

2021

Análisis de la estabilidad de un suelo arcilloso con cáscaras de huevo pulverizadas añadidas

Bernardo José García Araujo
Universidad de La Salle, Bogotá, bgarcia50@unisalle.edu.co

Daniel Mauricio Morales Delgado
Universidad de La Salle, Bogotá, danielmmorales37@unisalle.edu.co

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil



Part of the [Civil Engineering Commons](#), and the [Geotechnical Engineering Commons](#)

Citación recomendada

García Araujo, B. J., & Morales Delgado, D. M. (2021). Análisis de la estabilidad de un suelo arcilloso con cáscaras de huevo pulverizadas añadidas. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/953

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Civil by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

Análisis de la estabilidad de un suelo arcilloso, con cáscaras de huevo pulverizadas añadidas.

Bernardo José García Araujo
Daniel Mauricio Morales Delgado

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de: Ingeniero civil

Director Temático
Ing. Fernando Alberto Nieto Castañeda

Universidad de La Salle
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
Bogotá D.C.
2021

Agradecimientos

Los autores agradecen a las personas que, con su ayuda, experiencia y conocimientos, hicieron posible llevar a cabo este proyecto de investigación, al director temático Fernando Nieto Castañeda, al ingeniero Martin Riascos Caipe, quien también desde su experiencia, asesoró las actividades y realización de ensayos. A todo el personal de laboratoristas del programa de Ingeniería Civil de la Universidad de La Salle, quienes también apoyaron desde su experiencia y conocimiento, los ensayos de laboratorio, de buena manera y siempre con solidaridad, agradecimiento hacia familiares y compañeros que sirvieron de apoyo moral para poder culminar este proyecto de investigación.

Índice

Contenido

Introducción	8
Problemática	9
Descripción del problema	9
Formulación del problema:	11
Justificación	11
Objetivos	12
General	12
Específicos	12
Antecedentes	13
Marco teórico	18
Uso de la cal	18
Cáscara de huevo	18
Estabilización de suelos	19
Tipos de estabilización de suelos	20
Suelo Expansivo.....	20
Suelo arcilloso:.....	20
Límites de consistencia:	21
Compactación en suelos:.....	21
Metodología	21
FASE 1. Selección del suelo a estudiar, toma de muestras, determinación de la expansión del material, caracterización del material.	21
FASE 2. Preparación de los aditivos, cáscara de huevo pulverizada (CHP), cal hidratada.	25
FASE 3. Determinación de los especímenes a ensayar y aplicación de los ensayos de laboratorio.	28
FASE 4. Análisis de resultados.....	31
FASE 5. Realización informe final	31
Resultados de laboratorio y análisis.....	32
Caracterización del suelo	32
Granulometría	32
Curva granulométrica.....	32
Expansión del suelo	33
Determinación del contenido de cal óptima para estabilizar el suelo	35

Especificaciones técnicas cal hidratada de uso general 75 Argos.....	35
Límites de consistencia.....	37
Ensayo normal de compactación.....	37
Resistencia a la compresión inconfiada de mezclas compactadas suelo-cal.....	38
CBR de suelos compactados en laboratorio y sobre muestra inalterada.....	45
Conclusiones.....	46
Recomendaciones.....	47
Bibliografía.....	48

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Resumen granulometría por tamizado, fuente: elaboración propia</i>	32
Tabla 2 <i>Resultado expansión por método del consolidómetro</i>	33
Tabla 3 <i>Sistema de clasificación de suelos expansivos</i>	33
Tabla 4 <i>Límites de consistencia, suelo estado natural</i>	34
Tabla 5 <i>Especificaciones técnicas cal hidratada 75 uso general</i>	35
Tabla 6 <i>Resultados límites de consistencia</i>	37
Tabla 7 <i>Resultado densidad máxima seca a partir del ensayo normal de compactación</i>	37
Tabla 8 <i>Resumen valores de esfuerzos obtenidos ensayo de compresión inconfiada para muestras de suelo-cal</i>	44
Tabla 9 <i>Densidad seca máxima, CBR, expansión y absorción</i>	45

Lista de figuras

Figura 1 <i>Producción de huevo en Colombia 2015-2019</i>	9
Figura 2 <i>Consumo per cápita de huevo 2000-2019</i>	10
Figura 3 <i>Ubicación suelo de estudio, casa de las banderas, Soacha, Cundinamarca</i>	22
Figura 4 <i>Extracción del suelo a estudiar</i>	22
Figura 5 <i>Muestra de suelo para ensayo de expansión</i>	23
Figura 6 <i>Determinación del límite líquido del material</i>	23
Figura 7 <i>Determinación del límite plástico del material</i>	24
Figura 8 <i>Granulometría por tamizado del material</i>	24
Figura 9 <i>Proceso de lavado de las cáscaras de huevo</i>	26
Figura 10 <i>Secado y triturado de cáscaras de huevo</i>	26
Figura 11 <i>Molino de pines (pulverizado de la cáscara de huevo)</i>	27
Figura 12 <i>Cal hidratada usada en la investigación</i>	27
Figura 13 <i>Medidor de pH</i>	29
Figura 14 <i>Medición de pH en muestras de ensayo</i>	29
Figura 15 <i>Ensayo de compactación, proctor estandar</i>	30
Figura 16 <i>Preparación muestras a fallar suelo-cal, compresión inconfiada</i>	30
Figura 17 <i>Medición de expansión, ensayo CBR</i>	31
Figura 18 <i>Curva granulométrica del material</i>	32
Figura 19 <i>Carta de plasticidad, ubicación del material</i>	34
Figura 20 <i>Porcentaje de cal vs medición de pH</i>	36
Figura 21 <i>Probetas en saturación por capilaridad</i>	39
Figura 22 <i>Comportamiento esfuerzo - deformación unitaria muestra 5.5% cal</i>	40

Figura 23 <i>Esquema de falla muestra 5.5% cal</i>	40
Figura 24 <i>Comportamiento esfuerzo - deformación unitaria muestra 4.5% cal + 1.0% CHP</i>	41
Figura 25 <i>Esquema de falla muestra 4.5% cal + 1.0% CHP</i>	41
Figura 26 <i>Comportamiento esfuerzo - deformación muestra 3.0% cal + 2.5% CHP</i>	42
Figura 27 <i>Esquema de falla probeta 3.0% cal + 2.5% CHP</i>	42
Figura 28 <i>Esquema de falla muestra 5.5% CHP</i>	43
Figura 29 <i>Esfuerzo vs deformación unitaria</i>	44

Introducción

Las cáscaras de huevo son un desecho doméstico e industrial que se presenta de forma abundante en Colombia, este residuo puede ser aprovechado en la aplicación de problemas ingenieriles, tal es el caso, para el mejoramiento de las propiedades de suelos expansivos. investigaciones desarrolladas en otros países como Indonesia y Nigeria se ha podido evidenciar que la cáscara de huevo tiene un potencial en la disminución del límite líquido y la plasticidad del suelo, además, una mejora en la resistencia de un suelo expansivo, mediante esta investigación se busca comprobar y analizar a través de ensayos de mecánica de suelos si hay alguna mejora de estas propiedades con la adición de cáscara de huevo, comparando esto con el uso de la cal.

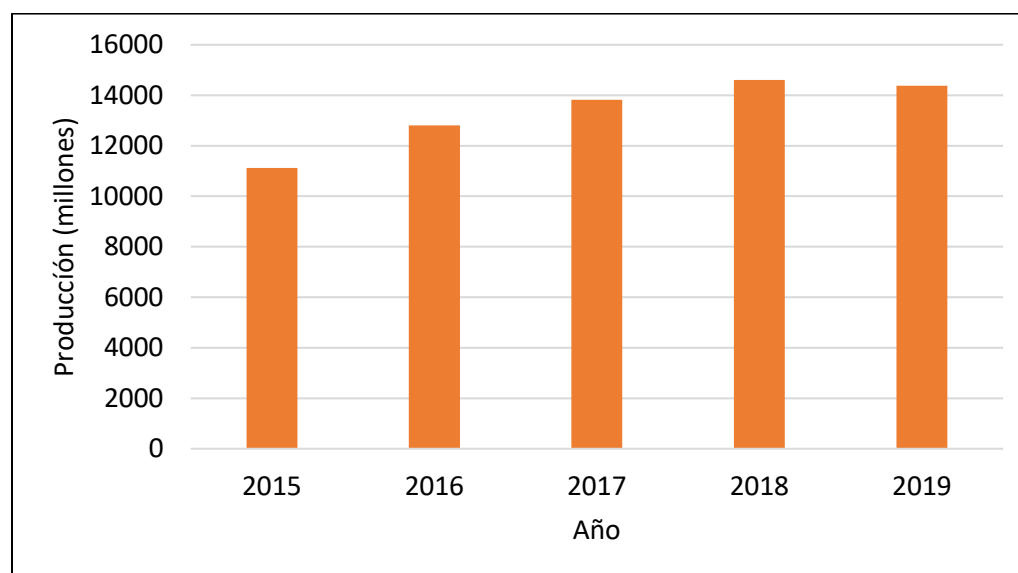
Problemática

Descripción del problema

En la actualidad, Colombia es un país que produce grandes cantidades de huevo al año y el consumo per cápita de este es alto, esto puede conllevar a que se generen abundantes cantidades de residuos este producto en los hogares y no haya un manejo óptimo de estos. A continuación, se presentan mediante gráficos la cantidad de huevo que se produce por año y el consumo per cápita, respectivamente:

Figura 1

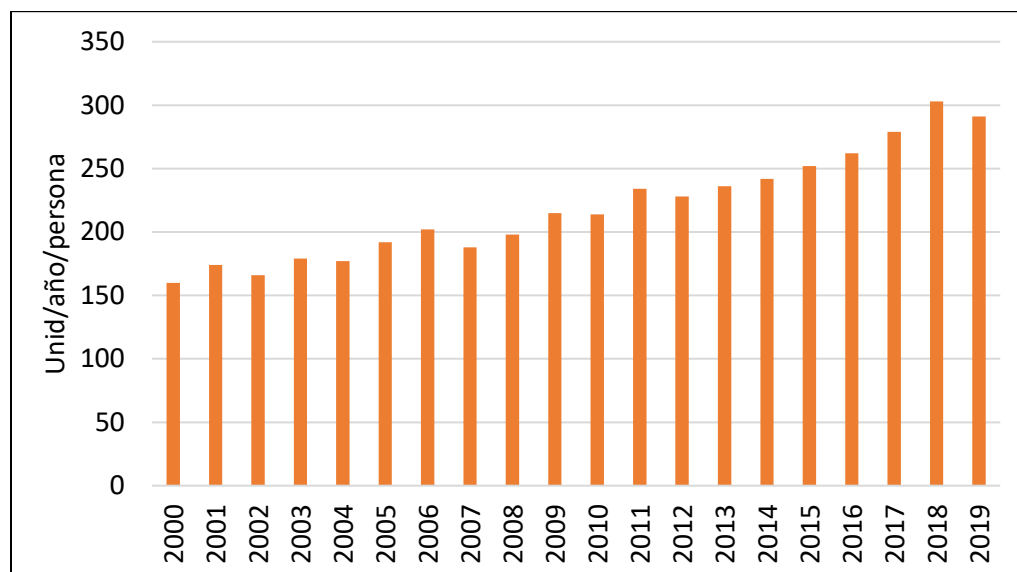
Producción de huevo en Colombia 2015-2019



Nota. Elaborado en base a los datos registrados por la Federación Nacional de Avicultores de Colombia – FENAVI.

Figura 2

Consumo per cápita de huevo 2000-2019



Nota. Elaborado en base a los datos registrados por la Federación Nacional de Avicultores de Colombia – FENAVI.

Como se mencionaba al inicio la cáscara de huevo es un desecho abundantemente en las casas, restaurantes, etc. El huevo en Colombia es altamente producido y a su vez consumido, véase figura 1. y figura 2. El mal manejo de estos residuos puede impactar negativamente el medio ambiente.

Por otro lado, los suelos arcillosos tienden a tener un índice de plasticidad alto que conlleva un valor de expansión y contracción alto, y también una resistencia a las cargas demasiado baja.

En este orden de ideas, un suelo arcilloso no es apto para realización de muchas obras civiles, esto porque es un suelo que cambia su volumen dependiendo del agua que absorba, lo que redundaría en un aumento de volumen y posibles daños a las estructuras. Los tratamientos

químicos buscan reducir la plasticidad del suelo y aumentar la resistencia.

Formulación del problema:

¿Es posible aprovechar la cáscara de huevo, para emplearla como aditivo para mejorar el comportamiento de un suelo de alta plasticidad?

Justificación

La mecánica de suelos es el área que define las características físico-mecánicas del suelo, esta aplicadas en geotecnia a nivel ingenieril, son la base para mejorar las características de un suelo, al igual define el comportamiento del suelo ante cargas y diferentes condiciones, habiendo dicho esto, los suelos expansivos se caracterizan por presentar comportamiento deficiente en los parámetros de resistencia, o como lo plantea Bapiraju P y Nagendra P.K (2019) “El comportamiento expansivo y de contracción hace que los suelos expansivos no sean adecuados para aplicaciones de ingeniería directa en su forma natural” (p. 9).

Por lo anterior, el presente proyecto tiene como alcance analizar el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de un suelo expansivo con adición de cáscara de huevo y cal, comparándolo con el suelo arcilloso en su estado natural, con lo cual, comprobar si existe o no una mejora en el comportamiento en el suelo mediante el uso de cáscaras de huevo y hacer una comparativa con la aplicación de la cal, esta última se ha venido utilizando tradicionalmente para mejorar el suelo que es destinado para la construcción de carreteras.

Objetivos

General

Analizar y comparar el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de un suelo arcilloso expansivo, con adición de cascara de huevo y cal, comparando diferentes porcentajes de estos.

Específicos

- Determinar los cambios de las propiedades índices (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad), deformación de un suelo arcilloso con y sin adición de cascara de huevo.
- Evaluar el comportamiento de la resistencia del suelo en estudio (arcilloso) con y sin adición de cáscara de huevo, mediante ensayos de laboratorio.
- Comparar el comportamiento del índice de expansión, del suelo en estudio (arcilla expansiva) adicionando cal y cáscara de huevo.

Antecedentes

En un estudio realizado durante abril de 2001 y abril de 2002 en la universidad de Obafemi Awolowo, en la ciudad de Ile-ife, Nigeria, por parte de los ingenieros O.O Amu, A.B Fajobi, B.O Oke. Se estudió el potencial estabilizador de cáscaras de huevo pulverizadas sobre la cal, en un suelo arcilloso expansivo. La cal empleada en esta investigación es blanca, utilizada para el tratamiento del agua y fue obtenida de la planta de tratamiento de agua en Opa Dam, Nigeria, se obtuvieron huevos de gallina de un restaurante, y posteriormente estos fueron pulverizados, se reunieron 100 kg de polvo, de cáscara de huevo aproximadamente.

La cantidad de cal añadida se calculó mediante el peso de 200 g de suelo natural especificado para la prueba, de modo que el peso total (cal + suelo) aún sea igual a 200 g. El porcentaje óptimo de combinación cal-cáscara de huevo pulverizada (CHP), se obtuvo a partir del IP de las muestras con proporciones variables. La muestra se preparó pesando las cantidades de aditivos necesarios para cada lote y primero mezclando bien antes de agregar agua.

El efecto del polvo de cáscara de huevo en el suelo se comprobó comparando el valor del índice de plasticidad (IP) del suelo arcilloso estabilizado con un porcentaje óptimo de cal y el valor cuando un porcentaje de la cal óptima fue reemplazado por cáscara de huevo. El mejor resultado fue el que tuvo el IP más bajo.

El porcentaje óptimo de cal se redujo gradualmente y se complementó con porcentajes adecuados de cáscara de huevo pulverizada (CHP) en las siguientes proporciones: 6% de cal + 1% de CHP, 5% de cal + 2% de CHP, 4% de cal + 3% de CHP, 3% de cal + 4% CHP, 2% de cal + 5% de CHP y 1% de cal + 6% de CHP. Para cada variación, se llevaron a cabo pruebas de límite de consistencia (límite líquido y plástico) para determinar la combinación óptima de cal-CHP.

Los efectos de la cáscara de huevo en suelos estabilizados con cal se evaluaron aún más sometiendo el suelo natural, el suelo natural+cal y el suelo natural+mezcla óptima de cal-cáscara de huevo pulverizada, a una clasificación general y a los siguientes ensayos:

- Ensayo de compactación (Proctor estándar).
- Ensayo de relación de rodamiento de California (CBR) (humedad natural y seco).
- Ensayo de compresión inconfiada (curada y no curada).
- Ensayo triaxial no drenado.

Los resultados que arrojaron los ensayos de máxima densidad seca, CBR compresión inconfiada y esfuerzo cortante triaxial no drenado, mostraron que la estabilización con cal en una concentración del 7% fue mejor que la combinación de cáscaras de huevo pulverizadas más cal, en concentraciones de 4% y 3%, respectivamente.

Los autores concluyeron que la cáscara de huevo pulverizada no puede reemplazar con éxito a la cal como material para una estabilización efectiva a menos que se lleven a cabo algunas investigaciones adicionales. Sin embargo, mencionan que la cáscara de huevo pulverizada podría usarse para la estabilización de suelos donde no es necesario un desempeño de subrasante muy alto.

En 2016 otro estudio realizado en la Universitas Kristen Indonesia Paulus, en la ciudad de Macasar, Indonesia, por los ingenieros Irwan Lie, Keng Wong, estudiaron los residuos de huevos como agregado en suelos, expusieron que las cáscaras de huevo contienen un gran porcentaje de carbonato de calcio (CaCO_3) y que tienen la capacidad de neutralizar el contenido ácido.

Las muestras para la prueba de Proctor estándar se dividieron en 85, que consisten en 5 muestras de suelo sin mezclar, 20 muestras de suelo con la adición de 5%, 7.5%, 10% y 14% de cáscara de huevo, de acuerdo con el valor del peso unitario seco máximo, a su vez, estas muestras se dividieron en 5 muestras para remojo de 1 día, 5 muestras para remojo de 7 días, 5 muestras para remojo de 14 días y 5 muestras para remojo de 21 días, para cada porcentaje de cáscara de huevo añadida, respectivamente.

En este orden de ideas se realizaron pruebas físicas y se llevó a cabo el ensayo de Proctor estándar, en un suelo arcilloso del distrito de Gowa, Sungguminasa. Se obtuvo como resultado que el suelo tiene una baja plasticidad y que se aumentó el peso seco de la muestra, con mejora del contenido óptimo de humedad, que pasó de 22.18% a 20.33%, en un tiempo de 21 días, se redujo un 1.85%.

En 2019, se realizó una investigación experimental, sobre la combinación suelos expansivos y cáscaras de huevo pulverizadas con polvo de roca, en el Estado de Andhra Pradesh, India. A cargo de los ingenieros Bapiraju P y Nagendra Prasad K. Se obtuvo que el límite líquido, se redujo rápidamente en un 4%, pero luego esta tasa de disminución empezó a decaer, con la adición de cáscara de huevo pulverizada, la capacidad de retención de agua se redujo y la resistencia aumentó, entonces esto significa que hubo una reducción en la plasticidad del suelo expansivo, con un aumento en el contenido de cáscara de huevo pulverizada, la densidad seca aumentó hasta cierto grado de porcentaje y luego retrocedió.

A continuación, se presentan algunos métodos que se han empleado para mejorar las características de un suelo arcilloso, de forma tradicional:

Huezo y Orellana (2009) exponen que:

La estabilización de la arcilla con cal en la construcción tiene más de 5.000 años de antigüedad. Las Pirámides de Shersi en el Tíbet fueron construidas con mezclas compactadas de arcilla y cal, en la China y la India a lo largo de la historia, se ha utilizado de varias maneras la estabilización con cal, sin embargo, fue en los EE. UU., a finales de 1940; cuando se aplicaron a las mezclas de cal y suelo las técnicas y ensayos de la mecánica de suelos que se desarrollaban en aquella época, el tratamiento de arcillas con cal comenzó en 1950, y la técnica aumentó su popularidad con gran rapidez. (p. 2)

Otro método que también es muy utilizado es el de añadir cemento al suelo que se pretende mejorar, García (2019) realizó un proyecto de investigación en el cual expone este método y afirma que:

La mezcla de suelo con cemento es considerada como una técnica de estabilización de suelos granulares que conlleva un proceso de hidratación en el cual se desarrolla una red de enlaces entre las partículas del suelo, esto acarrea un aumento en la capacidad portante y un notable incremento en la resistencia mecánica del terreno. Dicha técnica se encuentra establecida en la normatividad del INVIAS y del IDU en el artículo 350 de las especificaciones generales de construcción de carreteras. (p. 20)

Marco teórico

Uso de la cal

La cal que se usa tradicionalmente para estabilizar suelos es CaO (óxido de calcio), se puede obtener mediante la reacción de rocas calizas al ser sometidas a muy altas temperaturas, como se muestra a continuación:



El CO₂ es un gas de escape que puede tener un impacto negativo en la salud humana, por lo tanto, estabilización de un suelo con cal (cal viva) u óxido de calcio (CaO), que generalmente se obtiene de la reacción anterior puede tener un impacto negativo en el medio ambiente. (Lie, Wong, 2016, p. 2).

Cáscara de huevo

En la cáscara de huevo el principal componente es el carbonato de calcio; además existen otros principios minerales en muy pequeñas cantidades, tales como el fosfato tricálcico y el carbonato de magnesio. Siendo su composición de un huevo de 58 gramos en materias minerales por unidad y en gramos o en tanto por ciento el siguiente: calcio 2.21 g (93.3%); fósforo 0.02 g (0.85%), magnesio 0,02 g (0.85%), hierro trazas. (Valdés, 2007, p. 10).

En este orden ideas, aplicando calor a las cáscaras de huevo, es posible obtener óxido de calcio, haciendo que las cáscaras de huevo sean una posible fuente de obtención de cal y pueda ser este material potencialmente empleado como agente mejorador de las características de un suelo.

Estabilización de suelos

Los ingenieros Alberto Montejo, Alejandro Montejo y Alfonso Montejo establecen en su libro *Estabilización de Suelos* (2018), lo siguiente: un suelo es estable cuando muestra en estado seco o húmedo una resistencia marcada y sostenida a la deformación bajo la aplicación de cargas repetidas o continuas. En un principio, el término estabilización significaba incremento en un sentido cualitativo únicamente. Recientemente, la estabilización se ha asociado con los valores cuantitativos de resistencia y durabilidad, los cuales están relacionados con su funcionamiento. (Montejo Alberto, Montejo Alejandro, Montejo Alfonso, 2018, p. 15).

En este orden de ideas Alberto Montejo, Alejandro Montejo y Alfonso Montejo (2018) afirman que “estabilizar un suelo significa mejorar sus propiedades (tales como resistencia, durabilidad, plasticidad, permeabilidad, densidad, etc.)” (p. 13) Entonces se puede decir que estabilizar un suelo es un método por el cual se hace un estudio que busca mejorar el comportamiento físico-mecánico, de un suelo determinado.

Este proceso se realiza con el fin de que el suelo en cuestión quede en óptimas condiciones para cualquier obra de ingeniería civil o proyecto, que se vaya a efectuar. En el caso de las arcillas Alberto Montejo, Alejandro Montejo y Alfonso Montejo (2018), exponen lo siguiente acerca de la modificación de estas: “es un tratamiento que se le da a la arcilla mezclándole porcentajes relativamente pequeños de un aditivo para producir, por lo menos, los siguientes efectos benéficos:

1. Reducir la plasticidad.
2. Reducir los cambios potenciales de volumen.
3. Mejorar sustancialmente la trabajabilidad” (p. 14).

Los ingenieros Alberto Montejo, Alejandro Montejo y Alfonso Montejo (2018), hacen una clasificación de los métodos de estabilización de la siguiente manera: Los suelos pueden ser mejorados por medios mecánicos, químicos, eléctricos y térmicos. El grado de estabilización obtenido puede mostrar diferencias dentro de un método dado y también entre los diferentes métodos. Ya que existen tipos distintos de suelos que difieren de forma marcada en cuanto a sus propiedades y puesto que suelos diferentes reaccionan de manera distinta a los diversos métodos, es evidente que no se tengan solo muchas formas de estabilización, sino también amplias variaciones en los grados de estabilidad alcanzados.

Tipos de estabilización de suelos

La siguiente es una lista de los diferentes tipos de estabilización que se han utilizado o que pueden utilizarse en la construcción de carreteras; sobre algunos de ellos, ya mencionados antes, se tratará más adelante:

- a. Mecánicos (bases granulares estabilizadas por mezclas de varios materiales naturales).
- b. Químicos (cemento, cal viva, apagada o puzolánica, cloruro de calcio, cloruro de sodio, anilina furfural, acrilato de calcio, lignino de cromo, etc.).
- c. Eléctricos (electroósmosis para estabilización temporal).
- d. Térmicos. (Montejo Alberto, Montejo Alejandro, Montejo Alfonso, 2018, p. 15)

Suelo Expansivo: Según Orjuela, Pérez (2008) “los suelos expansivos de acuerdo con su configuración estructural presentan cambios volumétricos importantes cuando son sometidos a ciclos de humedecimiento y secado” (p. 4).

Suelo arcilloso: Las arcillas o suelos arcillosos, son cualquier suelo conformado por partículas muy diminutas, cuyo tamaño es por debajo de los 0,002 mm, y que se

componen principalmente de silicatos de aluminio.

Límites de consistencia: Según Gámez y Leal (2017), los límites de Atterberg “se utilizan para medir la plasticidad de un suelo, asimismo proporcionan información considerable sobre los comportamientos de los suelos en estado saturado” (p. 27). Fueron establecidos por Albert Atterberg en 1911, y estos permiten medir la plasticidad del suelo por medio de las humedades que diferencian los estados sólido, plástico y viscoso.

Compactación en suelos: Según Gómez (2019) “El objetivo principal de la compactación consiste en la mejora de las propiedades geotécnicas de los materiales tales como, aumentar la resistencia, reducir o minimizar los asentamientos, el potencial expansivo y la disminución de la permeabilidad entre otros” (p. 1).

Metodología

Se presentan a continuación las etapas o fases en la que se dividió el proyecto de investigación:

FASE 1. Selección del suelo a estudiar, toma de muestras, determinación de la expansión del material, caracterización del material.

El suelo escogido para realizar esta investigación se sustrajo en un terreno perteneciente a la Casa de las Banderas en Soacha, Cundinamarca. Dirección 3 Este 114 Cl. 8, estudios de suelos previos en este terreno han arrojado suelos arcillosos expansivos, se sustrajeron aproximadamente 300 kg, se tomaron muestras para determinar la expansión mediante consolidómetro, y consecuentemente ensayos de caracterización del material, límite líquido, límite plástico, granulometría.

Figura 3

Ubicación suelo de estudio, casa de las banderas, Soacha, Cundinamarca

**Figura 4**

Extracción del suelo a estudiar



Figura 5

Muestra de suelo para ensayo de expansión

**Figura 6**

Determinación del límite líquido del material



Figura 7

Determinación del límite plástico del material

**Figura 8**

Granulometría por tamizado del material



FASE 2. Preparación de los aditivos, cáscara de huevo pulverizada (CHP), cal hidratada.

La cáscara de huevo obtenida se recolectó yendo a diversos establecimientos, panaderías, pastelerías, restaurantes, durante un mes se pudo recolectar una cantidad aproximada de 25 kg de este material, el cual procedió a ser tratado de la siguiente manera:

1. Con ayuda de bicarbonato de sodio y vinagre blanco se lavaron las cáscaras, a modo de eliminar cualquier contenido no deseado de esta.
2. Después de haberlas limpiado, se secaron al horno.
3. Ya estando secas, se hizo un primer triturado de forma manual.
4. Se empleó una trituradora eléctrica para pulverizar las cáscaras de huevo, el equipo fue solicitado al programa de Ingeniería de Alimentos de la Universidad de La Salle, en Bogotá.
5. La cáscara de huevo fue tamizada con un tamiz No. 40.
6. Se compro un bulto de 10 kg de cal hidratada marca Argos.

Figura 9

Proceso de lavado de las cáscaras de huevo

**Figura 10**

Secado y triturado de cáscaras de huevo



Figura 11

Molino de pines (pulverizado de la cáscara de huevo)

**Figura 12**

Cal hidratada usada en la investigación



Nota. Cal hidratada 75 de uso general Tomado de (Grupo Argos, 2021)

FASE 3. Determinación de los especímenes a ensayar y aplicación de los ensayos de laboratorio.

En primer lugar, se realizaron los ensayos en el suelo natural sin ningún tipo de aditivo para calcular el IP, de forma que el efecto de los aditivos se pueda medir de manera sencilla a partir de los valores de IP.

La investigación se realizó para comparar los efectos de la cal y cáscara de huevo sobre el suelo arcilloso, por ende, se calculó el contenido óptimo de cal antes de adicionar la cáscara de huevo pulverizada (CHP), este contenido óptimo de cal se determinó en base a la norma INVE-601 “Estimación de la proporción de cal necesaria para estabilizar un suelo a partir de la

medida del pH”, se obtuvo un contenido óptimo de cal del 5.5%, a partir de este valor se fue disminuyendo el contenido de cal en 1.5%, se obtuvieron las siguientes muestras (Cal 5.5%), (Cal 1.5% + CHP 4%), (Cal 3% + CHP 1.5%), (Cal 4.5% + CHP 1.0%), (CHP 5.5 %).

A las muestras establecidas anteriormente, se les realizaron los siguientes ensayos:

- I.N.V E - 125. Determinación del límite líquido en los suelos.
- I.N.V E - 126. Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.
- I.N.V E - 141. Ensayo de compactación (estándar).
- I.N.V E - 605. Resistencia a la compresión inconfiada de mezclas compactadas suelo-cal.
- I.N.V E - 148. CBR de suelos compactados en laboratorio y sobre muestra inalterada.

Figura 13*Medidor de pH***Figura 14***Medición de pH en muestras de ensayo*

Figura 15

Ensayo de compactación, proctor estandar

**Figura 16**

Preparación muestras a fallar suelo-cal, compresión inconfiada



Figura 17

Medición de expansión, ensayo CBR



FASE 4. Análisis de resultados

Se realizaron todos los cálculos y procesamiento de los datos obtenidos en la experiencia de laboratorio, con todo el rigor científico e ingenieril, se organizó toda la información de manera concisa, con el objetivo de realizar el informe final de todo el proyecto.

FASE 5. Realización informe final

Por último, se realizó el informe final, que contiene todo el material científico, práctico, de laboratorio, antecedentes, comparaciones, análisis, resultado de toda la investigación realizada, se entiende esto como el producto de la investigación.

Resultados de laboratorio y análisis

Caracterización del suelo

Granulometría

Tabla 1

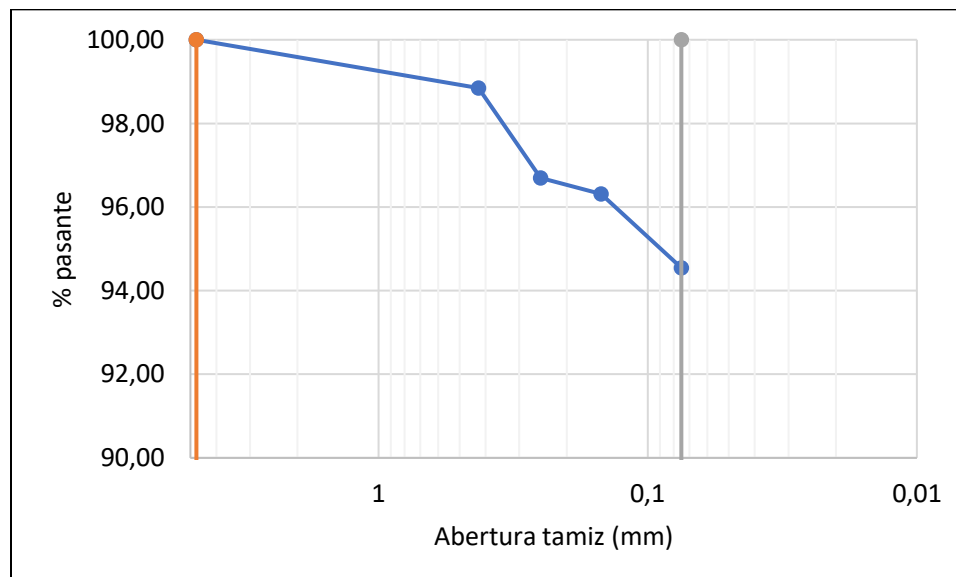
Resumen granulometría por tamizado, fuente: elaboración propia.

UNIVERSIDAD DE LA SALLE					
GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO					
I.N.VE-123					
TAMAÑO MÁXIMO 4"		PESO SECO SIN LAVAR (g): 200,78		PESO SECO LAVADO (g): 11,11	
ABERTURA DEL TAMIZ		PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE (%)
(")	(mm)				
No. 4	4,75	0	0	0	100,00
No. 40	0,425	2,31	1,15	1,15	98,85
No. 60	0,25	4,32	2,15	3,30	96,70
No. 100	0,149	0,78	0,39	3,69	96,31
No. 200	0,075	3,54	1,76	5,45	94,55
Fondo		189,83	94,55	100,00	0,00
Total		200,78	100		

Curva granulométrica

Figura 18

Curva granulométrica del material



Expansión del suelo

Tabla 2

Resultado expansión por método del consolidómetro

Prueba Expansión	
Diámetro Anillo (mm)	50,86
Diámetro Anillo (m)	0,051
Área (m ²)	0,002
Masa de carga (g)	391,9
Relación de palanca	10
Fuerza de carga (kN)	0,038
Esfuerzo de expansión (kN/m ²)	18,9

A partir de la determinación de la expansión del material por el método de consolidómetro, se obtuvo un esfuerzo de expansión de 18.9 kN/m², esto es potencial de expansión mediano, ya analizando otras fuentes y desde el parámetro del índice de plasticidad (IP), que es de 40, se tiene que es un material altamente expansivo, como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 3

Sistema de clasificación de suelos expansivos

Tabla 13.6 Sistema de clasificación de suelos expansivos^a.

Límite líquido	Índice de plasticidad	Expansión potencial (%)	Clasificación de la expansión potencial
<50	<25	<0.5	Bajo
50-60	25-35	0.5-1.5	Marginal
>60	>35	>1.5	Alto

Expansión potencial = expansión vertical ante una presión igual a la presión de sobrecarga

^aCompilado de O'Neill y Poormoayed (1980).

Nota. Sistema de clasificación de suelos expansivos, tomado de Fundamentos de ingeniería de cimentaciones Braja M. Das 7ma Edición.

Tabla 4

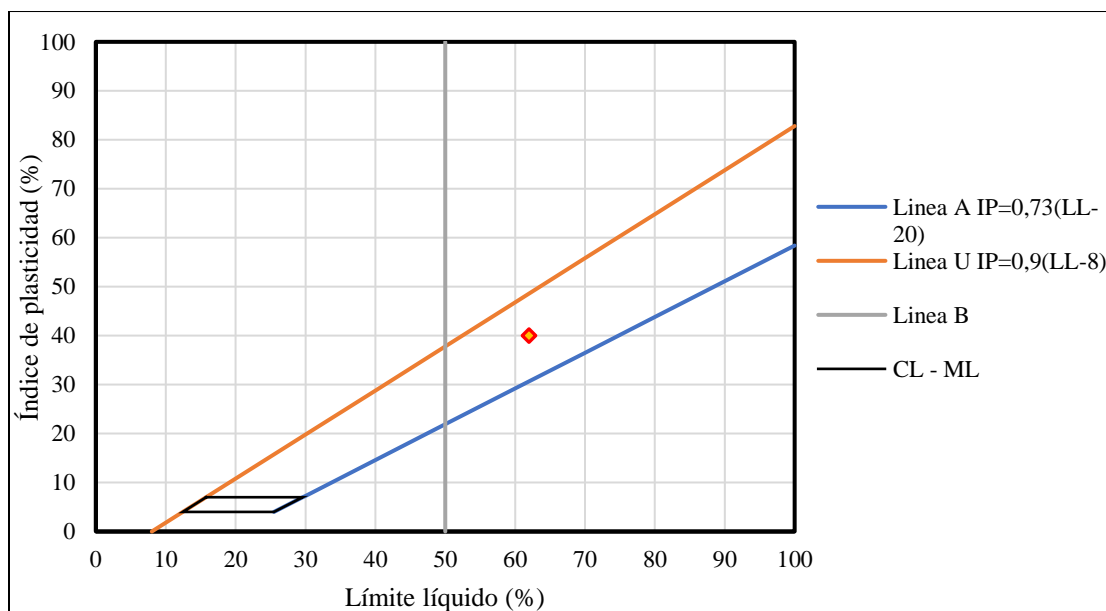
Límites de consistencia, suelo estado natural

Ensayo	LL (%)	LP (%)	IP (%)
1	61	21	40
2	63	22	41
Promedio	62	22	40

Nota. LL= Límite líquido, LP= límite plástico y IP= índice de plasticidad.

Figura 19

Carta de plasticidad, ubicación del material



El suelo en estudio es un CH, aplicando la carta de plasticidad de Casagrande, arcilla de alta plasticidad.

Determinación del contenido de cal óptima para estabilizar el suelo

Para determinar el contenido de cal óptimo, se aplicó la norma I.N.VE-601-13, el método planteado permitió encontrar la proporción de cal requerida para estabilizar el suelo, por medio de la determinación del menor porcentaje de cal, que arroje un resultado de 12.4 en la medida del pH. Es válido mencionar que, para este ensayo, el suelo fue tamizado en tamiz de No. 40.

Especificaciones técnicas cal hidratada de uso general 75 Argos

Tabla 5

Especificaciones técnicas cal hidratada 75 uso general

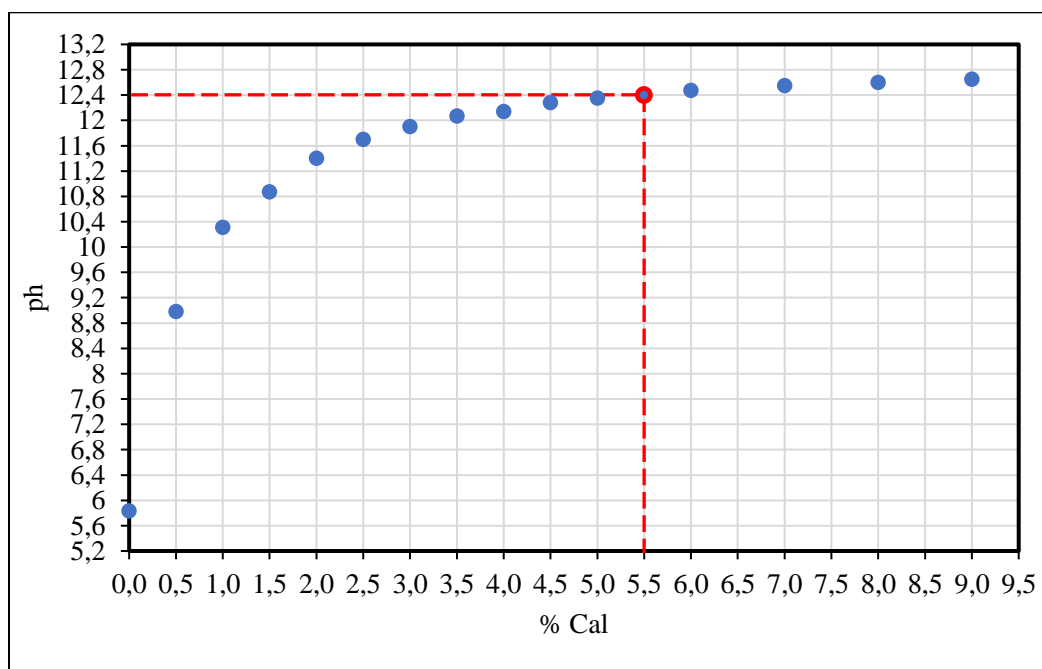
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:		
CARACTERÍSTICA QUÍMICAS (ASTM C25/NTC 5059)		
Hidróxido de Calcio	Ca(OH) ₂	72,0% mín.
Óxido de Magnesio	MgO	1,5% máx.
Silice	SiO ₂	1,5% máx.
Óxido de Hierro + Aluminio	Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃	0,5% máx.
Insolubles	HCl	2,0% máx.
CARACTERÍSTICA FÍSICAS (ASTM C-25/NTC 5059)		
Humedad	H ₂ O	1,0% máx.
CARACTERÍSTICA FÍSICAS (ASTM C-110/NTC 5233)		
Granulometría	%P200	85,0% mín.
PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS		
- Color Blanco o ligeramente amarillento - Sin Olor - Densidad: 1,117 g/ml - pH: 11,0 - 12,5 a 25°C (Solución acuosa)		
- Punto Fusión: 2570°C - punto de ebullición: 2850°C		

Nota. Especificaciones técnicas cal hidratada 75, tomado de (Grupo Argos, 2021)

A partir de la figura 20 se pudo establecer el contenido de cal óptimo para la estabilización del suelo:

Figura 20

Porcentaje de cal vs medición de pH



Se obtuvo que el contenido de cal óptima es de 5.5%, a partir de este dato se determinaron las muestras a ensayar, se hicieron combinaciones teniendo como máximo el 5.5 % de aditivo, se tomó como referencia la masa total de cada muestra según el ensayo a realizar.

Límites de consistencia

Tabla 6

Resultados límites de consistencia

MUESTRA	LL (%)	LP (%)	IP (%)
SN	62	22	40
5.5C	50	26	24
4.5C1.0CHP	49	26	22
3.0C2.5CHP	48	23	25
1.5C4.0CHP	58	23	35
5.5CHP	48	17	31

A partir de la tabla 6, se puede observar que hay un decrecimiento en el IP, a medida que se fueron agregando los aditivos, cal y CHP, se observa que la cal tiene una mejor efectividad a la hora de disminuir el IP, que la CHP, no obstante, también se evidencia que en las muestras con aditivo CHP+Cal, la CHP complementa a la cal y también disminuye en cierta medida el IP.

Ensayo normal de compactación

Tabla 7

Resultado densidad máxima seca a partir del ensayo normal de compactación

Muestra	$\omega_{opt.}$ (%)	$\gamma_{d\ max}$ (g/cm ³)
SN	16	1,704
5.5C	16	1,636
4.5C1.0CHP	17,8	1,682
3.0C2.5CHP	23	1,594
1.5C4.0CHP	17	1,661
5.5CHP	14	1,675

Tomando como base la norma I.N.VE – 141 – 13, se realizó el ensayo normal de compactación, para este ensayo se prepararon las mezclas de cada muestra, almacenándolas en

plástico, dejándolas hidratar por un período de 24 horas, para posteriormente realizar la compactación de cada muestra. En la tabla 7, se evidencia que el valor de la densidad máxima seca disminuyó adicionando cal y CHP, en la muestra en que más disminuyó este valor fue la de 3% Cal+2.5% CHP, un resultado de 1.594 kg/m^3 , disminuyó 6.63% respecto al suelo en su estado natural.

Resistencia a la compresión inconfiada de mezclas compactadas suelo-cal.

Este ensayo permite determinar si una mezcla de suelo-cal-agua, expuesta a un tiempo de curado, cumple con las condiciones mínimas requeridas para ser aprovechadas en el mejoramiento y estabilización de subrasantes.

Para este ensayo, las muestras se prepararon con una cantidad de 2500 g. de suelo arcilloso, tamizado por un tamiz No. 40, se ensayaron las siguientes muestras. 5.5% cal, 4% + 1.5 CHP, 3% cal+ 2.5% CHP, 5.5% CHP

Nota: Hubo inconvenientes a la hora de fallar la muestra de 1.5 % cal + 4 % CHP, debido a la baja cantidad de cal presente en esta muestra. La muestra se desmoronó antes de poder fallarla.

Las muestras se prepararon de la siguiente manera: el material fue almacenado en plástico, debidamente sellado, dejándolo hidratar por un periodo de 24 h, luego de este tiempo se fabricaron las probetas en el molde especificado por la norma, compactando las capas a 25 golpes, ver *figura 16*.

Luego de su fabricación, las probetas fueron envueltas cuidadosamente en plástico y se guardaron en el horno a una temperatura de 40 °C durante 7 días. Pasados los 7 días las probetas se saturaron por capilaridad, cubriendo cada probeta en un geotextil absorbente durante 24 h.

Figura 21

Probetas en saturación por capilaridad



Figura 22

Comportamiento esfuerzo - deformación unitaria muestra 5.5% cal

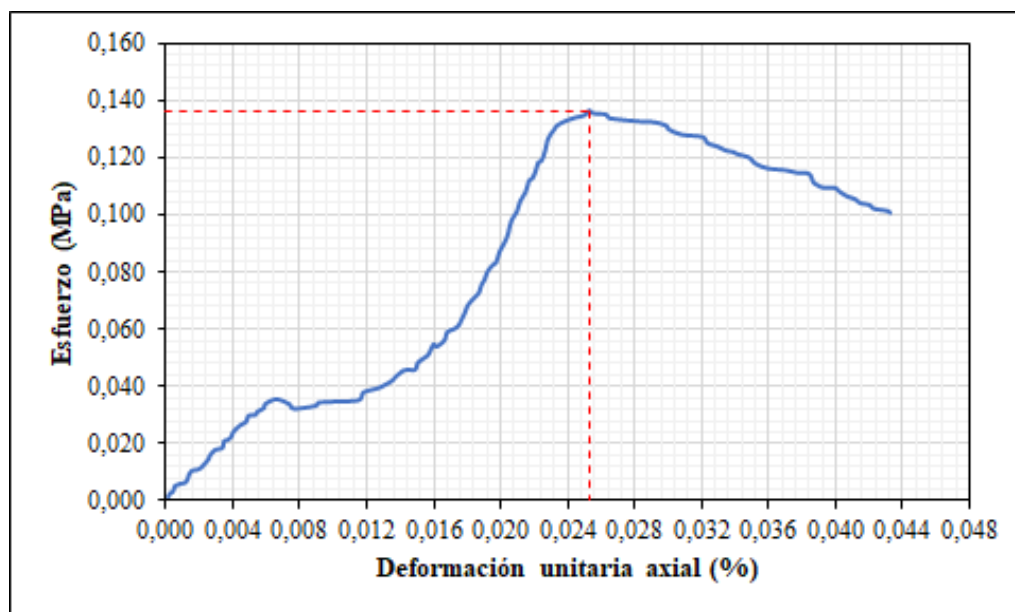
**Figura 23**

Esquema de falla muestra 5.5% cal



Figura 24

Comportamiento esfuerzo - deformación unitaria muestra 4.5% cal + 1.0% CHP

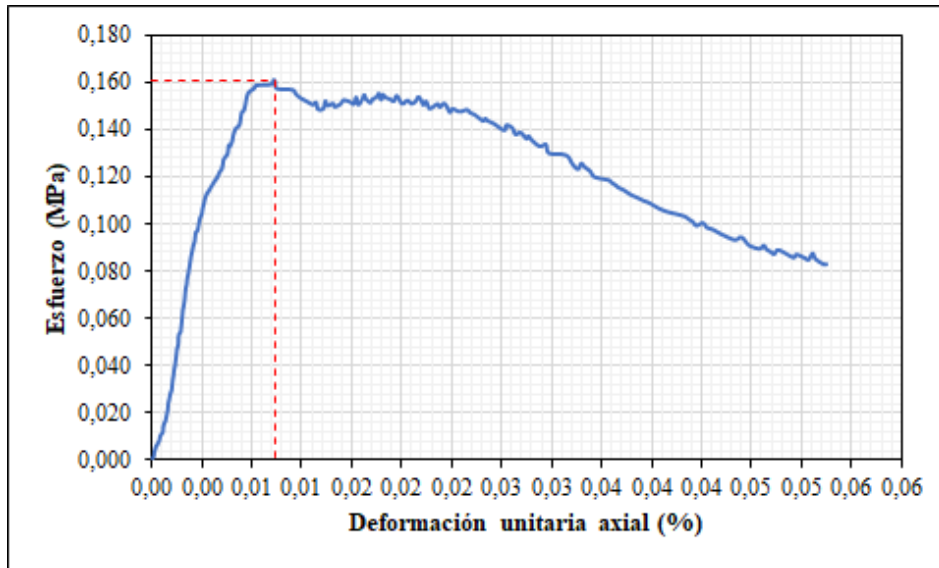
**Figura 25**

Esquema de falla muestra 4.5% cal +1.0% CHP



Figura 26

Comportamiento esfuerzo - deformación muestra 3.0% cal + 2.5% CHP

**Figura 27**

Esquema de falla probeta 3.0% cal + 2.5% CHP



Figura 28

Esquema de falla muestra 5.5% CHP



Nota. Durante la ejecución del ensayo de la muestra 5.5% CHP no presentó una falla típica de compresión.

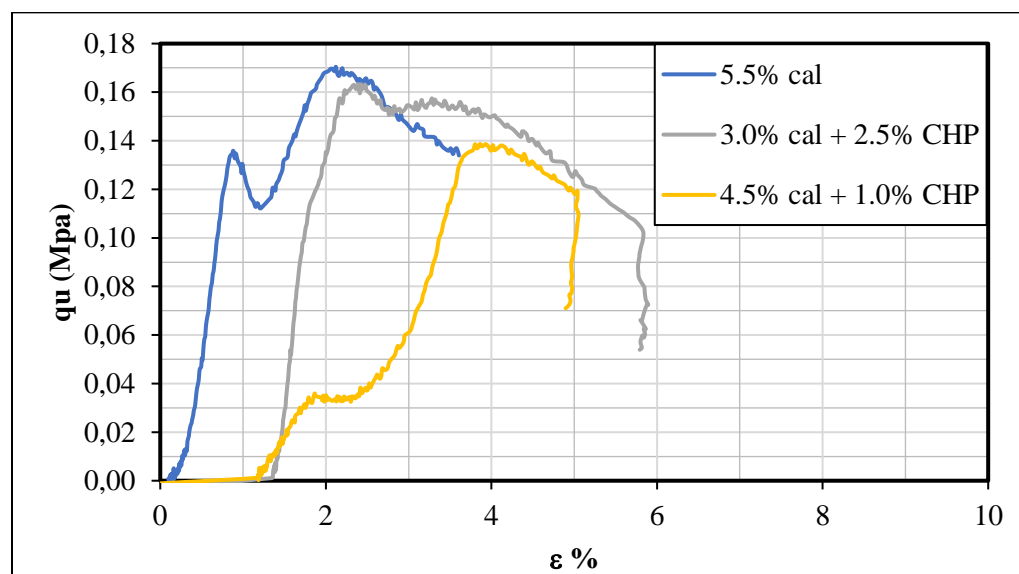
Las figuras 22 – 29 muestran el comportamiento a detalle de cada una de las muestras que se sometieron a ensayo de compresión inconfiada y su respectivo esquema de falla, los datos arrojados por el ensayo se consolidaron en la tabla 8.

La figura 30 agrupa el comportamiento de las muestras de ensayo, la cual permite evidenciar que la muestra que obtuvo mayor resistencia a la compresión inconfiada fue la 5.5% cal con 0.614 Mpa, seguido de las muestras 3.0% cal + 2.5%CHP con 0.160 Mpa y 4.5% cal + 1.0% CHP. La muestra 5.5% CHP tuvo un comportamiento atípico con respecto a las demás

muestras, asimismo, se evidencia que individualmente la CHP no mejora la resistencia a la compresión inconfiada.

Figura 29

Esfuerzo vs deformación unitaria



Nota. La probeta correspondiente a la muestra compuesta por 1.5% cal + 4.CHP se desmoronó antes de la prueba.

Tabla 8

Resumen valores de esfuerzos obtenidos ensayo de compresión inconfiada para muestras de suelo-cal

Muestra	qu (Mpa)
5.5% cal	0.164
4.0% cal + 1.5% CHP	0.136
3.0% cal + 2.5% CHP	0.160

Nota. La muestra 5.5% de CHP no reportó un resultado congruente de resistencia a la compresión, no presentó falla, la muestra sólo se comprimió.

CBR de suelos compactados en laboratorio y sobre muestra inalterada.

El ensayo de CBR (*california bearing ratio*), permite determinar el índice de resistencia de los suelos de muestras elaboradas en el laboratorio y muestras inalteradas tomadas *in situ*. Es utilizado en su mayoría, para el diseño de vías.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para este ensayo:

Tabla 9

Densidad seca máxima, CBR, expansión y absorción

Muestra	Densidad seca (kg/m ³)	CBR (%)	Expansión (%)	Absorción (%)
SN	1537.2	0.83	2.50	18.49
5.5% cal	1471.5	6.20	1.95	13.90
4.5% cal + 1.0% CHP	1509.3	10.30	2.50	13.20
3.0% cal + 2.5% CHP	1434.6	7.20	1.97	10.40
1.5% cal + 4.0% CHP	1494.0	3.70	2.81	1.95
5.5% CHP	1503.0	0.38	1.73	2.00

Nota. En los anexos se encuentran todas las memorias de cálculo de todos los ensayos realizados durante esta investigación.

A partir de la tabla 9. se evidencia que los mejores resultados de CBR, expansión y absorción fueron los resultados obtenidos de las muestras 4.5% cal + 1.0% CHP, 5.5%CHP, 1.5% cal + 4.0% CHP, respectivamente.

Conclusiones

En base en los ensayos realizados de límites de consistencia, (límite líquido, límite plástico), se evidencia que los aditivos de CHP y cal, disminuyeron el índice de plasticidad del suelo en estudio, el mejor resultado de IP fue el obtenido de la muestra con adición de 4.5% de Cal y 1 % huevo, con un IP de 22. También es válido aclarar que, observando el comportamiento de manera individual de cada aditivo, la CHP no es tan efectiva como la cal, pero con una determinada proporción de CHP, menor que la proporción de cal, esta complementa a la cal, en la disminución del IP del suelo.

Según los resultados arrojados en la evaluación de la expansión por los ensayos de CBR en cada una de las muestras, se concluye que la cascara de huevo pulverizada tiene un mejor comportamiento frente a la expansión. Con una expansión de 1,73% fue la probeta con el mejor comportamiento, comparándolas con la expansión del suelo natural (2.5%).

De acuerdo con los ensayos realizados de CBR y compresión confinada, se puede concluir que la CHP, de manera individual, no aporta una resistencia al suelo, como si lo hace la cal, los mejores resultados de resistencia fueron obtenidos en las muestras donde había adición de CHP y cal, se pudo evidenciar que el porcentaje de cal fue mayor en las muestras, esto quiere decir que, la CHP no puede reemplazar del todo a la cal, a la hora de mejorar la resistencia de material.

La evaluación de la expansión permite evidenciar que el uso de la cal y la CHP se debe implementar por separado o en porcentajes similares sin diferenciar en más del 0.5% uno del otro, ya que, estas probetas obtuvieron un comportamiento positivo frente al cambio volumétrico

con valores de 1,95% para la cal (5.5 % Cal), 1.73% para la CHP (5.5 % CHP) y 1.97% para la combinación entre cal y CHP (3.0 % cal + 2.5 % CHP).

En general la muestra que tuvo mejor comportamiento en los ensayos realizados fue 4,5 cal + 1,0 CHP, esto permite concluir que la CHP por si sola no aporta una mejoría al comportamiento de las propiedades índice y de resistencia al suelo expansivo.

Recomendaciones

Se recomienda tamizar la CHP para obtener una fracción más pequeña de este material, emplear un tamiz No. 200

Se recomienda realizar ensayos de modulo resiliente para analizar el comportamiento del suelo junto con la cascara de huevo, ante cargas cíclicas.

Se recomienda analizar el comportamiento del material en el tiempo, es decir, ensayos a 7, 14, 21 y 28 días, con el fin de analizar la maduración de la cal junto con la cáscara de huevo pulverizada.

Se recomienda analizar suelos con un índice de plasticidad mayor.

Se recomienda realizar mayores variaciones entre los porcentajes de la cáscara de huevo y la cal.

De ser necesario secar el suelo al horno para ser tamizado y cumplir con algún requisito de granulometría, se recomienda secar el suelo a una temperatura no mayor a 60°C con el fin de evitar cambiar las propiedades químicas del suelo. De igual forma, se recomienda secar todo el suelo y procesarlo en conjunto y finalmente hacer una homogenización, para poder establecer cuarteos del suelo y realizar los ensayos en un suelo homogéneo.

Bibliografía

- Libros

Montejo A. [Alberto], Montejó A. [Alejandro], Montejó A. [Alfonso] (2018). *Estabilización de suelos*. Bogotá, Colombia: Editorial Ediciones de la U.

Braja, M. Das (2012). *Fundamentos de la Ingeniería de cimentaciones*. México, D.F. Cengage Learning Editores, S.A. de C.V

- Tesis

Valdés, M. (2007). *La cáscara del huevo: ¿desecho o valor agregado para la salud humana y la producción avícola? una experiencia cubana*. La Habana, Centro de Investigaciones de Bioelementos Naturales BIONAT.

Orjuela, J. A., Pérez, J.C., (2018). *Análisis experimental de la expansividad en suelos bentoníticos*. Bogotá, Universidad Católica de Colombia.

Gómez, A.J., Leal, J.L., (2017). *Determinación del límite líquido y plástico para un suelo caolín amarillo usando el penetrómetro de cono de caída con diferentes modelos de cono*. Bogotá, Universidad Católica de Colombia.

Gómez, C. (2019). *Comportamiento geotécnico de suelos arcillosos compactados, respuesta a cargas estáticas y dinámicas*. Madrid, España. Universidad Complutense de Madrid.

Huezo, H., Orellana, A., (2009). *Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en el salvador*. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador.

García, J. (2019). *Estudio de la técnica de suelo-cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de caolín*. Bogotá, Colombia. Universidad Católica de Colombia.

- Revistas

Amu, O.O., Fajobi, A.B., Oke, B.O., (2005). Effect of Eggshell Powder on the Stabilizing Potential of Lime on an Expansive Clay Soil. *Journal of Applied Sciences*, 5 (8), 1474-1478.

Bapiraju P., Nagendra P.K., (2019). An Experimental Investigation on Expansive Soil in Conjunction With Egg Shell Powder and Rock Dust. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 10 (5), 9-21.

Lie I., Wong K., (2016). Study Added of Waste Chicken Egg Shell in Soils. *MATEC Web of Conferences* 60 (02007).

- Cibergrafía

FENAVI (2020). Tomado de <https://fenavi.org/informacion-estadistica/>

ARGOS (2021). Tomado de colombia.argos.co/cal-hidratada-de-uso-general/



TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

ENSAYO DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE EXPANSIÓN - INV E 000

Descripción: Arcilla gris con betas amarillas

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

Determinación de humedad	
Recipiente No.	4
Masa muestra húmeda + recipiente (g)	256,38
Masa muestra seca + recipiente (g)	238,48
Masa recipiente (g)	124,87
Peso muestra seca (g)	113,61
Masa agua (g)	17,90
Húmedad (%)	16

Prueba Expansión	
Diámetro Anillo (mm)	50,86
Diámetro Anillo (m)	0,051
Área (m ²)	0,002
Masa de carga (g)	391,9
Relación de palanca	10
Fuerza de carga (kN)	0,038
Esfuerzo de expansión (kN/m ²)	18,9



TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

ENSAYO DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE EXPANSIÓN - INV E 601

Descripción: Arcilla gris con betas amarillas

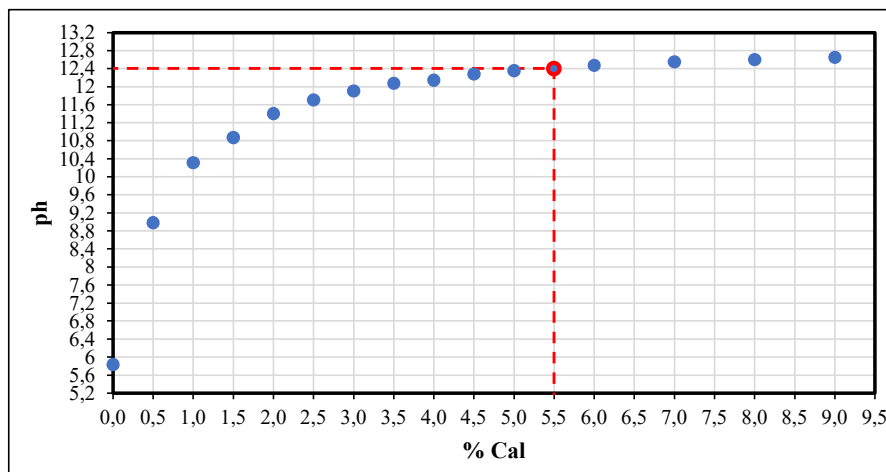
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

Cantidad de agua por muestra (mL)	50
Cantidad de suelo por muestra(g)	25

% Cal	Ph medido
0,0	5,83
0,5	8,98
1,0	10,31
1,5	10,87
2,0	11,40
2,5	11,70
3,0	11,90
3,5	12,07
4,0	12,14
4,5	12,28
5,0	12,35
5,5	12,40
6,0	12,47
7,0	12,55
8,0	12,60
9,0	12,65

% Óptimo Cal	Ph medido
5,5	12,40





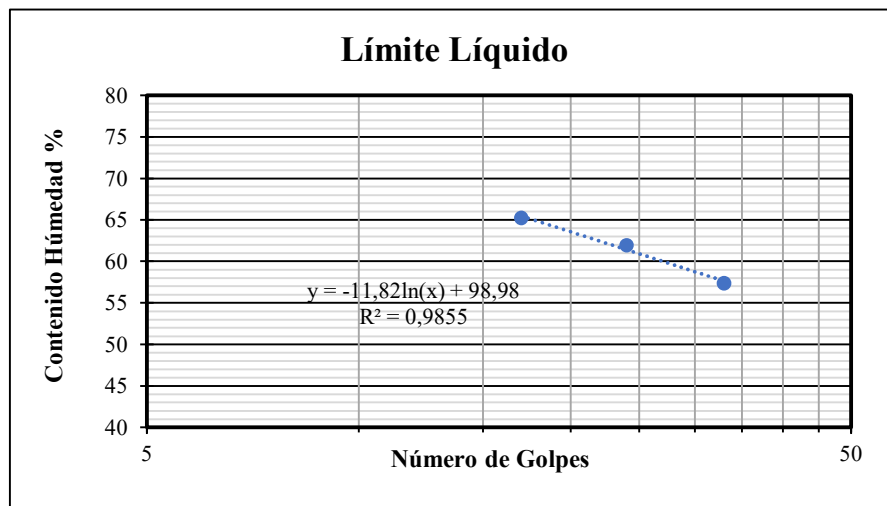
TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 125
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 126**

Descripción: Suelo natural
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca Fecha: _____

ENSAYO 1

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Recipiente (N°)	100	139	111	105	C
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	41,31	40,90	39,90	29,88	30,72
Masa recipiente + suelo seco (g)	35,85	35,25	34,65	27,99	28,65
Masa recipiente (g)	26,33	26,13	26,60	18,88	18,70
Masa suelo seco (g)	9,52	9,12	8,05	9,11	9,95
Masa del agua (g)	5,46	5,65	5,25	1,89	2,07
Contenido de Humedad (%)	57	62	65	21	21
N° de Golpes	33	24	17		21



RESULTADOS	
LL (%)	61
LP (%)	21
IP (%)	40

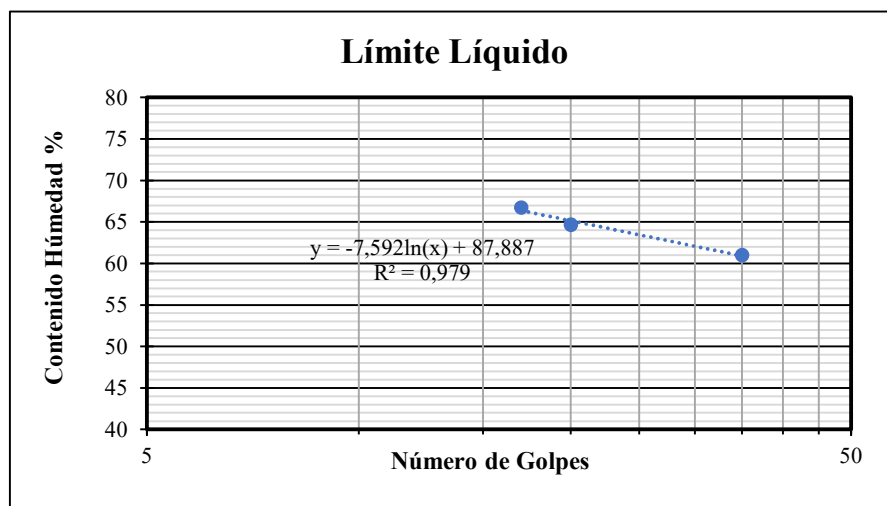
TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 125
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 126**

Descripción: Suelo natural
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca Fecha: _____

ENSAYO 2

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Recipiente (N°)	129	136	112	2	32
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	46,22	41,12	42,09	26,80	25,70
Masa recipiente + suelo seco (g)	38,90	35,26	35,81	25,56	24,46
Masa recipiente (g)	26,90	26,20	26,40	20,00	18,90
Masa suelo seco (g)	12,00	9,06	9,41	5,56	5,56
Masa del agua (g)	7,32	5,86	6,28	1,24	1,24
Contenido de Humedad (%)	61	65	67	22	22
N° de Golpes	35	20	17		22



RESULTADOS	
LL (%)	63
LP (%)	22
IP (%)	41



**TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON
CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS**

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 125
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 126**

Descripción: Suelo natural
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

Suelo natural			
Ensayo	LL (%)	LP (%)	IP (%)
1	61	21	40
2	63	22	41
Promedio	62	22	40



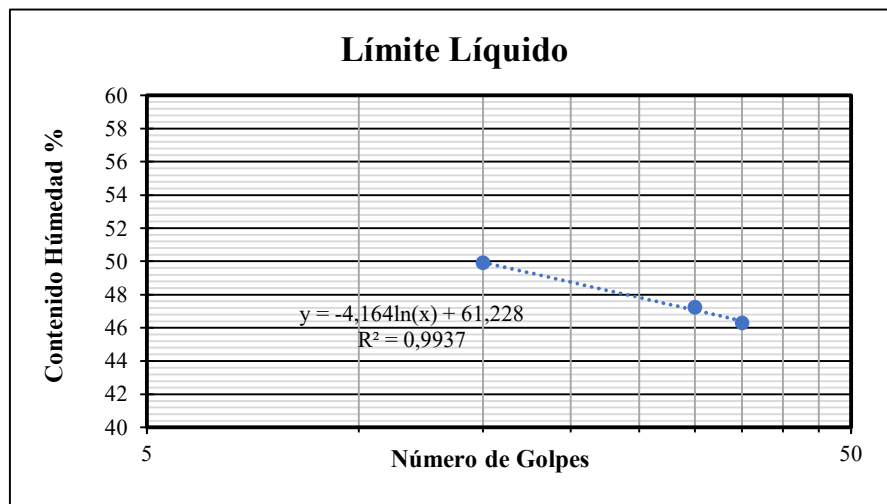
TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 125
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 126**

Descripción: Suelo natural + 5.5% cal
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca Fecha: _____

ENSAYO 1

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Recipiente (N°)	151	105	103	46	1
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	35,40	35,31	35,75	23,08	30,57
Masa recipiente + suelo seco (g)	32,53	32,67	32,56	20,57	28,38
Masa recipiente (g)	26,33	27,08	26,17	11,15	20,04
Masa suelo seco (g)	6,20	5,59	6,39	9,42	8,34
Masa del agua (g)	2,87	2,64	3,19	2,51	2,19
Contenido de Humedad (%)	46	47	50	27	26
N° de Golpes	35	30	15	26	



RESULTADOS	
LL (%)	48
LP (%)	26
IP (%)	22



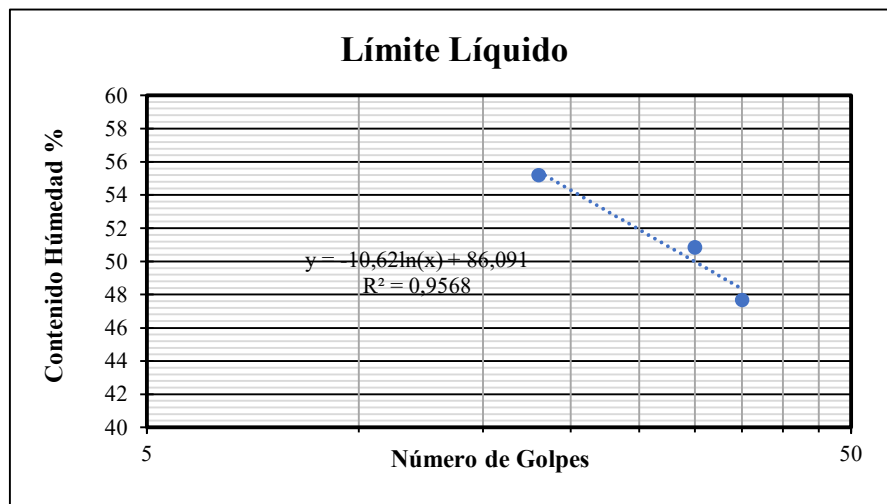
TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 125
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 126**

Descripción: Suelo natural + 5.5% cal
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca Fecha: _____

ENSAYO 2

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Recipiente (N°)	119	161	129	54	57
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	36,70	39,74	39,28	20,18	21,00
Masa recipiente + suelo seco (g)	33,51	35,56	34,88	18,12	18,89
Masa recipiente (g)	26,82	27,34	26,91	10,19	10,88
Masa suelo seco (g)	6,69	8,22	7,97	7,93	8,01
Masa del agua (g)	3,19	4,18	4,40	2,06	2,11
Contenido de Humedad (%)	48	51	55	26	26
N° de Golpes	35	30	18	26	



RESULTADOS

LL (%)	52
LP (%)	26
IP (%)	26



**TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON
CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS**

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 125
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 126**

Descripción: Suelo natural + 5.5% cal

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

Suelo natural + 5.5% cal			
Ensayo	LL (%)	LP (%)	IP (%)
1	48	26	22
2	52	26	26
Promedio	50	26	24



TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 125
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 126**

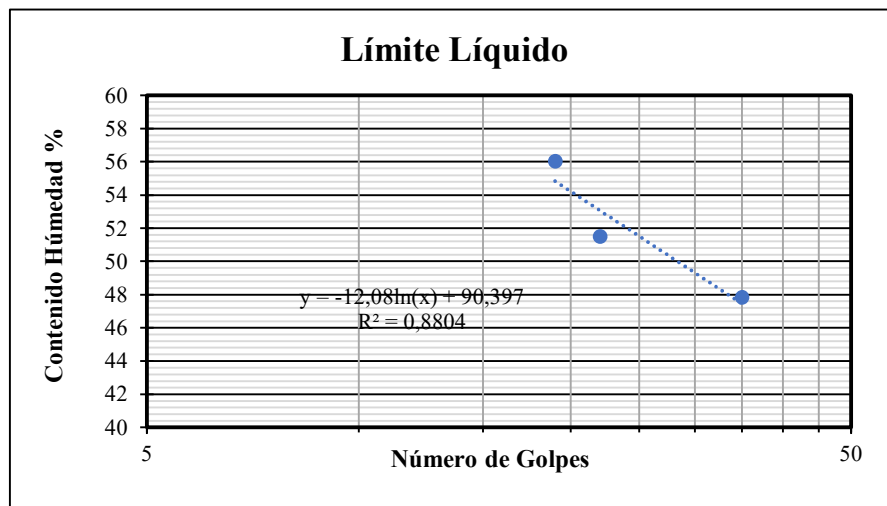
Descripción: Suelo natural + 4.5% cal + 1.0% CHP

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

ENSAYO 1

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	133	140	171	2	0
Recipiente (N°)	133	140	171	2	0
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	38,05	38,69	33,27	31,84	23,06
Masa recipiente + suelo seco (g)	34,19	34,55	30,76	29,21	20,74
Masa recipiente (g)	26,12	26,51	26,28	19,60	12,18
Masa suelo seco (g)	8,07	8,04	4,48	9,61	8,56
Masa del agua (g)	3,86	4,14	2,51	2,63	2,32
Contenido de Humedad (%)	48	51	56	27	27
N° de Golpes	35	22	19	27	27



RESULTADOS

LL (%)	52
LP (%)	27
IP (%)	25



TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 125
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 126**

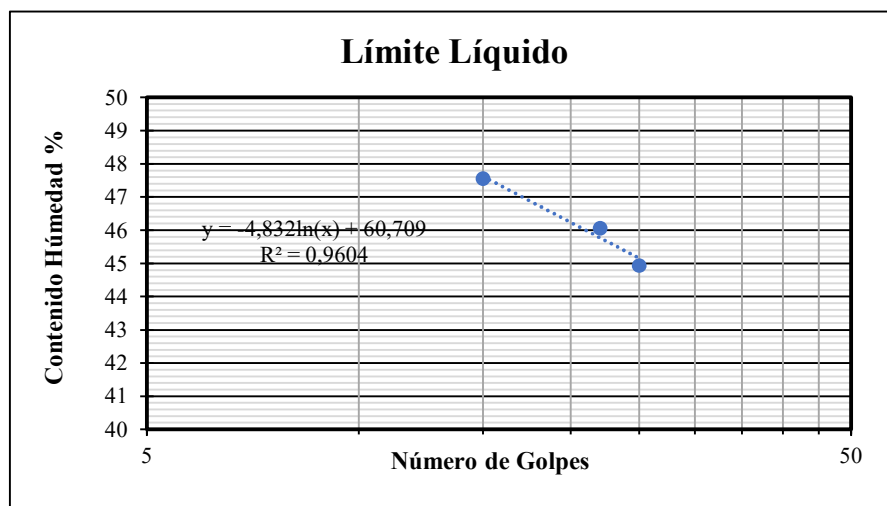
Descripción: Suelo natural + 4.5% cal + 1.0% CHP

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

ENSAYO 2

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Recipiente (N°)	125	115	174	89	72
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	43,78	38,52	40,66	15,44	15,49
Masa recipiente + suelo seco (g)	38,05	35,01	36,22	13,65	13,68
Masa recipiente (g)	26,00	27,39	26,34	6,48	6,45
Masa suelo seco (g)	12,05	7,62	9,88	7,17	7,23
Masa del agua (g)	5,73	3,51	4,44	1,79	1,81
Contenido de Humedad (%)	48	46	45	25	25
N° de Golpes	15	22	25	25	



RESULTADOS	
LL (%)	45
LP (%)	25
IP (%)	20



**TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON
CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS**

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 125
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 126**

Descripción: Suelo natural + 4.5% cal + 1.0% CHP
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

Suelo natural + 4.5% cal + 1.0% CHP			
Ensayo	LL (%)	LP (%)	IP (%)
1	52	27	25
2	45	25	20
Promedio	49	26	22



TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 125
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 126**

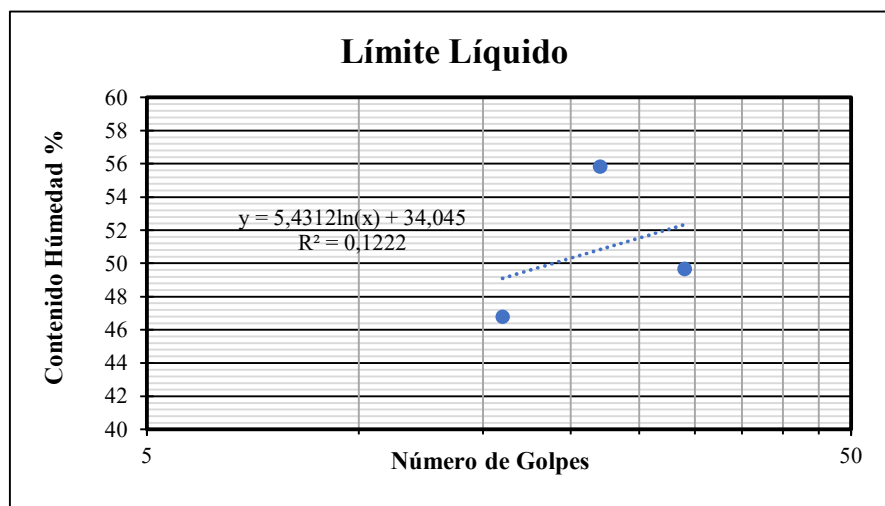
Descripción: Suelo natural + 3.0% cal + 2.5% CHP

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

ENSAYO 1

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Recipiente (N°)	117	130	173	118	M
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	38,93	35,20	33,77	31,18	30,14
Masa recipiente + suelo seco (g)	35,30	32,04	31,08	28,81	28,05
Masa recipiente (g)	27,99	26,38	25,33	19,82	20,02
Masa suelo seco (g)	7,31	5,66	5,75	8,99	8,03
Masa del agua (g)	3,63	3,16	2,69	2,37	2,09
Contenido de Humedad (%)	50	56	47	26	26
N° de Golpes	29	22	16		26



RESULTADOS	
LL (%)	52
LP (%)	26
IP (%)	26



TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 125
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 126**

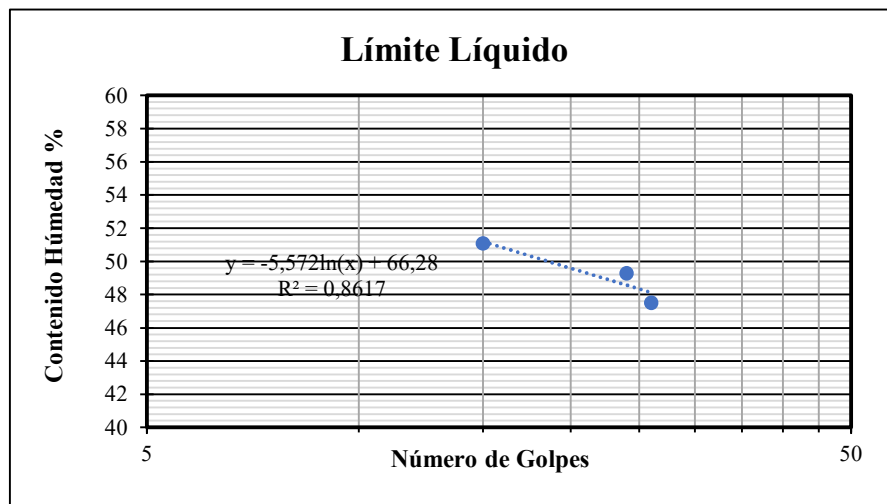
Descripción: Suelo natural + 3.0% cal + 2.5% CHP

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

ENSAYO 2

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	104	116	128	47	19
Recipiente (N°)	104	116	128	47	19
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	38,41	39,83	37,97	19,31	15,09
Masa recipiente + suelo seco (g)	34,48	35,37	33,98	17,56	13,59
Masa recipiente (g)	26,21	26,32	26,17	10,16	7,13
Masa suelo seco (g)	8,27	9,05	7,81	7,40	6,46
Masa del agua (g)	3,93	4,46	3,99	1,75	1,50
Contenido de Humedad (%)	48	49	51	24	23
N° de Golpes	26	24	15		23



RESULTADOS

LL (%)	48
LP (%)	23
IP (%)	25



**TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON
CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS**

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 125
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 126**

Descripción: Suelo natural + 3.0% cal + 2.5% CHP
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

Suelo natural + 3.0% cal + 2.5% CHP			
Ensayo	LL (%)	LP (%)	IP (%)
1	-	-	-
2	48	23	25
Promedio	48	23	25



TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 125
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 126**

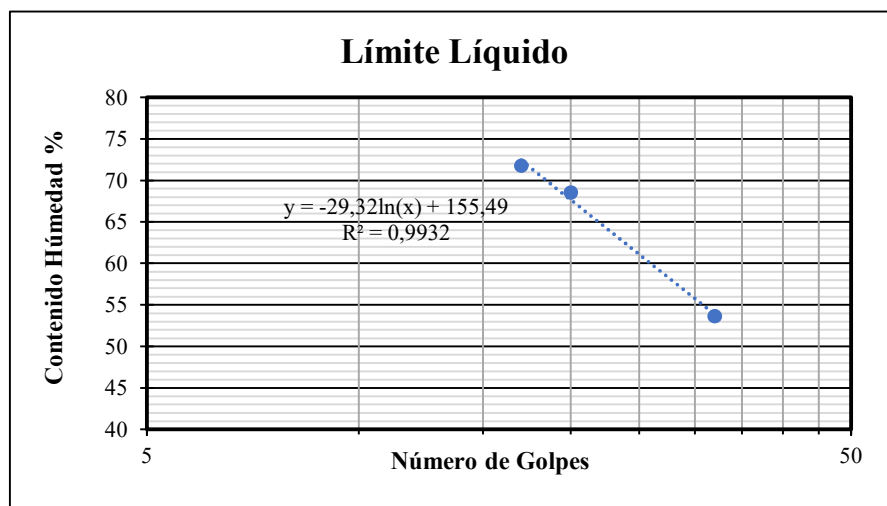
Descripción: Suelo natural + 1.5% cal + 4.0% CHP

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

ENSAYO 1

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	121	176	149	87	135
Recipiente (N°)	121	176	149	87	135
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	38,40	32,80	34,38	20,23	29,96
Masa recipiente + suelo seco (g)	34,57	30,23	31,28	18,55	28,06
Masa recipiente (g)	27,43	26,48	26,96	11,46	20,00
Masa suelo seco (g)	7,14	3,75	4,32	7,09	8,06
Masa del agua (g)	3,83	2,57	3,10	1,68	1,90
Contenido de Húmedad (%)	54	69	72	24	24
N° de Golpes	32	20	17		24



RESULTADOS

LL (%)	61
LP (%)	24
IP (%)	37

TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 125
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 126**

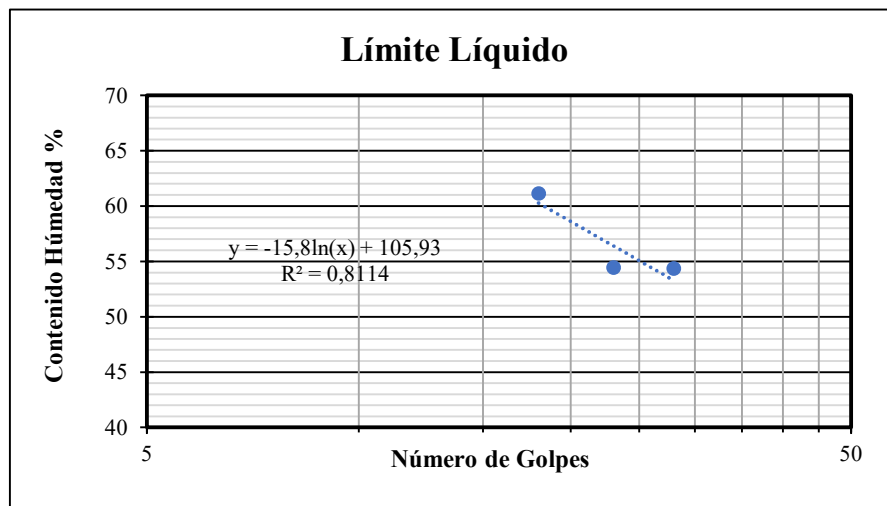
Descripción: Suelo natural + 1.5% cal + 4.0% CHP

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

ENSAYO 2

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Recipiente (N°)	145	135	102	24	66
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	33,35	35,42	38,25	14,38	14,37
Masa recipiente + suelo seco (g)	30,86	32,18	33,72	12,94	12,96
Masa recipiente (g)	26,28	26,23	26,31	6,46	6,57
Masa suelo seco (g)	4,58	5,95	7,41	6,48	6,39
Masa del agua (g)	2,49	3,24	4,53	1,44	1,41
Contenido de Humedad (%)	54	54	61	22	22
N° de Golpes	28	23	18	22	



RESULTADOS

LL (%)	55
LP (%)	22
IP (%)	33



**TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON
CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS**

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 125
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 126**

Descripción: Suelo natural + 1.5% cal + 4.0% CHP
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

Suelo natural + 1.5% cal + 4.0% CHP			
Ensayo	LL (%)	LP (%)	IP (%)
1	61	24	37
2	55	22	33
Promedio	58	23	35

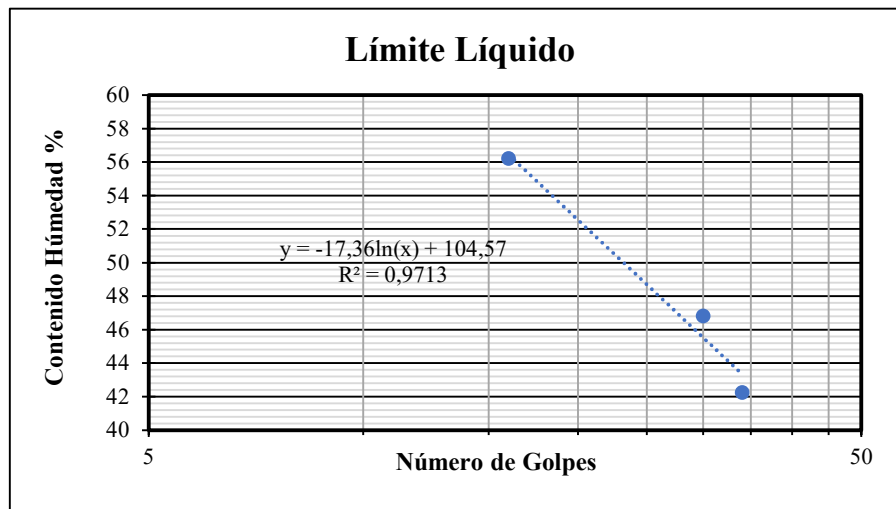
TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 125
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 126**

Descripción: Suelo natural + 5.5% CHP
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca Fecha: _____

ENSAYO 1

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	112	136	150	2	88
Recipiente (N°)	112	136	150	2	88
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	37,04	36,39	36,70	29,68	21,57
Masa recipiente + suelo seco (g)	33,87	33,15	33,22	28,21	20,17
Masa recipiente (g)	26,37	26,23	27,03	19,97	12,08
Masa suelo seco (g)	7,50	6,92	6,19	8,24	8,09
Masa del agua (g)	3,17	3,24	3,48	1,47	1,40
Contenido de Humedad (%)	42	47	56	18	17
N° de Golpes	34	30	16	18	



RESULTADOS

LL (%)	49
LP (%)	18
IP (%)	31

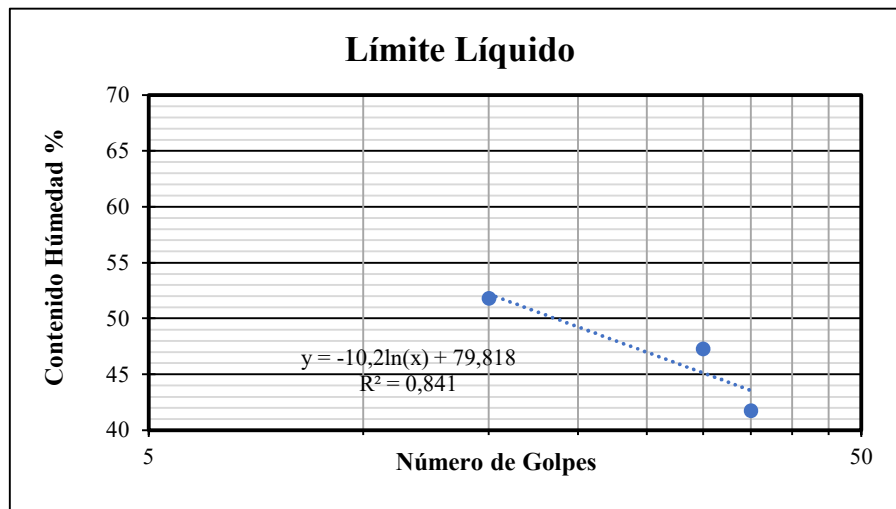
TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 125
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 126**

Descripción: Suelo natural + 5.5% CHP
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca Fecha: _____

ENSAYO 2

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	113	110	126	89	91
Recipiente (N°)	113	110	126	89	91
Masa recipiente + suelo húmedo (g)	38,69	35,77	35,62	19,49	19,31
Masa recipiente + suelo seco (g)	35,11	32,89	32,45	18,19	17,99
Masa recipiente (g)	26,54	26,80	26,33	10,26	9,95
Masa suelo seco (g)	8,57	6,09	6,12	7,93	8,04
Masa del agua (g)	3,58	2,88	3,17	1,30	1,32
Contenido de Humedad (%)	42	47	52	16	16
N° de Golpes	35	30	15	16	



RESULTADOS

LL (%)	47
LP (%)	16
IP (%)	31



**TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON
CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS**

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 125
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 126**

Descripción: Suelo natural + 5.5% CHP

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

Suelo natural + 5.5% CHP

Ensayo	LL (%)	LP (%)	IP (%)
1	49	18	31
2	47	16	31
Promedio	48	17	31



**TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON
CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS**

**DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 125
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS - I.N.V. E - 126**

Descripción: Resultados de cada una de las muestras de ensayo

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

MUESTRA	LL (%)	LP (%)	IP (%)
SN	62	22	40
5.5C	50	26	24
4.5C1.0CHP	49	26	22
3.0C2.5CHP	48	23	25
1.5C4.0CHP	58	23	35
5.5CHP	48	17	31

TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON
CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

RELACIONES DE HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO NORMAL
DE COMPACTACIÓN) - I.N.V. E - 141

Descripción: Suelo natural (Arcilla de alta compresibilidad) Fecha: _____
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca Metodo: A

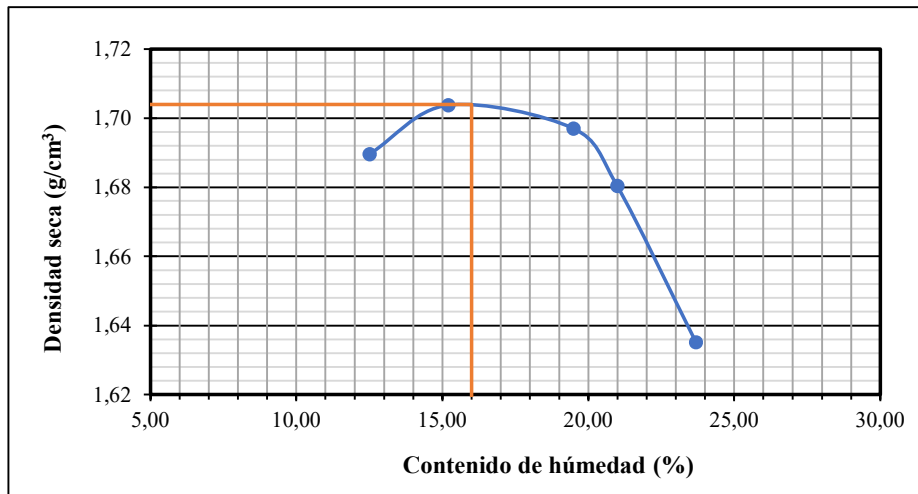
Volumen del molde (cm ³)	937,98	Masa molde (g)	4067
--------------------------------------	--------	----------------	------

DATOS DE COMPACTACIÓN

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	5
W (%)	12	15	18	21	24
Agua adicional (g)	264	330	396	462	528
Masa molde + suelo húmedo (g)	5850	5908	5969	5974	5964
Masa muestra húmeda (g)	1783	1841	1902	1907	1897
Masa muestra seca (g)	1585	1598	1592	1576	1534
Densidad húmeda (g/cm ³)	1,90	1,96	2,03	2,03	2,02
Densidad seca (g/cm ³)	1,69	1,70	1,70	1,68	1,64

DATOS DE HUMEDAD

Recipiente N°	30	242	17	40	241
Masa muestra húmeda + recipiente (g)	185	235	192	234	217
Masa muestra seca + recipiente (g)	168,55	209,14	166,72	200,17	182,53
Masa recipiente	37	39	37	39	37
Húmedad (%)	12,50	15,20	19,49	20,99	23,69



Muestra	$\omega_{opt.}$ (%)	γ_d max (kg/m ³)
SN	16	1,704

TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON
CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

RELACIONES DE HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO NORMAL
DE COMPACTACIÓN) - I.N.V. E - 141

Descripción: Suelo natural (Arcilla de alta compresibilidad) + 5.5 cal Fecha: _____
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca Metodo: A

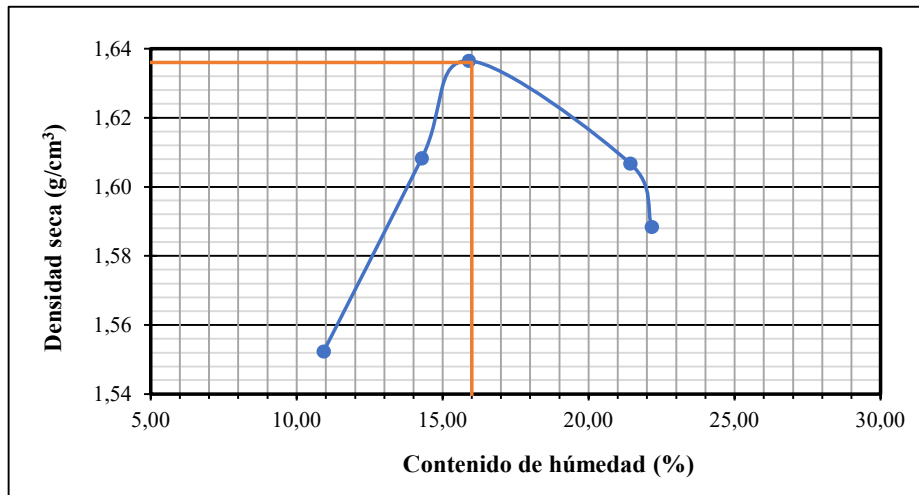
Volumen del molde (cm ³)	937,98	Masa molde (g)	3566
--------------------------------------	--------	----------------	------

DATOS DE COMPACTACIÓN

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	5
W (%)	12	15	18	21	24
Agua adicional (g)	264	330	396	462	528
Masa molde + suelo húmedo (g)	5181	5290	5345	5396	5386
Masa muestra húmeda (g)	1615	1724	1779	1830	1820
Masa muestra seca (g)	1456	1509	1535	1507	1490
Densidad húmeda (g/cm ³)	1,72	1,84	1,90	1,95	1,94
Densidad seca (g/cm ³)	1,55	1,61	1,64	1,61	1,59

DATOS DE HUMEDAD

Recipiente N°	243	44	2	OBCA	17
Masa muestra húmeda + recipiente (g)	231	245	262	235	254
Masa muestra seca + recipiente (g)	212	218	231	199	215
Masa recipiente	38	29	36	31	39
Húmedad (%)	10,92	14,29	15,90	21,43	22,16



Muestra	$\omega_{opt.}$ (%)	$\gamma_d \max$ (kg/m ³)
5.5C	16	1,636

TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON
CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

RELACIONES DE HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO NORMAL
DE COMPACTACIÓN) - I.N.V. E - 141

Descripción: Suelo natural + 4.5 cal + 1.0 CHP Fecha: _____
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca Metodo: A

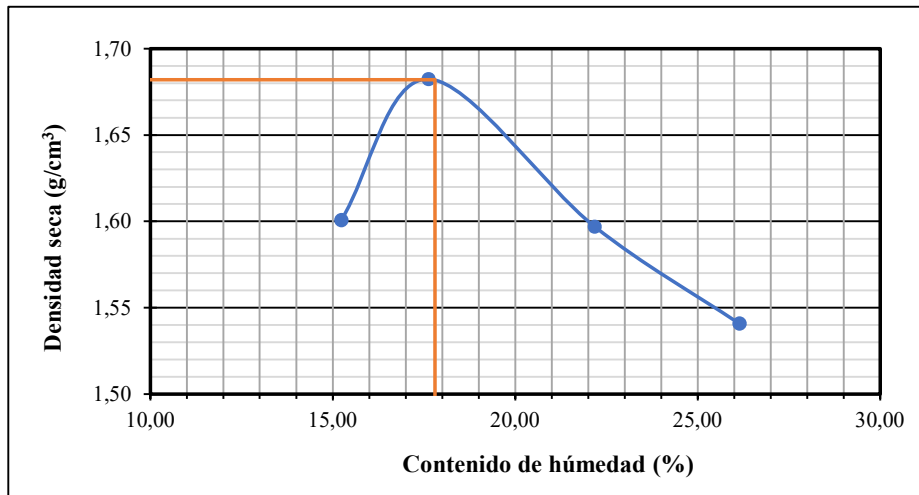
Volumen del molde (cm ³)	937,98	Masa molde (g)	3566
--------------------------------------	--------	----------------	------

DATOS DE COMPACTACIÓN

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	-
W (%)	15	18	21	24	-
Agua adicional (g)	330	396	462	528	-
Masa molde + suelo húmedo (g)	5296	5422	5396	5389	-
Masa muestra húmeda (g)	1730	1856	1830	1823	-
Masa muestra seca (g)	1501	1578	1498	1445	-
Densidad húmeda (g/cm ³)	1,84	1,98	1,95	1,94	-
Densidad seca (g/cm ³)	1,60	1,68	1,60	1,54	-

DATOS DE HUMEDAD

Recipiente N°	15	5	P-2	2G	-
Masa muestra húmeda + recipiente (g)	216	302	335	348	-
Masa muestra seca + recipiente (g)	193	265	284	285	-
Masa recipiente	42	55	54	44	-
Húmedad (%)	15,23	17,62	22,17	26,14	-



Muestra	$\omega_{opt.}$ (%)	γ_d max (kg/m ³)
5.5C	17,8	1,682

TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON
CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

RELACIONES DE HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO NORMAL
DE COMPACTACIÓN) - I.N.V. E - 141

Descripción: Suelo natural + 3.0 cal + 2.5 CHP Fecha: _____
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca Metodo: A

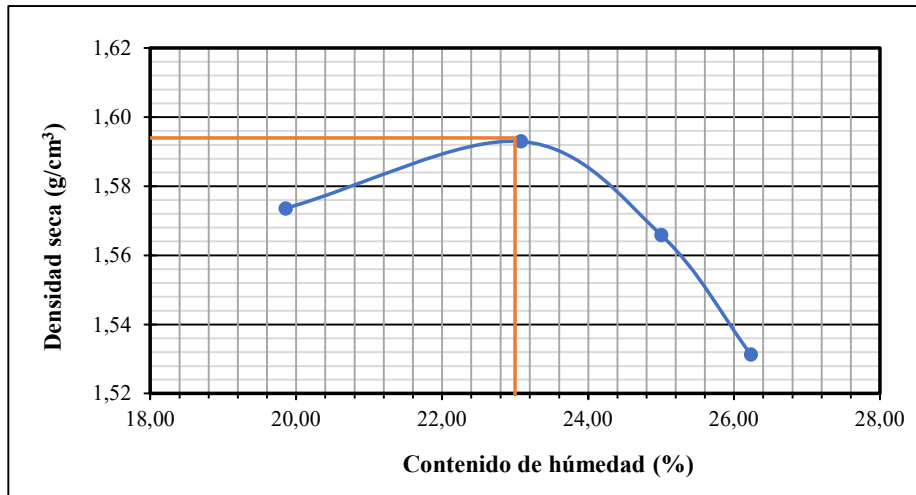
Volumen del molde (cm ³)	937,98	Masa molde (g)	3566
--------------------------------------	--------	----------------	------

DATOS DE COMPACTACIÓN

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	-
W (%)	20	23	25	26	-
Agua adicional (g)	440	506	550	572	-
Masa molde + suelo húmedo (g)	5335	5405	5402	5379	-
Masa muestra húmeda (g)	1769	1839	1836	1813	-
Masa muestra seca (g)	1476	1494	1469	1436	-
Densidad húmeda (g/cm ³)	1,89	1,96	1,96	1,93	-
Densidad seca (g/cm ³)	1,57	1,59	1,57	1,53	-

DATOS DE HUMEDAD

Recipiente N°	245	232	22	4	-
Masa muestra húmeda + recipiente (g)	218	246	279	270	-
Masa muestra seca + recipiente (g)	191	210	232	222	-
Masa recipiente	55	54	44	39	-
Húmedad (%)	19,85	23,08	25,00	26,23	-



Muestra	$\omega_{opt.}$ (%)	γ_d max (kg/m ³)
5.5C	23	1,594

TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON
CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

RELACIONES DE HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO NORMAL
DE COMPACTACIÓN) - I.N.V. E - 141

Descripción: Suelo natural + 1.5 cal + 4.0 CHP Fecha: _____
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca Metodo: A

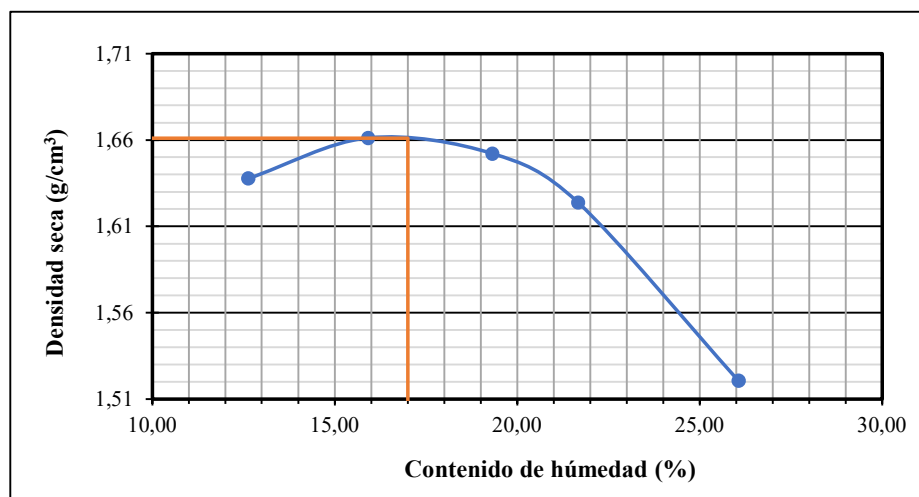
Volumen del molde (cm ³)	937,98	Masa molde (g)	3566
--------------------------------------	--------	----------------	------

DATOS DE COMPACTACIÓN

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	5
W (%)	13	16	19	22	25
Agua adicional (g)	286	352	418	484	550
Masa molde + suelo húmedo (g)	5296	5372	5415	5419	5364
Masa muestra húmeda (g)	1730	1806	1849	1853	1798
Masa muestra seca (g)	1536	1558	1550	1523	1426
Densidad húmeda (g/cm ³)	1,84	1,93	1,97	1,98	1,92
Densidad seca (g/cm ³)	1,64	1,66	1,65	1,62	1,52

DATOS DE HUMEDAD

Recipiente N°	4	10	13	N	B
Masa muestra húmeda + recipiente (g)	278	243	251	302	321
Masa muestra seca + recipiente (g)	252	215	217	263	272
Masa recipiente	46	39	41	83	84
Húmedad (%)	12,62	15,91	19,32	21,67	26,06



Muestra	$\omega_{opt.}$ (%)	γ_d max (kg/m ³)
5.5C	17	1,661

TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON
CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

RELACIONES DE HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO NORMAL
DE COMPACTACIÓN) - I.N.V. E - 141

Descripción: Suelo natural + 5.5 CHP Fecha: _____
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca Metodo: A

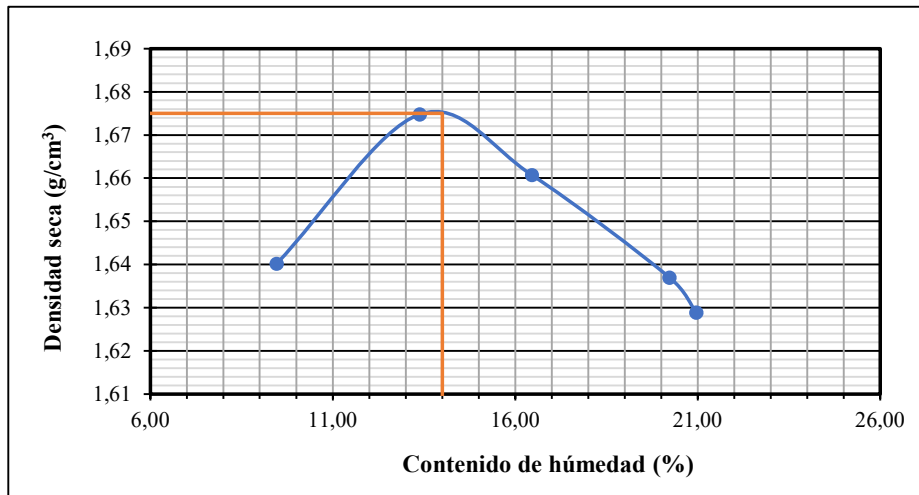
Volumen del molde (cm ³)	937,98	Masa molde (g)	3566
--------------------------------------	--------	----------------	------

DATOS DE COMPACTACIÓN

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	5
W (%)	9	13	16	19	22
Agua adicional (g)	198	286	352	418	484
Masa molde + suelo húmedo (g)	5250	5347	5380	5412	5414
Masa muestra húmeda (g)	1684	1781	1814	1846	1848
Masa muestra seca (g)	1538	1571	1558	1535	1528
Densidad húmeda (g/cm ³)	1,80	1,90	1,93	1,97	1,97
Densidad seca (g/cm ³)	1,64	1,67	1,66	1,64	1,63

DATOS DE HUMEDAD

Recipiente N°	8	4	22	31	5C
Masa muestra húmeda + recipiente (g)	198	218	227	249	239
Masa muestra seca + recipiente (g)	184	197	201	213	204
Masa recipiente	36	40	43	35	37
Húmedad (%)	9,46	13,38	16,46	20,22	20,96



Muestra	$\omega_{opt.}$ (%)	γ_d max (kg/m ³)
5.5C	14	1,675



**TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON
CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS**

**RELACIONES DE HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO
NORMAL DE COMPACTACIÓN) - I.N.V. E - 141**

Descripción: Resultados de cada una de las muestras de ensayo

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

Muestra	$\omega_{opt.}$ (%)	γ_d max (kg/m³)
SN	16	1,704
5.5C	16	1,636
4.5C1.0CHP	17,8	1,682
3.0C2.5CHP	23	1,594
1.5C4.0CHP	17	1,661
5.5CHP	14	1,675

TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO - I.N.V. E - 148

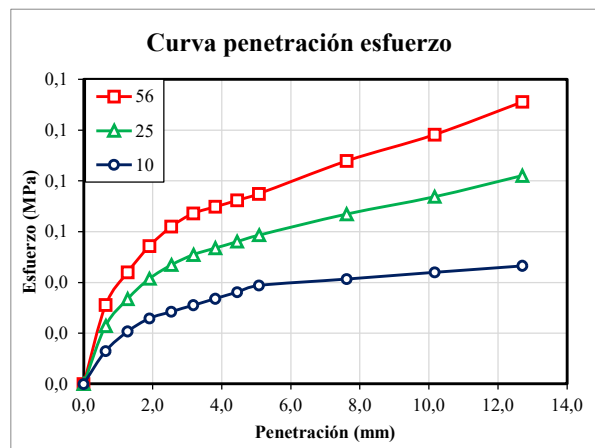
Descripción: Suelo natural (Arcilla de alta plasticidad)

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

1.0 ENSAYO DE COMPACTACIÓN				3.0 PRUEBA DE EXPANSIÓN			
Nº de golpes por capa	56	25	10	Nº de golpes por capa	56	25	10
Molde Nº	17	13	9	Lectura Inicial (Li) (pulg)	0,057	0,116	0,189
Peso Molde + muestra comp (g)	11510,0	11186,0	10790,0	Lectura 2do día (pulg)			
Peso Molde (g)	7282	7250	7163	Lectura 3er día (pulg)			
Peso muestra compactada (g)	4228	3936	3627	Lectura 4to día (Lf) (pulg)	0,177	0,253	0,345
Peso muestra compactada (lb)	9	9	8	Expansión total= Lf-Li (pulg)	0,1200	0,1362	0,1560
Volumen compactado (cm³)	2318,17	2315,54	2316,99	Expansión = E. (%)	2,388	2,718	3,119
Densidad Húmeda (g/cm³)	1,824	1,700	1,565	4.0 HUMEDAD DE SATURACIÓN			
Humedad (%)	16	16	16	Nº de golpes por capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm³)	1,570	1,466	1,350	Recipiente Nº (lata)	163	0	32
2.0 HUMEDAD DE COMPACTACIÓN				Peso lata + Suelo Húmedo (g)	212,10	154,37	162,94
Recipiente Nº (lata)	241	101	37	Peso lata + Suelo Seco (g)	166,52	124,38	130,62
Peso lata + Suelo Húmedo (g)	161,56	160,65	158,16	Peso lata (g)	35	38	38
Peso lata + Suelo Seco (g)	144,25	143,52	142,54	Humedad (%)	34,62	34,55	34,71
Peso lata (g)	37	36	45	Absorción (%)	18,45	18,59	18,77
Humedad (%)	16,18	15,96	15,94				

Molde Nº	17		13		9		
Nº golpes/capa / Condición	56		25		10		
Días Inmersión	0		0		0		
Penetración (mm)	Lect. dial	Esfuerzo		Lect. dial	Esfuerzo	Lect. dial	Esfuerzo
		Carga	Mpa				
0,000	0,000	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,635	0,025	0,060	0,031	0,044	0,023	0,025	0,013
1,270	0,050	0,085	0,044	0,065	0,033	0,040	0,021
1,905	0,075	0,105	0,054	0,080	0,041	0,050	0,026
2,540	0,100	0,120	0,062	0,091	0,047	0,055	0,028
3,175	0,125	0,130	0,067	0,099	0,051	0,060	0,031
3,810	0,150	0,135	0,070	0,104	0,053	0,065	0,034
4,445	0,175	0,140	0,072	0,109	0,056	0,070	0,036
5,080	0,200	0,145	0,075	0,114	0,059	0,075	0,039
7,620	0,300	0,170	0,088	0,130	0,067	0,080	0,041
10,160	0,400	0,190	0,098	0,143	0,074	0,085	0,044
12,700	0,500	0,215	0,111	0,159	0,082	0,090	0,047
C.B.R. Corr 0.1"		0,90		0,68		0,41	
C.B.R. Corr 0.2"		0,73		0,57		0,38	

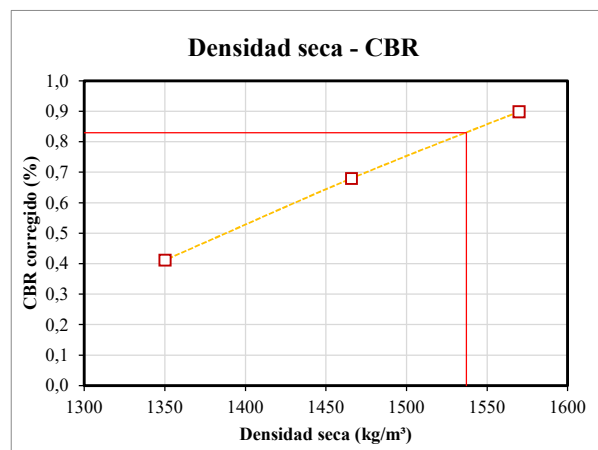
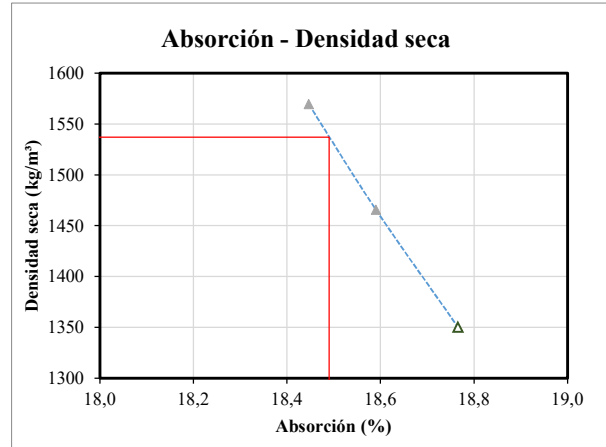
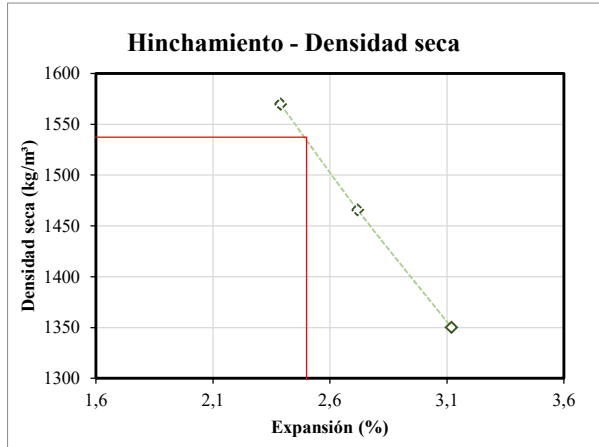


TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO - I.N.V. E - 148

Descripción: Suelo natural (Arcilla de alta plasticidad)
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____



Densidad seca (kg/m³)	CBR (%)	Expansión (%)	Absorción (%)
1537,2	0,83	2,50	18,49

TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO - I.N.V. E - 148

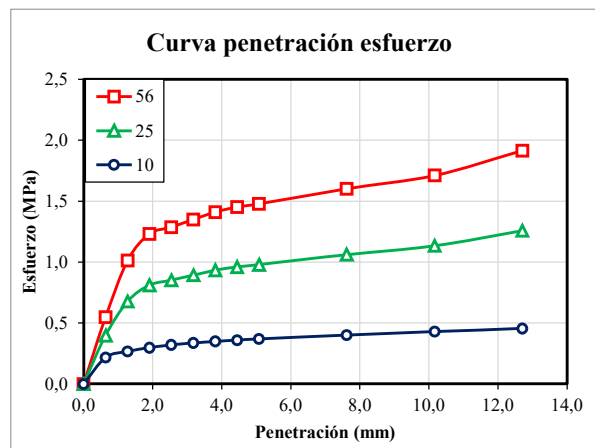
Descripción: Suelo natural (Arcilla de alta plasticidad) + 5.5 cal

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

1.0 ENSAYO DE COMPACTACIÓN				3.0 PRUEBA DE EXPANSIÓN			
Nº de golpes por capa	56	25	10	Nº de golpes por capa	56	25	10
Molde Nº	36	32	35	Lectura Inicial (Li) (pulg)	0,095	0,077	0,056
Peso Molde + muestra comp (g)	11849,0	11450,0	11110,0	Lectura 2do día (pulg)			
Peso Molde (g)	7428	7235	7163	Lectura 3er día (pulg)			
Peso muestra compactada (g)	4421	4215	3947	Lectura 4to día (Lf) (pulg)	0,166	0,162	0,158
Peso muestra compactada (lb)	10	9	9	Expansión total= Lf-Li (pulg)	0,0710	0,0850	0,1020
Volumen compactado (cm³)	2316,29	2317,62	2296,74	Expansión = E. (%)	1,417	1,694	2,034
Densidad Húmeda (g/cm³)	1,909	1,819	1,719	4.0 HUMEDAD DE SATURACIÓN			
Humedad (%)	18	18	18	Nº de golpes por capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm³)	1,621	1,537	1,453	Recipiente Nº (lata)	71	0	35
2.0 HUMEDAD DE COMPACTACIÓN				Peso lata + Suelo Húmedo (g)	205,00	178,98	181
Recipiente Nº (lata)	245	24	28	Peso lata + Suelo Seco (g)	168,39	145,40	145,05
Peso lata + Suelo Húmedo (g)	197,37	199,13	215,64	Peso lata (g)	44	38	35
Peso lata + Suelo Seco (g)	173,25	173,56	187,56	Humedad (%)	29,42	31,15	32,53
Peso lata (g)	38	34	34	Absorción (%)	11,64	12,81	14,26
Humedad (%)	17,77	18,34	18,27				

Molde Nº	36		32		35		
Nº golpes/capa / Condición	56		25		10		
Días Inmersión	0		0		0		
Penetración (mm)	Lect. dial		Lect. dial		Lect. dial		
	Esfuerzo		Esfuerzo		Esfuerzo		
(mm)	(pulg)	Carga	Mpa	Carga	Mpa	Carga	Mpa
0,000	0,000	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,635	0,025	1,060	0,548	0,772	0,399	0,420	0,217
1,270	0,050	1,960	1,013	1,310	0,677	0,515	0,266
1,905	0,075	2,380	1,230	1,568	0,810	0,575	0,297
2,540	0,100	2,490	1,287	1,649	0,852	0,620	0,320
3,175	0,125	2,610	1,349	1,728	0,893	0,650	0,336
3,810	0,150	2,730	1,411	1,805	0,933	0,675	0,349
4,445	0,175	2,810	1,452	1,858	0,960	0,695	0,359
5,080	0,200	2,860	1,478	1,895	0,979	0,715	0,370
7,620	0,300	3,100	1,602	2,054	1,061	0,775	0,401
10,160	0,400	3,310	1,711	2,194	1,134	0,830	0,429
12,700	0,500	3,705	1,915	2,434	1,258	0,880	0,455
C.B.R. Corr 0.1"		18,65		12,35		4,64	
C.B.R. Corr 0.2"		14,35		9,51		3,59	



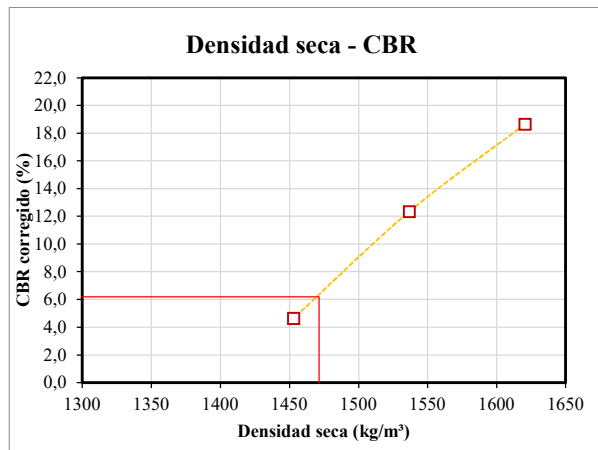
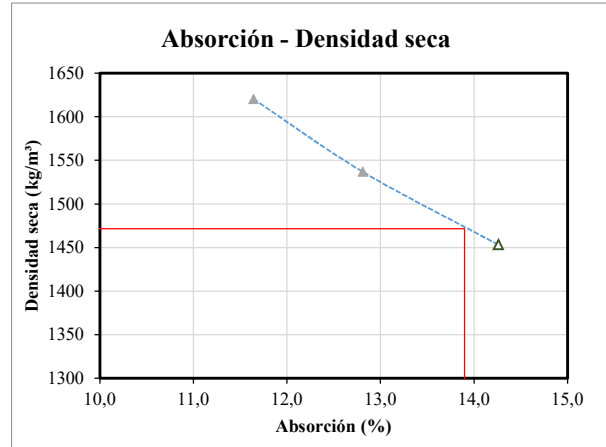
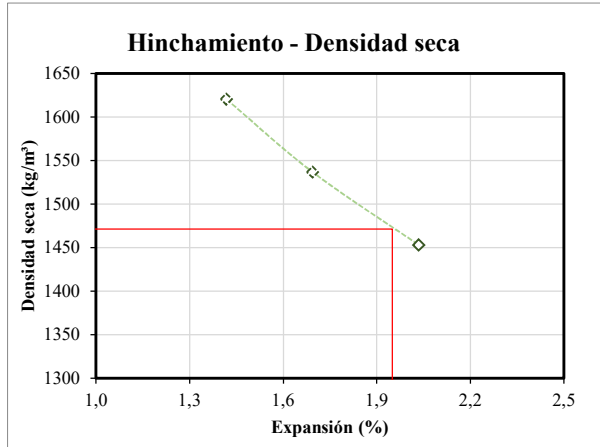
TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO - I.N.V. E - 148

Descripción: Suelo natural (Arcilla de alta plasticidad) + 5.5 cal

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____



Densidad seca (kg/m³)	CBR (%)	Expansión (%)	Absorción (%)
1471,5	6,20	1,95	13,90

TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO - I.N.V. E - 148

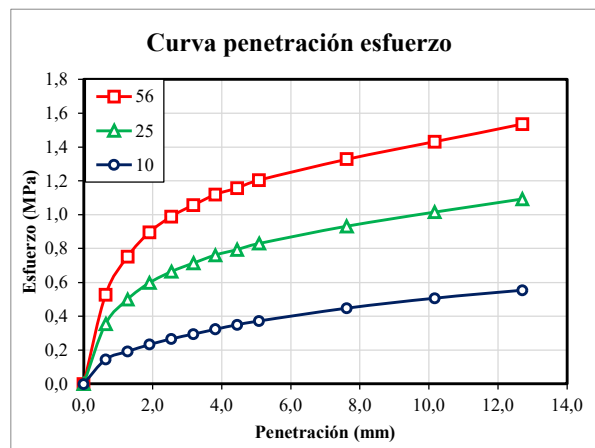
Descripción: Suelo natural (Arcilla de alta plasticidad) + 5.5 cal

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

1.0 ENSAYO DE COMPACTACIÓN				3.0 PRUEBA DE EXPANSIÓN			
Nº de golpes por capa	56	25	10	Nº de golpes por capa	56	25	10
Molde Nº	32	30	31	Lectura Inicial (Li) (pulg)	0,036	0,028	0,018
Peso Molde + muestra comp (g)	11741,0	11490,0	11060,0	Lectura 2do día (pulg)			
Peso Molde (g)	7235	7439	7358	Lectura 3er día (pulg)			
Peso muestra compactada (g)	4506	4051	3702	Lectura 4to día (Lf) (pulg)	0,151	0,155	0,160
Peso muestra compactada (lb)	10	9	8	Expansión total= Lf-Li (pulg)	0,1150	0,1272	0,1420
Volumen compactado (cm³)	2318,70	2317,88	2314,89	Expansión = E. (%)	2,295	2,538	2,832
Densidad Húmeda (g/cm³)	1,943	1,748	1,599	4.0 HUMEDAD DE SATURACIÓN			
Humedad (%)	18	17	17	Nº de golpes por capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm³)	1,653	1,489	1,362	Recipiente Nº (lata)	32	0	245
2.0 HUMEDAD DE COMPACTACIÓN				Peso lata + Suelo Húmedo (g)	232,84	149,18	160,35
Recipiente Nº (lata)	241	37	32	Peso lata + Suelo Seco (g)	191,11	122,58	127,72
Peso lata + Suelo Húmedo (g)	197,92	208,32	235,97	Peso lata (g)	38	38	38
Peso lata + Suelo Seco (g)	173,8	182,55	207,55	Humedad (%)	27,24	31,30	36,20
Peso lata (g)	37	34	45	Absorción (%)	9,65	13,89	18,76
Humedad (%)	17,59	17,40	17,44				

Molde Nº	32		30		31		
Nº golpes/capa / Condición	56		25		10		
Días Inmersión	0		0		0		
Penetración (mm)	(pulg)	Esfuerzo		Esfuerzo		Esfuerzo	
		Carga	Mpa	Carga	Mpa	Carga	Mpa
0,000	0,000	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,635	0,025	1,020	0,527	0,687	0,355	0,280	0,145
1,270	0,050	1,455	0,752	0,967	0,500	0,370	0,191
1,905	0,075	1,735	0,897	1,157	0,598	0,450	0,233
2,540	0,100	1,915	0,990	1,285	0,664	0,515	0,266
3,175	0,125	2,045	1,057	1,381	0,714	0,570	0,295
3,810	0,150	2,165	1,119	1,472	0,761	0,625	0,323
4,445	0,175	2,240	1,158	1,536	0,794	0,675	0,349
5,080	0,200	2,330	1,204	1,606	0,830	0,720	0,372
5,720	0,300	2,570	1,328	1,803	0,932	0,865	0,447
10,160	0,400	2,770	1,432	1,965	1,015	0,980	0,506
12,700	0,500	2,970	1,535	2,115	1,093	1,070	0,553
C.B.R. Corr 0.1"		14,34		9,62		3,86	
C.B.R. Corr 0.2"		11,69		8,06		3,61	



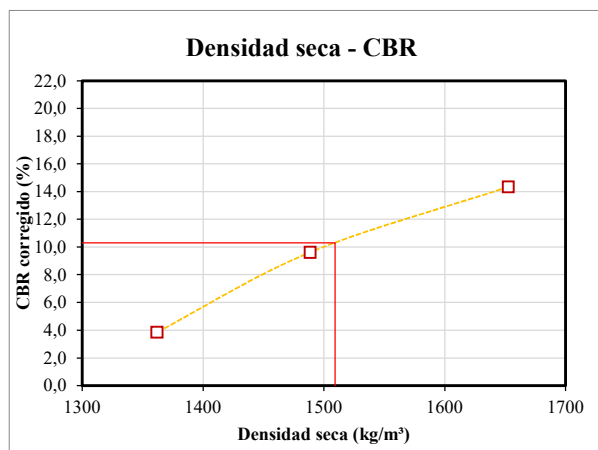
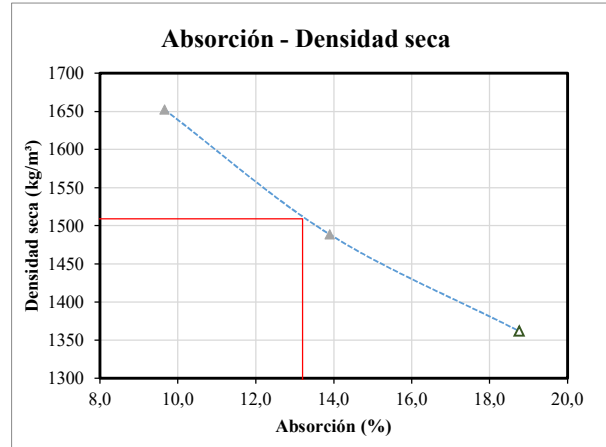
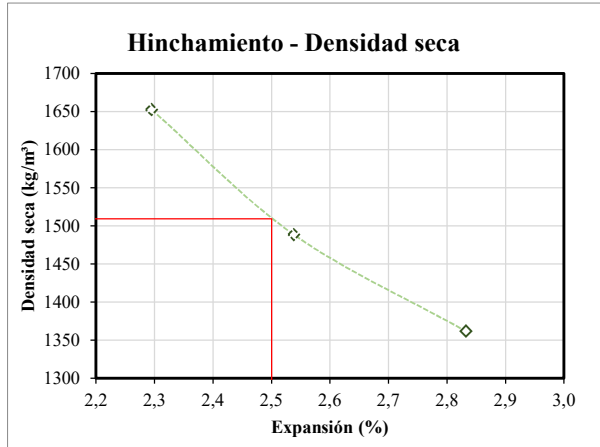
TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO - I.N.V. E - 148

Descripción: Suelo natural (Arcilla de alta plasticidad) + 5.5 cal

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____



Densidad seca (kg/m³)	CBR (%)	Expansión (%)	Absorción (%)
1509,3	10,30	2,50	13,20

TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO - I.N.V. E - 148

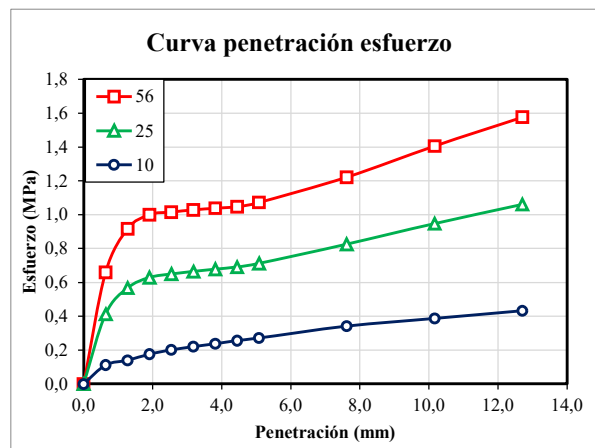
Descripción: Suelo natural (Arcilla de alta plasticidad) + 3.0 cal + 2.5 CHP

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

1.0 ENSAYO DE COMPACTACIÓN				3.0 PRUEBA DE EXPANSIÓN			
Nº de golpes por capa	56	25	10	Nº de golpes por capa	56	25	10
Molde Nº	36	30	35	Lectura Inicial (Li) (pulg)	0,03	0,020	0,007
Peso Molde + muestra comp (g)	11858,0	11550,0	11060,0	Lectura 2do día (pulg)			
Peso Molde (g)	7418	7439	7438	Lectura 3er día (pulg)			
Peso muestra compactada (g)	4440	4111	3622	Lectura 4to día (Lf) (pulg)	0,104	0,111	0,120
Peso muestra compactada (lb)	10	9	8	Expansión total= Lf-Li (pulg)	0,0740	0,0916	0,1130
Volumen compactado (cm³)	2316,29	2314,89	2296,74	Expansión = E. (%)	1,477	1,827	2,254
Densidad Húmeda (g/cm³)	1,917	1,776	1,577	4.0 HUMEDAD DE SATURACIÓN			
Humedad (%)	20	19	20	Nº de golpes por capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm³)	1,600	1,491	1,318	Recipiente Nº (lata)	15	245	241
2.0 HUMEDAD DE COMPACTACIÓN				Peso lata + Suelo Húmedo (g)	218,56	189,65	182,45
Recipiente Nº (lata)	71	15	35	Peso lata + Suelo Seco (g)	184,14	157,39	144,25
Peso lata + Suelo Húmedo (g)	257,21	278,11	236,6	Peso lata (g)	31	38	37
Peso lata + Suelo Seco (g)	222,01	238,42	203,38	Humedad (%)	22,42	26,93	35,51
Peso lata (g)	44	31	35	Absorción (%)	2,65	7,83	15,84
Humedad (%)	19,77	19,10	19,68				

Molde Nº	36	30	35				
Nº golpes/capa / Condición	56	25	10				
Días Inmersión	0	0	0				
Penetración	Lect. dial	Esfuerzo	Lect. dial	Esfuerzo	Lect. dial	Esfuerzo	
(mm)	(pulg)	Carga	Mpa	Carga	Mpa	Carga	Mpa
0,000	0,000	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,635	0,025	1,275	0,659	0,798	0,412	0,215	0,111
1,270	0,050	1,775	0,917	1,098	0,567	0,270	0,140
1,905	0,075	1,935	1,000	1,217	0,629	0,340	0,176
2,540	0,100	1,965	1,016	1,256	0,649	0,390	0,202
3,175	0,125	1,990	1,028	1,286	0,664	0,425	0,220
3,810	0,150	2,010	1,039	1,313	0,678	0,460	0,238
4,445	0,175	2,025	1,047	1,337	0,691	0,495	0,256
5,080	0,200	2,075	1,072	1,378	0,712	0,525	0,271
7,620	0,300	2,365	1,222	1,598	0,826	0,660	0,341
10,160	0,400	2,720	1,406	1,834	0,948	0,750	0,388
12,700	0,500	3,050	1,576	2,053	1,061	0,835	0,432
C.B.R. Corr 0.1"		14,72		9,41		2,92	
C.B.R. Corr 0.2"		10,41		6,91		2,63	



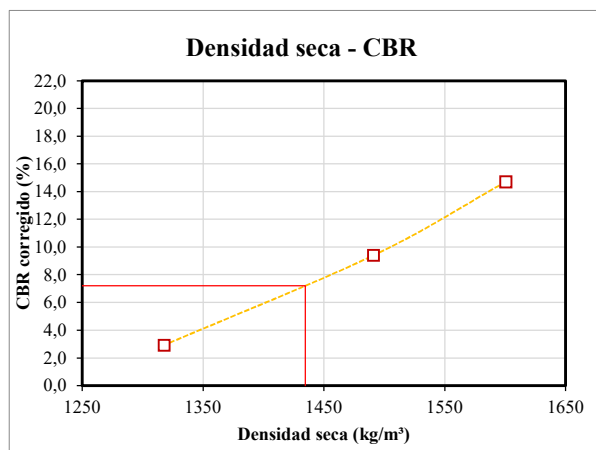
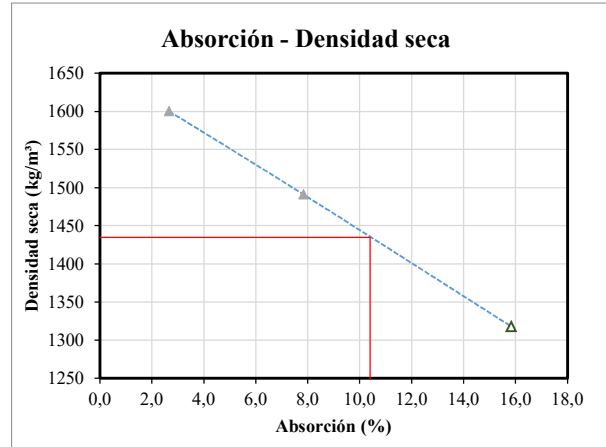
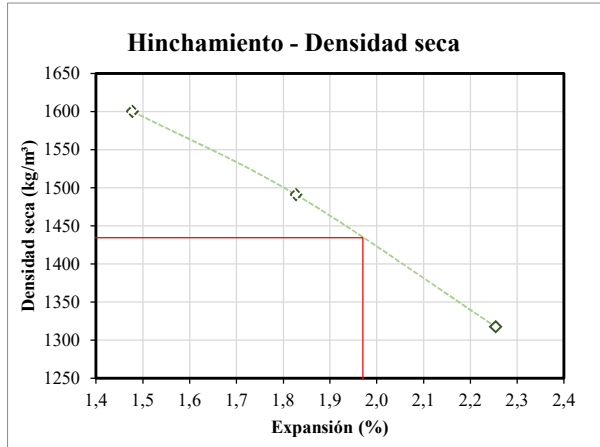
TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO - I.N.V. E - 148

Descripción: Suelo natural (Arcilla de alta plasticidad) + 3.0 cal + 2.5 CHP

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____



Densidad seca (kg/m³)	CBR (%)	Expansión (%)	Absorción (%)
1434,6	7,20	1,97	10,40

TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

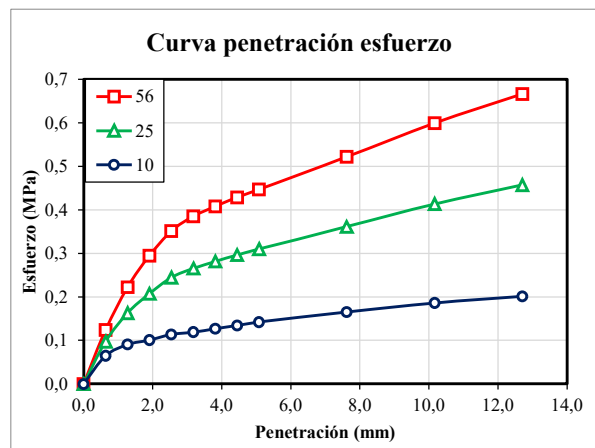
CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO - I.N.V. E - 148

Descripción: Suelo natural (Arcilla de alta plasticidad) + 3.0 cal + 2.5 CHP
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

1.0 ENSAYO DE COMPACTACIÓN				3.0 PRUEBA DE EXPANSIÓN			
Nº de golpes por capa	56	25	10	Nº de golpes por capa	56	25	10
Molde Nº	3	7	30	Lectura Inicial (Li) (pulg)	0,042	0,033	0,021
Peso Molde + muestra comp (g)	11521,0	11311,8	11056,0	Lectura 2do día (pulg)			
Peso Molde (g)	7239	7329,0	7439	Lectura 3er día (pulg)			
Peso muestra compactada (g)	4282	3983	3617	Lectura 4to día (Lf) (pulg)	0,17	0,175	0,181
Peso muestra compactada (lb)	9	9	8	Expansión total= Lf-Li (pulg)	0,1280	0,1424	0,1600
Volumen compactado (cm³)	2316,29	2314,89	2296,74	Expansión = E. (%)	2,555	2,842	3,191
Densidad Húmeda (g/cm³)	1,849	1,720	1,575				
Humedad (%)	16	16	17				
Densidad Seca (g/cm³)	1,595	1,482	1,352				
2.0 HUMEDAD DE COMPACTACIÓN				4.0 HUMEDAD DE SATURACIÓN			
Recipiente Nº (lata)	18	4	106	Nº de golpes por capa	56	25	10
Peso lata + Suelo Húmedo (g)	257,88	232,54	236,6	Recipiente Nº (lata)	25	245	13
Peso lata + Suelo Seco (g)	227,48	204,53	207,98	Peso lata + Suelo Húmedo (g)	217,58	189,65	242,15
Peso lata (g)	36	31	35	Peso lata + Suelo Seco (g)	192,56	166,25	207,89
Humedad (%)	15,87	16,10	16,50	Peso lata (g)	41	38	38
				Humedad (%)	16,46	18,19	20,13
				Absorción (%)	0,59	2,08	3,63

Molde Nº	3		7		30		
Nº golpes/capa / Condición	56		25		10		
Días Inmersión	0		0		0		
Penetración (mm)	Lect. dial	Esfuerzo		Lect. dial	Esfuerzo	Lect. dial	Esfuerzo
		Carga	Mpa				
0,000	0,000	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,635	0,025	0,24	0,124	0,188	0,097	0,125	0,065
1,270	0,050	0,430	0,222	0,315	0,163	0,175	0,090
1,905	0,075	0,570	0,295	0,401	0,207	0,195	0,101
2,540	0,100	0,680	0,351	0,473	0,244	0,220	0,114
3,175	0,125	0,745	0,385	0,513	0,265	0,230	0,119
3,810	0,150	0,790	0,408	0,545	0,282	0,245	0,127
4,445	0,175	0,830	0,429	0,574	0,296	0,260	0,134
5,080	0,200	0,865	0,447	0,600	0,310	0,275	0,142
7,620	0,300	1,010	0,522	0,700	0,361	0,320	0,165
10,160	0,400	1,160	0,599	0,800	0,413	0,360	0,186
12,700	0,500	1,290	0,667	0,885	0,457	0,390	0,202
C.B.R. Corr 0.1"		5,09		3,54		1,65	
C.B.R. Corr 0.2"		4,34		3,01		1,38	



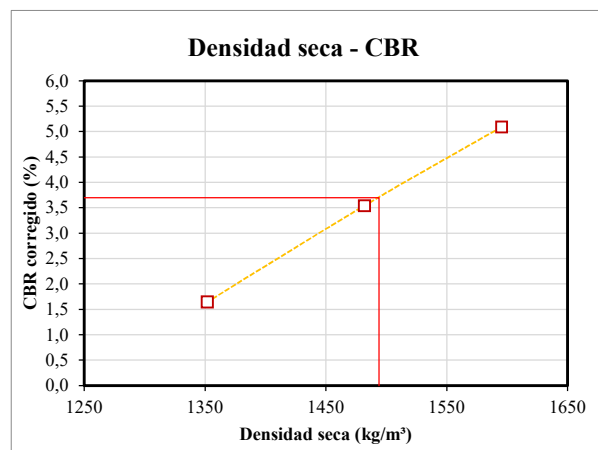
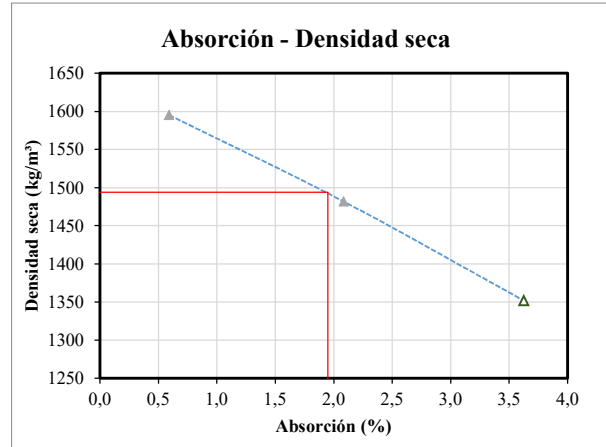
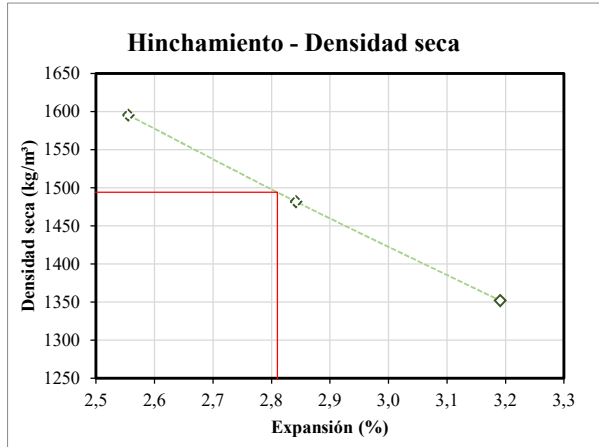
TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO - I.N.V. E - 148

Descripción: Suelo natural (Arcilla de alta plasticidad) + 3.0 cal + 2.5 CHP

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____



Densidad seca (kg/m³)	CBR (%)	Expansión (%)	Absorción (%)
1494,0	3,70	2,81	1,95

TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO - I.N.V. E - 148

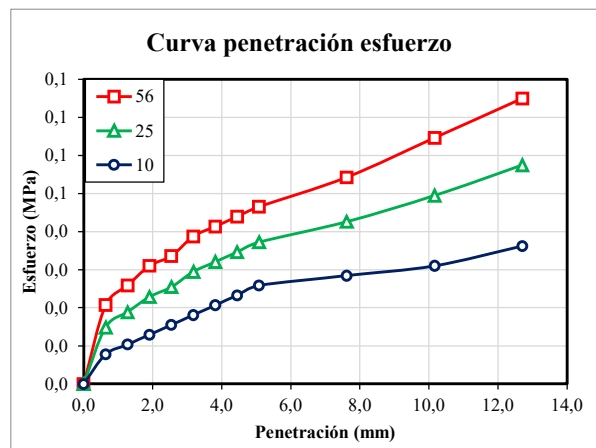
Descripción: Suelo natural (Arcilla de alta plasticidad) + 5.5 CHP

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

1.0 ENSAYO DE COMPACTACIÓN				3.0 PRUEBA DE EXPANSIÓN			
Nº de golpes por capa	56	25	10	Nº de golpes por capa	56	25	10
Molde Nº	17	3	9	Lectura Inicial (Li) (pulg)	0,053	0,040	0,025
Peso Molde + muestra comp (g)	11453,0	11081,3	10627,0	Lectura 2do día (pulg)			
Peso Molde (g)	7282	7239	7163	Lectura 3er día (pulg)			
Peso muestra compactada (g)	4171	3842	3464	Lectura 4to día (Lf) (pulg)	0,11	0,131	0,156
Peso muestra compactada (lb)	9	8	8	Expansión total= Lf-Li (pulg)	0,0570	0,0903	0,1310
Volumen compactado (cm³)	2316,29	2314,89	2296,74	Expansión = E. (%)	1,138	1,802	2,613
Densidad Húmeda (g/cm³)	1,801	1,660	1,508	4.0 HUMEDAD DE SATURACIÓN			
Humedad (%)	12	11	12	Nº de golpes por capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm³)	1,601	1,490	1,349	Recipiente Nº (lata)	255	245	214
2.0 HUMEDAD DE COMPACTACIÓN				Peso lata + Suelo Húmedo (g)	235,89	189,65	225,00
Recipiente Nº (lata)	5C	31	35	Peso lata + Suelo Seco (g)	212,34	171,55	200,75
Peso lata + Suelo Húmedo (g)	271,67	256,22	236,6	Peso lata (g)	37	38	40
Peso lata + Suelo Seco (g)	245,6	233,87	215,31	Humedad (%)	13,43	13,51	15,09
Peso lata (g)	37	38	35	Absorción (%)	0,95	2,11	3,31
Humedad (%)	12,48	11,40	11,78				

Molde Nº	17		3		9		
Nº golpes/capa / Condición	56		25		10		
Días Inmersión	0		0		0		
Penetración (mm)	Lect. dial	Esfuerzo		Lect. dial	Esfuerzo	Lect. dial	Esfuerzo
		Carga	Mpa				
0,000	0,000	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0,635	0,025	0,04	0,021	0,029	0,015	0,015	0,008
1,270	0,050	0,050	0,026	0,037	0,019	0,020	0,010
1,905	0,075	0,060	0,031	0,044	0,023	0,025	0,013
2,540	0,100	0,065	0,034	0,049	0,025	0,030	0,016
3,175	0,125	0,075	0,039	0,057	0,029	0,035	0,018
3,810	0,150	0,080	0,041	0,062	0,032	0,040	0,021
4,445	0,175	0,085	0,044	0,067	0,035	0,045	0,023
5,080	0,200	0,090	0,047	0,072	0,037	0,050	0,026
7,620	0,300	0,105	0,054	0,083	0,043	0,055	0,028
10,160	0,400	0,125	0,065	0,096	0,049	0,060	0,031
12,700	0,500	0,145	0,075	0,111	0,057	0,070	0,036
C.B.R. Corr 0.1"		0,49		0,37		0,22	
C.B.R. Corr 0.2"		0,45		0,36		0,25	



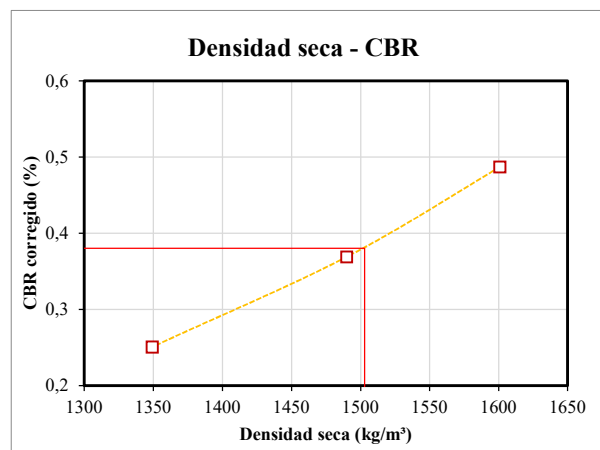
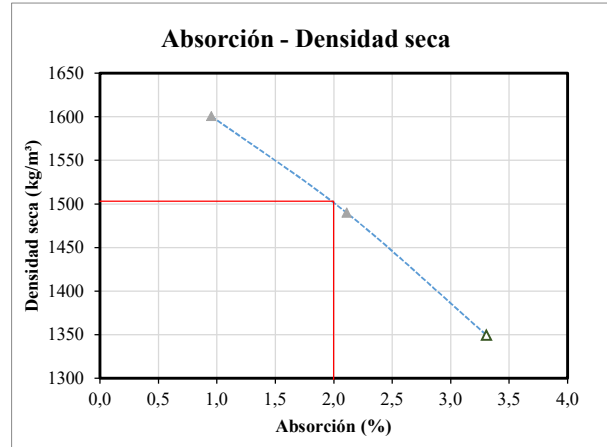
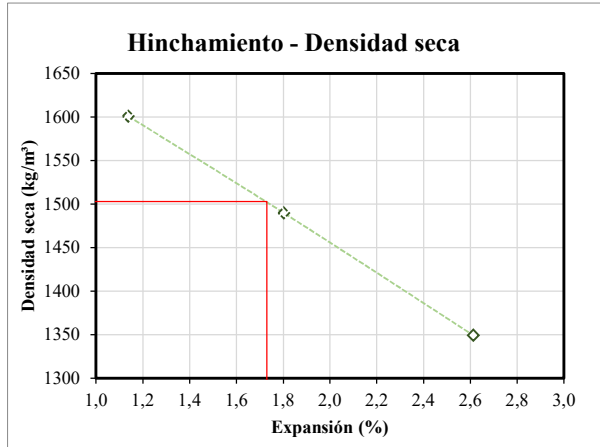
TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO - I.N.V. E - 148

Descripción: Suelo natural (Arcilla de alta plasticidad) + 5.5 CHP

Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____



Densidad seca (kg/m³)	CBR (%)	Expansión (%)	Absorción (%)
1503,0	0,38	1,73	2,00



TESIS: ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO, CON CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADAS AÑADIDAS

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO - I.N.V. E - 148

Descripción: Suelo natural (Arcilla de alta plasticidad) + 5.5 CHP
Localización: 3 Este 114 C, Soacha, Cundinamarca

Fecha: _____

Muestra	Densidad seca (kg/m ³)	CBR (%)	Expansión (%)	Absorción (%)
SN	1537,2	0,83	2,50	18,49
5.5C	1471,5	6,20	1,95	13,90
4.5C1.0CHP	1509,3	10,30	2,50	13,20
3.0C2C5CHP	1434,6	7,20	1,97	10,40
1.5C4.0CHP	1494,0	3,70	2,81	1,95
5.5CHP	1503,0	0,38	1,73	2,00