





**UNIVERSIDAD LATINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

Licenciatura en Ingeniería Civil

Tesis de grado

**“VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE  
CONSOLIDACIÓN EN LIMOS EXPUESTOS A CONDICIONES  
MEDIOAMBIENTALES DE ALTA HUMEDAD”**

Autora:

Ana Sofía López Bolaños

Tutora:

Ing. Alicia Alpizar Barquero

Heredia, setiembre del 2018



**UNIVERSIDAD LATINA  
DE COSTA RICA**  
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®

## TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: "VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CONSOLIDACIÓN EN LIMOS EXPUESTOS A CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES DE ALTA HUMEDAD.", fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:

**ING. ALICIA ALPÍZAR BARQUERO, MSC.**

**TUTOR**

**ING. ALBERTO GONZÁLEZ SOLERA**

**LECTOR**

**ING. JOSÉ MARÍA ULATE ZÁRATE**

**REPRESENTANTE DE RECTORÍA**

**COMITÉ ASESOR**

**ING. ALICIA ALPÍZAR BARQUERO, MSC.**

**TUTORA**

**ING. ALBERTO GONZÁLEZ SOLERA**

**LECTOR**

**ING, JOSÉ MARÍA ULATE ZÁRATE**

**REPRESENTANTE DE RECTORÍA**

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL  
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD TESIS DE GRADO**

Heredia, 14 de 09, de 2019

Sres.  
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación  
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Tesis de Grado bajo el título "*Variación de los parámetros de consolidación en limos expuestos a condiciones medioambientales de alta humedad*" por parte del estudiante: Ana Sofía López Bolaños, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

**Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.**

Suscribe cordialmente,



Ing. Alicia Alpízar Barquero, MSc

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL  
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD TESIS DE GRADO**

Heredia, 14 de 09, de 2018

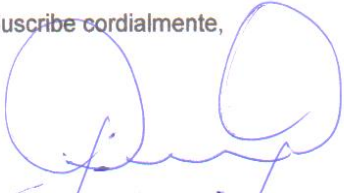
Sres.  
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación  
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Tesis de Grado bajo el título "*Variación de los parámetros de consolidación en limos expuestos a condiciones medioambientales de alta humedad*" por parte del estudiante: Ana Sofía López Bolaños, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

**Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.**

Suscribe cordialmente,



Ing. Alberto González Solera

Palmares, Alajuela, 24 de setiembre de 2018.

Señores  
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación  
Escuela de Ingeniería Civil  
Universidad Latina de Costa Rica

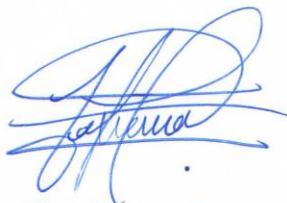
Estimados señores:

Hago constar que he revisado en cuanto a forma y estilo se refiere el documento "Variación de los parámetros de consolidación en limos expuestos a condiciones medioambientales de alta humedad", presentado por la estudiante Ana Sofía López Bolaños, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil.

La corrección de estilo se ha fundamentado en la normativa de la *Nueva gramática de la lengua española*, la *Ortografía* y el *Diccionario de la lengua*, todos de la Real Academia Española (RAE). Además, se consideraron las recomendaciones del *Manual APA*, en su versión reciente, en español.

Asimismo, hago constar que he corroborado que todas las sugerencias señaladas han sido incorporadas al texto.

Atentamente,



Mag. Tatiana Chinchilla Araya  
Cédula 2-07040059  
Carné Colypro 65566



## “Carta Autorización del autor(es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016

*Instrucción:* Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

**Yo (Nosotros):**

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; " ; "

**Ana Sofía López Bolaños**

De la Carrera / Programa: **Ingeniería civil**

autor (es) del (de la) (Indique tipo de trabajo): **Tesis de grado**  
titulado:

**Variación de los parámetros de consolidación en limos expuestos a condiciones medioambientales de alta humedad**

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página web institucional, así como medios electrónicos en general, internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos dentro o fuera de la Red Laureate, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de esta.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) **viernes 14** del mes **setiembre** del año **2018** a las **18:00**. Asimismo declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: que soy el autor(a) del presente trabajo final de graduación, que el contenido de dicho trabajo es obra original del (la) suscrito(a) y de la veracidad de los datos incluidos en el documento. Eximo a la Universidad Latina; así como al Tutor y Lector que han revisado el presente, por las manifestaciones y/o apreciaciones personales incluidas en el mismo, de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjurio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores Según orden de mención al inicio de ésta carta:

*SLB*



## *Agradecimientos*

Primero agradezco a Dios, que siempre me guía y cuida de mí.

A cada profesor, que con su sabiduría hizo parte en mi formación como estudiante.

A mi familia, por tanto apoyo y cada palabra de motivación.

Mi amiga Cristina, esa persona que siempre está ahí.

Jose Luis Jiménez, mi padrino, por toda su ayuda.

Un agradecimiento especial a la empresa IIG Consultores y a todo su equipo, el cual fue parte importante de este trabajo, muy en especial a la ingeniera Alicia Alpizar Barquero.

## *Dedicatoria*

*Todo gracias a ustedes, por tanto esfuerzo y sacrificio,  
porque siempre están ahí.  
Los cimientos de mi vida.  
Con todo mi amor y cariño, a mi papá y mi mamá...*

## RESUMEN

La variación en los parámetros de consolidación presentes en un limo expuesto a un clima altamente húmedo conlleva a investigar sobre cuánto afecta en comparación con un limo en su estado más natural, sin estar expuesto a humedades altas.

Para cumplir con los objetivos propuestos, se realizó una investigación del área para la extracción del limo en una zona de El Coyol de Alajuela, se trabajaron muestras inalteradas y se introdujeron en una cámara que simulaba un ambiente húmedo para tomar muestras para el ensayo de consolidación y medir las variaciones en los parámetros a los siete días y a los quince días después de estar dentro de la cámara. Los ensayos para las pruebas se elaboraron siguiendo la normativa ASTM en un laboratorio de geotecnia, con base en los resultados se determinan las variaciones en sus propiedades respecto a la muestra natural y se hace un cálculo del asentamiento del limo.

El muestreo se realizó tres veces sobre el mismo suelo, pero se comportaron de manera diferente en cada caso; aunque se comprobó que sí existe una variación en los parámetros de consolidación, al estar expuesto un limo a condiciones altas de humedad, lo cual produce un asentamiento hasta dos veces mayor que en un suelo natural que no está expuesto a humedad.

### **Palabras claves:**

Limo

Consolidación

Condiciones ambientales

Asentamientos

## ABSTRACT

The variation in consolidation parameters present in a slime when is exposed to a highly humid climate, leads us to investigate how much it affects us compared to a slime in its most natural state without being exposed to high humidity.

To fulfill the proposed objectives, an investigation was made of the area for the extraction of the silt in an area of the El Coyol de Alajuela, unaltered samples were worked on and they were introduced in a camera that simulated a humid environment to take samples for the consolidation test and see the variations in the parameters seven days and fifteen days after being inside the camera. The proof for the tests were made following the ASTM standard in a geotechnical laboratory, based on the results the variations in their properties are determined with respect to the natural sample and a calculation is made of the settlement of the silt.

The sampling was done three times on the same soil, but they behaved differently in each case, although it was found that there is a variation in the consolidation parameters when a slime is exposed to high humidity conditions, producing a settlement of up to two times greater than in a natural soil without being exposed to humidity.

**Key words:**

Silt

Consolidation

Environmental conditions

Settlement

## Índice

Introducción.....	1
Antecedentes .....	2
Planteamiento del problema de investigación.....	2
Hipótesis .....	3
Objetivos .....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Justificación .....	3
Alcances y limitaciones .....	5
Impacto .....	6
1    Capítulo 1. Marco teórico conceptual .....	7
1.1    Introducción a los suelos.....	7
1.1.1    Clasificación de los suelos .....	7
1.2    Consecuencias de la consolidación .....	13
1.3    Consolidación primaria.....	13
1.4    Consolidación secundaria .....	14
1.5    Muestras inalteradas.....	15
1.6    Normativas requeridas para los ensayos .....	16
1.7    Las características climáticas y microclimáticas .....	16
1.8    Los problemas ambientales y sus causas.....	18
1.9    Marco situacional .....	19
2    Capítulo 2. Marco metodológico .....	21
3    Capítulo 3. Análisis de los resultados.....	31

3.1 Asentamientos .....	36
Conclusiones.....	38
Recomendaciones.....	39
Anexos .....	43

**Índice de tablas**

Tabla 1. Propiedades de limos de baja resistencia .....	10
Tabla 2. Bitácora de condiciones climáticas en cámara húmeda.....	27
Tabla 3. Porcentaje de humedad .....	31
Tabla 4. Variación de parámetros para muestra 1 .....	32
Tabla 5. Variación de parámetros para muestra 2 .....	33
Tabla 6. Variación de parámetros para muestra 3 .....	34
Tabla 7. Cálculo de asentamientos .....	37

## Índice de figuras

Figura 1. Proceso de consolidación .....	11
Figura 2. Esquema del pistón.....	12
Figura 3. Mapa de El Coyol de Alajuela .....	19
Figura 4. Punto de extracción de limos.....	20
Figura 5. Diseño para cámara de humedad .....	22
Figura 6. Gráfico de humedad de las muestras .....	32
Figura 7. Gráfico índice de poros .....	35
Figura 8. Gráfico índice de compresión.....	35
Figura 9. Fundación para casas de dos pisos....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 10. Gráfico de asentamiento de las muestras .....	37



## INTRODUCCIÓN

La siguiente investigación refiere a las variaciones que se pueden encontrar en los limos, cuando estos se encuentran en condiciones de ambiente en humedad, esto con el fin de comprobar los cambios en los parámetros de consolidación y las ventajas o desventajas de este material para el aprovechamiento y uso del suelo.

El enfoque principal de este trabajo son las alteraciones en los limos como muestras principales, con el uso de ensayos de consolidación bajo la normativa ASTM D2435, en una condición de estado natural y a los siete y quince días respectivos después de estar expuestos a la humedad.

Al tener Costa Rica una gran diversidad en tipos de suelos, es importante investigar sobre cuál es la zona del país que cuenta con suelo limoso, para obtener la muestra por estudiar, además de definir y comparar los parámetros de consolidación para los limos según las normativas vigentes, ensayos y las características que son propias del suelo en estudio. Se realizará una investigación de campo, con el fin de tomar la evidencia de una manera más precisa y bajo supervisión de un técnico especializado en el área de geotecnia, con la extracción de bloques intactos de los suelos seleccionados.

Para realizar mejor este proyecto y obtener resultados donde la muestra simule estar en un ambiente muy húmedo, se construirá una cámara que represente condiciones altas de humedad, será previamente diseñada con base en una investigación, la cual determine la forma ideal que cumpla con las características necesarias para un muestreo óptimo. La metodología por emplear para la extracción de las muestras será por medio de equipo de geotecnia y de ayudantes necesarios para la obtención de cada tipo de suelo en estudio. La construcción y ubicación de la cámara de humedad, así como la utilización del laboratorio para el muestreo, se realizarán en las instalaciones de la empresa IIG Consultores, los cuales son especialistas en estudios de suelos, pruebas de infiltración y análisis general de los terrenos, entre otras y se localizan en Rohrmoser, en Pavas, San José.

## **Antecedentes**

Al investigar sobre referencias a exploraciones en el ámbito de la consolidación, se detecta una escasez en temas relacionados con esto, según un estudio correspondiente a Vega (1991), quien desarrolló el tema “Efectos de las dimensiones de la muestra sobre los parámetros de consolidación”, el autor despliega acontecimientos que suceden en una muestra de suelo, sometida a diferentes cargas, donde recalca las consecuencias de las estructuras a largo plazo y también las variaciones por encontrar en los suelos que soportan grandes edificaciones, se manejan teorías sobre cómo realizar mejores cimientos para dar un soporte a las obras que minimicen las variaciones en la consolidación de los suelos.

El trabajo existente se relaciona con la investigación en curso porque en ambos los suelos son sometidos a la normativa ASTM D2435, donde se realizan los cálculos correspondientes y además porque pretende como uno de los objetivos principales demostrar cómo el material en muestra sufre variaciones, detallando paso a paso los procedimientos por realizar durante el proceso de consolidación.

## **Planteamiento del problema de investigación**

El estudio de la problemática se basa en uno de los suelos más comunes que se encuentran en Costa Rica, como lo son los limos, los cuales pueden presentar cambios volumétricos, debido a la presencia de humedad. Al estar presentes estas alteraciones en el suelo, afectan las obras civiles en un periodo después de construidas.

El ingeniero civil, como profesional, se enfrenta cada día a diferentes problemas en campo. La falta de conocimiento de las personas, el evadir resultados de informes de estudios de suelos o por la carencia de saber interpretar resultados finales, pueden producir consecuencias negativas como la inclinación, fisuración e incluso el colapso de una estructura.

Es muy normal ver las excavaciones expuestas por lapsos en las construcciones y se quiere comprobar cómo reacciona el material si existen o no existen cambios en el suelo, ya que los diseños se realizan con un suelo natural y al exponer el suelo de la excavación y dejarlo al aire libre, se parte desde el punto de que sufren cambios, por lo cual los diseños ya se estarían viendo afectados.

## **Hipótesis**

Se producirá una transformación en el suelo al estar expuesto a un ambiente de alta humedad en un lapso determinado, lo cual reducirá su volumen y provocará a futuro variaciones o daños en las estructuras construidas estos. Se cree en la posibilidad de mantener la muestra en su estado más natural al extraerla, para así comparar y ver los cambios al someterla a un ambiente húmedo. Se espera que conforme vayan pasando los días y al ensayar las muestras de suelos húmedos, el volumen del suelo disminuya acorde con la aplicación de cargas con diferentes pesos.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Demostrar la variación en los parámetros de consolidación para muestras de suelos limosos en un medio con condiciones ambientales de alta humedad por un periodo de tiempo.

### **Objetivos específicos**

-Crear las condiciones en el laboratorio mediante una cámara de humedad para el almacenamiento de las muestras.

-Analizar los limos periódicamente bajo la normativa de consolidación.

-Registrar diariamente todos los datos obtenidos de los ensayos de consolidación.

-Determinar que existe una variación en la consolidación de los limos ensayándolos en condiciones naturales, a siete y quince días respectivamente de estar húmedos.

## **Justificación**

En el ejercicio profesional, el ingeniero civil constantemente se enfrenta con el desafío de diseñar y construir sobre los diferentes suelos que existen en Costa Rica. Es primordial el conocer sobre la importancia de asegurar las obras y conocer del soporte que tiene un suelo.

En el nivel de fundación, una de las principales consideraciones que debe realizar el ingeniero para garantizar un buen diseño, consiste en estimar la cantidad y

velocidad en que se espera que se produzca el asentamiento del suelo, además de un análisis de estabilidad del material. A su vez, es necesario predecir cuánto se va a reducir el volumen de un suelo en la consolidación para cada una de las etapas de construcción; el coeficiente de consolidación permite obtener el grado de asentamiento esperado para un determinado tiempo en una condición de drenaje vertical.

La aplicación de carga unidimensional sobre el suelo da origen a la deformación de las partículas que lo constituyen y a la salida de aire y agua presentes en este, lo cual da origen al fenómeno de la consolidación. Al observar los depósitos muy blandos de material, situados en el fondo de una masa de agua, por ejemplo un lago, se nota que el suelo reduce su volumen conforme pasa el tiempo y aumentan las cargas sobre el suelo, se les llama proceso de consolidación.

En muchos casos es necesario preconsolidar el suelo antes de proceder a la construcción de una obra importante, como puede ser, por ejemplo, un edificio o una carretera. La preconsolidación se hace en el terreno con un peso semejante o mayor que el que deberá soportar una vez construida la obra, para esto se deposita en la zona interesada una cantidad de tierra con el peso equivalente de la obra.

Los limos como tal, en sus propiedades específicas, cumplen funciones diferentes según la actividad para la que se necesiten, pero al presentarse un ambiente húmedo puede que estos consoliden más rápido que un limo expuesto a un clima con condiciones no tan altas en humedad, es por esto la importancia de alertar tanto a profesionales como a futuros clientes sobre la necesidad de no omitir este dato a la hora de construir. La falta de conocimiento, el evadir resultados de informes de estudios de suelos o muchas veces la carencia de interpretación en los resultados finales afectan a la hora de construir o en un periodo después de estar realizada una construcción.

Situaciones como cambios en la consolidación al tener un suelo con niveles de humedad muy altos trae consecuencias, como la reducción del volumen del suelo que es provocado por distintas cargas directas sobre la masa, lo cual provoca hundimientos verticales en los terrenos.

La consolidación de un suelo es un proceso lento, puede durar meses y hasta años. Es un proceso asintótico, es decir, que al comienzo es más veloz, y se va ralentizando, hasta que el suelo llega a una nueva situación de equilibrio en la que ya no

se mueve. El no tomar en cuenta este posible movimiento del suelo al proyectar una estructura sobre él puede llevar a consecuencias negativas, tales como la inclinación, fisuración e incluso el colapso de la estructura.

Con frecuencia, ocurre que durante el proceso de consolidación permanece esencialmente igual la posición relativa de las partículas sólidas sobre un mismo plano horizontal. Así, el movimiento de las partículas de suelo puede ocurrir solo en la dirección vertical, lo que sería el proceso denominado consolidación unidimensional.

Una de las limitaciones principales para esta búsqueda es la falta de registros anteriores en este tipo de casos, o el poco desarrollo en temas de indagación respecto a los suelos y sus cambios ante la humedad. Se conoce sobre parámetros de consolidación básicos, pero no se estudian más a fondo o no se actualizan de acuerdo con los cambios en los terrenos.

### **Alcances y limitaciones**

Mediante la aplicación de la normativa vigente para los ensayos y tipos de suelos en Costa Rica, las cuales se cumplen con las normas ASTM y para términos de esta investigación será utilizada la norma ASTM D2435/2435M, que se denomina “Método de prueba estándar para propiedades de consolidación unidimensional de los suelos usando incremento de cargas” y la ASTM D854, que es la “Determinación de la gravedad específica de un suelo”.

Se requiere conocer cómo varían los parámetros de consolidación de los limos en un medio ambiente alto en humedad, al recrear un escenario que asemeje condiciones climáticas parecidas a la realidad por medio de una cámara húmeda. Dichos parámetros de consolidación se detectarán por medio de la extracción de una muestra del suelo solicitado, la cual debe de ser extraída de forma inalterada y que se ensayará en su estado natural para conocer sus parámetros o características específicas, ver cómo se comporta el suelo naturalmente y después de que la muestra esté dentro en la cámara de humedad, siete días después se ensaya de nuevo para conocer si realmente existen variaciones, luego se tomará otra muestra a los quince días de estar en el dispositivo de humedad.

Al conocer sobre la variabilidad de suelos en Costa Rica, cabe recordar que para esta investigación se hará referencia únicamente a la variación en la consolidación de los limos expuestos a un clima húmedo, las principales desventajas de construir sobre estos, así como la mejor forma de aprovechamiento para la construcción en este material, ya que la falta de tiempo y de espacio en el laboratorio donde se realizarán los ensayos limita la investigación a un único tipo de material.

## **Impacto**

El conocer sobre las variaciones en los limos expuestos en climas húmedos, así como sus características principales referentes al tema constructivo, ayuda a poder aclarar y tomar decisiones en cuanto a las condiciones ideales en las que se puede utilizar el suelo, así como sugerir una mejor forma de cimentar, a fin de evitar problemas en las construcciones.

Empresas dedicadas a los estudios de suelos presentan informes detallados, solicitados por los clientes, donde aclaran la imposibilidad de construir sobre ciertos tipos de terrenos que no cuentan con las condiciones ideales para trabajar sobre ellos, de igual manera se hace caso omiso a las recomendaciones dadas por las empresas especializadas en el tema y aun así se utiliza el suelo para la construcción. Esto trae consecuencias desfavorables a las estructuras con el paso del tiempo; por esta razón es que se pretende dar resultados detallados de cómo afecta la humedad en suelos limosos.

Con esta investigación se pretende ampliar el conocimiento sobre las características de los suelos en estudio, sometidos a temperaturas muy húmedas y conocer cómo afecta a los ingenieros en la construcción o para fines de campo. Asimismo, otra meta es contar con resultados que nos favorezcan a la hora de tomar decisiones y ayudar con una productividad efectiva en el mejoramiento de la utilización de los suelos en el área constructiva.

# 1 CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

## 1.1 Introducción a los suelos

Con el fin de desarrollar adecuadamente esta investigación, se definirán conceptos importantes que permitirán tener un mejor entendimiento del tema en estudio y de las actividades que comprenden una consolidación.

Como material fundamental en la investigación, se define suelo como la acumulación del material meteorizado suelto que cubre gran parte de la superficie terrestre hasta una profundidad que oscila entre una fracción de centímetro y muchos metros. Entre el suelo propiamente dicho y la roca firme existe una zona de roca diseminada y parcialmente meteorizada (el subsuelo). El término regolito es apropiado para abarcar tanto al suelo como al subsuelo (Griem, 2017).

El suelo se forma por la descomposición de rocas por cambios bruscos de temperatura y la acción de la humedad, el aire y seres vivos. El proceso mediante el cual los fragmentos de roca se hacen cada vez más pequeños, se disuelven o van a formar nuevos compuestos se conoce como meteorización. Los productos rocosos de la meteorización se mezclan con el aire, agua y restos orgánicos provenientes de plantas y animales para formar suelos. Este proceso tarda muchos años, razón por la cual los suelos son considerados recursos naturales no renovables (Paez, 2011).

### 1.1.1 Clasificación de los suelos

La clasificación de los suelos varía según su color, tamaño, forma y hasta olor, para el caso de Costa Rica se presenta una variabilidad de material que se distribuye por todo el territorio; según (Borselli, 2017), hay dos sistemas de clasificación de suelos de uso común para propósitos de ingeniería.

- 1) El Sistema Unificado de Clasificación del suelo (SUCS o USCS), que se utiliza para casi todos los trabajos de ingeniería geotécnica.
- 2) El sistema de clasificación AASHTO, que se usa por la construcción de carreteras y terraplenes. Ambos sistemas utilizan los resultados del análisis granulométrico y la determinación de los límites de Atterberg para determinar la clasificación del suelo.

El Sistema Unificado de Clasificación del suelo (USCS o SUCS) se basa en el sistema de clasificación desarrollado por Casagrande durante la Segunda Guerra Mundial. Con algunas modificaciones fue aprobado conjuntamente por varias agencias de gobierno de Estados Unidos en 1952. Refinamientos adicionales fueron hechos y actualmente está estandarizado como la norma ASTM D 2487-93 (Borselli, 2017).

A cada clasificación se le asignan dos letras que son las siguientes:

- 1) **Separación entre suelos gruesos (G, S) y finos (M, C, O):** en función de que el porcentaje de partículas gruesas (arenas y gravas, es decir, mayores de 0,074 mm, tamiz 200 ASTM) sea mayor o menor del 50 %.
- 2) **Para los suelos gruesos, separación entre gravas (G) y arenas (S):** en función de que, de la fracción retenida en el tamiz 200, resulte retenida por el tamiz 4 (4,76 mm) más del 50 % (G) o menos (S).
- 3) **Tanto para gravas (G) como para arenas (S), separación entre suelos gruesos limpios o con finos:** en función del contenido de finos (fracción que pasa por el tamiz 200):
  - Suelos gruesos limpios (inferior al 5 %).
  - Suelos gruesos intermedios (entre el 5 y el 12 %).
  - Suelos gruesos con finos (superior al 12%).
- 4) **Para suelos gruesos limpios, separación entre suelos bien graduados (W) o pobremente graduados (P):** en función de que se cumplan o no los dos requisitos de la curva granulométrica indicados en la Tabla 2, se añade el símbolo W, P a la letra G, S.
- 5) **Para suelos gruesos con finos, separación entre limosos, arcillosos u orgánicos:** en función de las características de plasticidad de la fracción fina (carta de Casagrande), se añade el símbolo C,M,O a la letra G, S.
- 6) **Para suelos gruesos intermedios (finos entre el 5 y el 12 %):** se les asigna doble símbolo, al considerarlos limpios y con finos.
- 7) **Para suelos finos:** en función de las características de plasticidad (carta de Casagrande), se clasifican como CH, CL, MH, ML, OH, OL.



Para el caso de esta investigación se amplía el tema sobre los limos; según (Albaladejo, 2011), el suelo limoso es una mezcla de tierra rica en nutrientes y agua, que se produce en el suelo a causa de las lluvias, inundaciones, etc. El limo posee una granulometría comprendida entre la arena fina y la arcilla. Su formación es de sedimentos transportados en suspensión por las corrientes de agua tales como ríos y arroyos, y por efecto del viento. El limo se deposita en el lecho de los ríos o sobre terrenos inundados. El diámetro de las partículas de limo varía desde 0,002 mm hasta 0,06 mm. Como no es un material cohesivo, presenta problemas para construir sobre sí, por ello, las obras por realizar en dichos terrenos requieren de sistemas especiales de cimentación (Albaladejo, 2011).

El limo se clasifica en:

- Limo orgánico: lodo, barro con restos vegetales.
- Limo inorgánico: lodo que posee en su composición polvo de rocas.

Otra clasificación para los limos la da el Código de Cimentaciones de Costa Rica, que cita que, para un limo, su origen está asociado con la alteración de materiales piroclásticos bajo condiciones de alta pluviosidad. Al considerar que no se dispone de suficiente información, dentro de esta categoría se pueden incluir, en forma indiferenciada, varios tipos de limos que presentan en general baja resistencia, pero cuya formación y comportamiento pueden diferir. Entre ellos pueden mencionarse:

- Limos colapsables: su comportamiento es especial, pues con saturación total en su estructura puede fallar súbitamente aún al someterse a cargas bajas. Se tiene referencia de su existencia en algunas zonas de Coronado, Curridabat y Tres Ríos.
- Limos arcillosos de baja resistencia: están asociados con la presencia de minerales arcillosos del tipo halloysita y alófana, lo que les induce ciertas características geotécnicas especiales. Este tipo de suelos se asocia con los que en el léxico taxonómico se define como andosoles, de origen residual, volcánico y color amarillento. Como casos usuales, es posible encontrar espesores de suelo de hasta 9.0m y más con valores NSPT de 1 a 5 golpes (algunos sitios en Alajuela, Grecia, Naranjo y en general en las faldas de los volcanes Poás, Barba, Irazú y

Turrialba). Se detectan fácilmente al manifestar cambios drásticos de sus límites de consistencia en condiciones de estado natural y en condición seca. Además de su muy baja resistencia; otra característica que los distingue, con condiciones de compactación, es su bajo peso volumétrico seco, se registran valores tan bajos como 7KN/m<sup>3</sup> y contenidos de humedad óptimos del orden de 100 %.

En la tabla 1 se mencionan los parámetros geotécnicos típicos de un limo de baja resistencia arcilloso color café claro

**Tabla 1. Propiedades de limos de baja resistencia**

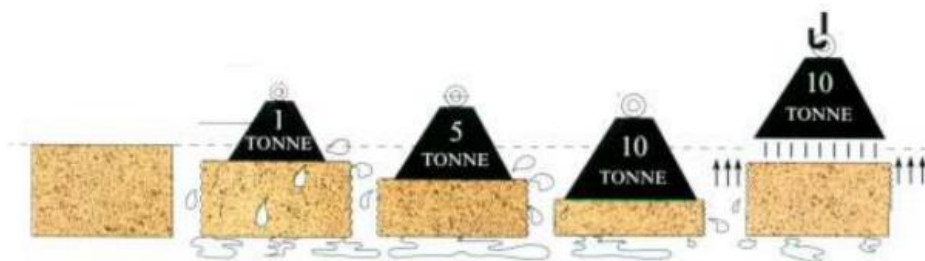
Parámetro geotécnico	
Límite líquido [%]	60-90
Límite plástico [%]	40-60
Límite de contracción [%]	-
Clasificación SUCS	MH
% pasando la malla 200 [%]	80-85
Gravedad específica de sólidos [Gs]	2.68-2.73
Relación de vacíos natural (e)	1.50-2.30
Humedad natural [%]	70-80
Resistencia a penetración normalizada (N1)60	3-15
Peso volumétrico seco [ $kN/m^3$ ]	6.75-11
Presión de hinchamiento	Baja
Expansión libre (AASHTO)	20-80%
Peso volumétrico seco máximo (Proctor) [ $kN/m^3$ ]	8.6-11
Humedad óptima (Proctor) [%]	50-105
Resistencia al corte no drenada [KPa]	20-50
Índice de compresión	0.55-0.70
Índice de humedad	-

Fuente: *Código de Cimentaciones de Costa Rica* (2009).

Por otra parte, uno de los conceptos importantes por mencionar es la consolidación de los suelos, que se define como el proceso de reducción de volumen de los suelos finos cohesivos (arcillas y limos plásticos), provocado por la actuación de solicitaciones (cargas) sobre su masa y que ocurre en el transcurso de un tiempo generalmente largo. Producen asentamientos, es decir, hundimientos verticales, en las construcciones que pueden llegar a romperse si se producen con gran amplitud (Mauro Poliotti, 2011).

Una masa de suelo está compuesta por la fase sólida que forma un

esqueleto granular y los que esta encierra, los cuales pueden estar llenos de gas (aire) y otros de líquido (agua). Además, se considera que tanto la masa sólida como el agua son incompresibles (Mauro Poliotti, 2011).



**Figura 1. Proceso de consolidación**

Fuente: Poliotti (2011).

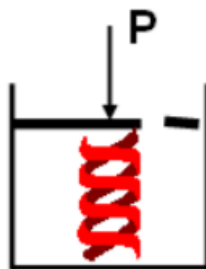
La disipación de presión intersticial debida al flujo de agua hacia el exterior se denomina consolidación, proceso que tiene dos consecuencias:

- Reducción del volumen de poros o vacíos, por lo tanto, reducción del volumen total, lo cual produce un asentamiento. Se considera que en el proceso de consolidación unidimensional la posición relativa de las partículas sobre un mismo plano horizontal permanece esencialmente igual, el movimiento de estas solo puede ocurrir verticalmente (Mauro Poliotti, 2011).
- Durante la disipación del exceso de presión intersticial, la presión efectiva aumenta y en consecuencia se incrementa la resistencia del suelo (Mauro Poliotti, 2011).

Por lo tanto, cuando un suelo se consolida ante la aplicación de una carga, produce una disminución de la relación de vacíos y un incremento del esfuerzo efectivo. En los suelos granulares la permeabilidad es alta, lo cual permite un flujo de agua muy lento y la disipación del exceso de presión neutra es muy lenta. En consecuencia, el suelo puede continuar deformándose durante varios años después de finalizada la construcción de la obra que transmite la carga (Mauro Poliotti, 2011). Para comprender mejor el proceso de consolidación, Terzaghi propuso un modelo mecánico, el cual consiste en un cilindro de sección A con un pistón sin fricción el cual posee una pequeña perforación. Dicho pistón se encuentra unido a un resorte y el cilindro en su interior está

lleno de un fluido incompresible (Mauro Poliotti, 2011).

El proceso comienza con la aplicación de una carga de valor  $P$  sobre el pistón. En este primer instante el orificio se encuentra cerrado y el resorte no tiene posibilidad de deformarse, en consecuencia, no ejerce fuerza alguna. Es así que la fuerza  $P$  es soportada en su totalidad por el fluido. En una segunda instancia se abre el orificio y se genera un gradiente de presiones  $\frac{P}{A}$ , (donde  $A$  es el área del pistón) entre el interior y el exterior del cilindro lo que ocasiona el flujo del líquido hacia el exterior y a medida que el flujo sale, el resorte comienza a deformarse y por lo tanto comenzara a tomar una porción de la carga  $P$ . La velocidad a la cual se transfiere la carga desde el fluido al resorte depende del tamaño del orificio y de la viscosidad del fluido. Finalmente, la posición de equilibrio se da cuando la presión en el fluido iguala la presión exterior y el resorte ha tomado la totalidad de la fuerza  $P$ . (Mauro Poliotti, 2011)



**Figura 2. Esquema del pistón**  
Fuente: Poliotti (2011).

En analogía con el caso del suelo, la estructura de partículas sólidas es representada por el resorte; el agua intersticial por el fluido incompresible y, por último, las redes de capilares continuos (vacíos) son representadas por el orificio (Mauro Poliotti, 2011). El estado de compacidad de un suelo se define mediante unas relaciones entre volúmenes y pesos de sus elementos constitutivos. Algunos de los parámetros de consolidación según (Grupo Geotecnia, 2011) son los siguientes:

- Índice de porosidad
- Humedad
- Peso específico húmedo y seco
- Densidad

## 1.2 Consecuencias de la consolidación

- Incremento en el esfuerzo efectivo
- Reducción en el volumen de vacíos
- Reducción en el volumen total
- Asentamientos en el terreno
- Asentamientos en la estructura

Los ensayos de laboratorio, que usualmente se realizan dentro del ámbito de la ingeniería geotécnica y de los materiales, pretenden caracterizar desde el punto de vista físico y mecánico cada material que conforma el subsuelo (Cordero, 2009).

El suelo al someterse a un ensayo de consolidación presenta asentamientos, esto es la deformación vertical en la superficie de un terreno proveniente de la aplicación de cargas o debido al peso propio de las capas (Borselli, 2017).

Existen dos tipos de consolidación, las cuales se exponen a continuación.

## 1.3 Consolidación primaria

Este método asume que la consolidación ocurre en una sola dimensión. Los datos de laboratorio utilizados han permitido construir una interpolación entre la deformación o el índice de vacíos y la tensión efectiva en una escala logarítmica. La pendiente de la interpolación es el índice de compresión. La ecuación para el asiento de consolidación de un suelo normalmente consolidado puede ser determinada entonces como: (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 1999)

$$\text{Si } \sigma'_0 + \Delta\sigma' \leq \sigma'_c$$

$$Sp = \frac{C_s H}{1 + e_0} \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0}\right)$$

Donde:

$S_p$  = es el asiento debido a la consolidación.

$C_s$  = es el índice de descompresión.

$e_0$  = es el índice de vacíos inicial.

$H$  = es la altura de suelo consolidable.

$\sigma_0$  = esfuerzo inicial.

$\Delta\sigma$  = sobrecarga

Si  $\sigma'_0 + \Delta\sigma' > \sigma'_c$

$$S_p = \frac{C_s H}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} + \frac{C_c H}{1 + e_0} \log \left( \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_c} \right)$$

Donde:

$S_p$  = es el asiento debido a la consolidación.

$C_s$  = es el índice de descompresión.

$e_0$  = es el índice de vacíos inicial.

$H$  = es la altura de suelo consolidable.

$\sigma_0$  = esfuerzo inicial.

$\Delta\sigma$  = sobrecarga

$\sigma_c$  = coeficiente de consolidación

$C_c$  = índice de compresión

## 1.4 Consolidación secundaria

La consolidación secundaria tiene lugar después de la consolidación primaria a consecuencia de procesos más complejos que el simple flujo de agua como pueden ser la reptación, la viscosidad, la materia orgánica, la fluencia o el agua unida mediante enlace químico algunas arcillas. En arenas el asiento secundario es imperceptible, pero puede llegar a ser muy importante para otros materiales como la turba.

La consolidación secundaria se puede aproximar mediante la siguiente fórmula:

$$Sp = \frac{H_0 C_a}{1 + e_0} \log\left(\frac{t}{t_{90}}\right)$$

Donde:

$H_0$  = altura de consolidación media

$e_0$  = es el índice inicial de vacíos.

$C_a$  = es el índice secundario de compresión

Uno de los ensayos más importantes para determinar la humedad natural a cada estrato de suelo detectado, de acuerdo con la metodología establecida, es la norma ASTM D-2216. Este método de ensayo cubre la determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) por masa en suelos, rocas, y materiales similares, donde la reducción en masa por secado se debe a la pérdida de agua. Se determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a  $110 \pm 5$  °C. La pérdida de peso debido al secado es considerada como el peso del agua. (U, 2006)

## 1.5 Muestras inalteradas

Requieren una limpieza superficial previa a la toma de la muestra, y un parafinado posterior de las caras de la muestra, en las que el suelo queda en contacto con el exterior. Pueden ser los siguientes:

- En bloque: tallando a mano un bloque aproximadamente cúbico, con dimensiones superiores a 15 o 20 cm. La calidad de esta muestra es excelente.
- Cilíndrica: mediante la hincada por golpeo manual de una toma muestras cilíndrica de diámetro no menor de 15 cm (Quinn, 2009).

## 1.6 Normativas requeridas para los ensayos

Los ensayos se pueden realizar sobre muestras alteradas o sobre muestras inalteradas. En cada caso se pretende que la prueba se ejecute siguiendo un procedimiento adecuado que refleje las condiciones tanto del suelo como de la interacción suelo – estructura. Los estándares más usuales para llevar a cabo estos ensayos son los de las normas ASTM (Cordero, 2009).

ASTM o ASTM International (siglas en inglés para la American Society of Testing Materials, que significa, Asociación Americana de Ensayo de Materiales) es una asociación radicada en Estados Unidos que se encarga de probar la resistencia de los materiales para la construcción de bienes (Instituto Nacional de Seguros, 2014). Es una organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios. Existen alrededor de 12.575 acuerdos voluntarios de normas de aplicación mundial (Quinn, 2009).

En esta investigación se maneja como norma principal la ASTM D2435/2435M, que se denomina el “Método de prueba estándar para propiedades de consolidación unidimensional de los suelos usando incremento de cargas”, una de las normas por utilizar que es necesaria para la consolidación es la ASTM D854, que es la determinación de la gravedad específica de un suelo.

Para el caso de investigación se propone exponer los suelos a condiciones medio ambientales muy húmedas, es por esto que a continuación se definirá que es una condición medio ambiental y cuáles son las que existen.

## 1.7 Las características climáticas y microclimáticas

Según el sitio, las características climáticas se pueden traducir en cambiantes condiciones meteorológicas que popularmente se denominan estado del tiempo. Estas condiciones se pueden definir a partir de un conjunto de parámetros que se identificarán como factores ambientales. Aunque los factores ambientales siempre actúan de manera conjunta, es importante analizarlos de manera aislada para comprender su importancia e implicaciones (Contreras, 2012). Son los siguientes:

- Temperatura: la temperatura es una medida del calor presente en una sustancia, sea esta sólida, líquida o gaseosa. El calor, a su vez, es energía que se



manifiesta como vibración molecular de una sustancia o como radiación electromagnética. En términos simples se afirma que el calor es el fenómeno, mientras que la temperatura es una forma de medir dicho fenómeno (Contreras, 2012).

- **Humedad ambiental:** la humedad ambiental se refiere la presencia de vapor de agua en el aire. Aunque casi siempre se piensa en la atmósfera simplemente como una masa de aire, lo cierto es que el vapor de agua juega un papel muy importante en su composición, incluso en las zonas áridas. Por otro lado, es común que cuando se habla del confort humano lo primero que venga a la mente es la temperatura del aire. Aunque ese parámetro es relevante, la humedad ambiental también influye de manera determinante (Contreras, 2012).
- **Humedad absoluta:** la humedad absoluta indica la cantidad total de vapor de agua que contiene un volumen de aire, a una temperatura y presión determinadas, y se expresa en gramos por metros cúbicos (g/m<sup>3</sup>). Debido principalmente a los cambios en su densidad, cuanto más alta es la temperatura del aire más vapor de agua puede contener sin producir condensaciones (Contreras, 2012).
- **Radiación solar:** los índices de incidencia de radiación solar sobre un sitio tienen un impacto determinante en sus características climáticas. Después de todo, es la radiación solar la que proporciona prácticamente toda la energía que genera los fenómenos atmosféricos. Una muestra de esto es que la tierra puede dividirse en franjas (paralelas al ecuador) con determinados patrones climáticos generales que dependen fundamentalmente del cambio en la incidencia de la radiación solar debido a la latitud (Contreras, 2012).
- **Viento:** cuando se habla de viento se refiere fundamentalmente al movimiento relativo de las masas de aire, factor que puede tener un gran impacto en las condiciones ambientales de un sitio. En el campo de la arquitectura, el viento cobra especial relevancia debido a su incidencia en las tasas de renovación del aire en el interior de los edificios y a su impacto en el confort térmico de las personas, entre otros aspectos (Contreras, 2012).

## 1.8 Los problemas ambientales y sus causas

Los problemas ambientales no se pueden analizar ni entender si no se tiene en cuenta una perspectiva global, ya que surgen como consecuencia de múltiples factores que interactúan. El modelo de vida actual supone un gasto de recursos naturales y energéticos cada vez más creciente e insostenible. Las formas industriales de producción y consumo masivos que lo hacen posible suponen a medio plazo la destrucción del planeta. Algunos efectos de la crisis ecológica ya están claramente perceptibles: aumento de las temperaturas, agujero en la capa de ozono, desertificación, acumulación de residuos radiactivos, extensión de enfermedades como el cáncer o la malaria, insalubridad del agua dulce, inseguridad alimentaria, agotamiento de los recursos renovables y no renovables, etc. (Contreras, 2012)

Esta propiedad física del suelo es de gran utilidad en la construcción civil y se obtiene de una manera sencilla, pues el comportamiento y la resistencia de los suelos en la construcción están regidos, por la cantidad de agua que contienen. El contenido de humedad de un suelo es la relación del cociente del peso de las partículas sólidas y el peso del agua que guarda, esto se expresa en términos de porcentaje. (ARQHYS, 2012)

Para el desarrollo de este trabajo se construirá una cámara climática que simulará condiciones altas de humedad. Las cámaras de humedad son equipos o instalaciones utilizados en laboratorios, diseñados para reproducir condiciones controladas de temperatura y humedad en su interior para la realización de estudios o ensayos y verificar el comportamiento, así como la calidad de productos y materiales expuestos a dichas condiciones climáticas (Dávila, 2010).

Para el diseño de la cámara de humedad se tomará en cuenta los materiales ideales para la construcción de esta, los tubos por utilizar, cuál es el diámetro de tubo más favorable, las válvulas que se necesitan y la impermeabilización requerida, así como el tamaño que debe de tener para el almacenamiento de los bloques de suelos.

## 1.9 Marco situacional

Para la extracción de los limos, se toma en cuenta la Zona de Costa Rica que cuenta con este tipo de suelo y es específicamente un área de El Coyol de Alajuela.



**Figura 3. Mapa de El Coyol de Alajuela**

Fuente: Google Earth.

Es necesario conocer sobre las características del lugar donde se hará la extracción para el muestreo, a lo cual Javier (2007) dice:

Alajuela es la provincia número 2 de Costa Rica. Su cabecera es la ciudad de Alajuela, la segunda ciudad más poblada de todo el país. La provincia tiene una superficie de 9.753 km<sup>2</sup>, lo que la convierte en la tercera más extensa de Costa Rica por detrás de Guanacaste y por delante de Limón.

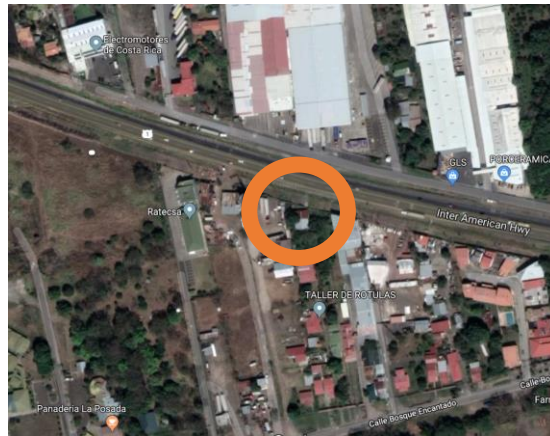
La villa de La Garita se encuentra a 16 km al oeste de la ciudad de Alajuela, a una altitud de 693 msnm. El distrito incluye los poblados de Animas, Cuesta Colorada, Copeyal, Horcones, Lagos del Coyol, Llanos, Mandarina, Manolos, Mina, Montesol, Monticel y Saltillo.

Según el censo del año 2011 realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), la población total de la provincia de Alajuela era de 848.146 habitantes. El 60,7 % de la población es considerada como población urbana.

La recolección de esta muestra será en un punto definido de El Coyol de Alajuela donde se tomará un bloque mediante la supervisión de un técnico especializado en geotecnia y será una muestra inalterada para obtener los resultados ideales sin modificaciones por manipulación en el exterior. Cabe destacar que, aunque en el Código

de cimentaciones de Costa Rica se marca la zona de El Coyal como un suelo arcilloso, para esta investigación se cuenta con un lote donde se conoce que el suelo es un limo, es por esto que se obtienen las muestras de este lugar.

En la siguiente figura se marca el punto exacto de la extracción de los limos en un lote ubicado en El Coyal de Alajuela



**Figura 4. Punto de extracción de limos**  
Fuente: Google Earth.

## 2 CAPÍTULO 2. MARCO METODOLÓGICO

La presente investigación de campo se plantea desde un enfoque de tipo cuantitativo, el cual se basa en una exploración de tipo descriptiva, en donde se analizan las variaciones de los limos, así como su comportamiento según la condición climática, al tomar la muestra en una misma zona del país, este tipo de exploración se basa en indagar, observar, registrar y definir o analizar los cambios que pueden llegar a pasar durante el proceso de la consolidación.

La obtención de los datos para el muestreo en los suelos será de forma directa, tomando los resultados de los suelos desde un laboratorio según la guía de un encargado que cuenta con la experiencia sobre el tema. Este tipo de metodología lleva a crear un criterio, al hacer la comparación entre un suelo expuesto a clima con condiciones de humedad, que serían precisamente en su fase natural, la variación a los siete días y finalmente a los quince días. Por estadísticas geotécnicas esta comparación se hará tres veces con el mismo suelo para tener un leve porcentaje de error.

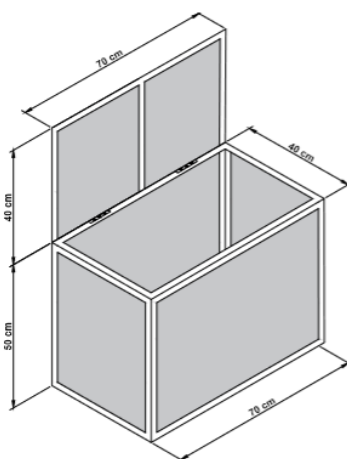
Con respecto al diseño para este caso, la forma en que se clasifica es en un diseño de investigación de campo y a la vez en investigación experimental. Diseño de campo porque se recolecta la muestra de forma directa o de una forma real en sitio, es decir, en el momento no se alteran las muestras existentes, estas no se manipulan en el momento de la extracción, hasta que se vaya a obtener la información necesaria en el laboratorio. De igual manera, se cataloga como un diseño de investigación experimental, porque se someten los limos a determinadas condiciones climáticas o estímulos, para observar los efectos y las reacciones que estas van a mostrar en determinado tiempo. Al considerarlo desde una perspectiva temporal, el diseño es de tipo evolutivo, porque se estudiará cómo el proceso cambia a lo largo del tiempo.

Este tipo de investigación lo que busca es comparar las variaciones en la consolidación en los suelos en una condición natural y otra en condiciones altamente húmedas, con el fin de dar un resultado explicativo entre los suelos, el propósito es demostrar cómo cambian los suelos, al ser los limos las variables dependientes, por efecto de una variable independiente, que para este caso la variable encargada de los cambios es el clima muy húmedo. La idea es encontrar la relación causa – efecto en las muestras de suelo.

Las variables principales en este proyecto son la humedad, la gravedad específica y el asentamiento que puede alcanzar una muestra al ser consolidada en el laboratorio según las normas específicas. Por su parte, la población como tal son los limos en general, incluyendo todos los tipos existentes, material al que se le aplicará un muestreo de laboratorio, al ser la muestra recolectada de manera inalterada un limo arcilloso el cual será representativo de los limos para esta investigación.

Se obtendrán los datos por medio de una observación directa del material recolectado, donde es posible describir las diferentes características o cualidades del suelo para seguidamente analizar el contenido y aplicar las pruebas de laboratorio necesarias.

En primera instancia se diseñó de la cámara húmeda tomando en cuenta un aproximado de las medidas de las muestras, para así realizar el boceto de la misma y que cumpliera con la función de ser muy húmeda.



**Figura 5. Diseño para cámara de humedad**

Fuente: elaboración propia.

La cámara consistía en colocar un dispersor con una salida de agua por un orificio de un diámetro mínimo, esto para evitar que el agua llegara a las muestras de forma directa y simular así un tipo de caída del agua en forma de vapor. Las muestras de suelo no tocan la base de la cámara, estarán colocadas sobre un tipo de rejilla de metal, donde no alcanza a la salida del agua para evitar que la muestra llegue a estar sumergida. La cámara fue construida en hierro, el cual tiene una capa de pintura

anticorrosiva y cerrada por láminas plásticas en todas sus caras. La cámara nunca estará abierta, solamente los días que se necesite sacar la muestra para ponerla a ensayo y vuelve a cerrarse. Es importante aclarar que la cámara cuenta con salida de agua a una tubería y no se queda dentro de ella.



Una vez que la cámara esté instalada se procede a excavar para la extracción de suelo. En la siguiente imagen se muestra el inicio de la extracción del material, en dónde se marca un cuadro de aproximadamente 1.20 m x 1.20 m y se inicia la excavación hasta llegar al material deseado, que para este caso la profundidad llegaba a 1.00 m.



Para la muestra 1, la excavación se hizo el 19 de julio de 2018 con condiciones climáticas muy secas, mientras que para las muestras 2 y 3, la extracción se realizó el 7 de agosto de 2018 en una condición lluviosa, para el cierre de esta investigación todavía no se cuenta con el boletín mensual del clima por parte del Instituto Meteorológico Costarricense.





Cuando se llega a la profundidad de 1.00 m, para este caso, se inicia el proceso de la recolección de la muestra inalterada como se mencionó en el capítulo anterior, esta muestra tiene dimensiones aproximadas de 30 cm de largo, 30 cm de ancho y 30 cm de alto, una vez que se tiene el bloque necesario de suelo se envuelve en papel plástico transparente para evitar alteraciones durante el transporte al laboratorio.



Cuando la muestra llega al laboratorio se ensaya el suelo en forma natural, se introducen las otras muestras a la cámara húmeda y se ensaya siete días después y finalmente quince días después de estar dentro de la cámara. Este ensayo se repite tres veces para evitar porcentajes de error altos y tener una comparación del comportamiento.





Para la prueba de consolidación, el equipo es el siguiente:

- el anillo,
- la caja de consolidación,
- piedras porosas y
- el edómetro o consolidómetro

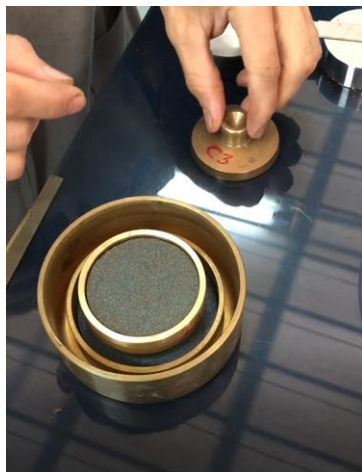




Como paso uno, se debe pesar el anillo y registrar su peso, colocar el anillo sobre el limo y empezar a tallarlo hasta lograr obtener la muestra dentro del anillo y eliminar el exceso, la muestra se pesa nuevamente registrando el peso del anillo más la muestra.



Una vez listo el anillo con la muestra y registrado su peso, se alista en la caja de consolidación, con las piedras porosas y se coloca en el edómetro



Finalmente, una vez que la muestra está lista en el edómetro, se registran los datos según los tiempos de la norma y se le aumentan las cargas cada 24 horas por 5 días, al día 6 y 7 ocurre una descarga. La toma de los datos se registraba en unas hojas de trabajo según el dato del medidor micrómetro (véase anexos). Al finalizar la prueba se pesa de nuevo el material con el anillo y se introduce al horno. Cumplidas ya las 12 horas de secado de la muestra de tamaño normal se procede a retirar y pesar, para así obtener el peso del suelo seco.

Con el fin de demostrar que las muestras se encontraban en un ambiente de humedad que alcanzaba las condiciones altas deseadas, se registró en un tipo de bitácora los datos requeridos dados por medio de un medidor de la humedad y la temperatura, como se representa en la siguiente tabla.

**Tabla 2. Bitácora de condiciones climáticas en cámara húmeda**

Fecha	Hora	% humedad	Temperatura
23/7/2018	6:30 p.m.	75 %	22,6 °C
24/7/2018	6:30 a.m.	80 %	21,1 °C
24/7/2018	11:45 a.m.	100 %	23,9 °C
24/7/2018	5:30 p.m.	100 %	25 °C
25/7/2018	8:00 a.m.	100 %	22,4 °C

25/7/2018	2:44 p.m.	100 %	25 °C
25/7/2018	5:10 p.m.	100 %	23,6 °C
26/7/2018	6:35 a.m.	100 %	21,3 °C
26/7/2018	4:45 p.m.	100 %	24,2 °C
27/7/2018	6:32 p.m.	100 %	21,2 °C
30/7/2018	6:40 a.m.	100 %	20,9 °C
31/7/2018	6:32 a.m.	100 %	20,7 °C
31/7/2018	1:16 p.m.	59 %	25,1 °C
1/8/2018	6:52 p.m.	100 %	20,9 °C
6/8/2018	6:32 a.m.	100 %	20,8 °C
6/8/2018	8:18 a.m.	100 %	22,7 °C
8/5/2018	6:36 a.m.	100 %	21,9 °C
9/8/2018	9:50 a.m.	100 %	23,6 °C
10/8/2018	6:42 a.m.	100 %	21,9 °C
13/8/2018	6:35 a.m.	100 %	21,2 °C
14/8/2018	6:34 a.m.	100 %	20,7 °C
16/8/2018	6:35 a.m.	100 %	20,3 °C
17/8/2018	7:19 a.m.	100 %	21,3 °C
20/8/2018	7:05 a.m.	100 %	21,6 °C
21/8/2018	6:30 a.m.	100 %	21,2 °C
22/8/2018	6:36 a.m.	100 %	21,7 °C
23/8/2018	6:32 a.m.	100 %	21,3 °C
<b>Promedio</b>		<b>97 %</b>	<b>22,15°C</b>

Fuente: elaboración propia.

La tabla anterior demuestra que la temperatura casi en su totalidad alcanzó el 100 % de humedad y la temperatura rondaba los 22°C, con la consideración de que estas mediciones eran dentro de la cámara.

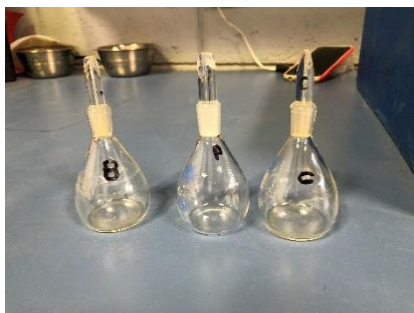
La gravedad específica se calculó tomando una muestra pequeña del mismo suelo que iba ser ensayado para la consolidación, este material se coloca en un recipiente donde se comienza a desboronar.



Una vez listo se pasa por la malla #10 (200mm), el material se coloca en un recipiente para pesarlo.

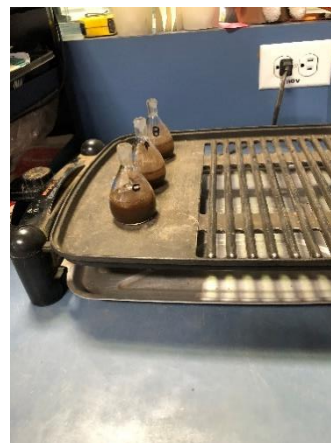


Para esta prueba se necesitan tres picnómetros, los cuales se pesan cada uno por separado y se le agregan 10g de material a cada uno.

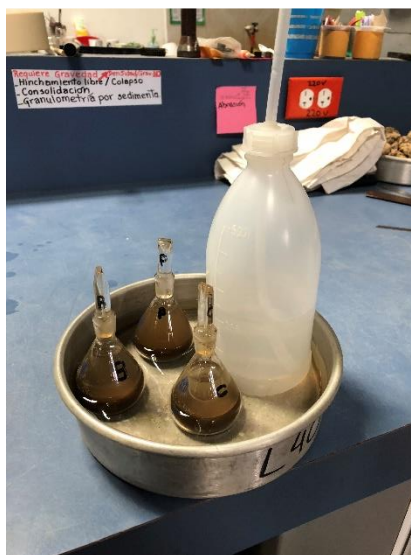




Luego se enrasan con agua destilada y se agitan suavemente para que se forme una mezcla, se colocan en una plantilla caliente para eliminar el aire dentro de la muestra, moviendo los picnómetros ligeramente para que no se pegue el material, para evitar un derrame y para agilizar el proceso de remoción de aire.



Se llenan los picnómetros con agua destilada por encima de la línea de calibración y se ponen a temperatura ambiente.



Una vez listo, se secan los picnómetros y se toma la temperatura, seguidamente se pesa la masa de los picnómetros más las muestras. Se vierte el contenido de cada picnómetro en un recipiente separado, se seca la muestra en el horno y se toma la masa para después hacer los cálculos correspondientes al ensayo.

### 3 CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Como análisis inicial, la recolección de muestras se realizó en dos diferentes situaciones climáticas, la muestra 1 se extrajo el 19 de julio a las 11:00 a.m., en donde el clima en ese momento era muy soleado, mientras que para las muestras 2 y 3 se hizo la excavación el día 7 de agosto a las 9:00 a.m. con condiciones climáticas lluviosas.

Se determinó que el comportamiento más representativo es el de la muestra 1, al tomar en cuenta que para los procesos de excavaciones normalmente se inician en periodos secos, desde de esta consideración la humedad se incrementa según la exposición. Para dar un dato porcentual del cambio de humedades en cada muestra de suelo se calcula que, para la muestra 1, su humedad inicial es de un 80,26 % y lo que se altera con respecto a la inicial para los siete días es un 12 % y a los quince días aumenta en un 19 % con respecto a la muestra natural.

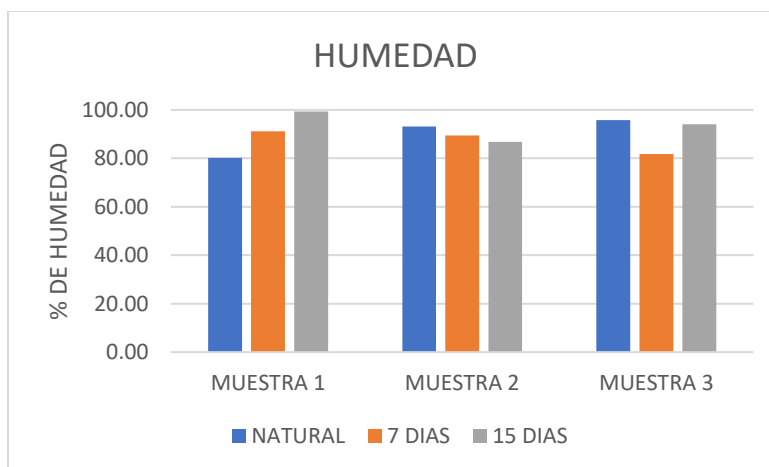
En el caso de la muestra 2, la humedad no se absorbió y esta se disminuye respecto a la inicial que es de un 93,11; se obtuvo que a los siete días la muestra disminuye un 7 % y a los quince días de exposición en la cámara de humedad también disminuye en un 7 % con respecto a la humedad inicial.

La muestra 3, aunque a los quince días absorbe humedad con respecto a la inicial, no llega a sobrepasarla, es por esto que la humedad al final siempre disminuye, al día siete la humedad respecto al 95,82 % disminuye un 14,69 % y al día quince la diferencia es de un 1,84 %

**Tabla 3. Porcentaje de humedad**

<b>W inicial (%)</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
1 día	80,26	93,11	95,82
7 días	91,19	89,47	81,74
15 días	99,36	86,84	94,06

Fuente: elaboración propia.



**Figura 6. Gráfico de humedad de las muestras**

Fuente: elaboración propia.

Al iniciar el proceso de excavaciones en una época lluviosa existe como consecuencia que las humedades tienden a oscilar de manera aleatoria, lo cual afecta los cálculos de diseño.

Como la muestra 1 es la más representativa para efectos de la investigación, se analizan los resultados obtenidos por medio del ensayo de consolidación, el cual reporta los siguientes resultados:

**Tabla 4. Variación de parámetros para muestra 1**

Condición	% Humedad inicial	Índice de poros eo	Índice de compresión cc	Índice de descompresión cs	Densidad seca yd (kn/m3)	Coficiente de consolidación pc (kn/m2)	Asentamientos (mm)
Natural	80,26	1,98	0,738	0,017	7,5	30	2,25
7 días	91,19	1,92	0,728	0,017	7,7	39	2,17
15 días	99,36	2,22	1,16	0,037	7	38	4,44

Fuente: elaboración propia.

Según los datos anteriores y al saber que las muestras de suelos tienen tres fases (una fase sólida, una de agua y una de aire), cuando una muestra se somete a la humedad, solo una parte de las partículas de aire se convierten en agua, a diferencia de la saturación, que en ese caso todas las partículas de aire pasan a ser agua, por lo cual quedan solo la fase sólida y la fase de agua. A partir de lo anterior se obtiene que, conforme los días de exposición aumentan en la cámara, la humedad del suelo también, al hacer un análisis al índice de poros (eo), se tiene que en su condición natural el índice de poros es de un 1,98; a los siete días de estar en la cámara de humedad no hubo



ninguna incidencia importante, ya que el índice es de 1,92; pero a los quince días de exposición en humedad pasó a ser 2,22; quiere decir que subió el índice de poros al estar expuesta en humedad. La cantidad de agua a la que estuvo sometida si empezó a afectar a los quince días.

Al aumentar humedad, también sube el índice de compresibilidad ( $C_c$ ), para el caso de la muestra en natural y al día siete de exposición, como la humedad no varía mucho el índice de compresibilidad tampoco lo hace, pero en el caso del día quince como la humedad crece en casi un 20 %, el índice de compresibilidad sí aumenta de manera más significativa. Quiere decir que al aumentar el índice de porosidad la compresibilidad también va a aumentar, y el índice de descompresión ( $C_s$ ) también aumenta para esta condición.

En el caso de la densidad, al aumentar la humedad y el índice de porosidad disminuye la densidad, para la exposición de la muestra a los siete días, bajó la porosidad en una cantidad mínima y la densidad aumentó en una cantidad también poco significativa; al aplicar el mismo procedimiento a la muestra de quince días en exposición en la cámara, como su humedad y su índice de porosidad aumentan, la densidad para este caso disminuye.

Todo lo anterior a diferencia de la muestra 2, la cual no dio los resultados esperados, ya que el suelo no absorbió la humedad, sino que más bien la disminuyó, debido a que probablemente el limo no tenía la capacidad de absorber agua como en el caso de la muestra 1. Es necesario recalcar que las dos fueron extraídas del mismo terreno, pero en diferentes días.

**Tabla 5. Variación de parámetros para muestra 2**

Condición	% Humedad inicial	Índice de poros eo	Índice de compresión cc	Índice de descompresión cs	Densidad seca yd (kn/m <sup>3</sup> )	Coficiente de consolidación pc (kn/m <sup>2</sup> )	Asentamientos (mm)
Natural	93,11	2,37	0,94	0,057	6,7	59	6,86
7 días	89,47	2,04	0,767	0,017	7,4	35	2,15
15 días	86,84	2,01	0,815	0,017	7,4	41	2,19

Fuente: elaboración propia.

En este caso, la humedad inicial del material es muy alta, lo que provoca que el material ya no absorba más agua, sino que más bien esta disminuya, igual se

puede observar que conforme disminuye la humedad el índice de poros también lo hace, esto quiere decir que el material, al perder el espacio que ocupaba el agua, cierra esos espacios vacíos; de igual manera el índice de compresibilidad se disminuye a los siete días y se eleva en humedad una mínima cantidad al día de quince. Para el caso de la densidad, hace un cambio del estado natural a los siete días, con una diferencia de 0.7 KN/m<sup>3</sup> y como el cambio de humedad desde día siete hasta el día quince es muy poca la densidad en estos casos la mantiene.

El comportamiento del suelo 3 es muy similar al suelo 2, con la diferencia de que al día quince sí vuelve a absorber humedad, observando en la siguiente tabla de la muestra 3 se observan los datos de humedad y los cambios respectivos.

**Tabla 6. Variación de parámetros para muestra 3**

Condición	%humedad inicial	Índice de poros eo	Índice de compresión cc	Índice de descompresión cs	Densidad seca yd (kn/m <sup>3</sup> )	Coefficiente de consolidación pc (kn/m <sup>2</sup> )	Asentamientos (mm)
Natural	95,82	2,24	0,943	0,009	6,9	53	1,10
7 días	81,74	1,97	0,66	0,025	7,6	38	3,27
15 días	94,06	2,12	0,882	0,018	7,2	40	2,23

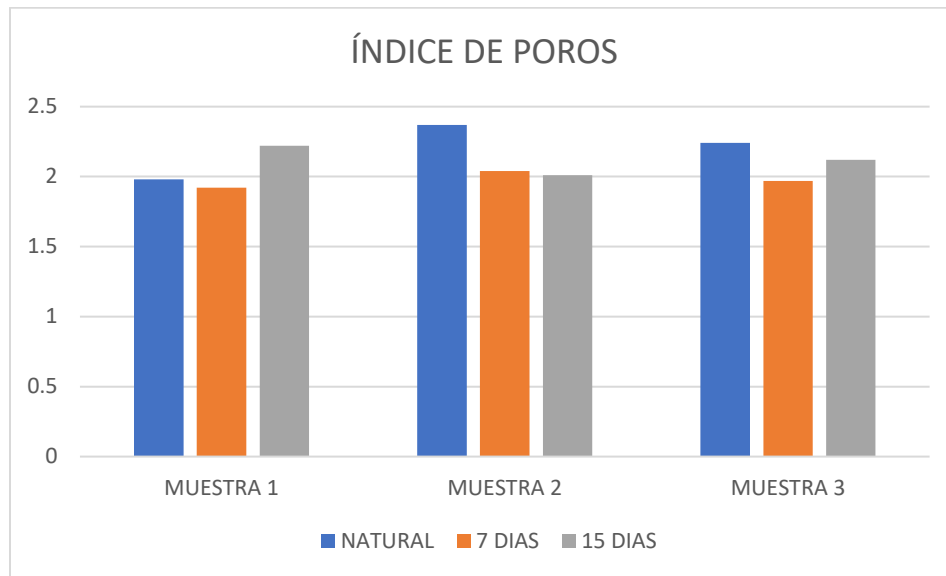
Fuente: elaboración propia.

La muestra en su estado natural se encuentra muy húmeda, lo que hace un comportamiento de rechazo a la humedad de la cámara y a su vez disminuye la propia humedad, pero al día quince sí absorbe la humedad, llega casi al estado natural de la extracción, de igual manera el índice de poros y el índice de compresibilidad se comportan igual que la humedad, si esta disminuye el índice de poros y el de compresibilidad también lo hacen; en caso contrario, si la humedad aumenta estos también, lo cual provoca que la densidad actúe en un sentido contrario.

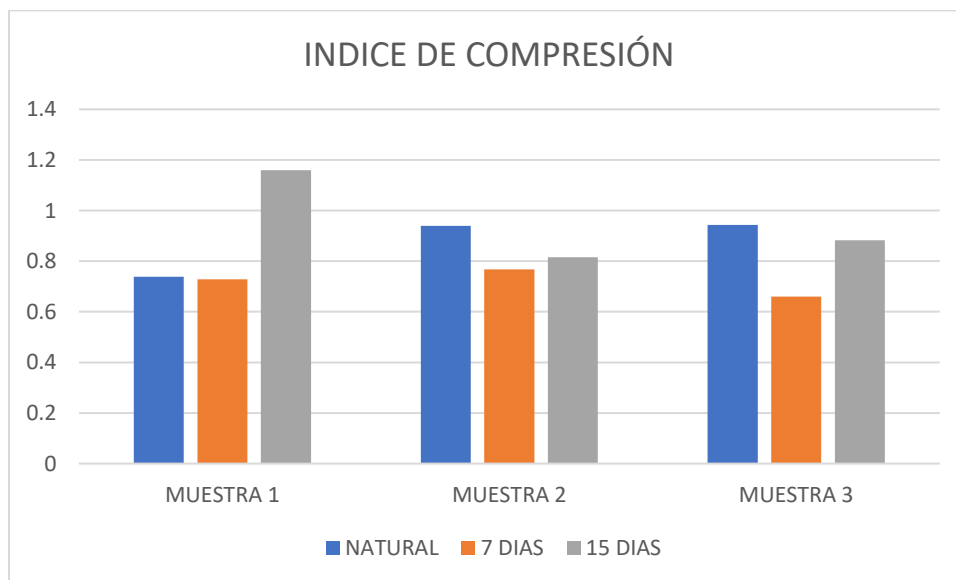
La muestra 1 da condiciones más adecuadas y se obtienen los datos esperados, para las muestras 2 y 3, aunque el material no absorbió la humedad como se esperaba, los demás datos se comportaron en la misma línea sin alteraciones grandes y trabajaron según la humedad que tenían.

El comportamiento del índice de poros y del índice de compresión respecto a los datos de la humedad se muestran en las siguientes gráficas, donde se interpreta

que si la humedad aumenta estos índices también lo harán y lo mismo en el caso para la disminución de la humedad.



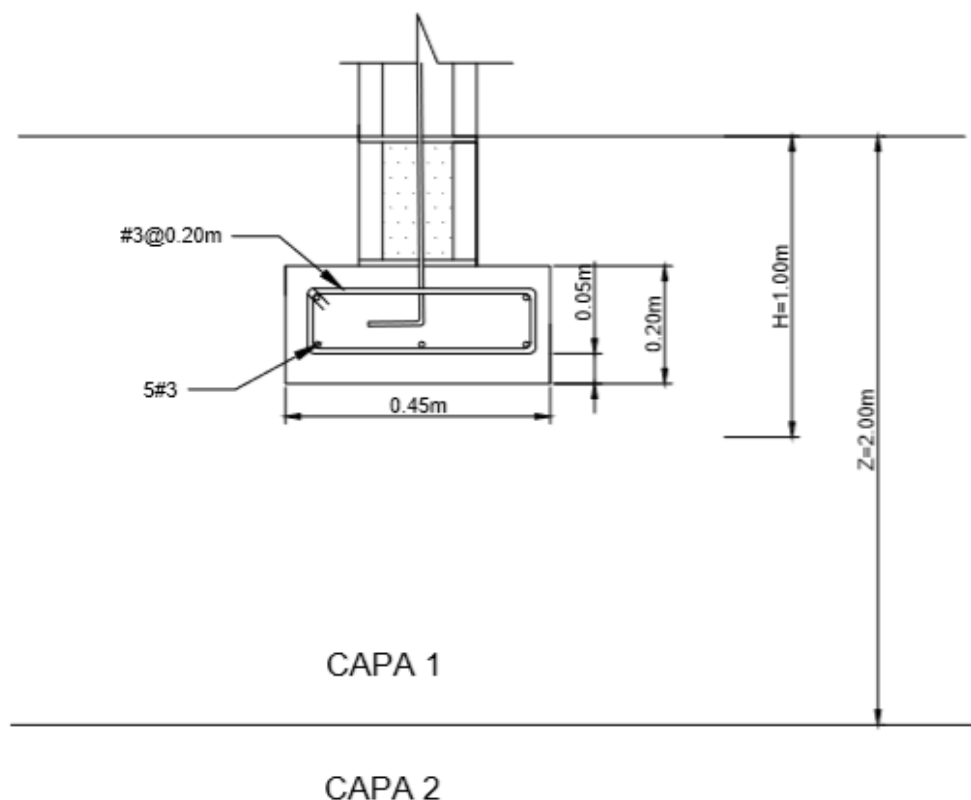
**Figura 7. Gráfico índice de poros**  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 8. Gráfico índice de compresión**  
Fuente: elaboración propia.

### 3.1 Asentamientos

Para el cálculo de asentamientos, como dato principal se asume que la sobrecarga es de 2 Ton/m<sup>2</sup>, ya que se calcula 1 Ton/m<sup>2</sup> por nivel y para este caso será de dos niveles. Se toma como base el capítulo 17 del Código Sísmico de Costa Rica, la fundación para casas de dos pisos, se tienen los siguientes datos:



*Figura 9. Fundación para casas de dos pisos*

Fuente: elaboración propia.

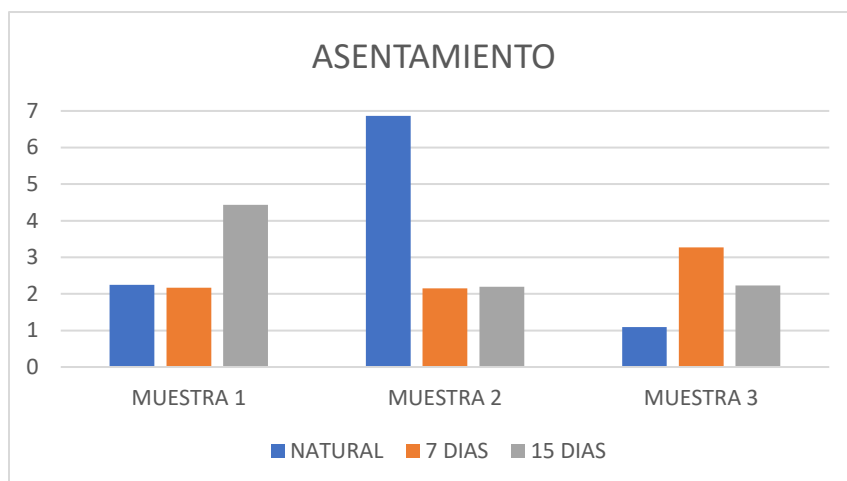
En el cálculo se conoce dónde está la siguiente capa, por eso la profundidad es  $z/2 = H$ . Para este caso se desconoce el espesor de la capa 1, por lo tanto, se asume un espesor  $Z = 2.00\text{m}$ , y como  $H = \frac{Z}{2}$ , el valor de  $H = 1.00\text{m}$ . Al aplicar la fórmula para el asentamiento se obtienen los siguientes datos para cada muestra:

**Tabla 7. Cálculo de asentamientos**

Asentamientos (mm)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Natural	2,25	6,86	1,10
7 días	2,17	2,15	3,27
15 días	4,44	2,19	2,23

Fuente: elaboración propia.

Con el análisis, la muestra 1 refleja que, al absorber mayor cantidad de humedad, el asentamiento aumenta a casi dos veces el valor inicial, y en general para todas las muestras se interpreta que, independientemente de la condición, los asentamientos varían. En el siguiente gráfico de asentamientos se analiza en detalle los cambios de cada una de las muestras a los diferentes días de exposición.



**Figura 10. Gráfico de asentamiento de las muestras**

Fuente: elaboración propia.

Para los asentamientos, los cambios varían de una a dos veces, con respecto al valor obtenido en el asentamiento natural, lo cual deja en evidencia el comportamiento de todas las muestras expuestas a humedad.

Para la muestra 1, conforme aumenta la humedad el asentamiento también aumenta, se llega a obtener un asentamiento a los quince días de casi el doble del natural. Para las muestras 2 y 3 los asentamientos aumentan o disminuyen según como se varía la humedad.

Lo anterior justifica que, a exposición de humedad del suelo, mayor será el asentamiento final de este.

## **CONCLUSIONES**

A partir de la investigación realizada se concluye que, indistintamente de las condiciones iniciales, al exponer las excavaciones a condiciones ambientales de lluvias, hace que los parámetros de deformación cambien, al hacer que el asentamiento llegue a rangos de hasta dos veces más, comparado con su suelo en el estado natural.

Sí existe variación en los parámetros si las excavaciones se someten a condiciones ambientales húmedas, ya que al absorber o al no absorber la humedad y más bien disminuirla en varios casos, las muestras de suelo igual indicaban cambios en sus parámetros y su comportamiento.

Se lograron crear las condiciones adecuadas para simular un ambiente muy húmedo, se llegó a obtener la mayoría del tiempo humedades máximas de un 100 %, se evitó la entrada de aire o de cualquier otro elemento que pudiera alterar las muestras.

Al aplicar la consolidación con el método ASTM D2435, se cumplió con el seguimiento de la normativa y de los pasos que esta designa en cada uno de sus puntos por realizar, se llevó un registro diario de cada dato para así obtener todos los resultados necesarios.

A pesar de que todas las muestras se comportaron de manera muy distinta, se determina la variación en cada dato de los parámetros de la consolidación para esta investigación.

Los asentamientos mostraron cambios en el volumen de las muestras que, aunque son mínimos pueden llegar las construcciones a afectar en un lapso amplio.

El suelo no necesariamente cambia al estar expuesto, ya que al tomar las muestras en un mismo lugar y excavar en dos ocasiones en el mismo punto, el suelo mostró cambios no esperados que fueron notorios por ejemplo en sus niveles de humedad.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda que se las excavaciones expongan lo menos posible y se mantengan controladas las filtraciones de agua en el terreno. El ingeniero, como persona responsable de una construcción, debe evitar exponer las cimentaciones durante cierto tiempo al aire libre, ya que este tipo de situaciones llegan a alterar los diseños iniciales. Por esto es necesario tomar medidas preventivas en caso de tener que dejar una excavación expuesta e incluirlas en un plan de trabajo, ya sea mediante la cobertura de un plástico o materiales impermeables.

Para tener un criterio más amplio en términos del laboratorio, se recomienda que las pruebas se sometan a más días de humedad y que se realicen con otros tipos de suelos, para comparar los comportamientos en cada suelo existente en Costa Rica. Asimismo, es importante realizar el ensayo con otros tipos de suelos para comparar los comportamientos en cada uno, evaluar otros parámetros como la resistencia al corte, colapso o hinchamiento en arcillas.

Por último, es importante rediseñar la cámara de humedad con mayores dimensiones para que se puedan exponer más muestras dentro de esta y que el alcance del aspersor pueda cubrir una mayor área, además crear un mejor soporte de la base.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albaladejo. (30 de Enero de 2011). *Construmatica*. Obtenido de Construmatica:  
<http://www.construmatica.com/construpedia/Limo>
- Aldama, J. (13 de Junio de 2015). *Grupo Sacsa*. Obtenido de Grupo Sacsa:  
<http://www.gruposacsa.com.mx/caracteristicas-del-suelo-arcilloso/>
- ARQHYS. (2012). Humedad de los suelos. *Revista ARQHYS*.
- Asociación costarricense de geotecnia comisión código de cimentaciones de Costa Rica. (2009). *Código de cimentaciones de Costa Rica*. Cartago: Tecnológica de Costa Rica.
- Borselli, D. L. (2017). *Geotecnia I*.
- Código de Cimentaciones de Costa Rica. (2009). *Código de Cimentaciones de Costa Rica*. Cartago: Tecnológica de Cartago.
- Código de Cimentaciones de Costa Rica. (2009). *Código de Cimentaciones de Costa Rica*. Cartago: Tecnológica de Cartago.
- Contreras, M. (07 de Mayo de 2012). *Slideshare*. Obtenido de Slideshare:  
<https://es.slideshare.net/mxrcostech/los-factores-ambientales>
- Cordero, J. L. (2009). *Código de cimentaciones de costa Rica*. Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica.
- Das, B. M. (1999). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Nevada: CENGAGE.
- Das, B. M. (2001). *Principios de Ingeniería de Cimentaciones*. México: International Thompson Editores.
- Dávila. (27 de OCTUBRE de 2010). *CENAM*. Obtenido de CENAM:  
<https://www.cenam.mx/sm2010/info/pviernes/sm2010-vp02b.pdf>
- Gamarra, I. A. (15 de Abril de 2012). *Suelos Ingeniería*. Obtenido de Suelos Ingeniería:  
<http://www.suelosingenieria.com/index.php/actividades/servicios/maquinarias>



- Griem, D. W. (25 de Diciembre de 2017). *Geología general*. Obtenido de Geología general: <http://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap05-3.htm>
- Grupo Geotecnia. (febrero de 2011). *Universidad de Cantabria*. Obtenido de Universidad de Cantabria: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1555/course/section/2012/capitulo1.pdf>
- Guías de Costa Rica*. (Junio de 2013). Obtenido de Guías de Costa Rica: <https://guiascostarica.com/cookies/>
- Henríquez, C., Cabalceta, G., Bertsch, F., & Alvarado, A. (07 de Septiembre de 2014). *MAG*. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Ganadería: [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/suelos-cr.html](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html)
- Instituto Nacional de Seguros. (03 de Noviembre de 2014). *Instituto Nacional de Seguros*. Obtenido de Instituto Nacional de Seguros: <http://portal.ins-cr.com/PortallNS/E-InformacionGeneralDesplegada.aspx?NRMODE=Published&NRORIGINALURL=%2FAccesoCabeza%2FGlosario%2FASTM.htm&NRNODEGUID=%7B474A1B0D-F152-465F-A6DF-28B63C01C5E8%7D&NRCACHEHINT=Guest>
- Javier. (22 de Febrero de 2007). *Visita Costa Rica*. Obtenido de Visita Costa Rica: <https://www.govisitcostarica.com/blog/>
- Mauro Poliotti, P. S. (25 de Marz de 2011). *FCEIA*. Obtenido de FCEIA: [http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Consolidacion%20unidim%20de%20suelos\\_2011s2.pdf](http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Consolidacion%20unidim%20de%20suelos_2011s2.pdf)
- Paez. (05 de abril de 2011). *Concepto* . Obtenido de Concepto: <http://conceptodefinicion.de/suelo/>
- Porto, J. P. (26 de Febrero de 2015). *Definicion.De*. Obtenido de Definición. De: <https://definicion.de/arcilla/>
- Quinn, B. (10 de agosto de 2009). *ASTM INTERNATIONAL*. Obtenido de ASTM INTERNATIONAL: [https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJA09/d1803\\_spja09.html](https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJA09/d1803_spja09.html)

U, J. C. (07 de Marzo de 2006). *Universidad Nacional de Ingeniería*. Obtenido de Universidad Nacional de Ingeniería: <http://www.lms.uni.edu.pe/Determinacion%20del%20contenido%20de%20Humedad.pdf>

## ANEXOS

### Anexo A. Determinación de la gravedad específica

<b>Astm d854</b>			
<b>Determinación de la gravedad específica de un suelo</b>			
Determinación	1	2	3
Picnómetro	B	P	C
Peso del picnómetro seco (g)	37,81	33,1	38,01
Peso del picnómetro seco + suelo (g)	47,98	43,11	47,99
Peso del picnómetro + agua enrasado (g)	87,39	83,43	87,4
Peso del picnómetro + agua + muestra enrasado (g)	93,05	88,98	92,92
Constante de corrección por temperatura	0,9995		
Temperatura de ensayo	22,3		

<b>Volumen picnómetro</b>	<b>Volumen picnómetro</b>	<b>Volumen picnómetro</b>
49,60	50,35	49,41
<b>Masa picnómetro</b>	<b>Masa picnómetro</b>	<b>Masa picnómetro</b>
87,39	83,43	87,4

<b>Promedio peso suelo</b>	<b>Promedio masa pic</b>	<b>Promedio pic+agua+muestra</b>
10,17	87,39	93,05
10,01	83,43	88,98
9,98	87,4	92,92
10,05333333	86,07333333	91,65
Gravedad específica total		2,24

