





**UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA**

**FACULTAD DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA DE LA**

**INFORMACIÓN**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

Licenciatura en Ingeniería Civil  
Tesis de grado

**CÁLCULO DEL NIVEL DE SUCCIÓN EN MUESTRAS DE**

**ARCILLA Y LIMO DE LA GRAN ÁREA METROPOLITANA**

**DE COSTA RICA.**

Jadder Exavier Vega Aguirre.

Heredia, septiembre 2019

## **COMITÉ ASESOR**

**ING. ALICIA ALPÍZAR BARQUERO, MSC**

**TUTOR**

**ING. MICHAEL JESÚS SANCHEZ GUERRERO**

**LECTOR**

**ING. JOSÉ MARÍA ULATE ZÁRATE**

**REPRESENTANTE DE RECTORÍA**



## TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: "CÁLCULO DEL NIVEL DE SUCCIÓN EN MUESTRAS DE ARCILLA Y LIMO DE LA GRAN ÁREA METROPOLITANA DE COSTA RICA.", 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. MICHAEL JESÚS SANCHEZ GUERRERO**

**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, 13 de septiembre, 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 "Cálculo del nivel de succión en muestras de arcilla y limo de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica" por parte del estudiante: Jadder Exavier Vega Aguirre, 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 Alpizar Barquero, MSc



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

Heredia, 13 de septiembre, de 2019

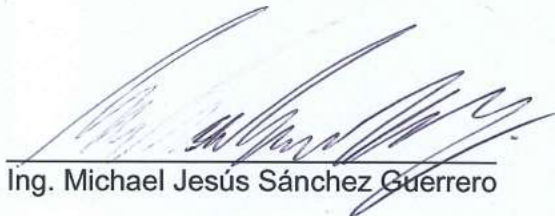
Sres.  
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación  
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Tesis de Grado bajo el título "Cálculo del nivel de succión en muestras de arcilla y limo de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica" por parte del estudiante: Jadder Exavier Vega Aguirre, 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. Michael Jesús Sánchez Guerrero

## "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 " ; "*

Vega Aguirre Jadder Exavier

De la Carrera / Programa: Licenciatura en Ingeniería Civil

autor (es) del (de la) *(Indique tipo de trabajo):* Trabajo Final de Graduación modalidad Tesis de Grado titulado:

Cálculo del nivel de succión en muestras de arcilla y limo de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica

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)* 13 del mes septiembre del año 2019 a las 4:00 p.m. 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 perjuicio que se pudiera presentar.

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



**Carta de filóloga**

19 de septiembre, 2019.

Señores  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de la Ingeniería y Tecnología de la Información  
Universidad Latina de Costa Rica

Estimados señores

La suscrita Edith Raissa Pizarro Alfaro con cédula de identidad N° 401780133, profesional en Filología, hace constar que revisó el documento denominado **"CÁLCULO DEL NIVEL DE SUCCIÓN EN MUESTRAS DE ARCILLA Y LIMO DE LA GRAN ÁREA METROPOLITANA DE COSTA RICA."**, del estudiante **Jadder Exavier Vega Aguirre**, cédula de identidad N° 8 0127 0402, al cual se le aplicaron las revisiones y observaciones relacionadas con aspectos de construcción gramatical, ortografía, redacción, entre otros.

Dado lo anterior, certifico que el documento contiene las observaciones y correcciones solicitadas, quedando de conformidad con lo pactado.

Atentamente,



Licda. Edith Raissa Pizarro Alfaro  
Código del Colegio 35554



## **AGRADECIMIENTO**

Primordialmente doy gracias a Dios por darme sabiduría e inteligencia y permitirme concluir mis estudios de manera exitosa, por haberme dado salud para lograr mis objetivos.

Gracias a mis queridos padres por su apoyo incondicional, consejos, por confiar en mí y en mis expectativas, y siempre motivarme a cumplir mis metas.

También quiero aprovechar la oportunidad para agradecer a la ing. Alicia Alpizar Barquero, por su tiempo, orientación, preocupación, y valiosos aportes durante el desarrollo de este trabajo de investigación, así mismo, a los integrantes de laboratorio de la empresa IIG Consultores, por facilitarme las instalaciones para la realización de los ensayos de laboratorio de las respectivas muestras recuperadas, así como sus valiosos aportes en la realización de los mismo.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a Dios, por permitirme por medio de su misericordia la sabiduría, inspiración y las fuerzas necesarias que me permitieron poder afrontar las diversas dificultades que se presentaron durante este proceso de estudio.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años. A todas las personas que maneras directas e indirecta me acompañaron en este proceso, aportando en mi formación profesional y como ser humano.

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general: “Estimar el parámetro de succión en suelos arcillosos y limosos ubicados en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica, mediante la norma ASTM D 5298-16”. Para la cual se seleccionó la zona en Río Oro de San José y Barva de Heredia, en donde se extrajeron tres muestras inalteradas para cada uno.

Al ejecutar el ensayo para el suelo limo denominado como MH según el SUCS la succión total dio un valor promedio de 5.45 KPa considerado como bajo según la clasificación de Queen y Miller (1968), en cambio la arcilla orgánica de alta plasticidad (OH según SUCS) el valor promedio estimado es de 25.18 KPa, la cual no se clasifica en ningún rango, dado que el esfuerzo se considera medio en el rango de 100 KPa y 1500 KPa y bajo cuando su valor es menor a 20KPa.

La succión total encontrada en ambos suelos en la recopilación de los datos, se estimó una desviación estándar para limo de 0.44, en cambio para la arcilla es de 1.36, por otro lado, al comparar el limo y la arcilla los datos indican que es más variable el limo que la arcilla, esto debido a que el coeficiente de variación del limo es de 8.45 y la arcilla es de 5.39.

También, se realizó otros ensayos de laboratorio como son el análisis granulométrico que dio porcentajes de 51.84% para limo y 59.76 % para arcilla, considerando al suelo en estudio como fino, el ensayo de límites de consistencias del cual se obtuvo el valor de índice de plasticidad de 11.79% y 96.91% para limo y arcilla respectivamente, el ensayo de humedad natural para limo dio un valor de 70.16% y en el caso de arcilla es de 55.71% .

Palabras claves: succión total, succión matricial, succión osmótica, suelo arcilloso y limoso, humedad natural.

## ABSTRACT

The general objective of this research was: "To estimate the suction parameter in clay and silty soils located in the Greater Metropolitan Area of Costa Rica, using the ASTM D 5298-16 standard". For which the area was selected in Rio Oro de San José and Barva de Heredia, where three unaltered samples were extracted for each one.

When running the test for the silt soil referred to as MH according to the SUCS the total suction gave an average value of 5.45 KPa considered as low according to the classification of Queen and Miller (1968), instead the organic clay of high plasticity (OH according to SUCS) the value estimated average is 25.18 KPa, which is not classified in any range, since the effort is considered medium in the range of 100 KPa and 1500 KPa and low when its value is less than 20KPa.

The total suction found in both soils in the data collection, a standard deviation for silt of 0.44 was estimated, instead for clay is 1.36, on the other hand, when comparing silt and clay the data indicate that the slime is more variable than the clay, this is because the slime variation coefficient is 8.45 and the clay is 5.39.

Also, other laboratory tests such as the granulometric analysis that gave percentages of 51.84% for silt and 59.76% for clay were carried out, considering the soil under study as fine, the consistency limit scan from which the index value of plasticity of 11.79% and 96.91% for silt and clay respectively, the natural moisture test for silt gave a value of 70.16% and in the case of clay is 55.71% .

Keywords: total suction, matrix suction, osmotic suction, clay and limousine soil, natural humidity.

## Índice de contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
Antecedentes.....	2
Planteamiento del problema .....	7
Formulación del problema .....	8
Enfoque de solución .....	8
Resultados esperados .....	8
Hipótesis.....	9
Objetivo .....	9
Objetivo General.....	9
Objetivos Específicos .....	9
Justificación .....	10
Alcances y limitaciones .....	10
Alcances.....	11
Limitaciones.....	11
Impacto.....	12
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO .....	13
1.1. Mecánica de suelos .....	13
1.1.1. Clasificación del suelo de acuerdo al tamaño de sus partículas. 14	
1.1.2. Análisis Granulométrico .....	15
1.1.3. Contenido de Humedad .....	17
1.1.4. Gravedad Específica.....	18
1.1.5. Límites de Consistencia .....	18
1.2. Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS) .....	21
1.3. Efectos del agua en el suelo .....	26

1.4. Succión del suelo .....	26
1.4.1. Medición de la succión .....	29
1.5. Obras de Ingeniería en donde se debe incluir el esfuerzo de succión	33
1.6. Suelos limosos y arcillosos de Costa Rica.....	35
1.7. Extracción de muestra inalterada por medio del proceso de calicata..	40
<b>CAPÍTULO 2. MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>43</b>
1.1. Paradigma .....	43
2.1. Enfoque metodológico.....	43
2.2. Operacionalización de Variables .....	44
2.3. Población y muestra .....	44
2.3.1. Tamaño de muestra .....	46
2.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	48
2.4.1. Método de prueba estándar para la distribución del tamaño de las partículas (gradación) de suelos usando tamiz de análisis (Norma ASTM D 6913) .....	49
2.4.1.1. Equipos .....	49
2.4.1.2. Procedimientos.....	50
2.4.2. Método para la determinación de límites de consistencia (Norma ASTM D4318) .....	52
2.4.2.3. Equipos .....	52
2.4.2.4. Procedimientos límite líquido .....	52
2.4.2.5. Procedimiento límite plástico .....	54
2.4.3. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Norma ASTM D2487) .....	55
2.4.4. Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo y roca por masa (normas ASTM D2216).....	56

2.4.4.6. Equipos .....	56
2.4.4.7. Procedimiento .....	56
2.4.5. Método de prueba estándar para gravedad específica de los sólidos del suelo mediante un picnómetro de agua (normas ASTM D 854) .....	57
2.4.5.8. Equipos .....	57
2.4.5.9. Procedimientos .....	58
2.4.6. Método de prueba estándar para medir el potencial de suelo (succión) mediante el papel filtro (norma ASTM D5298-16).....	60
2.4.6.10. Equipos .....	60
2.4.6.11. Procedimientos.....	63
2.5. Técnicas e instrumentos para el procesamiento y análisis de datos ..	66
2.5.1. Confiabilidad .....	66
2.5.2. Procedimientos para calcular la confiabilidad .....	67
2.5.2.12. Alpha de Cronbach.....	67
2.5.2.13. Confiabilidad de mitades divididas.....	68
2.5.3. Interpretación del coeficiente de confiabilidad.....	69
2.6. Estadística de dispersión .....	70
2.6.1.14. Varianza .....	70
2.6.1.15. Desviación típica o estándar.....	71
2.6.1.16. Coeficiente de variación .....	71
Análisis de resultados.....	72
3.1. Clasificación del suelo.....	72
3.2. Estimación del parámetro de succión total en suelo tipo arcilla y limo	77
3.2.1. Confiabilidad del instrumento.....	77
3.2.2. Estadística de dispersión .....	78

CONCLUSIONES .....	81
RECOMENDACIONES .....	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	83
ANEXO N°1 .....	88
ANEXO N°2 .....	93

## Índice de figuras

Figura 1. Curva característica suelo-agua para cada muestra de suelo. ....	6
Figura 2. Constitución de un suelo .....	14
Figura 3. Curvas granulométricas de acuerdo al tipo de material .....	17
Figura 4. Cuchara de Casa grande para ensayo de límite líquido .....	19
Figura 5. Acanalador para corte de muestra ensayo de límite líquido .....	20
Figura 6. Carta de plasticidad .....	24
Figura 7. Cuadro para clasificar los suelos según el SUCS .....	25
Figura 8. Esquema de características de las fases presente en suelos no saturados .....	27
Figura 9. Curva succión – humedades del suelo comprensibles e incomprensibles .....	29
Figura 10. Curva de calibración para medir la succión total usando papel filtro Whatman No.42, Schleicher y Schuell No. 589 .....	33
Figura 11. Suelos típicos de Costa Rica (hoja de San José) .....	37
Figura 12 . Selección del punto para calicata, Barva de Heredia .....	41
Figura 13. Trazo preliminar rectangular para zanja de calicata .....	41
Figura 14 . Calicata completa, Brava de Heredia .....	41
Figura 15. Muestra inalterada, Barva de Heredia .....	42
Figura 16. Mapa de zonificación geotécnica GAM .....	44
Figura 17. Ubicación GPS extracción muestra arcilla .....	46
Figura 18. Ubicación GPS extracción muestra limo .....	46
Figura 19. Método del cuarteo .....	50



Figura 20. Juego de tamices para cribado .....	51
Figura 21. Curva de fluidez para límite líquido .....	54
Figura 22. Muestra obtenida del ensayo límite plástico .....	55
Figura 23. Ensayo de contenido de humedad para limo .....	57
Figura 24. Ensayo de gravedad específica .....	59
Figura 25. Horno de secado .....	60
Figura 26. Balanza de precisión ensayo de succión .....	60
Figura 27. Papel filtro 393 similar al Whatman No.42 .....	61
Figura 28. Papel filtro .....	61
Figura 29. Contenedor de vidrio para muestra .....	62
Figura 30. Desecador para ensayo de succión .....	62
Figura 31. Extracción de cubo de muestra inalterada .....	63
Figura 32. Colocación de muestra dentro del recipiente .....	64
Figura 33. Colocación de O-rings y papel filtro .....	64
Figura 34. Hielera con muestras para ensayo de succión total .....	65
Figura 35. Gráfica Curva granulométrica (limo) .....	72
Figura 36. Gráfica límite líquido (limo) .....	73
Figura 37. Carta de plasticidad (limo) .....	74
Figura 38. Gráfica Curva granulométrica (arcilla) .....	75
Figura 39. Gráfica límite líquido (arcilla) .....	76
Figura 40. Carta de plasticidad (arcilla) .....	76

## Índice de Cuadros

Cuadro 1. Clasificación del suelo de acuerdo al límite de tamaño.....	15
Cuadro 2. Tamaño de mallas estándar .....	16
Cuadro 3. Simbología del Sistema Unificado de Clasificación del suelo (SUCS) .	22
Cuadro 4. Simbología y característica de los grupos diferentes grupos de suelos	22
Cuadro 5. Equipos y técnicas de medida de succión .....	31
Cuadro 6. Simbología para describir los suelos en los mapas de zonificación .....	38
Cuadro 7. Propiedades típicas de arcillas expansivas y limos de baja resistencia	39
Cuadro 8. Tipos de esfuerzo de succión (Queen & Miller, 1968) .....	44
Cuadro 9. Simbología para describir los suelos de la GAM.....	45
Cuadro 10. Nivel de confianza más utilizado .....	47
Cuadro 11. Parámetros para calcular el tamaño de muestra .....	48
Cuadro 12. Clasificación SUCS .....	55
Cuadro 13. Rangos y magnitudes para interpretar el coeficiente de confiabilidad	70
Cuadro 14. Succión total para suelo tipo arcilla y limo del ensayo ASTM D 5298	77
Cuadro 15. Determinación de las variables de dispersión para limo y arcilla .....	78
Cuadro 16. Datos típicos y estadísticas de dispersión para arcillas y limos .....	79
Cuadro 17. Coeficiente de confiabilidad datos típico en arcillas y limos .....	80
Cuadro 18. Parámetros de la arcilla y limo ubicados en la GAM .....	80

## INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, la gran demanda constructiva, los cambios climáticos con estaciones largas o cortas ya sea de épocas secas y lluviosa, ha generado grandes incógnitas sobre el conocimiento necesario del medio soportante (suelo).

También, considerando que en el país existe una gran variedad de tipos de suelos, en especial aquellos de grano fino como son las arcillas y los limos que se han originado por diversas condiciones geológicas, ya sea de origen residual o depósitos coluviales; por otro lado, la actividad sísmica presente en el país. Estos son parámetros que fomentan ampliar el conocimiento Geotécnico, ya sea en el estudio de las propiedades del suelo o el comportamiento deformacional de este que provoca inestabilidad estructural.

Se tiene como finalidad, encontrar el parámetro de succión, el cual es la capacidad del suelo de absorber el agua libre designada al estado de esfuerzo que influye en la deformación volumétrica del suelo, al variar la cantidad de agua presente. Estas deformaciones pueden ser un colapso o una expansión.

Este parámetro se evalúa en arcilla y limos ubicados en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica, la cual es el área de mayor desarrollo del país, logrando identificar el nivel de succión presente en los sitios seleccionados y de esta manera dar inicio al mapeo de los rangos sobre este efecto en el suelo.

Para encontrarlo se realiza el ensayo establecido en la norma ASTM D5298-16, la cual establece las pautas necesarias para encontrar la succión total, este se realiza en las instalaciones de la empresa IIG Consultores (Ingeniería-Instrumentación-Geotecnia) dedicada a desarrollar proyectos en el área de Ingeniería de Exploración, Monitores de Terrenos y Obras Civiles en todo el territorio nacional.

## Antecedentes

Con la finalidad de argumentar el trabajo de investigación se revisa bibliografía a nivel nacional e internacional, ya sea de trabajos finales de graduación, publicaciones técnicas, revistas especializadas, artículos científicos que conciernen con la presente investigación.

Estos trabajos recopilados, son un aporte de evidencia al revelar estudios sobre el tema en desarrollo, lo cual permite comprender hasta dónde se ha logrado llegar con el avance del tema, asimismo brinda una orientación a dicho trabajo de investigación.

Por ende, los documentos seleccionados como antecedentes brindan un aporte que permite un entendimiento amplio sobre el tema en estudio.

Barrera Bucio & Garnica Anguas (2002), en su trabajo titulado “Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres” establecen la importancia de la humedad para la creación de la curva característica para el análisis de la relación succión-humedad existente entre el suelo no saturado, además se puede obtener como dato importante de este trabajo lo citado a continuación:

“Respecto a las magnitudes de deformación del suelo bajo succión, se ha mencionado que están fuertemente influidas por el estado de esfuerzo, por las trayectorias de esfuerzo y humedad seguidas, además por supuesto, de las características del suelo. Los parámetros elásticos del suelo están también fuertemente influenciados por la succión.” (pág. 133).

Otro dato importante de esta publicación es que hace referencia al comportamiento de la mecánica de suelo, el cual indica que con el aumento de la succión la resistencia al corte crece de manera no lineal, provocando que a distintos rangos de succión las expresiones en la actualidad tengan validez condicional.

Como se mencionó en los párrafos anteriores queda en evidencia que la succión es un parámetro que afecta la deformación de la matriz de suelo en relación con la humedad y características propias de este.

Por otro lado, Valverde Ruiz (2010), en su trabajo denominado “Análisis de la influencia de la precipitación en el esfuerzo de succión y la estabilidad de un talud” desarrolla el objetivo general que consiste en evaluar la relación entre la precipitación, el esfuerzo de succión y el movimiento de un talud mediante su instrumentación.

Para este estudio se analizó el talud ubicado en la provincia de San José, del cantón de Vásquez de Coronado, en el distrito de San Rafael, específicamente en el poblado de las Nubes, donde se realizaron perforaciones de seis y ocho metros, la cuales se efectuaron para medir el movimiento del suelo con el uso del inclinómetro, perfil estratigráfico, uso del tensiómetro con el fin de determinar el esfuerzo de succión y el pluviómetro para medir la precipitación, con la finalidad de establecer la relación entre el esfuerzo de succión y la precipitación.

En este antecedente se proporciona información importante sobre la relación entre precipitación y humedad, humedad y succión, los cuales se explicarán específicamente a continuación de acuerdo con lo mencionado por Valverde Ruiz (2010).

En primera pauta se concluye que la precipitación es un parámetro que modifica la humedad del suelo, el cual se logra al ocurrir un cambio de las condiciones específicas del sitio al existir una alta pluviosidad, también es importante mencionar que estos cambios de humedad se ven influenciados por la vegetación existente, el tipo de suelo, y las características del sitio.

En segunda pauta el autor cita lo siguiente:

“Los resultados obtenidos en el uso del tensiómetro a firman el modelo teórico, evidenciando la relación inversamente proporcional existente entre la humedad y la succión. A medida que la humedad aumenta la succión tiene a disminuir.” (pág. 77).

Otro aspecto en consideración de esta investigación es:

“El esfuerzo de succión forma parte de las fuerzas estabilizadoras. Al ser un suelo SM, no existen fuerzas físicas-químicas, por lo que el valor medido es considerado en su totalidad esfuerzo de succión. La variación de la succión tiene un impacto en el factor de seguridad calculado por cualquiera de los métodos. Dicho impacto es del 8% aproximadamente. La relación entre el factor de estabilidad y la succión es directamente proporcional. Si la succión baja el factor de seguridad se comportará de igual manera”. (pág. 78).

En relación con lo comentado anteriormente la humedad del suelo define una relación inversamente proporcional con la succión y esta a su vez se relaciona con el factor de seguridad de un talud de modo que este antecedente permite establecer que el conocimiento de este parámetro puede beneficiar en las obras geotécnicas al tener certeza del factor de seguridad por usar y de este modo bajar costo.

Otro aporte a este tema es lo mencionado por Bagnarello Madrigal (2010), en su trabajo titulado como : “Análisis del esfuerzo de succión en la capacidad de soporte de cimentaciones profundas”, la cual consistió en analizar tres muestras de suelos de las zonas de Santa Barbara de Heredia, Altos de Guadalupe y Pozos de Santa Ana, con la finalidad de construir la curva característica de suelo-agua teórica que permite mostrar el comportamiento de la succión de acuerdo al grado de saturación para un suelo específico de acuerdo con su índice de plasticidad y porcentaje pasando la malla número 200.

La curva característica de suelo-agua teórica describe la relación existente entre la succión y el contenido suelo-agua del suelo, en donde se establece que a menores contenidos de agua o grados de saturación el potencial del agua capilar es reducida en comparación con la libre provocando un aumento en la succión. Además, la forma de esta depende directamente de la granulometría y de la estructura del suelo.

Esta curva se compone de tres zonas, las cuales corresponde:

Zona capilar donde el suelo se mantiene en un estado de saturación por efecto de las fuerzas capilares donde la presión poro-agua es negativa, por ende, según Pardo & Salinas (2006), mencionado por Bagnarello Madrigal (2010) establecen:

“El límite de esta zona es denominado presión de burbujeo o valor de entrada de aire. Para que los poros más grandes puedan drenar el agua y el aire empiece a ocupar los poros del suelo se debe de sobrepasar el valor de entrada del aire el cual corresponde al valor de succión”.  
(pág. 13).

La zona funicular o de desaturación es donde el aire se dirige a los poros de forma que desaloja el agua dentro de los poros, se sabe que cuando el agua de poro se encuentra en un estado de condición inmóvil la zona finaliza.

Por último, se encuentra la zona de saturación residual, en el cual el agua permanece inmóvil y el cambio de humedad se da por medio de la salida de vapor, esta región finaliza con cero aguas, que según Croney & Coleman (1961) mencionado por Bagnarello Madrigal (2010) se da una succión de  $10^6$  KPa.

A continuación, se muestra la curva obtenida en esta investigación con el objetivo de comprender lo descrito anteriormente.

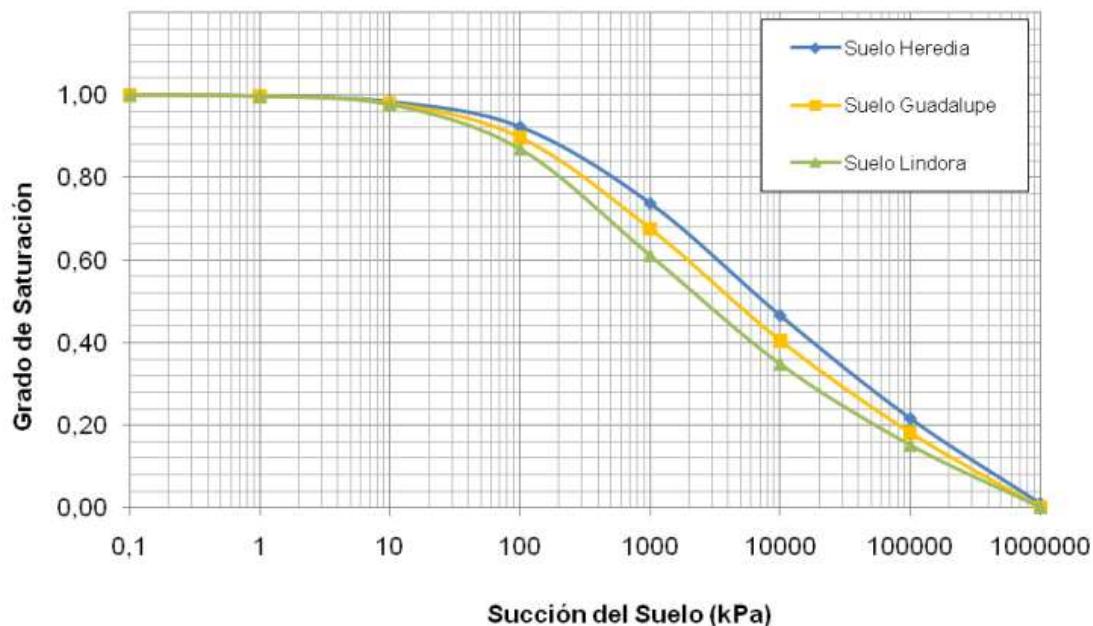


Figura 1. Curva característica suelo-agua para cada muestra de suelo.

Fuente: Bagnarello Madrigal, (2010).

Por ende, los aportes de esta investigación de acuerdo con las conclusiones consisten en:

“Un tipo de suelo a una relación de vacíos establecidos se le puede variar la capacidad de resistencia de esfuerzo normal y esfuerzo cortante con el solo cambio del grado de saturación, debido a la relación existente entre la saturación y el esfuerzo de succión”. (pág. 89).

Este antecedente también establece la relación existente entre el esfuerzo de succión y el grado de saturación, esto porque en un pilote, el incremento en el factor de seguridad, es proporcional a la mayor resistencia no drenada, es decir, al aumento de la succión matricial (aumento en la diferencia entre la presión del aire y el agua), las fuerzas capilares y las fuerzas físico-química entre las partículas.



Otro aporte como evidencia del efecto de este parámetro se toma del trabajo realizado por Rojas (2013), la cual se titula: “Estudio de las deformaciones superficiales por cambios de succión y su influencia en los fenómenos de subsidencia en la ciudad de Bogotá”.

En esta tesis se hizo un análisis de la deformación que puede presentar la arcilla en Bogotá para los primeros 6 metros de profundidad, por efecto del cambio de humedad que provocan cambios de succión, la cual se calculó con base a las curvas de retención de humedad y de compresibilidad disponible del material.

Además, para encontrar las deformaciones provocadas por la succión el autor usa el modelo clásico de Barcelona, el cual toma como variable a la succión y fuerza neto medio, ya sea para procesos de secado o humedecimiento.

Por lo cual este trabajo se concluye con:

“Con base en los cambios de humedad registrados en las diferentes campañas de muestreo y, en las curvas de retención de humedad y de compresibilidad disponible para los materiales presentes en el perfil estudiado, se obtuvieron valores máximos de deformación vertical de 6 cm. Esto indica que los cambios de volumen producidos por la succión, pueden representar una componente importante en el proceso de subsidencia y deben evaluarse en mayor detalle midiendo localmente las deformaciones”. (pág. 109)

## **Planteamiento del problema**

¿Cuáles son los niveles de succión que presentan los suelos de tipo arcilla y limo de la Gran Área Metropolitana (GAM) de Costa Rica?

## **Formulación del problema**

Considerando que Costa Rica no cuenta con estudio que determinen los niveles de succión, por lo cual no se tiene conocimiento de cuánto podría influir o no este parámetro en relación con los cálculos de deformación y resistencia, además se presentan condiciones climáticas con periodos de lluvias intensas en tiempos prolongados, o incluso disminuciones sostenidas de lluvias por sequía, drenajes deficientes, mantos freáticos fluctuantes, que están asociados directamente al grado de saturación que afecta el parámetro de succión, se formula el problema a través de las siguientes preguntas:

¿Cuál es el valor de los esfuerzos de succión que tienen los suelos arcillosos y limosos de la GAM de Costa Rica?

¿Cómo se clasifican los niveles de succión de los suelos tipo arcilla y limo de Costa Rica, en relación con la clasificación realizada por Queen y Miller (1968)?

¿En cuáles obras de ingeniería se debería incluir este parámetro?

## **Enfoque de solución**

Se determinará el nivel de succión total mediante el ensayo denominado método de prueba estándar para medir el potencial de suelo (succión) mediante el papel filtro, según la norma ASTM designación D5298 del año 2016, para suelo tipo limo y arcilla del Gran Área Metropolitana de Costa Rica.

## **Resultados esperados**

Se pretende con los resultados que se obtengan, clasificar estos niveles de esfuerzos en relación con lo establecido por Queen y Miller (1968) en esfuerzo bajos, medios o altos, con la finalidad de saber la capacidad de succión del suelo tipo limo y arcilla ubicados en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica.

## **Hipótesis**

El parámetro de succión en el análisis de deformaciones y resistencia ha demostrado ser una opción para optimizar diseños de obras de cimentación, estabilidad de taludes, y mejorar el grado de seguridad del cálculo. Sin embargo, el país no cuenta con un registro o mapa que muestre el nivel de este parámetro en función de la variedad de suelos y condiciones de entorno, que permita identificar zonas de mayor o menor vulnerabilidad a su efecto en los cálculos de diseño; como si existe en el caso de patologías como la expansividad, colapsabilidad y licuación.

Identificar los niveles de succión que presenta cada tipo de suelo y definir las zonas de mayor o menor impacto en los cálculos de diseño, permitirá dar una luz de alerta a los profesionales de geotecnia que desarrollan estudios de suelos y/o diseños geotécnicos, y podrán con propiedad incluir este parámetro en sus cálculos según el nivel de succión.

## **Objetivo**

### **Objetivo General**

Obtener el parámetro de succión total en suelos tipo arcilla y limo de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica, mediante la norma ASTM D5298-16.

### **Objetivos Específicos**

Calcular los niveles de esfuerzos de succión por medio de ensayos de laboratorio para un suelo arcilloso y limoso.

Identificar el tipo de suelo en estudio, mediante ensayos de laboratorio y clasificación SUCS.

Comparar el potencial del suelo (succión) tipo arcilla y limo costarricenses con la clasificación realizada por Queen y Miller (1968).

## **Justificación**

La zona del Gran Área Metropolitana de Costa Rica presenta gran desarrollo económico, por lo tanto, se generan diversas inversiones ya sea en la construcción de edificios de gran variedad de pisos para uso residencial, comercial, construcción de diversas viviendas unifamiliares que pueden contar o no con estudios geotécnicos.

La gran variedad de suelos presentes en Costa Rica ya sea de origen residual o transportado, la posición geográfica que contribuye a un clima variable donde se presentan estaciones de largos o cortos periodos lluviosos o secos, por otro lado, el país cuenta con diversos historiales de sismos que genera que las partículas del suelo se acomoden. Por ende, permite que se cuenten con estudios que determinen parámetros fundamentales como la clasificación de suelos, niveles de saturación, deformaciones, niveles de succión que se relacionan con la capacidad de resistencia para cada tipo de suelo.

El conocimiento del nivel de succión que puede generar el suelo ya sea de arcilla o limo, que están en relación con deformaciones que experimentan estos tipos de suelos y dependiendo del grado de impacto que este presente en la mencionada investigación, podrá generar un criterio de que sí se debe incluir en el diseño diversos tipos de estructuras ya que sería un parámetro que se puede considerar para diseños geotécnicos.

## **Alcances y limitaciones**

En este apartado, se pretende mencionar los aspectos esenciales que se presentaron durante el trabajo de investigación, el cual se subdividen en alcances considerado como todo se generó con facilidad, así como los aportes de esta investigación, por otro lado, las limitaciones definidas como aquellos parámetros que impido obtener resultados deseados, descritos a continuación.

## **Alcances**

En este trabajo de investigación, se calculará la succión total del suelo por medio de ensayo de laboratorio, el cual se hará de muestras inalteradas de suelos tipo limo y arcilla.

Posteriormente, se pretende realizar ensayos de laboratorio como son análisis granulométrico, límites de consistencia, humedad natural, gravedad específica, con los cuales se pretende clasificar el tipo de suelo en limo y en arcilla de acuerdo con sus características físico mecánicas.

Además, como parte del alcance se encontrará el coeficiente de confiabilidad media de los datos recopilados en los ensayos de succión total al hacer análisis estadístico por medio de software como Excel, donde se efectuarán métodos como confiabilidad de consistencia interna como son procedimientos de dos mitades (ítems pares e impares), Alpha de Cronbach, Kunder- Richardson con la finalidad de encontrar el coeficiente de confiabilidad, también se encontrará el coeficiente de variación.

## **Limitaciones**

Una limitación de este trabajo de investigación es que las muestras inalteradas para arcilla se recogieron de un mismo lugar, ubicada en Santa Ana (Río Oro) de la provincia de San José, del mismo modo las muestras de limo perteneciente a Barva de la provincia de Heredia.

Por ende, en cuestión de resultados, se generaliza para todos los suelos de tipo limo y arcilla del mapa de zonificación geotecnia de la GAM según en lo establecido en la tabla 9 del presente documento llamado simbología para describir los suelos del GAM del código de cimentaciones de Costa Rica (2009).

Otra limitante en esta investigación es que el papel filtro utilizado para el ensayo de succión según el laboratorio Diprolab es similar al Whatman No.42 dado que este no se comercializa en Costa Rica, por ende, se debe de considerar una variación mínima en los datos obtenidos.

## **Impacto**

Esta investigación de trabajo final de graduación denominada “Estimación de los niveles de succión en suelos de tipo limo y arcilla del Gran Área Metropolitana de Costa Rica” generará un parámetro que puede ser considerado en futuros aspectos en obras civiles, esto porque permitiría determinar un posible comportamiento deformacional de la matriz del suelo de acuerdo con su condición de esfuerzo de succión total.

Además, incentivar en futuros temas donde se logre incluir en las ecuaciones de capacidad de soporte o esfuerzos efectivos para minimizar el factor de seguridad utilizado en la actualidad en Costa Rica y de este modo disminuir el costo de obras de cimentaciones al tomar decisiones más acertadas.

## CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se mencionan de forma simplificada, el concepto de suelo, así como sus características (propiedades físicas y mecánicas), características de los suelos limosos y arcillosos, además se describe el concepto de succión. Con la finalidad de que el lector se familiarice con los diversos conceptos de Geotecnia, comprendiendo de lo general a lo específico, dándole sentido a la problemática de estudio.

### 1.1.Mecánica de suelos

La mecánica de suelos trata de describir el comportamiento de una masa de suelo al ser afectada por diversos factores estudiando sus propiedades físicas. La importancia de la mecánica de suelos en la ingeniería radica en que permite comprender con mayor claridad el concepto suelo, además permite el estudio de sus propiedades mecánicas, ya que es un material que se debe diseñar con respecto a sus características geotécnicas, esto porque es el medio soportante de las estructuras en obras civiles.

Para el Doctor Braja M. Das define suelo como:

“En el sentido general de la ingeniería, suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas. El suelo se usa como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil y sirve para soportar las cimentaciones estructurales”. (2012, pág. 1).

En otros autores la definición consiste en “Las partículas de suelo son sólidas y no se pueden mover con la misma facilidad que los elementos de un fluido. Así pues, el suelo es intrínsecamente un sistema de partículas”. (Lambe & Whitman, 2004, pág. 31).

A continuación, en la figura 1, se representan los elementos que puede estar relacionados en una masa de suelo como son las partículas sólidas, agua o aire.

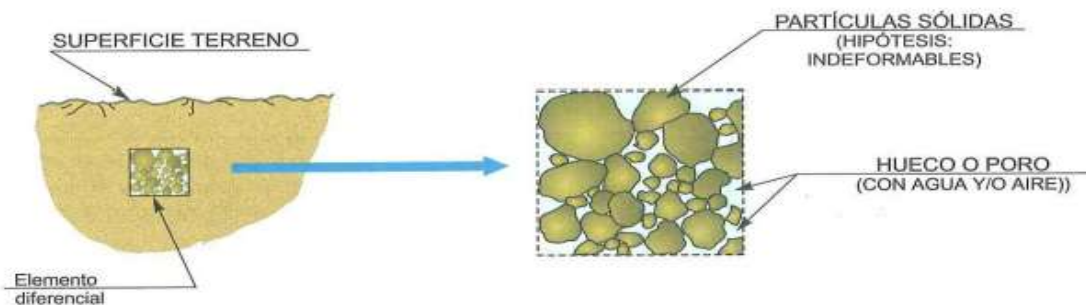


Figura 2. Constitución de un suelo

*Fuente:* Gonzáles de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, (2004).

Se estudiará las características como son: la clasificación del suelo de acuerdo al tamaño de sus partículas, la distribución granulométrica, contenido de humedad, gravedad específica, límites de consistencia.

### 1.1.1. Clasificación del suelo de acuerdo con el tamaño de sus partículas

Los suelos en general son llamados de acuerdo con el tamaño predominante de las partículas, esto porque el tamaño del grano que conforma un suelo, varía en un amplio rango, pueden ser desde micras a algunos centímetros. Por lo cual los suelos en general son arcillas, limos, gravas y arenas en relación con el tamaño.

Dada la importancia que tiene el tamaño de las partículas para clasificar un suelo, diversas instituciones de origen estadounidense desarrollaron límites del tamaño. En el cuadro 1, se muestra el nombre de cada organización, así como la respectiva clasificación de acuerdo con el tamaño de la partícula.



Cuadro 1. Clasificación del suelo de acuerdo al límite de tamaño

Nombre de la organización	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto tecnológico de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.02	< 0.002
Departamento de agricultura de Estados Unidos (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	< 0.002
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir; limos y arcillas) <0.075	

Fuente: Braja M, (2012).

### 1.1.2. Análisis Granulométrico

Este análisis permite conocer la proporción de cada material que posee la masa de suelo. Los autores Juárez Badillo & Rico Rodríguez mencionan:

"Originalmente, el suelo se dividía únicamente entre tres o cuatro fracciones debido a lo engorroso de los procedimientos disponibles de separación del tamaño. Posteriormente, con el advenimiento de la

técnica del cribado<sup>1</sup>, fue posible efectuar el trazo de curvas granulométricas, contando con agrupaciones de las partículas del suelo en mayor número de tamaños diferentes”. (2005, pág. 98).

Este análisis se rige por la norma ASTM designación D6913, la cual consiste en tomar una masa representativa del material que se debe lavar y secar en un horno de temperatura constante, para luego colocar en un conjunto de tamices que al agitarse durante un tiempo apropiado, permite que el material de acuerdo con su tamaño de partícula pase por los diámetros de las mallas que están de mayores a los menores, para finalmente pesar lo retenido en cada malla y encontrar el porcentaje pasando para graficar la curva granulométrica.

El tamaño de las aberturas respectivas de algunas mallas utilizadas, se puede apreciar en el cuadro 2, la cual en la columna de la izquierda el nombre de la malla (denotada con un número), y en la derecha el diámetro de la abertura respectivo en mm.

Cuadro 2. Tamaño de mallas estándar

<b>Malla No.</b>	<b>Abertura (mm)</b>
4	4.750
10	2.000
40	0.425
200	0.075

Fuente: Juárez Badillo & Rico Rodríguez, (2005).

Estos límites del tamaño de las partículas que conforman un suelo, indican un criterio descriptivo para una clasificación del mismo, el cual se representa en una curva granulométrica que está en una escala semilogarítmica, con porcentajes pasando en el eje de las ordenadas y tamaño del diámetro de las partículas en el eje de las abscisas, logrando apreciar la distribución

---

<sup>1</sup> La técnica de cribado se refiere al análisis granulométrico por medio de mallas

granulométrica del suelo. En la Figura 2 se muestra diversos tipos de curvas granulométricas de acuerdo con el tipo de material (tamaño del grano).

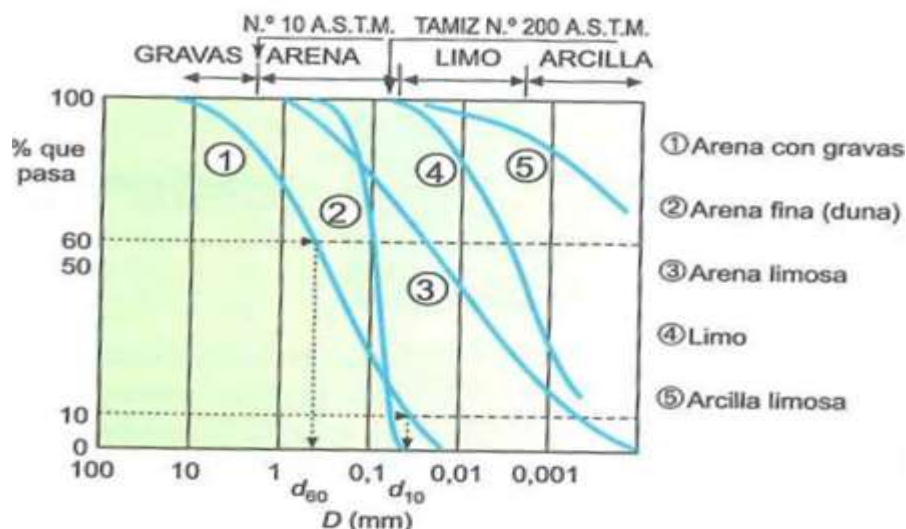


Figura 3. Curvas granulométricas de acuerdo al tipo de material

Fuente: Gonzáles de Vallejo... et al., (2004).

### 1.1.3. Contenido de Humedad

Se establece como la relación, en porcentaje, del peso del agua que esta presenta en la muestra y el peso de sus sólidos, que serán determinado por secado en el horno, otros autores como Braja M, lo definen como: “el contenido de humedad ( $w$ ) se le llama también contenido de agua y se define como la relación de peso de agua entre peso de sólidos en un volumen dado definido”. (pág. 19). Este se expresa por medio de la expresión:

$$\%W = \frac{W_w}{W_s} * 100\% \quad (1)$$

Donde:

$\%W$  = Contenido de humedad natural expresado en porcentaje (%)

$W_w$  = Peso del agua existente en la masa del suelo

$W_s$  = Peso de las partículas solidas

Para determinar la humedad del suelo en laboratorio, se emplea lo normalizado en la norma ASTM designación D 2216.

#### **1.1.4.Gravedad Específica**

La gravedad específica se puede definir como la relación existente entre el peso unitario de un cuerpo y la densidad del agua. Se puede determinar en laboratorio, empelando la norma ASTM designación D854, la cual establece que se debe medir el volumen que ocupa una muestra de partículas (seca, disgregada y peso conocido) por el desplazamiento de un volumen líquido en un recipiente lleno de agua.

#### **1.1.5.Límites de Consistencia**

La consistencia de un suelo equivale al estado de este en relacionado al contenido de humedad, por su parte los autores Campos Rodríguez & Guardia Niño de Guzmán indican que “se refiere al estado en que se encuentran una masa como resultado de los componentes de un elemento unidos unos a otros. Para el caso de suelos la consistencia está muy relacionada con la humedad del suelo”. (2005, pág. 14).

Esta propiedad de acuerdo con la mecánica de suelo, se utiliza para suelos de grano fino (arcilla y limos), en relación con su mineralogía y el contenido de agua que poseen, los cuales fluyen sin romperse (Duque Escobar & Escobar Potes, 2002). Los límites de consistencia fueron definidos por el científico Sueco, Albert Mauritz Atterberg, el cual desarrollo el método variando el contenido de agua en suelo de grano fino, por lo cual se sabe que un bajo contenido de agua en el suelo se vuele frágil, pero si este es muy alto el suelo se comporta como un líquido... (Braja M, 2012).

Por ende, los suelos de grano fino se le consideran cuatro estados límites de consistencia los cuales son: estado sólido que se encuentra cuando el suelo se encuentra seco, y los otros tres se dan al agregar agua (variación del contenido de humedad) definiendo los límites semisólido, plástico y líquido.

Para efecto de este trabajo de investigación se enfocará en el límite plástico y el límite líquido, los cuales se pueden calcular con lo estipulado en la norma ASTM designación D4318.

La cual establece que para encontrar el límite líquido, se debe de escoger una porción de muestra de suelo, la cual se humedece hasta apreciar el estado líquido, después se coloca<sup>2</sup> en la cuchara de Casa grande (ver figura 3), que consiste en una copa de bronce con una base de hule que se opera por medio de una manivela, a la muestra se le debe de hacer una ranura en el centro con un acanalador (ver figura 4).



Figura 4. Cuchara de Casa grande para ensayo de límite líquido

Fuente: Propia

---

<sup>2</sup> se coloca la muestra a una distancia de 12.7 mm a lo largo del fondo de la cuchara



Figura 5. Acanalador para corte de muestra ensayo de límite líquido

Fuente: Propia

Por lo tanto, para encontrar el límite líquido de un suelo de grano fino, se debe operar la manivela de la cuchara de casa grande hasta lograr que la abertura de 2 mm (aproximadamente) se cierre, con un total de 25 golpes que es donde se encuentra el límite líquido. Pero se sabe que lograr que cierre a los 25 golpes es tedioso y se requiere mucha experiencia, por lo que se debe determinar de 3 a 4 contenidos de humedad diferente con sus respectivos números de golpes, para luego graficar colocando en el eje de las ordenadas ordenando los contenidos de humedad y número de golpes en el eje de las abscisas para finalmente interpolar el golpe 25.

En cuanto al límite plástico, consiste en amasar suelo seco con poca agua formando rollos de al menos unos 3 mm de diámetro con longitudes aproximadamente de 25 a 30 mm al ser amasados con la punta de los dedos sobre una superficie completamente lisa. Se sabe que se llegó al límite plástico dado que los rollos se cuarteán en fracciones de 6 mm aproximadamente, determinando la humedad del límite plástico.

Al conocer el límite líquido y plástico del suelo se puede encontrar el índice de plasticidad, el cual es numéricamente igual a la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, demostrado como:

$$IP = LL - LP \quad (2)$$

Donde:

IP= Índice de plasticidad

LL = Límite líquido

LP = Límite plástico.

## **1.2.Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS)**

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos usa la simbología de dos letras para clasificar el suelo de acuerdo al tamaño de las partículas y la textura que posee, por lo cual es un sistema aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar.

Por ende, se necesita conocer el análisis granulométrico del material mencionado en la sección 1.1.2, así como los límites de consistencia de la sección 1.1.5 para poder clasificarlos.

La clasificación separa al suelo de acuerdo al tamaño de su grano en suelos finos y gruesos, ya que si más del 50% de sus partículas son gruesas se clasifica como suelos gruesos, agregando las letras G para gravas (no pasa la malla No 4) y S para arenas (pasa la malla No 4). Del mismo modo si más del 50 % pasa la malla No 200, se clasifica como fino.

La simbología del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), se muestra en el cuadro 3, la cual representa la letra y la descripción correspondiente.

Cuadro 3. Simbología del Sistema Unificado de Clasificación del suelo (SUCS)

G	S	M	C	O	H	L	W	P
Grava	Arena	Limo	Arcilla	Limo- Arcilla orgánica	Alta plasticidad	Baja plasticidad	Bien graduados	Mal graduados

Fuente: Braja M, (2012).

A continuación, en el cuadro 4, se muestra un resumen de las subdivisiones de los suelos de grano fino y grueso, de acuerdo con las características que lo llevaron a su clasificación, mostrando en la columna de la derecha los símbolos, que permiten al lector identificar los suelos, y en la izquierda las respectivas características.

Cuadro 4. Simbología y característica de los grupos diferentes grupos de suelos

Simbología	Característica
GP y SP	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Suelos mal graduados; es decir, son de apariencia uniforme o presentan predominio de un tamaño o margen de tamaño.</li> <li>▪ El contenido de partícula fino no sea mayor al 5% en peso.</li> <li>▪ No cumplen los requisitos de graduación indicados para su consideración como bien graduados.</li> <li>▪ Están comprendidas las gravas uniformes (lechos de ríos), arenas uniformes.</li> </ul>



GM y SM	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Posee porcentajes de finos superiores al 12 % en peso.</li> <li>▪ La plasticidad de los finos de este grupo varía entre “nula” o “media” (índice de plasticidad menor a 4).</li> </ul>
GC y SC	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Posee porcentajes de finos superiores al 12 % en peso.</li> <li>▪ Los finos son de plasticidad “media” o “alta” (índice de plasticidad mayor a 7).</li> </ul>
CL Y CH	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El grupo CL comprende la zona arriba de la línea A, definida por <math>LL &lt; 50\%</math> <math>I_p &gt; 7\%</math></li> <li>▪ El grupo CH corresponde a la zona arriba de la línea A, definida por <math>LL &gt; 50\%</math></li> </ul>
ML y MH	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El grupo ML comprende la zona bajo la línea A, definido por <math>LL &lt; 50\%</math> y la porción sobre la línea A <math>I_p &lt; 4\%</math></li> <li>▪ El grupo MH corresponde a la zona debajo de la línea A, definida por <math>LL &gt; 50\%</math></li> <li>▪ En este grupo quedan comprendido los limos típicos inorgánicos y limos arcillosos</li> </ul>

OL Y OH	Las zonas correspondientes a estos dos grupos son las mismas que las de los grupos ML y MH, respectivamente, si bien los orgánicos están siempre en lugares próximos a la línea
---------	---

Fuente: Juárez Badillo & Rico Rodríguez, (2005). (págs. 153-157).

La línea A, mencionada en la tabla 3, se encuentra en la carta de plasticidad de casa grande utilizada para clasificar a los suelos, donde en el eje de las abscisas se encuentran los límites líquidos (LL) y en el eje de las ordenadas el índice de plasticidad (Ip), representada en la figura 5 y en la figura 6 parámetro de la clasificación SUCS.

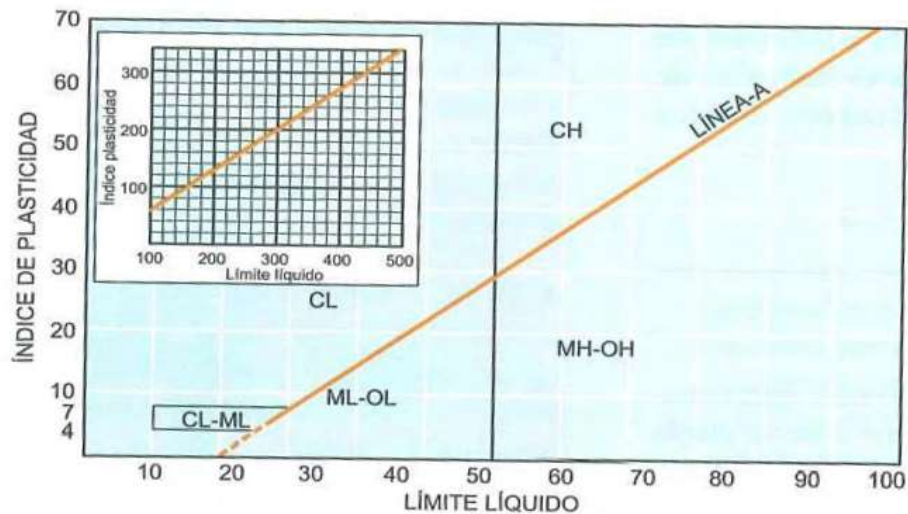


Figura 6. Carta de plasticidad

Fuente: Gonzáles de Vallejo... et al., (2004).

DIVISION MAYOR		SIMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO		
<b>SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS</b> Más de la mitad del material es retenido en la malla núm. 200 Más de la mitad del material es retenido en la malla núm. 200 son, aprox., las más pequeñas visibles a simple vista.	<b>GRAVAS</b> MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA ES RETENIDA POR LA MALLA No. 4 PARA CLASIFICACION VISUAL PUEDE USARSE % CM. COMO EQUIVALENTE ABIERTURA MALLA No. 4.	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos.	Coeficiente de uniformidad Cu: mayor de 4 Coeficiente de curvatura Cc: entre 1 y 3 $Cu = (D_{60}) / (D_{10})$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60})$		
		GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos.		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACION PARA GW	
		<b>ARENAS</b> MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA PASA POR LA MALLA No. 4 PARA CLASIFICACION VISUAL PUEDE USARSE % CM. COMO EQUIVALENTE ABIERTURA MALLA No. 4.	GM <sub>d</sub>	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.	Límites de Atterberg abajo de la "Línea A" o I.P. menor que 4	Arriba de la "Línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
			GM <sub>u</sub>	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.		
		<b>ARENAS</b> MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA PASA POR LA MALLA No. 4 PARA CLASIFICACION VISUAL PUEDE USARSE % CM. COMO EQUIVALENTE ABIERTURA MALLA No. 4.	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.	Límites de Atterberg arriba de la "Línea A" con I.P. mayor que 7	No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ mayor de 6, $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$ entre 1 y 3
			SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poco o nada de finos.		
			SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poco o nada de finos.		
			SM <sub>d</sub>	Arenas limosas, mezclas de arenas y limo.		
		<b>SUELOS DE PARTICULAS FINAS</b> Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 Las partículas de 0.074 mm de diámetro (malla no. 200) son, aprox., las más pequeñas visibles a simple vista.	<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50%	SC	Arenas arcillosas, mezclas de arenas y arcilla.	Límites de Atterberg arriba de la "Línea A" con I.P. mayor que 7
				SM <sub>u</sub>	Arenas limosas, mezclas de arenas y limo.	
ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.					
CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.					
<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50%	<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50%	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	Límites de Atterberg abajo de la "Línea A" con I.P. menor que 4		
		MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos.			
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.			
		OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.			
<b>SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS</b>		Pt	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.			

EQUIVALENCIA DE SIMBOLOS	
G	GRAVAS, M = LIMO, S = ARENAS, C = ARCILLAS, O = SUELOS ORGANICOS,
W	BIEN GRADUADOS, P = MAL GRADUADOS, Pt = TURBA
L	BAJA COMPRESIBILIDAD, H = ALTA COMPRESIBILIDAD

CARTA DE PLASTICIDAD	
PARA LA CLASIFICACION DE SUELOS DE PARTICULAS FINAS EN LAB	
INDICE PLASTICO	
	LIMITE LIQUIDO

Figura 7. Cuadro para clasificar los suelos según el SUCS

Fuente: de Llorens Duran, (2007).

### **1.3.Efectos del agua en el suelo**

El comportamiento del suelo en presencia del agua es de interés en la mecánica de suelos, ya que influye en diversos parámetros en relación con el grado de saturación que este experimente. Se sabe que los suelos parcialmente saturados están relacionados con deformaciones volumétricas controladas por la succión.

Se sabe que “el grado de saturación de un suelo está directamente relacionado con la succión, ya que es una variable independiente de los esfuerzos que influyen en la resistencia de los suelos no saturados”. (García., et al, 2017. Pág. 5). Por otro lado, Barrera y Garnica (2002), mencionado por Bagnarello Madrigal (2010), citan: “los cambios de humedad ya sea de forma natural o artificial, provocan alteraciones importantes en la capacidad de soporte del suelo”. (pág. 135)

La humedad de la superficie depende de las características topográficas del terreno, el tipo de suelo, características climáticas, vegetación. Además, por factores como el porcentaje de infiltración que se “define como el movimiento de agua desde la superficie del terreno hasta el suelo o roca por los poros o intersticios y discontinuidades de la masa de térrea” (Suarez Diaz, 1998).

El porcentaje de agua que logra infiltrarse en el suelo depende de factores como la distribución de las partículas del suelo (granulometría) relacionada con la succión y la permeabilidad de estos.

### **1.4.Succión del suelo**

La succión en términos prácticos es una medida de la afinidad del suelo para retener el agua y puede proporcionar información sobre los parámetros del suelo que están influenciados por el agua en el suelo como, por ejemplo, el cambio de volumen, la deformación y las características de resistencia del suelo.

Esta también se puede definir como la capacidad del suelo de adsorber el agua libre, por lo cual este término “designa a la integrante del estado de

esfuerzos que tienen en cuenta aquellos efectos de superficies capaces de retener agua dentro de la estructura de un suelo” (Barrera Bucio & Garnica Anguas, 2002), por otro lado la autora Bagnarello Madrigal cita lo mencionado por Aitchison (1973), “como la cantidad de energía libre de un volumen unitario de agua existente en el suelo” (2010, pág. 12).

Este concepto esta relacionado al fenómeno de capilaridad, ya que este se define como el ascenso y descenso del agua por el medio poroso de la matriz de suelo, que ocurren por el efecto de fuerzas de tensión superficiales originada por la interacción de las fuerzas inter-moleculares que se dan en la zona de contacto entre las partículas del suelos, agua y aire (Bagnarello Madrigal, 2010).

Además, este concepto es utilizado para explicar la presencia de presión de poro negativo y el comportamiento de los suelos no saturados, los cuales se componen de un sistema formado por fase líquida, sólida y gaseosa. A continuación, en la figura 7 se esquematizan las características de cada una de las fases de los suelos no saturados.

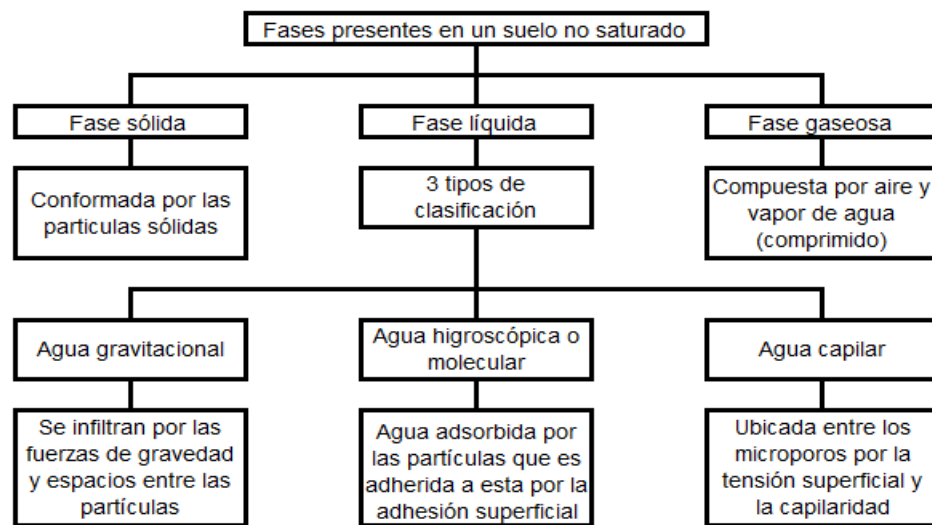


Figura 8. Esquema de características de las fases presente en suelos no saturados

Fuente: (Bagnarello Madrigal, 2010)

Se sabe, que en la actualidad se conocen la succión total, mátrica y osmótica, la cuales presenta características y condiciones diferentes, que a continuación se procede a mencionar.

La succión total se define como aquella cantidad de energía para retener agua en una masa de suelo. Para Ridley, mencionado por (García., et al, 2017) se define como:

“La energía necesaria para quitar una molécula de agua del suelo a través de la evaporación. Para remover el agua del suelo, la energía utilizada tiene dos componentes, la primera está relacionada al efecto capilar y recibe el nombre de succión matricial ( $\psi$ ) y la segunda, producto de la presencia de sales diluidas en el agua, conocida como succión osmótica ( $\pi$ )”. (pág. 107).

En cambio, la succión matricial ( $\psi$ ) es la presión negativa del agua intersticial, la cual se relaciona con el estado de esfuerzo derivado de los fenómenos de superficie y gravitatorios. Para Alfaro, (2007) mencionado por (Bagnarello Madrigal, 2010) son: “las presiones intersticiales negativas son el resultado de la diferencia entre presión del aire ( $U_a$ ) y la presión del agua ( $U_w$ ).” (pág. 12).

Finalmente, la succión osmótica ( $\pi$ ), es aquella que depende de las características químicas del fluido (agua) en los poros. Para los autores Barrera Bucio & Garnica Anguas indican que “es la presión negativa del agua pura a la que habría que someter a una masa de agua con la misma composición que la intersticial, para estar en equilibrio a través de una membrana semipermeable.” (2002, pág. 22).

También, aquellas sales contenidas en agua disminuyen la presión del vapor en la parte superior de la interface aire-agua, provocando que se necesite más energía en la liberación de una molécula de agua, por lo que esta energía extra demandada es la succión osmótica (García., et al, 2017).

#### 1.4.1. Medición de la succión

Para una misma matriz de suelo cuanto mayor o menor sea la humedad, se tendrá succiones en rangos mayores o menores. Estas variaciones se pueden ver representadas en curvas trazadas mediante ensayos de laboratorio con succión controlada. Como ejemplo de estas curvas, los autores Cronney & Coleman, (1961) mencionado por Barrera Bucio & Garnica Anguas, (2002), indican que la representación para una arcilla específica se muestra en la siguiente figura, la cual su resultado depende de la granulometría, naturaleza de las partículas, índice de poro y compresibilidad.

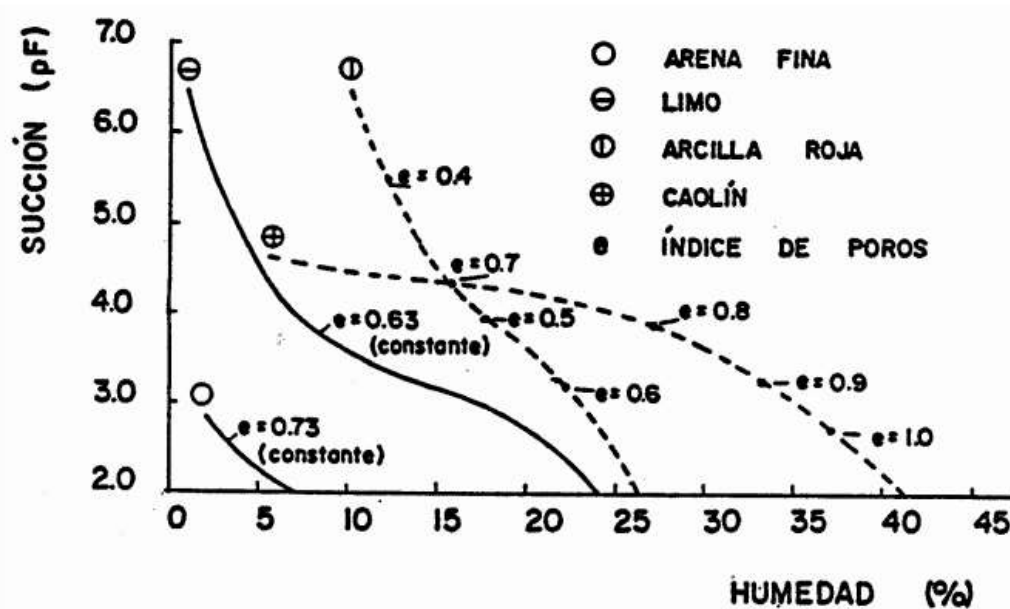


Figura 9. Curva succión – humedades del suelo comprensibles e incomprensibles

Fuente: Aitchison, (1956) citado por Barrera Bucio & Garnica Anguas, (2002).

Otros autores, como G.E. Blight & E. C. Leong, (2002) indican que “la ecuación de Kelvin se puede usar para relacionar la humedad relativa con la tensión del agua del suelo equivalente o una succión total que es igual a la suma de las succiones de soluto y matricial”. (pág. 33).

La ecuación de Kelvin se expresa como:

$$\frac{R\theta}{m_w} \log_e(RH) = h$$

(3)

Donde:

$h$  = La altura de una columna de agua suspendida, es decir, la presión de agua negativa, que estaría en equilibrio con la humedad relativa.

$R$  = Constante de gas ideal (8.31 J/Kmol)

$\theta$  = Temperatura absoluta en, K

$m_w$  = Masa molecular del agua

$RH$  = Humedad relativa

La humedad relativa se calcula por medio de la ecuación:

$$Rh = \frac{m_w}{m_w + m_s}$$

(4)

En donde:

$m_s$  = Masa molecular del soluto

Se sabe que existen muchos métodos para determinar los diferentes tipos de succión en un laboratorio en relación con el fenómeno que se puede medir como puede ser la humedad relativa, contenido de humedad, transición de agua, resistencia eléctrica, conductividad térmica. Algunos de estos métodos se mencionan en el siguiente cuadro.



Cuadro 5. Equipos y técnicas de medida de succión

Equipo	Succión	Fenómeno medido	Rango (MPa)	Tiempo equilibrado
Psicrómetro de transistor SMI	Total Osmótica	Humedad relativa (diferentes temp.)	0.3-25 70 equipos mejorados	Minutos
Psicómetro de termopares WESCOR	Total Osmótica	Humedad relativa (diferentes temp.)	0.3-7	Minutos
Higrómetro capacidad/resistivo	Total	Humedad relativa (capacidad/resisten)	10-400	Minutos
Papel filtro	Total (sin contacto) Matricial (Contacto)	Contenido de humedad	0.4-40	Mínimo 7 días

Fuente: Barrera Bucio & Garnica Anguas, (2002).

Para esta investigación se emplea el método de prueba estándar para medir la succión del suelo con papel filtro, mediante la norma ASTM designación D5298-16, la cual establece al papel filtro como un sensor pasivo para evaluar la succión en la matriz de suelo.

Este método controla las variables para poder medir el contenido de agua en el papel de filtro, el cual puede estar en contacto directo con el suelo (succión matricial) o en equilibrio con la presión parcial de vapor de agua en el aire de un recipiente hermético que contiene una muestra de suelo (succión total).

Por ende, una muestra de suelo con papel filtro debe colocarse en un recipiente hermético hasta alcanzar un equilibrio de humedad, que se da cuando la presión parcial de vapor del agua en el aire está en equilibrio con la presión de vapor del agua de poro en la muestra ensayada.

Es importante señalar que cada papel de filtro tiene una curva específica de calibración, la cual según la norma menciona que se obtiene al suspender al menos 50 ml de una solución salina en un espécimen de muestra, para poder calcular la succión del papel filtrante a partir de la humedad relativa del aire por encima de la solución con la expresión:

$$h = \frac{RT}{v} * \ln Rh$$

(5)

Donde:

$h$  = Succión (KPa)

$R$  = Constante de gas ideal, 8.31432 Joules/mole. K

$T$  = Temperatura absoluta en grados Kelvin (K)

$v$  = Volumen de 1000 moles de agua líquida, 0.018m<sup>3</sup>

$Rh$  = Humedad relativa, fracción

La norma también establece curvas típicas de calibración para el papel de filtro tipo Whatman No.42, Schleicher y Schuell No. 589 (figura 9), la cual consta de dos partes. El segmento superior representa la humedad retenida como películas adsorbidas a las superficies de las partículas, mientras que el segmento inferior representa la humedad retenida por las fuerzas de tensión capilar o superficial entre las partículas.

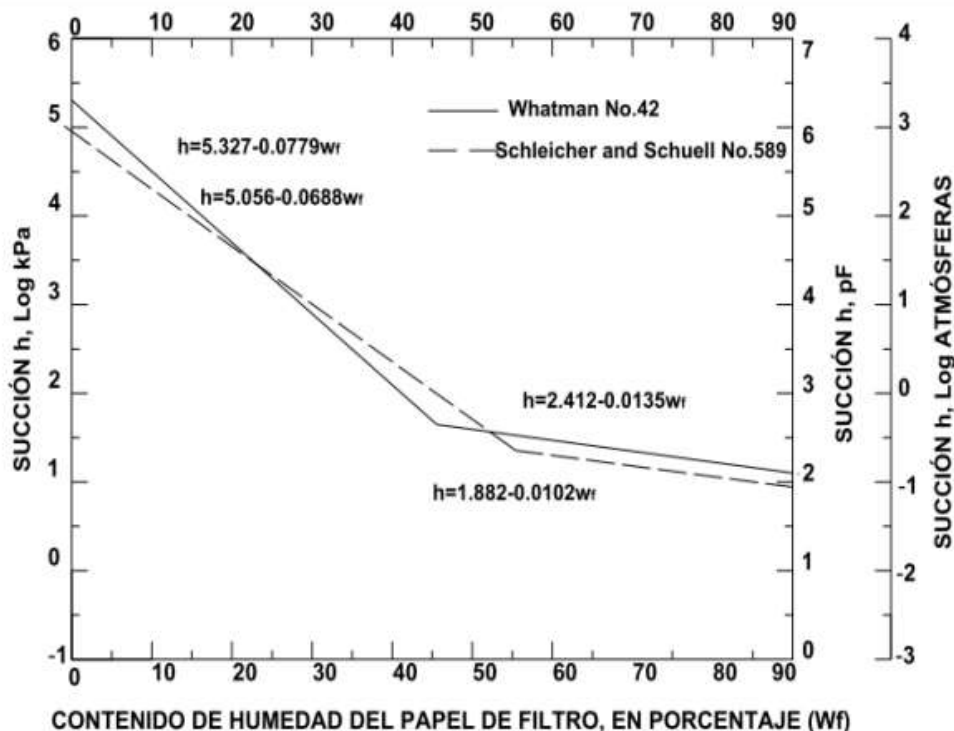


Figura 10. Curva de calibración para medir la succión total usando papel filtro Whatman No.42, Schleicher y Schuell No. 589

Fuente: Norma ASTM D 5298-16

La figura 9, se utiliza para medir la succión total que presenta una muestra ensayada.

### 1.5.Obras de Ingeniería en donde se debe incluir el esfuerzo de succión

En Costa Rica los procesos constructivos han evidenciado los efectos catastróficos de la falta de conocimiento del subsuelo, ya que por ejemplo se han presentado fallas importantes en obras civiles por efectos de asentamientos, empujes y baja capacidad de soporte, provocando un aumento en los costos al generarse atrasos durante o después del proceso.

Por otro lado, la gran diversidad de suelos presentes en el país de los cuales muchos tienen problemas desde la perspectiva ingenieril, genera que sea

importante disponer de un buen conocimiento geotécnico del medio soportante, con el objetivo de sugerir diseños seguros y económicos al conocer las características propias del suelo. Para esta investigación se hará énfasis en el parámetro de succión con la finalidad de saber en cuáles ámbitos se debe de considera como una variable que influye en el diseño.

Por ende, según diversos autores, la succión de un suelo genera variaciones volumétricas como consecuencia de la presencia de humedad, por lo cual, “en cuanto mayor sea la succión de un suelo mayor serán las deformaciones que esté presente”. (García., et al 2017), (pág. 107).

Se sabe que para una arcilla saturada o parcialmente saturada en presencia de carga esta suele generar un aumento en el volumen generando una deformación positiva (expansión) provocada por el aumento del índice de poro al aumentar la humedad, pero si hay una disminución del índice de poro por el aumento de la humedad genera una deformación negativa (colapso). (Barrera Bucio & Garnica Anguas, 2002).

Según lo mencionado, este parámetro genera un efecto en el suelo, por ende, se debe de considerar en algunas obras de ingeniera, las cuales a continuación se mencionarán para generar una idea del beneficio de conocer este efecto del suelo.

#### **A. Para el diseño de un talud**

La succión forma parte de fuerzas estabilizadoras en un talud, por ende, la variación de este parámetro tiene un impacto en el factor de seguridad, ya que si el esfuerzo de succión es bajo el factor de seguridad es igual (Valverde Ruiz, 2010), considerando esta característica y dependiendo del valor del parámetro se pueden reducir los factores de seguridad establecidos en Costa Rica como estándar generando diseños más económicos.

También, dado que la succión es afectada por la humedad presente en el suelo, se debe de considerar la precipitación ya que este fenómeno climático influye en el suelo modificando sus parámetros, donde el principal cambio es la

humedad. Por lo cual se debe considerar crear un pronóstico de precipitación con bases estadísticas para incluir en el diseño de este tipo de estructuras.

### **B. Obras de ingeniería con cimentaciones profundas**

En el caso de cimentaciones profundas que según el Código de Cimentaciones de Costa Rica debe tener una relación del nivel de desplante entre ancho del cimientado mayor 4, los cuales abarcan gran cantidad de estratos del suelo para poder transmitir la carga, por ende, se exponen a diversas variaciones de grados de saturación provocan cambios en los niveles de succión relacionadas con esas humedades.

Según el estudio realizado por Bagnarello Madrigal (2010), para un pilote que se le mantiene la misma carga y dimensión, los factores de seguridad presentan una variación en una muestra de suelo que cambia sus contenidos de humedad, por lo cual se establece que el factor de seguridad incrementa proporcionalmente a la mayor resistencia no drenada.

En términos de costos se menciona que varía de acuerdo al diámetro y longitud de empotramiento, por ende, para una misma muestra las dimensiones de estas varían por el efecto del grado de saturación del suelo. Por lo cual el costo al considerar el efecto de la succión puede aumentar o disminuir, por ejemplo, si la succión disminuye la resistencia no drenada disminuye requiriendo un mayor diámetro implicando una elevación en el costo.

### **1.6. Suelos limosos y arcillosos de Costa Rica**

Para efecto de esta investigación, se describen los suelos tipo limo y arcilla, las características de limo se definen a continuación como “fracciones microscópicas de suelo que consisten en granos muy finos de cuarzo y algunas partículas en forma de escamas (hojuelas) que son fragmentos de minerales micáceos”. (Braja M, 2012, pág. 2).

En cambio, las arcillas son “partículas con tamaños inferiores a los limos (0.002 mm). Se trata ya de partículas tamaño gel y se necesita que haya habido transformaciones químicas para llegar a estos tamaños”. (González de Vallejo., et al.2004, pág. 22).

En cambio, el doctor Braja Das indica:

Las partículas se clasifican como arcillas con base en su tamaño y no contiene necesariamente minerales arcillosos. Las arcillas se definen como aquellas partículas “que desarrollan plasticidad cuando se mezclan con una cantidad limitada de agua” (Grim, 1953). (La plasticidad es propiedad tipo masilla de las arcillas cuando tiene cierta cantidad de agua. (2012, pág. 3).

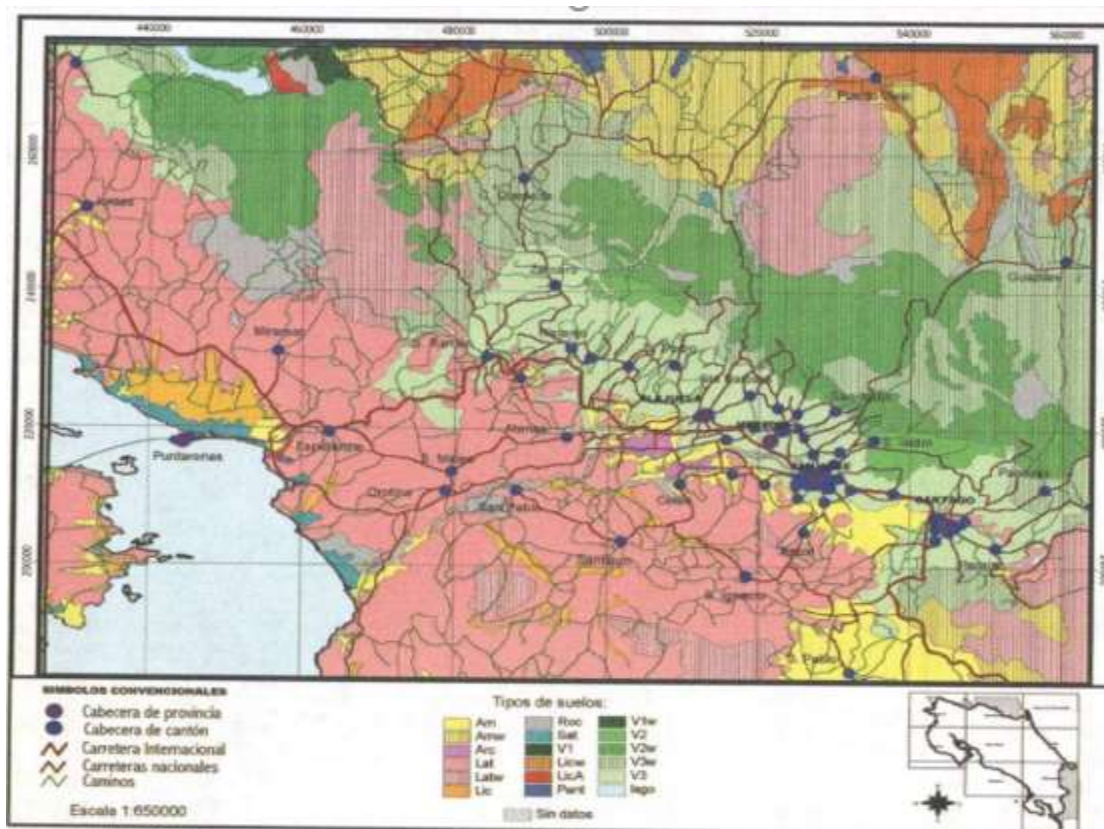
En Costa Rica se presenta una gran variedad de tipo de suelos, los cuales se pueden identificar como residuales originados por alteraciones de la roca madre y los depósitos coluviales producto de la erosión y deslizamiento de terrenos más elevados. El origen de estos suelos se debe a factores geológicos como son la edad de formaciones de las rocas y suelos, episodios de volcanismo y las condiciones climáticas del país. (Asociación Costarricense de Geotecnia, 2009).

Por ende, según el código de cimentaciones las arcillas se clasifican como de alta expansividad con características típicas de color negro o café amarillento, gris oscuro, los cuales se originaron por el depósito de materiales orgánicos, erosión, descomposición meteórica. Estas se ubican en el país en el sector sur del Área Metropolitana: Desamparados, Alajuelita, Ciruelas, Escazú, Coyol de Alajuela, Lagos de Lindora, entre otros.

En cambio, los limos su formación está asociada con la alteración de materiales piroclásticos bajo condiciones de alta pluviosidad. Estos pueden clasificarse como limos colapsables cuando su comportamiento bajo saturación total su estructura puede fallar súbitamente sin importar la intensidad de la carga. También existen los limos de baja resistencia de origen residual, volcánico y de

color amarillento, los cuales se pueden ubicar en zonas como: Alajuela, Grecia, Naranjo y en general en las faldas del volcán Poás, Barva, Irazú y Turrialba.

El Código de Cimentaciones proporciona una serie de mapas de zonificación de los suelos típicos de Costa Rica, que se observan en la siguiente figura, esto con la finalidad que sirva de guía para diversas actividades que se



desean realizar.

Figura 11. Suelos típicos de Costa Rica (hoja de San José)

Fuente: Asociación Costarricense de geotecnia, (2009), (pág. 181)

Cada mapa de zonificación posee una simbología para describir los diferentes tipos de suelos, esta se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 6. Simbología para describir los suelos en los mapas de zonificación

<b>Descripción</b>		<b>Características ingenieriles</b>
	Am – Suelos residuales de color amarillento	Suelos blandos, alto contenido de humedad, buena permeabilidad.
	Amw – Suelos residuales de color amarillento en zonas húmedas	Humedades naturales muy altas, con frecuencia superiores al 100%
	Arc – Suelos arcillosos de alto potencial de expansión	Muy baja permeabilidad, potencial de expansión puede ocasionar problemas
	Lat – Suelos residuales rojizos	Susceptibilidad a inestabilidad de taludes (reptación y deslizamientos)
	Latw – Suelos residuales rojizos en zonas húmedas	Humedades naturales muy altas, con frecuencia superiores al 100%
	Lic – Suelos aluviales	Susceptibilidad a licuarse, blandos y permeables
	Liew – Suelos aluviales en zonas húmedas	Humedades naturales muy altas, con frecuencia superiores al 100%
	LicA – Suelos arenosos	Susceptibilidad a licuarse, poco consolidados, nivel freático superficial
	Pant – Suelos aluviales pantanosos	Condiciones desfavorables: inundados, blandos, propensos a licuación
	Roc – Suelos de poco espesor	Roca alterada, baja permeabilidad
	Sat – Suelos aluviales saturados	Muy blandos, problemas de estabilidad en cortes, mejoramiento requerido
	V1 – Suelos volcánicos compuestos por ceniza fresca	Alta relación de vacíos, alta humedad, bajo peso unitario, colapsable, blando
	V1 – Suelos volcánicos compuestos por ceniza fresca en zonas húmedas	Humedades naturales muy altas, con frecuencia superiores al 100%
	V2 – Suelos volcánicos con gran contenido de minerales amorfos	Igual que V1, cambian propiedades al secarse
	V2 – Suelos volcánicos con gran contenido de minerales amorfos en zonas húmedas	Humedades naturales muy altas, con frecuencia superiores al 100%
	V3 – Suelos residuales de origen volcánico	Igual que V1 y V2, son del tipo MH o ML según el SÚCS
	V3w – Suelos residuales de origen volcánico en zonas húmedas	Humedades naturales muy altas, con frecuencia superiores al 100%
	Sin datos	

Fuente: Asociación Costarricense de geotecnia, (2009), (pág. 186)

Cabe destacar que el código expone propiedades físico mecánicas para suelos limosos y arcillosos, las cuales se exponen en el siguiente cuadro, como una guía para identificar el material que se desea en esta investigación.



Cuadro 7. Propiedades típicas de arcillas expansivas y limos de baja resistencia

Tipo de Material	Arcillas expansivas de color gris	Limos arcillosos color café oscuro
<b>Límite líquido (%)</b>	<b>77 – 150</b>	<b>60 – 90</b>
Límite plástico (%)	26 – 50	40 – 60
<b>Límite de contracción (%)</b>	<b>9 – 18</b>	-
Clasificación SUCS	CH	MH
<b>% pasando la malla 200</b>	<b>90 – 95</b>	<b>80 – 85</b>
Gravedad específica del sólido (Gs)	2.63 – 2.70	2.68 – 2.73
<b>Relación de vacíos natural (e)</b>	<b>1.10 – 1.80</b>	<b>1.50 – 2.30</b>
Humedad natural (%)	40 – 50	70 – 80
<b>Resistencia a la penetración (N<sub>1</sub>)</b>	<b>3 – 20</b>	<b>3 – 15</b>
Peso volumétrico seco (Kn/m <sup>3</sup> )	9.5 – 11	6.75 – 11
<b>Presión de hinchamiento</b>	<b>Hasta 700 KPa</b>	<b>Baja</b>
Expansión libre (AASTHO)	100% o mayor	20 – 80 %
<b>Peso volumétrico seco máximo (Proctor) (Kn/m<sup>3</sup>)</b>	<b>10 – 12.9</b>	<b>8.6 – 11</b>
Humedad óptima (Proctor) (%)	25 – 39	50 – 105
<b>Resistencia al corte no drenado (KPa)</b>	<b>40 – 100</b>	<b>20 – 50</b>
Índice de compresión	0.30 – 0.70	0.55 – 0.70
<b>Índice de humedad</b>	<b>1.4 – 2.4</b>	

Fuente: Asociación Costarricense de geotecnia, (2009)

## **1.7. Extracción de muestra inalterada por medio del proceso de calicata**

Se sabe que para conocer las características físicas mecánica del suelo se necesita de una porción representativa de este, para poder analizarse por medios de ensayo de laboratorio y poder dar parámetros reales de estos.

Por ende, uno de los procesos más representativos es la extracción de muestra por medio de calicata, la cual consiste en una excavación realizada mediante medios mecánicos convencionales, que puede ser de profundidad pequeña a media. Este proceso permite la inspección directa del suelo que se desea estudiar.

Otro aspecto de la calicata es que permite apreciar el perfil estratigráfico del área de estudio “in situ” y dar una idea al investigador de lo que se está buscando, proporcionando normalmente información completa para la toma de muestra.

A continuación, se mencionan las actividades necesarias para hacer una calicata:

- Se debe seleccionar la zona donde se desea hacer la calicata, así como los puntos donde se realizarán las zanjas.
- Se debe de seleccionar las herramientas necesarias para la excavación que va en dependencia de la profundidad, esto porque para profundidades muy grandes se puede utilizar una retroexcavadora, en cambio para profundidades pequeñas se puede utilizar herramientas convencionales como pico, pala, entre otras.
- En el punto elegido se debe de hacer un trazo rectangular de acuerdo con la cantidad de muestras que se quieren obtener, la cual se va realizando la zanja hasta llegar a la profundidad que se desea.

En las siguientes figuras se puede apreciar el proceso de calicata.



Figura 12 . Selección del punto para calicata, Barva de Heredia

Fuente: Propia



Figura 13. Trazo preliminar rectangular para zanja de calicata

Fuente: Propia



Figura 14 . Calicata completa, Brava de Heredia

Fuente: Propia

Las muestras que se pueden extraer de una calicata pueden ser alterada la cual está constituida por el material fragmentado, en las que no se toma precauciones especiales para conservar las características de la estructura y humedad (Polanco Rodríguez, s.f.), por ende, solo se conservan algunas de las propiedades del terreno en estado natural.

Por otro lado, las muestras inalteradas “conservan teóricamente, las mismas propiedades que tiene el terreno in situ” (Romero & Salvatore, 2015), ya que conservan su estructura y la humedad natural, por lo cual para extraerla se deberá usar técnicas que eviten la desintegración, así como de dimensiones apropiadas para futuros ensayos. Este tipo de muestra se puede ver en la siguiente figura.



Figura 15. Muestra inalterada, Barva de Heredia

Fuente: Propia

## **CAPÍTULO 2. MARCO METODOLÓGICO**

### **1.1.Paradigma**

Succión define el estado de esfuerzo y explica la respuesta deformacional de un suelo parcialmente saturado, este concepto es usado para representar la deficiencia de presión en el agua de poro del suelo, ya sea saturados o no saturados para absorber agua al adicionar agua a la presión atmosférica (Schofield, 1953), mencionado por Barrera Bucio & Garnica Anguas, (2002).

La succión se llama total, cuando se suma la succión matricial relacionado al estado de esfuerzo provocado por los fenómenos de la superficie y gravitatorios, y la osmótica derivada de la composición del agua. Estas se podrán obtener para ensayos de laboratorio considerando que los resultados dependen del estado de la muestra (granulometría, naturaleza de las partículas, densidad y humedad natural).

### **2.1.Enfoque metodológico**

En el presente trabajo de investigación se llevó a cabo mediante un enfoque cuantitativo experimental, ya que se estimó el parámetro de succión total y las características físico mecánicas de los suelos de tipo arcilla y limos del Gran Área Metropolitana de Costa Rica, al ejecutarse diversos tipos de ensayos en laboratorio regidos por normas internacional (ASTM designación D) para cada parámetro.

La succión total que se encuentre respectivamente para suelo tipo limo y arcilla, se clasificará como esfuerzos altos, medios y bajos, de acuerdo con la clasificación de Queen & Miller (1968), misma que se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 8. Tipos de esfuerzo de succión (Queen &amp; Miller, 1968)

Esfuerzos Altos	Esfuerzos Medios	Esfuerzos Bajo
Esfuerzos arriba de $pF=4.18$ (1500KPa)	Esfuerzos entre $pF=3.01$ (100KPa) y 4.18 (1500KPa)	Niveles de succión menores de $pF=2.31$ (20KPa)

Fuente: Zepeda (2004), mencionado por García., et al, (2017), (pág. 112)

## 2.2.Operacionalización de Variables

Para la respectiva investigación en estudio, la variable dependiente es la succión total, el cual es un parámetro de la capacidad del suelo para retener agua, por ende, su capacidad de esfuerzo depende únicamente del tipo de suelo (arcilla o limo) que se esté ensayando como variable independiente.

## 2.3.Población y muestra

Para esta investigación, se consultó el código de cimentaciones de Costa Rica específicamente el mapa de zonificación geotécnica del Gran Área Metropolitana (GAM), con la finalidad de identificar las zonas en donde se encuentran suelos de tipo limo y arcilla.

A continuación, se muestra en la figura 15 el mapa de zonificación de la Gran Área Metropolitana, seguido del cuadro 9, donde se describen sus características, problemas asociados y su respectiva zona.

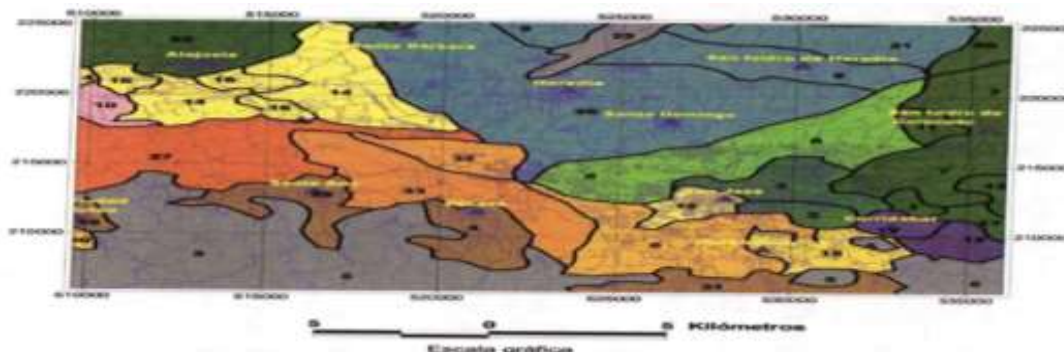













Figura 16. Mapa de zonificación geotécnica GAM

Fuente: Asociación Costarricense de geotecnia, (2009), (pág. 187)

Cuadro 9. Simbología para describir los suelos de la GAM

	19	Limos colapsables y arcilla gris subsuperficial, alto potencial de expansión	Buena consistencia para estructuras livianas, consistencia mejora en zonas de poco espesor
	20	Suelos blandos, geología de depósito piroclástico	Suelos profundos, consistencia suave, tipo MH, colapsable
	21	Condiciones favorables de cimentación.	Condiciones favorables para la cimentación de estructuras
	22	Suelos blandos de alta plasticidad (arcilla CH y limos MH plásticos)	Problemas de capacidad de soporte, colapsables
	23	Suelos blandos, geología lávica, Formación Barva	Pocos problemas por capacidad de soporte para estructuras livianas
	25	Colada de lava Los Ángeles, roca muy cerca de la superficie	Dificulta movimientos de tierra y operación de tanques sépticos
	26	Condiciones de cimentación favorables	Condiciones favorables para la cimentación de estructuras
	27	Arcilla negra superficial, subyacida por arcilla gris (muy alto potencial de expansión)	Problemas de expansión, baja permeabilidad de los suelos
	28	Arcilla gris y café CH, de alto potencial de expansión	Derivados de abanicos aluviales, pocos problemas capacidad soporte
	29	Arcilla gris y café CH, de alto potencial de expansión	Derivados de abanicos aluviales, pocos problemas capacidad soporte
	30	Arcilla gris con un potencial de expansión muy alto	Problemas de expansión, no es de esperar otro tipo de problemas

Fuente: Asociación Costarricense de geotecnia, (2009).

De acuerdo con el cuadro anterior, se puede deducir que la mayoría de las arcillas del GAM tienen un potencial de expansión alto y según SUCS se clasifican como CH, por otro los suelos tipo limo en su mayoría son del tipo MH según el SUCS, de consistencia suave, profundos, colapsables.

Se seleccionó la zona 28 ubicada en cantón Santa Ana perteneciente a la provincia de San José para sacar la muestra de arcilla, en cambio para sacar la muestra de limo se seleccionó la zona 23 perteneciente a la provincia de Heredia.

La elección de los lugares mencionados anteriormente para extracción de muestra fue elegida por diversas razones como son: facilidad de ingreso, costo, tiempo, facilidad de traslado y la buena disposición de los propietarios.

El lugar específico donde se extrajo la muestra de arcilla fue en calle 54, San José, Santa Ana (Río Oro) en las coordenadas N 9°56'32.9604", W 84°12'35.7444" (ver figura 17), por otro lado el suelo limoso se extrajo de la Finca experimental de la Universidad Nacional de Costa Rica, ubicada en Barva de

Heredia, específicamente en las coordenadas N 10°1'13.9152", W 84°6'34.1568" (ver figura 18).

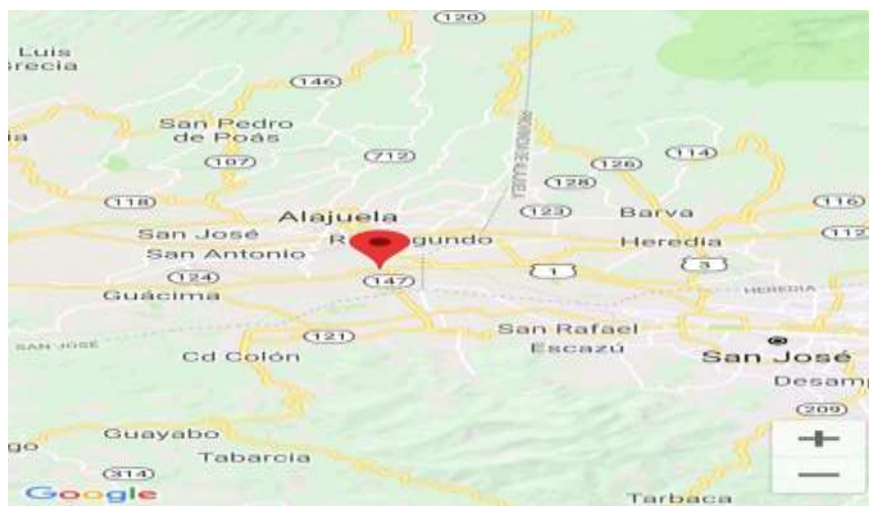


Figura 17. Ubicación GPS extracción muestra arcilla

Fuente: Google maps



Figura 18. Ubicación GPS extracción muestra limo

Fuente: Google Maps

### 2.3.1. Tamaño de muestra

Dado que en Costa Rica hay una gran variabilidad de tipos de suelos y se desconoce el total de estos, por lo tanto, para estimar una porción de muestra para suelo tipo arcilla y limo, se usará la expresión:

$$n = \frac{z^2 \cdot s^2}{d^2} \quad (6)$$



En donde,

$n$  = el tamaño de la muestra

$Z$  Es igual al nivel de confianza, el cual indica el grado de confianza de que el valor verdadero del parámetro de la población se encuentre en la muestra calculada, este valor se fija en el interés del investigador. En el siguiente cuadro se fijan los valores más comunes utilizados.

Cuadro 10. Nivel de confianza más utilizado

% de error	Nivel de confianza	Valores de Z calculado en tablas
1	99%	2.58
5	95%	1.96
10	90%	1.645

Fuente: (Aguilar Barojas , 2005)

$S$  Es igual a la desviación estándar (representa la magnitud de dispersión de las variables dentro de un intervalo de razón), la cual es la raíz cuadrada de la varianza, para encontrar a esta se deben hacer estudios pilotos sobre la población de interés y usar la expresión:

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (7)$$

Donde:

$s^2$  = Varianza

$x_i$  = Término del conjunto de datos

$\bar{x}$  = Media de la muestra

$n$  = Tamaño de la muestra

$d$  Es igual al nivel de precisión absoluta, que se define como la amplitud deseada del nivel de confianza a ambos lados del valor real de la diferencia de las dos proporciones. El cual se fija de acuerdo con la finalidad de la investigación, ya

que dependiendo de esto se puede tener una gran precisión (muchos sujetos de pruebas) o menor precisión (pocos sujetos de prueba) si solo se desea conocer aproximadamente en que valores se encuentra el parámetro.

Para definir la cantidad de muestras de suelo tipo limo y arcilla que se necesitan para esta investigación, se hizo uso de la ecuación (6) mostrada anteriormente, la cual en el siguiente cuadro se especifican los parámetros que se utilizan para cada tipo de suelo.

Cuadro 11. Parámetros para calcular el tamaño de muestra

Parámetro	Nivel de confianza (Z) (95%)	Varianza ( $s^2$ )	Nivel de precisión (d)	Tamaño de muestra
Limo	1.96	0.19	0.5	3
Arcilla	1.96	1.84	1.25	3

Fuente: Propia

De acuerdo con la tabla anterior se deben extraer tres muestras para arcilla y tres para limos, estas serán inalteradas para poder encontrar la succión total la cual debe de estimarse con las propiedades del terreno in situ (estructura y humedad natural).

Otro aspecto importante por considerar en este cuadro es que se puede observar que la varianza en la arcilla es mayor que la del limo, por lo que se establece que los datos de las arcillas son más variables que en un limo, por ende, los suelos limosos presentan una mejor consistencia en los datos.

#### **2.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

Para conocer los diversos parámetros del suelo se recurre a ensayos de laboratorio regidos por normas internacionales.

El laboratorio por utilizar es de la empresa IIG consultores, ubicada en Pavas, San José, el cual mantiene las condiciones óptimas y equipos (calibrados)

necesarios para la realización exitosa de los diversos tipos de ensayos que se requieren en esta investigación. Por ende, se posee un alto grado de confiabilidad y validez de los datos recolectados en el presente trabajo.

Se clasificará primeramente el suelo, según la clasificación SUCS en arcilla y limo por lo que se requiere de los ensayos: método de prueba estándar para la distribución del tamaño de las partículas (gradación) de suelos usando tamiz de análisis (norma ASTM D 6913), método para la determinación de límites de consistencia (norma ASTM D4318). Posteriormente se calculará la succión total mediante el ensayo método de prueba estándar para medir el potencial de suelo (succión) mediante el papel filtro (norma ASTM D5298), también se harán el ensayo de método de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo y roca por masa (normas ASTM D2216) y método de prueba estándar para gravedad específica de los sólidos del agua (norma ASTM D854).

#### **2.4.1. Método de prueba estándar para la distribución del tamaño de las partículas (gradación) de suelos usando tamiz de análisis (Norma ASTM D 6913)**

##### **2.4.1.1. Equipos**

Los equipos utilizados se mencionan a continuación:

- Juego de tamices (No 3/8,4,10,40,200)
- Brocha
- Bandeja
- Balanza
- Cuarteador metálico
- Horno de temperatura constante

### 2.4.1.2. Procedimientos

En resumen, este ensayo consiste en separar el suelo de acuerdo con el diámetro de las partículas en diferentes mallas en orden descendente para encontrar el porcentaje retenido en las respectivas mallas, dado que el suelo es de características finas el método del cribado a través de la malla No 200 requiere agua para permitir el paso de la muestra (procedimiento del lavado). A continuación, se describen los pasos necesarios:

- Del material pasando la malla número 4, se elige una porción de aproximadamente de 500 g, para luego usar el método del cuarteo, el cual consisten en colocar en un cuarteador metálico la muestra y partir en cuatro unidades, para seleccionar dos partes opuestas. En la siguiente figura se puede observar este procedimiento.



Figura 19. Método del cuarteo

Fuente: Propia

- Seguidamente del cuarteo, a la muestra se saturó de hexametáfosfato de sodio y se deja reposar por al menos 12 horas.
- Después del paso anterior, en una olla metálica se lava el suelo saturado con la malla número 200 para proceder a eliminar los finos que pasan por el tamiz. Este procedimiento se debe repetir hasta

lograr que el agua al mover la muestra del suelo sea de una tonalidad clara.

- Luego, se coloca el recipiente con la suspensión del suelo y agua remanentes en el horno de secado durante 24 horas.
- Completado el paso anterior, se colocan previamente los tamices (de mayor a menor) con la charola al final, para luego verter la muestra en los tamices que al ser tapados se mueven durante unos 7 minutos con la finalidad de que el suelo pueda pasar los diámetros de las mallas. Finalmente pesando lo retenido en cada malla



Figura 20. Juego de tamices para cribado

Fuente: Propia

Completados los procedimientos anteriores, se logra graficar la curva granulométrica del material con el porcentaje que pasa (eje de las ordenadas) en cada malla (diámetros eje de las abscisas). Se sabe que si el peso retenido en la malla número 200 es mayor que 50% se considera suelo de grano fino.

## **2.4.2. Método para la determinación de límites de consistencia (Norma ASTM D4318)**

### **2.4.2.3. Equipos**

- Balanza
- Cápsula de porcelanato
- Cuchara de Casa grande
- Ranurador
- Agua destilada
- Espátula
- Taza de porcelanato
- Vidrio

### **2.4.2.4. Procedimientos límite líquido**

La finalidad de este ensayo es encontrar el contenido de agua en porcentaje requerido para cerrar una distancia de 12.7 mm aproximadamente a lo largo del fono de la ranura a los 25 golpes que sería el límite líquido, dado que lograr esto resulta a veces tedioso y se requiere de mucha experiencia, este ensayo se subdivide en tres etapas con diferentes contenidos de agua con golpes en el rango de los 15 a 20, de 20 a 30 y de 30 a 40. El procedimiento se describe a continuación:

1. Se toma una muestra por medio del cuarteo de aproximadamente 200 g, la cual se debe de colocar en una superficie lisa para inspeccionar que no haya piedras u otro material, después se agrega a una taza con tapa para curar la muestra por al menos 16 horas.
2. Pasado el tiempo necesario, se agrega la muestra en una capsula de porcelanato a la cual se le va agregando agua destilada poco a poco hasta tener una consistencia uniforme alisando con una espátula.

3. Completado el paso anterior, se agrega a la cuchara unos 50 a 70 g de suelo a lisando la superficie a una altura de 1 cm con la espátula, evitando dejar burbujas de aire en la masa de suelo.
4. Seguidamente, se utiliza el acanalador para separar el suelo en dos mitades según el eje de simetría de la cuchara.
5. Inmediatamente se debe de girar la manivela de manera uniforme a una velocidad de dos/revoluciones por segundo; se continua hasta que el surco se cierre en 1/2 pulgada de longitud; se toma una porción de muestra de al menos 5 g en la parte donde se cerró y se pesa inmediatamente, además se debe de anotar el número de golpes cuando este sea inferior a 35 al mismo.
6. La muestra que sobre en la cuchara casa grande, se debe de vaciar nuevamente en la capsula de porcelanato, para nuevamente alisar con la espátula para que este pierda humedad y enseguida se repite del paso 3 al 5 con la finalidad de que el golpe sea en rango de 20 a 30 en el punto 5.
7. Se debe hacer una repetición más del paso 6 para luego repetir los pasos del 3 al 5 esta vez llevando al número de golpe en el rango de 15 a 20.
8. Todas las porciones de muestras de aproximadamente 5 g previamente pesadas se colocan en el horno de secado por al menos unas 16 horas; para luego del tiempo necesario de secado pesarlas nuevamente.
9. Finalmente, con los datos de número de golpe, peso húmedo y peso seco, se procede a realizar la curva de flujo sobre un papel semilogarítmico en el cual los puntos tienen que alinearse sobre una recta permitiendo interpolar para la determinación de la ordenada límite líquido (LL) para abscisas de  $N = 25$  golpe, como se muestra en la siguiente figura:

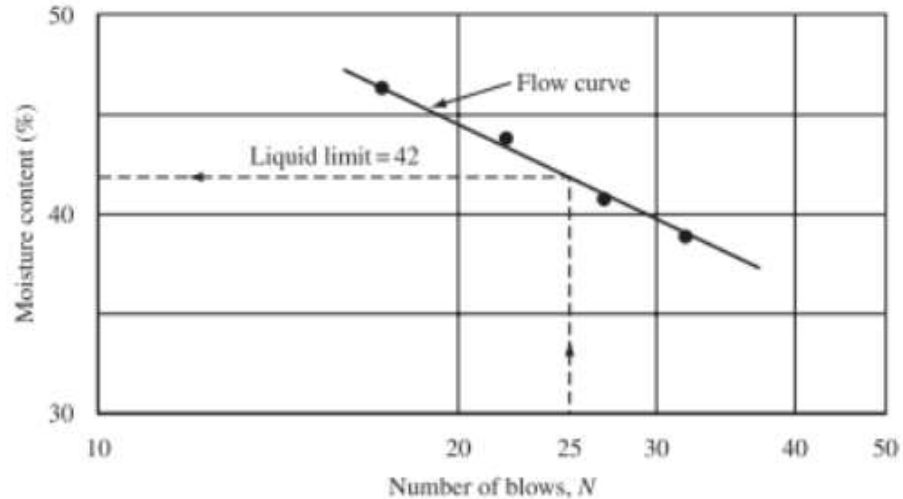


Figura 21. Curva de fluidez para límite líquido

Fuente: (<https://mecanicadesuelos.wordpress.com/category/geotecnia/>)

#### 2.4.2.5. Procedimiento límite plástico

Este se define como aquel contenido de humedad para el cual el suelo se agrieta al ser amasado sobre una superficie lisa formando bastones con diámetros de 1/8 pulgada (3 mm). A continuación, se describe el procedimiento para determinar el límite plástico:

1. Este se comienza utilizando una ración del material que queda del ensayo del límite líquido.
2. Se toma una pequeña para formar bolas de 1 cm aproximadamente y se procede a amasarla sobre el vidrio usando la palma de la mano hasta formar bastoncitos de 3 mm de diámetro.
3. Así mismo se debe rehacer la bolita de suelo, uniendo el material con fuerte presión de las puntas de los dedos y amasar nuevamente un bastoncito hasta llegar al límite plástico el cual se logra cuando el bastón de 3 mm formado se rompe en trozos de 0.5 a 1 mm de largo.
4. Seguidamente se debe de pesar los bastoncitos que se rompen para luego determinar el contenido de humedad.



5. Como último paso se debe de repetir de 2 a 3 veces, repitiendo el procedimiento del punto 2 al 4 y promediar diferencias entre 2 determinaciones que no excedan 2%.



Figura 22. Muestra obtenida del ensayo límite plástico

Fuente: Propia

### 2.4.3. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Norma ASTM D2487)

Para clasificar un suelo se debe de conocer previamente el análisis granulométrico, así como su respectivo límite de consistencia.

La siguiente tabla permite clasificar el suelo de acuerdo con sus características.

Cuadro 12. Clasificación SUCS

Suelo de grano grueso	Suelo de grano fino
<p>&gt;50% queda retenido en la malla No 200 (0.074mm)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No 4 (4.75mm). <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fracción fina &lt; 5%; GW, GP según CU y Cc.</li> <li>○ Fracción fina &gt; 12%; GM, GC según carta de</li> </ul> </li> </ul>	<p>&lt;50% pasa la malla No 200 (0.074 mm)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Carta de plasticidad</li> </ul>

<p>plasticidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fracción entre 5 y 12 %; símbolos dobles</li> <li>▪ Más de la mitad pasa de la fracción gruesa pasa por la malla No 4 (4.75mm). <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fracción fina &lt; 5%; SW, SP según Cu y Cc.</li> <li>○ Fracción fina &gt; 12% SM, SC, según carta de plasticidad.</li> <li>○ Fracción ente 5 y 12% símbolos dobles.</li> </ul> </li> </ul>	
---	--

Fuente: ASTM D 2487

#### **2.4.4. Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo y roca por masa (normas ASTM D2216)**

##### **2.4.4.6. Equipos**

- Balanza
- Bandeja
- Horno de secado

##### **2.4.4.7. Procedimiento**

Para determinar la humedad natural de un suelo de debe de seguir los siguientes procedimientos:

- Se toma una porción de suelo de 500 g aproximadamente y se coloca en una bandeja que se debe de pesar inmediatamente para evitar que se pierda la humedad y se coloca en un horno de secando por al menos 16 horas.

- Luego del periodo de secando se pesa nuevamente para obtener su peso seco y se procede a calcular el porcentaje del contenido de humedad.



Figura 23. Ensayo de contenido de humedad para limo

Fuente: Propia

#### **2.4.5. Método de prueba estándar para gravedad específica de los sólidos del suelo mediante un picnómetro de agua (normas ASTM D 854)**

##### **2.4.5.8. Equipos**

- Cocina eléctrica
- Picnómetro
- Guantes
- Agua destilada
- Hielera
- Botella de lavado (piseta)

#### **2.4.5.9. Procedimientos**

Para encontrar la gravedad específica se deben de seguir los siguientes pasos:

- Se toma una porción de muestra de unos 50 gramos aproximadamente la cual debe ser secada al horno durante al menos 16 horas.
- Luego, se pasa la muestra por la malla No 4, si esta malla retiene se debe de colocar lo retenido en una taza de porcelanato y con un mazo de hule se comprime para romper los terrones para lograr que pase la malla No 4.
- Seguidamente, se coloca un embudo en el picnómetro el cual debe de extenderse más allá de la marca de calibración o del sello del tope. Después con cuidadosa ayuda de una cuchara, coloque lo sólidos del suelo directamente en el embudo, se debe de observa que no quede ninguna partícula en el embudo, si quedare enjuagar con ayuda de una botella de lavado piseta.
- Completado el paso anterior agregue agua hasta el nivel de entre  $1/3$  y  $1/2$  de la profundidad del cuerpo principal del picnómetro, seguidamente se agitar el agua hasta que se forme un lodo, en caso de que se adhiera suelo al picnómetro en la solución enjuagar.
- se debe de reducir el aire atrapado en la solución del suelo, por lo tanto, se debe de colocar el picnómetro en la cocina para que el agua entre en ebullición y elimine el aire, es importante estar agitando el picnómetro para evitar que se adhieran particular al cuerpo de picnómetro.
- Después del paso anterior se coloca el picnómetro sobre una superficie plan, el tiempo necesario para enfriase, la superficie no debe de moverse.
- Se procede a pesar el picnómetro con el agua y el suelo. Finalmente se coloca en una hielera la cual debe tener un termómetro para registrar la temperatura, esta muestra debe de estar ahí durante 16 horas.

- Pasado el tiempo de reposo, se toma el picnómetro y se pesa, obteniendo la gravedad específica por la expresión que se da a continuación:

$$Gt = \frac{Ms}{Mpw,t - (Mpws,t - Ms)}$$

(8)

Donde:

$M_s$  = Masa del suelo seco al horno en gramos

$M_{pw, t}$  = Masa del picnómetro en gramos

$M_{pws, t}$  = Masa del picnómetro + agua + suelo en g a temperatura de prueba

$G_t$  = Gravedad

La gravedad específica se calcula con la ecuación (9)

$$G_{t, 20\text{ }^\circ\text{C}} = G_t * K$$

Donde:

$K$  = al coeficiente de corrección de temperatura



Figura 24. Ensayo de gravedad específica

Fuente: Propia

## 2.4.6. Método de prueba estándar para medir el potencial de suelo (succión) mediante el papel filtro (norma ASTM D5298-16)

### 2.4.6.10. Equipos

- Horno de secado



Figura 25. Horno de secado

Fuente: Propia

- Balanza de precisión 0.0001 g



Figura 26. Balanza de precisión ensayo de succión total

Fuente: Propia

- Papel filtro cuantitativo 393, se usó la marca BOECO Germany de laboratorio Diprolab el cual es similar al Whatman No.42

**393 - punto púrpura - filtración particularmente lenta, poros especialmente finos, endurecidos sin cenizas**

Para condiciones de filtración extremadamente difíciles y precipitados particularmente finos.

Gramaje: 100 g/m<sup>2</sup>  
 Velocidad de filtración: 10 ml / 250 segundos  
 Tamaño nominal de poro: 1 - 2 µm  
 Similar a: Whatman 42

Diam.	Código	Grado/Descripción	Empaque
55 mm	FTR 3.127.055	393 / Filtros redondos, punto púrpura	100
70 mm	FTR 3.127.070	393 / Filtros redondos, punto púrpura	100
90 mm	FTR 3.127.090	393 / Filtros redondos, punto púrpura	100
110 mm	FTR 3.127.110	393 / Filtros redondos, punto púrpura	100
125 mm	FTR 3.127.125	393 / Filtros redondos, punto púrpura	100
150 mm	FTR 3.127.150	393 / Filtros redondos, punto púrpura	100
185 mm	FTR 3.127.185	393 / Filtros redondos, punto púrpura	100
240 mm	FTR 3.127.240	393 / Filtros redondos, punto púrpura	100

Figura 27. Papel filtro 393 similar al Whatman No.42

Fuente: (Papel de filtro Boeco. Distribuidor: Diprolab, Costa Rica, s.f.)



Figura 28. Papel filtro

Fuente: Propia

- Contenedor de muestra con tapa (metal o vidrio) de capacidad 120 a 240 ml



Figura 29. Contenedor de vidrio para muestra

Fuente: Propia

- Bolsas plásticas con cierre hermético
- Hielera
- Desecador (se debe de crear de gel de sílice o de sulfato de calcio)



Figura 30. Desecador para ensayo de succión

Fuente: Propia

- Pinzas
- O-rings



#### **2.4.6.11. Procedimientos**

Para determinar la succión total los papeles filtrantes no deben estar en contacto con la muestra de suelo, por ende, la transferencia de humedad se limitará a la transferencia de vapor a través del aire dentro del recipiente de muestras. A continuación, se describen los procedimientos necesarios para este ensayo:

- Primeramente, se debe de colocar el papel de filtro para pruebas al menos 16 h o durante la noche en el horno de secado, posteriormente se colocan los papeles filtrantes en un frasco desecante.
- De la muestra inalterada, se extraen cubos con dimensione que logren entrar en el contenedor de muestra escogido, se debe de tener cuidado de apenas se extraiga ingresarlo en una bolsa plástica para evitar la pérdida de humedad.



Figura 31. Extracción de cubo de muestra inalterada

Fuente: Propia

- Completado el paso anterior, se debe de colocar en el recipiente de muestras una muestra de suelo intacta de una masa de 200 a 400 g. La muestra de suelo casi debe llenar el recipiente de la muestra para reducir el tiempo de equilibrado y minimizar los cambios de succión en la muestra.



Figura 32. Colocación de muestra dentro del recipiente

Fuente: Propia

- Se procede a retirar dos papeles filtrantes del desecador y se colocan inmediatamente sobre la muestra, los cuales deben de ser aislados por medio de unos O-rings, permitiendo una superficie mínima entre los papeles del filtro y el suelo esto con el objetivo de encontrar la succión total. Además, se debe de doblar un borde de papel filtrante esto con la finalidad de acelerar la retirada posterior del papel filtrante de estos recipientes.



Figura 33. Colocación de O-rings y papel filtro

Fuente: Propia

- Posteriormente, se debe de sellar el contenedor de muestra y se coloca en el recipiente hermético (hielera) en un plazo de 7 días mínimo, el cual la temperatura debe estar entre  $3^{\circ}\text{C}$  -  $20^{\circ}\text{C}$  y esta no se debe de mover hasta completar el tiempo de equilibrio.



Figura 34. Hielera con muestras para ensayo de succión total

Fuente: Propia

- Transcurrido los días del equilibrado, se procede a determinar la masa de las bolas plásticas donde se colocará el papel filtro, posteriormente se abre el contenedor de muestra y con unas pinzas largas se extrae el papel filtro superior en un periodo de 3 a 5 s, el cual se coloca en la bolsa plástica y se procede a pesar, mientras pesa (bolsa plástica y papel filtro húmedo) debe de cerrar el contenedor de muestra para evitar un desequilibrio en el papel filtro inferior, terminado de pesar la superior se procede con el papel filtro inferior de la misma manera.
- Ambos papeles se deben de colocar en el horno durante un periodo mínimo de 5 minutos y se procede nuevamente a pesar el papel filtro superior e inferior seco en la respectiva bolsa, terminado esto también se registra el peso de la bolsa de cada bolsa.
- Para encontrar el contenido de agua del papel filtro se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$M_f = M_2 - Th \quad (10)$$

$$M_w = M_1 - M_2 + T_h - T_c \quad (11)$$

$$W_f = 100 \frac{M_w}{M_f} \quad (12)$$

Donde:

$M_f$ =Masa de papel de filtro seco, g

$M_2$ =Masa total seca, g

$T_h$ =Masa del recipiente caliente, g

$M_w$ =Masa de agua en el papel filtrante, g

$T_c$ = Masa del recipiente frio, g

$W_f$  = Contenido de agua de papel filtrante, por ciento

Es importante considerar que la succión determinada a partir de la curva de calibración podrá tomarse como la media de las succiones evaluadas del contenido de agua si se utilizaron dos papeles de filtro para determinar la succión total del suelo.

## **2.5.Técnicas e instrumentos para el procesamiento y análisis de datos**

En este apartado se procede a explicar los procedimientos necesarios para el análisis de los datos recolectado en esta investigación. Dado que en este trabajo se pretende estimar el valor de la succión para suelo tipo arcilla y limo se debe considerar la confiabilidad de la media de los datos obtenidos del ensayo. Estos cálculos se obtendrán por medio de software de Microsoft Excel debido a la simplicidad de estos.

### **2.5.1.Confiabilidad**

La confiabilidad permite determinar la utilidad de los resultados de un instrumento de medición, por lo cual, la confiabilidad de la media es la exactitud con que un instrumento determinado mide el parámetro en cuestión. También esta se puede definirse como la ausencia relativa de error de medición en el instrumento, es decir el nivel de precisión de un instrumento. (Ruiz Bolívar, s.f.)

Por su parte, el Dr. Roberto Marroquín Peña define confiabilidad como: “grado en que un instrumento produce resultados consientes y coherente” (pág. 5), en énfasis consiste en que si se somete a repetición el mismo parámetro se debe obtener el mismo resultado.

### **2.5.2.Procedimientos para calcular la confiabilidad**

Existen diversos métodos para encontrar la confiabilidad de una medición, por lo cual para el presente trabajo de investigación se usará los métodos de confiabilidad de consistencia interna (homogeneidad).

La confiabilidad de consistencia interna permite determinar el grado en que los ítems (muestras repetidas) están correlacionados entre sí. Por ende, si en un instrumento las mediciones que reproduce poseen una correlación positiva y moderada se dice que este es homogéneo.

Para los autores Loevinger (1947) y Anastasi (1961) referenciados por Ruiz Bolívar mencionan “se puede definir la homogeneidad como la consistencia en la ejecución de todos los reactivos de prueba” (pág. 6). Por otra parte, la homogeneidad es la relación de unidimensionalidad de una prueba, esta característica establece que un instrumento solo puede medir una variable (un parámetro), por lo tanto, se debe suponer que todos los ítems miden una característica en común.

Se sabe que existen diversos métodos para determinar la confiabilidad de consistencia interna como son: Kuder – Richardson, Alpha de Cronbach, Dos mitades, corregidos por la fórmula de Spearman-Brown y Método de Hoyt. En la presente investigación se empleará el método de Alpha de Cronbach y Dos mitades dado que son los más utilizados para estimar la correlación entre los datos.

#### **2.5.2.12. Alpha de Cronbach**

Es el método más común usado para medir la consistencia interna, esto se debe a la gran facilidad de obtener datos necesarios y a la sencillez de su cálculo, fue propuesto por Cronbach en el año 1951 (Barón Díaz, 2010), este coeficiente

estima la varianza que en los puntajes observados corresponden a factores comunes de los diferentes ítems, además se relaciona con la varianza de los factores subyacentes al conjunto de partes de la prueba siendo tal que la varianza del factor general es menor o igual al Alpha y este es menor o igual a la varianza de los factores comunes del conjunto. La Fórmula para su cálculo es la siguiente:

$$\alpha = \frac{n}{n-1} * \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i^2}{S_x^2} \right) \quad (13)$$

Donde:

$n$ = Es el número de ítems

$S_i^2$ = Es la varianza de ítem 1

$S_x^2$ = Es la varianza total

En coeficiente entre más cerca estén sus ítems a una estructura unidimensional (homogénea), mejor será la estimación de la confiabilidad. Por ende, este parámetro depende de la dimensionalidad del conjunto de ítems, el nivel de covarianza de los ítems entre sí y finalmente la cantidad de ítems que conforma la prueba (Barón Díaz, 2010).

### **2.5.2.13. Confiabilidad de mitades divididas**

Este método consiste en dividir una escala en dos mitades con el objetivo de compararlos, dado que proveen una medida de consistencia en términos de ejemplos de contenidos, los contenidos de las dos mitades de la prueba se asumen para ser comparables para de este modo encontrar el coeficiente de confiabilidad, por lo cual se sabe que para que método sea fiable los resultados deben ser aproximadamente iguales. (Barón Díaz, 2010).

Este procedimiento se puede dividir en ítems impares y pares o incluso una división desde la primera a la segunda mitad de los ítems, también estos pueden ser seleccionados aleatoriamente en dos mitades para ser analizados una con la otra.

A continuación, se indica la fórmula que permite calcular la correlación de los datos:

$$r_{hh} = \frac{S_{par} + S_{impar}}{S_x} \quad (14)$$

Donde:

$r_{hh}$  = Correlación entre las dos mitades

$S_{par}$  = Varianza de ítems par

$S_{impar}$  = Varianza de ítems impar

$S_x$  = Varianza total

Para encontrar la confiabilidad de consistencia interna este debe ser corregido por la fórmula de Spearman-Brown ( (Marroquín Peña, s.f.) expresada a continuación:

$$r_{tt} = \frac{2 * r}{1 + r} \quad (15)$$

Donde:

$r$  = correlación entre las dos mitades

$r_{tt}$  = coeficiente de confiabilidad

### **2.5.3. Interpretación del coeficiente de confiabilidad**

El coeficiente de confiabilidad expresa la confiabilidad de un instrumento en análisis que expresa teóricamente la correlación del ensayo consigo mismo. Este coeficiente suelo variar de acuerdo a lo mencionado por varios autores, según Ruiz Bolívar (s.f.) “los valores oscilan entre cero y uno considerando aceptable cuando está en el rango superior de 0.8” (pág. 12). Este valor depende del tipo de instrumento bajo estudio, del propósito y del tipo de confiabilidad de que trate. En

el siguiente cuadro se menciona una guía de la escala de interpretación de la magnitud de este valor.

Cuadro 13. Rangos y magnitudes para interpretar el coeficiente de confiabilidad

Rangos	Magnitud
0.81 a 1	Muy alta
0.61 a 0.80	Alta
0.41 a 0.60	Moderada
0.21 a 0.40	Baja
0.01 a 0.20	Muy baja

Fuente: (Ruiz Bolívar, s.f.)

## 2.6. Estadística de dispersión

La dispersión se puede definir como el grado de alejamiento de los valores muestrales o poblaciones con la relación de un valor de referencia tal como el origen de los datos, la media aritmética, mediana entre otros (Angel Gutierrez, s.f.). Esta se determina por medios de las variables cuantitativas como son la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación que se explicarán a continuación para comprender mejor este concepto.

### 2.6.1.14. Varianza

Se define como el promedio del cuadrado del cuadrado de las diferencias de todos los datos respecto a la media aritmética, la cual es la distancia media entre los datos. La varianza solo puede entenderse desde un punto de vista comparativo.

Como algunas propiedades de la varianza están:

- Su valor depende de la categoría de las variables.
- Su valor siempre será positiva o igual a cero.
- Se ve afectada por la modificación de los datos.



### **2.6.1.15. Desviación típica o estándar**

Se define como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones de los datos en relación a la media aritmética dividida por sus grados de libertad. Esta funciona como un indicador de la variabilidad en el conjunto de datos algunas de sus propiedades son:

- Tiene en cuenta todos los valores muestrales.
- Se puede calcular por métodos abreviados.
- Su valor es mínimo, dado que, si la media aritmética cambia por cualquier número real, su resultado siempre será mayor.

### **2.6.1.16. Coeficiente de variación**

Este se utiliza en la estadística para hacer referencia entre la relación del tamaño de la media y la variabilidad de la variable, la cual expresa a la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética permitiendo una mejor interpretación porcentual del grado de variabilidad que la desviación típica o estándar.

Se sabe que mayor valor del coeficiente de variación mayor heterogeneidad de los datos (variable), por lo tanto, a menor coeficiente de variación los datos son más homogéneos. Esta se expresa por medio de la ecuación (16).

$$C. v = \frac{S}{\bar{x}} \quad (16)$$

Dónde:

C.V= Coeficiente de variación

S= Desviación estándar

$\bar{x}$  = Promedio de los datos

Es importante señalar que este parámetro es típicamente menor a uno u ocho. Sin embargo, en ciertas distribuciones de probabilidad puede ser uno o mayor a uno (Begazo, s.f.).

## Análisis de resultados

En este capítulo se pretende explicar los resultados obtenidos según las metodologías analizadas en este trabajo de investigación

### 3.1. Clasificación del suelo

En este apartado se analizarán los datos recopilados en los ensayos descritos anteriormente en el apartado 2.4, esto con la finalidad de poder clasificar el suelo de acuerdo a sus características físico mecánicas.

Se procede a detallar los resultados obtenidos de la muestra inalterada de limo. De los resultados obtenidos del ensayo ASTM D 6913, se especifica la curva granulométrica representada en la siguiente figura.

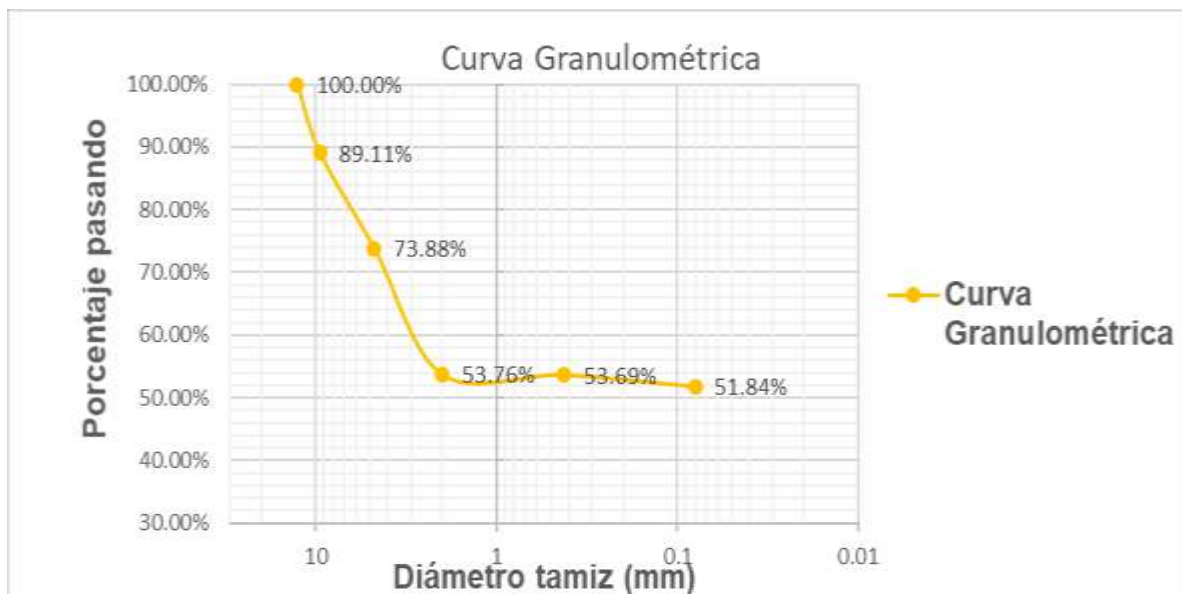


Figura 35. Gráfica Curva granulométrica (limo)

Fuente: Propia

Como se puede observar en la figura 35 la curva es típica para suelos limosos de acuerdo con lo mencionado en el apartado 1.1. 2., por ende, según esta gráfica la muestra en análisis contiene un porcentaje pasando la malla número 200 de 51.84 que según el SUCS corresponde a un suelo fino ya que pasa más de 50%.

Para este suelo el límite líquido (LL) fue de 79.88% el cual se puede observar en la figura 36, la cual corresponde a la relación existente entre el número de golpes y el porcentaje de humedad.

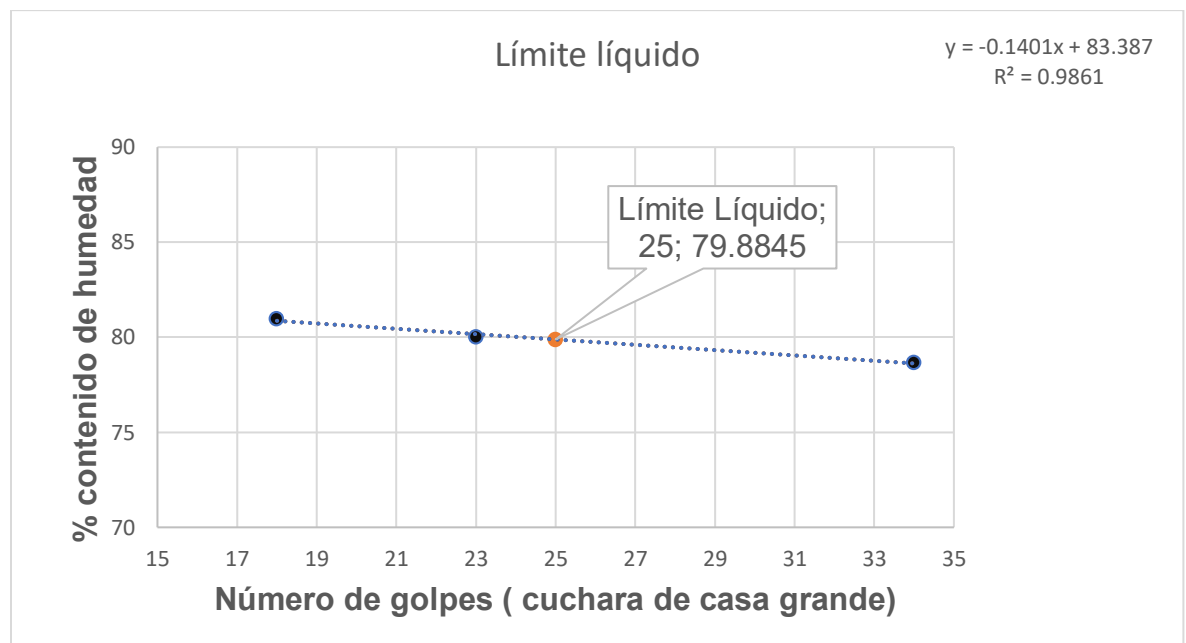


Figura 36. Gráfica límite líquido (limo)

Fuente: Propia

Como se observa en la figura anterior los datos recopilados tiene un  $R^2$  de 0.9861, lo cual demuestra que la tendencia de los datos se acerca mucho a la recta trazada. Según los datos recopilados del ensayo la media del límite plástico (LP) fue de 68.09%, por ende, el índice de plasticidad del suelo es de 11.79%.

Dado que se ha encontrado el porcentaje pasando la malla número 200 y el índice de plasticidad del suelo, se puede clasificar este según SUCS, el cual en la

siguiente figura que corresponde a la carta de plasticidad de Casa grande se define qué tipo de suelo se analizó.

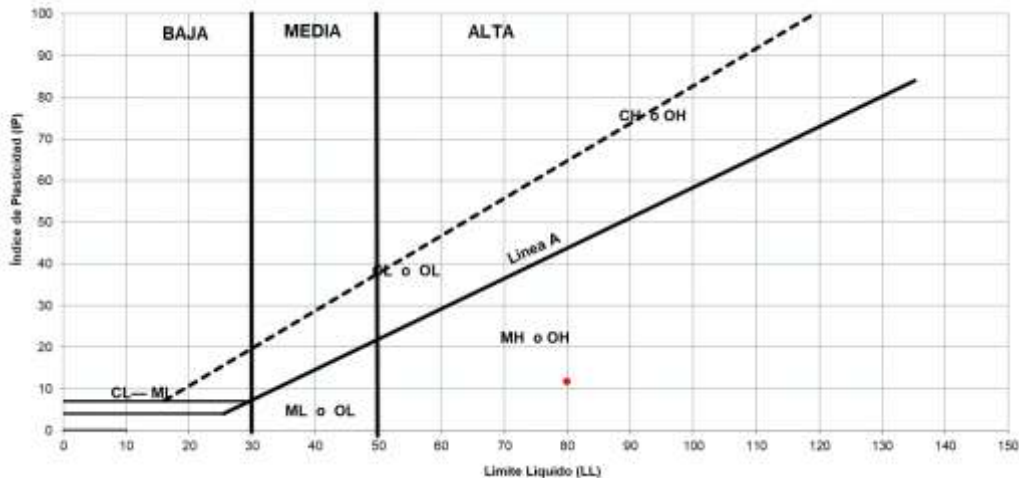


Figura 37. Carta de plasticidad (limo)

Fuente: (de Llorens Duran, 2007)

Como se puede observar en el punto rojo del gráfico anterior el suelo en análisis es un limo de alta plasticidad con simbología MH, que posee una humedad natural del 70.16% (Norma ASTM D 2216) y una gravedad específica de 2.30 (Norma ASTM D854).

Es importante mencionar los parámetros citados anteriormente la mayoría se mantienen en el rango establecido por el código de cimentaciones de Costa Rica en el cuadro, mencionada en este trabajo, la cual hace referencia a limo de baja resistencia.

Por otro lado, se describen los datos obtenidos para la muestra inalterada de arcilla. En este caso en el análisis por cribado el porcentaje pasando la malla número 200 corresponde a 59.76%. En la siguiente figura se detalla la curva típica para arcillas, en donde se muestra la distribución granulométrica respectiva para esta muestra.

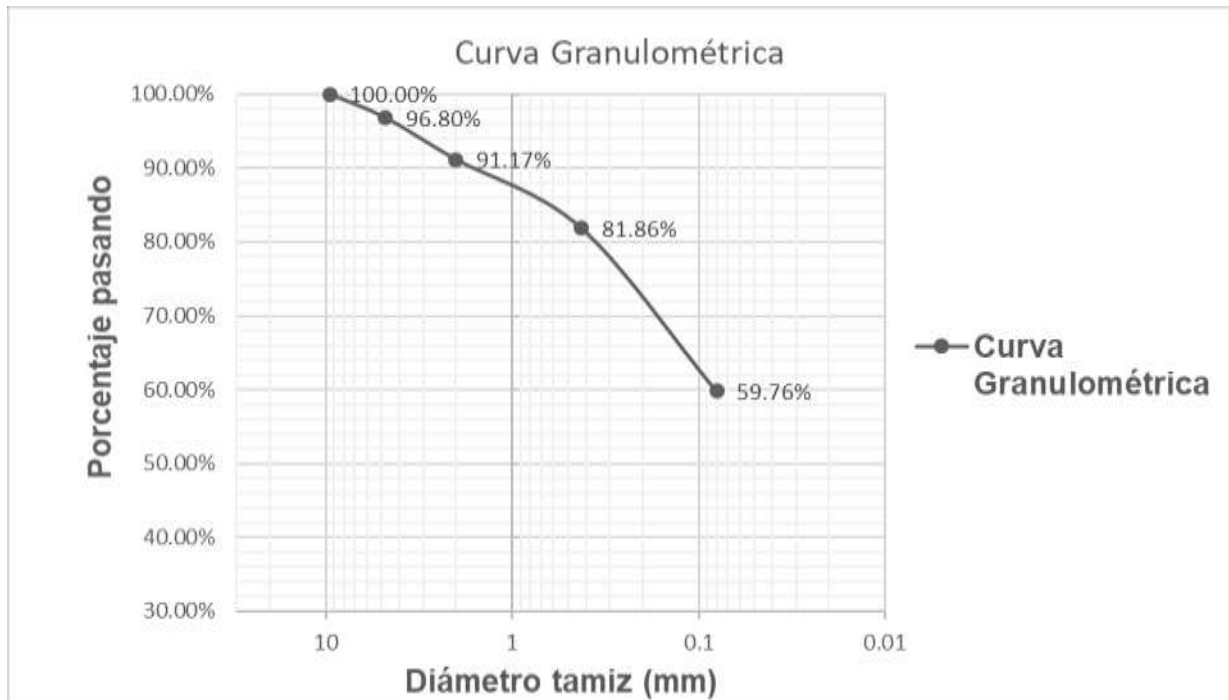


Figura 38. Gráfica Curva granulométrica (arcilla)

Fuente: Propia

Los límites de consistencia para este suelo obtenidos del ensayo ASTM D 4318 fueron:

- Límite líquido es igual a 129.42 %
- El límite plástico promedio es de 32.50 %
- El índice de plasticidad es de 96.91%

La figura 39 hace referencia al procedimiento necesario para encontrar el límite líquido, además esta proporciona el valor de  $R^2$  que corresponde a 0.9709, lo que permite corroborar que los datos obtenidos son muy cercanos a la línea de tendencia.



Figura 39. Gráfica límite líquido (arcilla)

Fuente: Propia

De acuerdo con lo mencionado anteriormente la clasificación del suelo de acuerdo al sistema SUCS, corresponde a una arcilla de alta plasticidad, por lo tanto, su simbología es CH. Esta se muestra en la carta de plasticidad evidenciada por el punto color rojo en la figura 40.

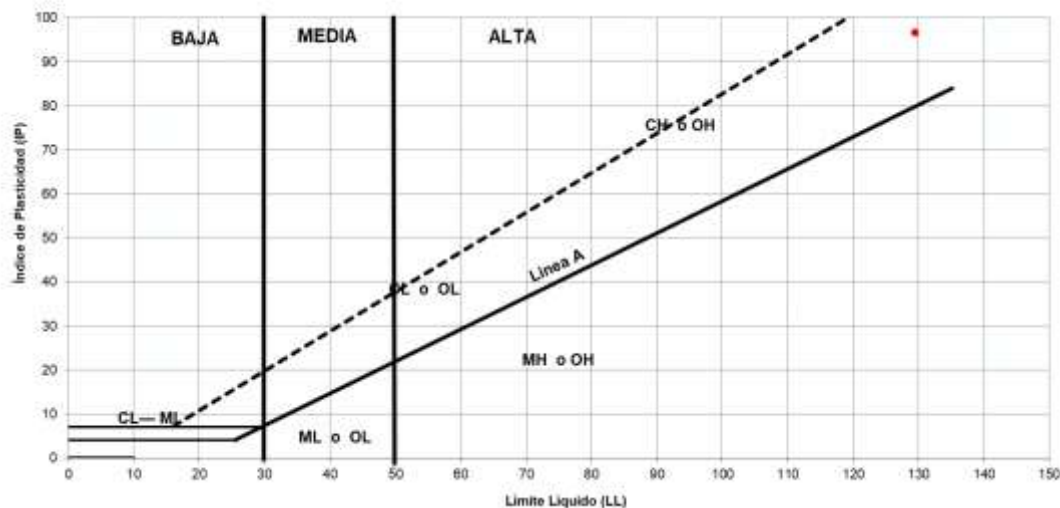


Figura 40. Carta de plasticidad (arcilla)

Fuente: (de Llorens Duran, 2007)

Esta arcilla clasificada como OH tiene un porcentaje de humedad natural de 55.71% y un valor de gravedad específica de 2.316.

### 3.2. Estimación del parámetro de succión total en suelo tipo arcilla y limo

#### 3.2.1. Confiabilidad del instrumento

Se recopilan del ensayo (ASTM D 5298), nueve datos para suelo tipo arcilla y nueve para suelo tipo limo, en los cuales se determina la succión total de estos respectivamente. A continuación, en la siguiente tabla se expresan los valores obtenidos para cada suelo.

Cuadro 14. Succión total para suelo tipo arcilla y limo del ensayo ASTM D 5298

Arcilla	I	II	III
Muestra	Succión (h) Kpa	Succión (h) Kpa	Succión (h) Kpa
Monolito 1	27.1277	19.8167	18.1883
monolito 2	23.4198	24.6029	35.2322
Monolito 3	41.3988	16.5592	25.5704
Limo	I	II	III
Muestra	Succión (h) Kpa	Succión (h) Kpa	Succión (h) Kpa
Monolito 1	4.9387	9.8439	5.9466
monolito 2	5.2200	6.0211	5.4893
Monolito 3	7.5086	4.8252	5.7114

Fuente: Propia

De los datos representados en la tabla anterior, se procede a encontrar el coeficiente de confiabilidad del instrumento usado en este ensayo. Se evaluó el método de Alpha Cronbach y Dos mitades corregidas por Spearman-Brown, con el objetivo de que estos resultados obtenidos puedan ser interpretados, es decir, tengan significancia y valor heurístico.

Del método de Alpha Cronbach se obtuvo un coeficiente de confiabilidad para las arcillas de 0.92, en el caso de limo 1.71, en cambio el método de Dos mitades el valor en las arcillas fue de 1.09 y para el limo de 1.36 que según la

tabla 13 titulada “Rangos y magnitudes para interpretar el coeficiente de confiabilidad” que se mencionada en este trabajo, se considera muy alta en ambos métodos, cabe destacar que el coeficiente del Alpha para limo y coeficiente de Spearman-Brown para arcilla y limos sobre pasa el valor de 1 quedando mayor al rango que proporciona la tabla.

De acuerdo con lo anterior se interpreta que el instrumento es confiable, por lo tanto, los datos aportados a esta investigación son aceptables.

### 3.2.2. Estadística de dispersión

Como se observó en la tabla 14 las arcillas presentan un mayor grado de succión que los limos, además se aprecia que los datos en los suelos tipo limo son más cercanos entre sí que en las arcillas.

Por lo cual, para definir la variabilidad de los datos adquiridos se recurre a la estadística de dispersión, en la cual se encontró la varianza, desviación estándar y coeficiente de variación para conocer la homogeneidad de los datos en arcillas y limos, que se describen en la siguiente tabla.

Cuadro 15. Determinación de las variables de dispersión para limo y arcilla

Estadística de dispersión	Arcilla	Limo
Promedio	25.77	6.17
Varianza	57.81	2.25
Desviación estandar	22.81	4.50
Coeficiente de variación	88.52	72.99

Fuente: Propia

De acuerdo con lo mencionado en la tabla anterior en las arcillas la desviación estándar varia un 88.52% con respecto a la media de estos, por lo tanto, los datos obtenidos presentan una gran heterogeneidad, en los limos varía un 72.99 % respecto a la media. Por otro lado, al comprar los coeficientes anteriores con los respectivos suelos la arcilla es más variable que los limos.



Con la finalidad de mejorar el coeficiente de variación y llevar a este a un valor típico, se procede a eliminar aquellos datos que se consideran como atípicos (se alejan de los valores más repetitivos) dentro del conjunto de datos. Esta se representa en la siguiente tabla la cual muestra los datos típicos y la estadística de dispersión de los nuevos datos.

Cuadro 16. Datos típicos y estadísticas de dispersión para arcillas y limos

Arcilla	I	II	III	Estadística de dispersión	
Muestra	Succión (h) Kpa	Succión (h) Kpa	Succión (h) Kpa	Promedio	25.18
Monolito 1	27.1277	-	-	Varianza	1.84
monolito 2	23.4198	24.6029	-	Desviación estandar	1.36
Monolito 3	-	-	25.5704	Coefficiente de variación	5.39
Limo	I	II	III	Estadística de dispersión	
Muestra	Succión (h) Kpa	Succión (h) Kpa	Succión (h) Kpa	Promedio	5.45
Monolito 1	4.9387	-	5.9466	Varianza	0.19
monolito 2	5.2200	6.0211	5.4893	Desviación estandar	0.44
Monolito 3	-	4.8252	5.7114	Coefficiente de variación	8.05

Fuente: Propia

Para la muestra de arcilla de los nuevos datos iniciales se terminó trabajando solo con cuatro de estos ya que los otros se alejaban de los datos más repetitivos, esto provocó que el coeficiente de variación disminuyera de 88.52% a 5.39% dando una mejor homogeneidad en los datos.

En el caso del suelo tipo limo de nueve datos iniciales se decidió trabajar con siete datos dando un coeficiente de variación 8.05%, estando dentro del límite típico del coeficiente de variación según Begazo. Al comparar el coeficiente de variación obtenido para el limo y la arcilla, se determina que por 2.66% es más variable el suelo tipo limo.

Para estos nuevos datos seleccionados, se corroboró el coeficiente de confiabilidad mencionado en el apartado 3.2.1, para verificar si estos están parámetro de magnitud “muy alta”, para tal caso en el siguiente cuadro se muestran los valores obtenidos de los respectivos métodos y suelos.

Cuadro 17. Coeficiente de confiabilidad datos típico en arcillas y limos

Suelo	Arcilla	Limo
Método	Coeficiente de confiabilidad	
Alpha de Cronbach	0.84	0.83
Spearman-Brown	1.17	1.21

Fuente: Propia

Como se aprecia en el cuadro anterior el coeficiente para arcilla y limo por el de Alpha Cronbach su valor es de 0.84 y 0.83 respectivamente, los cuales se encuentran dentro de la magnitud clasificada como “muy altos” considerados en el cuadro 13, en cambio para Spearman-Brown el coeficiente para arcilla es de 1.17 y para limo 1.21 siendo mayores de uno que es límite que propone, por ende, se consideran que los datos seleccionados son confiables.

A continuación, en el siguiente cuadro se muestran un resumen de los parámetros físico mecánicos obtenidos para los suelos de tipo arcilla y limo ubicados en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica (GAM), así como la succión promedio correspondiente para cada suelo.

Cuadro 18. Parámetros de la arcilla y limo ubicados en la GAM

Parámetro /Tipo de suelo	Arcilla	Limo
Clasificación SUCS	Alta plasticidad (CH)	Alta plasticidad (MH)
% Límite líquido (LL)	129.42%	79.88%
% Límite plástico (LP)	32.50%	68.09%
% Índice de plasticidad (IP)	96.91%	11.79%
% Humedad natural	55.71%	70.16%
Succión KPa	25.18	5.45
Desviación estándar	1.36	0.44

Fuente: Propia

## CONCLUSIONES

La presente investigación referente a la succión que presentan los suelos de tipo arcilla y limo ubicados en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica se concluye los siguientes puntos:

1. Los resultados de succión total obtenidos del ensayo denominado: "Método de prueba estándar para determinar el potencial del suelo (succión) mediante el papel filtro" de la norma ASTM D 5298 para las seis muestras estudiadas (tres para limo y tres de arcilla), fue para la arcilla un rango de ]23.42 , 27.13[ (KPa) con valor promedio de 25.18 KPa, en cambio para limo el rango es de ]4.83, 6.02[ (KPa) para un valor promedio de 5.45 KPa.

2. Al comparar el potencial de succión del suelo limoso de Costa Rica según la clasificación de Queen y Miller (1968) representada en la tabla 8 del presente documento, se clasifica como un esfuerzo bajo dado que su valor es menor a 20 KPa, en cambio la succión en la arcilla el valor que se obtuvo fue de 25.18 KPa por ende se considera como un esfuerzo bajo.

3. Otro aspecto por destacar de acuerdo con lo comentado en este trabajo es que el valor de succión del suelo posee un valor inverso al contenido de humedad esto porque se evidencia que en el limo el contenido de humedad natural es de 70.17% dando un valor de 5.45% y en la arcilla el porcentaje de humedad natural fue de 55.71% proporcionando un valor de 25.18 KPa, por ende, se concluye que mayor humedad menor succión o viceversa.

4. Se concluye que los limos liberan más fácil el vapor del agua contenido en su estructura que las arcillas esto debido a que durante el proceso de ensayo se evidenciaba la pérdida de humedad del suelo al observarse la superficie de la taza usada con mayor transpiración que en el de las arcillas, además el porcentaje de contenido de agua en el papel filtro presente en el ensayo de arcillas es de rango ]34 , 40[, en cambio en el limo mayor con rango de ]42 , 53 [.

## RECOMENDACIONES

Con la finalidad de mejorar y proporcionar sugerencias para futuros trabajos de investigación se sugieren los siguientes puntos de recomendación:

1. Se recomienda hacer más ensayos de este tipo en ambos suelos en más puntos de la GAM, en diferentes periodos del año y diferentes profundidades de las usadas en esta investigación, para poder establecer una relación de la variación de la succión con respecto al nivel de saturación que se presenta en estaciones muy secas o muy lluviosas en diversas profundidades.

2. En investigaciones próximas, se recomienda hacer estudios de campo basado en perforaciones para la realización de un modelo de humedad más certero en profundidad, esto debido a que la humedad tiene un efecto en la succión en ambos suelos.

3. Con la presente investigación se denotó que la arcilla supera el rango establecidos como esfuerzo bajo, por ende se considera como un indicador que puede aumentar su valor respecto a la profundidad y aumentar el nivel de esfuerzo, por consiguiente, se recomienda seguir caracterizando las arcillas en los grupos denominados arcilla de baja plasticidad o limo arcilloso de baja plasticidad o alta plasticidad, para determinar en estos los niveles de succión correspondiendo logrando caracterizar a este suelo y predecir su comportamiento.

4. Dado que el parámetro de succión del suelo establece una relación del efecto en el comportamiento de deformación e influye en el factor de seguridad se debería de modificar la ecuación de capacidad de soporte en donde la succión modifique el factor de seguridad para obtener diseños más económicos y óptimos en las diversas obras de ingeniería.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Barojas , S. (2005). *Fórmulas para el cálculo de la muestra de en investigaciones de salud. Tabasco Villahermosa, Mexico, Vol.11.*  
Recuperado el 17 de Julio de 2019, de  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48711206>
- Análisis del tamaño de las partículas por tamizado en agregados finos y grueso y determinación del material mas fino que el tamiz no.200 (75 µm) en agregado mineral por lavado.* (s.f.). Obtenido de  
<http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/GRANULOMETRIA.pdf>
- Angel Gutierrez, J. (s.f.). *La varianza y su significado. Revista Universidad Eafit- No 101.*
- Asociación Costarricense de Geotecnia . (2009). *Código de Cimentaciones de Costa Rica* (Vol. 2 Edición ). Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- ASTM D4318, 2017 "Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils" ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017 DOI:10.1520/D4318-17.* (2017).
- Bagnarello Madrigal, F. (Septiembre de 2010). *Análisis del efecto del esfuerzo de succión en la capacidad soportante de cimentaciones profundas. (Proyecto Final de Graduación). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.*
- Barón Díaz, L. (9 de Septiembre de 2010). *Confiabilidad y validez de constructo del instrumento. "Habilidad de de cuidado de cuidadores Familiares de personas que viven una una situación de enfermedad crónica".(Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C, Colombia.*  
Recuperado el 5 de Agosto de 2019, de  
<http://www.bdigital.unal.edu.co/3806/1/539351.2011.pdf>

- Barrera Bucio, M., & Garnica Anguas, P. (2002). *Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestre. (Publicación Técnica No.198). Coordinación de Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte, Mexico.*
- Begazo, E. (s.f.). *Coeficiente de Variación*. Recuperado el 20 de Agosto de 2019, de [https://www.academia.edu/34992003/Coeficiente\\_de\\_variaci%C3%B3n?auto=download](https://www.academia.edu/34992003/Coeficiente_de_variaci%C3%B3n?auto=download)
- Braja M, D. (2012). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (cuarta edición ed.). Mexico D.F, Mexico y America Central : Editorial Thomson Editores, S.A de C.V.
- Campos Rodriguez, J., & Guardia Niño de Guzmán , G. (05 de Diciembre de 2005). *Apoyo didáctico al aprendizaje de la mecánica de suelos mediante problemas resueltos. (Trabajo Final de Graduación, Ingeniería Civil). Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia* . Recuperado el 2019 de 07 de 27, de [https://www.academia.edu/18964449/Libro\\_de\\_ejercicios\\_resueltos\\_de\\_mecanica\\_de\\_suelos\\_I](https://www.academia.edu/18964449/Libro_de_ejercicios_resueltos_de_mecanica_de_suelos_I)
- de Llorens Duran, J. I. (2007). *El terreno y el estudio Geotécnico*. Recuperado el 18 de Julio de 2019, de <https://www.ctaa.net/eventosa/form/GEOTECNICO1.pdf>
- Duque Escobar , G., & Escobar Potes , C. (2002). *Texto para la asignatura de Mecánica de los suelos. (Programa de Ingeniería Civil). Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia*. Recuperado el 25 de 06 de 2019, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1864/5/cap4.pdf>
- G.E, B., & E.C, L. (2012). *Mechanics of Residual Soils*. London, UK: Editorial Taylor & Francis Group. Recuperado el 2019 de Agosto de 2019, de <https://books.google.co.cr/books?id=f7jrIMC-NGEC&pg=PA33&lpg=PA33&dq=The+negative+pressure+to+which+a+poo>

l+of+pure+water+must+be+subjected+in+order+to+be+equilibrium+through+  
a+semipermeable+membrane&source=bl&ots=OPx\_-  
p0VTe&sig=ACfU3U3cMnhk3Gy6J5\_msTKNhHNrL

- García , A., Aguilar Melendez, A., Córdoba Ceballo, A., Sánchez Amador, A.,  
Sánchez Amador , J., Campos Ríos , A., . . . Azuara García, J. (Abril de  
2017). *Estimación de la succión total en arcillas expansivas.* (Revista  
*Iberoamericana de Ciencias ISSN 2334--2501*). Universidad de Veracruz,  
Veracruz, Mexico. Recuperado el 18 de Julio de 2019, de  
<http://www.reibci.org/publicados/2017/abr/2200102.pdf>
- González de Vallejo , L., Ferrer , M., Ortuño , L., & Oteo, C. (2004). *Ingeniería  
Geológica*. Madrid: Editorial Pearson Educación, S.A.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *Fundamentos de la mecánica de  
suelos*. Mexico, D.F: Editorial Limusa S.A. DE C.V.
- Lambe, W., & Whitman, R. (2004). *Mecánica de Suelos*. Mexico, D.F: Editorial  
Limusa S.A DE C.V.
- Marroquín Peña, R. (s.f.). *Confiabilidad y Validez de instrumentos de medición.  
(Presentación)*. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzman y  
Valle. Recuperado el 24 de Julio de 2019, de  
[http://www.une.edu.pe/Titulacion/2013/exposicion/SESSION-4-  
Confiabilidad%20y%20Validez%20de%20Instrumentos%20de%20investiga  
cion.pdf](http://www.une.edu.pe/Titulacion/2013/exposicion/SESSION-4-Confiabilidad%20y%20Validez%20de%20Instrumentos%20de%20investigacion.pdf)
- Mecánica de suelos. (Figura)*. (11 de Marzo de 2011). Recuperado el 12 de  
Agosto de 2019, de  
<https://mecanicadesuelos.wordpress.com/category/geotecnia/>
- Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.*  
(2006). Obtenido de  
[http://www.lms.uni.edu.pe/labsuelos/MODOS%20OPERATIVOS/Determina  
cion%20del%20contenido%20de%20Humedad.pdf](http://www.lms.uni.edu.pe/labsuelos/MODOS%20OPERATIVOS/Determinacion%20del%20contenido%20de%20Humedad.pdf)

*Método de prueba estándar para gravedad específica de los sólidos de suelo por el agua en un Pycnometer.* (2014). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/357451081/Norma-ASTM-D854>

*Papel de filtro Boeco. (Imagen). Distribuidor: Diprolab, Costa Rica.* (s.f.). Recuperado el 5 de Agosto de 2019, de <http://diprolabcostarica.com/wp-content/uploads/2013/07/BOECO-papel-de-filtro-2014.pdf>

Polanco Rodríguez, A. (s.f.). *Prácticas de laboratorio mecánica de suelos 1.* Recuperado el 7 de 08 de 2019, de [http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL\\_DE\\_LAB\\_MEC\\_DE\\_SUELOS\\_I.pdf](http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_DE_LAB_MEC_DE_SUELOS_I.pdf)

Rojas, L. (2013). *Estudio de las deformaciones superficiales por cambios de succión y su influencia en los fenómenos de subsidencia de la ciudad de Bogotá. (Trabajo final de graduación). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.*

Romero, Y., & Salvatore, E. (01 de 2015). *Informe de extracción y descripción de muestra de suelo en Incho. Universidad Continental, Huancayo, Perú.* Recuperado el 06 de 08 de 2019, de <https://es.scribd.com/document/265123835/Extraccion-de-Muestra>

Ruiz Bolívar, C. (s.f.). *Confiabilidad. (Programa Interinstitucional Doctorado en educación).*

*Standard Test Method for Measurement of Soil Potential (Suction) Using Filter Paper. (Designation D5298-16). ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States.* (2016).


Suarez Diaz, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.* Bucaramanga, Colombia: Publicaciones UIS.



Valverde Ruiz, E. A. (Junio de 2010). *Análisis de la influencia de la precipitación en el esfuerzo de succión y la estabilidad de un Talud.* (Proyecto final de graduación). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

## **ANEXO N°1**

Tabla A1. N°1. Bitácora de registro de campo de extracción de monolito

Registro de Campo de extracción de Monolito					
Datos Generales					
Fecha	20/05/2019	Hora de inicio	9:00 a.m.	Hora finalización	3:30 p.m.
Ubicación	Finca Experimental Universidad Nacional, Santa Lucia, Barba, Heredia				
Coordenadas	N 10°01'13.9152"		W 84°06'34.1568"		
Encargado	Heiner Barquero				
Cantidad de monolitos	3		Profundidad	1.50 m	
Descripción del perfil			Condición Meteorológica		
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ De 0 a 1.35 m limo color café oscuro con raíces.</li> <li>✓ De 1.35 a 1.60 m limo color café claro sin raíces.</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Soleado</li> <li>✓ De 11:00 a.m nublado</li> <li>✓ De 2:20 pm a 2:45 pm llovió</li> </ul>		
Nombre muestra	Profundad recuperación (m)		Dimensión del cubo (monolito) (cm)		
Monolito 1	1.60		53 x 50 x 37		
Monolito 2	1.50		29 x 30 x 25		
Monolito 3	1.50		27 x 27 x 26		
Observaciones:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ El monolito 2 y 3 se extrajo hasta el día 21/05/2019 de 9:05 a.m. a 12:00 p.m, el día fue soleado.</li> <li>✓ Los 3 monolitos se extrajeron de la misma calita de dimensión 1.50 m x 1.20 m.</li> </ul>					
Fotos del sitio					
					


Fuente: Propia

## Fotos A1. N°1. Proceso de extracción de monolitos en Barva, Heredia



Fuente: Propia

Tabla A1. N°2. Bitácora de registro de campo de extracción de monolito Río Oro, Santa Ana, San José.

Registro de Campo de extracción de Monolito					
Datos Generales					
Fecha	20/06/2019	Hora de inicio	9:00 a.m.	Hora finalización	1:30 p.m.
Ubicación	Calle 54 de rio Oro en San Ana, San José				
Coordenadas	N 9°58'36.8904''		W 84°12'9.3348''		
Encargado	Heiner Barquero				
Cantidad de monolitos	3		Profundidad	0.55 m	
Descripción del perfil			Condición Meteorológica		
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ De 0 a 0.3 m arcilla color café oscuro con raíces, piedras</li> <li>✓ De 0.3 a 0.53 m limo color gris sin raíces.</li> <li>✓ Presencia de agua en la calicata (zanja)</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Nublado</li> </ul>		
Nombre muestra	Profundidad recuperación (m)		Dimensión del cubo (monolito) (cm)		
Monolito 1	0.53		21 x 36 x 26		
Monolito 2	0.53		28 x 27 x 29		
Monolito 3	0.53		30 x 30 x 28		
Observaciones:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Presencia de agua en la zanja durante el proceso de dimensionamiento y extracción de monolitos.</li> </ul>					
Fotos del sitio					
					

Fuente: Propia

Fotos A1. N°2. Proceso de extracción de monolitos en Calle 14, San José, Río Oro



Fuente: Propia

## **ANEXO N°2**

## Tablas A2. Bitácora de registro de ensayos para suelos tipo limo y arcilla

- Datos recopilados del ensayo de succión total suelo tipo arcilla

Bitácora para ensayo de suelo						
Evaluación de la succión total mediante papel filtro (normas ASTM D 5298-16)						
Responsable: Jadder Vega Aguirre	Fecha inicio	1/8/2019	Fecha de Final	8/8/2019		
Equipos Utilizados						
Horno	LGHO01	Balanza	LGBA06			
Muestra: Monolito 1, Calle 14 Río Oro de Santa Ana, San José, profundidad: 0.53 m						
Recipientes Códigos	Tz# 8		Tz # 6		Tz#5	
Masa de variables (g)	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Tara Fria (Tc)	1.1050	1.1055	1.1040	1.1036	1.0549	1.0538
Papel filtro humedo +Tara fria (M1)	1.4322	1.4411	1.4462	1.4447	1.3972	1.3928
Papel filtro seco+Tara fria (M2)	1.3444	1.3502	1.3506	1.3501	1.3001	1.2995
Tara Caliente (Th)	1.1055	1.1053	1.1045	1.1039	1.0553	1.0553
Papel filtro seco (M2-Th) ; (Mf)	0.2388	0.2449	0.2461	0.2462	0.2449	0.2442
Agua en el papel filtro (M1-M2-Tc+Th);(Mw)	0.0884	0.0908	0.0960	0.0949	0.0974	0.0947
% contenido de agua (Wf=(Mw/Mf)*100)	37.0133	37.0627	39.0221	38.5647	39.7904	38.7880
Succión pF	2.4437	2.4398	2.2872	2.3228	2.2273	2.3054
Variabilidad de resultados 2% (0.02)	0.0016		0.0153		0.0339	
Succión KPa (Promedio)	27.1277		19.8167		18.1883	
Muestra: Monolito 2, Calle 14 Río Oro de Santa Ana, San José, profundidad: 0.53 m						
Recipientes Códigos	Tz# 7		Tz # 2		Tz#9	
Masa de variables (g)	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Tara Fria (Tc)	1.0755	1.0761	1.0790	1.0797	1.0716	1.0713
Papel filtro humedo +Tara fria (M1)	1.4023	1.4027	1.4232	1.4226	1.4012	1.3992
Papel filtro seco+Tara fria (M2)	1.3129	1.3130	1.3296	1.3298	1.3148	1.3142
Tara Caliente (Th)	1.0755	1.0764	1.0794	1.0805	1.0725	1.0716
Papel filtro seco (M2-Th) ; (Mf)	0.2375	0.2365	0.2502	0.2492	0.2423	0.2426
Agua en el papel filtro (M1-M2-Tc+Th);(Mw)	0.0893	0.0901	0.0940	0.0937	0.0873	0.0853
% contenido de agua (Wf=(Mw/Mf)*100)	37.6193	38.1060	37.5566	37.6087	36.0347	35.1608
Succión pF	2.3965	2.3585	2.4013	2.3973	2.5199	2.5880
Variabilidad de resultados 2% (0.02)	0.0161		0.0017		0.0270	
Succión KPa (Promedio)	23.4198		24.6029		35.2322	
Muestra: Monolito 3, Calle 14 Río Oro de Santa Ana, San José, profundidad: 0.53 m						
Recipientes Códigos	Tz# 1		Tz # 4		Tz#3	
Masa de variables (g)	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Tara Fria (Tc)	1.0495	1.0639	1.0669	1.0671	1.0641	1.0623
Papel filtro humedo +Tara fria (M1)	1.3895	1.3961	1.3974	1.3981	1.3972	1.4039
Papel filtro seco+Tara fria (M2)	1.3137	1.3110	1.3026	1.3034	1.3070	1.3100
Tara Caliente (Th)	1.0620	1.0637	1.0667	1.0662	1.0638	1.0621
Papel filtro seco (M2-Th) ; (Mf)	0.2517	0.2473	0.2359	0.2372	0.2432	0.2479
Agua en el papel filtro (M1-M2-Tc+Th);(Mw)	0.0882	0.0849	0.0945	0.0938	0.0899	0.0937
% contenido de agua (Wf=(Mw/Mf)*100)	35.0503	34.3354	40.0678	39.5251	36.9568	37.8109
Succión pF	2.5966	2.6523	2.2057	2.2480	2.4481	2.3815
Variabilidad de resultados 2% (0.02)	0.0214		0.0192		0.0279	
Succión KPa (Promedio)	41.3988		16.5592		25.5704	

Fuente: Propia



Datos recopilados de ensayos de granulometría, límites de consistencia, contenido de humedad, gravedad específica para suelo tipo arcilla

Bitácora de laboratorio para ensayos de suelo					
Método de prueba estándar para distribución del tamaño de las partículas (gradación) de suelos usando tamiz de análisis (Norma ASTM D6913)					
Información General del Ensayo					
Responsable: Jadder Vega Aguirre					
Fecha Inicio: 25/06/2019			Fecha de finalización: 03/07/2019		
Código de Equipos Utilizados					
Horno	LGHO02		Balanza	LGBA02	
Recipiente	L44				
DATOS GENERALES					
Masa de recipiente, g	93.66				
Masa de recipiente + masa de muestra, g	297.56				
Tamices (mm)	ASTM	Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acum	% Pasando
76.2	3 "	0	0.00%	0.00%	100.00%
50.8	2"	0	0.00%	0.00%	100.00%
38.1	1 1/2 "	0	0.00%	0.00%	100.00%
25.4	1"	0	0.00%	0.00%	100.00%
19.1	3/4"	0	0.00%	0.00%	100.00%
12.7	1/2"	0	0.00%	0.00%	100.00%
9.52	3/8"	1.07	3.20%	3.20%	96.80%
4.76	N°4	1.88	5.63%	8.83%	91.17%
2	N°10	3.11	9.31%	18.14%	81.86%
0.425	N°40	7.38	22.10%	40.24%	59.76%
0.08	N°200	19.96	59.76%	100.00%	
<b>Total</b>		<b>33.4</b>	<b>100.00%</b>	-	-

Bitácora de laboratorio para ensayo de suelo				
Método para determinar los límites de consistencia (Norma ASTM D4318)				
Información General del Ensayo				
Responsable: Jadder Vega Aguirre				
Fecha Inicio	1/7/2019	Fecha de finalización	1/7/2019	
Código de Equipos Utilizados				
Horno	LGHO01	Balanza	LGBA02	
Límite líquido				
Molde		22	25	29
Número de golpes		36	24	18
t	Tara g	21.79	20.76	20.58
t + s + a	Tara+suelo+agua g	27.31	26.16	26.75
t + s	Tara + suelo g	24.28	23.12	23.20
<b>A=(t+s+a)-(t+s)</b>	<b>Peso del agua g</b>	<b>3.03</b>	<b>3.04</b>	<b>3.55</b>
<b>s=(t+s)-t</b>	<b>Peso de muestra seca g</b>	<b>2.49</b>	<b>2.36</b>	<b>2.62</b>
<b>w=A/S *100</b>	<b>Contenido de Humedad g</b>	<b>121.69</b>	<b>128.82</b>	<b>135.50</b>
Límite Plástico				
Molde		2	8	-
t	Tara g	21.87	21.71	-
t + s + a	Tara+suelo+agua g	27.14	27.20	-
t + s	Tara + suelo g	25.86	25.84	-
<b>A=(t+s+a)-(t+s)</b>	<b>Peso del agua g</b>	<b>1.28</b>	<b>1.36</b>	-
<b>s=(t+s)-t</b>	<b>Peso de muestra seca g</b>	<b>3.99</b>	<b>4.13</b>	-
<b>w=A/S *100</b>	<b>Contenido de Humedad g</b>	<b>32.08</b>	<b>32.93</b>	-
<b>Promedio de contenido de humedad %</b>		<b>32.50</b>		
<b>Índice de plasticidad</b>		<b>96.91 %</b>		

Bitácora para ensayo de suelo						
Método de prueba estandar para determinar el contenido de humedad (norma ASTM D2216)						
Información general del ensayo						
Muestra : Monolitos 1,2,3		Fecha inicio: 1/08/2019		Fecha Finalización: 05/08/2019		
Equipos Utilizados						
Horno :	LGHO02	Balanza:	LGBA02	Monolito 1	Monolito 3	Monolito 2
Variables				L17	L23	L19
Masa del recipiente en gramos (g)				78.35	78.19	92.89
Masa del recipiente (g)+Masa de muestra húmeda (g)				381.62	451.16	476.41
Masa del recipiente (g)+Masa de muestra seca (g)				271.97	321.01	337.32
Porcentaje de contenido de humedad (%)				56.63154633	53.59937402	56.90381704

Bitácora de laboratorio para ensayo de suelo			
Método de prueba estándar para gravedad específica de los sólidos del suelo mediante un picnómetro de agua (Norma ASTM D)			
Información General del Ensayo			
Responsable: Jadder Vega Aguirre			
Fecha inicio	2/7/2019	Fecha Finalizaci	3/7/2019
Código de Equipos Utilizados			
Cocina	LGCO01	Balanza	LGBA02
Recipiente	C21		
DATOS GENERALES			
Masa de recipiente, g	5.85		
Masa de recipiente + masa de muestra seca, g	57.01		
Información del ensayo			
Balón	4	4	4
Masa del balón g	91.53	91.52	91.53
Masa del balón + suelo seco g	142.96	142.96	142.96
Masa del balón+agua enrasada g	340.402	340.402	340.402
Masa del balón+suelo+agua enrasada g	369.63	369.63	369.62
Constante de corrección de temperatura K	1.00020		
Temperatura °C	19		
Masa del suelo seco al horno, g (Ms)	51.43	51.44	51.43
Masa del balón y el agua a temperatura de prueba, g (Mpw,t)	340.402	340.402	340.402
Masa del balón+agua+suelo a temperatura de prueba, g (Mpws)	369.63	369.63	369.62
Gt	2.316	2.316	2.315
G20°C	2.317	2.316	2.316
PROMEDIO		2.316	

Fuente: Propia

- Datos recopilados del ensayo de succión total suelo tipo limo

Bitácora para ensayo de suelo						
Evaluación de la succión total mediante papel filtro (normas ASTM D 5298-16)						
Responsable: Jadder Vega Aguirre	Fecha inicio	23/7/2019	Fecha de Final	3/8/2019		
Equipos Utilizados						
Horno	LGHO01	Balanza	LGBA06			
Muestra: Monolito 1, Santa Lucía de Barva, Heredia, profundidad: 1.50 m						
Recipientes Códigos	Tz# 8		Tz # 6		Tz#5	
Masa de variables (g)	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Tara Fria (Tc)	1.1062	1.0768	1.0755	1.0695	1.0989	1.1041
Papel filtro humedo +Tara fria (M1)	1.4844	1.4469	1.4147	1.4138	1.4573	1.4488
Papel filtro seco+Tara fria (M2)	1.3558	1.3189	1.3147	1.3108	1.3431	1.3402
Tara Caliente (Th)	1.1070	1.0774	1.0765	1.0700	1.0994	1.1045
Papel filtro seco (M2-Th) ; (Mf)	0.2489	0.2415	0.2382	0.2408	0.2437	0.2357
Agua en el papel filtro (M1-M2-Tc+Th);(Mw)	0.1294	0.1285	0.1010	0.1036	0.1146	0.1089
% contenido de agua (Wf=(Mw/Mf)*100)	51.9823	53.2229	42.3814	43.0154	47.0323	46.2169
Succión pF	1.7102	1.6935	2.0255	1.9761	1.7771	1.7881
Variabilidad de resultados 2% (0.02)	0.0099		0.0250		0.0062	
Succión KPa (Promedio)	4.9387		9.8439		5.9466	
Muestra: Monolito 2, Santa Lucía de Barva, Heredia, profundidad: 1.50 m						
Recipientes Códigos	Tz# 7		Tz # 2		Tz#9	
Masa de variables (g)	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Tara Fria (Tc)	1.1075	1.0811	1.0537	1.0648	1.0825	1.0767
Papel filtro humedo +Tara fria (M1)	1.4244	1.4722	1.3945	1.4064	1.4453	1.4381
Papel filtro seco+Tara fria (M2)	1.3179	1.3407	1.2882	1.2977	1.3262	1.3191
Tara Caliente (Th)	1.1076	1.0815	1.0542	1.0650	1.0830	1.0769
Papel filtro seco (M2-Th) ; (Mf)	0.2103	0.2592	0.2340	0.2327	0.2432	0.2422
Agua en el papel filtro (M1-M2-Tc+Th);(Mw)	0.1067	0.1319	0.1068	0.1089	0.1196	0.1192
% contenido de agua (Wf=(Mw/Mf)*100)	50.7292	50.9002	45.6410	46.8128	49.1776	49.2155
Succión pF	1.7272	1.7248	1.7958	1.7800	1.7481	1.7476
Variabilidad de resultados 2% (0.02)	0.0013		0.0089		0.0003	
Succión KPa (Promedio)	5.2200		6.0211		5.4893	
Muestra: Monolito 3, Santa Lucía de Barva, Heredia, profundidad: 1.50 m						
Recipientes Códigos	Tz# 1		Tz # 4		Tz#3	
Masa de variables (g)	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Tara Fria (Tc)	1.0827	1.0813	1.0597	1.0597	1.0776	1.0903
Papel filtro humedo +Tara fria (M1)	1.4326	1.4199	1.4351	1.4332	1.4494	1.4401
Papel filtro seco+Tara fria (M2)	1.3257	1.3163	1.3056	1.3037	1.3260	1.3299
Tara Caliente (Th)	1.0830	1.0816	1.0604	1.0604	1.0780	1.0904
Papel filtro seco (M2-Th) ; (Mf)	0.2427	0.2348	0.2452	0.2432	0.2481	0.2395
Agua en el papel filtro (M1-M2-Tc+Th);(Mw)	0.1072	0.1039	0.1303	0.1303	0.1237	0.1103
% contenido de agua (Wf=(Mw/Mf)*100)	44.1560	44.2425	53.1339	53.5563	49.8791	46.0746
Succión pF	1.8872	1.8805	1.6947	1.6890	1.7386	1.7900
Variabilidad de resultados 2% (0.02)	0.0036		0.0034		0.0295	
Succión KPa (Promedio)	7.5086		4.8252		5.7114	

Fuente: Propia

Datos recopilados de ensayos de granulometría, límites de consistencia, contenido de humedad, gravedad específica para suelo tipo limo.

Bitácora de laboratorio para ensayo de suelo					
Método de prueba estándar para distribución del tamaño de las partículas (gradación) de suelos usando tamiz de análisis (Norma ASTM D6913)					
Información General del Ensayo					
Responsable: Jadder Vega Aguirre					
Fecha Inicio: 19/06/2019			Fecha de finalización: 03/07/2019		
Código de Equipos Utilizados					
Horno	LGHO02		Balanza	LGBA02	
Recipiente	R4	126.04			
DATOS					
Tamices (mm)	ASTM	Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acum	% Pasando
76.2	3 "	0	0.00%	0.00%	100.00%
50.8	2"	0	0.00%	0.00%	100.00%
38.1	1 1/2 "	0	0.00%	0.00%	100.00%
25.4	1"	0	0.00%	0.00%	100.00%
19.1	3/4"	0	0.00%	0.00%	100.00%
12.7	1/2"	4.59	10.89%	10.89%	89.11%
9.52	3/8"	6.42	15.23%	26.12%	73.88%
4.76	N°4	8.48	20.12%	46.24%	53.76%
2	N°10	0.03	0.07%	46.31%	53.69%
0.425	N°40	0.78	1.85%	48.16%	51.84%
0.08	N°200	21.85	51.84%	100.00%	
<b>Total</b>		<b>42.15</b>	<b>100.00%</b>	-	-

Bitácora de laboratorio para ensayo de suelo				
Método para determinar los límites de consistencia (Norma ASTM D4318)				
Información General del Ensayo				
Responsable: Jadder Vega Aguirre				
Fecha Inicio	19/6/2019	Fecha de finalización	25/6/2019	
Código de Equipos Utilizados				
Horno	LGHO01	Balanza	LGBA02	
Límite líquido				
Molde		3	5	6
Número de golpes		23	34	18
t	Tara g	21.12	20.80	21.79
t + s + a	Tara+suelo+agua g	26.70	26.16	28.16
t + s	Tara + suelo g	24.22	23.80	25.31
<b>A=(t+s+a)-(t+s)</b>	<b>Peso del agua g</b>	<b>2.48</b>	<b>2.36</b>	<b>2.85</b>
<b>s=(t+s)-t</b>	<b>Peso de muestra seca g</b>	<b>3.10</b>	<b>3.00</b>	<b>3.52</b>
<b>w=A/S *100</b>	<b>Contenido de Humedad g</b>	<b>80.01</b>	<b>78.67</b>	<b>80.97</b>
Límite Plástico				
Molde		19	29	-
t	Tara g	21.25	20.58	-
t + s + a	Tara+suelo+agua g	28.39	28.72	-
t + s	Tara + suelo g	25.50	25.42	-
<b>A=(t+s+a)-(t+s)</b>	<b>Peso del agua g</b>	<b>2.89</b>	<b>3.30</b>	-
<b>s=(t+s)-t</b>	<b>Peso de muestra seca g</b>	<b>4.25</b>	<b>4.84</b>	-
<b>w=A/S *100</b>	<b>Contenido de Humedad g</b>	<b>68.00</b>	<b>68.18</b>	-
<b>Promedio de contenido de humedad %</b>		<b>68.09</b>		
<b>Índice de plasticidad</b>		<b>11.79 %</b>		

Bitácora para ensayo de suelo						
Método de prueba estandar para determinar el contenido de humedad (norma ASTM D2216)						
Información general del ensayo						
Muestra : Monolitos 1,2,3	Fecha inicio: 27/07/2019		Fecha Finalización: 01/08/2019			
Equipos Utilizados						
Horno :	LGHO02	Balanza:	LGBA02	Monolito 1	Monolito 3	Monolito 2
Variables				L17	L23	L19
Masa del recipiente en gramos (g)				78.19	91.82	78.55
Masa del recipiente (g)+Masa de muestra humeda (g)				407.68	517.02	578.5
Masa del recipiente (g)+Masa de muestra seca (g)				272.24	343.45	369.69
Porcentaje de contenido de humedad (%)				69.79644422	68.97826173	71.72150855

Bitácora de laboratorio para ensayos de suelo			
Método de prueba estándar para gravedad específica de los sólidos del suelo			
mediante un picnómetro de agua (Norma ASTM D)			
Información General del Ensayo			
Responsable: Jadder Vega Aguirre			
Fecha inicio	2/7/2019	Fecha Finalización	
Código de Equipos Utilizados			
Cocina	LGCO01	Balanza	LGBA02
Recipiente	C10		
DATOS GENERALES			
Masa de recipiente, g	5.97		
Masa de recipiente + masa de muestra seca, g	53.20		
Informacion ensayo			
Balón	5	5	5
Masa del balón g	91.74	91.73	91.73
Masa del balón + suelo seco g	142.83	142.82	142.82
Masa del balón+agua enrasada g	340.694	340.694	340.694
Masa del balón+suelo+agua enrasada g	369.61	369.60	369.60
Constante de corrección de temperatura K	1.00020		
Temperatura °C	19		
Masa del suelo seco al horno, g (Ms)	51.09	51.09	51.09
Masa del balón y el agua a temperatura de prueba, g (Mpw,t)	340.694	340.694	340.694
Masa del balón+agua+suelo a temperatura de prueba, g (Mpws,t)	369.61	369.60	369.60
Gt	2.3040	2.3030	2.3030
G20°C	2.3045106	2.303471781	2.30347178
PROMEDIO	2.3038		

Fuente: Propia





