiene una profundidad de 10 mm.
4. Se realizó la ranura de 13 mm aproximadamente utilizando el ranurador de acero.

5. Se giró la manija de la Copa de Casagrande para ejecutar los golpes hasta que la ranura se cierre en uno de los rangos de la ASTM D – 4318, es decir: 15-25, 20-30, 25-35.
6. Se extrajo una porción de muestra utilizando la espátula en el lugar exacto donde la ranura se unió y se colocó en el recipiente previamente catalogado, para después proceder con el control del peso del recipiente con muestra.
7. Cada recipiente con su respectiva porción de muestra y en su rango, fue colocado en una bandeja para ser introducido en el horno por un periodo de 24 horas.
8. Después de las 24 horas, se procede a realizar el control del peso de cada recipiente con muestra, ya que la muestra ha perdido humedad.

Para obtener los valores dentro del rango establecido fue necesario desarrollar el ensayo la cantidad de veces que fuera necesaria.

Tras el procedimiento, se desarrolló la gráfica de la curva de flujo usando los datos encontrados. Se tendrá en las abscisas el número de golpes en una escala aritmética y los contenidos de humedad en las ordenadas en escala logarítmica.

Finalmente, para encontrar el valor del Límite líquido se traza una recta vertical en los 25 golpes, y en la parte que intersecta a la recta generada por los tres puntos en el plano cartesiano, se genera una horizontal que llega a las ordenadas. Este será el valor del Límite Líquido aproximado al entero más cercano.



Masa de textura homogénea obtenida de la muestra y agua destilada.



Uso del ranurador en la copa de Casagrande



Ranura cerrada a los 17 golpes.



Extracción de muestra de la copa y ubicación en tara.



Recipientes con muestra en los rangos requeridos.



Recipiente con muestra tras estar 24 horas en el horno a 110 ± 5 °C.

Figura 23. Procedimiento del ensayo de Límite Líquido
Fuente: Elaborado por los autores.

4.3.1.3.2 Limite Plástico (LP)

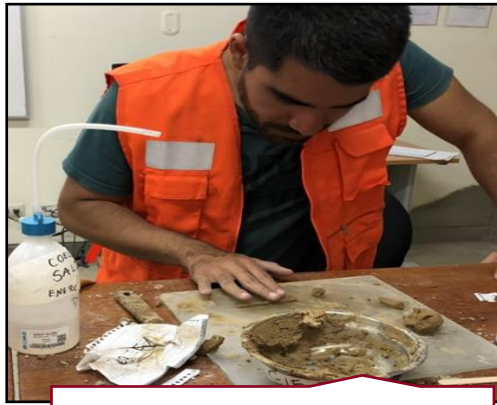
Para el desarrollo de este ensayo se utilizó una porción de muestra tras realizar el ensayo de Limite Líquido. Dicha porción es de aproximadamente 20 g.

Procedimiento:

1. Se catalogaron 2 recipientes vacíos para cada muestra de 20g, luego cada recipiente fue pesado y añadido al control.
2. Con la ayuda del plato de vidrio esmerilado, se enrolló la muestra ejerciendo presión con los dedos. La vara de acero fue la guía para llegar a obtener el diámetro de aproximadamente 3.2 mm.
3. Después de obtener la muestra en forma de rollo, se seleccionó 4 partes del mismo en donde se presentan fisuras.
4. Posteriormente se colocó 2 partes fisuradas en cada recipiente, para tomar el control del peso del recipiente con la muestra.
5. Cada recipiente con sus 2 partes fisuradas, fueron colocados en una bandeja para ser introducidos en el horno por un periodo de 24 horas.
6. Después de las 24 horas, se procedió a realizar el control del peso de cada recipiente con sus 2 partes fisuradas secas.

La formación del rollo de 3.2 mm debe desarrollarse en menos de 2 minutos aproximadamente, ya que debe presentar fisuras de forma inmediata. Se debió repetir la formación del rollo las veces que sean necesarias para cumplir con lo establecido por la norma.

El Límite Plástico por estrato, fue el promedio de los límites plásticos obtenidos para cada recipiente.



Elaboración del rollo con la muestra y el vidrio esmerilado.



Partes fisuradas de la muestra en recipientes.



Recipiente con muestra después de permanecer 24 horas a $110 \pm 5^\circ\text{C}$

Figura 24. Procedimiento de Ensayo de Límite Plástico
Fuente: Elaborado por los autores.

4.3.1.3.3 Índice de Plasticidad (IP)

El Índice de Plasticidad dependió de los valores anteriores y se define por la siguiente fórmula:

$$IP = LL - LP$$

En el Anexo 7: Ensayos de Límites de Atterberg, se puede encontrar la plantilla creada para mostrar los valores obtenidos en el desarrollo del ensayo.

4.3.1.4 Clasificación de Suelos por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Como se mencionó en el capítulo Marco Teórico, la clasificación se desarrolló según la ASTM 2487 y se tomaron en cuenta los resultados de granulometría y Límites de Atterberg obtenidos. Especialmente, estos tres factores: porcentaje que se retiene en la malla N°4, el porcentaje retenido entre la malla N° 4 y la malla N°200 y el porcentaje que pasa la malla N°200.

Procedimiento:

1. El procedimiento inicial de este sistema fue la identificación del tipo de suelo que se tiene: grueso o fino. Esto lo determinó el porcentaje que pasa la malla N°200 (denominado F); si este porcentaje fue mayor de 50%, era fino, de lo contrario, grueso. Si el suelo era fino, ir al paso 3.
2. Una vez que se identificó que el suelo era grueso, la porción de este será $100 - F$. Se debió determinar el porcentaje retenido entre la malla N°4 y la malla N°200 (denominado F_1). Si $F_1 < (100 - F)/2$, el suelo era gravoso (G). Si F_1 fue mayor, era arenoso (S). La identificación de este parámetro fue muy importante porque para cada uno de ellos hay una serie de criterios para obtener el símbolo del grupo. Ver Figura 25. Para determinar el nombre del grupo se empleó también la carta de plasticidad (ver Figura 26).
3. Para un suelo fino, se vio directamente a la Carta de Plasticidad para obtener el símbolo del grupo y a un diagrama de flujo para suelos finos para obtener el nombre del grupo.

Símbolo de grupo	Criterios
GW	Menos de 5% pasa la malla No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual que 4; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
GP	Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para GW
GM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12) o el índice de plasticidad menor que 4
GC	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12); índice de plasticidad mayor que 7
GC-GM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12
GW-GM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GM
GW-GC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GC
GP-GM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GM
GP-GC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GC
SW	Menos de 5% pasa la malla No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual a 6; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
SP	Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para SW
SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12); o índice de plasticidad menor que 4
SC	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican arriba de la línea A (figura 2.12); índice de plasticidad mayor que 7
SC-SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12
SW-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM
SW-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SC
SP-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SM
SP-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SC

Figura 25. Símbolos de grupo y criterios para selección.
Fuente: Braja, 2012, p. 22

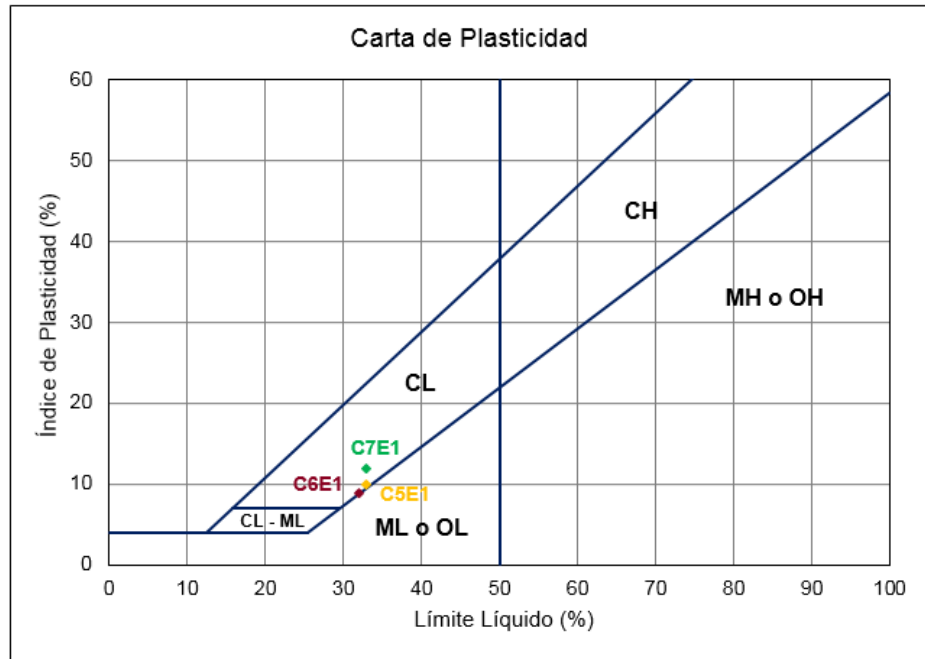


Figura 26. Carta de plasticidad para clasificación de suelos según SUCS.
Fuente: Elaborado por los autores

Finalmente, el nombre de grupo se obtuvo tras seguir los diagramas de flujo para gravas, arenas o suelos finos. Por ejemplo, en la Figura 27, se pueden visualizar los nombres de grupos para arenas:



Figura 27. Diagrama de flujo para nombre de grupo de suelos arenosos.
Fuente: Braja, 2015, p. 85

Se pueden encontrar los resultados de calificación de suelo en el Anexo 8: Clasificación de Suelos según SUCS. De la misma manera, en el Anexo 4: Estratigrafía de los Suelos, se puede encontrar el perfil de los suelos por las alturas encontradas y el tipo de suelo que se encontró por estrato extraído.

4.3.1.5 Ensayo de peso específico relativo

La realización de este ensayo resultó necesaria para encontrar los valores de humedad y saturación en los que la muestra de suelo se encuentra tras el ensayo de Corte Directo ya que averigua la relación del peso de los sólidos y el volumen de agua que se encuentra contenido. Se utilizó la ASTM D854. Además, resultó imprescindible contar con picnómetros calibrados para conocer los pesos de ellos más agua destilada a cierta temperatura.

Se realizó la calibración de los picnómetros con nomenclatura M01Y y M02Y del laboratorio de Mecánica de Suelos y se contó con otros 15 picnómetros ya calibrados cuya información estaba disponible en el laboratorio. La calibración de los picnómetros se puede observar en el Anexo 9: Calibración de Picnómetros para el Ensayo de Peso específico relativo.

La calibración de los picnómetros consistía en los siguientes pasos:

1. Se lavó y se secó en el horno cuidadosamente cada picnómetro.
2. Se llenó el picnómetro con agua destilada más de la mitad del depósito de muestra.
3. Encima de una hornilla de cocina eléctrica, se colocó una bandeja metálica que tenía una cama de arena. Esta bandeja recibía los picnómetros para ponerlos a hervir y la cama de arena servía para evitar que estallen por las altas temperaturas.
4. Se esperó que el agua destilada en el picnómetro llegue a la ebullición para que se elimine el aire interno.
5. Se retiraron del calor y se tomó la temperatura cada 20 minutos.
6. Se generó el diagrama Peso del picnómetro vs Temperatura.
7. Se formó una curva polinómica que describa el comportamiento de esta relación mediante una fórmula de grado 2, 3 o 4.

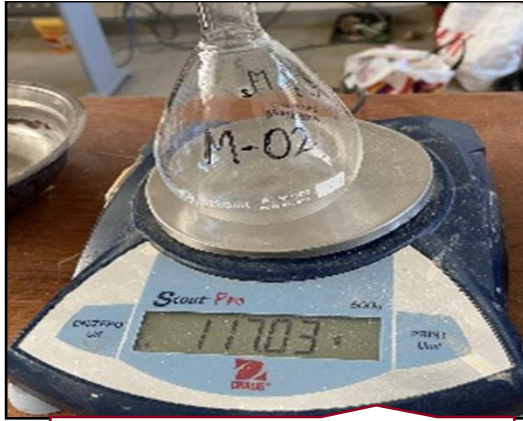
Una vez que se tuvieron las calibraciones se realiza el ensayo.

Para el desarrollo del ensayo se utilizó parte de la segunda porción de muestra alterada que se obtuvo después del cuarteo. Se selecciona la cantidad requerida de suelo dependiendo del símbolo de grupo que le caracteriza, debido a que nuestros suelos en su mayoría fueron CL y SC, se utilizó 45g en el ensayo.

Los pasos fueron:

1. Se pesó cada picnómetro previamente limpio y seco.
2. Se utilizó el embudo para colocar la muestra en el picnómetro.
3. Usando la piseta se le adicionó agua destilada hasta los $\frac{3}{4}$.
4. Cada picnómetro fue colocado en la cocina eléctrica, usando una bandeja circular con arena, con el fin de evitar el contacto directo con las altas temperaturas.
5. Después de llegar a la ebullición se mantuvo el picnómetro en la cocina eléctrica por un periodo de 10 minutos para evitar quemaduras.
6. Se extrajo el picnómetro de la cocina eléctrica y se dejó enfriar hasta el día siguiente.
7. Una vez a temperatura ambiente, se pesó y se tomó la temperatura.
8. Se empleó un factor de corrección K debido a que la temperatura de desarrollo fue en su mayoría de 26.5°C para los ensayos. Este valor fue de 0.99844 y se multiplicó al resultado de peso específico obtenido.

El desarrollo y resultados se pueden encontrar en el Anexo 10: Ensayo de Peso Específico Relativo.



Peso de picnómetro limpio y seco.



Muestra vertida en picnómetro con ayuda de un embudo.



Vertido de agua destilada en picnómetro con ayuda de una piseta.



Cocina eléctrica con 4 picnómetros llegando al punto de ebullición.



Picnómetros con muestra puestos a enfriar para el día siguiente.



Se tomó la temperatura y peso de los picnómetros enrasados al día siguiente.

Figura 28. Procedimiento de Ensayo de peso específico relativo
Fuente: Elaborado por los autores

4.3.2 Ensayos de propiedades químicas

4.3.2.1 Ensayo de Contenido Total de Sales Solubles

Se realizó con muestra recuperada de la segunda porción de muestra alterada que se obtuvo después del cuarteo. Para realizar este ensayo se necesitó 200g de muestra que pasa el tamiz N° 10 para cada estrato debido a que se desarrollaron dos ensayos para cada estrato buscando encontrar el promedio (100g necesarios por ensayo).

El procedimiento fue el siguiente:

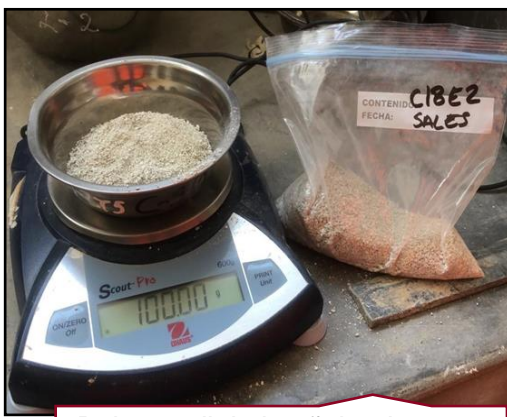
1. Se limpió cuidadosamente cada botella de vidrio con la finalidad de eliminar todo tipo de residuos, luego con la cinta masking tape y el marcador negro se catalogaron 2 botellas de vidrio para cada estrato.
2. Utilizando la piseta se vertió 300ml de agua destilada en cada botella y con la ayuda del embudo se introdujo los 100g de muestra dentro de las botellas de vidrio.
3. Se cerró cuidadosamente cada botella para agitarlas por un periodo de 1 hora, visualizando que se mezcle de forma homogénea.
4. Después de haber agitado las botellas, se mantuvieron en reposo por un periodo de 24 horas, asegurando que la muestra está asentada y en la parte superior de la misma se encuentra líquido.
5. Posterior al reposo, se vertió el líquido "limpio" de cada botella en un matraz, filtrándolo con papel filtro y un embudo. Se vertió el contenido de los matraces en los beakers previamente catalogados, obteniendo aproximadamente 125 ml en cada beaker.
6. Se pesó el beaker con el líquido y se introdujo en el horno por un periodo de 24 horas. Luego de las 24 horas, se extrajeron los beaker del horno y se tomó control del peso de cada uno.



Limpeza de botella de vidrio



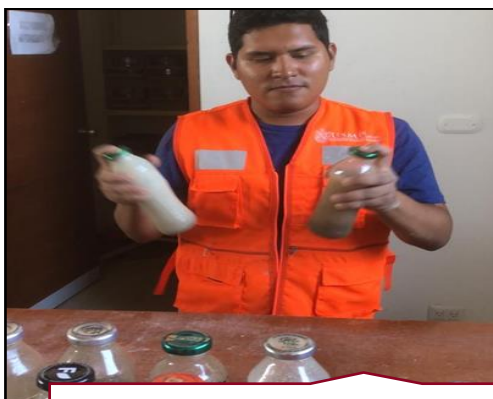
Piseta vertiendo agua destilada en las botellas de vidrio



Balanza digital señalando 100g de muestra que previamente ha pasado la malla N°10



Botellas de vidrio con bolsas de muestra que ha pasado la malla N°10.



Proceso de agitación de botellas.



Filtración en matraces con papel filtro.



Beakers introducidos en el horno que permanecieron 24 horas.



Beakers después del periodo de 24 horas en el horno

Figura 29. Procedimiento de Ensayo de Contenido de Sales Solubles
Fuente: Elaborado por los autores

Cuando el filtrado en el matraz era de color turbio fue necesario realizar un filtrado nuevamente hasta obtener un color cristalino (que el papel filtro sea grueso ayuda a evitar la filtración de partículas sólidas que contaminen el espécimen).

En el Anexo 11: Ensayo de Contenido Total de Sales Solubles se encuentra el formato del desarrollo.

Se tomó en cuenta que si un suelo era fino (más del 50% pasaba la malla N° 200) y además era extremadamente salino, se realizó una corrección por altos contenidos de sales que se puede encontrar en el Anexo 12: Corrección por contenido de sales solubles y selección de los cinco estratos más salinos para ensayos de Contenido de sulfatos y cloruros. De este ensayo, los cinco estratos más salinos se seleccionaron para realizar los ensayos de Contenido de Sulfatos y de Contenido de Cloruros.

4.3.2.2 Ensayo de Contenido de Sulfatos

Los estratos que se evaluaron en este ensayo fueron el C14E1, C6E1, C15E1, C13E3 y el estrato C9E3.

Tabla 16. Estratos más salinos

ESTRATOS MÁS SALINOS			
N °	NOMENCLATURA	TDS (ppm)	Cond. Eléctrica (dS/m)
1	C14E1	26317	41.05
2	C6E1	26040	40.62
3	C15E1	22320	34.82
4	C13E3	22080	34.44
5	C9E3	21600	33.70

Fuente: Elaborado por los autores

Debido a las limitaciones del laboratorio de Mecánica de Suelos como la falta de algunos materiales especializados como sulfato de bario este ensayo se le encargó a la empresa JJ GEOTECNIA SAC, ubicada en la ciudad de Lima, que emplea la norma AASHTO T290 Contenido de Sulfatos solubles en suelo y agua subterránea para el logro de los objetivos de este ensayo.



Figura 30. Recepción de muestras en laboratorio

Fuente: Elaborado por los autores

Uno de los pasos finales que se realiza en este ensayo fue carbonizar el papel filtro y su contenido en un beaker para finalmente calcinar el residuo a aproximadamente 800 °C por una hora, como se muestra en la siguiente imagen otorgada por el laboratorio.



Figura 31. Carbonización del papel filtro y su contenido en un beaker.
Fuente: Elaborado por los autores

El formato y los resultados de este ensayo se puede encontrar en el Anexo 13: Resultados de ensayos de Contenido de Sulfatos y Contenido de Cloruros.

4.3.2.3 Ensayo de Contenido de Cloruros

Se siguió la misma modalidad que para el ensayo de Contenido de Sulfatos. La misma empresa contratada empleó la norma AASHTO T291 Contenido de Cloruros solubles en suelo y agua subterránea.

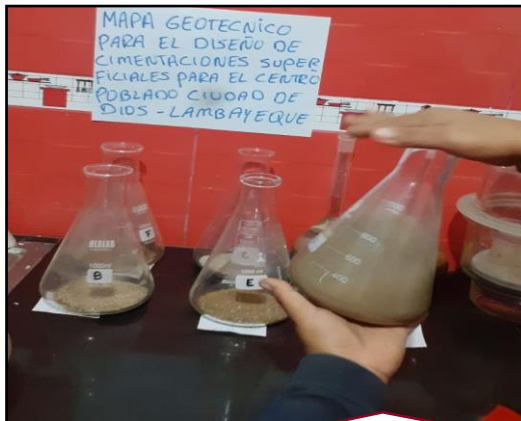
El procedimiento efectuado se muestra en las siguientes imágenes:



Separación de 100g de muestra secado a T ambiente en un matraz.



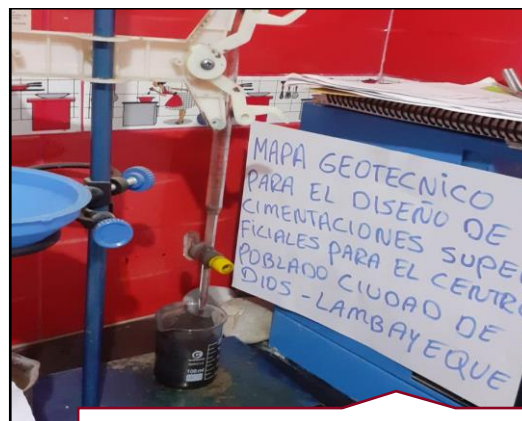
Agregar 300ml de agua destilada.



Agitar la mezcla durante 1 hora.



Filtrar la muestra y separar 30ml en un beaker.



Agregar 1 ml de solución de cromato de potasio y solución de nitrato de plata hasta que el indicador se torne de color rojo.

Figura 32. Proceso del Ensayo de Contenido de Cloruros
Fuente: Elaborado por los autores

4.3.3 Ensayos de propiedades mecánicas

4.3.3.1 Ensayo de Corte Directo

Para realizar este ensayo cada estrato contó con una muestra inalterada en tubo de PVC de 6" de diámetro con 20 cm de altura, forrada con fill durante la exploración de campo con el fin de no perder la humedad ni propiedades de la muestra. El ensayo se desarrolló de acuerdo a la ASTM D 3080 y a la NTP 339.171

Para optimizar el proceso se utilizaron 15 moldes rectangulares de acero, adicionales a los 3 que ya contaba en el laboratorio. Además de 36 bridas, las cuales sirvieron para saturar las muestras respectivas. Hubo 3 estratos que se ensayaron en un laboratorio particular, estos fueron el C13E1, C15E1 y C16E1.

- Procedimiento de saturación:

Se comenzó catalogando cada molde rectangular, determinando sus medidas y el peso para cada uno. Cada estrato contó con 3 moldes cuadrados, en los cuales se colocó una porción de la muestra inalterada, para luego tomar control del peso del molde más la porción de muestra. El tiempo de saturación estuvo definido por el tipo de suelo obtenido según la Tabla 17.

Tabla 17. Tiempos de saturación

Clasificación SUCS	Tiempo mínimo de sumersión en agua
SW, SP	No requiere
SM	3 horas
SC, ML, CL	18 horas
MH, CH	36 horas

Fuente: MTC, 2016, p. 175

Para sumergir la muestra se colocó en la parte superior e inferior del molde rectangular papel filtro, de tal forma que abarque toda

superficie donde se encuentra la muestra. Luego se colocaron las bridas en la parte superior e inferior para posteriormente ajustarlas con 3 tornillos.

Se concluyó forrando los baldes con film para evitar que algún agente externo interrumpa el periodo de saturación.

- Procedimiento máquina de corte directo:
 1. Pasado el tiempo de saturación previamente establecido, se extrajeron las bridas con los moldes rectangulares de los baldes. Se quitaron los tornillos y el papel filtro con mucho cuidado. El molde cuadrado de 6x6 cm con la muestra saturada, ya puede ser ensayada.
 2. La caja de corte debe ser asegurada con los tornillos respectivos, con el fin de evitar que la muestra se altere en su colocación dentro de la caja. En el fondo de la caja de corte se colocó una piedra porosa, seguido un papel filtro que cubrió la cara de la muestra, luego con ayuda del extractor de muestra se deslizó la muestra saturada en la caja de corte, se colocó otro papel filtro y finalmente la placa de transferencia de carga.
 3. Se ubicó la muestra en la máquina de corte directo y se realizó el ensayo considerando 3 esfuerzos normales diferentes entre estos tenemos: 0.5 kg/cm^2 , 1.0 kg cm/cm^2 y 2.0 kg/cm^2 . Se utilizó una velocidad de 0.25 mm/min en la máquina de corte, con la finalidad de hallar los esfuerzos cortantes cada 30 segundos.
 4. Se procedió a realizar una hoja de cálculo en Microsoft Excel 2013, donde se desarrollaron los datos obtenidos del ensayo de corte directo, analizando los tiempos tomados, la cohesión y el ángulo de fricción.

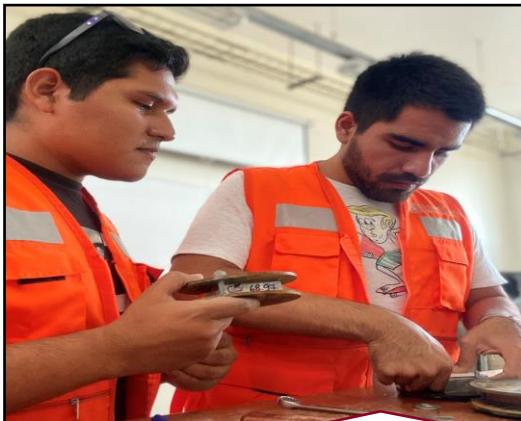
En el Anexo 14: Ensayo de Corte Directo se muestra el formato con el desarrollo y resultados del ensayo.



Moldeo del estrato en el molde cuadrado.



Saturación del suelo por tiempo definido según su tipo de suelo.



Retiro de los moldes con suelo saturado de las bridas.



Ubicación del espécimen en la máquina de corte directo. Se verifica que todo esté bien ajustado y que esté el peso vertical necesario.



Retiro del espécimen ensayado de la caja de corte directo.



Se pesa el espécimen húmedo y después seco tras estar en el horno para obtener las condiciones del ensayo.

Figura 33. Procedimiento de Ensayo de Corte Directo
Fuente: Elaborado por los autores

4.4 Obtención de la Capacidad Portante

Se realizó una hoja de cálculo que se encuentra en el Anexo 15: Formato de Capacidad Portante, donde se utilizaron principalmente valores obtenidos del ensayo de Corte directo (valores de cohesión, ángulo de fricción y densidad húmeda).

Los valores de profundidad de cimentación fueron de 1.20 m, 1.50 m y 1.80 m y se determinó una capacidad portante última y admisible para cada una de las tres alturas considerando una zapata de 1.00x1.00 metros la cual no tenía inclinación ni excentricidad.

4.5 Creación del mapa geotécnico

Para el desarrollo del mapa geotécnico se contó con el Plano catastral del distrito de San José otorgado por la Municipalidad Distrital de San José. Este plano cuenta con el perímetro y lotización del centro poblado Ciudad de Dios, además de la colindancia con las habilitaciones urbanas progresivas adyacentes. Este plano fue la base para representar los puntos de las calicatas estudiadas.

En el presente estudio se realizó un mapa geotécnico para cada una de las siguientes alturas: 1.20 m, 1.50 y 1.80 m.

Procedimiento:

1. El primer paso para el desarrollo del mapa geotécnico a 1.20m en el programa ArcGis Pro fue crear un Nuevo Proyecto con coordenadas representantes de la zona de estudio, en este caso WGS 1984 UTM Zone 17S.

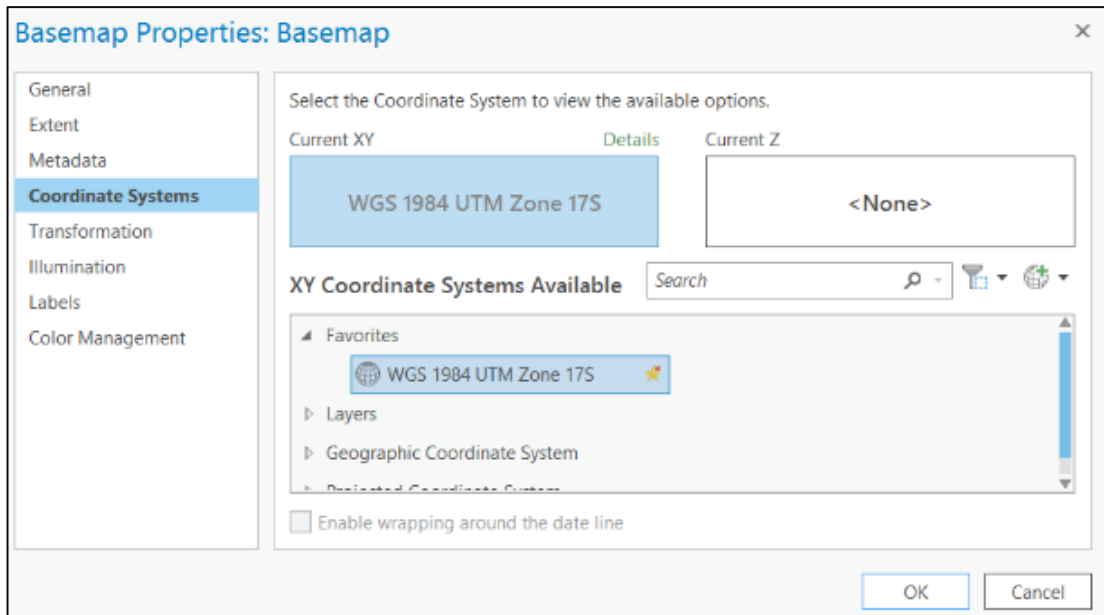


Figura 34. Creación de nuevo proyecto en ArgGIS Pro 10.0
Fuente: Elaborado por los autores

2. Después, se importó el plano de Ubicación de calicatas con formato de origen .dwg a ArcGis Pro. Este, se importó con el mismo formato de coordenadas WGS 1984 UTM Zone 17S. Este plano brindó datos como puntos de calicatas, lotización y perímetro.

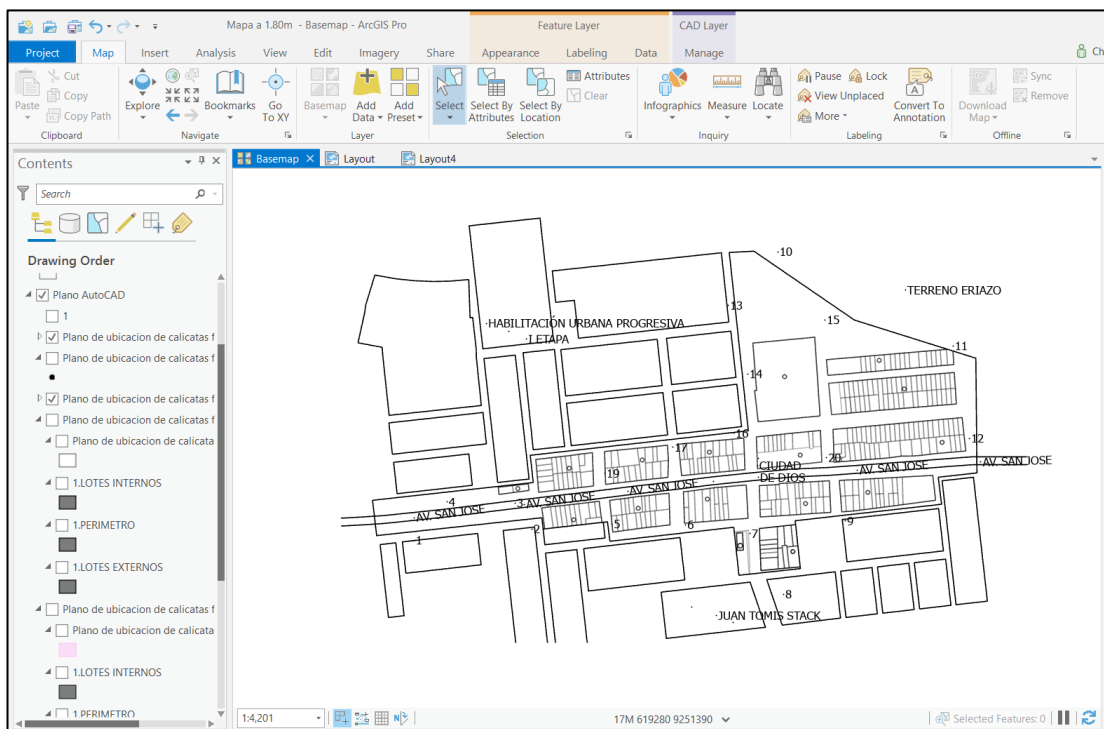


Figura 35. Importación de Plano de Ubicación de calicatas
Fuente: Elaborado por los autores

3. A partir de la capa Puntos de calicatas, previamente importada con el plano, se generó la función polígonos de Thiessen. Con ello, se creó una capa de nombre Cuadro, la cual contiene un rectángulo con mayor tamaño que el perímetro del centro poblado Ciudad de Dios. En la función Polígonos de Thiessen, la información de ingreso fueron los puntos de calicatas y la información de salida fue la capa Cuadro. De esta forma se observaron las áreas de influencia por cada punto de calicata en el rectángulo. Para finalizar, con la ayuda de la función *clip* se recortaron las áreas de influencia obtenidas en la capa Cuadro dentro del perímetro del centro poblado Ciudad de Dios. Realizado este proceso se puede observar que cada una de las 20 calicatas cuenta con su propia área de influencia.

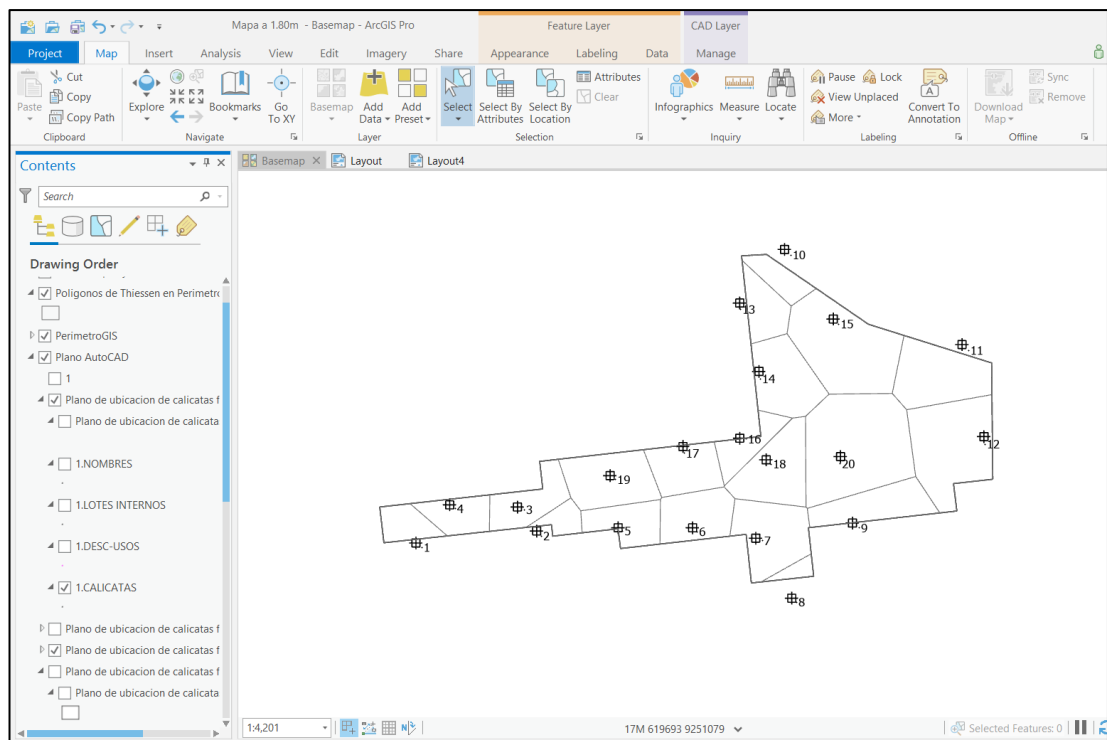


Figura 36. Generación de área de influencia para cada calicata.
Fuente: Elaborado por los autores

4. Se creó una capa por cada punto de calicata y se escribieron sus datos como: tipo de suelos, total de sales solubles y capacidad

portante. Cada calicata ha tenido ensayos de laboratorio independientemente por lo cual tuvieron una capa de forma propia.

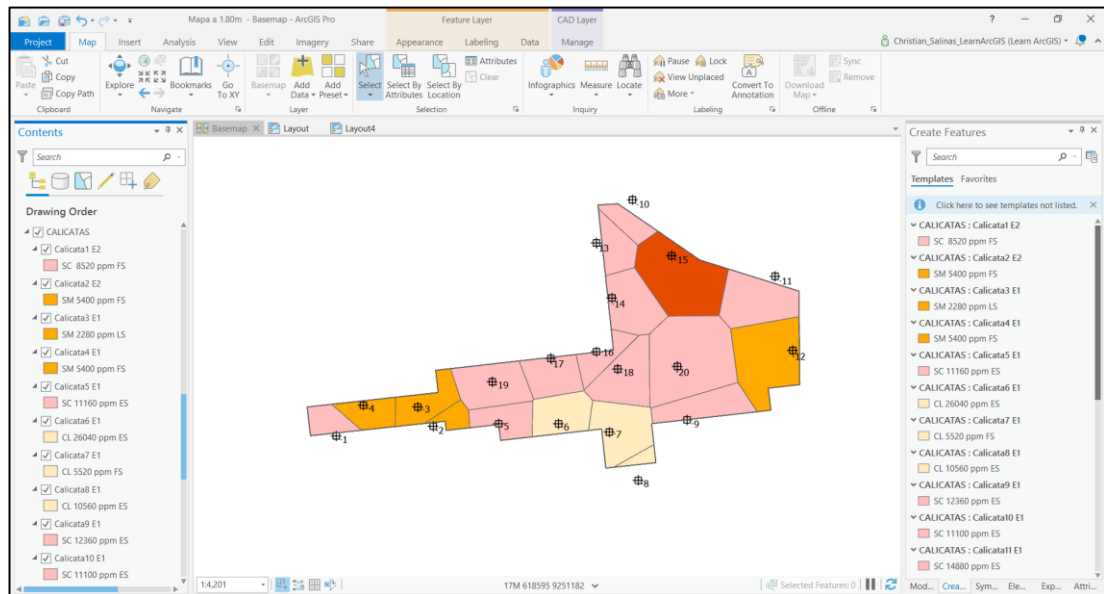


Figura 37. Inserción de propiedades a las áreas de influencia de cada calicata
Fuente: Elaborado por los autores

5. Luego de observar las similitudes entre algunas calicatas ubicadas de manera adyacente, se procedió a crear capas que relacionen las mismas propiedades. Se puede observar en la Figura 37: el tipo de suelo SM se encuentra en 3 calicatas de forma adyacente (calicatas 4, 3 y 2). De esta forma se relacionaron las características de los suelos y se generó un mapa geotécnico ordenado.

Se escogió para los tipos de suelos el uso de colores, para el total de sales solubles el uso de líneas de relleno (achurados) y para la capacidad portante admisible se usó tipos de bordes (perímetros).

Así, los indicadores del mapa geotécnico, según los tipos de registro de la información establecida en las bases teóricas quedan descritos de la siguiente manera:

Tabla 18. Indicadores y Tipo de Registro de la Información

Indicadores	Tipo de registro
Tipo de Suelo	Nominal
Contenido total de Sales solubles	Nominal
Capacidad portante admisible	Intervalo

Fuente: Elaborado por los autores

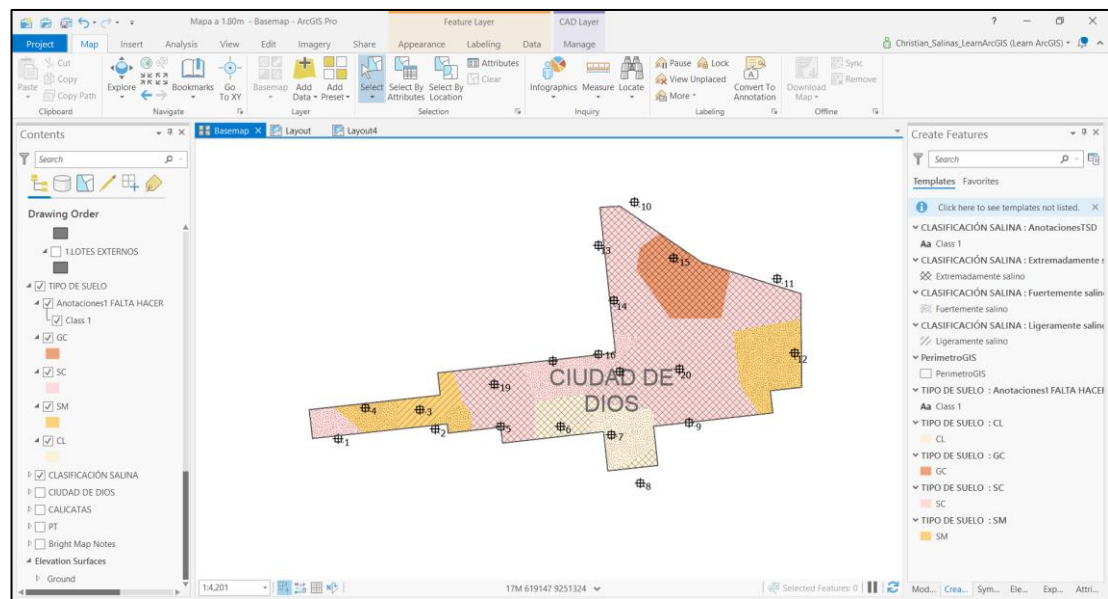


Figura 38. Creación de capas de propiedades similares

Fuente: Elaborado por los autores

6. A partir de la capa lotización previamente importada del Plano de Ubicación de Calicatas se creó una capa llamada manzanas y otra capa llamada lotes, para poder mostrar su ubicación dentro del mapa geotécnico. También se creó la capa avenida San José para señalar la ubicación de la misma dentro del mapa geotécnico.

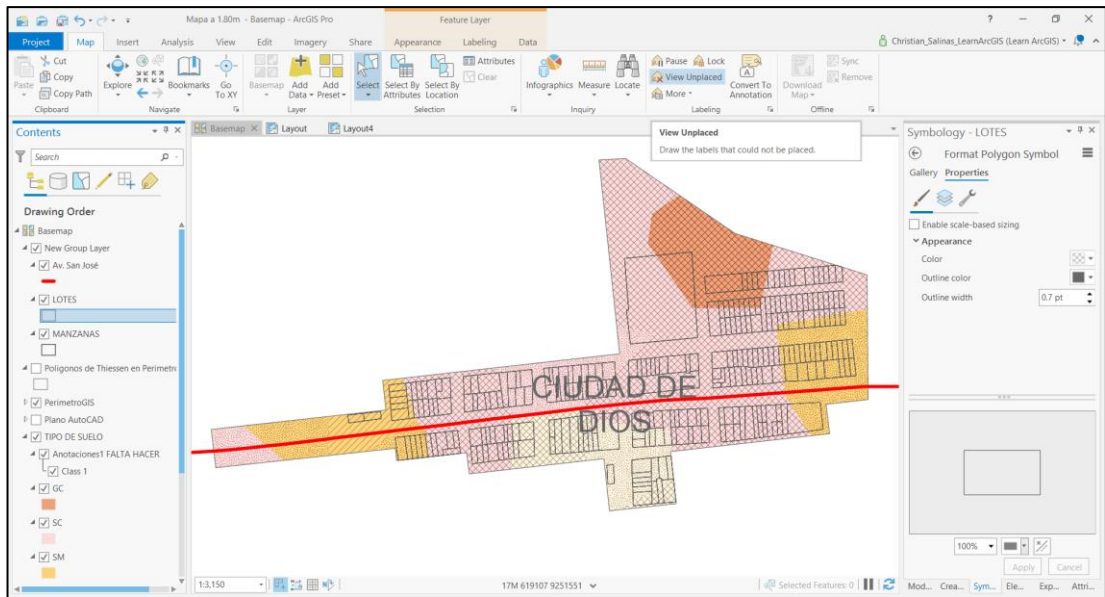


Figura 39. Dibujo de manzanas y lotes en el mapa geotécnico
Fuente: Elaborado por los autores

7. Para finalizar con el proceso se creó una capa de impresión con nombre Layout 1, en esta capa se añadió el membrete, las grillas de coordenadas, la escala, el nombre del mapa respectivo y la leyenda en la cual se menciona el tipo de suelo, el total de sales solubles y las zonas de capacidad portante. Ver Figura 40.
8. A partir de la base de datos del mapa geotécnico a 1.20m se realizaron modificaciones para obtener el mapa geotécnico a las alturas de 1.50m y 1.80m.

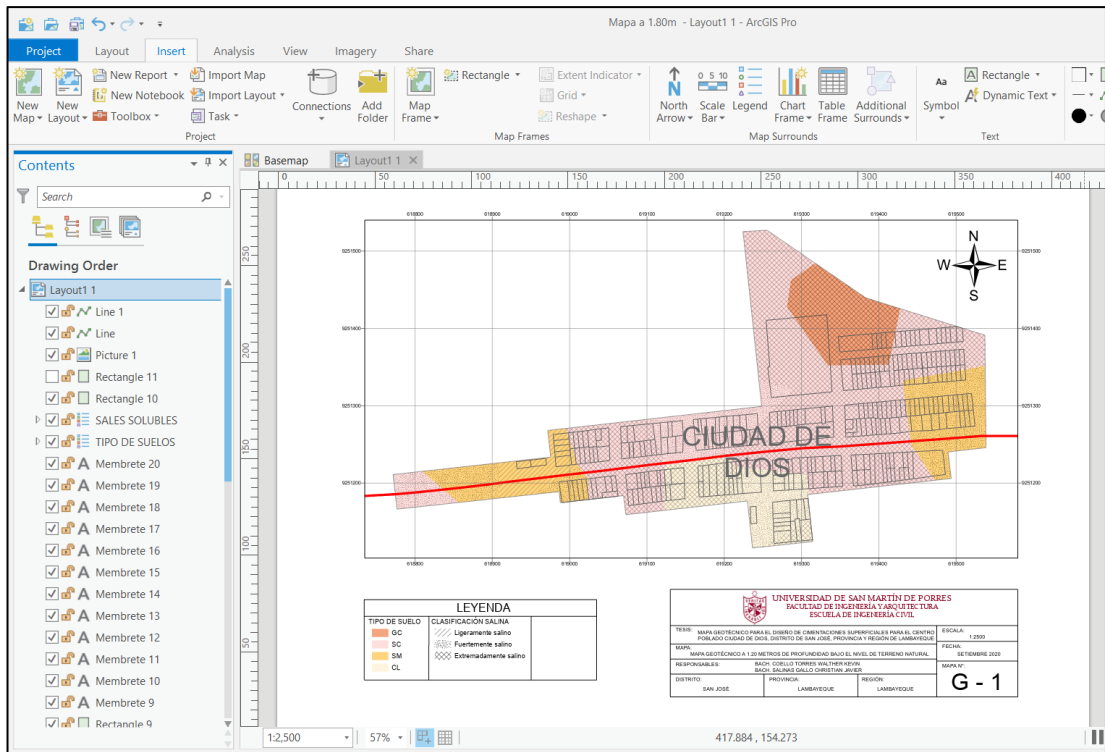


Figura 40. Layout de mapa geotécnico a 1.80m bajo el NTN.
Fuente: Elaborado por los autores

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Ensayos de Laboratorio

5.1.1 Ensayos de Propiedades físicas

5.1.1.1 Ensayo de contenido de humedad

El presente ensayo tuvo los siguientes resultados:

Tabla 19. Resultados del Ensayo de Contenido de humedad

Calicata	Estrato	Prof. (m)	Contenido de Humedad (%)
C1	E1	0.50 m - 1.30 m	21,12
	E2	1.30 m - 2.00 m	18,48
	E3	2.00 m - 3.00 m	19,75
C2	E1	0.80 m - 1.60 m	22,11
	E2	1.60 m - 2.30 m	20,98
	E3	2.30 m - 3.00 m	26,90
C3	E1	1.00 m - 3.00 m	16,21
C4	E1	0.40 m - 2.10 m	16,02
	E2	2.10 m - 3.00 m	27,27
C5	E1	0.70 m - 3.00 m	11,73
C6	E1	1.00 m - 3.00 m	16,86
C7	E1	0.40 m - 3.00 m	28,03
C8	E1	0.50 m - 2.10 m	11,73
	E2	2.10 m - 2.90 m	15,73
C9	E1	0.80 m - 1.90 m	12,63
	E2	1.90 m - 2.70 m	24,40
	E3	2.70 m - 3.00 m	31,03
C10	E1	1.00 m - 2.80 m	22,73
	E2	2.80 m - 3.00 m	37,00
C11	E1	0.60 m - 2.00 m	13,10
	E2	2.00 m - 3.00 m	12,08
C12	E1	0.60 m - 2.20 m	27,85
C13	E1	0.50 m - 1.40 m	20,27
	E2	1.40 m - 2.80 m	15,63
	E3	2.80 m - 3.00 m	24,88
C14	E1	0.40 m - 1.80 m	9,55
	E2	1.80 m - 3.00 m	18,44
C15	E1	0.60 m - 1.80 m	11,31
	E2	1.80 m - 3.00 m	23,02
C16	E1	0.60 m - 3.00 m	12,71
C17	E1	0.60 m - 2.40 m	16,44
C18	E1	0.50 m - 1.80 m	6,70
	E2	1.80 m - 2.90 m	20,95
C19	E1	0.90 m - 3.00 m	24,60
C20	E1	0.80 m - 2.60 m	12,19
	E2	2.60 m - 3.00 m	21,12

Fuente: Elaborado por los autores

Los contenidos de humedad mostrados en cursiva, aquellos de los estratos C6E1, C8E1, C9E2 han tenido una ligera corrección debido a que son suelos finos y tienen una categoría de Extremadamente Salina.

Se puede observar que los suelos son secos o ligeramente húmedos y que, por lo general, la humedad va aumentando cuando los estratos son más profundos.

5.1.1.2 Ensayo de Granulometría

Se logró realizar la tabla granulométrica, formada por los tamices, la abertura de ellos y los pesos retenidos. Se obtuvo cada uno de los porcentajes retenidos, en especial de aquel porcentaje retenido en la Malla N° 4, aquel retenido que pasa la malla N°4 y que está retenido en la Malla N° 200 y el que pasa la malla N° 200.

Se realizó la curva granulométrica para cada uno de los estratos de la siguiente manera:

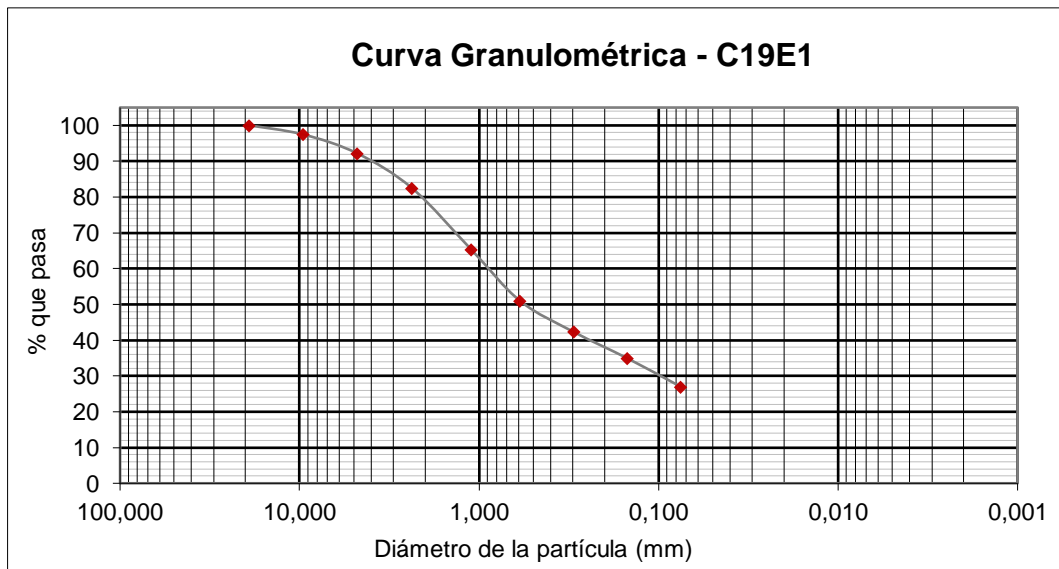


Figura 41. Ejemplo de curva granulométrica
Fuente: Elaborado por los autores

Los resultados de todas las granulometrías se encuentran, como se mencionó en el desarrollo del ensayo, en el Anexo 6: Ensayo de Granulometría.

5.1.1.3 Ensayo de Límites de Atterberg

Se desarrolló el Ensayo de Límite Líquido para todos los estratos siguiendo el procedimiento descrito en el desarrollo del ensayo. Se determinó el Diagrama de Fluidez, obteniendo la intersección del Porcentaje de Humedad a los 25 golpes. Un ejemplo del mismo es el siguiente:

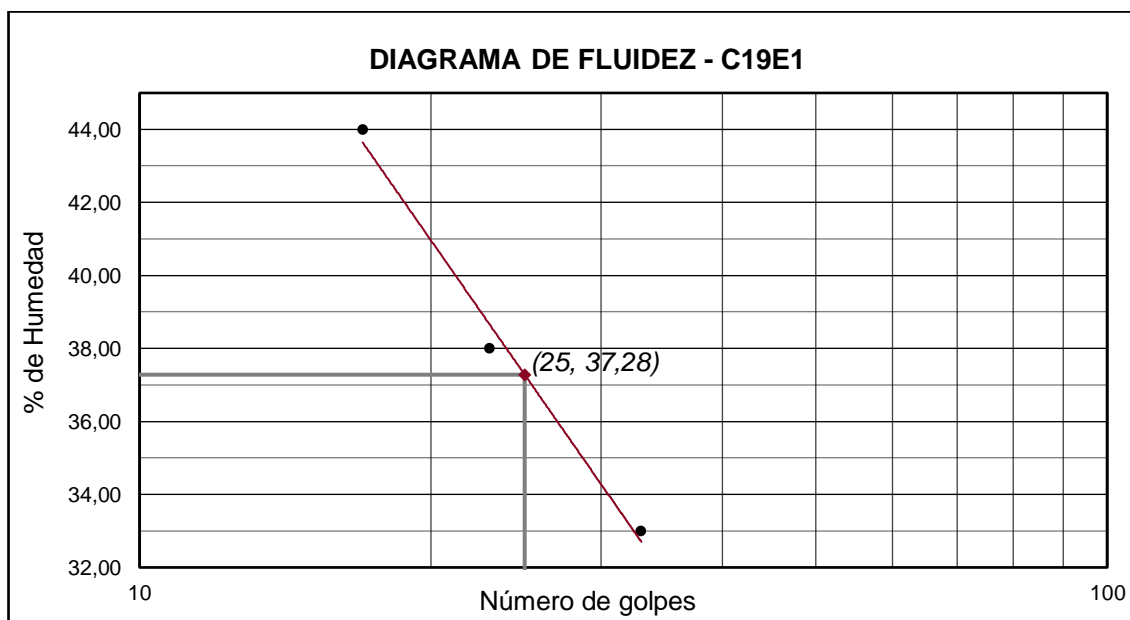


Figura 42. Ejemplo de Diagrama de Fluidez
Fuente: Elaborado por los autores

El ensayo de Límite Plástico también se logró determinar para todos los estratos; y con este, se obtuvo el Índice de Plasticidad de cada uno de los estratos.

Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 20. Resultados del Ensayo de Límites de Atterberg

Calicata	Estrato	L.L (%)	L.P (%)	I.P
C1	E1	29,00	20,00	9,00
	E2	31,00	15,00	16,00
	E3	39,00	24,00	15,00
C2	E1	33,00	22,00	11,00
	E2	29,00	23,00	6,00
	E3	24,00	18,00	6,00
C3	E1	30,00	23,00	7,00
C4	E1	28,00	26,00	2,00
	E2	43,00	21,00	22,00
C5	E1	33,00	23,00	10,00
C6	E1*	32,00	23,00	9,00
C7	E1	33,00	21,00	12,00
C8	E1*	28,00	11,00	17,00
	E2	28,00	18,00	10,00
C9	E1	22,00	14,00	8,00
	E2*	32,00	19,00	13,00
	E3	25,00	17,00	8,00
C10	E1	41,00	20,00	21,00
	E2	42,00	16,00	26,00
C11	E1	27,00	13,00	14,00
	E2	38,00	23,00	15,00
C12	E1	38,00	27,00	11,00
C13	E1	44,00	22,00	22,00
	E2	45,00	22,00	23,00
	E3	26,00	18,00	8,00
C14	E1	34,00	15,00	19,00
	E2	34,00	23,00	11,00
C15	E1	32,00	18,00	14,00
	E2	27,00	13,00	14,00
C16	E1	32,00	16,00	16,00
C17	E1	37,00	16,00	21,00
C18	E1	33,00	16,00	17,00
	E2	41,00	23,00	18,00
C19	E1	37,00	14,00	23,00
C20	E1	24,00	13,00	11,00
	E2	20,00	15,00	5,00

Fuente: Elaborado por los autores

Los resultados de límite líquido obtenidos para los 36 estratos tuvieron un valor menor a 50.

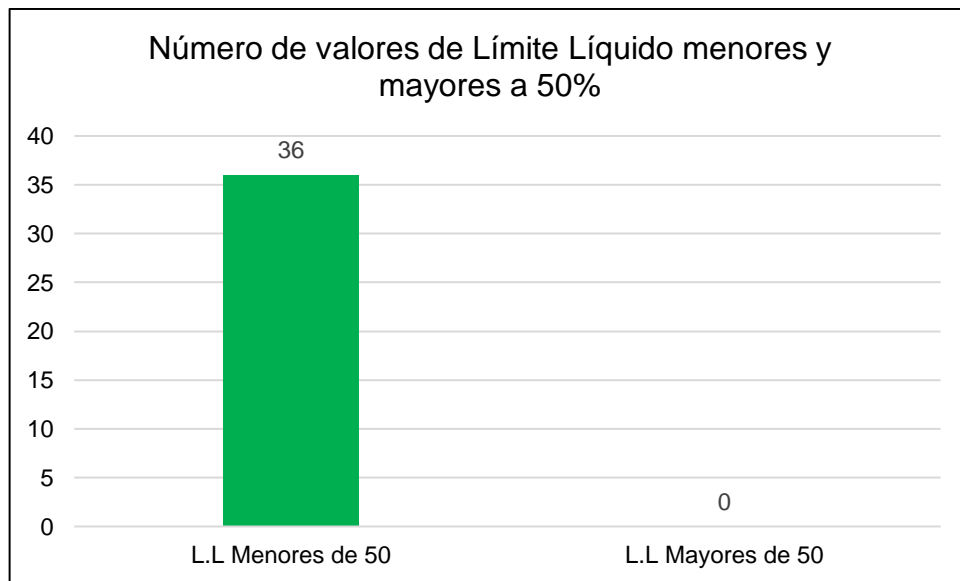


Figura 43. Valores de Límite Líquido menores y mayores al 50%
Fuente: Elaborado por los autores

Esto significa que son suelos de baja plasticidad, y que, en la clasificación de los suelos, se encuentran descartados los suelos CH, MH u OH.

5.1.1.4 Clasificación de Suelos por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Se logró la clasificación de los 36 estratos extraídos de campo. Se realizó tras la obtención de los resultados de los ensayos de granulometría y de Límites de Atterberg. Teniendo como resultados los siguientes:

Tabla 21. Resultados de Clasificación de suelos según SUCS

Cal.	Estrato	Profundidad	Símbolo	Descripción
C1	E1	0.50 m - 1.30 m	SC	Arena arcillosa
	E2	1.30 m - 2.00 m	SC	Arena arcillosa con grava
	E3	2.00 m - 3.00 m	CL	Arcilla ligera arenosa
C2	E1	0.80 m - 1.60 m	CL	Arcilla ligera con arena
	E2	1.60 m - 2.30 m	SM	Arena limosa
	E3	2.30 m - 3.00 m	SC-SM	Arena limo-arcillosa con grava
C3	E1	1.00 m - 3.00 m	SM	Arena limosa
C4	E1	0.40 m - 2.10 m	SM	Arena limosa
	E2	2.10 m - 3.00 m	CL	Arcilla ligera arenosa
C5	E1	0.70 m - 3.00 m	SC	Arena arcillosa
C6	E1	1.00 m - 3.00 m	CL	Arcilla ligera arenosa
C7	E1	0.40 m - 3.00 m	CL	Arcilla ligera arenosa
C8	E1	0.50 m - 2.10 m	CL	Arcilla ligera arenosa
	E2	2.10 m - 2.90 m	SC	Arena arcillosa
C9	E1	0.80 m - 1.90 m	SC	Arena arcillosa
	E2	1.90 m - 2.70 m	CL	Arcilla ligera arenosa
	E3	2.70 m - 3.00 m	SC	Arena arcillosa
C10	E1	1.00 m - 2.80 m	SC	Arena arcillosa
	E2	2.80 m - 3.00 m	SC	Arena arcillosa con grava
C11	E1	0.60 m - 2.00 m	SC	Arena arcillosa
	E2	2.00 m - 3.00 m	GC	Grava arcillosa con arena
C12	E1	0.60 m - 2.20 m	SM	Arena limosa
C13	E1	0.50 m - 1.40 m	SC	Arena arcillosa
	E2	1.40 m - 2.80 m	SC	Arena arcillosa
	E3	2.80 m - 3.00 m	SC	Arena arcillosa
C14	E1	0.40 m - 1.80 m	SC	Arena arcillosa con grava
	E2	1.80 m - 3.00 m	SC	Arena arcillosa
C15	E1	0.60 m - 1.80 m	GC	Grava arcillosa con arena
	E2	1.80 m - 3.00 m	SC	Arena arcillosa con grava
C16	E1	0.60 m - 3.00 m	SC	Arena arcillosa
C17	E1	0.60 m - 2.40 m	SC	Arena arcillosa
C18	E1	0.50 m - 1.80 m	SC	Arena arcillosa con grava
	E2	1.80 m - 2.90 m	CL	Arcilla ligera con arena
C19	E1	0.90 m - 3.00 m	SC	Arena arcillosa
C20	E1	0.80 m - 2.60 m	SC	Arena arcillosa
	E2	2.60 m - 3.00 m	SC-SM	Arena limosa-arcillosa

Fuente: Elaborado por los autores

De estos resultados, por simbología, se identifica la predominancia de los suelos SC (arenas con presencia de finos).

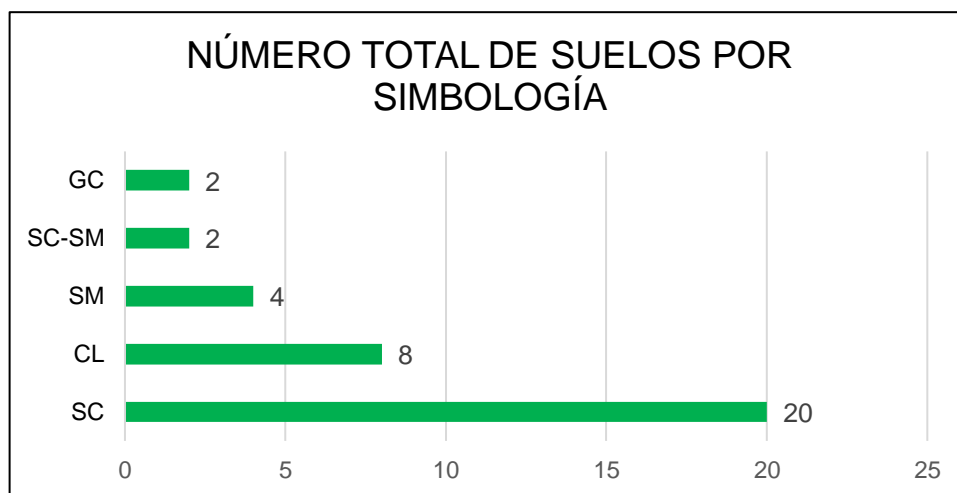


Figura 44. Número total de suelos por simbología

Fuente: Elaborado por los autores

Y por los nombres de los suelos según clasificación SUCS, se han obtenido los siguientes:

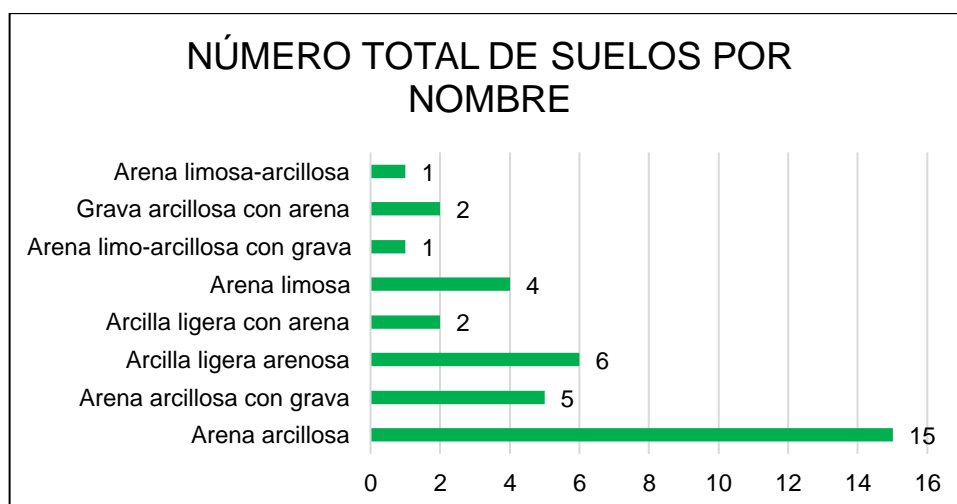


Figura 45. Número total de suelos por nombre

Fuente: Elaborado por los autores

De donde se obtiene la predominancia de arenas arcillosas, es decir, ligeramente cohesivas donde se espera un valor de la cohesión, en el ensayo de corte directo, diferente de 0.

5.1.1.5 Peso específico relativo

Se realizó correctamente el Ensayo de Peso específico relativo del cual se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 22. Resultados del Ensayo de Peso Específico Relativo

Cal.	Estrato	Gs
C1	E1	2,82
	E2	2,66
	E3	2,75
C2	E1	2,66
	E2	2,67
	E3	2,76
C3	E1	2,64
C4	E1	2,63
	E2	2,45
C5	E1	2,62
C6	E1	2,58
C7	E1	2,54
C8	E1	2,61
	E2	2,72
C9	E1	2,66
	E2	2,76
	E3	2,79
C10	E1	2,73
	E2	2,74
C11	E1	2,73
	E2	2,74
C12	E1	2,70
C13	E1	2,73
	E2	2,80
	E3	2,64
C14	E1	2,72
	E2	2,61
C15	E1	2,76
	E2	2,76
C16	E1	2,70
C17	E1	2,64
C18	E1	2,72
	E2	2,78
C19	E1	2,64
C20	E1	2,88

	E2	2,76
--	----	------

Fuente: Elaborado por los autores

Los resultados presentan valores desde 2.45 al 2.88. Estos son aceptables debido a que la mayoría de los suelos son arenas o tienen presencia de ellos como en los suelos arcillosos ligero arenosos.

5.1.2 Ensayos de Propiedades químicas

5.1.2.1 Ensayo de Contenido Total de Sales Solubles

Se logró determinar el total de sales disueltas (ppm) y la conductividad eléctrica de los suelos. Esto permitió clasificar los suelos por categorías salinas y, en caso de que sean suelos finos, reconocer los estratos que necesiten corrección por contenido de sales. Aquellos estratos fueron el C6E1, C8E1 y C9E2 y su corrección por contenido de sales se puede encontrar en el Anexo 12. Tras realizar la corrección, se identificó que ninguna corrección modificó el contenido de humedad, límite líquido o límite plástico en más del 3.52%.

El único estrato del que no se pudo determinar la salinidad fue el estrato C15E2, debido a la turbidez de la muestra obtenida tras la agitación y reposo del espécimen por 18 horas. Esta turbidez impedía la recolección del agua suspendida y, a pesar de que el ensayo se realizó dos veces, los valores de mililitros obtenidos no son fiables según la norma (mínimo de 100ml).

La siguiente tabla permite apreciar los resultados obtenidos del desarrollo del Ensayo de Contenido Total de Sales Solubles, con plantilla en el Anexo 11: Ensayo de Contenido Total de Sales Solubles.

Tabla 23. Resultados del Ensayo de Contenido Total de Sales Solubles

Cal.	Est.	TSD (ppm)	Cond. Eléctrica (dS/m)	Clasificación salina	% que pasa tamiz N°200	Requiere corrección por Sales
C1	E1	7920,00	12,36	Fuertemente Salino	34,77	No
	E2	8520,00	13,29	Fuertemente Salino	31,54	No
	E3	7200,00	11,23	Fuertemente Salino	55,04	No
C2	E1	7080,00	11,04	Fuertemente Salino	73,19	No
	E2	5400,00	8,42	Fuertemente Salino	26,62	No
	E3	11253,33	17,56	Extremadamente Salino	25,94	No
C3	E1	2280,00	3,56	Ligeramente Salino	17,54	No
C4	E1	5400,00	8,42	Fuertemente Salino	47,09	No
	E2	6360,00	9,92	Fuertemente Salino	59,09	No
C5	E1	11160,00	17,41	Extremadamente Salino	16,85	No
C6	E1	26040,00	40,62	Extremadamente Salino	67,60	Sí
C7	E1	5520,00	8,61	Fuertemente Salino	59,47	No
C8	E1	10560,00	16,47	Extremadamente Salino	51,29	Sí
	E2	13066,67	20,38	Extremadamente Salino	28,43	No
C9	E1	12360,00	19,28	Extremadamente Salino	41,96	No
	E2	13920,00	21,72	Extremadamente Salino	53,81	Sí
	E3	21600,00	33,70	Extremadamente Salino	42,24	No
C10	E1	11100,00	17,32	Extremadamente Salino	43,65	No
	E2	20400,00	31,82	Extremadamente Salino	23,61	No
C11	E1	14880,00	23,21	Extremadamente Salino	48,98	No
	E2	14626,67	22,82	Extremadamente Salino	25,10	No
C12	E1	8400,00	13,10	Fuertemente Salino	42,70	No
C13	E1	9800,00	15,29	Fuertemente Salino	40,64	No
	E2	12600,00	19,66	Extremadamente Salino	42,04	No
	E3	22080,00	34,44	Extremadamente Salino	31,89	No
C14	E1	26316,67	41,05	Extremadamente Salino	2,08	No
	E2	14026,67	21,88	Extremadamente Salino	28,51	No
C15	E1	22320,00	34,82	Extremadamente Salino	19,19	No
	E2	No se logró determinar				No
C16	E1	6720,00	10,48	Fuertemente Salino	24,12	No
C17	E1	8640,00	13,48	Fuertemente Salino	27,07	No
C18	E1	20040,00	31,26	Extremadamente Salino	5,61	No
	E2	9240,00	14,41	Fuertemente Salino	74,68	No
C19	E1	16878,26	26,33	Extremadamente Salino	26,94	No
C20	E1	13320,00	20,78	Extremadamente Salino	39,35	No

	E2	5550,00	8,66	Fuertemente Salino	19,43	No
--	----	---------	------	--------------------	-------	----

Fuente: Elaborado por los autores

Los resultados muestran una predominancia de estratos extremadamente salinos y fuertemente salinos. Los suelos ligeramente salinos, con un estrato, que significa el 3% de la muestra; los suelos fuertemente salinos, con 14 estratos, representan el 40% de la muestra y los suelos extremadamente salinos, con 20 estratos, al 57% de la muestra.

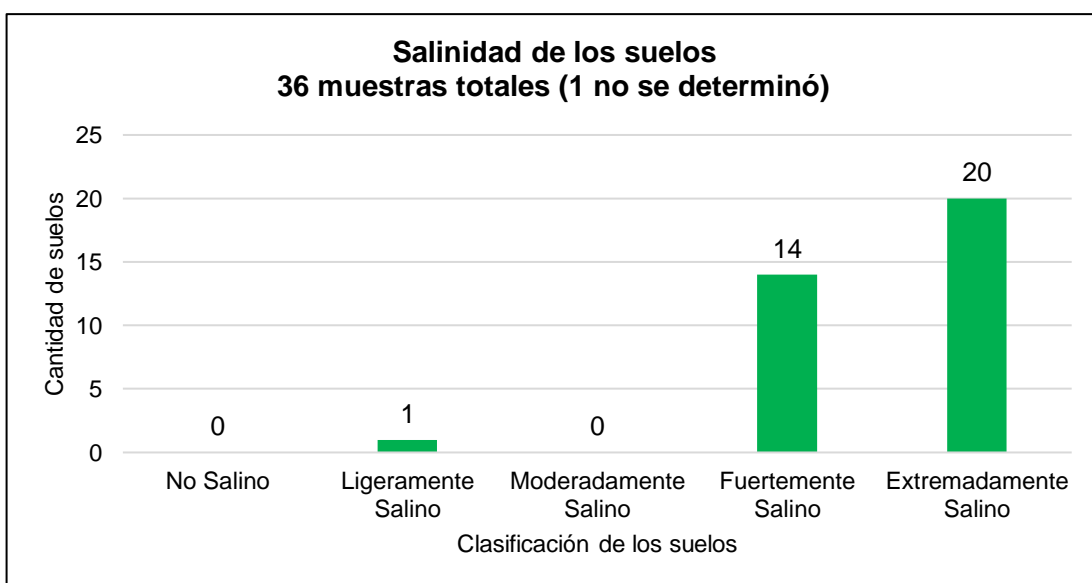


Figura 46. Resultados de Ensayo de Contenido Total de Sales Solubles

Fuente: Elaborado por los autores

Estos resultados también muestran los 5 estratos más salinos, elegidos para desarrollarse los ensayos de Contenido de Sulfatos y Contenido de Cloruros.

Tabla 24. Los cinco estratos más salinos según el Ensayo de Contenido Total de Sales Solubles

N °	Nomenclatura	TDS (ppm)	Cond. Eléctrica (dS/m)
1	C14E1	26317	41,05
2	C6E1	26040	40,62
3	C15E1	22320	34,82
4	C13E3	22080	34,44
5	C9E3	21600	33,70

Fuente: Elaborado por los autores

5.1.2.2 Ensayo de Contenido de Sulfatos

Se logró desarrollar este ensayo en el laboratorio JJ Geotecnia SAC, en la ciudad de Lima y los resultados fueron los siguientes:

Tabla 25. Resultados del ensayo de Contenido de Sulfatos

N °	ESTRATO	iones de sulfatos (ppm)	% en peso
1	C14E1	7212,00	0,721
2	C6E1	2379,00	0,238
3	C15E1	573,00	0,057
4	C13E3	3154,00	0,315
5	C9E3	4581,00	0,458

Fuente: Elaborado por los autores

Considerando lo indicado por la Norma E-060 Concreto Armado, todos los suelos, a excepción del C13E3 (exposición moderada), están bajo una exposición severa de sulfatos. Esto significa que el 80% de los suelos muestreados deben emplear en la construcción de las viviendas (especialmente cimientos y primer piso) cemento tipo V, además de utilizar una relación máxima agua/cemento de 0.45 y buscar una resistencia a la compresión mínima de 310 kg/cm² (pese a las dificultades sociales).

Si se considera el estrato C13E3 y la zona de influencia que genera para cimentación; la relación agua-cemento máxima puede ser 0.5, el cemento tipo II, IP(MS) y variaciones y una resistencia mínima a la compresión de 280 kg/cm². Sin embargo, los resultados muestran que los estratos con presencia de sulfatos severa están en la superficie y se deben tomar mayores precauciones.

En el Anexo 13: Resultados de los Ensayos de Contenido de Sulfatos y Contenido de Cloruros, se pueden apreciar los resultados finales.

5.1.2.3 Ensayo de Contenido de Cloruros

Se logró desarrollar este ensayo en el laboratorio JJ Geotecnia SAC, en la ciudad de Lima y los resultados fueron los siguientes:

Tabla 26. Resultados del Ensayo de Contenido de Cloruros

N °	ESTRATO	iones de cloruros (ppm)	% en peso
1	C14E1	4133,00	0,413
2	C6E1	4567,00	0,457
3	C15E1	1817,00	0,182
4	C13E3	3767,00	0,377
5	C9E3	4467,00	0,447

Fuente: Elaborado por los autores

Estos resultados muestran la presencia de iones de cloruros en los suelos de una forma dañina para el acero (>1000 ppm). Esta condición agresiva se puede atenuar considerando una relación agua/cemento de 0.4, una resistencia a la compresión del concreto de 350 kg/cm² y un recubrimiento mínimo de 7.5 cm para las cimentaciones expuestas a humedad y en contacto directo con el suelo. (ACI 318, p. 341 y p. 357). Además, considerar para aquellos elementos estructurales (vigas y columnas) construidos en los pisos más bajos las condiciones de un suelo con exposición XS1, según la norma española EN 206. Estas medidas indican una relación máxima agua/cemento de 0.5, una resistencia a la compresión mínima de 300 kg/cm² y un recubrimiento mínimo para el concreto armado de 3.5 cm.

5.1.3 Ensayos de Propiedades mecánicas

5.1.3.1 Ensayo de Corte Directo

Se logró obtener los parámetros de resistencia al corte, cohesión y ángulo de fricción, para todos los suelos que se sometieron al ensayo.

Se ensayaron todos los suelos menos los suelos C4E2 y C9E3, debido a que, según explican las limitaciones del estudio, los tiempos y el acceso en laboratorios del medio vienen siendo reducidos debido a la pandemia de la COVID19. Sin embargo, no ensayar estos suelos no afecta la creación del mapa geotécnico en sus diferentes alturas debido a que su estratigrafía se encuentra a mayor profundidad de los 1.80m bajo del nivel de terreno natural.

Aquellos suelos que no se encuentran en los cálculos de capacidad portante debido a que su estratigrafía es, de igual manera, más profunda de los 1.80 m bajo el nivel de terreno natural pero que sí han sido ensayados, se realizaron antes de promulgado el Decreto Supremo N° 044-2020-PM Estado de Emergencia Nacional del 15 de marzo del 2020 debido a la pandemia de la COVID19.

Los resultados del ensayo de Corte directo se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 27. Resultados del Ensayo de Corte Directo

Calicata	Estrato	c (kPa)	Φ
C1	E1	27,55	17,75
	E2	34,33	14,62
	E3	15,34	24,63
C2	E1	28,91	17,55
	E2	34,33	15,04
	E3	18,06	22,34
C3	E1	23,48	21,96
C4	E1	26,19	19,18
	E2	No se evaluó	
C5	E1	18,06	18,77
C6	E1*	27,55	18,98
C7	E1	39,76	17,13
C8	E1*	28,91	15,46
	E2	34,33	25,74
C9	E1	16,70	23,69
	E2*	27,55	16,09
	E3	No se evaluó	
C10	E1	19,41	24,07
	E2	75,03	13,34
C11	E1	41,12	16,93
	E2	26,19	17,96
C12	E1	42,47	14,62
C13	E1	33,99	13,48
	E2	11,27	24,44
	E3	12,63	24,63
C14	E1	4,49	27,91
	E2	31,62	14,62
C15	E1	37,55	15,89
	E2	28,91	14,20
C16	E1	35,35	12,90
C17	E1	26,19	18,37
C18	E1	28,91	15,46
	E2	27,55	15,68
C19	E1	31,62	18,77
C20	E1	27,55	20,98
	E2	16,70	22,54

Fuente: Elaborado por los autores

5.2 Obtención de la Capacidad Portante

Se realizó el cálculo de la capacidad portante última y capacidad portante admisible, con un factor de seguridad de 3, según los resultados obtenidos en el Ensayo de Corte Directo previa conversión de unidades.

Los resultados de Capacidad Portante Última fueron:

Tabla 28. Resultados de Capacidad Portante Última

CAPACIDAD PORTANTE ÚLTIMA POR MEYERHOF q_u (kg/cm²)			
Calicata	Profundidad de cimentación Df		
	1.2 m	1.5 m	1.8 m
C1	9,05	8,81	9,33
C2	9,01	9,72	9,95
C3	11,81	13,03	14,20
C4	9,74	10,61	11,43
C5	7,26	8,03	8,77
C6	9,85	10,68	11,47
C7	11,48	12,29	13,04
C8	7,96	8,62	9,24
C9	11,11	12,47	13,80
C10	10,83	11,91	12,94
C11	11,61	12,41	13,15
C12	9,90	10,53	11,09
C13	7,65	11,11	12,50
C14	9,63	11,46	8,92
C15	10,04	10,77	7,93
C16	7,62	8,16	8,64
C17	9,03	9,81	10,54
C18	7,94	8,60	8,67
C19	10,75	11,60	12,39
C20	12,39	13,60	14,75

Fuente: Elaborado por los autores

Los resultados de Capacidad Portante Admisible, que serán utilizados para la creación del Mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales para la zona de estudio fueron:

Tabla 29. Resultados de Capacidad Portante Admisible

CARGA ADMISIBLE POR MEYERHOF q_{adm} (kg/cm²)			
Calicata	Profundidad de cimentación Df		
	1.2 m	1.5 m	1.8 m
C1	3,02	2,94	3,11
C2	3,00	3,24	3,32
C3	3,94	4,34	4,73
C4	3,25	3,54	3,81
C5	2,42	2,68	2,92
C6	3,28	3,56	3,82
C7	3,83	4,10	4,35
C8	2,65	2,87	3,08
C9	3,70	4,16	4,60
C10	3,61	3,97	4,31
C11	3,87	4,14	4,38
C12	3,30	3,51	3,70
C13	2,55	3,70	4,17
C14	3,21	3,82	2,97
C15	3,35	3,59	2,64
C16	2,54	2,72	2,88
C17	3,01	3,27	3,51
C18	2,65	2,87	2,89
C19	3,58	3,87	4,13
C20	4,13	4,53	4,92

Fuente: Elaborado por los autores

En resumen, los resultados de capacidad portante admisible por profundidad de cimentación tienen estos rangos:

Tabla 30. Valores mínimos y máximos de los resultados de Capacidad Portante Admisible

Profundidad de Cimentación, Df (m)	Valor mínimo (kg/cm ²)	Valor máximo (kg/cm ²)
1,20	2,42	4,13
1,50	2,68	4,53
1,80	2,64	4,92

Fuente: Elaborado por los autores

5.3 Elaboración del mapa geotécnico

La representación gráfica de los valores de propiedades físicas, químicas y mecánicas de los suelos se logró mediante el software ArcGIS 10.0. Este nos permitió plasmar los valores en los puntos establecidos según el procedimiento explicado en el Capítulo IV.

Para la profundidad de 1,20m debajo del nivel de terreno natural, el software permitió plasmar las diferentes zonas según los indicadores:

Tabla 31. Indicadores y zonas del Mapa geotécnico a 1.20m bajo el NTN

INDICADOR	Número de Zonas	Descripción
Tipo de Suelo	4	GC, SC, SM, CL
Contenido Total de Sales Solubles	3	Ligeramente Salino, Fuertemente Salino, Extremadamente Salino
Capacidad portante admisible	3	1,5 - 2,5 kg/cm ² ; 2,5 - 3,5 kg/cm ² ; 3,5 - 4,5 kg/cm ²

Fuente: Elaborado por los autores

La distribución de los indicadores que describen las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los suelos, para esta altura, queda definido de la siguiente manera:

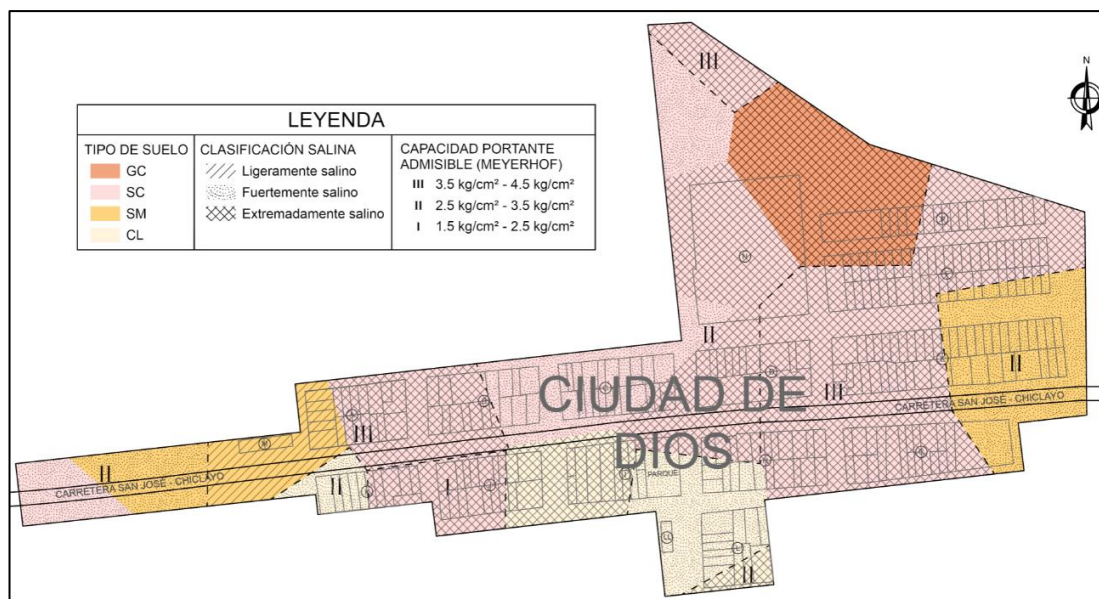


Figura 47. Mapa geotécnico a 1.20m bajo el nivel del terreno natural
Fuente: Elaborado por los autores

Por su parte, para la profundidad de 1,50m debajo del nivel de terreno natural, los indicadores quedan definidos de la siguiente manera:

Tabla 32. Indicadores y zonas del Mapa geotécnico a 1.50m bajo el NTN

INDICADOR	Número de Zonas	Descripción
Tipo de Suelo	4	GC, SC, SM, CL
Contenido Total de Sales Solubles	3	Ligeramente Salino, Fuertemente Salino, Extremadamente Salino
Capacidad portante admisible	2	2,5 - 3,5 kg/cm ² ; 3,5 - 4,5 kg/cm ²

Fuente: Elaborado por los autores

La distribución gráfica de los suelos se representa de la siguiente manera:

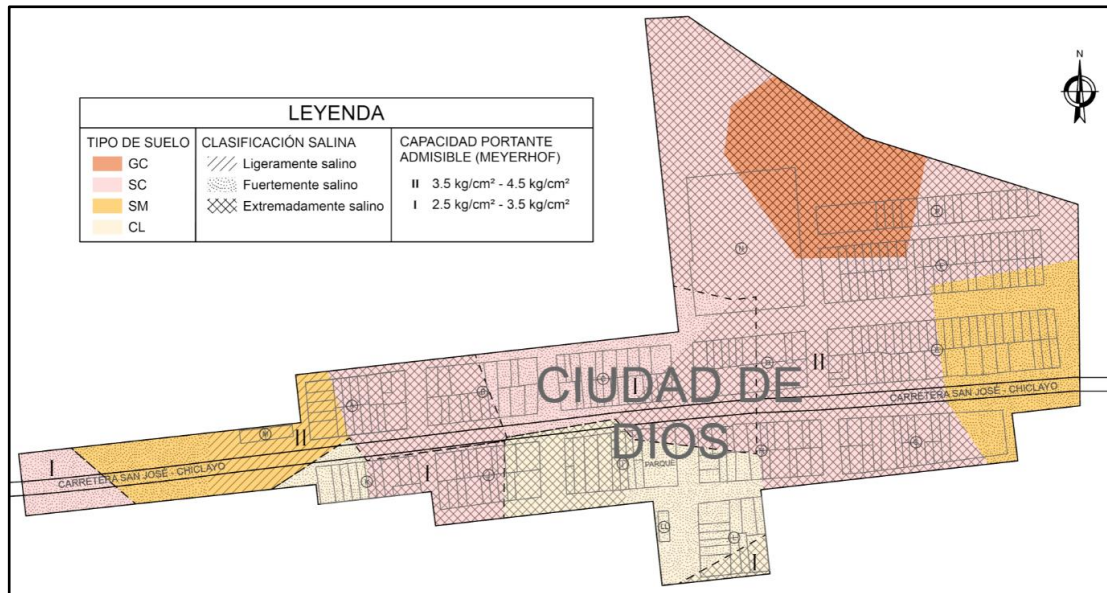


Figura 48. Mapa geotécnico a 1.50m bajo el nivel del terreno natural
Fuente: Elaborado por los autores

Finalmente, el mapa geotécnico de 1.80m debajo del nivel de terreno natural cuenta con los indicadores y las zonas siguientes:

Tabla 33. Indicadores y zonas del Mapa geotécnico a 1.80m bajo el NTN

INDICADOR	Número de Zonas	Descripción
Tipo de Suelo	4	GC, SC, SM, CL
Contenido Total de Sales Solubles	3	Ligeramente Salino, Fuertemente Salino, Extremadamente Salino
Capacidad portante admisible	3	2,5 -3,5 kg/cm ² ; 3,5 - 4,5 kg/cm ² , 4,5 - 5,0 kg/cm ²

Fuente: Elaborado por los autores

Graficado en el software, se ha logrado la siguiente distribución:

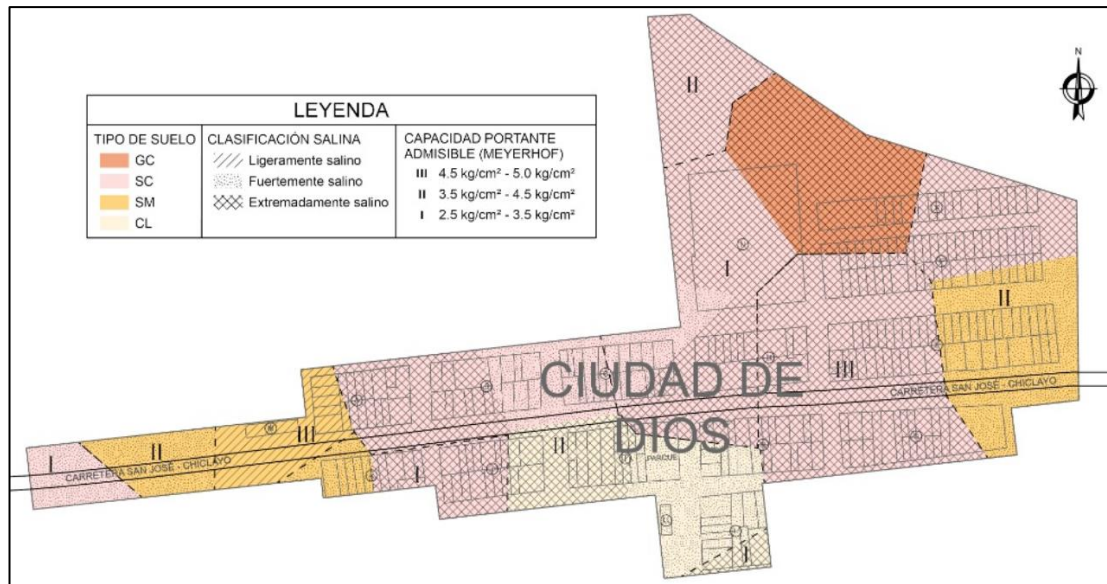


Figura 49. Mapa geotécnico a 1.80m bajo el nivel del terreno natural
Fuente: Elaborado por los autores

El conjunto de los tres mapas geotécnicos se encuentra en el Anexo 2: Mapa Geotécnico a 1.20, 1.50 y 1.80m de profundidad de cimentación.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Interpretación de los resultados según Hipótesis Específicas

Se realizó la comparación y contrastación de las hipótesis demostrando lo siguiente:

1. La Hipótesis Específica 1 planteaba que “Mediante los ensayos de granulometría, límites de Atterberg, contenido de humedad, peso específico relativo y clasificación de suelos se determinarán las propiedades físicas y se elaborará un mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales para el centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque.”

Tabla 34. Ensayos de Propiedades Físicas por realizar y realizados

Ensayos de Propiedades Físicas	Por realizar	Realizados
Contenido de Humedad	36	36
Análisis Granulométrico	36	36
Límite Líquido	36	36
Límite Plástico	36	36
Peso específico relativo	36	36
Total de ensayos	180	180

Fuente: Elaborado por los autores

Como se puede apreciar en el punto 5.1.1 Ensayos de propiedades físicas y en la Tabla 34, la Hipótesis Específica 1 ha sido validada pues mediante la obtención de la granulometría y de los límites de Atterberg se logró la clasificación de suelos. Esta información es un

indicador del mapa geotécnico. Por otro lado, el peso específico relativo ha sido útil en el ensayo de Corte Directo al momento de obtener las condiciones del ensayo.

2. La Hipótesis Específica 2 proponía que “Mediante los ensayos de Contenido total de Sales Solubles, Contenido de sulfatos y Contenido de cloruros se determinarán las propiedades químicas y se elaborará un mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales para el centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque”.

Tabla 35. Ensayos de propiedades químicas por realizar y realizados

Ensayos de Propiedades Químicas	Por realizar	Realizados
Cont. Total de Sales solubles	36	35
Contenido de Sulfatos	5	5
Contenido de Cloruros	5	5

Fuente: Elaborado por los autores

Tal como se evidencia en el punto 5.1.2 Ensayos de Propiedades químicas, la Hipótesis Específica 2 ha sido verificada casi en su totalidad, pues hubo solo 1 estrato, el C15E2, del que no se pudo obtener el contenido total de sales solubles. Sin embargo, esto no ha afectado la creación del mapa geotécnico pues los otros 35 estratos sí se pudieron clasificar. Además, para los ensayos de contenido de sulfatos y cloruros, se logró la meta de evaluar los cinco estratos más salinos y se obtuvo los resultados del 100% de ellos.

3. La Hipótesis Específica 3, suponía que “Mediante el ensayo de corte directo se determinarán las propiedades mecánicas de los suelos y se elaborará un mapa geotécnico para el diseño de

cimentaciones superficiales para el centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque.”

Tabla 36. Ensayos de propiedades mecánicas por realizar y realizados

Ensayo de Propiedades Mecánicas	Por realizar	Realizados
Corte Directo	36	34

Fuente: Elaborado por los autores

Se ha verificado en el punto 5.1.3 Ensayos de Propiedades Mecánicas, la validez de esta hipótesis en su totalidad. Se pudieron ensayar todos los estratos influyentes en el mapa geotécnico y se obtuvo la capacidad portante admisible (indicador del mapa geotécnico).

6.2 Comparación y contraste con Antecedentes de la investigación

Los resultados de la presente investigación tienen las siguientes similitudes y diferencias con los estudios previos tomados como Antecedentes:

Escalante, López y Zepeda (2018), también lograron realizar un mapa geotécnico utilizando el software ArcGIS 10.0. Ellos mostraron curvas de contenido de humedad dependiendo de la estación en la que se encontraban, a diferencia de la presente investigación que obtuvo el contenido de humedad en época seca. También, comprobaron la geología local, ya que obtuvieron suelos de tipo limo arenosos y arenas limosas en su mayoría. De la misma manera, se realizó en nuestra investigación, donde se encontró similitudes de tipos de suelos en Caleta de San José debido a la predominancia de suelos arenosos.

Razmyar y Eslami (2017), también mostraron características geotécnicas como contenido de humedad, capacidad portante, tipo de suelo, límites de Atterberg, permeabilidad, entre otras. La diferencia fue que realizaron mapas geotécnicos por cada uno de las características, en contraste con la presente investigación, que las unificó en tres indicadores: tipo de suelo, contenido total de sales solubles y capacidad portante admisible.

Hernández y Zeña (2009), realizaron un mapa geotécnico para la ciudad de Olmos a 1.50m bajo el nivel de terreno natural en el que predominó la heterogeneidad del suelo a diferencia de la presente investigación en la que se obtuvo homogeneidad de los suelos. El estudio tuvo una geología homogénea pero los resultados respecto al tipo de suelo fueron distintos. aunque era lo esperado siendo un área de estudio mucho mayor de aproximadamente 314 hectáreas. Se realizaron ensayos como: contenido de humedad, granulometría por tamizado, peso específico de sólidos. Límites de Atterberg, contenido de sales, consolidación y corte directo; ensayos muy similares a los que se desarrollaron en la presente investigación, con excepción del ensayo de consolidación.

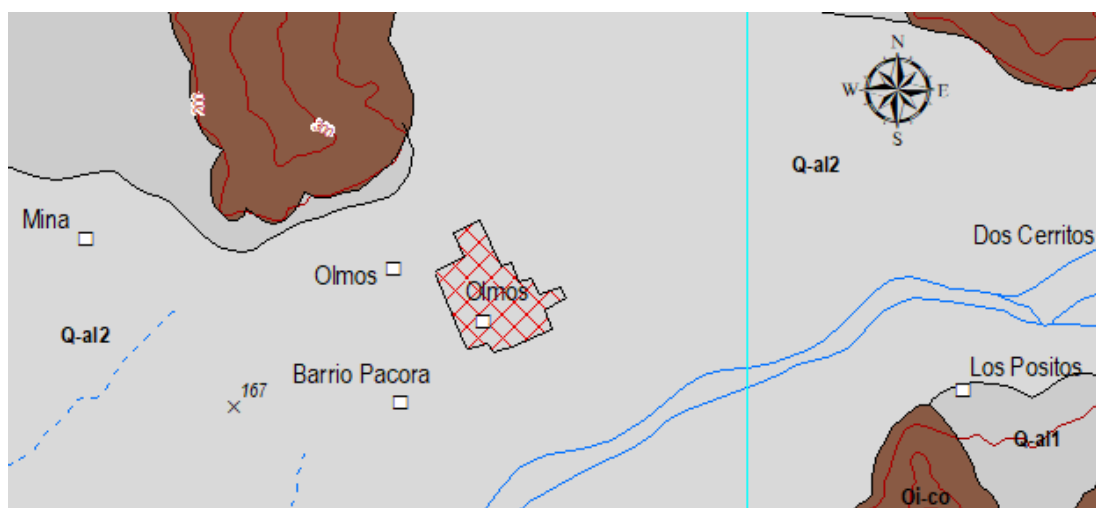


Figura 50. Geología de Ciudad Olmos, Lambayeque
Fuente: INGEMMET, 2012

Sánchez (2019), desarrolló un estudio más parecido a lo que se realizó en la presente investigación debido a la similitud de hectáreas en las zonas de estudio y al número de calicatas realizadas: 18 calicatas en 10.93 hectáreas y 20 calicatas en 11.86 hectáreas en nuestra investigación. Obtuvo una zonificación de capacidad portante admisible por debajo de los 1.80m del nivel de terreno natural. Por otro lado, la presente investigación obtuvo las capacidades portantes admisibles por encima de los 1.80m bajo el nivel del terreno natural.

Vigil (2017), elaboró un mapa de zonificación de capacidad portante a 1.50m bajo el nivel del terreno natural en el que también tomó en cuenta un Factor de Seguridad de 3. Logró sus objetivos utilizando la ecuación de capacidad portante de Terzaghi a diferencia de la presente investigación que empleó la ecuación de Meyerhof.

Una referencia que no forma parte de los antecedentes pero que es un punto de comparación importante es el Mapa Geotécnico de la Caleta San José, que está a 5 km al oeste de la zona de estudio y está adjuntado en el Anexo 24. Fue elaborado en 2003 por INDECI y utiliza teoría de Terzaghi para dar los valores de capacidad portante; el presente estudio, en cambio, utiliza teoría de Meyerhof debido a lo explicado en el Capítulo II: Marco Teórico. Los valores encontrados en aquel estudio tienen un rango de 0,5 a 1,0 kg/cm² para la capacidad portante admisible. Estos valores son menores a los que se han encontrado en el presente estudio y la diferencia se debe a la teoría utilizada ya que los valores encontrados por Meyerhof tienden a ser más altos.

Con fines didácticos, se han encontrado también los valores de capacidad portante admisible utilizando teoría de Terzaghi (ecuación de cimentación cuadrada, Tabla 8 de la presente investigación y FS = 3) para mostrar la diferencia que podría existir en caso se hubiese deseado crear el mapa geotécnico de Ciudad de Dios usando la misma teoría pese a sus limitaciones:

Tabla 37. Capacidad portante admisible mediante teoría de Terzaghi

CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE POR TERZAGHI q_{adm} (kg/cm²)			
Calicata	Profundidad de Cimentación Df (m)		
	1,20	1,50	1,80
1	1,17	1,23	1,27
2	1,18	1,24	1,31
3	1,30	1,39	1,49
4	1,17	1,24	1,31
5	0,90	0,97	1,04
6	1,20	1,27	1,33
7	1,48	1,54	1,60
8	1,12	1,18	1,24
9	1,16	1,27	1,37
10	1,43	1,53	1,63
11	1,52	1,58	1,64
12	1,42	1,46	1,51
13	1,14	1,11	1,22
14	0,83	0,96	1,22
15	1,36	1,42	1,07
16	1,14	1,18	1,23
17	1,10	1,17	1,23
18	1,06	1,12	1,14
19	1,34	1,40	1,47
20	1,41	1,51	1,60

Fuente: Elaborado por los autores

De la tabla se puede observar que se genera una sola zona de capacidad portante admisible para las tres alturas y, sin distinción del tipo de suelo, queda definido de la siguiente manera:

Tabla 38. Rangos obtenidos según Terzaghi

Df (m)	1,20	1,50	1,80
Valor Mínimo (kg/cm ²)	0,83	0,96	1,04
Valor Máximo (kg/cm ²)	1,52	1,58	1,64

Fuente: Elaborado por los autores

Estos valores resultan cercanos a los encontrados por parte de INDECI.

6.3 Formulación de nueva hipótesis

Tras corroborar las hipótesis presentadas al inicio de la investigación, se propone una hipótesis nueva, que complementarían los resultados de propiedades mecánicas obtenidos mediante el ensayo de Corte Directo y podría ser una alternativa para encontrar las propiedades mecánicas en futuras investigaciones de la rama de la Geotecnia debido a que su costo es menor y se aplica una vez por calicata. La hipótesis planteada es la siguiente:

Mediante el ensayo de Standard Penetration Test (SPT) se determinarán las propiedades mecánicas de los suelos y se elaborará un mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales para el centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque.

CONCLUSIONES

1. Se determinaron las propiedades físicas de los suelos; las cuales muestran un contenido de humedad bajo en épocas de verano y de baja plasticidad. La zona de estudio posee la predominancia de arenas arcillosas (SC) en un 55.56%, seguidas por arcillas ligeras (CL) en un 22.2% por lo que se puede decir que el suelo es relativamente homogéneo.

Se puede analizar esta predominancia de los suelos de simbología SC en nuestra zona de estudio, con el mapa geotécnico de la Caleta del distrito de San José (5 km al oeste y colindante con el Océano Pacífico) desarrollado el 2003 por INDECI. En este último, se tiene presencia de suelos SP en su mayoría y algunas zonas de suelos SC y SM (que también se encontraron en el centro poblado Ciudad de Dios). Por lo tanto, la presencia de suelos SC y SM puede ser una característica de la geología local.

La presencia de arenas arcillosas es natural en la zona debido a la geología aluvial en la que se encuentra la zona de estudio y que también se observa en la Caleta de San José.

2. Se determinaron las propiedades químicas de los suelos, las cuales muestran que el suelo de Ciudad de Dios tiene una salinidad de categoría “extremadamente salina” debido a la cercanía de 7 km que tiene la zona de estudio con el Océano Pacífico.

En cuanto al contenido de sulfatos y al contenido de cloruros, se deben tomar los valores más preventivos que hayan surgido de los resultados de ambos. Respecto a la resistencia a la compresión se recomienda usar para la cimentación una resistencia mínima de 350 kg/cm² y un recubrimiento mínimo de 7.50 cm. Además, se debe utilizar cemento Tipo V o Tipo II (MS). También, evitar el uso de concretos porosos y

permeables mediante relaciones de a/c bajas como 0.4 o 0.45 y un curado apropiado.

Para los elementos estructurales del primer nivel la resistencia mínima a la compresión puede reducirse a 310 kg/cm^2 . Un recubrimiento mínimo de 3.5 cm también es necesario.

La realidad social del centro poblado indica la baja posibilidad del proyectista en invertir altos presupuestos en buscar una resistencia a la compresión alta. Por ello, la selección de buenos materiales (cemento adecuado) y un correcto proceso constructivo del elemento estructural cimentado puede permitir el uso de concretos con menores resistencias a la compresión.

3. Se determinaron las propiedades mecánicas del suelo, que describen, con teoría de Meyerhof y un factor de seguridad de 3, para una profundidad de 1.2m bajo del nivel de terreno natural, el valor mínimo de capacidad portante admisible es de 2.42 kg/cm^2 y el valor máximo es 4.13 kg/cm^2 . Para una profundidad de cimentación de 1.5m el valor mínimo es de 2.68 kg/cm^2 y el valor máximo es de 4.53 kg/cm^2 . Finalmente, para una profundidad de cimentación de 1.8m el valor mínimo de capacidad portante admisible es de 2.64 kg/cm^2 y el valor máximo es de 4.92 kg/cm^2 .
4. En general, dadas las conclusiones precedentes, la obtención de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los suelos del centro poblado Ciudad de Dios, distrito de San José, provincia y región de Lambayeque ha permitido la elaboración del mapa geotécnico a tres profundidades distintas de cimentación (1.2m, 1.5m y 1.8m) en el cual se puede apreciar el tipo de suelo, la capacidad portante admisible y el contenido total de sales solubles por lo que la hipótesis general planteada es correcta.

El mapa geotécnico se puede encontrar en el Anexo 2: Mapa Geotécnico a 1.20m, 1.50 m y 1.80 m de profundidad de cimentación.

5. En relación a la extracción de muestras, conocer las redes de saneamiento existentes en la zona de estudio es muy importante en la toma de puntos de excavación. También, emplear pobladores de la zona para ello es útil, debido a que conocen el suelo y a los residentes de la zona.

La presencia de tuberías clandestinas es un punto desalentador a la hora de realizar excavaciones debido a que se pueden romper y eso puede generar problemas en caso se realicen estudios de manera particular.

El nivel freático se encontró a una profundidad mínima de 2.70 m del nivel de terreno natural en 5 calicatas (de un total de 20).

RECOMENDACIONES

1. Considerar la cantidad de muestra para el ensayo de granulometría, ya que es directamente proporcional al tamaño máximo nominal que se encuentre en campo; por lo que los estratos con granos más grandes requieren más cantidad de muestra. Por ello, se debe recolectar más muestra en campo y así se evitan problemas de cantidad de espécimen para los ensayos restantes.
2. Complementar el estudio contenido de sulfatos y cloruros en cada muestra extraída de la excavación. Además, si el estudio se realiza en una zona cercana al mar es necesaria una corrección por sales. Los valores corregidos pueden cambiar la posición del límite líquido y del índice de plasticidad en la Carta de Plasticidad y obtener un tipo de suelo distinto.
3. Conocer la calibración de la máquina de corte directo para dar un resultado más exacto en el momento de la obtención de la cohesión y el ángulo de fricción.
4. Realizar estudios geotécnicos en zonas adyacentes, como las habilitaciones urbanas progresivas Juan Tomis Stack I Etapa, Juan Tomis Stack II Etapa y habilitación urbana California para lograr una zonificación mediante un mapa geotécnico que abarque más área. Utilizar teoría de Meyerhof para lograr la concordancia entre los datos obtenidos.
5. Realizar una planificación urbana de acuerdo al tipo de suelo y capacidad portante admisible que se defina en un mapa geotécnico de todo el distrito.
6. Tener en cuenta los planos de interferencias (saneamiento, electricidad, gas) para evitar la ruptura de cualquier tubería existente al momento de la selección de la ubicación y de la excavación de las calicatas, en caso se desee realizar un mapa geotécnico en una zona poblada.

7. Realizar, para futuras investigaciones, estudios de asentamientos máximos y de grados de amenaza y vulnerabilidad respecto a fenómenos naturales teniendo en cuenta el grado de conservación de las edificaciones y su material predominante.