



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Evaluación de la capacidad portante de los suelos para cimentaciones  
superficiales de la zona urbana de la localidad de Caspizapa,  
provincia de Picota, región San Martín**

**Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil**

**AUTOR:**

**Carlos Andres Vigil Flores**

**ASESOR:**

**Ing. Dr. Fernando Ruiz Saavedra**

**Tarapoto – Perú**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Evaluación de la capacidad portante de los suelos para cimentaciones  
superficiales de la zona urbana de la localidad de Caspizapa,  
provincia de Picota, región San Martín**

**AUTOR:**

**Carlos Andres Vigil Flores**

**Sustentada y aprobada el día 30 de diciembre de 2019, ante el honorable jurado.**

.....  
**Ing. M. Sc. Enrique Napoleón Martínez Quiroz**

**Presidente**

.....  
**Ing. Iván Gustavo Reátegui Acedo**

**Miembro**

.....  
**Ing. Ernesto Eliseo García Ramírez**

**Secretario**

.....  
**Ing. Dr. Fernando Ruiz Saavedra**

**Asesor**

## Declaratoria de autenticidad

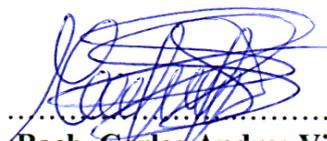
**Carlos Andres Vigil Flores**, con DNI N° 70245307, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **Evaluación de la capacidad portante de los suelos para cimentaciones superficiales de la zona urbana de la localidad de Caspizapa, provincia de Picota, región San Martín.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumimos bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mí accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 30 de diciembre del 2019.



.....  
**Bach. Carlos Andres Vigil Flores**

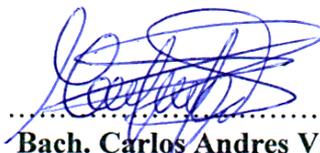
DNI N° 70245307

## Declaratoria jurada

**Carlos Andres Vigil Flores**, con DNI N° 70245307, domicilio legal en el Jr. Jorge Chávez N° 1693 Tarapoto, a efecto de cumplir con las Disposiciones Vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, **Declaro bajo juramento**, que todos los documentos, datos e información de la presente tesis y/o informe de Ingeniería, son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos lo dispuesto en las Normas Académicas de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 30 de diciembre del 2019.



.....  
**Bach. Carlos Andres Vigil Flores**

DNI N° 70245307

**Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y nombres: Vigil Flores Carlos Andres	
Código de alumno : 123130	Teléfono: 949055810
Correo electrónico : general3220@gmail.com	DNI: 70245307

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Datos Académicos**

Facultad de: Ing. Civil y Arquitectura
Escuela Profesional de: Ing. Civil

**3. Tipo de trabajo de investigación**

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

**4. Datos del Trabajo de investigación**

Título : Evaluación de la capacidad portante de los suelos para cimentaciones superficiales de la zona urbana de la localidad de Caspiyapa, provincia de Piura, región San Martín.
Año de publicación: 2019

**5. Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	<input checked="" type="checkbox"/>	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:


**6. Originalidad del archivo digital.**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

## 7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI “**Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA**”.

  
  
Firma y huella del Autor

## 8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

19 / 11 / 2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - T.  
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e  
Innovación de Acceso Abierto - UNSM-T.

  
Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea  
Responsable

\***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

\*\* **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

## **Dedicatoria**

**A Dios** por bendecirme con buena salud y con personas maravillosas que me apoyaron en todo momento

**A mis padres** por que se esfuerzan día a día por darnos lo mejor y por su amor inmenso.

**Carlos Andres Vigil Flores**

## **Agradecimiento**

Gracias a Dios por la vida y la oportunidad de dar un aporte a la sociedad.

A mis padres que siempre estuvieron conmigo en las buenas y en las malas, siempre dándome ánimos para nunca retroceder.

A todos mis maestros que se esforzaron cada clase en darnos lo mejor, gracias por transmitirnos su sabiduría, tanto académica como moral.

Al personal del laboratorio por haberme brindado el apoyo necesario, para hacer esto posible.

**Carlos Andres Vigil Flores**

## Índice

	Pág.
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento .....	vii
Índice .....	viii
Índice de tablas .....	x
Índice de figuras .....	xi
Resumen .....	xii
Abstract.....	xiii
Introducción.....	1
CAPÍTULO I .....	4
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	4
1.1. Antecedentes bibliográficos .....	4
1.2. Aspectos Generales del Estudio .....	7
1.2.1. Ubicación de área del estudio .....	7
1.2.2. Límites del área de estudio .....	7
1.2.2. Sismicidad .....	9
1.2.3. Clima.....	10
1.2.4. Geomorfología .....	10
1.3. Bases Teóricas .....	11
1.3.1. Definición De Suelo .....	11
1.3.2. Definición de mecánica de suelos .....	11
1.3.3. Clases de suelos .....	11
1.3.4. Estructura y textura de los suelos .....	11
1.3.5. Composición Mineralógica del Suelo .....	13
1.3.6. Relaciones volumétricas y gravimétricas .....	14
1.3.7. Relaciones de Volumen .....	16
1.3.8. Exploración de Suelos .....	19
1.3.9. Cimentaciones superficiales .....	30
1.3.10. Capacidad de Carga de Karl Terzagui .....	30
1.3.11. Definicion de Terminos Básicos .....	36

CAPÍTULO II.....	38
MATERIAL Y MÉTODOS .....	38
2.1. Materiales .....	38
2.2. Metodología .....	40
2.3. Instrumentos Bibliográficos .....	41
2.4. Procesamiento de la Información .....	42
2.5. Operacionalización de variables .....	43
2.6. Diseño Experimental de la Investigación .....	44
CAPÍTULO III .....	45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	45
3.1. Resultados .....	45
3.1.1. Ubicación de Calicatas en la Zona Urbana del Distrito de Caspizapa .....	45
3.1.2. Estudio de Mecánica de Suelos .....	46
3.1.3. Clasificación de suelos .....	49
3.1.4. Ensayo de compresión triaxial no consolidado .....	51
3.1.5. Registro de excavación del suelo .....	51
3.1.6. Análisis de Resultados .....	55
3.2. Discusión de Resultados .....	57
3.2.1. Contrastación de la Hipótesis .....	57
CONCLUSIONES.....	59
RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS.....	62

## Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1 Sistemas para identificar el tamaño de partículas.....	23
Tabla 2 Factores de carga para las ecuaciones de Terzaghi .....	32
Tabla 3 Factores de Capacidad de Carga Modificados de Terzaghi $N'_c, N'_q, N'_\gamma$ .....	34
Tabla 4 Ubicación de las calicatas.....	45
Tabla 5 Resumen de la obtención del contenido de humedad natural.....	46
Tabla 6 Resumen de las características granulométricas.....	47
Tabla 7 Límites de consistencia.....	48
Tabla 8 Clasificación del suelo según SUCS y AASHTO .....	49
Tabla 9 Densidad, ángulo de fricción y cohesión según ensayo triaxial.....	51

## Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Mapa Político del Perú.....	8
Figura 2. Mapa de la Región San Martín.....	8
Figura 3. Ubicación del proyecto de estudio .....	9
Figura 4. Zonas sísmicas del Perú .....	10
Figura 5. Esquema de la estructura y textura de los suelos .....	12
Figura 6. Estructura de los suelos gruesos.....	12
Figura 7. Esquema de la estructura de los suelos cohesivos .....	13
Figura 8. Esquema de una muestra de suelo, en tres fases .....	15
Figura 9. Gráfica de plasticidad.....	27
Figura 10. Clasificación de materiales de carreteras subrasantes.....	28
Figura 11. Falla de la capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación continua rígida en grava.....	31
Figura 12. Caso I, capacidad de carga afectada por nivel freático .....	35

## Resumen

El presente trabajo de investigación titulado: **Evaluación de la capacidad portante de los suelos para cimentaciones superficiales de la zona urbana de la localidad de Caspizapa, provincia de Picota, región San Martín**, se elaboró con la finalidad de evaluar y determinar la capacidad portante de los diferentes tipos de suelos de la zona urbana del distrito de Caspizapa. Posteriormente elaborar un mapa de zonificación y conocer el comportamiento del suelo para evitar posibles inconvenientes en el futuro. Para hacer los estudios se tuvo en cuenta la norma E050 del Reglamento Nacional de Edificaciones. Los ensayos se realizaron en el laboratorio de la Universidad Nacional De San Martín que fueron de contenido de humedad, límites de consistencia (Atterberg), análisis granulométrico, densidad, clasificación de suelos y el ensayo triaxial. Estos ensayos nos permiten comprender las propiedades, características y el comportamiento mecánico del suelo. El ensayo triaxial nos permite determinar propiedades como la densidad, el ángulo de fricción y la cohesión del suelo, para determinar la capacidad de carga.

**Palabras clave:** Capacidad Portante, Suelos, Zonificación, Densidad.

## Abstract

This research: Evaluation of the bearing capacity of soils for surface foundations in the urban area of the town of Caspizapa, Picota province, San Martín region, was developed with the purpose of evaluating and determining the bearing capacity of the different types of soils in the urban area of the Caspizapa. Subsequently, to make a zoning map and to know the soil behavior to avoid possible disadvantages in the future. The studies, took into account the E050 standard of the National Building Regulations. The tests were carried out in the laboratory of the National University of San Martín which were of moisture content, consistency limits (Atterberg), granulometric analysis, density, soil classification and the triaxial test. These tests allow us to understand the properties, characteristics and mechanical behavior of the soil. The triaxial test allows us to determine properties such as density, angle of friction and soil cohesion, in order to determine the load capacity.

Keywords: Bearing Capacity, Soils, Zoning, Density.



## **Introducción**

El suelo se utiliza como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil y con cimientos estructurales. Por lo tanto, los ingenieros civiles deben estudiar las propiedades del suelo, tales como el origen, la distribución de tamaño de grano, la capacidad de drenar el agua, compresión, resistencia al corte y la capacidad de soporte de carga. Braja M. (2013).

Durante la planificación, diseño y construcción de cimientos, muros de contención y estructuras de retención de tierras, a los ingenieros les resulta útil conocer el origen del depósito de suelo sobre el que se va a construir la estructura propuesta, ya que cada depósito presenta características geo mecánicas únicas. La mayor parte de los suelos que cubren la superficie de la tierra están formados por la erosión de las rocas. Las propiedades físicas del suelo se establecen principalmente por los minerales que constituyen las partículas del suelo y, por lo tanto, la roca de la cual se derivó. Braja M. (2013).

### **Planteamiento del Problema**

Desarrollar el presente trabajo de investigación permitirá conocer las características, propiedades y capacidad portante del suelo, para tener en cuenta el tipo y el número de niveles que tendrá la edificación, nos permite dar un aporte a la localidad de Caspizapa para tener un panorama favorable a la hora de edificar.

Actualmente la mayoría de viviendas comprendidas en la localidad de Caspizapa, Provincia de Picota – Región San Martín, son estructuras de construcción antigua de tierra pisonada, otras de caña brava tejida, que no cuentan con cimentaciones adecuadas al tipo de suelo de fundación. Trayendo consigo inseguridad frente algún sismo o terremoto e incluso ante una situación premeditada de la naturaleza. Es de mucha importancia la elaboración de la zonificación de la capacidad portante del suelo en esta zona, previa evaluación de la misma, que permitirá elaborar el diseño adecuado de la cimentación.

### **Delimitación del problema**

El estudio se realizará en la Localidad de Caspizapa, Provincia de Picota, Departamento de San Martín

El estudio se hizo por medio de calicatas, con obtención de muestras representativas en cantidades suficientes, tanto alterada como inalterada (ensayo triaxial).

### **Formulación del Problema**

Con el objetivo de conocer las propiedades, clasificación y la capacidad portante del suelo, en la localidad de Caspizapa – Provincia de Picota – Región San Martín, se plantea lo siguiente:

*¿Tendrán los suelos de la localidad de Caspizapa la capacidad portante suficiente para soportar cimentaciones superficiales que servirá de soporte a futuras edificaciones originadas por las migraciones?*

### **Objetivos**

#### **Objetivo General**

Determinar la capacidad portante de los suelos así como las características de la localidad de Caspizapa, Provincia de Picota, Región San Martín.

#### **Objetivos Específicos**

Explorar y determinar el número de calicatas para el muestreo de suelo de la localidad de Caspizapa, Provincia de Picota, Región San Martín.

Realizar los ensayos de mecánica de suelos para poder determinar sus características, su comportamiento y clasificación.

Recolectar y clasificar los datos para determinar la capacidad portante de los suelos obtenido a través de los cálculos y procedimientos.

Elaborar un mapa de zonificación

### **Justificación de la Investigación**

- a. **Justificación Teórica:** El proyecto se dirige principalmente en conocer y estudiar la capacidad portante, el comportamiento, sus características del suelo para para saber el tipo de cimentación a diseñarse.

- b. **Justificación Técnica:** Ya que no existen estudios previos, ni información sobre el tipo de suelo de la localidad de Caspizapa, es importante conocer el comportamiento del suelo para evitar problemas como asentamientos, fisuras o grietas debido a un mal diseño o una estimación errónea.
- c. **Justificación Práctica:** Para la exploración de suelo que se realizarán en la localidad de Caspizapa, se tendrán en cuenta las normas vigentes a las cuales está sujeto este estudio. Dicho aporte servirá como base para un correcto diseño de cimentaciones.

### **Delimitación de la investigación**

El trabajo de investigación está delimitado en la Localidad de Caspizapa – Provincia de Picota – Región San Martín.

Estos estudios son de vital importancia ya que nos da un panorama más exacto para poder diseñar estructuras de manera correcta y evitar colapsos, asentamientos, etc.

La presente investigación está dividida en capítulos: En el capítulo I se muestran los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y la definición de términos básicos

En el capítulo II se muestra el por qué y el cómo de nuestra investigación, analizamos la descripción de los materiales y la metodología usada en la investigación

En el capítulo III se muestra, se analiza y se discute los resultados obtenidos, en cuanto a la obtención de la capacidad portante del suelo así como también la elaboración del plano de zonificación.

# CAPÍTULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 Antecedentes bibliográficos

#### Internacionales

**Pomaquiza, L. A. (2014); Ecuador;** realizó una tesis denominada: Estudio geotécnico y análisis de las posibles soluciones de la cimentación del puente Norcay; llegando al siguiente resumen:

El presente trabajo investigativo tiene como objetivo el estudio Geotécnico de las cimentaciones del puente Norcay. Como un método de comprobación de los diseños iniciales se realizaron los ensayos y clasificación de suelos respectivos a nivel de cimentación, En el estribo izquierdo y en las pilas los resultados son coherentes con los estudios iniciales, sin embargo en el estribo derecho existe una gran discrepancia de resultados perjudicando a los diseños iniciales, por esta razón se procede a recalcular los esfuerzos que genera la estructura en el suelo para verificar si en realidad el estrato encontrado a nivel de cimentación no es adecuado. Luego de obtener los esfuerzos en el suelo, se aprecia que las solicitaciones de carga demandan mayores esfuerzos con respecto a los que el estrato aportaría como soporte. Realizada esta comparación, concluimos que el estrato no es adecuado para cimentar el estribo. Debido al problema anteriormente descrito, se realizó un sondeo de los suelos bajo la cimentación en busca de un estrato resistente, el cual encontramos a una profundidad de 7m con la ayuda de los ensayos NSPT. Como el estrato se encuentra a profundidad considerable, realizar una cimentación superficial sería muy dificultosa ya que demanda excesivos movimientos de tierra bajo el nivel freático y los esfuerzos producidos en la zapata aumentarían, lo que implicaría un nuevo diseño estructural del estribo. Para hacer uso del diseño estructura inicial del estribo derecho y cimentar sobre el estrato resistente, necesariamente tenemos que diseñar una cimentación profunda con pilotes hincados.

**Sánchez, R (2016); España;** realizó una investigación denominada: Caracterización, mediante elementos finitos, del comportamiento elasto – plástico de un material granular empleado en capas de subbalasto ferroviario en un ensayo cbr., presentando el siguiente resumen:

El trabajo que nos ocupa se realiza como parte del Máster de ingeniería Mecánica y de Materiales impartido por la Universidad Politécnica de Valencia. En el mismo se hace un estudio del comportamiento elasto-plástico de un material granular empleado en capas de subbalasto ferroviario en un ensayo CBR. Los valores obtenidos en la caracterización del material servirán para la creación de un modelo de elementos finitos de la probeta del citado ensayo. A partir de los resultados de la modelización, se han comparado los valores con los del ensayo CBR. Cabe destacar que el ensayo realizado presenta la particularidad de que se han incluido células extensométricas en determinadas zonas de la probeta, lo que ha permitido evaluar el estado tensional en diferentes partes de la misma y su comparación con la simulación numérica. El objetivo final es conocer la utilidad que puede tener el modelo de elementos finitos construido para predecir propiedades del material granular que se obtienen con otros tipos de ensayos de carácter más completo y costoso. En concreto, para el modelado y simulación mediante MEF se ha empleado el software de elementos finitos ANSYS.

## **Nacionales**

**Berrocal, J C (2013); Perú;** realizó una tesis denominada: Métodos Analíticos y Numéricos aplicados al diseño de cimentaciones superficiales considerando su interacción con el suelo; llegando al siguiente resumen:

En este trabajo se presentan dos modelos existentes en la actualidad para el cálculo de cimentaciones superficiales: el modelo de resortes basados en la teoría de Winkler y el Método de elementos finitos. Como tal se abordan esquemas y conceptos que integran mecanismos de interacción entre dos materiales de distinta rigidez como parte de diseño de cimentaciones superficiales; bajo este contexto se hacen aplicaciones de casos prácticos tanto con criterios analíticos y numéricos; se cuenta con la asistencia del programa de aplicaciones geotécnicas Plaxis 3D, que está formulada mediante la técnica de elementos finitos en tres dimensiones, utilizando modelos constitutivos para materiales geotécnicos que analiza el modelo numérico desde una perspectiva del comportamiento tensión deformación. Alternativamente se utiliza el programa SAFE para caso específico. La información así obtenida es contrastada objetivamente proponiéndose, según el caso, pautas que permitan integrar estos procedimientos con los habitualmente empleados en el tratamiento de la problemática. Dentro del enfoque conceptual se da énfasis a tendencias actuales para el

diseño de cimentaciones superficiales como es la teoría de estados límite. Teniendo en cuenta que el suelo presenta menos resistencia y mayor deformabilidad que el resto del conjunto de materiales, no puede resistir cargas por sobre su capacidad de soporte; debido a ello los diseños y procedimientos constructivos previenen transmitir y repartir las cargas al terreno buscando no exceder su resistencia nominal, definiendo criterios analíticos y numéricos. De acuerdo a los resultados y de la relación entre las tensiones y las deflexiones determinadas se pueda deducir, con mejor conocimiento de causa, el valor o los valores que conviene adoptar para el coeficiente de balasto y demás parámetros, en aplicación de la teoría de Winkler, e incluso su variación a nivel del contacto suelo-estructura de cimentación.

De forma general, el diseño geométrico de una cimentación y su refuerzo está directamente relacionado con su rigidez, flexibilidad y las características de resistencia y deformación del suelo sobre el cual se sustenta. Los aspectos comprendidos en la presente tesis encaminan a un mejor entendimiento de tópicos elementales de manera didáctica y aplicativa.

**Laura, S (2016); Puno;** realizó una tesis denominada: Evaluación de la capacidad predictiva de los métodos de estimación del comportamiento mecánico de los suelos lacustres de la bahía de Puno, para cimentaciones superficiales, llegando al siguiente resumen:

Los resultados de laboratorio nos mostraron la existencia de los suelos lacustres de la bahía de Puno, con contenidos de materia orgánica, que tiene baja resistencia al cortante y son compresibles, produciendo asentamientos perjudiciales para las edificaciones que puedan proyectarse en la zona. Asimismo se observó que tanto los resultados teóricos como los ensayos a escala real que el criterio predominante para la determinación de la capacidad portante es el de la deformabilidad del suelo. Adicionalmente, se determinó que las edificaciones con zapatas cuadradas de 1.00 m pueden soportar 1 piso en elevación y las edificaciones con zapatas cuadradas de 1.50 m soportarán 2 pisos. Igualmente, se determinó que se pueden usar los métodos por resistencia con una reducción del valor calculado y que el método más recomendable para calcular la capacidad portante es el de la consolidación unidimensional (edométrico), vigentes, asimismo estos ensayos han permitido determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de fundación, así como también el tipo de suelo y sus características. Se clasificó los suelos por el método de SUCS, el cual nos indica la presencia de suelos de granulometría gruesa y fina, los suelos de granulometría fina del tipo arcillosos CL, y suelos de granulometría gruesa del tipo GP y GM, con porcentaje de

humedad baja a media, se han determinado una zona geotécnica denominada Zona I, la cual está delimitada por la C-01, C-02, C-03, C-04, C-05, C-06, C-07, C-08, C-09, C-10, C-11, C-12, C-13, C-14, C-16, C-17, C-18, C-19, C-20, C-21, C-22, C-23, C-24, C-25, C-26, C-27 y C-28, la capacidad admisible en la Zona I con una profundidad de cimentación de -1.50 metros y con un ancho de cimentación de 1.00 metro se encuentra entre 0.90 a 0.97 Kg/cm<sup>2</sup> con una capacidad admisible promedio de 0.93 kg/cm<sup>2</sup> o 9.3 tn/m<sup>2</sup>.

## **1.2. Aspectos Generales del Estudio**

### **1.2.1. Ubicación de área del estudio**

Se indica que el proyecto en estudio se ubica en el distrito de Caspizapa

Región: San Martín

Provincia: Picota

Distrito: Caspizapa

Latitud 6°57'27''

Longitud: 76°25'20''

Altura: 231 m s. n. m.

### **1.2.2. Límites del área de estudio**

Por el Norte: con el Distrito de Picota

Por el Sur: con el Distrito de San Cristóbal Puerto Rico

Por el Este: con el Distrito de Picota y Tingo de Ponasa

Por el Oeste: con la Provincia del Dorado



*Figura 1.* Mapa Político del Perú (Google Imágenes)



*Figura 2.* Mapa de la Región San Martín. (Google Imágenes)

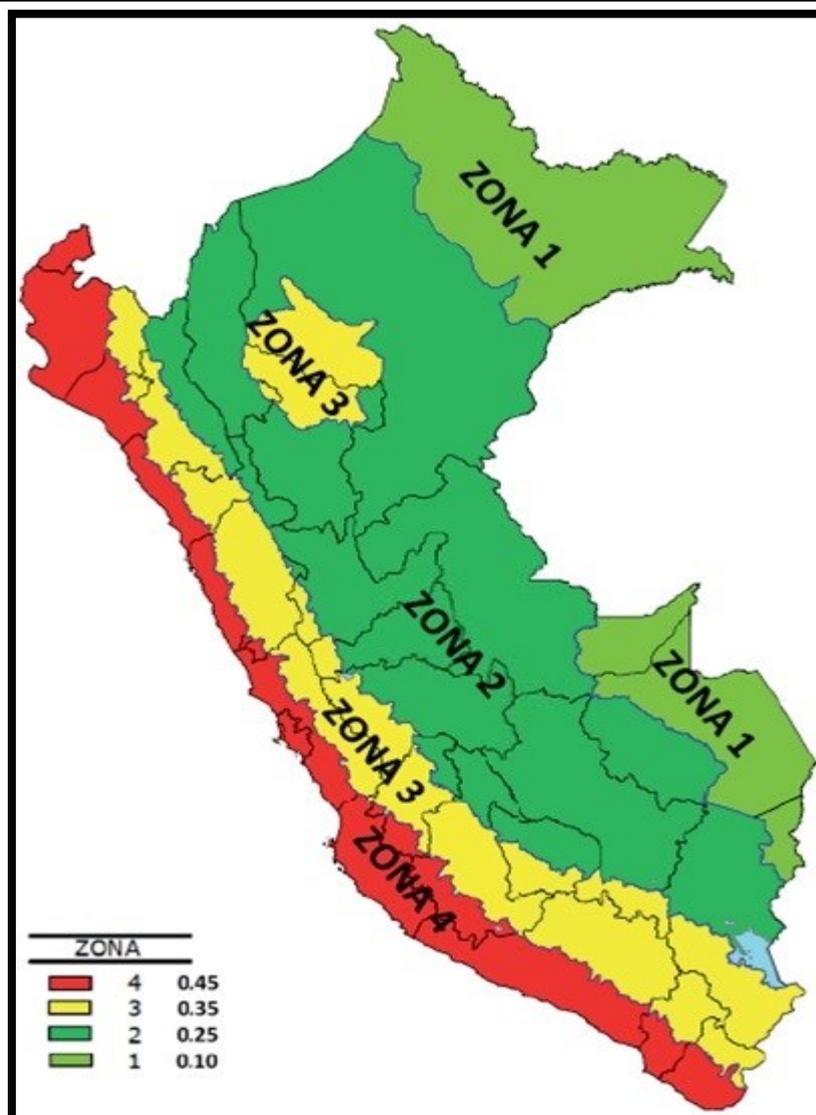


*Figura 3:* Ubicación del proyecto de estudio. (Google Imágenes)

<b>RUTA</b>	<b>TIPO DE VÍA</b>	<b>DISTANCIA (Km)</b>	<b>TIEMPO DE VIAJE</b>
Tarapoto-Picota-Caspizapa	Carretera Asfaltada (Tramo Tarapoto-Picota)	62 Km	1 hora 8 minutos
	Carretera Asfaltada y Afirmada en algunos tramos (Tramo Picota – Caspizapa)	13.5 Km	24 minutos
Bellavista-Caspizapa	Carretera Asfaltada	26.2 Km	30 minutos

### 1.2.2. Sismicidad.

Dentro del territorio peruano se ha establecido diversas zonas sísmicas las cuales presentan diferentes características de acuerdo a la mayor o menor presencia de los sismos. Según el mapa de zonificación sísmica, y de acuerdo a las Normas Sismo – Resistencia E – 030 del Reglamento Nacional de Construcciones, el Distrito de Caspizapa, se encuentra en la zona 2, que indica un Sismicidad Alta de intensidad media mayor de VI en la Escala de Mercalli Modificado.



*Figura 4.* Zonas sísmicas del Perú (Norma Técnica E.030 “Diseño Sismoresistente”)

### 1.2.3. Clima

La zona en estudio presenta un clima cálido. Así mismo se presentan fuertes lluvias con mayor frecuencia durante los meses de noviembre a marzo.

La temperatura media anual varía entre 20°C y 26°C, la temperatura máxima llega a 34° C y la mínima a 16° C.

### 1.2.4. Geomorfología

Se encuentra situada a 231 msnm a margen izquierda del caudaloso río Huallaga, con una superficie total de 81.44 km<sup>2</sup>. Latitud: -6.95639, Longitud: -76.4183  
6° 57' 23" Sur, 76° 25' 6" Oeste

### 1.3. Bases Teóricas

#### 1.3.1. Definición De Suelo

Braja, M. (2001). Suelo, en Ingeniería Civil, son los sedimentos no consolidados de partículas sólidas, fruto de la alteración de las rocas, o suelos transportados por agentes como el agua, hielo o viento con contribución de la gravedad como fuerza direccional selectiva, y que pueden tener materia orgánica. El suelo es un cuerpo natural heterogéneo.

#### 1.3.2. Definición de mecánica de suelos

Terzaghi. Nos indica que “la mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no materia orgánica”. La mecánica de suelos incluye: Teorías sobre el comportamiento de los suelos sujetas a cargas, basado en simplificaciones necesarias dado el estado actual de la teoría. Investigación de las propiedades físicas de los suelos. Aplicación del conocimiento teórico y empírico de los problemas prácticos.

#### 1.3.3. Clases de suelos

Martínez, E. (2014). Existen los siguientes tipos de suelos:

**Suelos Residuales.**- Son producto del ataque de los agentes del intemperismo, suelen quedarse en el lugar directamente sobre la roca de la cual se derivan.

**Suelos Transportados.**- Los suelos pueden ser removidos del lugar de formación, por los mismos agentes geológicos y redepositados en otra zona. Así se generan suelos que sobreyacen sobre otros estratos sin relación directa con ellos.

#### 1.3.4. Estructura y textura de los suelos

Martínez (2003). Nos indica que “definimos como estructura” a la propiedad de los suelos que produce una respuesta a los cambios exteriores y sollicitaciones tales como el agua, cargas (edificios, pavimentos, etc.) respectivamente. Esta propiedad involucra tanto el arreglo geométrico de las partículas como a las fuerzas que están sobre ellas, involucra conceptos como “gradación”, “arreglo”, “vacíos”, fuerzas ligantes y fuerzas eléctricas

asociadas. “Textura es la apariencia superficial, depende del tamaño, forma y graduación de las partículas”.

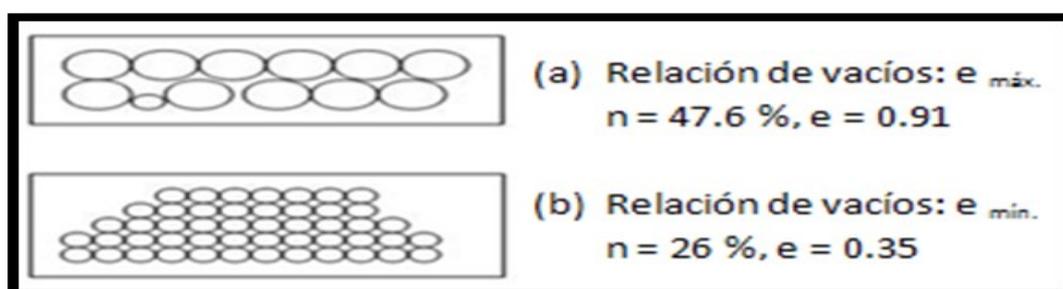


**Figura 5:** Esquema de la estructura y textura de los suelos. (Fuente: Enrique Napoleón Martínez Quiroz, 2003).

#### 1.3.4.1. Estructura de los Suelos Gruesos:

Martínez, E. (2014). Predominan las fuerzas gravitacionales, depende en gran medida de la forma de las partículas, de su tamaño y de cómo están organizadas. Así su resistencia o comportamiento hidráulico se ven gradualmente afectados por circunstancias tales como la orientación de las partículas o la cantidad de vacíos existentes en su masa. En las figuras se muestran el arreglo de sus partículas

En el gráfico (a) se observa el arreglo denominado estado más suelto y en el (b) se observa el arreglo denominado estado más compacto.

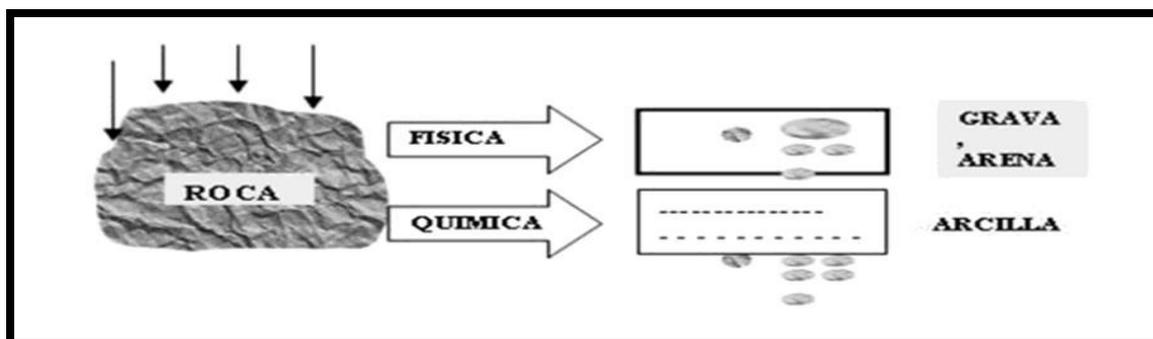


**Figura 6:** Estructura de los suelos gruesos (Fuente: Martínez, E. Guía de Mecánica de Suelos I, 2014)

#### 1.3.4.2. Estructura de Suelos Cohesivos

Martínez, E. (2014). Indica que el conocimiento de la composición interna de las láminas de arcilla es más importante a nivel básico que a nivel ingenieril, sin embargo es útil comprender su composición a fin de establecer su comportamiento.

Investigaciones recientes, señalan el ambiente electroquímico, que existe en el agua, en el momento de la formación del suelo como el factor más influyente en su futuro comportamiento y la sedimentación individual de tales estructuras, produce las denominadas estructuras: Floculenta, Panaloide, Castillo de naipes y Dispersa.



*Figura 7:* Esquema de la estructura de los suelos cohesivos. (Enrique Napoleón Martínez Quiroz, 2003)

### 1.3.5. Composición Mineralógica del Suelo

Campos y Guardia (2005), en su trabajo de investigación indican que se pueden identificar más de 2000 diferentes minerales en la corteza terrestre y muchos de ellos están presentes en las rocas.

Existe una distinción entre los minerales que son constituyentes esenciales de las rocas que dan el nombre a estas y los que son accesorios que se encuentran en pequeñas cantidades, pero su presencia o ausencia no influye en el nombre de la roca. Las rocas también contienen minerales secundarios, que son aquellos que resultan de la descomposición de los minerales esenciales por acción del agua. Como resultado de la meteorización y el proceso de la deposición, estos minerales que poseen las rocas llegan a formar parte del suelo. Los minerales más comunes que pueden encontrarse en el suelo son:

**Feldespatos**, los feldespatos forman un grupo grande de minerales monoclinicos, triclinicos y son un componente importante de algunos tipos de rocas. El feldespato se considera un material moderadamente duro.

**Cuarzo**, es un mineral muy común, un constituyente esencial de los granitos y otras rocas. El cuarzo es más duro que la mayoría de los minerales y es uno de los más resistentes a la meteorización, se encuentra en abundancia en rocas metamórficas.

**Minerales arcillosos**, las partículas de suelo con tamaños correspondientes a las arcillas y que presentan las propiedades características de adhesión y plasticidad se denominan

minerales arcillosos. Son producto de la meteorización química y están compuestos en su mayor parte de silicatos de aluminio hidratados.

Tienen forma cristalina y están constituidos por dos unidades estructurales: la unidad tetraédrica, en la cual cuatro oxígenos encierran un átomo de silicio, y la unidad octaédrica, en la cual un átomo de aluminio o magnesio está encerrado por seis grupos hidroxilos. De acuerdo con la organización de estas unidades estructurales en la red cristalina, los minerales arcillosos se dividen en tres grupos principales los cuales son:

### **Caolinitas**

**Campos y Guardia** señalan que el bloque estructural de este grupo de minerales está formada por una capa de unidades tetraédricas y una capa de unidades octaédricas. Los enlaces iónicos de hidrógeno entre los bloques crean una estructura relativamente estable en la que no penetra el agua con facilidad. Estas caolinitas presentan una baja absorción de agua y una baja susceptibilidad a la retracción y a la expansión al ser sometidos a variaciones de humedad.

### **Ilitas**

Campos y Guardia (2005). Indican que el bloque estructural de este grupo está formado por una capa de unidades octaédricas en medio de dos capas de unidades tetraédricas orientadas en forma opuesta. Las Ilitas presentan mayor tendencia a la absorción de agua que las caolinitas, mayor susceptibilidad a la retracción y a la expansión.

### **Montmorilonitas,**

Berry y Reid, nos indica que este grupo tiene un bloque estructural similar al de las ilitas, pero adicionalmente a la sustitución del silicio ( $\text{Si}^{4+}$ ) por aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) en las unidades tetraédricas, algunos de los iones de aluminio, en la unidades octaédricas se reemplazan por magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) y hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ). El enlace entre las capas creado por el agua es muy débil e inestable comarado con el enlace de iones de potasio de las ilitas. Las montmorilonitas presentan una muy alta absorción de agua y muy altas características de retracción y expansión.

### **1.3.6. Relaciones volumétricas y gravimétricas.**

Duque (2002), en un suelo se distinguen tres fases constituyentes: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida está formada por las partículas minerales del suelo (incluyendo la capa sólida

adsorbida). La fase líquida formada por el agua libre específicamente, aunque en el suelo pueden existir otros líquidos de menor significación. La fase gaseosa comprende sobre todo el aire, pero pueden estar presentes otros gases (vapores sulfurosos, anhídrido carbónico, etc.)

Las fases líquida y gaseosa del suelo suelen comprenderse en el volumen de vacíos ( $V_v$ ), mientras que la fase sólida constituye el volumen de sólidos ( $V_s$ ). Se dice que un suelo es totalmente saturado cuando todos sus vacíos están ocupados por agua. Un suelo en tal circunstancia consta, como caso particular de solo dos fases, sólida y líquida.

Es importante considerar las características morfológicas de un conjunto de partículas sólidas, en un medio fluido.

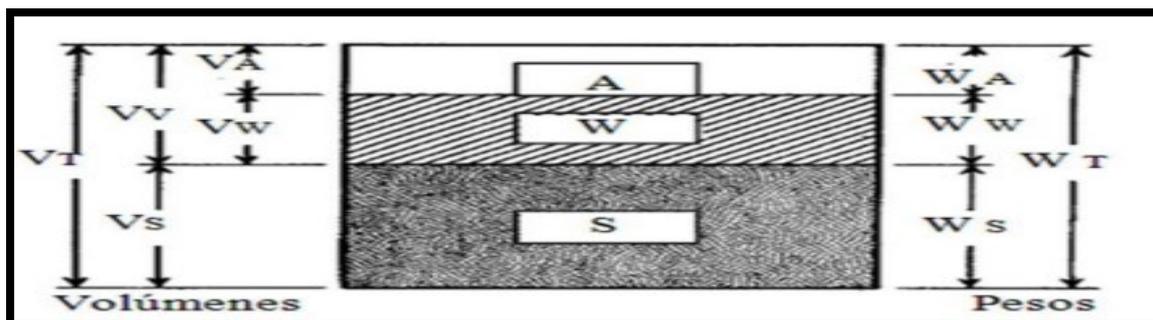
Las relaciones entre las diferentes fases constitutivas del suelo (sólida, líquida y gaseosa), permiten avanzar sobre el análisis de la distribución de las partículas por tamaños y sobre el grado de plasticidad del conjunto.

En los laboratorios de mecánica de suelos puede determinarse fácilmente el peso de las muestras húmedas, el peso de las muestras secadas al horno y la gravedad específica de las partículas que conforman el suelo, entre otras.

Las relaciones entre las fases del suelo tienen una amplia aplicación en la Mecánica de Suelos para el cálculo de esfuerzos.

La relación entre las fases, la granulometría y los límites de Atterberg se utilizan para clasificar el suelo y estimar su comportamiento. Modelar el suelo es colocar fronteras que no existen.

El suelo es un modelo discreto y eso entra en la modelación con dos parámetros,  $e$  y  $n$  (relación de vacíos y porosidad), y con las fases. El agua adherida a la superficie de las partículas, entra en la fase sólida. En la líquida, sólo el agua libre que podemos sacar a 105 °C cuando, después de 24 o 18 horas, el peso del suelo no baja más y permanece constante (p.08-11).



**Figura 8.** Esquema de una muestra de suelo, en tres fases, con la indicación de los símbolos usados: En los costados, V volumen y W peso. Las letras subíndice y del centro, son: A aire, W agua y S sólidos. (Fuente: Braja M. Das, 2001).

### Fases, Volúmenes y Pesos

Duque, E (2002) , nos describen que en el modelo de fases, se separan volúmenes ‘v’ y pesos ‘w’ así: Volumen total  $V_T$ , volumen de vacíos  $V_V$  (espacio no ocupado por sólidos), volumen de sólidos  $V_S$  , volumen de aire  $V_A$  y volumen de agua  $V_W$ . Luego:

$$V_T = V_V + V_S$$

En pesos (que es diferente a masas), el del aire se desprecia, por lo que  $W_A = 0$ . El peso total del espécimen o muestra  $W_T$  es igual a la suma del peso de los sólidos  $W_S$  más el peso del agua  $W_W$ ; esto es:

$$W_T = W_S + W_W$$

### 1.3.7. Relaciones de Volumen

Duque, E (2002), nos señala que las relaciones entre las diferentes fases constitutivas del suelo, permiten avanzar sobre el análisis de la distribución de las partículas por tamaños y sobre el grado de plasticidad del conjunto. A continuación nos describe las siguientes relaciones fundamentales para el manejo de las propiedades de un suelo:

#### Porosidad “ $\eta$ ”

Se define como la probabilidad de encontrar vacíos en el volumen total. Por eso  $0 < \eta < 100\%$  (se expresa en %). En un sólido perfecto  $\eta = 0$ ; en el suelo  $\eta \neq 0$  y  $\eta \neq 100\%$ .

$$\eta = \frac{V_V}{V_T} * 100(\%) \quad (3)$$

#### Relación de vacíos “e”

Es la relación entre el volumen de vacíos y el de los sólidos. Su valor puede ser  $e > 1$  y alcanzar valores muy altos. En teoría  $0 < e \rightarrow \infty$ .

$$e = \frac{V_V}{V_S} \quad (4)$$

### Densidad Relativa “DR”

Este parámetro nos informa si un suelo está cerca o lejos de los valores máximo y mínimo de densidad, que se pueden alcanzar. Además  $0 \leq DR \leq 1$ , siendo más resistente el suelo cuando el suelo está compacto y  $DR \approx 1$  y menor cuando está suelto y  $DR \approx 0$ .

$$D_R = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (5)$$

### Grado de saturación “S”

Se define como la probabilidad de encontrar agua en los vacíos del suelo, por lo que  $0 \leq S \leq 100\%$ . Físicamente en la naturaleza  $S \neq 0\%$ , pero admitiendo tal extremo,  $S = 0\% \rightarrow$  suelo seco y  $S = 100\% \rightarrow$  suelo saturado.

$$S = \frac{V_W}{V_V} \times 100 (\%) \quad (6)$$

### Contenido de aire “CA”

Probabilidad de encontrar aire en los vacíos del suelo.  $0 \leq CA \leq 100\%$ . En el suelo saturado, los vacíos están ocupados por agua  $CA = 0$  y en el suelo seco, por aire  $CA = 100\%$ . Naturalmente,  $S + CA = 100\%$ .

$$C_A = \frac{V_A}{V_V} \times 100 \quad (7)$$

### Contenido de humedad “ω”

Es la relación entre el peso de la agua del espécimen, al peso de los sólidos. El valor teórico del contenido de humedad varía entre:  $0 \leq \omega \rightarrow \infty$ . En la práctica, las humedades varían de 0 (cero) hasta valores del 100%.

$$\omega = \frac{W_W}{W_S} \times 100 \quad (8)$$

**a. Peso específico aparente ( $\gamma_m$ ):** Conocido como peso volumétrico, densidad aparente, peso específico de masa

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m} = \frac{W_s + W_w}{V_m} \dots\dots\dots (1)$$

**b. Peso específico del agua ( $\gamma_w$ ):**

$$\gamma_o = \gamma_w \dots\dots\dots \text{En condiciones prácticas}$$

**Peso específico del agua destilada ( $\gamma_o$ ):** a 4°C y a P.A. n. m. en sistemas derivados del métrico decimal es igual a 1 ó a una potencia de 10.

**c. Peso específico de los sólidos ( $\gamma_s$ ):**

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \dots\dots\dots (2)$$

$$2.4 \leq \gamma_s \leq 2.9 \text{ gr./cm}^3$$

En los laboratorios de Mecánica de Suelos puede determinarse fácilmente el peso de las muestras húmedas y secas en el horno o estufa y el peso específico relativo de los suelos. Estas magnitudes no son las únicas cuyo cálculo es necesario, es preciso obtener relaciones volumétricas y gravimétricas para poder determinar otras magnitudes en términos de estas. **Peso Específico Relativo:** Viene hacer la relación entre el peso específico de la sustancia y el peso específico del agua destilada a 4° C y sujeta a una atmósfera de presión.

**d. Peso específico relativo de la muestra ( $S_m$ ):**

$$S_m = \gamma_m / \gamma_o = \frac{W_m}{V_m \gamma_o} \dots\dots\dots (3)$$

**e. Peso específico relativo de los sólidos ( $S_s$ ):**

$$S_s = \gamma_s / \gamma_o = \frac{W_s}{V_s \gamma_o} \dots\dots\dots (4)$$

### 1.3.8. Exploración de Suelos

**Braja M. (2001).** Indica que el proceso de identificación de las capas de depósitos que subyacen a una estructura propuesta y sus características físicas se refiere generalmente como exploración del subsuelo. El propósito de la exploración del subsuelo es obtener información que ayudará al ingeniero en las siguientes tareas:

- Evaluación de la capacidad de carga de la cimentación.
- Estimación del asentamiento probable de una estructura.
- Determinación de los problemas potenciales de cimentación (por ejemplo, suelo expansivo, suelo colapsable, rellenos sanitarios, y así sucesivamente).
- Determinación de la ubicación del nivel freático.
- Predicción de la presión lateral de tierra sobre estructuras tales como muros de contención, pilotes y cortes apuntalados.
- Establecimiento de métodos de construcción para condiciones cambiantes del subsuelo.

#### a) Pozos o Calicatas y Trincheras.

Son excavaciones de formas diversas que permiten una observación directa del terreno, así como la toma de muestras y la realización de ensayos in situ que no requieran confinamiento. Las calicatas y trincheras serán realizadas según la NTP 339.162 (ASTM D 420). El personal responsable deberá tomar las precauciones necesarias a fin de evitar accidentes.

#### b) Perforaciones Manuales y Mecánicas.

Son sondeos que permiten reconocer la naturaleza y localización de las diferentes capas del terreno, así como extraer muestras del mismo y realizar ensayos insitu.

La profundidad recomendable es hasta 10 metros en perforación manual, sin limitación en perforación mecánica. Las perforaciones manuales o mecánicas tendrán las siguientes

**limitaciones:****b-1) Perforaciones mediante Espiral Mecánico.**

Los espirales mecánicos que no dispongan de un dispositivo para introducir herramientas de muestreo en el eje, no deben usarse en terrenos donde sea necesario conocer con precisión la cota de los estratos, o donde el espesor de los mismos sea menor de 0,30 m.

**b-2) Perforaciones por Lavado con Agua.**

Se recomiendan para diámetros menores a 0,100 m. Las muestras procedentes del agua del lavado no deberán emplearse para ningún ensayo de laboratorio.

**c) Toma de Muestras**

Se distinguen dos tipos de muestras que se pueden obtener:

- Muestra perturbadas.

Se obtienen en general de las paredes de los pozos y comprometen estratos determinados o bien la suma de algunos de ellos, como es el caso de la investigación de yacimientos. Estas muestras deben guardarse en bolsas impermeables y de resistencia adecuada. Cada bolsa debe identificarse clara e indeleblemente.

Muestras en bolsas: Las muestras en bolsas se toman con pala, barreta o cualquier otra herramienta de mano conveniente y se colocan en bolsas sin tratar de mantener al suelo en forma inalterada, estas muestras se usan para:

- Análisis granulométrico.
- Ensayos de plasticidad.
- Ensayos de compactación – humedad óptima.
- Ensayos de compactación CBR en laboratorio.

- Muestra sin perturbar.

Este tipo de muestra se recorta de las paredes de los pozos y compromete estratos bien definidos. Después de cortadas deben revestirse con una capa de parafina sólida aplicada con brocha.

Es conveniente agregar alrededor de un 30% de cera virgen a la parafina sólida con el fin de que la capa protectora sea menos rígida. Si la consistencia de la muestra es relativamente

blanda, debe rodearse de grasa y recubrir una vez más con parafina sólida y cera. Una vez dado el tratamiento anterior, debe colocarse en cajas de madera con aserrín u otro producto que actúe como amortiguador de golpes.

Las muestras sin perturbar deberán tomarse apenas excavadas las calicatas, en especial cuando se trate de suelos cuya estructura se ve afectada por los cambios de humedad. En todo caso, al tomar una muestra no perturbada, debe elegirse la pared de la calicata menos expuesta al sol y debe excavar el espesor superficial que haya sido afectado por los cambios de humedad.

No deben escatimarse esfuerzos en el embalaje adecuado de las muestras, ya que el grado de perturbación que se le ocasione a una muestra no perturbada es irrecuperable y lleva a resultados erróneos.

En las calicatas, es posible realizar ensayos en sitio tales como las pruebas de carga con placas, CBR, permeabilidades, medidas de densidad, etc. Las pruebas de carga pueden realizarse contra el fondo de la perforación o las paredes de la misma.

Cada vez que sea necesario realizar un ensayo en sitio en una calicata, la excavación deberá realizarse considerando este hecho, dado que este tipo de prueba obliga a tomar medidas especiales que determinan la forma de excavación. Es así como la toma de densidades obliga a realizar éstas a medida que la excavación se realiza, o bien es necesario dejar bancos intermedios.

El muestreo es tan importante como el ensayo y se deben tomar las precauciones para obtener muestras que exhiban la naturaleza real y condiciones de los suelos que se representan. Salvo situaciones que exijan determinación de resistencia o consolidación, las muestras necesarias para diseño de superestructura de obras viales serán perturbadas.

#### **1.3.8.1. Reconocimiento del Terreno**

Braja M. (2013), señala que: el Ingeniero debe siempre hacer una inspección visual del lugar de estudio para obtener información sobre:

La topografía general del lugar, la posible existencia de canales de drenaje, botaderos de basura y otros materiales. Además la evidencia del flujo plástico en taludes y grietas

profundas y ampliar a intervalos regularmente espaciados puede ser indicativo de suelos expansivos.

Estratificación del suelo en cortes profundos, como los que se realizan para la construcción de las vías.

Tipo de vegetación en el sitio que indique la naturaleza del suelo.

Huellas de niveles altos del agua en edificios y en estribos de puentes.

Niveles de agua freática, que son determinados por observación de pozos cercanos.

Tipos de construcciones vecinas y existencia de grietas en muros u otros problemas

La Naturaleza de la estratificación y propiedades físicas de suelos vecinos, también se obtienen de reportes disponibles de la exploración del sub suelo para estructuras existentes.

### **Procedimientos para muestrear el suelo**

Braja M. (2013) Se pueden obtener dos tipos de muestras de suelo durante la exploración del subsuelo: alteradas y no alteradas. Las muestras alteradas, pero representativas, generalmente se pueden utilizar para los siguientes tipos de pruebas de laboratorio:

1. Análisis granulométrico
2. Determinación de los límites líquido y plástico
3. Peso específico de sólidos del suelo
4. Determinación del contenido orgánico
5. Clasificación de suelo

Sin embargo, las muestras de suelo alterado no pueden ser utilizadas para la consolidación, conductividad hidráulica o pruebas de resistencia al corte. Para estas pruebas de laboratorio se deben obtener muestras de suelo no alteradas. El procedimiento común de recolección de muestras alteradas es a través de muestreadores de cuchara dividida. Las muestras no alteradas se pueden recoger mediante el uso de tubos de pared delgada. En las siguientes secciones se describen estos procedimientos de muestreo.

## Distribución del Tamaño de Partículas

Campos y Guardia (2005), nos indican lo siguiente: de acuerdo al tamaño predominante de partículas que contenga el suelo, los suelos generalmente son llamados: grava, arena, limo, arcilla o una mezcla de ellos.

Diversas organizaciones que estudian aspectos relacionados con el suelo han elaborado sistemas de clasificación para identificar el tamaño de las partículas de un suelo para sus propósitos específicos. En la Tabla N° 01 se muestra algunos de los sistemas más conocidos empleados por estas organizaciones para identificar las partículas del suelo.

**Tabla 1**

*Sistemas para identificar el tamaño de partículas*

NOMBRE DE LA ORGANIZACIÓN	TAMAÑO DE PARTÍCULAS en mm			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	< 0.003
American Association of State Highway and Transportation (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.004
Unified Soil Classification System (US)	75 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (limos y arcillas) < 0.075	

Fuente: Braja M. Das, 1998.

### Grava

Según la norma ASTM D2487 el tamaño de estas partículas varía de 75 a 4.75 mm, estas a su vez están divididas en dos categorías: grava gruesa que está comprendida entre 75 y 19 mm y grava fina que está comprendida entre 19 y 4.75 mm.

Las gravas son acumulaciones sueltas de fragmentos de roca de textura redondeada, debido al desgaste que sufren las partículas al ser transportadas por las corrientes de los ríos. Como material suelto suele encontrarse en los lechos, márgenes, en los conos de deyección de los ríos y suele encontrarse depósitos con grandes cantidades.

### Arena

Se llama arena a las partículas granulares de textura variada procedentes de la desintegración de las rocas o de su trituración artificial y cuyo tamaño según la norma ASTM D2487 varía entre 4.75 a 0.075 mm, la arena está clasificada en tres categorías: arena gruesa que tiene un tamaño de 4.75 a 2 mm, la arena mediana de un tamaño comprendido entre 2 y 0.425 mm y

la arena fina comprendida entre 0.425 y 0.075 mm. El origen y la existencia de la arena es análoga a la de la grava, comúnmente las dos suelen encontrarse juntas en el mismo depósito. Principalmente está compuesta de cuarzo y otros minerales que dan resistencia mecánica a las partículas.

### **Limo**

El limo es una partícula mineral pequeña de textura granular o escamosa, que suele encontrarse en las canteras y en los ríos. El tamaño de las partículas de limo según la norma ASTM D2487 es menor a 0.075 mm. Su color varía desde gris claro a muy oscuro. El suelo compuesto por limo es relativamente impermeable, fácilmente erosionable.

### **Arcilla**

Se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas de textura escamosa, compuestas de minerales de arcilla con un tamaño diminuto mucho menor a 0.075 mm. La arcilla químicamente es un silicato hidratado de: aluminio, hierro o magnesio. Las microestructuras que forman las partículas diminutas que componen la arcilla ocasionan que esta sea poco permeable y el contenido de humedad comunica a la masa de suelo la propiedad plástica.

## **1.3.8.2. Plasticidad en suelos**

### **Generalidades**

Rodríguez, J. (2011), nos indica que en los suelos cohesivos (arcillas, limos, margas, arcillas arenosas, limos arenosos) debe averiguarse el comportamiento por la plasticidad.

La plasticidad en los suelos cohesivos no es una propiedad estable, sino circunstancial y dependiente de su contenido de humedad (agua). Por ejemplo una arcilla bastante seca, puede tener la consistencia de un ladrillo con plasticidad nula, y esa misma, con gran contenido de agua puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido. Entre ambos extremos, existe un intervalo del contenido de agua en que la arcilla se comporta plásticamente.

### **Definición**

Rodríguez, J. (2011) señala que es la propiedad de un material (suelo) por el cual es capaz de soportar deformaciones rápidas sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable, sin deformarse ni agrietarse.

## **Estados de consistencia**

Según su contenido de agua en orden decreciente, un suelo es susceptible de ser plástico y puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definidos por Atterberg.

**Estado Líquido.-** Cuando el suelo tiene las propiedades y apariencia de una Suspensión.

**Estado Semi líquido.-** Cuando el suelo tiene las propiedades y apariencia de un líquido viscoso.

**Estado Plástico.-** Cuando el suelo está sujeto a deformaciones.

**Estado Semi Sólido.-** Cuando el suelo se encuentra en proceso de endurecimiento difícil de trabajarse, disminuye su volumen al estar sujeto al secado.

**Estado Sólido.-** Cuando el suelo no cambia su volumen al irse secando

## **Determinación del límite de contracción (LC)**

Rodríguez, J (2011). El Límite de Contracción es medido siguiendo la variación del volumen de una muestra de suelo en función de su humedad, cuando la humedad disminuye el volumen de la muestra permanece constante, luego el límite de contracción, es la humedad a partir de la cual el volumen de la muestra deja de disminuir, cuando el contenido de humedad decrece.

## **Clasificación de suelos**

### **Generalidades**

### **Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)**

Está basado en la identificación de los suelos según sus calidades estructurales, la plasticidad y la agrupación con relación a su comportamiento como materiales de construcción.

Para la clasificación se toma en cuenta lo siguiente:

Porcentaje de la fracción que pasa el tamiz N° 200

Forma de la curva de distribución granulométrica

Características de plasticidad y compresibilidad.

Los suelos se separan en tres grupos.

Suelos de grano grueso

Suelos de grano fino

Suelos altamente orgánicos

### **Los suelos de grano grueso:**

#### **Suelos de Grano Grueso**

Son de naturaleza tipo grava y arena con menos del 50% pasando por el tamiz N° 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G para la grava o suelo gravoso del inglés “Gravel” y S para la arena o suelo arenoso del inglés “Sand”.

### **Los suelos de grano fino:**

Son aquellos que tienen 50% o más pasando por el tamiz N° 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M para limo inorgánico del sueco “mo y mjala”, C para arcilla inorgánica del inglés “Clay”.

### **Los suelos altamente orgánicos:**

Son limos y arcillas que contienen materia orgánica importante, a estos se los denomina con el prefijo O del inglés “Organic”. Criterios para la clasificación “SUCS” según resultados obtenidos por medio de ensayos de laboratorio

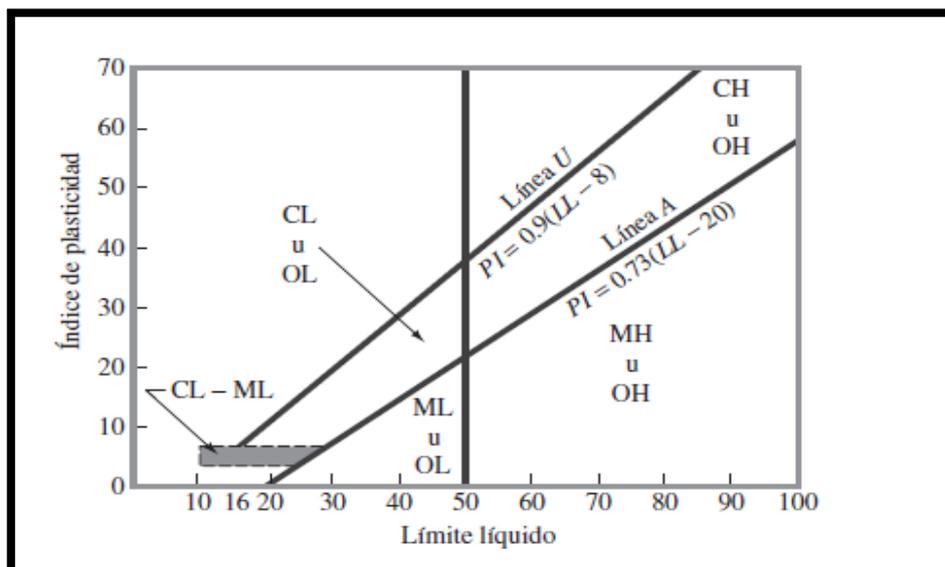
Braja M Das (2013), El Sistema Unificado de Clasificación se presenta clasifica los suelos en dos grandes categorías:

1. Suelos de grano grueso que son de grava y arena en estado natural con menos de 50% que pasa a través del tamiz núm. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de G o S. G es para el suelo de grava o grava, y S para la arena o suelo arenoso.
2. Suelos de grano fino con 50% o más que pasa por el tamiz núm. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de M, que es sinónimo de limo inorgánico, C para la arcilla Inorgánica y O para limos orgánicos y arcillas. El símbolo Pt se utiliza para la turba, lodo y otros suelos altamente orgánicos.

Otros símbolos que también se utilizan para la clasificación son:

- W: bien clasificado
- P: mal clasificado

- L: baja plasticidad (límite líquido menor de 50)
- H: alta plasticidad (límite líquido mayor de 50)



**Figura 9.** Gráfica de plasticidad (Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das)

Braja M. Das (2011). Para la clasificación adecuada de acuerdo con este sistema, una parte o toda la siguiente información debe conocerse:

1. Porcentaje de grava, esto es, la fracción que pasa el tamiz de 76.2 mm y retenida en el tamiz núm. 4 (4.75 mm de apertura)
2. El porcentaje de arena, es decir, la fracción que pasa el tamiz núm. 4 (4.75 mm de apertura) y es retenida en el tamiz núm. 200 (0.075 mm de apertura).
3. El porcentaje de limo y arcilla, esto es, la fracción más fina que el tamiz núm. 200 (0.075mm de abertura)
4. El coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) y el coeficiente de gradación ( $C_c$ )
5. El límite líquido y el índice de plasticidad de la porción de suelo que pasa el tamiz núm. 40

- Fracción fina \_ % que pasa el tamiz núm. 200
- Fracción gruesa \_ % retenido en el tamiz núm. 200
- Fracción grava \_ % retenido en el tamiz núm. 4

- Fracción arena \_ (% retenido en el tamiz núm. 200) – (% retenido en el tamiz núm. 4)

### Sistema de clasificación AASHTO

De acuerdo con este sistema el suelo se clasifica en siete grupos principales: A-1 a A-7. Los suelos que clasifican en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde el 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz núm. 200. Los suelos donde más de 35% pasa a través del tamiz núm. 200 se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Éstos son principalmente limo y materiales del tipo de arcilla. (Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das (2013))

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)				A-7 A-7-5* A-7-6†
	A-4	A-5	A-6		
Grupo de clasificación					
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)					
Núm. 10					
Núm. 40					
Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40					
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos			Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo				

\*Para A-7-5,  $PI \leq LL - 30$

†Para A-7-6,  $PI > LL - 30$

**Figura 10.** Clasificación de materiales de carreteras subrasantes (Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das (2013))

Braja M. Das (2013), señala en **Fundamentos de Ingeniería Geotécnica** que: el sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios:

### 1. *Tamaño de grano*

Grava: fracción que pasa el tamiz de 75 mm y es retenida en el tamiz núm. 10 (2 mm).

Arena: fracción que pasa el tamiz núm. 10 (2 mm) y es retenida en el tamiz núm. 200 (0.075 mm). Limo y arcilla: fracción que pasa el tamiz núm. 200.

### 2. *Plasticidad: el término limoso*

Se aplica cuando las fracciones finas del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menos.

El término *arcilloso* se aplica cuando las fracciones finas tienen un índice de plasticidad de 11 o más.

3. Si se encuentran **cantos y guijarros** (tamaño mayor a 75 mm), se excluyen de la porción de la muestra de suelo en el que se hizo la clasificación. Sin embargo, se registra el porcentaje de este tipo de material.

Para la evaluación de la calidad de un suelo como un material de subrasante carretera, también se incorpora un número llamado “índice de grupo (IG)” a los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe entre paréntesis después de la designación del grupo o subgrupo.

El índice de grupo está dado por la siguiente ecuación.

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

Donde:

$F$  = porcentaje pasado por el tamiz núm. 200.

$LL$  = límite líquido.

$PI$  = índice de plasticidad.

1. Si la ecuación da un valor negativo para  $IG$ , se toma como 0

2. El índice de grupo calculado a partir de la ecuación (4.1) se redondea al número entero más próximo (por ejemplo,  $IG = 3.4$  se redondea a 3;  $IG = 3.5$  se redondea a 4).
3. No hay límite superior para el índice de grupo.
4. El índice de grupo de los suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 siempre es 0.
5. Al calcular el índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, utilice el índice de grupo parcial para  $PI$  o:

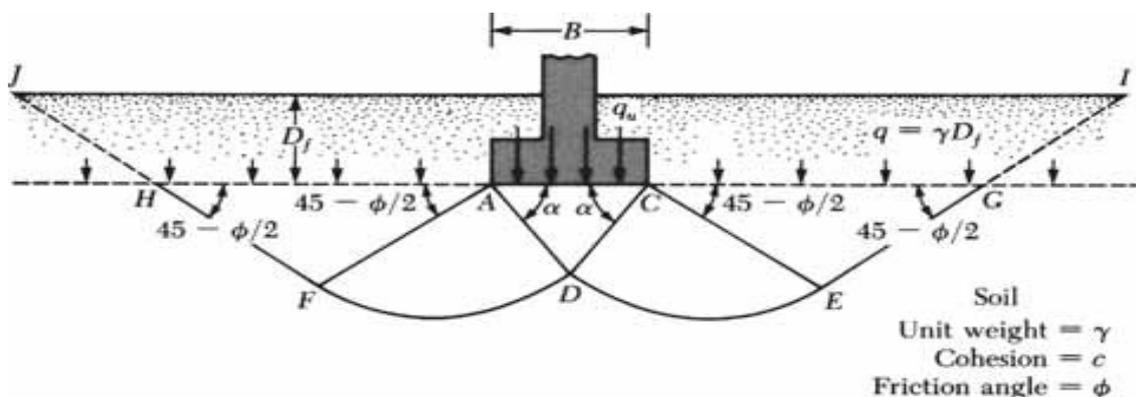
$$IG = 0.01(F-15)(PI-10)$$

### 1.3.9. Cimentaciones superficiales

Rodríguez, J (2001). Indica que, Una cimentación superficial es un elemento estructural cuya sección transversal es de dimensiones grandes con respecto a la altura y cuya función es trasladar las cargas de una edificación a profundidades relativamente cortas, menores de 4 m aproximadamente con respecto al nivel de la superficie natural de un terreno o de un sótano. En una cimentación superficial la reacción del suelo equilibra la fuerza transmitida por la estructura. Esta reacción de fuerzas, que no tiene un patrón determinado de distribución, se realiza en la interface entre el suelo y la sección transversal de la cimentación que está en contacto con él. Las cimentaciones superficiales, cuyos sistemas constructivos generalmente no presentan mayores dificultades pueden ser de varios tipos, según su función: zapata aislada, zapata combinada, zapata corrida o losa de cimentación. En una estructura, una zapata aislada, que puede ser concéntrica, medianera o esquinera se caracteriza por soportar y trasladar al suelo la carga de un apoyo individual.

### 1.3.10. Capacidad de Carga de Karl Terzagui

Terzaghi sugirió que para una cimentación continua o de franja (es decir, la razón de ancho a largo de la cimentación tiende a 0), la superficie de falla en el suelo a carga máxima. El efecto del suelo por encima del fondo de la cimentación también puede suponerse y ser remplazado por una sobrecarga equivalente.



**Figura 11.** Falla de la capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación continua rígida en grava. (Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica).

La zona de la falla bajo la cimentación se puede dividir en tres partes:

1. La zona triangular ACD inmediatamente debajo de la cimentación.
2. Las zonas de corte radiales ADF y CDE, con las curvas DE y DF siendo arcos de una espiral logarítmica.
3. Dos zonas pasivas Rankine triangulares AFH y CEG.

Se supone que los ángulos CAD y ACD son iguales al ángulo de fricción del suelo (es decir,  $\alpha = \phi'$ ). Observe que con la sustitución del suelo por encima del fondo de la cimentación por un suplemento  $q$  equivalente, se desprecia la resistencia al corte del suelo a lo largo de las superficies de falla GI y HJ.

Utilizando el análisis de equilibrio, Terzaghi expresa la capacidad última de carga en la forma:

$$q_u = c N_c + q N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \dots \dots \dots (27)$$

Donde:

$c$ =cohesion del suelo

$\gamma$ =peso específico del suelo

$$q = \gamma D_f$$

$N_c, N_q, N_\gamma$  = factores de capacidad de carga adimensionales que están únicamente en función del ángulo  $\phi$  de fricción de suelo.

#### Para cimentación cuadrada

$$q_u = 1.3 c N_c + q N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma \dots \dots \dots (31)$$

#### Para cimentación circular

$$q_u = 1.3 c N_c + q N_q + 0.3 \gamma B N_\gamma \dots \dots \dots (32)$$

**Tabla 2**

*Factores de carga para las ecuaciones de Terzaghi.*

$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5.7	1	0	26	27.09	14.21	9.84
1	6	1.1	0.01	27	29.27	15.9	11.6
2	6.3	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.7
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.1	30	37.16	22.46	19.13
5	7.37	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.2	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.6	2.21	0.35	34	52.64	36.5	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.8	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.5	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.6	5.45	2.18	43	134.58	126.5	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.6
19	16.56	6.7	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.8	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.75	10.23	6	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.4	7.08	50	347.5	415.14	1072.8
25	25.13	12.72	8.34				

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja, M. Das.

### Caso de falla local

#### Para cimentación corrida

$$q_u = \frac{2}{3} c N'_c + q N'_q + \frac{1}{2} \gamma B N'_\gamma \dots \dots \dots (33)$$

#### Para cimentación cuadrada

$$q_u = 0.867 c N'_c + q N'_q + 0.4 \gamma B N'_\gamma \dots \dots \dots (34)$$

#### Para cimentación circular

$$q_u = 0.867 c N'_c + q N'_q + 0.3 \gamma B N'_\gamma \dots \dots \dots (35)$$

Donde:

$c$ : Cohesión del suelo

$\gamma$ : Peso específico del suelo

$q$ : Es la sobre carga ( $q = \gamma D_f$ )

$N'_c, N'_q, N'_\gamma$  : Son factores de capacidad de carga modificada. Estos se calculan usando las ecuaciones para el factor de capacidad de carga (para  $N_c, N_q, N_\gamma$ ), remplazado  $\phi$  por  $\phi' = tg^{-1} \left( \frac{2}{3} tg\phi \right)$ . la varicacio de  $N'_c, N'_q, N'_\gamma$ , con el ángulo  $\phi$  de fricción del suelo se da en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Factores de Capacidad de Carga Modificados de Terzaghi  $N'_c, N'_q, N'_\gamma$*

$\emptyset$	$N'_c$	$N'_q$	$N'_\gamma$	$\emptyset$	$N'_c$	$N'_q$	$N'_\gamma$
0	5.7	1	0	26	15.53	6.05	2.59
1	5.9	1.07	0.005	27	16.3	6.54	2.88
2	6.1	1.14	0.02	28	17.13	7.07	3.29
3	6.3	1.22	0.04	29	18.03	7.66	3.79
4	6.51	1.3	0.055	30	18.99	8.31	4.39
5	6.74	1.39	0.074	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	0.128	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: Principio de Ingeniería de Cimentaciones, Braja M. Das.

### **Modificación de las ecuaciones de la capacidad de carga por presencia del nivel freático (Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das)**

**Caso I:** Si el nivel freático se localiza de manera que  $0 \leq D_1 \leq D_f$ , el factor  $q$  en las ecuaciones de la capacidad de carga toma la forma:

$$q = D_1\gamma + D_2(\gamma_{sat} - \gamma_w)$$

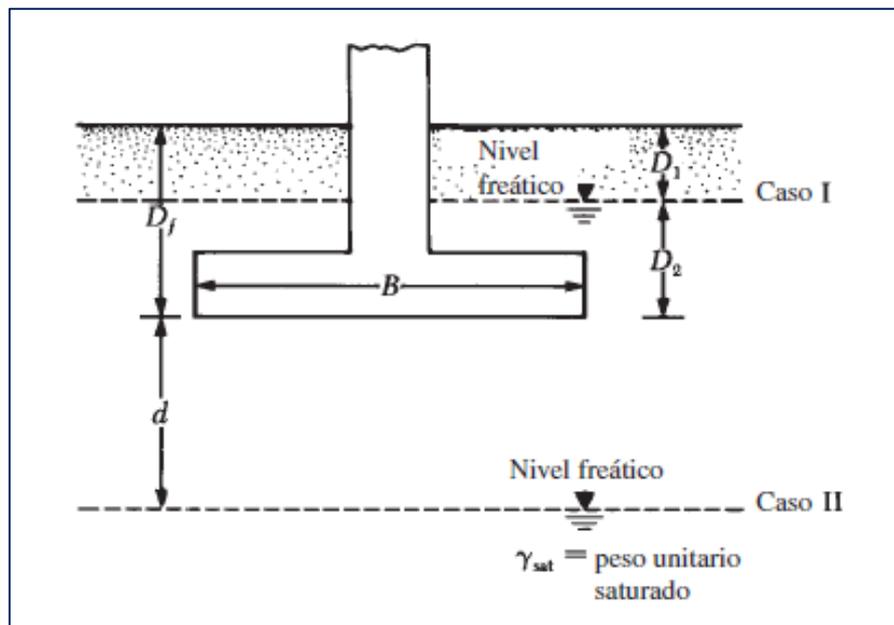
Donde:

$\gamma_{sat}$  = es el Peso Específico saturado del suelo,

$\gamma_w$  = es el Peso específico del agua

Además, el valor de  $\gamma$  en el último término de las ecuaciones tiene que ser reemplazado por:

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$



**Figura 12:** Caso I, capacidad de carga afectada por nivel freático. (Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das)

**Caso II:** Para un nivel freático localizado de manera que  $0 \leq d \leq B$  (Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das)

$$q = \gamma D_f$$

El factor  $\gamma$  en el último término de las ecuaciones de la capacidad de apoyo debe reemplazarse por el factor:

$$\gamma = \gamma' + \frac{d}{B}(\gamma - \gamma')$$

Las anteriores modificaciones, se basan en la hipótesis de que no exista fuerza de filtración en el suelo

**Caso III:** Para un nivel freático se localiza de manera que el  $d \geq B$ , el agua no afectara la capacidad de carga última. (Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das, pág. 487)

## Capacidad de Carga Admisible

El cálculo de la capacidad de carga bruta admisible de cimentaciones superficiales requiere de aplicar un factor de seguridad ( $FS$ ) a la capacidad de carga última bruta, (**Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das, pág. 487**)

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

### 1.11. Definición de Terminos Básicos

**Suelo:** Suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan. Crespo (2004).

**Cohesión:** Unión entre las moléculas del suelo, debida a la fuerza de atracción molecular, característica de los suelos con presencia de arcillas. Pérez, M. (2014).

**Estratigráficas:** La estratigrafía es la rama de la geología que trata del estudio e interpretación de las rocas sedimentarias estratificadas, y de la identificación, descripción, secuencia, tanto vertical como horizontal; cartografía y correlación de las unidades estratificadas de rocas. Rodríguez, J (2011).

**Plasticidad:** La plasticidad es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse. Por medio de ella se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas. Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg. Crespo, (2004).

**Límite líquido:** El límite líquido (LL) se define como el contenido de humedad expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. De acuerdo con esta definición, los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, pero definida, y según Atterberg es de 25 g/cm<sup>2</sup>. La cohesión de un suelo en el límite líquido es prácticamente nula. Crespo, (2004).

**Límite plástico:** El límite plástico (LP) se define como el contenido de humedad, expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico. Crespo, (2004).

**Cimentación:** Parte de la edificación que transmite al subsuelo las cargas de la estructura.

Norma E 050. **Cimentación Continua:** Cimentación superficial en la que el largo (L) es igual o mayor que diez veces el ancho (B). Norma E 050.

**Cimentación Superficial:** Aquella en la cual la relación profundidad/ancho ( $D_f/B$ ) es menor o igual a 5, siendo  $D_f$  la profundidad de la cimentación y B el ancho o diámetro de la misma. Norma E 050.

**Nivel Freático:** Nivel superior del agua subterráneo en el momento de la exploración. El nivel se puede dar respecto a la superficie del terreno o a una cota de referencia. Norma E 050.

## **CAPÍTULO II**

### **MATERIAL Y METODOS**

#### **2.1. Materiales**

##### 2.1.1 Recursos Humanos

Tesista.

Asesor.

Técnico de laboratorio de Mecánica de Suelos.

Jefe de Laboratorio.

##### 2.1.2 Recursos Materiales

Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.050 (Suelos y Cimentaciones)

Libros y artículos con lo referente a capacidad portante y cimentaciones.

Materiales para los ensayos de laboratorio.

Materiales de oficina (Laptop, USB, papel bond, lapiceros, GPS, tinta para impresora)

##### 2.1.3 Recursos de Equipos:

###### 2.1.3.1 Contenido de Humedad (ASTM D2216)

###### **Equipos:**

- Balanza de precisión (0.1 g para muestras de más de 200g y 0.01g para muestras mayores de 200 g).
- Formato adaptado para la recolección de datos.
- Recipientes de aluminio debidamente clasificados.
- Horno de secado.
- Guantes para remover las muestras del horno.

### **2.1.3.2 Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422)**

#### **Equipos:**

- Balanza de precisión (0.1 g para muestras de más de 200g y 0.01g para muestras mayores de 200 g).
- Formato adaptado para la recolección de datos.
- Juego de Tamices normalizados.
- Horno de secado.
- Recipientes de aluminio debidamente clasificados.
- Guantes para remover las muestras del horno.

### **2.1.3.3 Determinación del Límite Líquido. ASTM D4318**

- Malla N° 40.
- Balanza de precisión (0.1 g para muestras de más de 200g y 0.01g para muestras mayores de 200 g).
- Agua Destilada.
- Recipientes etiquetados.
- Copa de Casagrande: Este dispositivo consiste en una copa de latón y una base de goma dura.
- Acanalador (Casagrande o ASTM), mango de calibre de 1cm. para verificar altura de caída de la cuchara o copa.
- Espátula hoja flexible de 20mm. de ancho y 70mm. de largo.
- Horno de Secado

### **2.1.3.4 Determinación del Límite Plástico. ASTM D4318**

- Malla N° 40.
- Agua Destilada.
- Recipientes etiquetados.
- Balanza de precisión (0.1 g para muestras de más de 200g y 0.01g para muestras mayores de 200 g).
- Placa de Vidrio.
- Espátula hoja flexible 20mm. de ancho y 70mm. de largo.

- Plato de evaporación de porcelana de 120mm. de diámetro.
- Horno de Secado.

### 2.1.3.5 Ensayo de compresión triaxial no consolidado (ASTM D 2850-95)

Equipos:

- Balanza de precisión (0.1 g para muestras de más de 200g y 0.01g para muestras mayores de 200 g).
- Recipientes etiquetados.
- Cronómetro.
- Agua desairada.
- Herramienta para molder la muestra.
- Formato para recolección de datos.
- Calibradores para medir las dimensiones de las muestras.
- Prensa de carga axial.
- Elemento para medir la deformación axial.
- Cámara de compresión triaxial.
- Discos porosos.
- Drenes de papel filtro
- Membrana de goma:

## 2.2. Metodología

### 2.2.1. Universo y Muestra

**Universo:** El universo está formado por los suelo de la localidad de Caspizapa, Provincia de Picota, Región San Martín.

**Muestra:** Los suelos cohesivos de la localidad de Caspizapa.

### 2.2.2. Sistema de variables

#### **Variable Independiente**

El suelo de la localidad de Caspizapa

## **Variable Dependiente**

El valor de La capacidad portante del suelo para la construcción de futuras edificaciones

### **2.2.3. Diseño de la investigación**

#### **Tipo de investigación**

La investigación que se desarrolló fue como descriptivo- Aplicada, ya que el reconocimiento de campo se realiza para tomar las muestras de suelo para su posterior determinación de la capacidad portante del suelo.

### **2.3 Instrumentos Bibliográficos:**

Se clasificó información de libros de mecánica de suelos, artículos, publicaciones, la norma E050, así como blogs de internet.

#### **Normas Usadas:**

<b>Ensayos Estándar</b>	<b>Norma Usada</b>
Contenido de Humedad Natural	ASTM D2216
Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422
Límite Líquido y Límite Plástico	ASTM D4318
Clasificación Unificada de Suelos	ASTM D2487
Peso Específico del Sólido	ASTM D854
Gravedad Específica de los Sólidos	ASTM D856

**Ensayos Especiales****Norma Usada**

Triaxial

ASTM D4767

**2.4. Procesamiento de la Información****2.4.1 Reconocimiento de Campo**

Las calicatas a excavar se identificaron con el plano de ubicación de la localidad de Caspizapa, se realizó con ayuda del personal de la Universidad Nacional de San Martín con la finalidad de determinar el perfil estratigráfico y la toma de muestra del suelo en el área de estudio.

**2.4.2 Excavaciones a Cielo Abierto (Calicatas)**

Con el fin de conocer las propiedades del suelo, se han realizado 20 calicatas o pozos a cielo abierto previamente identificados en el plano

.

Muestreo Alterado: Se han extraído muestras alterados de cada uno de los tipos de suelo encontrados durante las excavaciones, en cantidad suficiente (4kg) para realizar los ensayos de laboratorio

.

Muestreo inalterado: Se han extraído muestras inalteradas de las calicatas a una profundidad promedio de 1.5 metros, acondicionadas para el ensayo triaxial.

Registro de excavaciones: Se realizó la clasificación de las calicatas teniendo en cuenta, la profundidad de la extracción, el color, la textura, el número de calicata, las coordenadas, los Jirones.

**2.4.3 Espaciamiento y características de las calicatas.**

La separación de las calicatas varía de acuerdo a la ubicación de las calles. Las calicatas fueron trabajadas según la Norma Técnica ASTM D420

Las muestras llevadas al laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de San Martín, fueron llevadas en cantidades reglamentarias para cada tipo de material, escogidos luego del cuarteo.

Para el transporte de las muestras, se han utilizado recipientes cerrados herméticamente, para su clasificarlos se puso los siguientes datos:

Nombre del proyecto.

Ubicación de calicata.

Fecha de excavación.

Número de calicata.

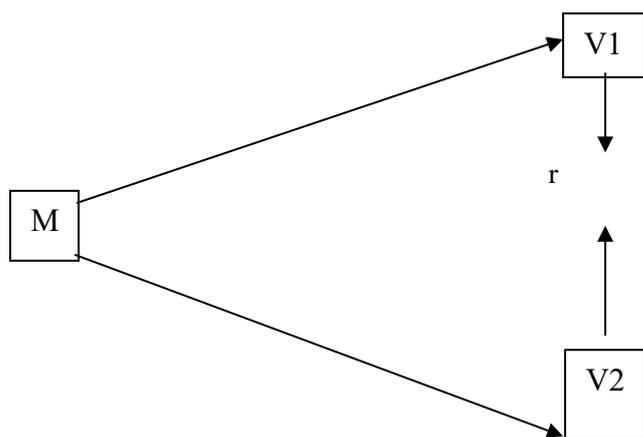
Tipo de muestra.

Profundidad de la muestra.

## 2.5. Operacionalización de variables

TIPO/VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Suelo	Se define como el agregado no cementado de grano mineral y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas ( <b>Braja, M., 2001, p. 30</b> ).	Estabilidad Resistencia Permeabilidad Durabilidad Desagregación	Cambio de humedad Compactación Deslizamientos Erosión Desintegración del suelo
Capacidad Portante	Es la capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él. Técnicamente la capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo. ( <b>Pérez, M, 2014, p.49</b> ).	Densidad Comprensibilidad Cohesión	Tipo de capacidad Presión media Absorción de humedad.

## 2.6. Diseño Experimental de la Investigación



Donde:

M : Muestra

V1 : Suelo

V2 : Capacidad Portante

r : Parámetros de relación de variables.

## CAPITULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados

##### 3.1.1. Ubicación de Calicatas en la Zona Urbana del Distrito de Caspizapa

Las calicatas están ubicadas en las intersecciones de las calles en la zona urbana del distrito de Caspizapa, Provincia de Picota, Región de San Martín. A continuación se adjunta cuadro conteniendo dicha información:

**Tabla 4**

*Ubicación de las calicatas.*

CALICATA	UBICACIÓN DEL PUNTO DE EXPLORACIÓN
C-01	JR.SARGENTO LORES - JR. BOLOGNESI
C-02	JR.SARGENTO LORES - JR. SAN MARTIN
C-03	JR. SARGENTO LORES - JR. J.A. QUIÑONES
C-04	JR. SARGENTO LORES
C-05	JR. S. LORES - JR. SIMON BOLIVAR
C-06	JR. S/N - JR. SIMON BOLIVAR
C-07	JR S/N
C-08	JR S/N - JR. JOSE ABELARDO QUIÑONES
C-09	JR S/N - JR. SAN MARTIN
C-10	JR. S/N - JR. BOLOGNESI
C-11	JR COMERCIO - JR. BOLOGNESI
C-12	JR. COMERCIO - JR. SAN MARTIN
C-13	JR. COMERCIO - JR. J.A. QUIÑONES
C-14	JR. COMERCIO - JR. S/N
C-15	JR. COMERCIO - JR. SIMON BOLIVAR
C-16	JR. LIMA - JR. SIMON BOLIVAR
C-17	JR. LIMA - JR. J.A. QUIÑONES
C-18	JR. LIMA - JR. SAN MARTIN
C-19	JR. LIMA - JR. BOLOGNESI
C-20	JR. JOSE OLAYA - JR- SAN MARTIN
C-21	JR. JOSE OLAYA - JR- J.A. QUIÑONES
C-22	JR. JOSE OLAYA - JR. S/N
C-23	JR. JOSE OLAYA - JR. SIMON BOLIVAR

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.2. Estudio de Mecánica de Suelos

#### 3.1.2.1. Contenido de humedad del suelo de la zona urbana del distrito de Caspizapa

**Tabla 5**

*Resumen de la obtención del contenido de humedad natural.*

<b>CALICATA</b>	<b>UBICACIÓN DEL PUNTO DE EXPLORACIÓN</b>	<b>HUMEDAD NATURAL (%)</b>
C-01	JR.SARGENTO LORES - JR. BOLOGNESI	22.24
C-02	JR.SARGENTO LORES - JR. SAN MARTIN	19.32
C-03	JR. SARGENTO LORES - JR. J.A. QUIÑONES	13.15
C-04	JR. SARGENTO LORES	15.90
C-05	JR. S. LORES - JR. SIMON BOLIVAR	21.77
C-06	JR. S/N - JR. SIMON BOLIVAR	21.31
C-07	JR S/N	18.58
C-08	JR S/N - JR. JOSE ABELARDO QUIÑONES	16.39
C-09	JR S/N - JR. SAN MARTIN	19.32
C-10	JR. S/N - JR. BOLOGNESI	19.86
C-11	JR COMERCIO - JR. BOLOGNESI	20.80
C-12	JR. COMERCIO - JR. SAN MARTIN	19.76
C-13	JR. COMERCIO - JR. J.A. QUIÑONES	15.87
C-14	JR. COMERCIO - JR. S/N	20.05
C-15	JR. COMERCIO - JR. SIMON BOLIVAR	20.56
C-16	JR. LIMA - JR. SIMON BOLIVAR	22.71
C-17	JR. LIMA - JR. J.A. QUIÑONES	19.97
C-18	JR. LIMA - JR. SAN MARTIN	19.76
C-19	JR. LIMA - JR. BOLOGNESI	16.56
C-20	JR. JOSE OLAYA - JR- SAN MARTIN	18.45
C-21	JR. JOSE OLAYA - JR- J.A. QUIÑONES	19.54
C-22	JR. JOSE OLAYA - JR. S/N	23.68
C-23	JR. JOSE OLAYA - JR. SIMON BOLIVAR	27.31

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.2.2. Composición del análisis granulométrico

**Tabla 6**

*Resumen de las características granulométricas.*

CALICATA	PUNTO DE EXPLORACION	GRANULOMETRIA			
		MALLA	MALLA	MALLA	MALLA
		# 4	#10	# 40	#200
C-01-MII	JR.SARGENTO LORES - JR. BOLOGNESI	100	99.68	99.06	88.16
C-02-MII	JR.SARGENTO LORES - JR. SAN MARTIN	98.52	98.11	97.81	92.57
C-03-MII	JR. SARGENTO LORES - JR. J.A. QUIÑONES	100.00	99.89	99.72	99.38
C-04-MII	JR. SARGENTO LORES	99.47	97.40	96.99	89.60
C-05-MII	JR. S. LORES - JR. SIMON BOLIVAR	98.95	98.85	99.72	98.26
C-06-MII	JR. S/N - JR. SIMON BOLIVAR	100.00	99.87	99.69	99.33
C-07-MII	JR S/N	100.00	99.12	96.66	87.17
C-08-MII	JR S/N - JR. JOSE ABELARDO QUIÑONES	95.90	92.41	89.37	61.16
C-09-MII	JR S/N - JR. SAN MARTIN	100.00	99.10	98.54	95.70
C-10-MII	JR. S/N - JR. BOLOGNESI	99.84	99.40	99.03	96.72
C-11-MII	JR COMERCIO - JR. BOLOGNESI	100.00	99.91	99.85	74.15
C-12-MII	JR. COMERCIO - JR. SAN MARTIN	99.01	98.22	97.92	66.51
C-13-MII	JR. COMERCIO - JR. J.A. QUIÑONES	100.00	99.73	99.40	98.76
C-14-MII	JR. COMERCIO - JR. S/N	99.96	99.65	99.43	93.55
C-15-MII	JR. COMERCIO - JR. SIMON BOLIVAR	100.00	99.97	99.89	71.22

C-16-MII	JR. LIMA - JR. SIMON BOLIVAR	99.86	99.46	99.24	94.23
C-17-MII	JR. LIMA - JR. J.A. QUIÑONES	99.26	98.21	99.89	80.52
C-18-MII	JR. LIMA - JR. SAN MARTIN	99.32%	98.32%	94.88%	75.59%
C-19-MII	JR. LIMA - JR. BOLOGNESI	98.15%	96.16%	87.19%	66.33%
C-20-MII	JR. JOSE OLAYA - JR- SAN MARTIN	99.53%	98.89%	93.59%	74.01%
C-21-MII	JR. JOSE OLAYA - JR- J.A. QUIÑONES	98.87%	98.48%	94.66%	79.08%
C-22-MII	JR. JOSE OLAYA - JR. S/N	99.53%	98.89%	93.59%	74.01%
C-23-MII	JR. JOSE OLAYA - JR. SIMON BOLIVAR	100.00%	99.38%	98.13%	83.69%

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.2.3. Resultados de los límites de consistencia

**Tabla 7**

*Límites de consistencia.*

CALICATAS	UBICACIÓN DE PUNTO DE EXPLORACION	PROPIEDADES INDICES		
		L.L	L.P.	IP
		%	%	%
C-01	JR.SARGENTO LORES - JR. BOLOGNESI	38.07	20.63	17.44
C-02	JR.SARGENTO LORES - JR. SAN MARTIN	39.28	19.96	19.32
C-03	JR. SARGENTO LORES - JR. J.A. QUIÑONES	35.97	19.45	16.52
C-04	JR. SARGENTO LORES	27.81	16.49	11.32
C-05	JR. S. LORES - JR. SIMON BOLIVAR	31.49	16.95	14.54
C-06	JR. S/N - JR. SIMON BOLIVAR	34.34	18.50	15.84
C-07	JR S/N	26.82	15.45	11.37
C-08	JR S/N - JR. JOSE ABELARDO QUIÑONES	29.22	15.52	13.70
C-09	JR S/N - JR. SAN MARTIN	33.31	16.69	16.62
C-10	JR. S/N - JR. BOLOGNESI	34.76	17.84	16.92
C-11	JR COMERCIO - JR. BOLOGNESI	35.92	18.66	17.26

C-12	JR. COMERCIO - JR. SAN MARTIN	35.62	18.83	16.79
C-13	JR. COMERCIO - JR. J.A. QUIÑONES	28.80	15.20	13.60
C-14	JR. COMERCIO - JR. S/N	47.09	24.08	23.01
C-15	JR. COMERCIO - JR. SIMON BOLIVAR	38.58	19.80	18.78
C-16	JR. LIMA - JR. SIMON BOLIVAR	43.31	21.81	21.50
C-17	JR. LIMA - JR. J.A. QUIÑONES	40.86	20.52	20.34
C-18	JR. LIMA - JR. SAN MARTIN	44.27	23.72	20.55
C-19	JR. LIMA - JR. BOLOGNESI	35.75	20.28	15.47
C-20	JR. JOSE OLAYA - JR- SAN MARTIN	45.40	22.88	22.52
C-21	JR. JOSE OLAYA - JR- J.A. QUIÑONES	46.71	23.85	22.86
C-22	JR. JOSE OLAYA - JR. S/N	45.40	22.88	22.52
C-23	JR. JOSE OLAYA - JR. SIMON BOLIVAR	38.55	19.70	18.85

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.3. Clasificación de suelos

**Tabla 8**

*Clasificación del suelo según SUCS y AASHTO.*

CALICATAS	UBICACIÓN DE PUNTO DE EXPLORACIÓN	RESULTADOS	
		CLASIF. SUCS	CLASIF. AASHTO
C-01	JR.SARGENTO LORES - JR. BOLOGNESI	CL	A-6(11)
C-02	JR.SARGENTO LORES - JR. SAN MARTIN	CL	A-6(12)
C-03	JR. SARGENTO LORES - JR. J.A. QUIÑONES	CL	A-6(11)
C-04	JR. SARGENTO LORES	CL	A-6(9)
C-05	JR. S. LORES - JR. SIMON BOLIVAR	CL	A-6(10)

C-06	JR. S/N - JR. SIMON BOLIVAR	CL	A-6(11)
C-07	JR S/N	CL	A-6(9)
C-08	JR S/N - JR. JOSE ABELARDO QUIÑONES	CL	A-6(6)
C-09	JR S/N - JR. SAN MARTIN	CL	A-6(11)
C-10	JR. S/N - JR. BOLOGNESI	CL	A-6(11)
C-11	JR COMERCIO - JR. BOLOGNESI	CL	A-6(10)
C-12	JR. COMERCIO - JR. SAN MARTIN	CL	A-6(8)
C-13	JR. COMERCIO - JR. J.A. QUIÑONES	CL	A-6(10)
C-14	JR. COMERCIO - JR. S/N	CL	A-7-6(15)
C-15	JR. COMERCIO - JR. SIMON BOLIVAR	CL	A-6(10)
C-16	JR. LIMA - JR. SIMON BOLIVAR	CL	A-7-6(13)
C-17	JR. LIMA - JR. J.A. QUIÑONES	CL	A-7-6(12)
C-18	JR. LIMA - JR. SAN MARTIN	CL	A-7-6(13)
C-19	JR. LIMA - JR. BOLOGNESI	CL	A-6(8)
C-20	JR. JOSE OLAYA - JR- SAN MARTIN	CL	A-7-6(13)
C-21	JR. JOSE OLAYA - JR- J.A. QUIÑONES	CL	A-7-6(14)
C-22	JR. JOSE OLAYA - JR. S/N	CL	A-7-6(13)
C-23	JR. JOSE OLAYA - JR. SIMON BOLIVAR	CL	A-6(12)

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.4. Ensayo de compresión triaxial no consolidado

**Tabla 9**

*Densidad, ángulo de fricción y cohesión según ensayo triaxial.*

CALICATA MUESTRA	DESCRIPCION CALLE	ANG. FRICCION $\theta$	COHESION kg/cm <sup>2</sup>	$\gamma_h$ gr/cm <sup>3</sup>
C-03 MII	JR. SARGENTO LORES - JR. J.A. QUIÑONES	13.00	0.31	1.79
C-08 MII	JR S/N - JR. JOSE ABELARDO QUIÑONES	20.00	0.19	1.79
C-14 MII	JR. COMERCIO - JR. S/N	14.00	0.28	1.80
C-18 MII	JR. LIMA - JR. SAN MARTIN	18.00	0.26	1.80
C-21 MII	JR. JOSE OLAYA - JR- J.A. QUIÑONES	17.00	0.23	1.81

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.5. Registro de excavación del suelo

El registro de excavación de los suelos en estudio se detalla en el Anexo III, el perfil estratigráfico indica los cambios en las capas de suelo encontrados en el lugar de estudio.

### Cálculo de la capacidad portante de los suelos cohesivos de la zona urbana del distrito de Caspizapa

Se determinará la capacidad portante de las 7 calicatas en donde se obtuvo el ángulo de fricción y cohesión, aplicando la teoría de Karl Terzaghi, utilizando las siguientes expresiones:

#### Caso de falla local: Para cimentación cuadrada

$$q_u = 0.867 c N'_c + q N'_q + 0.4 \gamma B N'_\gamma$$

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

Donde:

$q_u$  : Capacidad de carga ultima.

$q_{adm}$  : Capacidad de carga admisible.

FS : Factor de seguridad

B : Ancho de cimentación

c : Cohesión del suelo

$\gamma$  : Peso específico del suelo

q :  $\gamma D_f$

$N'_c, N'_q, N'_\gamma$ : Factores de capacidad de carga adimensionales que están únicamente en función del  $\phi$  de fricción del suelo

### Calicata N° 03

Angulo de fricción interna :  $\phi = 13^\circ$

Cohesión : c = 0.31 kg/cm<sup>2</sup>

Peso específico del suelo :  $\gamma = 0.00179$ kg/cm<sup>3</sup>

Nivel freático : d = NP

Profundidad de la cimentación :  $D_f = 1.50$ m

Factores de carga :  $N'_c = 8.96$

(Ver tabla N°14) :  $N'_q = 2.38$

:  $N'_\gamma = 0.42$

Ancho de cimentación : B = 1.00m

Factor de seguridad : FS = 3.00

Reemplazando en la ecuación:

$$q_u = 0.867 \times 0.31 \times 8.96 + 0.00179 \times 1.5 \times 100 \times 2.38 \\ + 0.4 \times 0.00179 \times 1 \times 100 \times 0.42$$

$$q_u = 3.077 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{adm} = \frac{3.077}{3}$$

$$q_{adm} = 1.026 \text{ kg/cm}^2$$

### Calicata N° 08

Angulo de fricción interna :  $\phi = 20^\circ$

Cohesión : c = 0.19 kg/cm<sup>2</sup>

Peso específico del suelo :  $\gamma = 0.00179$  kg/cm<sup>3</sup>

Nivel freático : d = NP

Profundidad de la cimentación	: $D_f = 1.50\text{m}$
Factores de carga	: $N'_c = 11.85$
(Ver tabla N°14)	: $N'_q = 3.88$
	: $N'_\gamma = 1.12$
Ancho de cimentación	: $B = 1.00\text{m}$
Factor de seguridad	: $FS = 3.00$

Reemplazando en la ecuación:

$$q_u = 0.867 \times 0.19 \times 11.85 + 0.00179 \times 1.5 \times 100 \times 3.88 \\ + 0.4 \times 0.00179 \times 1 \times 100 \times 1.12$$

$$q_u = 3.074 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{adm} = \frac{3.074}{3}$$

$$q_{adm} = 1.025 \text{ kg/cm}^2$$

#### Calicata N° 14

Angulo de fricción interna	: $\phi = 14^\circ$
Cohesión	: $c = 0.28 \text{ kg/cm}^2$
Peso específico del suelo	: $\gamma = 0.00180 \text{ kg/cm}^3$
Nivel freático	: $d = \text{NP}$
Profundidad de la cimentación	: $D_f = 1.50\text{m}$
Factores de carga	: $N'_c = 9.31$
(Ver tabla N°14)	: $N'_q = 2.55$
	: $N'_\gamma = 0.48$
Ancho de cimentación	: $B = 1.00\text{m}$
Factor de seguridad	: $FS = 3.00$

Reemplazando en la ecuación:

$$q_u = 0.867 \times 0.28 \times 9.31 + 0.00180 \times 1.5 \times 100 \times 2.55 \\ + 0.4 \times 0.00180 \times 1 \times 100 \times 0.48$$

$$q_u = 2.983 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{adm} = \frac{2.983}{3}$$

$$q_{adm} = 0.994 \text{ kg/cm}^2$$

**Calicata N° 18**

Angulo de fricción interna	: $\phi = 18^\circ$
Cohesión	: $c = 0.26 \text{ kg/cm}^2$
Peso específico del suelo	: $\gamma = 0.00180 \text{ kg/cm}^3$
Nivel freático	: $d = \text{NP}$
Profundidad de la cimentación	: $D_f = 1.50\text{m}$
Factores de carga	: $N'_c = 10.90$
(Ver tabla N°14)	: $N'_q = 3.36$
	: $N'_\gamma = 0.88$
Ancho de cimentación	: $B = 1.00\text{m}$
Factor de seguridad	: $\text{FS} = 3.00$

Reemplazando en la ecuación:

$$q_u = 0.867 \times 0.26 \times 10.90 + 0.00180 \times 1.5 \times 100 \times 3.36 \\ + 0.4 \times 0.00180 \times 1 \times 100 \times 0.88$$

$$q_u = 3.428 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{adm} = \frac{3.428}{3}$$

$$q_{adm} = 1.143 \text{ kg/cm}^2$$

**Calicata N° 21**

Angulo de fricción interna	: $\phi = 17^\circ$
Cohesión	: $c = 0.23 \text{ kg/cm}^2$
Peso específico del suelo	: $\gamma = 0.00181 \text{ kg/cm}^3$
Nivel freático	: $d = \text{NP}$
Profundidad de la cimentación	: $D_f = 1.50\text{m}$
Factores de carga	: $N'_c = 10.47$
(Ver tabla N°14)	: $N'_q = 3.13$
	: $N'_\gamma = 0.76$
Ancho de cimentación	: $B = 1.00\text{m}$
Factor de seguridad	: $\text{FS} = 3.00$

Reemplazando en la ecuación:

$$q_u = 0.867 \times 0.23 \times 10.47 + 0.00181 \times 1.5 \times 100 \times 3.13 \\ + 0.4 \times 0.00181 \times 1 \times 100 \times 0.76$$

$$q_u = 2.993 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{adm} = \frac{2.993}{3}$$

$$q_{adm} = 0.998 \text{ kg/cm}^2$$

### **Elaboración del mapa de zonificación del suelo**

El plano de zonificación del suelo se encuentra en el:

Anexo IV: (Plano ZS – 01) en el plano se indica las zonas de acuerdo al tipo de suelo (CL y CH)

Anexo IV: (Plano ZCP – 01) en el plano se indica la capacidad admisible la cual se dividió en dos zonas, la Zona N° 1 y la Zona N° 2. La Zona N° 2 indica suelo de capacidad admisible promedio más bajo, caso contrario la Zona N°1 indica un suelo de mayor capacidad portante.

### **3.1.6. Análisis de Resultados**

#### **3.1.6.1. Exploración de suelos**

El reconocimiento del terreno es la primera etapa para tener que situar los puntos de ubicación para las calicatas, posterior a eso se realizó la excavación, la toma de muestras y la clasificación de cada una de ellas.

Se aplicó el teorema de Boussinesq que para una profundidad de 3.00, se consideró el ancho de la cimentación a 1m (condición más crítica) y a una profundidad de 1.5m la carga se disipa en un orden menor al 10%, por tal motivo se realizó una excavación de 3m.

#### **3.1.6.2. Ensayos de laboratorio**

Luego de haber extraído las muestras, se procedió llevar al laboratorio de la Universidad Nacional de San Martín. Los ensayos realizados fueron contenidos de humedad, límite líquido, límite plástico, análisis granulométrico, y el ensayo triaxial no consolidado no drenado.

Los resultados se analizan a continuación:

Contenido de humedad: los resultados varían de 13.15% a 27.31%, lo cual indica que son suelos simiescos sin presencia de nivel freático.

Granulometría: el porcentaje de finos que pasa el tamiz N° 200 varía entre 61.16% y 99.38%.

Límites de consistencia: el límite líquido varía entre 26.82% y 47.09%, para el límite plástico se obtuvieron valores entre 15.20% y 24.08.53% y por último el índice plástico que es la diferencia de los valores del límite líquido y plástico, varía entre 11.32% y 23.01%.

Clasificación: se clasificaron las muestras mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), como suelos arcillosos inorgánicos de baja y alta plasticidad (CL y CH).

Ensayo Triaxial: se seleccionaron 5 muestras inalteradas de las C-03, C-08, C-14, C-18, C-21, para realizar el ensayo con la finalidad de obtener la densidad, el ángulo de fricción y la cohesión del suelo, obteniendo una cohesión entre 0.19 a 0.31 km/cm<sup>2</sup> debido a que la cohesión depende de la humedad del suelo, y se tiene que para este caso que el porcentaje (%) de contenido de humedad es alto, es por eso que los suelos arcillosos presentan una alta cohesión. Se obtuvo también un ángulo de fricción entre 13° y 20° esto depende fundamentalmente de la granulometría, forma, tamaño y disposición de las partículas, por ello se tiene que el ángulo de fricción ofrece una mejor resistencia al deslizamiento, debido a que tiene superficies de contacto mayores entre sus partículas.

### **3.1.6.3. Capacidad de Carga Admisible**

Para el cálculo de la capacidad portante admisible se utilizó la teoría de Terzaghi para el caso de falla local para cimentaciones cuadradas de 1.00 x 1.00, sin presencia de nivel freático. El Reglamento Nacional de Edificaciones en la Norma E.050 recomienda utilizar un factor de seguridad FS=3 para cargas estáticas.

Los resultados obtenidos para cada una de las muestras inalteradas se muestran a continuación:

#### **ZONA I**

C-03 = 1.026 kg/cm<sup>2</sup>

C-08 = 1.025 kg/cm<sup>2</sup>

C-18 = 1.143 kg/cm<sup>2</sup>

De acuerdo a los valores obtenidos los cuales pertenecen a un rango de 1.00 a 1.50 kg/cm<sup>2</sup>

## **ZONA II**

C-14 = 0.994 kg/cm<sup>2</sup>

C-21 = 0.998 kg/cm<sup>2</sup>

De acuerdo a los valores obtenidos los cuales pertenecen a un rango de 0.75 a 1.50 kg/cm<sup>2</sup>

### **3.2. Discusión de Resultados**

En base a los resultados obtenidos en la investigación de los suelos de la zona urbana del distrito de Caspizapa se puede evaluar lo siguiente:

De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), encontramos que los suelos de la zona son suelos inorgánicos: arcillas inorgánicas (CL) de baja plasticidad (CH),

En base a los resultados de capacidad portante obtenidos en ambas zonas (zona I y zona II), teniendo en cuenta el Reglamento Nacional de Edificaciones (Norma E.050, suelos y cimentaciones, capítulo III Análisis de condición de cimentaciones artículo N°17 en el cual nos indica que la presión admisible de un estudio será el menor valor), teniendo en cuenta lo anterior mencionado tomamos el menor valor de las dos zonas de estudio.

**Zona I:** La capacidad de carga varía entre 1.025 y 1.143 kg/cm<sup>2</sup>; de acuerdo a lo mencionado líneas arriba consideramos una capacidad de carga de **1.025 kg/cm<sup>2</sup>**, lo que indica que el suelo es de condición habitable.

**Zona II:** La capacidad de carga varía entre 0.994 y 0.998 kg/cm<sup>2</sup>; de acuerdo a lo mencionado líneas arriba consideramos una capacidad de carga de **0.994 kg/cm<sup>2</sup>**, lo que indica que el suelo es de condición habitable.

#### **3.2.1. Contratación de la Hipótesis**

Con la exploración de campo se determinó la ubicación de los puntos de muestreo obteniéndose un total de 23 calicatas distribuidas en toda la zona urbana del distrito de Caspizapa, de las cuales se extrajo una muestra alterada y en algunas calicatas inalteradas, recalcando que no se encontró la presencia del nivel freático a una profundidad de 3.00 m.

Se realizaron los ensayos respectivos a las muestras para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, así como también el tipo de suelo y sus características. Los resultados obtenidos fueron, un contenido de humedad en promedio de 19.82%. Mediante la clasificación SUCS, se pudieron encontrar arcillas de baja plasticidad (CL). Con los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio, se procedió a hacer el cálculo de la capacidad portante con la teoría de Karl Terzaghi, para el caso de una falla local en cimentaciones cuadradas de 1.00 x 1.00 m., de lo cual se obtuvieron los resultados de capacidad de carga que van desde 0.994 (ZONA II)– 1.025 (ZONA I) kg/cm<sup>2</sup>, valores que corresponden a suelos arcillosos inorgánicos de baja plasticidad.

Con lo mencionado anteriormente se puede afirmar que el estudio y análisis realizado de la capacidad portante de los suelos cohesivos de la zona urbana del distrito de Caspizapa, nos da como resultado la magnitud necesaria y suficiente para soportar las cimentaciones superficiales que servirán de sostén para las edificaciones futuras producto del aumento y desarrollo urbano en esta zona.

## CONCLUSIONES

- Se estableció los puntos mediante el plano de ubicación y se realizó las 23 calicatas a una profundidad de 3m, la elaboración del plano de zonificación resalta las características físicas y mecánicas del suelo.
- Mediante la clasificación SUCS, en el área de estudio se encontraron arcillas de baja plasticidad (CL), en la clasificación AASHTO se determinó suelos A-6 y A-7, con un contenido de humedad promedio de 19.82%.
- Para el cálculo de la capacidad portante se determinó usando la teoría de Karl Terzaghi, para el caso de cimentaciones corridas y cuadradas.
- La capacidad portante de la zona de estudio varía entre los intervalos de 0.994 kg/cm<sup>2</sup> y 1.143 kg/cm<sup>2</sup>, según los estudios de suelos desarrollados, se clasificó en 2 zonas: Zona I, con una capacidad de carga de 0.994 kg/cm<sup>2</sup>, y la Zona II, con una capacidad de carga de 1.025 kg/cm<sup>2</sup>.
- Se concluye que los suelos de la Localidad de Caspizapa tienen la capacidad portante suficiente para la soportar y construir cimentaciones superficiales.
- Para una mejor representación, se elaboró los planos de zonificación.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda ejecutar un estudio de mecánica de suelos para poder diseñar una cimentación de acuerdo a la capacidad de carga del terreno.
- Se recomienda siempre guiarse de las normas vigentes tanto para los ensayos de laboratorio, como para el diseño de las cimentaciones superficiales teniendo parámetros adecuados para un correcto desarrollo.
- Se recomienda realizar las excavaciones en un suelo seco, ya que una precipitación previa puede alterar la humedad de la muestra.
- Se recomienda llevar las muestras lo más rápido posible al laboratorio, para que el suelo no pierda humedad, esto es para tener un resultado más preciso.
- Se recomienda tener mucho cuidado al momento de manipular las muestras inalteradas, ya que son muy sensibles y quebradizas.
- Tener en cuenta el tipo de edificación a construir, sus cargas estructurales y el uso que se le dará, para poder identificar el tipo de cimentación superficial más adecuado.
- Se recomienda pedir siempre asesoramiento del personal calificado para poder hacer un buen proyecto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Braja M., Das. (2013).** *"Fundamentos de Ingeniería Geotécnica"*, Cengage Learning © 2013, México.
- Duque E., Gonzalo Y Otros (2002).** **Artículo:** *"Origen, formación y constitución del suelo"*, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, 2002, Colombia.
- Jiménez Flores, Jorge F. (2011).** **Tesis de grado:** *"Zonificación de la capacidad portante del suelo del distrito de la Banda de Shilcayo"*, Perú.
- Campos, J. y Guardia, G. (2005).** *Apoyo didáctico al aprendizaje de la asignatura Mecánica de suelos I CIV 219*. Universidad Mayor de San Simón, Bolivia.
- Juárez B., Eulalio y Rico R. A. (2005).** *"Mecánica de Suelos"*, Tomo I, Editorial Limosa, tercera edición, México.
- L. Berry, Peter. Reid, David (1993).** *"Mecánica de Suelos"*. Editorial Mc Graw – Hill, primera edición, Argentina, 1993.
- Reglamento Nacional De Edificaciones (2006)** Norma E-050.
- Terzaghi, K. (1943),** *Theoretical Soil Mechanics*, Wiley, New York.
- Martínez, E. N. (2003).** *Manual de mecánica de suelos I*, U.N.S.M, Perú
- Martínez, E. N. (2009).** *Manual de mecánica de suelos II*, U.N.S.M., Perú.
- Pérez, M. (2014).** *"Aplicaciones Avanzadas de los materiales compuestos en la obra civil y la edificación"*. (1era ed.). Omniascience.
- Meyerhof, A. (1965).** *"Shallow Foundations, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division"*.
- Carrasco, S. (2015).** *"Metodología de la investigación científica"*.
- Cuellar, V. (2004)** *"Comportamiento de cimentaciones superficiales sobre suelos granulares sometidas a solicitaciones dinámicas"*. Universidad de Madrid.
- Berrocal, J. (2013),** *"Métodos analíticos y numéricos aplicados al diseño de cimentaciones superficiales considerando su interacción con el suelo"*.

**ANEXOS**

**ANEXO N° 01:**  
**RESOLUCIÓN N° 216-2019-UNSM/FICA-CFT-NLU**