



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**“ANÁLISIS DE ESTABILIZACIÓN DE ARCILLA DE LA COMUNIDAD LAS
MADERAS, TIPITAPA CON CÁSCARA DE HUEVO PULVERIZADO Y CAL”.**

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Ileana Lisbeth Hernández Salgado

Tutor

Ing. Israel Morales

Managua, Mayo 2022

DEDICTORIA

Dedico esta monografía:

A **mi Dios por sobre todas las cosas** y por ser mi mayor fuente principal en todo cuanto requiere mi vida y por su fidelidad derramando sabiduría cada día en todo lo que emprendí.

A mis padres **Oscar A. Hernández Villavicencio y Teresa J. Salgado Flores** quienes me formaron moral, emocional y espiritualmente durante toda mi vida hasta llegar a culminar mis estudios por ese apoyo incondicional, cada consejo, dedicaciones, esfuerzos y sacrificios que Dios les permitió .Los amo.

A mis hijos **Aarón J. Ayala Hernández y Abigail J. Ayala Hernández**

A mi esposo **Bryan A. Ayala Zeledón** quienes han sido mi luz y mi aliento, alegría para seguir luchando todos los días hasta alcanzar mis metas.

A mi amigo y hermano e ingeniero **Christian A. González González** por su apoyo incondicional que me aconsejo y oriento en varios aspectos de mi vida. Gracias hermano menor.

Mi gran amigo ingeniero **Oscar F. Ramírez Villegas** por haber contribuido valiosamente en el desarrollo de esta investigación, por sus conocimientos y consejos.

Ileana Lisbeth Hernández Salgado

AGRADECIMIENTO

Primeramente quiero expresar con el siguiente texto bíblico **“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece”**. **Filipenses 4:13**

Doy **gracias a Dios** por darme la capacidad y el entendimiento, la fortaleza necesaria para culminar exitosamente la presente monografía, y mi carrera como ingeniera civil, además de todas las bendiciones obtenidas en mi vida.

También quiero agradecer a mi padre, **Oscar Hernández Villavicencio** y mi madre **Teresa Salgado Flores**, quienes me mostraron todo su apoyo incondicional en todo cuanto he requerido para mi formación profesional, emocional y desarrollo de esta valiosa investigación.

A mis hijos **Aarón J. Ayala H. Abigail J. Ayala .H** y mi esposo **Bryan Ayala Zeledón** por ser mi mayor fuente de inspiración y motivación para el desarrollo y culminación de mi estudio profesional.

Al ingeniero **Israel Morales** quien me ha orientado con sus conocimientos y experiencia para el desarrollo de mi trabajo monográfico.

Ileana Lisbeth Hernández Salgado

ÍNDICE

CAPITULO I.

GENERALIDADES

1.1.- INTRODUCCION.....	1
1.2.- ANTECEDENTES.....	3
1.3.-JUSTIFICACION.....	5
1.4.-OBJETIVOS.....	6
1.4.1.-Objetivo General.....	6
1.4.2.-Objetivos Específicos.....	6
1.5.-LIMITANTES.....	7

CAPITULO II.

MARCO TEORICO

2.1.- CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	9
2.1.1-Estabilizacion de suelos.....	9
2.1.2-Historia de la Estabilidad.....	9
2.1.3-Tipos de Estabilización.....	11
2.1.4- Suelo.....	13
2.2.- Origen y Formación del suelo.....	13
2.3.-Tipos de suelo según la geotécnica.....	13
2.4.-Diferentes significados de la arcilla que se usa habitualmente.....	14
2.5.-Propiedades electroquímicas de los materiales arcillosos.....	15
2.6.-Tipos de ensayos de suelo.....	17
2.7.-Cáscara de huevo como agente químico estabilizador de los suelos arcillosos.....	33
2.7.1.-Descripcion de algunos postulados de diferentes autores.....	34
2.7.2.-Composicion del huevo.....	36
2.8.-Cal.....	36

CAPITULO III.

ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1.- DISEÑO METODOLOGICO.....	44
3.1.1. Descripción del sitio en Estudio.....	44
3.2.- Análisis e interpretación de resultados	47
3.3.- Arcilla en estado natural.....	48
3.3.1.- Humedad de la arcilla en estado natural.....	48
3.3.2.-Gravedad Específica de la arcilla en estado natural.....	48
3.3.3.- Análisis Granulométrico de la arcilla en estado natural.....	49
3.3.4.-Pesos Unitarios de la arcilla en estado natural.....	50
3.3.5.-Límites de Consistencia de la arcilla en estado natural.....	51
3.3.6.-Proctor Estándar de la arcilla en estado natural.....	52
3.3.7.-Valor Relativo Soporte de California (C.B.R.) de la arcilla en estado natural.....	53
3.4.-Arcilla natural más aditivos estabilizantes en diferentes proporciones	56
3.5.-Límites de consistencia aditivos estabilizantes en diferentes proporciones	57
3.6.-Proctor estándar con diferentes porcentajes de estabilizadores....	59
3.7.-valor relativo soporte de california (C.B.R) con diferentes porcentajes de estabilizadores.....	61

CAPITULO IV.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.-Conclusiones.....	63
4.2.-Recomendaciones.....	66

BIBLIOGRAFIA.....	67
-------------------	----

ANEXOS

Lista de Tablas

Nº	Nombre	pág. Nº
1	Rango de gravedades específicas según el tipo de suelo	19
2	Especificaciones de ensaye Proctor Estándar y Proctor Modificado	30
3	Carga unitaria patrón según penetración	32
4	Clasificación y uso de suelo según el valor de CBR	32
5	Humedad Natural de la arcilla	48
6	Gravedad Específica de la arcilla natural	49
7	Análisis Granulométrico de la arcilla natural	49
8	Pesos unitarios de la arcilla natural	51
9	Límites de consistencia de la arcilla natural	51
10	Proctor Estándar de la arcilla natural	53
11	Valor relativo de soporte de california (C.B.R) de la arcilla natural	54
12	Variación de límites de consistencia con diferentes porcentajes de aditivos.	57
13	Proctor Estándar variación de humedad óptima con los diferentes porcentajes de aditivos.	60
14	Valor relativo soporte de california (CBR) con diferentes porcentajes de aditivos.	63

Lista de figuras

Nº	Nombre	pág. Nº
1	Estructura de la caolinita	16
2	Estructura de las ilitas	16
3	Estructura de las montmorilonitas	17
4	Características del hidrómetro	24
5	Límites de consistencia	26
6	Variación del límite líquido al adicionar cascara de huevo pulverizado	34
7	Variación del límite plástico al adicionar cascar de huevo pulverizado	35
8	Macro localización del lugar de donde se extrajo la muestra	44
9	Micro localización del sitio en estudio	45

Lista de gráficos

Nº	Nombre	pág. Nº
1	Curva Granulométrica de la arcilla natural	44
2	Curva de Fluidez de la arcilla en estado natural	46
3	Curva de compactación (Proctor Estándar) de la arcilla natural	47
4	Carga Vs Penetración de la arcilla en estado Natural	49
5	CBR Vs Densidad Seca Máxima de la Arcilla en estado natural	49

RESUMEN

El presente trabajo monográfico comprende la realización y análisis de ensayos de laboratorio, así como la evaluación técnica de mezclas con aditivos: Cáscara de huevo pulverizado y Cal para seleccionar la alternativa que mejor contribuya al mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de la arcilla negra, la cual fue extraída del “Barrio Nuevo”, de la comunidad Las Maderas ubicado en el municipio de Tipitapa, departamento de Managua.

El tema se desarrolló en cuatro capítulos, el primero constituido por Generalidades como introducción, antecedentes, justificación, objetivos de la investigación, limitantes.

El segundo capítulo, contiene marco teórico (conceptos fundamentales) de estabilización, características de la estabilización, tipos de estabilizaciones, productos empleados en la estabilización, suelos, tipos de suelos, ensayos realizados al suelo y aditivos estabilizadores como cáscara de huevo pulverizado y cal.

En el capítulo III, en este capítulo se enfoca al análisis y resultados de los datos obtenidos durante la recolección de muestras y pruebas de laboratorio realizadas, del mismo modo se describen criterios aplicados y la interpretación de los métodos utilizados.

En último capítulo IV, se formulan las conclusiones y recomendaciones procedentes del estudio, también las diferentes referencias bibliográficas. Además, se incluyen anexos que contienen datos y procedimientos según las normas e imágenes de resultados de cada uno de los ensayos efectuados.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN.

Los suelos juegan un papel fundamental en la ejecución de todo tipo de construcciones, sobre ello se elevan las más prominentes obras ingenieriles que han pasado a través de la historia. A medida que pasa el tiempo nos hemos visto en la necesidad de mejorar las condiciones que la naturaleza ofrece en cuanto a los suelos nos referimos, mejorando las características de mayor problemática durante la ejecución de las obras, a este proceso se le denomina estabilización.(Crespo,2004).

De las múltiples características que nos ofrecen los suelos, una de las de mayor importancia en el campo constructivo es la plasticidad, de esta dependen la estabilidad de la obra en sí, ya que produce efectos negativos para las estructuras. Entre estas se encuentra el hinchamiento que no es más que el cambio de volumen y la consolidación o asentamientos provocando fallas en las estructuras y en el peor de los casos pérdidas humanas por colapso de las mismas. (Juárez & Rico, 2007).

Un buen tratamiento de los suelos plásticos mediante una estabilización, permitirá utilizar los suelos del lugar donde se realizará una obra, bajando costos de préstamo, desalojo y acarreo de material. Por tal motivo desde hace algunas décadas se ha tratado de realizar el mejoramiento de estos suelos empleando técnicas de estabilización utilizando materiales, como cales, cementos, aditivos, emulsiones, enzimas, etc.

Es necesario realizar estudios nuevos de estabilización que otorguen resultados favorables y efectivos dentro de la industria de la construcción.

Algunos métodos de mejoramiento de este suelo es la adición de materiales elevados en calcio, como es el cemento y la cal hidratada los cuales al ser mezclados con los porcentajes adecuados y la humedad optima han presentado buena resistencia a los factores climáticos y una adecuada absorción.

Esta investigación se enfoca en el Análisis de estabilización de arcilla de la comunidad las Maderas, Tipitapa con Cáscara de huevo Pulverizada y Cal.

La muestra del suelo arcilloso en estudio proviene de la comunidad Las Maderas esta se encuentra ubicada en el municipio de Tipitapa, departamento de Managua en las coordenadas 12.436°N -86.041° O puesto que presenta múltiples áreas con comportamiento plástico que contiene un índice de plasticidad muy alto, esta característica lo hace susceptible a la estabilización de los agentes químicos propuesto para dicha estabilización.

1.2 ANTECEDENTES.

La estabilización química de los suelos se ha convertido en una alternativa a considerar en estos momentos a partir de contar con una gran cantidad de vialidades que han sido evaluadas y comprobadas con este método y en los últimos años con resultados efectivos y beneficiosos en la industria de la construcción.

La estabilización de suelos con cal es una de las más antiguas formas de mejoramiento de suelos. Hay evidencias de que la Vía Apia, acceso a la antigua Roma, se construyó utilizando estas técnicas. En términos generales, las técnicas de estabilización con cal hidratada son bastante similares a las de la estabilización con cemento, pero hay dos aspectos de diferencia que conviene destacar desde un principio. En primer lugar la cal tiene un espectro de aplicación que se extiende mucho más hacia los materiales más arcillosos que el cemento y en contrapartida, se extiende algo menos hacia el lado de los materiales granulares de naturaleza friccionante. En segundo lugar, está el uso cada día más extendido de la estabilización con cal como un pre-tratamiento, lo que da una fisonomía especial a muchos de los usos de cal, pues en estos casos no necesariamente han de satisfacerse todos los requerimientos de una estabilización definitiva (Rico Del Castillo).

El empleo de cal para la estabilización de suelos no constituye un aspecto novedoso pues fue empleada en obras tan antiguas como la Muralla China y algunos caminos romanos durante el florecimiento del Imperio Romano, pero no es sino hasta hace 50 años que se empezaron a estudiar en forma racional los mecanismos responsables de la estabilización, así como a las diferentes modificaciones sufridas por el suelo estabilizado. (Fernández, Loaiza Carlos).

Un suelo se estabiliza químicamente cuando interviene el agua en la mezcla de los materiales y presentan reacciones químicas hay diferentes tipos de materiales los cuales ayudan a diferentes tipos de suelos a cambiar sus propiedades haciéndolos más resistentes a los diferentes tipos de impactos ambientales como son Cal, Cemento, Productos Asfálticos, Cloruro de Sodio, Cloruro de Calcio, Polímeros, Escorias de Fundición, pero los principales son cal hidratada y cemento portland.

Por otro lado, en Japón los geofísicos Croft, McGeory y Carlson (1999), realizaron estudios sobre el uso de cáscara de huevo pulverizada para estabilizar los suelos debido a los costos que tienen agentes estabilizadores como la cal viva y la breá.

La investigación ha demostrado que la cáscara de huevo es una fuente rica en cal agrícola y de proteína de modo que pueda ser utilizada como alternativa de agente estabilizador del suelo arcilloso gracias a la presencia de carbonatos y fosfatos. Generalmente, la cal agrícola (CaCO_3) es utilizada como fuente de calcio, lo que permite una reducción en los niveles de acidez; por su parte la cáscara de huevo demostró contener una cantidad considerable de esta cal.

1.3 JUSTIFICACIÓN.

Dado a que es un problema persistente en algunas regiones de nuestro país como por ejemplo la carretera panamericana conocida como Las Calabazas a 77Km al norte de Managua asentada sobre suelo sonsocuite (Arcilla Negra) que el Ministerio Infraestructura y Transporte clasifica como suelo pantanoso y que causa hundimientos y elevaciones en la pista debido a los cambios en temporadas humedad y secas, la importancia que tiene la estabilización de suelos que no poseen características deseadas para la construcción. Es de suma importancia promover o desarrollar el uso de estabilización como una alternativa útil para profesionales u organización o institución que deseen tener mejores trabajos ingenieriles en las futuras generaciones.

La resistencia de los suelos arcillosos cambia al variar el contenido de agua, dicha relación es inversamente proporcional; esto se debe a la actividad eléctrica de los cationes que los componen. El contacto del agua con las partículas finas de la arcilla crea una interacción electroquímica ocasionando expansividad, contracción y la plasticidad. Este fenómeno hace que la arcilla presente propiedades indeseadas al ser utilizada como soporte (subrasante) o como constitutiva de la estructura (sub-base y terraplenes) de las vías. (Hydram Ltda., 2015).

Otros problemas que presentan los suelos arcillosos al momento de ser utilizados en la construcción de tipo residencial, vial, minera, etc., son debidos al inadecuado drenaje del agua, pérdida de soporte, elevaciones o desnivel de estructuras y colapso de estructuras o vías, por lo que el espacio no puede ser utilizado sin ser estabilizado. Con el objeto de lograr que el suelo arcilloso sea un suelo resistente y funcional, se requiere de una estabilización química o mecánica. En el presente documento investigativo se busca la estabilización de la arcilla que proviene de la comunidad Las Maderas dado a su alto índice de plasticidad, mediante el uso de la cáscara de huevo pulverizado y cal como agente estabilizador químico, por su contenido de carbonato de calcio y magnesio, y trazas de fosfato de tricalcico.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL.

Analizar los cambios en las propiedades físicas –mecánicas de la arcilla al añadirle cáscara de huevo pulverizado y cal.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.

1. Determinar las propiedades físicas de la arcilla como: Granulometría, Gravedad Específica, Densidad Seca Máxima, Humedad Óptima, Humedad Natural, Peso Volumétrico y límites de Atterberg.
2. Determinar las propiedades mecánicas de la arcilla como la prueba de Proctor Estándar y la Resistencia a la compresión o Valor Relativo Soporte del Suelo (C.B.R).
3. Determinar las propiedades física y mecánicas de la combinación de arcilla con cada aditivo estabilizante en diferentes proporciones.
4. Analizar el efecto de los porcentajes de cada aditivo estabilizantes, cáscara de huevo pulverizado y cal en la arcilla para recomendar el más óptimo.

LIMITANTES.

En la realización de este trabajo monográfico se tuvo la siguiente limitante. El ensayo de Análisis granulométrico por medio del hidrómetro (Sedimentación) no se realizó debido a la falta de la materia prima Hexametafosfato de sodio en el laboratorio de mecánica de suelo de la universidad nacional de ingeniería y por condiciones económicas.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES.

2.1.1. Estabilización de suelos.

La estabilización es el proceso mediante el cual los suelos naturales de baja capacidad portante o susceptibles a cambios volumétricos son tratados por medios mecánicos o químicos para mejorar sus propiedades. Gracias a estos, podemos obtener un material que sea competente para soportar las condiciones adversas de clima, resistir efectos del tránsito, controlar la expansión, reducir la plasticidad, incrementar la resistencia, disminuir la compresibilidad, la permeabilidad y la erosión. (Suarez, J.2006).

2.1.2. Historia de la estabilidad.

Desde los albores de la historia, el hombre ya utiliza la conglomerantes puzolánicos naturales para la estabilización de suelos cohesivos en diferentes obras públicas. Primero en China (pirámides de Shaanxi hace unos 5,000 años) e India, y después durante el Imperio Romano en vías de comunicación y obras hidráulicas. En el siglo XIX se realizan grandes avances en la producción de los conglomerantes, aglomerantes y en los procedimientos constructivos.

El desarrollo de nuevas redes viarias tanto en USA como en Europa para vehículos automotores durante el periodo 1900-1930, propicia una serie de experimentos que muestran claramente las posibilidades de aprovechamiento de los suelos existentes, modificados en mayor o menor grado por la adición de alguno de estos productos y la subsiguiente mezcla y compactación.

El desarrollo tecnológico en el que nos encontramos actualmente, tiene sin embargo una decisiva primera fase en el periodo 1930-1950. Para ello fueron necesarios muchos estudios de laboratorio para definir métodos de ensayo y observar la incidencia de las diferentes variables que intervienen en los

resultados. La gran variabilidad de los suelos naturales constituía un reto adicional. Hubo que construir y seguir el comportamiento (con frecuencia decepcionante) de muchos tramos de ensayo, hasta llegar a sistematizar el diseño, definir la ejecución más adecuada con una maquinaria en constante desarrollo y finalmente establecer unas primeras especificaciones técnicas.

Fueron pioneros en este periodo los Estados Unidos (hay que destacar la labor de la Portland Cement Association) y algunos países europeos. Las necesidades militares de la 2ª Guerra Mundial, particularmente en la construcción rápida de aeropuertos, propiciaron más avances técnicos y una extensión del uso de los suelos estabilizados en muchos países envueltos en el conflicto.

En los años 50, con la reconstrucción e iniciación de importantes infraestructuras de transporte, se inicia una segunda fase en la que la estabilización de suelos es ya una técnica moderna establecida, conocida y empleada en competencia con el empleo de suelos granulares con pocos finos, de plasticidad reducida, que no requieren ningún agente estabilizador. También se extiende su uso a vías secundarias y de baja intensidad de tráfico.

Desde mediados de los años 70 y hasta la fecha, las circunstancias cambian considerablemente, tanto por la acuciante protección del medio ambiente, como por el encarecimiento de la energía, la agresividad creciente del tráfico pesado y la necesidad de explanadas de mayor capacidad de soporte y de mayor fiabilidad para la construcción.

En esta tercera fase es necesario replantearse y poner al día los diseños del cimiento de los firmes por su incidencia en el comportamiento a largo plazo y en los costos globales. Los suelos estabilizados ofrecen ya unas posibilidades de ejecución menos dependientes de la climatología, facilitan la puesta en obra de las capas del firme y en suma, reducen los riesgos que pueden mermar la calidad deseada.

Actualmente, los agentes estabilizadores se usan en todo el mundo para superar las limitaciones inherentes a los materiales naturales sobre el comportamiento del pavimento; aparte de incrementar las características de resistencia de un material, estos agentes aumentan su durabilidad y su resistencia frente a la acción del agua. (Soza & Bustamante, tesina, 2003)

2.1.3. Tipos de Estabilización

Según los Métodos de Estabilización de Suelos, 2010 existen tres formas de lograrlo y son las siguientes:

a). Estabilización Física

Este se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo por medio de mezclas de suelos, existen varios métodos como lo son:

- **Geo textiles:** son telas permeables no biodegradables que pueden emplearse como filtros y para controlar la erosión de suelos y el transporte de lodos.
- **Vibro flotación** (Mecánica de Suelos): sirve para densificar suelos no cohesivos limpios. Por lo general el vibrador con el jet de agua reduce la fuerza inter granulares entre las partículas del suelo, permitiéndolas moverse a una posición más densa
- **Consolidación Previa**

b).Estabilización Química

Se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso.

Agentes estabilizadores químicos.

- **Cal:** Disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos.
- **Cemento Portland:** Aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.
- **Productos Asfálticos:** Es una emulsión muy usada para material triturado sin cohesión.
- **Cloruro de Sodio:** Impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- **Cloruro de Calcio:** Impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- **Escorias de Fundición:** Este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- **Polímeros:** Este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- **Hule de Neumáticos:** Este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

c).Estabilización Mecánica

Es aquella con la que se logra mejorar considerablemente un suelo sin que se produzcan reacciones químicas de importancia.

- **Compactación:** Este mejoramiento generalmente se hace en la sub-base, base y en las carpetas asfálticas.

2.1.4. Suelo

Se denomina suelo a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre ella. (McCracken, 1973)

El termino suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas, no sujetas a ninguna organización. Son muchos los procesos que pueden contribuir a crear un suelo particular, algunos de estos son: la deposición eólica, sedimentación en cursos de agua, meteorización, y deposición de material orgánico y la intervención humana en procesos específicos. (Juárez & Rico 2007)

2.2. Origen y Formación del suelo

Los suelos tienen su origen en los macizos rocosos preexistentes que constituyen la roca madre, sometida a la acción ambiental disgregadora de la erosión en sus tres facetas.

- Factores Físicos: Humedad y Temperatura.
- Factores Químicos: Hidratación, Disolución, Oxidación.
- Factores Biológicos: Actividad Bacteriana.

2.3. Tipos de suelos según la Geotécnica.

La clasificación de los suelos fue uno de los primeros objetivos de la mecánica de suelos. Antiguamente dicha clasificación se hacía en base a criterios puramente descriptivos. Actualmente la clasificación de suelos está basada en las propiedades mecánicas de los suelos.

A continuación se describen los suelos más comunes, con el nombre generalmente utilizados para su clasificación en el terreno según ASTM.

- **Las Arenas y las Gravas:** Son suelos de fragmentos granulares, redondos o angulosos, poco o nada alterados de rocas minerales. Estos suelos no poseen cohesión entre sus fragmentos.

- **Los limos:** Son suelos de grano fino (material que pasa malla No 200), pero con plasticidad menor a la que presenta una arcilla, los cuales generalmente cuentan con materia orgánica finamente dividida. Algunas veces contienen fragmentos visibles de materia vegetal parcialmente descompuesta o de otros elementos orgánicos.

- **Las Arcillas:** Son suelos formados de partículas derivadas de la descomposición química y mineralógica que sufren los constituyentes de las rocas, generalmente por intemperismo. Son suelos plásticos cuando están húmedos y cuando están secos son muy duros, tienen además permeabilidad extremadamente baja.

2.4. Diferentes significados del término arcilla que se usa habitualmente

- Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas.

- Arcilla en términos granulométrico, abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 0.075mm.

- Desde el punto de vista de la ingeniería una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica.

- Para identificar un suelo se utiliza el nombre del material predominante como sustantivo y el de menor proporción como adjetivo calificativo. Por ejemplo Arena Limosa, indica un suelo en el cual predomina la arena y contiene cierta cantidad de limo (según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos S.U.C.S).

2.5. Propiedades electroquímicas de los materiales arcillosos

Mineral arcilloso

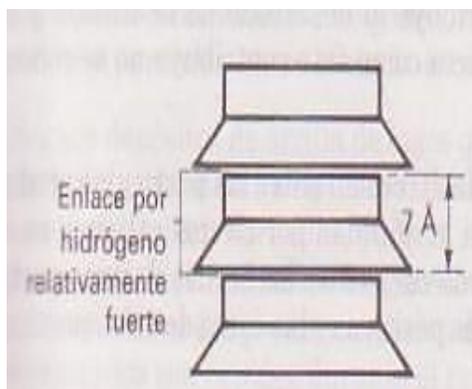
Son partículas cuyas propiedades características son la adhesión y plasticidad. Estos, están compuestos en su mayor parte por silicato de aluminio, su comportamiento esta denominado por la actividad electroquímica. Por lo general tiene una carga negativa neta y presenta afinidad con el agua.

Los minerales tienen una forma cristalina y están contruidos por dos unidades estructurales, la unidad tetraédrica, la cual cuatro oxígenos encierran un átomo de silicio y la unidad octaédrica, en la cual un átomo de aluminio o magnesio está encerrado por seis grupos hidróxidos. (Berry& Reíd ,1993)

2.5.1. División de grupos minerales arcillosos.

- 1. Las caolinitas.** El bloque estructuras de este grupo de minerales está formado por una capa de unidades tetraédricas y una capa de unidades octaédricas. Los enlaces iónicos de hidrógeno entre los bloques crean una estructura relativamente estable en la cual no penetra el agua con facilidad. Estas caolinitas presentan una baja absorción de agua y una baja susceptibilidad a la retracción y a la expansión al ser sometida a variaciones de humedad, tal como se muestra en la figura (1). (Berry& Reíd 1993)

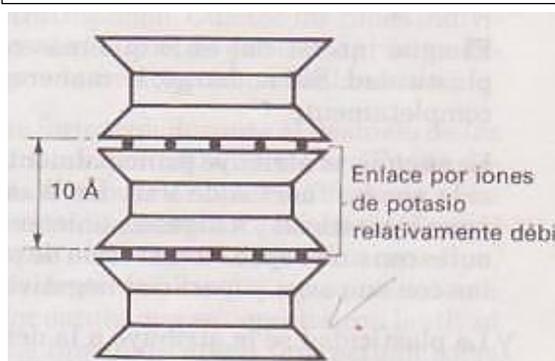
Figura 1. Estructura de la Caolinita.



Fuente: Berry & Reíd 1993

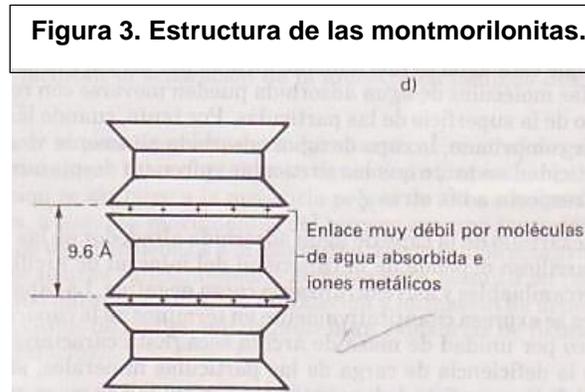
- 2. Iilitas:** El bloque estructural de este grupo está formado por una capa de unidades octaédricas en medio de dos capas de unidades tetraédricas orientadas de forma opuesta. Las iilitas presentan mayor tendencia a la absorción de agua que las caolinitas, mayor susceptibilidad a la retracción y a la expansión. Tal como se muestra en la figura (2). (Berry & Reíd 1993)

Figura 2. Estructura de las iilitas.



Fuente: Berry & Reíd 1993

- 3. Montmorilonitas:** Estas poseen un bloque estructural similar a las ilitas, es fácilmente divisible en partículas muy pequeñas, estas presentan una alta absorción de agua y muy altas características de retracción, tal como se muestra en la figura (3). (Berry & Reid 1993)



Fuente: Berry & Reid 1993

2.5.2. Agua Adsorbida

Como resultado de la carga negativa neta de las partículas de mineral arcilloso, una parte del agua en los vacíos es atraída y se adhiere fuertemente a la superficie de las partículas.

Otras moléculas de agua pueden adherirse directamente a la superficie de las partículas mediante unión del hidrógeno, también pueden adherirse a los cationes hidratados los cuales son a su vez atraídos por la superficie negativa. El agua que es atraída y se adhiere alrededor de las partículas de mineral arcilloso de la manera descrita se denomina agua adsorbida. (Berry & Reid 1993)

2.6. TIPOS DE ENSAYOS DE SUELOS.

Estos ensayos nos permiten conocer propiedades físicas -mecánicas de los suelos según las normativas ASTM y AASHTO.

Es decir que dichas normas determinan las propiedades de un suelo a través del método SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), para obras de tipo vertical y el método HRB (Highway Research Board) para obras horizontales.

2.6.1. Ensayos Físicos

Propiedades índices de los suelos.

2.6.1.1. Humedad

Según (Das, 2001) Se define como la cantidad de agua presente en el suelo al momento de efectuar los ensayos relacionado al peso de su fase sólida. El principal objetivo de este ensaye es conocer la cantidad de agua existente en el suelo, al tener la cantidad esta la expresamos en porcentaje y de esta manera se utiliza para determinar las relaciones volumétricas.

Procedimiento de cálculos.

$$\%W = \frac{\text{Peso de agua contenida}}{\text{Peso seco}} = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

$\%W$ = Porcentaje de humedad natural del suelo, %

W_h = Peso de húmedo del suelo, gr

W_s = Peso seco del suelo, gr

Todos los suelos se componen de tres fases, sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida está constituida por las partículas minerales, la parte líquida está representada principalmente por agua, y la gaseosa por aire (Juárez y Rico, 2004).

El objetivo principal de este ensaye es conocer la cantidad de agua presente en el suelo natural, esta se encuentra expresada en porcentaje y se utiliza posteriormente para determinar otras relaciones volumétricas. Estas pueden ser: peso específico, relación de vacíos grados de saturación y el peso volumétrico.

2.6.1.2. Gravedad Específica.

(Berry & Reid, 1993), Se define como Gravedad Específica de los Suelos, a la relación de la densidad de un suelo y la densidad del agua. El valor de la Gravedad Específica de un Suelo queda expresado por un valor abstracto; además de servir para fines de clasificación, interviene en la mayor parte de los cálculos de la Mecánica de Suelos, el valor de la misma varía entre 2.20 y 3. Se utiliza para el cálculo de volúmenes de vacíos, se utiliza también en el análisis del hidrómetro y es útil para predecir el peso unitario del suelo, especialmente para agregados finos.

Tabla No (1) Rango de gravedades especificas según el tipo de suelo

Tipos de suelos	Rango de gravedades especificas
Cenizas volcánicas	2.20 a 2.50
Suelos orgánicos	2.50 a 2.65
Arena y Gravas	2.65 a 2.67
Limos Inorgánicos	2.67 a 2.72
Arcillas poco plásticas	2.72 a 2.78
Arcillas medianamente plásticas y muy plásticas	2.78 a 2.84
Arcillas Expansivas	2.84 a 2.88
Suelos con Abundante Hierro	3.00

Fuente: Guía de laboratorios Mecánica de suelos I

Procedimiento de cálculos.

Obtenidos todos los datos proporcionados por el ensayo de gravedad específica determinar su valor por medio de:

$$G_s = \frac{W_s}{(W_{fs} + w_s - W_{fsw})} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

G_s = Gravedad Específica

W_s = Peso seco del suelo, gr

W_{fw} = Peso del Frasco + agua de curva de calibración, gr

W_{fsw} = Peso del Frasco + suelo + agua, gr

2.6.1.3. Determinación de Análisis Granulométrico.

La granulometría es muy importante en el proceso de clasificación de suelos, ya que permite en primera instancia separar la fracción gruesa de la fina.

Además las características del tamaño de las partículas de un suelo, tienen gran importancia en su comportamiento mecánico, e influyen considerablemente en la compactación adecuada de los suelos.

Esta prueba se remite a determinar al tamaño o diámetro de las partículas que componen el suelo, existen diferentes métodos, dependiendo de la mayor proporción de tamaños que existen en la muestra que se va a analizar. Para las partículas Gruesas, el procedimiento utilizado es el Método Mecánico o Granulometría por Tamizado.

Procedimiento de cálculos.

$$\% RP = \frac{WRP}{W_{total}} \times 100 \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

%RP= Porcentaje Retenido Parcial

WRP= Peso Retenido Parcial

WT= Peso Total

$$\% RA = \sum \%RP \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

%RA= Porcentaje Retenido Acumulado

$\sum \%RP$ =Sumatoria de los Porcentajes Retenidos Parcial

$$\% Q' PT = 100 - \%RA \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

$\% Q' PT$ =Porcentaje que Pasa el Tamiz

Pero para las partículas finas, por dificultarse más el tamizado se utiliza el Método del Sifoneado o el Método del Hidrómetro, basados en la Ley de Stokes (Blanco & Matuz, 2006).

Procedimiento de cálculos.

$$D = \frac{K * \sqrt{L/t}}{\quad} \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

D=diámetro de las partículas

L= lectura

T= tiempo

2.6.1.4. Granulometría por tamizado.

Los tamaños de las partículas de suelos son muy variables, los granos mayores son los que se pueden mover con la mano, mientras que los más finos son tan pequeños que no se pueden apreciar con un microscopio corriente. Debido a ello se realiza el análisis granulométrico que tiene por objeto determinar el tamaño de las partículas o granos que constituyen un suelo y calcular en porcentaje de su peso total, la cantidad de granos de distinto tamaño que el mismo contiene (Rico & Del Castillo, 2008).

El procedimiento de ejecución del ensayo es simple y consiste en tomar una muestra de suelo seco de peso conocido, y colocarlo en el juego de tamices de aberturas descendentes, hasta llegar a la malla N° 200 (0.074mm), pesando los retenidos parciales de suelo en cada tamiz.

Después se calcula los porcentajes retenidos parciales, los porcentajes acumulados, y por último los porcentajes que pasan por cada malla o tamiz, posteriormente se expresan los resultados en forma gráfica mediante la curva granulométrica (Juárez & Rico, 2005).

Es un proceso mecánico mediante el cual se separan las partículas de un suelo en sus diferentes tamaños, denominado a la fracción menor (Tamiz No 200) como limo, Arcilla y Coloide. La cantidad de suelo retenido indica el tamaño de la muestra, esto solo separa una porción de suelo entre dos tamaños. (Nomas ASTM International, 2007)

El primer grupo es la fracción “gruesa”, que está conformada por las partículas mayores a la malla #200 (0.074mm). Y el segundo es la parte “fina”, la cual está conformada por todas aquellas partículas menores a la malla 200.

Se considera un suelo grueso, cuando el 50% del peso de una muestra queda retenido en la malla 200. (Normas ASTM International, 2007)

Los suelos gruesos se subdividen en:

- a) Gravas de símbolo genérico G.
- b) Arenas, de símbolo genérico S.

Las gravas y las arenas se separan con la malla #4 (4.76mm). Se considera como grava a todo el material retenido en dicha malla, El material que pasa la malla #4 y es retenido en la malla # 200, es una arena. Estos grupos **G y S**, se subdividen en cuatro grupos más, en función de su gama de tamaños, de la presencia de finos y la plasticidad de los mismos. De esta forma a cada grupo formado se le asigna un símbolo conformado por dos letras mayúsculas.

Cuando el 50% del peso total de la muestra traspasa la malla # 200, se dice que el suelo es fino. De la misma forma que los suelos gruesos, los finos se subdividen en tres grupos, en función de su índice plástico (**IP**).

Estos tres grupos son:

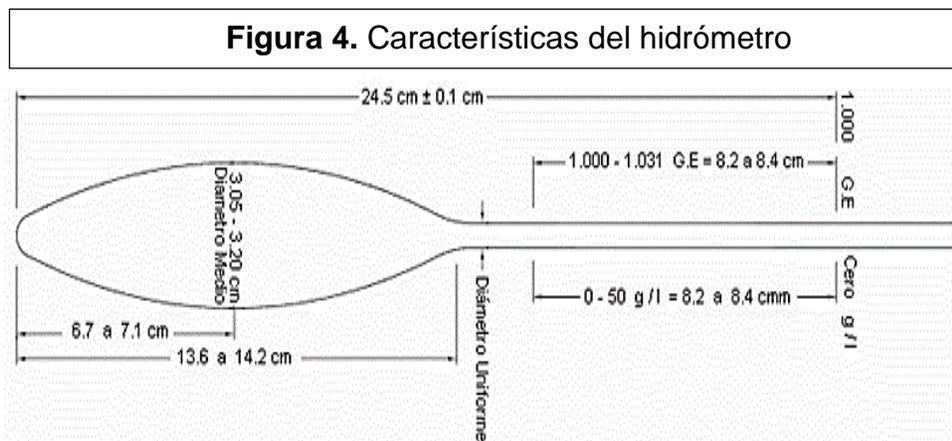
- Limos inorgánicos, de símbolo genérico M.
- Arcillas inorgánicas, de símbolo C.
- Arcillas y limos orgánicos de símbolo genérico O.

Al igual que los suelos gruesos, el símbolo consta de dos letras, esta segunda letra es asignada en función de su grado de compresibilidad, definida por el límite líquido (LL), esta segunda letra puede ser H, para una alta compresibilidad o L, para baja compresibilidad.

2.6.1.5. Análisis granulométrico por medio del hidrómetro.

El análisis hidrométrico se basa en la ley de Stokes, la cual relaciona la velocidad de una esfera cayendo libremente a través de un fluido con el diámetro de la esfera. Se asume que la ley de Stokes puede ser aplicada a una masa de suelo dispersado, con partículas de varias formas y tamaños.

El diámetro se usa para determinar el porcentaje de partículas del suelo dispersados, que permanecen en suspensión en un determinado tiempo. Para ensayos de rutina con fines de clasificación, el análisis del hidrómetro se aplica a partículas de suelo que pasan el tamiz No.10. (ASTM International,)



Fuente: Crespo Villalaz, 2004

2.6.1.6. Pesos Unitarios:

Es la relación entre el peso y una determinada cantidad del suelo, el volumen ocupado por el mismo considerado como el volumen que ocupan las partículas y su correspondiente espacio intergranular.

Para el peso volumétrico seco suelo se deposita el material en un recipiente metálico a una altura constante y al estar lleno, se enrasa y se repite este procedimiento tres veces.

Y para determinar el peso volumétrico seco compacto, se deposita el material en un recipiente en tres capas a una altura constante y cada capa es compactada con ayuda de una varilla punta de bala con 25 golpes, de igual manera se repite este procedimiento tres veces.

Procedimientos de cálculos.

$$PV = \frac{Ws}{Vol.} \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde:

PV = Peso volumétrico

Ws = Peso seco

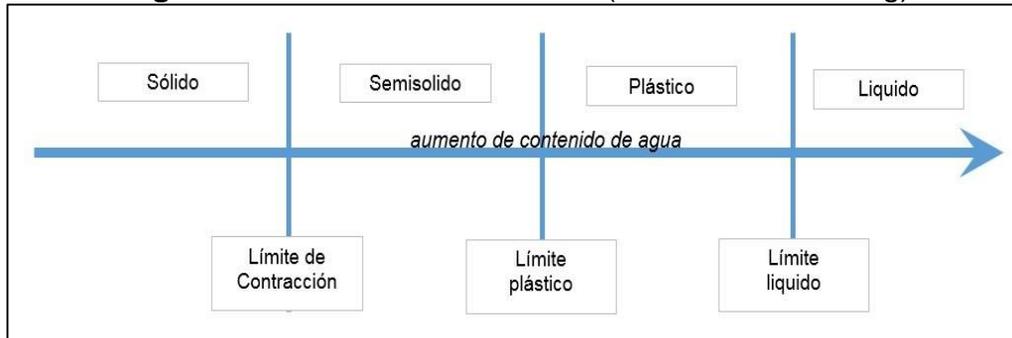
Vol = Volumen del molde

2.6.1.7. Límites de consistencia de los Suelos (Límites de Atterberg)

Se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. El nombre de estos es debido al científico sueco Albert Mauritz Atterberg. (1846-1916) según las (Normas ASTM International), dice que los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. El suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido. La arcilla, por ejemplo al agregarle agua, pasa gradualmente del estado sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido.

El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades, para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad), es decir, la propiedad que presenta los suelos hasta cierto límite sin romperse.

Figura 5. Límites de consistencia (Límites de Atterberg)



Fuente: Elaboración Propia

a). Límite Líquido (L.L).

Se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, que debe tener un suelo moldeado para una muestra del mismo en que se haya moldeado una ranura de dimensiones Estándar, al someterla al impacto de 25 golpes bien definidos se cierre sin resbalar en su apoyo. (Crespo, 2004)

Procedimientos de cálculos.

$$L.L = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100 \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde:

L.L = Límite líquido

W_h = Peso húmedo

W_s = Peso seco

b). Límite Plástico (L.P).

Se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje, cuando comienza agrietarse un rollo formado con el suelo de 3 mm de diámetro, al rodarlo con la mano sobre una superficie lisa y absorbente. (Crespo, 2004).

Procedimientos de cálculos.

$$L.P = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100 \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde:

L.P = Límite líquido

W_h = Peso húmedo

W_s = Peso seco

c). Límite de Contracción (L.C.)

De un suelo se define como el porcentaje de humedad con respecto al peso seco de la muestra, con el cual una reducción de agua no ocasiona ya disminución en el volumen del suelo.

El límite de contracción es muy útil para evaluar el comportamiento de cortes y terraplenes principalmente en el posible surgimiento de grietas (Crespo, 2004)

Procedimientos de cálculos.

$$L.C. = \frac{W_m - W_s ((V_1 - V_2) \gamma_w)}{W_s} \times 100 \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde:

L.C = Límite de Contracción

Wm = Peso de la muestra húmeda.

Ws = Peso de la muestra seca.

V1 = Volumen de la muestra húmeda

V2 = Volumen de la muestra seca

γ_w = Peso específico del agua a temperatura de ensaye.

d) Índice de plasticidad (IP)

Es una medida de cuánta agua puede absorber un suelo antes de disolverse en una solución. Mientras más alto es este número, el material es más plástico y más débil. El I.P se mide por dos pruebas simples en la mecánica de suelo: el límite líquido y el límite plástico; la diferencia entre los dos es el Índice de Plasticidad.(Crespo,2004)

Procedimientos de cálculos.

$$I.L = L.L - L.P \qquad \text{Ec. (11)}$$

Donde:

I.P = índice de plasticidad.

L.L = límite líquido

L.P = límite plástico

El **IP** se mide por dos pruebas simples en la mecánica de suelo: el límite líquido y el límite plástico; la diferencia entre los dos es el Índice de Plasticidad.

2.6.2. Ensayos Mecánicos

2.6.2.1. Compactación.

El término compactación se utiliza en la descripción del proceso de densificación de un material mediante medios mecánicos.

El incremento de la densidad se obtiene por medio de la disminución de la cantidad de aire que se encuentra en los espacios vacíos presentes en determinado material, manteniendo el contenido de humedad relativamente constante, (Berrios & Chavarría, 2011).

2.6.2.2. Prueba de Proctor Estándar

Los parámetros que se obtienen de este ensayo son el peso unitario seco máximo y el contenido de humedad óptimo. El grado de compactación se mide en términos del peso unitario seco del suelo. Al compactar se añade agua, el peso unitario seco que se obtiene de la compactación viene dado por el contenido de humedad óptimo que es diferente para cada tipo de suelo. (Normas ASTM International).

La prueba original del proctor consiste en colocar tres capas iguales de suelo humedecido en un molde con un volumen 943cm^3 y darles 25 golpes a cada capa con un pistón de 2.5kg de peso cayendo de una altura de 30cm, proporcionando una energía de compactación de 593.7KJ/m^3 .

Tabla No (2) Especificaciones para el ensaye Proctor Estándar y Proctor Modificado usado en los laboratorios

Ensayo	Proctor Estándar ASTM D 698 AASHTO T 99	Proctor Modificado ASTM D 1557 AASHT T 180
Método	Método A	Método A
Tipo de material utilizado de prueba	Material arcilloso que pasa el tamiz N ₀ 4	Material arcilloso que pasa el tamiz N ₀ 4
Diámetro del molde	10.16cm	10.16cm
Peso del pistón, W	2.5Kg	4.5Kg
Diámetro del pistón	5.08cm	5.08cm
Altura de caída del pistón	30.5cm	45.7cm
Número de golpes por cada capa, n	25	25
Número de capas, N	3	5
Energía de compactación, E	6.08Kg-cm/cm ³	27.59 Kg-cm/cm ³

Fuente: Norma ASTM-698

Procedimientos de cálculos.

- ✓ Determinación de Peso Volumétrico Seco Máximo.

$$PVM = \frac{W_s}{Vol.} \quad \text{Ec. (12)}$$

Donde:

PVM= Peso volumétrico máximo

W_s = Peso seco

Vol. = Volumen del molde

$$\%W = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100 \quad \text{Ec. (13)}$$

Donde:

%W = Porcentaje de humedad

Wh = Peso del suelo húmedo

Ws= Peso seco

2.6.2.3. Ensaye de valor relativo soporte o Relación de soporte de california (C.B.R).

Es un índice de su resistencia al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad se expresa como el tanto por ciento determinadas de compactación y humedad, se expresa como el tanto por ciento de la carga necesaria para introducir un pistón de sección circular en una muestra de suelo.

Procedimientos de cálculos.

$$\text{C.B.R} = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} \times 100 \quad \text{Ec. (14)}$$

$$\text{C.B.R (0.1")} = \frac{\text{Esfuerzo para (0.1")}}{\text{Esfuerzo patrón para (0.1")}} \times 100 \quad \text{Ec. (15)}$$

$$\text{C.B.R (0.2")} = \frac{\text{Esfuerzo para (0.2")}}{\text{Esfuerzo patrón para (0.2")}} \times 100 \quad \text{Ec. (16)}$$

Donde:

C.B.R (0.1", 0.2") = valor relativo de soporte normal.

Los valores de los esfuerzos para las diferentes profundidades de penetración dentro de la muestra patrón, son indicados a continuación (Tabla No. 3).

Tabla No (3). Carga unitaria patrón según su penetración

Penetración			Esfuerzo unitario Patrón		
Milímetros (mm)	Centímetros (cm)	Pulgadas (Pulg)	Kg/Cm ²	Mpa	PSI
2.5	0.25	0.10	70.31	6.9	1.000
5.0	0.50	0.20	105.46	10.3	1.500
7.5	0.75	0.30	133.58	13.00	1.900
10.0	1.00	0.40	161.71	16.00	2.300
12.7	1.27	0.50	182.8	18.00	2.600

Fuente: Norma ASTM D-1883

Los ensayos de C.B.R se hacen usualmente sobre muestras compactadas con el contenido de humedad óptimo para el suelo determinado utilizando el ensayo de compactación Proctor Estándar o Proctor Modificado.

El C.B.R de una muestra de suelo se determina generalmente para penetraciones de pistón de 0.1 y 0.2 pulgadas, eligiéndose el mayor de los dos como valor representativo de la muestra y con el resultado de C.B.R de esta prueba se puede clasificar el suelo usando la siguiente tabla No (4)

Tabla No (4) Clasificación y uso de suelo según el valor de CBR

C.B.R	Uso
0-5	Subrasante muy mala
5-10	Subrasante mala
10-20	Subrasante regula o buena
20-30	Subrasante muy buena
30-60	Sub-base buena
60-80	Base buena
80-100	Base muy buena

Fuente: Crespo, Villalaz ,2004 Mec. Suelos y cimentación

2.7. Cáscara de huevo como agente químico estabilizador de suelos arcillosos

Debido al crecimiento de la avicultura y a su vez el aumento de los residuos de cáscaras de huevo en Colombia es importante gestionar integralmente los residuos sólidos generados con el fin de contribuir al ciclo cerrado de este material.

La cáscara de huevo son una fuente rica de minerales, sirviendo como excipiente farmacéutico, un material de base para el desarrollo de preparaciones medicinales y dentales, un aditivo alimenticio y suplementos de calcio, un diluyente de formas de dosificación sólida, uso como un componente de fertilizante agrícola, y como un componente para los implantes óseos . (Olaya B. 2018)

Al consultar las diferentes fuentes bibliográficas en Nicaragua, se evidencian que la cáscara de huevo pulverizada aún no se ha usado como un agente químico estabilizador de suelos arcillosos en las construcciones de vías primarias, secundarias y terciarias, según (Ministerio Agropecuario MAG).

La producción de huevo en Nicaragua, de enero a julio es de 18.2 millones de cajillas, un 4 % superior al mismo periodo del año 2018. Producción de la Cáscara de huevo. A nivel internacional la producción de huevo en el mundo viene en aumento, incrementándose en las últimas 3 décadas (1983 al 2013) un 152%, en el 2013 la producción de huevo en el mundo fue de 73.8 millones de toneladas.

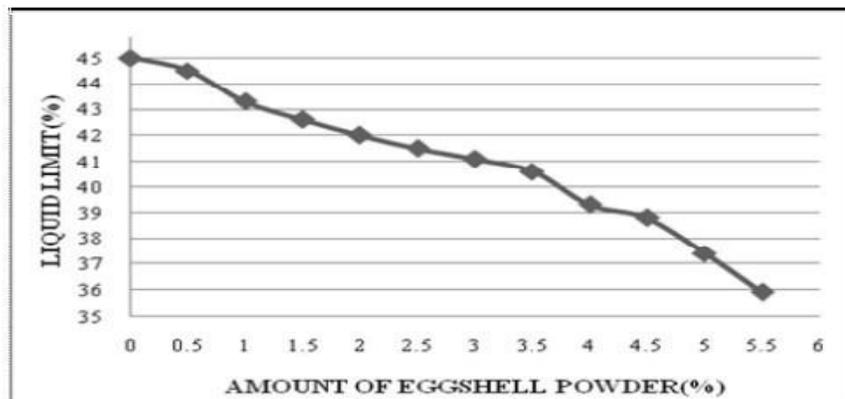
El mayor productor de huevo a nivel internacional es China, representando el 39% de la producción mundial al 2013. El continente asiático produce 45.3 millones de toneladas al 2013. (FAO, 2015). Por lo tanto se puede deducir que se producen aproximadamente 7.38 millones de toneladas de cáscara de huevo por año.

El objetivo principal de utilizar la cáscara de huevo pulverizada (por sus siglas en inglés Eggshell power - ESP), es hacer que el suelo arcilloso plástico se estabilice a un menor costo. La adición de ESP ha modificado y corregido el suelo positivamente mejorando las características y por lo tanto su uso en la estabilización del suelo arcilloso plástico se puede recomendar con otros estudios relacionados sobre sus otras características tales como absorción de agua, permeabilidad, etc. (Olaya B. 2018)

2.7.1. Descripción de algunos postulados de diferentes autores

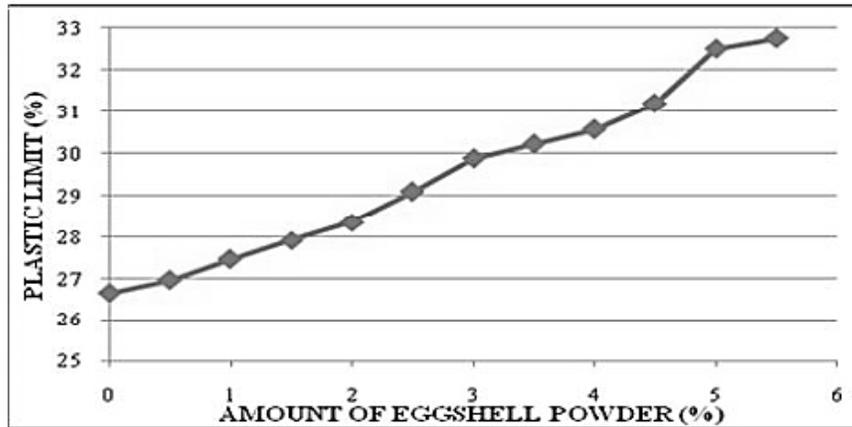
De acuerdo con Kumar y Tamilarasan (2014), quienes estudiaron muestras de suelo recolectadas y estabilizadas con cáscara de huevo, las cuales fueron pulverizadas en proporciones de 0,5% a 5,5% en intervalos de 0,5, concluyeron que este material usado como aditivo mejorará la fuerza de los suelos; sin embargo, el uso de cantidades superiores al 3% (Fig. 6 y 7) no produce resultados óptimos. (Olaya B. 2018)

Figura 6. Variación del Límite Líquido al adicionar Cáscara de Huevo Pulverizada



Fuente: Kumar y Tamilarasam, 2014

Figura 7. Variación del Límite Plástico al adicionar Cáscara de Huevo Pulverizada



Fuente: Kumar y Tamilarasam, 2014

Los autores Barazesh, Saba, Gharib y Yousefi (2012), presentan el estudio del efecto del polvo de cáscara de huevo sobre las propiedades de la plasticidad del suelo. Estos autores realizaron experimentos del límite líquido y plasticidad en muestras de suelo con índices primarios de plasticidad igual a 26, 31, 35, 39 y 45 usando diferentes proporciones de aditivos (1-25% en peso). Lograron concluir, que la adición de polvo de cáscara de huevo a los especímenes de suelo expansivos redujo el índice de plasticidad en las mezclas.

Esta disminución conlleva una pendiente relativamente nítida en todos los especímenes que indicaban el efecto significativo del polvo de cáscara de huevo en el índice de plasticidad de los suelos arcillosos (Olaya B. 2018)

En el 2016, el grupo de ingenieros civiles conformado por Prasad, Mathachan, James y Justine, investigaron el efecto del curado en el suelo estabilizado con cáscara de huevo concluyendo, que este material se puede utilizar para mejorar perceptiblemente la fuerza del suelo.

El resultado de la prueba compresiva no confinada con cáscara de huevo como agente estabilizador en los porcentajes de 10%, 15% y 20% después de 0, 4 y 7 días de tratamiento demostró, que la fuerza de compresión aumenta hasta un valor de 196 debido a la adición del 15% de cáscara después del curado a siete (7) días, a diferencia del 20% de adición de cáscara de huevo que se redujo drásticamente. Por otro lado, se observó un cambio mínimo en el contenido óptimo de humedad, que fue del 15%, el cual se considera como un porcentaje óptimo. (Olaya B. 2018)

2.7.2. Composición del Huevo

Un huevo promedio pesa entre 50 y 60 gramos, de los cuales el 10% es el peso de la cáscara (5 a 6 gramos); del 58% al 60%, es el de la clara (32-36 gramos); y del 30% al 32% restante, es el de la yema (16-18 gramos) (Zuluaga y Fernández, 2014)

La cáscara tiene aproximadamente el 11% del peso total del huevo y presenta contenidos de: carbonato de calcio (94%), fosfato de calcio (1%), carbonato de magnesio (1%) y sustancias orgánicas 4%). Por lo tanto, la cáscara de huevo es una rica fuente de sales minerales, principalmente carbonato de calcio.

Desafortunadamente, la cáscara del huevo es un residuo de la industria de este producto, sin embargo, este aspecto abre la posibilidad para proponer nuevos usos de este material. (Olaya B. 2018)

2.8 CAL.

Es el conglomerante constituido por óxido cálcico (cal viva) (CaO) o hidróxido de calcio (cal apagada) Ca (OH)₂ y que tiene la propiedad de endurecer únicamente al aire, después de amasado con agua.

2.8.1 Antecedentes del uso de la Cal.

El uso de agregados estaba ligado a la fabricación de mezclas de mortero, tal es el uso de la cal, un ejemplo de ello es la máscara de Jericó, una cubierta de cal pulida sobre una calavera que data del año 7000 A.C, estas técnicas antiguas fueron retomadas a su vez por los griego y posteriormente los romanos. Estos no satisfechos buscaron implementar su uso en obras constructivas de alto nivel mezclando cal con suelos volcánicos, este fenómeno produjo obras de alto nivel y calidad aumentando la resistencia de los morteros significativamente (Ruiz, 2013).

2.8.2. Uso de la Cal en la Estabilización.

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. Se han construido miles de kilómetros de carreteras, así como aeropuertos principales como el de Dallas Fort Worth en EE.UU, sobre arcillas estabilizadas (Maldonado H. & Orellana A., 2009).

Esta técnica también se practica extensamente en Sudáfrica, Australia, Nueva Zelanda, Alemania, Suecia, Guatemala y Francia. Desde entonces, la estabilización de los suelos arcillosos con cal se ha convertido en una alternativa económicamente beneficiosa a los métodos tradicionales de construcción.

En Nicaragua los estudios sobre este tipo de procesos constructivos son limitados, en gran medida por los gastos en los que se incurriría, no solo de dinero, sino también en el tiempo que se invertiría para su elaboración. Por lo general optamos por llevar los suelos a botaderos o usar mezclas de suelo con cemento, este proceso puede no ser el mejor e incluso accionar aún más pérdidas (Fletes, 2004).

2.8.3. Estabilización con Cal

La cal es el producto de la calcinación de rocas calizas a temperaturas entre 880 y 900°C, constituido principalmente por óxido de calcio (CaO) y otros componentes. La adición de cal en los materiales arcillosos para terracerías, revestimientos, subbase y bases, por sus diferentes reacciones, en mayor y menor grado, produce aumento en su límite líquido y mayor incremento en su límite plástico para generar así una disminución en su índice plástico; aumentando la estabilidad volumétrica de los materiales cohesivos y la resistencia a la compresión simple y el CBR.

La cal puede ser utilizada en el tratamiento de suelos, en varios grados o cantidades, dependiendo del objetivo, una mínima cantidad de cal para tratamiento se utiliza para secar y modificar temporalmente los suelos. Tal tratamiento produce una plataforma de trabajo para la construcción de caminos temporales.

Un mayor grado de tratamiento, respaldado por las pruebas, diseño y las técnicas apropiadas de construcción, producen la estabilización estructural permanente del suelo (Álvarez & Echeverri, 1999).

La estabilización con cal produce en el suelo un aumento de la resistencia al esfuerzo cortante, que aumenta con la proporción de cal utilizada, el tiempo transcurrido, la temperatura de curado y la disgregación que se haya conseguido del suelo. Por otro lado, también aumenta la humedad óptima de compactación, que permite que suelos de elevada humedad natural puedan conseguir una densificación adecuada, la densidad máxima Proctor de un suelo estabilizado con cal es inferior a la del suelo original, lo que no tiene gran importancia debido a las mejoras anteriores obtenidas con la estabilización (Gamica, Pérez, & Obil, 2002).

2.8.4. Propiedades Físicas de la Cal.

- ✓ **Finura.** Es una característica importante en la medida que interviene en las condiciones de almacenamiento, transporte y mezcla con el suelo.

La hidratación de la cal viva con el agua produce la cal hidratada lo que lleva, además, una auto pulverización muy fina, incluso micronizada del producto. Además la finura puede intervenir en la reactividad de la cal.

- ✓ **Color.** Las cales comerciales tienen color blanco o débilmente gris, a veces un color rojizo debido al óxido de hierro que se encuentra en el yacimiento.
- ✓ **Densidad.** Esta propiedad depende de la temperatura de calcinación, cuando más alta es la temperatura de calcinación mayor será la densidad de la cal viva.
- ✓ **Dureza.** La dureza de las cales varía entre muy blandas y una dureza que se aproxima a la de la piedra original de donde se obtuvo, la dureza de la cal viva dependerá de la temperatura de calcinación.
- ✓ **Porosidad.** Depende del origen de la caliza y de las condiciones en que se lleve a cabo la calcinación. La porosidad en la cal viva es importante porque influye en la actividad química de la sustancia
- ✓ **Plasticidad.** Es una propiedad física importante, la cual se define como la capacidad que posee una masa de cal para cambiar su forma cuando ésta es sometida a presión sin que se produzca la ruptura y para mantener la forma alterada.

2.8.5. Reacción Química de la Cal con la Arcilla.

La mezcla de cal con el suelo provoca reacciones rápidas que originan cambios físico-químicos producidos por cambios iónicos, neutralización y floculación. Las finas partículas de arcilla se aglomeran en elementos más gruesos y friables.

Estas reacciones se producen siempre que el suelo tenga un cierto porcentaje de finos. La mezcla de cal, arcilla y el agua genera una reacción exotérmica, los iones de calcio (Ca^{++}) de la cal se intercambian con las partículas de arcilla, con el agua y otros iones. Mediante la reacción exotérmica se evapora el exceso de humedad la que aumenta la resistencia y baja el índice de plasticidad a niveles moderados, por lo que se aprecia un cambio físico en las arcillas a un carácter más arenoso o granular, (Álvarez & Echeverri, 1999).

2.8.6. Reacciones entre la cal y un suelo fino

2.8.6.1. Intercambio Catiónico (Reacción Rápida)

Las partículas de la arcilla tienen una elevada cantidad de superficies de cargas negativas que atraen cationes libres y dipolos de agua como resultado se forman una capa de agua altamente difusa alrededor de las partículas separándolas haciendo que la arcilla sea débil e inestable.

La adición de cal al suelo en cantidad suficiente suministra un exceso de iones Ca^{++} que reemplaza los cationes metálicos más débiles reduciendo el tamaño de la capa de agua difusa y permitiendo que las partículas de la arcilla se aproximen unas a otras o floculen.

2.8.6.2. Floculación y Aglomeración

Se produce aparentemente un cambio aparentemente de la textura del suelo, por cuanto las partículas del suelo se aglomeran formando otras de mayor tamaño.

Como resultado de ello se producen mejoras in meditadas en:

- Plasticidad debido a la capa de reducción de la capa de agua absorbida.
- Trabajabilidad debido al cambio de textura de una arcilla plástica a una materia friable del tipo limoso o arenoso.
- Aumento de fricción interna entre las partículas aglomeradas y mayor resistencia al corte.

2.8.6.3. Reacción Puzolanica (Reacción Lenta)

Si el suelo se compacta se produce una reacción a largo plazo, entre la cal, el agua y los minerales sillicos aluminosos del suelo fino, formándose complejos compuestos de silicatos y aluminatos de calcios hidratados que son agentes cementantes que incrementan la resistencia de la mezcla y su durabilidad.

Esta reacción es de carácter lento y varia con el suelo por tratar y con la temperatura. Se considera que un suelo es reactivo con la cal, si se logran aumentos de resistencia de cuando menos 50 Psi a los 28 días a una temperatura de 23 ° C.

2.8.6.4. Carbonatación

Consiste en la reacción de la cal con el dióxido de carbono del aire para formar carbonatos de calcio relativamente insolubles en lugar de productos cementantes (silicatos y aluminatos de calcio hidratados) $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$.

La carbonatación es una reacción indeseable y debe ser evitada, por cuanto el carbonato no reacciona con el suelo para incrementar resistencia o disminuir plasticidades. Por lo tanto, se debe impedir el proceso de mezcla sea muy largo y que la mezcla quede expuesta al aire durante largo tiempo antes de ser compactada (Sánchez, F 2005).

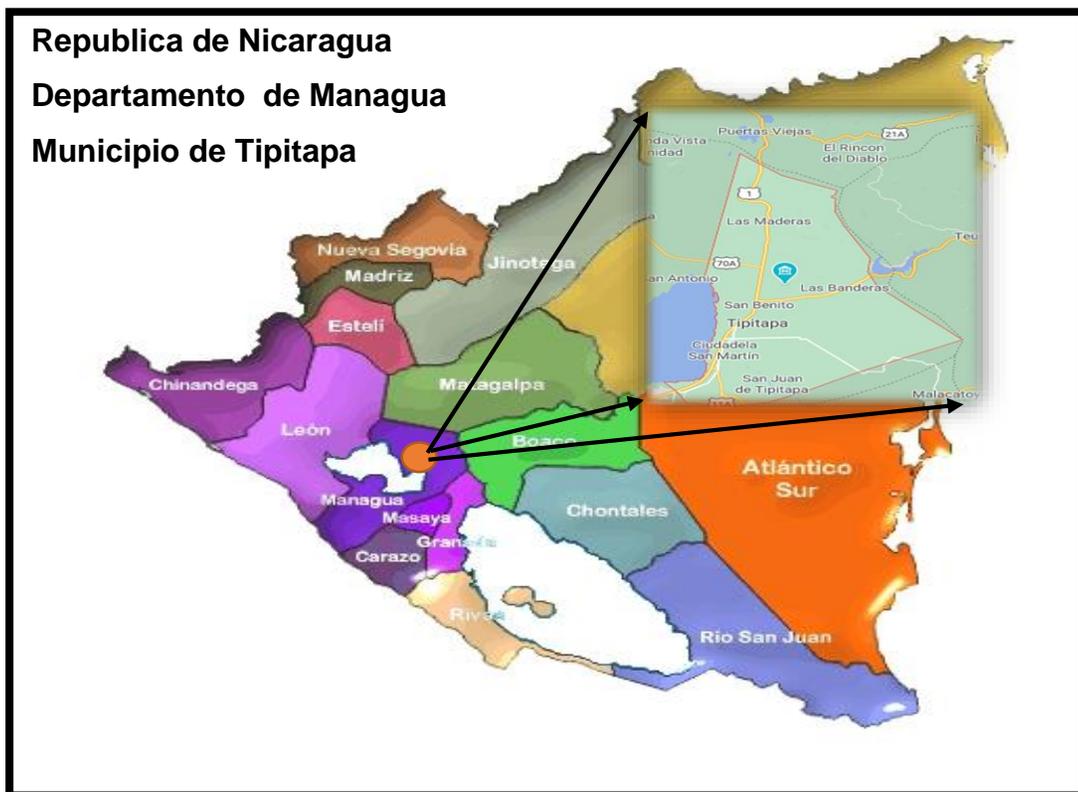
CAPITULO III
ANALISIS Y RESULTADOS

3.1.- DISEÑO METODOLÓGICO

3.1.1.-Descripción del sitio en estudio

En este acápite se describen las características más relevantes de la comunidad Las Maderas. Tomando en cuenta que se conoce empíricamente que la arcilla negra, es un suelo arcilloso y que predomina dentro de todas las arcillas en la región pacífica de Nicaragua, se seleccionó la zona de la comunidad, Las Maderas –Tipitapa en donde se extrajo la muestra para el estudio. El suelo a estabilizar es cohesivo y su estructura es inestable y se tiene que hacer un previo tratamiento para lograr que sea funcional para las obras de construcción.

Figura N° 8: Macro localización del lugar de donde se extrajo la muestra de Arcilla Negra).



Fuente: Elaboración propia

3.1.2.-MICROLOCALIZACION

Lugar de extracción de la muestra: Arcilla Negra

Departamento: Managua

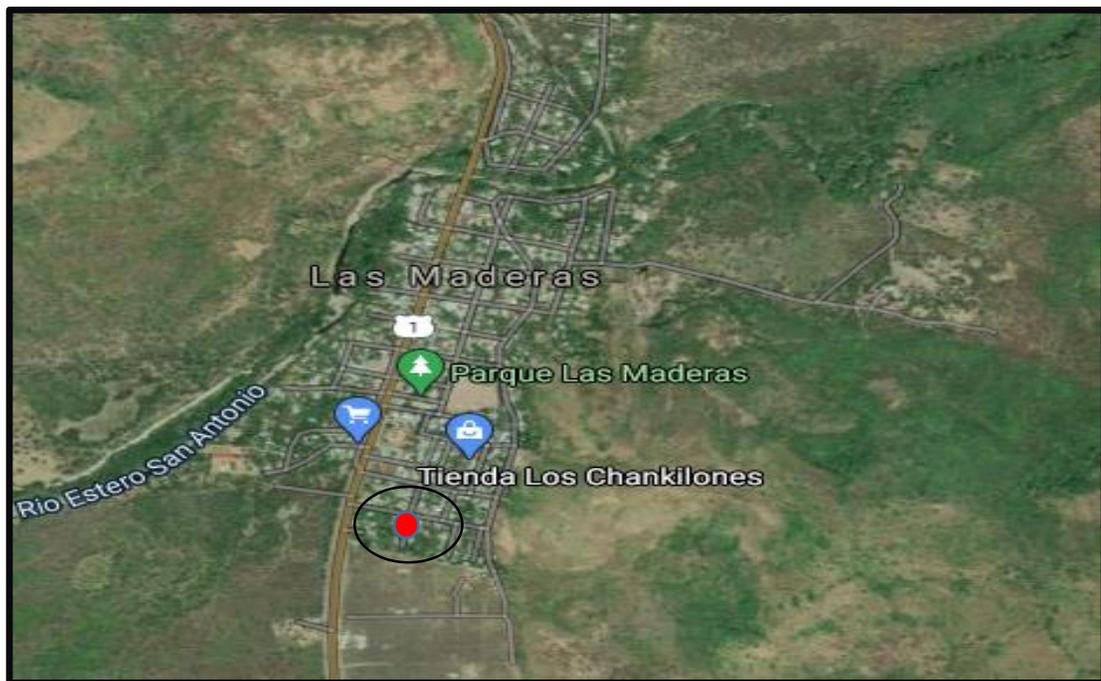
Municipio: Tipitapa

Comunidad: Las Maderas

Ubicación: Las Maderas del municipio de Tipitapa está ubicada a 49 kilómetros del casco urbano de Managua, en las coordenadas 12.436°N -86.041° O se extrajo la muestra del lugar llamado Barrio Nuevo de Maderas.

Numero de pozos: 2

Figura N° 9 : Micro localizacion del sitio en estudio.



Fuente: Elaboracion propia

3.1.3.-Muestras obtenidas del sitio

Para el desarrollo de este estudio se realizó 2 pozos a cielo abierto de 1m x 1m con 1m de profundidad , en el sitio de estudio Barrio Nuevo con el objetivo de extraer la muestra y evaluarla visiblemente el extracto de arcilla negra, se tomo la muestra y se traslado a laboratorio de materiales en la Universidad Nacional de ingenieria, para su debido estudio ver Anexos imagenes

3.1.4.-Análisis de Laboratorio

Despues de obtener las muestras se sometieron al analisis y fueron caracterizadas se utilizó los procedimientos establecidos con las normas A.S.T.M que lo rigen.

Ensayes a realizar y normas que lo rigen.

Tipo de ensaye	Designación (ASTM)
• Exploración y Muestreo	-----
• Contenido de Humedad Natural	D- 2216
• Pesos Unitarios	C29/C29M – 97
• Determinación de Análisis Granulométrico	D-422
• Clasificación (S.U.C.S)	D-2487
• Determinación de Gravedad Específica	D-854
• Determinación de Límites de consistencia (Límites de Atterberg)	D- 4318
• Compactación de suelo (Proctor Estándar)	D- 698-91
• Ensaye de valor relativo soporte o Relación de soporte de california (C.B.R).	D -1883

3.1.5.-Tipos de agentes estabilizadores que fueron propuestos a utilizar.

- Cáscara de huevo pulverizada
- Cal Hidratada

La cáscara de huevo pulverizado que se empleó en estos ensayos se obtuvo de los diferentes grupos industriales granjas avícolas de nuestro país y la cal de las distintas ferreterías de la capital.

El objetivo es determinar la proporción óptima del agente estabilizador cáscara de huevo pulverizado o Cal para el suelo, a cada muestra se le realizó compactación mezcla suelo-sin aditivo y mezcla suelo –con aditivo, para ello se usó los porcentajes siguientes:

- Mezcla suelo – aditivo (95%-5%).
- Mezcla suelo-aditivo (90%-10%).
- Mezcla suelo-aditivo(85%-15%).

3.2.- Análisis e interpretación de resultados

En este capítulo se enfoca al análisis de los datos obtenidos durante la recolección de muestras y pruebas de laboratorio realizadas, del mismo modo se describen criterios aplicados y la interpretación de los métodos utilizados.

Todos los datos obtenidos fueron analizados de forma tabular haciendo uso del software “Microsoft Excel 2013”, en el cual se insertaron las ecuaciones propuestas por las distintas normas sobre las cuales se fundamenta nuestro estudio. Así mismo los datos también fueron procesados de forma manual para reducción de posibles errores.

3.3.-Arcilla en estado natural

La importancia de la humedad de un suelo radica en que junto a otras características, determina su comportamiento, por ejemplo influye directamente en los cambios de volumen, estabilidad mecánica y cohesión, siendo particularmente influyente cuando se trata de suelos finos.

Las tres (3) muestras obtenidas del pozo a cielo abierto fueron agrupadas y ensayadas como una sola muestra por ser iguales arcilla negra (sonsocuite). En el ensayo de contenido de humedad natural se obtuvo un valor promedio de 31.91 %, ver tabla No (5)

3.3.1.- Humedad de la arcilla en estado natural

Tabla No (5) Humedad natural de la arcilla

Muestras	R-22	M-3	A-22	Promedio Total
Contenido de humedad (%) w	31.15	33.10	31.46	31.91

Elaboración: Fuente Propia

3.3.2.- Gravedad Específica de la arcilla en estado natural

Este ensayo permite determinar las relaciones masa- volumen de los materiales respecto a la relación masa-volumen de agua, así como la absorción de los materiales y se utiliza para calcular volúmenes ocupados por el material o mezcla de materiales en sus diferentes condiciones de contenido de agua.

Como podemos observar en la siguiente tabla los resultados obtenidos en tres (3) ensayos realizados para determinar la gravedad específica de los sólidos se obtuvo un promedio de 2.79 comprendida entre el rango (2.78-2.84) de la tabla No (1) Rango de gravedades específicas según el tipo de suelo ubicada en la

página 19 como arcilla medianamente plástica y muy plástica, ver resultados tabla N_o (6)

Tabla N_o (6) Gravedad Específica de la arcilla natural

Ensayos	Gravedad Específica (Gs)
1	2.90
2	2.64
3	2.85
Promedio Total	2.79

Elaboración: Fuente propia.

3.3.3 - Análisis granulométrico (Mecánico) de la arcilla en estado natural

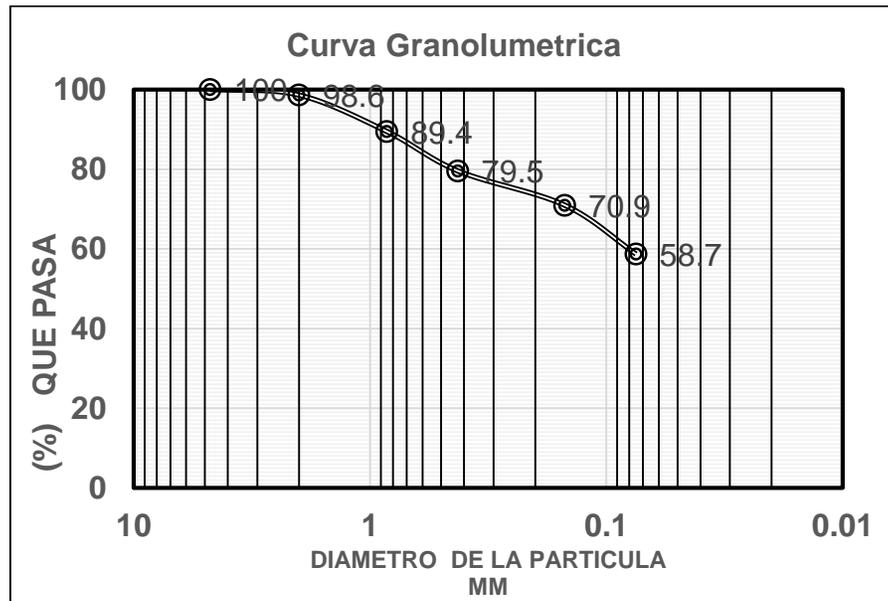
La información que hemos obtenido del análisis granulométrico nos permite decir que el suelo en estudio de la comunidad las Maderas de la ciudad de Tipitapa. Como se pudo ver los resultados, la malla #4 no retuvo material esto indica que no hay gravas, además que el porcentaje que pasa la malla #200 es mayor del 50 % del peso total con (58.7%) indicando que es un suelo fino y su clasificación por A.A.S.H.T.O es A-7-6(27), ver resultados tabla N_o (7) y Grafica N_o (1) los datos y cálculos ver en Anexos I

Tabla N_o (7) Análisis granulométrico de la arcilla natural

ANALISIS GRANULOMETRICO		
Método por Tamizado		
Nº. Malla	Diámetro del Tamiz mm	Porcentaje que pasa
Nº 4	4.750	100.0
Nº 10	2.000	98.6
Nº 20	0.850	89.4
Nº 40	0.425	79.5
Nº 100	0.150	70.9
Nº 200	0.075	58.7

Fuente: Elaboración propia

Grafica No (1) Curva granulométrica de la arcilla natural



Fuente: Elaboración propia

3.3.4.- Pesos Unitarios de la arcilla en estado natural

Este ensaye se realizó con el fin de conocer la relación que hay entre el peso de una determinada cantidad de material y el volumen que ocupan los mismos sueltos y compactos.

Se elaboraron (3) muestras para obtener un promedio total de pesos sueltos como compactos.

En el ensayo de determinación de pesos unitarios se obtuvo un peso volumétrico seco suelto de 814.6 Kg/m³ y un Peso volumétrico seco compacto de 1,146.1Kg/m³, ver resultados en la tabla No (8) y los datos y cálculos ver en Anexos I

Tabla No (8) Pesos Unitarios de la arcilla natural

Molde N°	M-B	M-B	M-B	Promedio
Ensayos	1	2	3	Total
Peso Volumétrico Seco Suelto (Kg/m³) P.V.S.S	814.5	814.6	814.6	814.6
Peso Volumétrico Seco Compacto (Kg/m³)P.V.S.C	1,145.9	1,146.2	1,146.2	1,146.1

Fuente: Elaboración propia

3.3.5.- Límites de Consistencia (Límites de Atterberg) de la arcilla en estado natural.

Se basan en el concepto de que los suelos finos presentes en la naturaleza pueden encontrarse en diferentes estados dependiendo del contenido de agua.

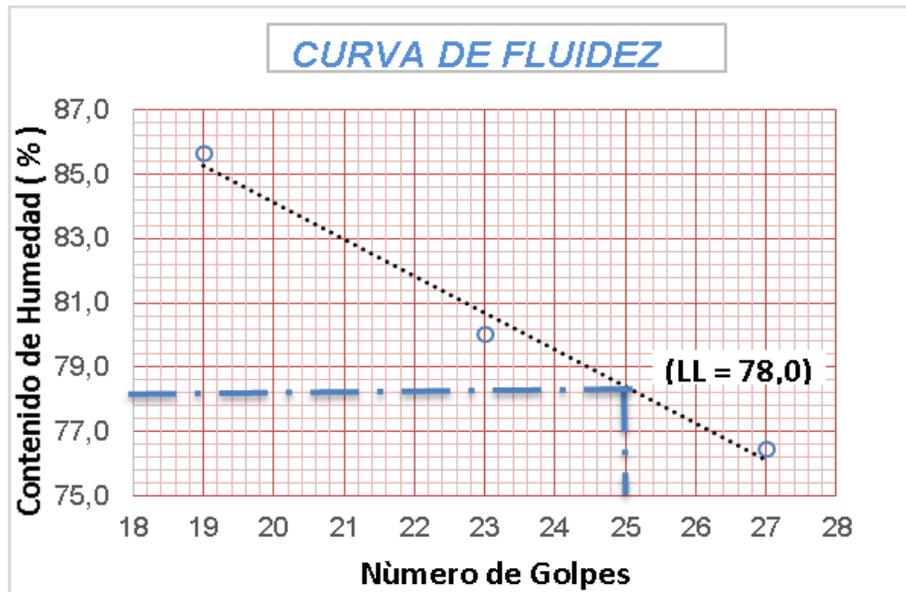
En este caso la consistencia del suelo varía aumentando o disminuyendo la humedad y esto permite definir el contenido de agua con el cual se procede el cambio de estado, en este caso según los resultados obtenidos de los límites de consistencia (Límites de atterberg) se obtuvo un Límite líquido 78%, el Límite plástico con 26.06% y el Índice de plasticidad 51.94% y se clasificó según S.U.C.S. (CH) como arcilla de alta plasticidad. A continuación ver resultados en la tabla No (9) y Grafica No (2) y los datos y cálculos ver en Anexos I

Tabla No (9) Límites de consistencia de la arcilla natural

Aditivos	Porcentajes	L.L	L.P	I.P	S.U.C.S	Descripción del suelo
Arcilla Natural	0%	78.00	26.06	51.94	CH	Arcilla

Fuente: Elaboración Propia

Grafica No (2) Curva de Fluidez (Arcilla en estado natural)



Fuente: Elaboración Propia

3.3.6.- Proctor Estándar de la arcilla en estado natural.

La importancia de la compactación es obtener un suelo de tal manera estructurado que posea y mantenga un buen comportamiento mecánico adecuado a través de toda la vida útil de la obra.

Este ensayo persigue determinar la densidad seca máxima de un suelo y la humedad óptima necesaria. Los valores de humedad óptima representan la cantidad de agua a usar cuando se compacta el suelo en el terreno, para obtener el peso volumétrico seco máximo a una energía de compactación correspondiente a la del método empleado en el laboratorio.

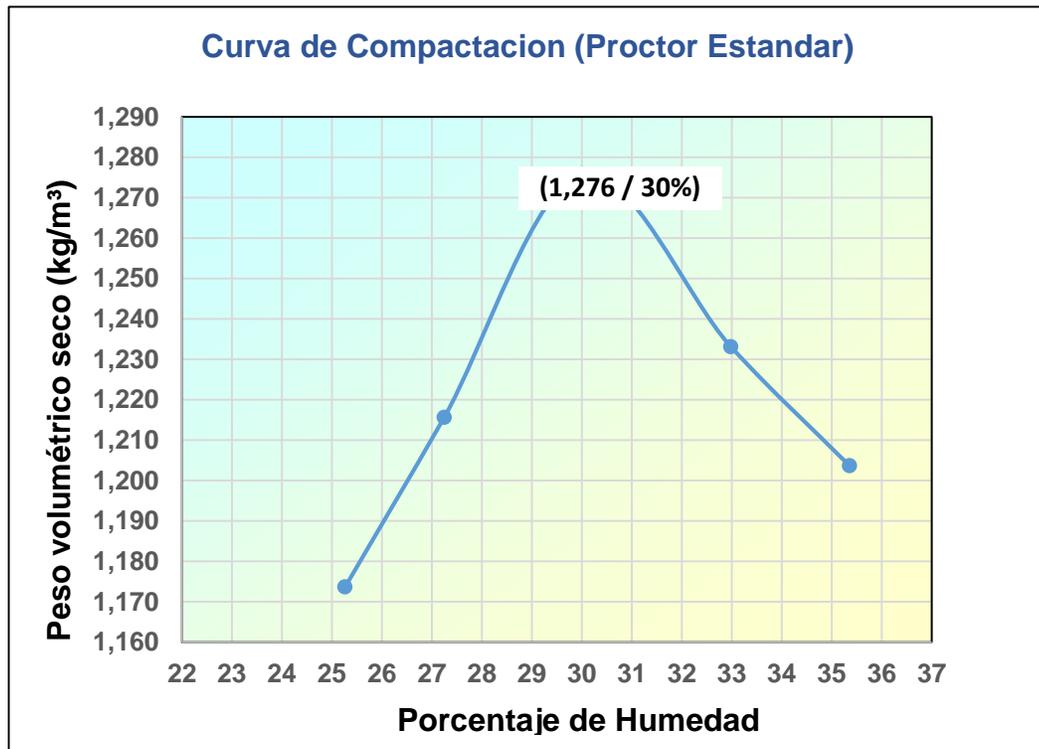
En el ensayo de Proctor estándar de la arcilla se encontró un peso volumétrico seco máximo de 1,276.0 Kg/m³ y una humedad óptima de 30.0%, ver resultados en tabla No (10) y Grafica No (3) y los datos y cálculos ver en Anexos I

Tabla No (10) Proctor Estándar de la arcilla natural

Ensayo	Humedad Optima (Wopt)	Peso Volumétrico Seco (y _{dmax})
Arcilla Natural	30.0 %	1,276.0 Kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Grafica No (3) Curva de compactación (Proctor Estándar) arcilla natural



Fuente: Elaboración Propia

3.3.7.- Valor Relativo soporte de California (C.B.R.) de la arcilla en estado natural.

Este ensaye es una prueba para determinar las características de resistencia de un suelo que se utiliza principalmente para el diseño de pavimentos. De igual manera se realizó la toma de tres (3) especímenes con diferentes energías de compactación los cuales fueron con 12,25, y 56 golpes obteniendo poca resistencia, escogiendo el valor más alto y se obtuvo un C.B.R de 5.29% con un

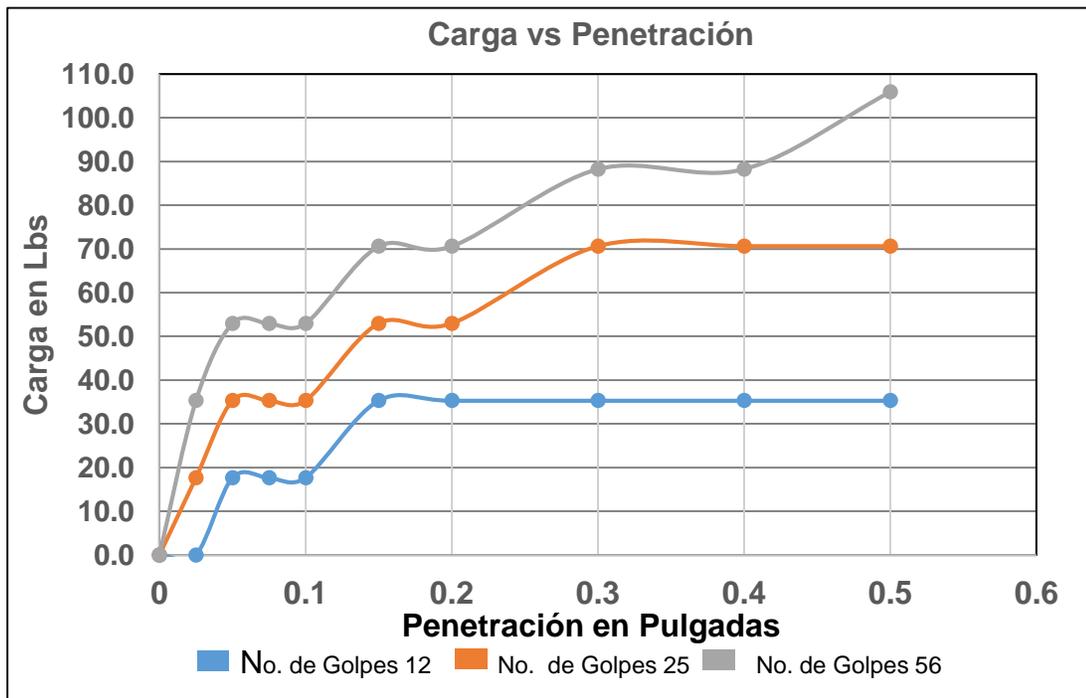
hinchamiento de promedio total de 1.5, cabe señalar que la humedad encontrada se obtuvo después de 96 horas saturadas la muestra, ver resultados en la tabla No (11) y Graficas No (4), (5) , los datos y cálculos ver en Anexos I

Tabla No (11) Valor relativo de soporte de california (C.B.R) de la Arcilla Natural

VALOR RELATIVO SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)							
COMPACTACION PROCTOR ESTANDAR							
DENSIDAD SECA MAXIMA : 1,276.0 Kg/m ³							
HUMEDAD OPTIMA (%) : 30.0%				Compactación : 100%			
Aditivo (%)	Descripción	Nº Golpes	Densidad seca máxima Kg/m ³	Humedad (%)	Valor C.B.R Penetración		Hinchamiento (%)
					0.1"	0.2"	
0	Arcilla Natural	12	1178.6	31.2%	1.77	2.35	1.5
	Arcilla Natural	25	1253.3	31.3%	3.53	3.53	
	Arcilla Natural	56	1283.3	32.5%	5.29	4.71	

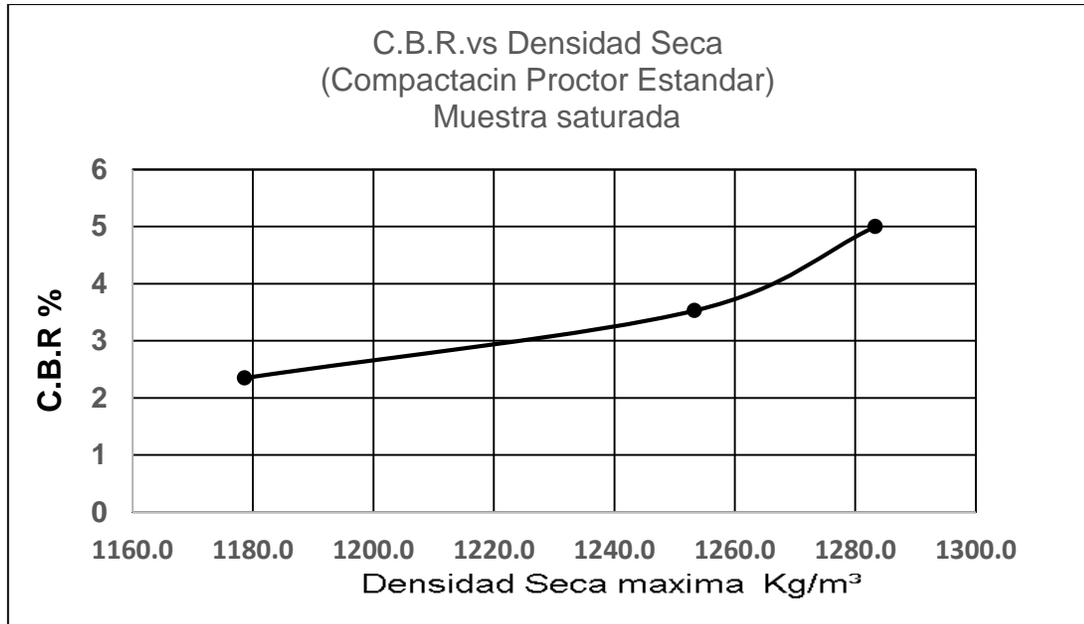
Fuente: Elaboración Propia

Grafica No (4) Carga Vs Penetración de Arcilla en estado Natural



Fuente: Elaboración Propia

Grafica No (5) CBR vs Densidad seca máxima de arcilla en estado Natural



Fuente: Elaboración Propia

3.4.-Arcilla natural más aditivos estabilizante en diferentes proporciones.

La cáscara de huevo utilizada para esta investigación son procedente de las diferentes granjas avícolas de nuestro país. A esta se le realizó un proceso iniciando con un lavado artesanal, después un secado de forma natural y triturada de igual manera, luego fue molida en un molino artesanal y cribado por el tamiz N° 40, utilizando lo que pasa el tamiz N° 40.

La cal hidratada que también se utilizó fue procedente de las distintas ferreterías de la ciudad de Managua se cribó por el tamiz N° 40 y de igual manera se utilizó lo que paso por la tamiz N° 40.

Los porcentajes que se usaron de cada aditivo estabilizador en este estudio, de acuerdo con la información obtenida en los postulados de los diferentes autores, tomado del primer párrafo de la página 36, se decidió realizarlos de forma experimental cada 5%, (5%, 10% y 15%) con relación al peso del suelo usado en cada ensaye que se realizó.

Los ensayos que se realizaron a la muestra de suelo con los diferentes porcentajes de mezcla suelo –aditivo de cáscara de huevo pulverizado o cal son:

- ✓ Límites de consistencia A.S.T.M D – 4318.
- ✓ Clasificación (S.U.C.S) A.S.T.M D-2487
- ✓ Proctor Estándar A.S.T.M D -698- 91.
- ✓ Valor relativo de soporte (C.B.R) A.S.T.M D – 1883.

3.5.- Límites de consistencia con diferentes porcentajes de aditivos

Tabla No (12) Variación límites de consistencia con diferentes porcentajes de aditivo

Aditivos	Porcentajes	L.L	L.P	I.P	S.U.C.S	Descripción del suelo
Arcilla Natural	0%	78.00	26.06	51.94	CH	Arcilla
Cáscara de Huevo pulverizada	5%	71.00	39.91	31.09	MH	Limo
	10%	68.00	43.55	24.45	MH	Limo
	15%	61.00	45.3	15.7	MH	Limo
Cal	5%	44.00	29.31	14.69	ML	Limo
	10%	42.00	38.41	3.59	ML	Limo
	15%	40.00	38.66	1.34	ML	Limo

Fuente: Elaboración Propia

Nota: Los datos y cálculos ver en Anexo I y los gráficos de Límites de consistencia con diferentes porcentajes de aditivos pueden apreciarse en los Anexos II correspondientes al capítulo 3.

En el estudio de los límites de consistencia del suelo al aplicar los porcentajes de cada estabilizante como cáscara de huevo pulverizado o cal estos variaron sus rangos de manera positiva. Como se pudo observar en la tabla No (12) la combinación de arcilla con cáscara de huevo pulverizado el Límite líquido (L.L) de la arcilla en estado natural era de 78% logrando disminuir con el 5% del aditivo a un 71%, al usar el 10 % de aditivo disminuyo a un 68%, y al usar el 15% de aditivo disminuye a un 61% .

El límite plástico (L.P) de la arcilla en su estado natural es de 26.06%, aumentó gradualmente con el 5% a un 39.91% con el 10% a un 43.55% y para el 15% un

45.3%. El índice de plasticidad (I.P) en su estado natural de la arcilla nos indica un rango bastante alta su plasticidad con 51.94% al agregar el 5% de aditivo este se logra disminuir a un 31.09%, con el 10% se reduce a 24.45% y con el 15% siguió disminuyendo a 15.7%.

Al hacer la combinación arcilla con cal se obtuvo un límite líquido de 44.0%, al agregar el 5% del aditivo, usando el 10 % se redujo a un 42.0%, y al usar el 15% disminuye a un 40% indicando que su efecto es reducir el límite líquido.

El límite plástico (L.P) al mezclar suelo más aditivo cal usando el 5% aumentó a un 29.31% con respecto en comparación al límite plástico de la arcilla en estado natural que es de 26.06% incremento a un 38.41 % con el 10%, y para un 38.46% con el 15% de aditivo.

El índice de plasticidad (I.P) en su estado natural de la arcilla con 51.94% al añadir el 5% del aditivo disminuye a un 14.69 %, con el 10% a 3.59% y con el 15% siguió reduciendo a 1.34%.

En comparación de la combinación de arcilla con cáscara de huevo pulverizado y arcilla con cal ambos obtuvieron resultados positivo demostrando una variante que la mezcla arcilla con cal , fue notorio que al aplicar los porcentajes de cal se produjo mayor efecto y variación en los valores en límite líquido del suelo reduciéndolos más y como consecuencia Índice de plasticidad se reduce significativamente y a su vez eleva los valores con respecto a límite plástico.

En lo que corresponde a la descripción del tipo de suelo con cada porcentaje se clasifico por (SUCS) de igual manera como se hizo anteriormente con solo arcilla natural, usando los datos de índice plástico y dando como resultados su descripción del suelo.

3.6.-Proctor Estándar con diferentes porcentajes de estabilizadores

Los valores de humedad óptima representan la cantidad de agua a usar cuando se compacta el suelo en el terreno para obtener el peso volumétrico seco máximo a una energía de compactación correspondiente a la del método empleado en laboratorio. Podemos decir que con los resultados obtenidos es notorio que a mayor energía de compactación la humedad óptima disminuye y el peso volumétrico seco aumenta.

Como podemos observar el ensaye proctor estándar sin estabilizante al 100 % de su compactación obtuvo una humedad óptima de 30.0% y su peso volumétrico seco máximo fue de 1,276.0Kg/m³ pero al mezclar el suelo con el (5%,10% y 15%) de cáscara de huevo o cal su humedad disminuyó y peso volumétrico aumentaron, ejemplo con el 15% de cáscara de huevo su peso volumétrico seco máximo aumentó a 1,372.5 Kg/m³ y humedad óptima 27,0% disminuyo.

En el caso de la mezcla suelo con cal este obtuvo un considerable aumento mayor en el peso volumétrico seco máximo 1,406.3 Kg/m³ más que con la cáscara de huevo pulverizada usando las misma cantidad de porcentaje de 15% antes mencionados, y la humedad óptima de 27.9 % igual manera bajo considerablemente en comparación con la humedad del ensaye sin porcentaje de aditivo.

Podemos decir que ambos estabilizadores tienden a disminuir la humedad óptima y aumentar el peso volumétrico seco máximo del suelo en estudio. A continuación ver resultados tabla No (13)

Tabla No (13) Proctor Estándar Variación de humedad óptima y peso volumétrico seco máximo con los diferentes porcentajes de aditivo

Ensayo	Humedad Optima (Wopt)	Peso Volumétrico Seco (ydm _{max})
Arcilla Natural 0%	30.0 %	1,276.0 Kg/m ³
Cáscara de huevo pulverizado 5%	27.9 %	1,299.4 Kg/m ³
Cáscara de huevo pulverizado 10%	27.0 %	1,358.5 Kg/m ³
Cáscara de huevo pulverizado 15%	27.0 %	1,372.5 Kg/m ³
Cal 5 %	27.5 %	1,365.5 Kg/m ³
Cal 10%	27.8 %	1,386.3 Kg/m ³
Cal 15%	27.9 %	1,406.3 Kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Nota: Los datos y cálculos ver en Anexo I y los gráficos de Proctor Estándar con diferentes porcentajes de aditivos pueden apreciarse en los Anexos II correspondientes al capítulo 3.

3.7.- Valor relativo soporte de california (C.B.R.) con diferentes porcentajes de estabilizadores.

El valor de C.B.R se realizó a un 100% de compactación Proctor Estándar se procedió a realizar el ensaye como corresponde la norma que lo rige A.S.T.M – D-1883 esta denomina al ensayo simplemente un ensayo de relación de soporte, mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad es controladas. Los valores de los esfuerzos para diferentes profundidades de penetración dentro de la muestra patrón, son los que se pueden apreciar en la tabla N_o (14).

Para poderlo determinar el valor de C.B.R se ensayó tres (3) muestras con distintas energías de compactación con 12, 25, y 56 golpes estas muestras se ensayaron saturadas durante 96 horas antes de ser penetradas, la penetración de las muestras se llevaron a cabo en la máquina de comprensión.

Obtenidos los valores para las tres (3) muestras iniciando con la arcilla en estado natural (sin porcentaje de aditivo) el valor de C.B.R que se escogió es el valor de mayor de 5.29% correspondiente a (0.1”) pulgada de penetración con una humedad de 32.5% y el promedio total del hinchamiento es de 1.5 % con densidad seca máxima de 1,283.3 kg/m³ caracterizándose como un suelo que posee poca resistencia.

Con el 5% de cáscara de huevo pulverizada se obtuvo un valor de C.B.R de 14.12 % a una penetración de 0.1” y un hinchamiento total de 1.39% y una densidad seca máxima de 1,248.5 kg/m³, al usar el 10% el valor obtenido del C.B.R para una penetración de 0.1” es de 15.89% y su hinchamiento es de 1.3% una humedad de 29,9% y una densidad seca máxima de 1.283,6 kg/m³ y para un 15% del aditivo se obtuvo un valor de C.B.R de 24.71% con un hinchamiento total de 1.18% kg/m³ con una humedad de 32.5% con una densidad

seca máxima 1,370.1 kg/m³ y se mantiene en 0.1"pulgada de penetración de igual forma a los 56 golpes de compactación aumentando cada uno los valores de la densidad seca máxima.

Los cálculos obtenidos al hacer la mezcla de suelo –Cal de igual forma se tomó el valor mayor del C.B.R de cada porcentaje que se ensayó en este caso a los 5% se obtuvo un C.B.R de 21.18% a una penetración de 0.1" pulgada con una humedad de 33.6% un hinchamiento promedio de 1.2% y una densidad seca máxima de 1,329.7 kg/m³.

Con el 10% de aditivo antes mencionado el valor del C.B.R es de 28.24% igual a una penetración de 0.1" pulgada, con una humedad de 31.6% su hinchamiento fue de 1.19%, y su densidad seca máxima de 1,366.6 kg/m³.

Al mezclar suelo –cal con 15% el valor de C.B.R es de 30.01% con una humedad de 31.2 % con un hinchamiento promedio de 1.16% y una densidad seca máxima de 1,379.7 kg/m³ estos valores demuestran que a mayor energía de compactación aumenta la densidad seca máxima y los valores de hinchamiento disminuyen

Nota.* La humedad que se indica de cada uno de los C.B.R calculados con cada porcentaje es la humedad que se obtuvo después de estar sumergida por 96 horas saturadas.

Tabla No (14) Valor relativo soporte de california (C.B.R) con los diferentes porcentajes de aditivo

VALOR RELATIVO SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)							
COMPACTACION PROCTOR ESTANDAR							
DENSIDAD SECA MAXIMA : 1,276.0 Kg/m ³							
HUMEDAD OPTIMA (%) : 30.0%							
Aditivo (%)	Descripcion	Nº Golpes	Densidad seca maxima Kg/m ³	Humedad (%) *	Valor C.B.R Penetracion		Hinchamiento (%)
					0.1"	0.2"	
0	Arcilla Natural	12	1178.6	31.2%	1.77	2.35	1.5
	Arcilla Natural	25	1253.3	31.3%	3.53	3.53	
	Arcilla Natural	56	1283.3	32.5%	5.29	4.71	
5	Cáscara de huevo pulverizado -Arcilla	12	1206.7	28.8%	10.59	8.24	1.39
	Cáscara de huevo pulverizado -Arcilla	25	1244.3	29.6%	12.36	9.41	
	Cáscara de huevo pulverizado -Arcilla	56	1248.5	32.9%	14.12	10.59	
10	Cáscara de huevo pulverizado -Arcilla	12	1232.3	28.8%	10.59	9.41	1.3
	Cáscara de huevo pulverizado -Arcilla	25	1259.2	29.5%	12.36	10.59	
	Cáscara de huevo pulverizado -Arcilla	56	1283.6	29.9%	15.89	12.94	
15	Cáscara de huevo pulverizado -Arcilla	12	1281.6	30.3%	15.89	15.3	1.18
	Cáscara de huevo pulverizado -Arcilla	25	1333.9	31.5%	22.95	18.83	
	Cáscara de huevo pulverizado -Arcilla	56	1370.1	32.5%	24.71	21.18	
5	Arcilla más 5% de Cal	12	1210.5	29.5%	15.89	14.12	1.2
	Arcilla más 5% de Cal	25	1302.6	29.2%	19.42	16.47	
	Arcilla más 5% de Cal	56	1329.7	33.6%	21.18	18.83	
10	Arcilla más 10% de Cal	12	1205.4	31.0%	21.18	16.47	1.19
	Arcilla más 10% de Cal	25	1292.3	29.2%	24.71	20	
	Arcilla más 10% de Cal	56	1366.6	31.6%	28.24	22.36	
15	Arcilla más 15% de Cal	12	1327.3	28.9%	14.12	20	1.16
	Arcilla más 15% de Cal	25	1332.3	30.4%	24.71	25.89	
	Arcilla más 15% de Cal	56	1379.7	31.2%	30.01	30.59	

Nota: Los datos y cálculos ver en Anexo I y los gráficos de valor relativo soporte de california (CBR) con diferentes porcentajes de aditivos pueden apreciarse en los Anexos II correspondientes al capítulo 3.

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1-CONCLUSIONES

Basados en los datos obtenidos de cada ensayo se puede concluir conforme a sus objetivos que:

-Arcilla en estado natural.

- Se determinó el 31.91% la humedad natural de la arcilla.
- La gravedad específica se encuentra dentro del rango de las arcillas medianamente plásticas y muy plásticas (2.78-2.84), con un valor de 2.79.
- Su constitución granulométrica contiene 58.7 % suelo fino se clasifica según la norma A.A.S.T.H.O como A-7-6(27), como un suelo arcilloso.
- Los pesos unitarios determinados, como resultado un peso volumétrico seco suelto de 814.6Kg/m³ y un peso volumétrico seco compacto de 1,146.1Kg/m³.
- Los límites de consistencia nos indica que es un suelo de consistencia plástica con un índice de plasticidad de 51.94%, además de ser clasificado por S.U.C.S como Arcilla (CH).
- Los resultados obtenidos de compactación por medio del ensaye proctor estándar se obtuvo un peso volumétrico de 1,276.0 Kg/m³ con una humedad óptima de 30%.
- El valor del C.B.R que se obtuvo del suelo es de 5.29% con un bajo valor, dentro del sistema A.A.S.T.H.O determina que este suelo no es apto para ser usado como base o subrasante en estructuras de pavimento, permitiendo deformaciones bajo la influencia de cargas y el agua.

-Combinación de la arcilla natural con cada aditivo estabilizante en diferentes proporciones.

- ✓ Al combinar los aditivos estabilizantes con la arcilla, las propiedades físicas y mecánicas estudiadas fueron variando positivamente, los valores obtenidos demuestran que el límite líquido disminuyó gradualmente con cada porcentaje de cada estabilizante, con respecto al límite líquido de arcilla natural 78.0% al mezclar con 15% de cáscara huevo disminuyó a un 61.0% y con 15% de cal disminuyó a un 40.0%.
- ✓ El índice de plasticidad (IP) de la arcilla natural con 51.94%, con 15% de cáscara de huevo pulverizado reduce a 15.7% y con 15% de cal lo reduce a 1.34% en este caso la cal reduce más el IP de la arcilla de igual manera los límites plástico con ambos estabilizadores aumentan.
- ✓ En la compactación podemos decir que a mayor energía de compactación la humedad óptima disminuye y el peso volumétrico seco máximo aumenta, mezcla suelo con el 15 % de cáscara de huevo pulverizado se obtuvo un peso volumétrico seco máximo de 1,372.5Kg/m³ y humedad óptima de 27.0% , y con el 15% de cal mezclado con arcilla el peso volumétrico seco máximo de 1,406.3Kg/m³ con humedad óptima de 27.9% en comparación con los resultados de la arcilla natural ambos aditivos estabilizadores aumentaron los pesos volumétricos máximos y las humedades óptimas disminuyeron.
- ✓ Se eligió el mayor valor representativo de CBR de la muestra, al mezclar el 15% de cáscara de huevo pulverizado con la arcilla el valor del CBR es de 24.71% y el 15% de cal con la arcilla tiene un valor de CBR de 30.59%, la clasificación A.A.S.H.T.O Se determina que ambos estabilizadores cumplen y pueden ser usado como Subrasante

4.2.-RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos de laboratorio

- ❖ -Dados a los resultados obtenidos de las propiedades físicas y mecánicas de la arcilla negra en estado natural del sitio en estudio no debe utilizarse como subrasante sin antes ser estabilizada con cáscara de huevo pulverizado o cal.
- ❖ Se recomienda utilizar los estabilizantes cáscara de huevo pulverizada o cal hidratada en el tratamiento de suelos cohesivos, para que el mismo aglomere las partículas de la arcilla, impermeabilizándolo al suelo y proteja contra la acción del agua.
- ❖ Utilizar primeramente ciertos porcentajes de cal o cáscara de huevo pulverizada para el proceso de mejoramiento de las propiedades de la arcilla, de esta manera se logren mejores resultados en , disminuir el índice de plasticidad , impermeabilizar y aumentar la resistencia del suelo
- ❖ De acuerdo con los objetivos el porcentaje recomendado para este estudio se decidió por el 15 % de ambos aditivos debido a que el efecto sobre las propiedades físicas y mecánicas cumplen con lo que requerido para ser usado como subrasante, según las normas establecida.
- ❖ Es importante reconocer que los resultados de este trabajo monográfico tiene su origen en las pruebas de laboratorio y deben verse como una guía de tanteos para su realización es decir que deberá hacerse en cada caso particular dependiendo del tipo del suelo.

Bibliografía

- Álvarez J, C., & Echeverri J, D. (1999). Estabilización de arcillas expansivas con cal hidratada. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Berrios V, F., & Chavarría P, D. (2011). Análisis y Evaluación del Proceso de compactación de los suelos en obras horizontales. Managua, Nicaragua
- Berry, P., & Reid, D. (1993). Mecánica de Suelos. (B. Caicedo, Trad.) Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Latinoamérica, S.A.
- Blanco Rodríguez, M., & Matuz Lazo, I. (2006). Guías de laboratorio de materiales de construcción. Managua, Nicaragua.
- Boul.S.W:Hole F.D and McCracken R:J (1973) 1ª edición Ames, IA Iowa state University Press
- Crespo Villalaz, C. (2004). Mecánica de suelos y cimentaciones (4ta ed.).
- Das, B. (2001). Fundamentos de ingeniería geotécnica. (I. Bernal Carreño, Trad.) D.F., México: Thomson Learning de C.V.
- Fernández Loaiza, Carlos “Mejoramiento y Estabilización de suelos” Editorial LIMUSA A.
- Gamica, P., Pérez, A., & Obil, E. (2002). Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en vías terrestres. Publicación Técnica No. 201.
- <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2011/03/metodosdeestabilizacion-de-suelos.html>
- <https://www.mag.gob.ni> Ministerio Agropecuario Portal
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2007). Mecánica de suelos I, II Fundamentos de la mecánica de suelos (2da ed.). México: Limusa, S.A.
- Maldonado Huevo, h. m., & Orellana Martínez, a. c. (2009). Guía básica para estabilización de suelos. Salvador.
- Métodos de Estabilización de Suelos. (15 de 2 de 2010).

- Normas ASTM International. (2007).
- Olaya Bulla Andrés Paul .Monografía, Aplicación de agente químico como estabilizador de suelos arcillosos para la construcción de vías universidad nacional abierta y a distancia – unad facultad de ciencias básicas, tecnología e ingeniería programa química Bucaramanga, Santander 2018
- Ruiz Torrez, I. (22 de 9 de 2013). Historia de la cal. Obtenido de Sobre la Cal: <http://sobrelacal.wordpress.com/about/>
- Soza Magda & Bustamante José, Estudio de alternativa para estabilización de suelos con material existente en el camino “el boquete – santa Ana” tesina, 2003 Nicaragua.
- Suarez Estabilización de suelos, Bucaramanga, Colombia, 2006.

ANEXO I
Datos y Cálculos

I. Arcilla natural sin aditivo

Anexos 1.1

Ensayo 1: Humedad Natural			
Nº de Tara	R-22	M-3	A-22
Peso de Tara (gr)	41.7	41.6	48.2
Peso de Tara +Muestra Húmeda (gr)	172.2	177.1	186.1
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	141.2	143.4	153.1
Peso de Agua (gr)	31	33.7	33
Peso Seco (gr)	99.52	101.8	104.9
Contenido de humedad (%)	31.15	33.10	31.46
Promedio de Contenido de Humedad (%)	31.90		

Elaboración: Fuente propia

Anexos 1.2

Ensayo 2: Gravedad Especifica			
Ensayo	1	2	3
Peso muestra seca (gr)	67.7	71	69.8
Peso del Frasco volumétrico seco y limpio (gr)	189.7	189.7	189.7
Peso del Frasco volumétrico con agua + muestra (gr)	730.80	728.2	730.96
Peso Frasco volumétrico + agua (gr)	687.27	687.18	687.27
Nº Tara con agua saturada	A-31	S-79	PT-24
Temperatura del frasco volumétrico + agua (°C)	28.2	28.7	28.2
Temperatura del frasco calibrado '5' (°C)	25	25	25
peso del agua +suelo (gr)	541.10	538.5	541.26
Peso de tara (gr)	161.2	158.1	161.1
Peso tara + muestra con agua saturada	702.30	696.6	702.36
Peso Tara +muestra seca (gr)	227.7	224.2	228.4
Peso seco del suelo sin tara salido del horno (gr)	66.5	66.1	67.3
Gravedad de La partícula solida del suelo G_s	2.90	2.64	2.85
Peso específico del relativo promedio (S_s)	2.79		

Elaboración: Fuente propia

Anexos 1.3

Ensayo 3: Análisis Granulométrico por Tamizado					
N° Malla	Diámetro del Tamiz (mm)	Retenido (gr)	(%) Retenido	(%) Acumulado	(%) que Pasa
N° 4	4.750	0.00	0.0	0.0	100
N° 10	2.000	0.65	1.4	1.4	98.6
N° 20	0.850	4.14	9.1	10.6	89.4
N° 40	0.425	4.5	9.9	20.5	79.5
N° 100	0.150	3.9	8.6	29.1	70.9
N° 200	0.075	5.56	12.3	41.3	58.7
Fondo		26.6	58.7	100.0	
Total		45.35	100.0		

Fuente: Elaboración Propia

LL=78% LP= 26.06%, IP=51.94%, IG= (27) Muestra seca 65g- Muestra lavada 45.35g

Anexos 1.4

Ensayo 4: Pesos Unitarios			
Diámetro (mm)	160		
Altura (mm)	180		
Volumen del molde m³	0.003619		
Molde N°	M-B	M-B	M-B
Peso del molde (Kg)	2,8637	2,8637	2,8637
N° De golpes con varilla	25	25	25
Ensayos	1	2	3
Peso seco suelto + molde	5.8116	5,8118	5,8118
Peso seco compactado + molde	7,0109	7,0119	7,0119
Peso volumétrico Seco Suelto (Kg/m ³) P.V.S.S	814.5	814.6	814.6
Peso volumétrico Seco Compacto (Kg/m ³)P.V.S.C	1,145.9	1,146.2	1,146.2

Anexos 1.5

Ensayo 5: Límite Líquido de la arcilla en estado natural			
Nº de Ensayo	1	2	3
Nº de Tara	A-321	H-26	A-07
Peso de Tara (gr)	21.6	21.9	21.7
Peso de Tara +Muestra Húmeda (gr)	38.4	36.3	36.7
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	30.7	29.9	30.2
Peso del Agua (gr)	7.8	6.4	6.5
Peso de la muestra seca (gr)	9.1	8.0	8.5
Contenido de Humedad .w (%).	85.6	80.0	76.5
Nº de golpes	19	23	27
Promedio total C. Humedad (%)			80.7

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 1.6

Ensayo 6: Limite Plástico de arcilla en estado natural		
Descripción	Limite Plástico	
Nº de Ensayo	1	2
Nº de Tara	B-02	A-08
Peso de Tara (gr)	22.2	22.1
Peso de Tara +Muestra Húmeda (gr)	31.6	32.4
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	29.5	30.4
Peso del Agua (gr)	2.1	2.0
Peso de la muestra seca (gr)	7.3	8.3
Contenido de Humedad .w (%).	27.9	24.2
Promedio C. Humedad (%)	26.06	

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 1.7

Ensayo 7: PROCTOR ESTANDAR DE LA ARCILLA EN ESTADO NATURAL					
Contenido de Humedad					
Ensayo N°	1	2	3	4	5
Tara N°	MR-18	G-111	IEN911	A-19	I-P
Peso de Tara (gr)	31.2	44.0	46.0	42.0	31.2
Peso tara +Suelo Húmedo (gr)	175	207	251.4	167.0	192
Peso de tara + Suelo Seco(gr)	146	172.1	204.0	136	150
Peso del Agua (gr)	29	34.9	47.4	31	42
Peso del suelo seco (g)	114.8	128.1	158	94	118.8
Contenido de Humedad (%)	25.3	27.2	30.0	33.0	35.4

Para determinar Densidad

Ensayo N°	1	2	3	4	5
Molde N°	5	5	5	5	5
Peso del Molde	4,1836	4,1836	4,1836	4,1836	4,1836
Peso del suelo + el molde (Kg)	5,5700	5,6423	5,7478	5,7300	5,7200
Peso Volumétrico húmedo (Kg/m ³)	1,470.2	1,546.9	1,658.7	1,639.9	1,629.3
Contenido de Humedad (%)	25.3	27.2	30.0	33.0	35.4
Peso volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,173.7	1,215.7	1,276.0	1,233.2	1,203.7

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 1.8

Ensaye 8: Relación Soporte C.B.R de Arcilla en estado Natural.			
Localización del proyecto :	Comunidad Las Maderas	Tipitapa	
Descripción del suelo :	Arcilla	Muestra N° 1	Color :Negro
Volumen de molde (m³):	0.002086	N° de Capas :	3
Numero de golpes por capa	12	25	56
Molde N°	A-4	A-5	A-8
Peso del molde (Kg)	7.119	7.157	7.129
Peso del molde más suelo húmedo(Kg)	10.346	10.591	10.677
Tara N°	A-19	A-6	6-6-A4
Peso de tara (g)	42.0	32.0	48.4
Peso tara más suelo húmedo (g)	172.2	177.0	186.9
Peso Tara más suelo seco (g)	141.2	142.4	152.9
Peso del agua (g)	31	34.6	34
Peso suelo seco (g)	99.2	110.4	104.5
Contenido de humedad (%) w	31.25	31.3	32.5
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m³)	1,547.0	1,646.2	1,700.9
Peso volumétrico Seco (Kg/m³)	1,178.65	1,253.39	1,283.32

Fuente: Elaboración Propia

Hinchamiento de arcilla natural sin aditivo

Dia	Lectura	Hinchamiento		Dia	Lectura	Hinchamiento		Dia	Lectura	Hinchamiento	
		(mm)	(%)			(mm)	(%)			(mm)	(%)
0	10.00	0.25	0.00	0	10.00	0.25	0.00	0	10.00	0.25	0.00
1	58.00	1.47	1.41	1	61.00	1.55	1.34	1	64.00	1.63	1.28
2	61.00	1.55	1.47	2	64.00	1.63	1.41	2	67.00	1.70	1.34
3	64.00	1.63	1.54	3	67.00	1.70	1.47	3	70.00	1.78	1.41
4	67.00	1.70	1.61	4	70.00	1.78	1.54	4	73.00	1.85	1.47

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 1.8.1

Carga –Penetracion de la arcilla natural

ENSAYO PARA 12 GOLPES EN ESTADO NATURAL				
Penetracion	Antes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	53.0	17.65		
0.050	53.0	17.65		
0.075	53.0	17.65		
0.100	105.9	35.30	35.30	1.77
0.150	105.9	35.30		
0.200	105.9	35.30	35.30	2.35
0.300	105.9	35.30		
0.400	105.9	35.30		
0.500	105.9	35.30		

ENSAYO PARA 25 GOLPES EN ESTADO NATURAL				
Penetracion	Antes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	53.0	17.65		
0.050	105.9	35.30		
0.075	105.9	35.30		
0.100	105.9	35.30	35.30	3.53
0.150	158.9	52.95		
0.200	158.9	52.95	52.95	3.5
0.300	211.8	70.60		
0.400	211.8	70.60		
0.500	211.8	70.60		

ENSAYO PARA 56 GOLPES EN ESTADO NATURAL				
Penetracion	Antes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	105.9	35.30		
0.050	158.9	52.95		
0.075	158.9	52.95		
0.100	158.9	52.95	52.95	5.295
0.150	211.8	70.60		
0.200	211.8	70.60	70.60	4.71
0.300	264.8	88.25		
0.400	264.8	88.25		
0.500	317.7	105.90		

Fuente: Elaboración Propia

II. Límites de consistencia con diferentes porcentajes de aditivos.

Anexos 2.1

LIMITE LIQUIDO DE 95% ARCILLA MAS 5% CASCARA DE HUEVO PULVERIZADO			
Nº de Ensayo	1	2	3
Nº de Tara	A-33	R-110	R-128
Peso de Tara (gr)	21.9	21.2	21.2
Peso de Tara +Muestra Húmeda (gr)	48.76	48.83	45.9
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	36.97	37.31	36.22
Peso del Agua (gr)	11.79	11.52	9.68
Peso de la muestra seca (gr)	15.1	16.1	15.0
Contenido de Humedad .w (%).	78.2	71.5	64.4
Nº de golpes	18	24	32
Promedio C. Humedad (%)	71.4		

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 2.1.1

LIMITE PLASTICO DE 95% ARCILLA MAS 5% CASCARA DE HUEVO PULVERIZADO		
Nº de Ensayo	1	2
Nº de Tara	B-03	R-132
Peso de Tara (gr)	21.9	21.2
Peso de Tara +Muestra Húmeda (gr)	32.5	32.54
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	29.5	29.28
Peso del Agua (gr)	3	3.26
Peso de la muestra seca (gr)	7.6	8.1
Contenido de Humedad .w (%).	39.5	40.3
Promedio total C. Humedad (%)	39.91	

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 2.2

LIMITE LIQUIDO			
90% DE ARCILLA MAS 10% CASCARA DE HUEVO			
PULVERIZADO			
Nº de Ensayo	1	2	3
Nº de Tara	A-B	B-04	R-06
Peso de Tara (gr)	21.1	21.8	21.2
Peso de Tara +Muestra Húmeda (gr)	39.32	42.45	43.6
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	31.72	33.9	34.95
Peso del Agua (gr)	7.6	8.55	8.65
Peso de la muestra seca (gr)	10.6	12.1	13.8
Contenido de Humedad .w (%)	71.6	70.7	62.9
Nº de golpes	19	23	31
Promedio total C. Humedad (%)			68.4

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 2.2.1

LIMITE PLASTICO		
90% DE ARCILLA MAS 10% CASCARA DE HUEVO		
PULVERIZADO		
Nº de Ensayo	1	2
Nº de Tara	A-31	B-56
Peso de Tara (gr)	21.8	22.1
Peso de Tara +Muestra Húmeda (gr)	30.55	32.14
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	27.98	29
Peso del Agua (gr)	2.57	3.14
Peso de la muestra seca (gr)	6.2	6.9
Contenido de Humedad .w (%)	41.6	45.5
Promedio total C. Humedad (%)		43.5

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 2.3

LIMITE LIQUIDO			
85% DE ARCILLA MAS 15% CASCARA DE HUEVO			
PULVERIZADO			
Nº de Ensayo	1	2	3
Nº de Tara	B-003	R-136	R-120
Peso de Tara (gr)	22.1	21	21.2
Peso de Tara +Muestra Húmeda (gr)	37.39	35.11	36.96
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	31.17	29.9	31.46
Peso del Agua (gr)	6.22	5.21	5.5
Peso de la muestra seca (gr)	9.1	8.9	10.3
Contenido de Humedad .w (%)	68.6	58.5	53.6
Nº de golpes	21	26	32
Promedio total C. Humedad (%)			60.2

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 2.3.1

LIMITE PLASTICO		
85% DE ARCILLA MAS 15% CASCARA DE HUEVO		
PULVERIZADO		
Nº de Ensayo	1	2
Nº de Tara	A-45	R-131
Peso de Tara (gr)	22.0	21.4
Peso de Tara +Muestra Húmeda (gr)	32.13	34.27
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	29.02	30.2
Peso del Agua (gr)	3.11	4.07
Peso de la muestra seca (gr)	7.0	8.8
Contenido de Humedad .w (%)	44.3	46.3
Promedio total C. Humedad (%)	45.3	

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 2.4

LIMITE LIQUIDO 95% DE ARCILLA MAS 5% CAL			
Nº de Ensayo	1	2	3
Nº de Tara	A-13	A-20	R-103
Peso de Tara (gr)	22.1	22.8	22.4
Peso de Tara +Muestra Húmeda (gr)	38.2	39.5	37.5
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	32.8	34.4	33.1
Peso del Agua (gr)	5.4	5.1	4.4
Peso de la muestra seca (gr)	10.7	11.6	10.7
Contenido de Humedad .w (%)	50.5	44.0	41.1
Nº de golpes	18	23	29
Promedio total C. Humedad (%)			45.2

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 2.4.1

LIMITE PLASTICO 95% DE ARCILLA MAS 5% CAL		
Nº de Ensayo	1	2
Nº de Tara	A-25	A-02
Peso de Tara (gr)	21.4	21.4
Peso de Tara +Muestra Húmeda (gr)	33.2	31.2
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	30.5	29.0
Peso del Agua (gr)	2.70	2.20
Peso de la muestra seca (gr)	9.10	7.60
Contenido de Humedad .w (%)	29.67	28.95
Promedio total C. Humedad (%)		29.31

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 2.5

LIMITE LIQUIDO 90% DE ARCILLA MAS 10% CAL			
Nº de Ensayo	1	2	3
Nº de Tara	B-04	R-530	R-129
Peso de Tara (gr)	21.8	21.7	22.1
Peso de Tara +Muestra Húmeda (gr)	38.6	39.9	39.1
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	33.1	34.2	34.7
Peso del Agua (gr)	5.5	5.7	4.4
Peso de la muestra seca (gr)	11.3	12.5	12.6
Contenido de Humedad .w (%)	48.7	45.6	34.9
Nº de golpes	19	24	29
Promedio total C. Humedad (%)			43.1

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 2.5.1

LIMITE PLASTICO 90% DE ARCILLA MAS 10 % CAL		
Nº de Ensayo	1	2
Nº de Tara	R-117	A-14
Peso de Tara (gr)	21.40	21.40
Peso de Tara +Muestra Húmeda (gr)	30.53	33.1
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	27.96	29.9
Peso del Agua (gr)	2.57	3.2
Peso de la muestra seca (gr)	6.6	8.5
Contenido de Humedad .w (%)	39.2	37.6
Promedio total C. Humedad (%)		38.41

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 2.6

LIMITE LIQUIDO 85% DE ARCILLA MAS 15% CAL			
Nº de Ensayo	1	2	3
Nº de Tara	A-07	A-46	H-1
Peso de Tara (gr)	21.8	21.9	21.4
Peso de Tara +Muestra Húmeda (gr)	30.87	31.59	33.41
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	27.85	28.93	30.67
Peso del Agua (gr)	3.02	2.66	2.74
Peso de la muestra seca (gr)	6.1	7.0	9.3
Contenido de Humedad. W (%)	49.92	37.84	29.56
Nº de golpes	19	27	31
Promedio total C. Humedad (%)			39.1

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 2.6.1

LIMITE PLASTICO 85% DE ARCILLA MAS 15 % CAL		
Nº de Ensayo	1	2
Nº de Tara	R-104	H-10
Peso de Tara (gr)	22.20	21.40
Peso de Tara +Muestra Húmeda (gr)	35.14	35.20
Peso de Tara + Muestra Seca (gr)	31.64	31.24
Peso del Agua (gr)	3.50	3.96
Peso de la muestra seca (gr)	9.44	9.84
Contenido de Humedad. W (%)	37.08	40.24
Promedio total C. Humedad (%)		38.66

Fuente: Elaboración Propia

III. Proctor Estándar con diferentes porcentajes de aditivos.

Anexos 3.1

PROCTOR ESTANDAR 95% ARCILLA MAS 5% DE CASCARA DE HUEVO PULVERIZADO					
Contenido de Humedad (%)					
Ensaye	1	2	3	4	5
Tara N°	D-10	G-111	B-121	I-P2-1	6-6-A4
Peso de Tara (gr)	32.0	44.0	47.4	31.4	48.4
Peso tara +Suelo Húmedo (gr)	152.6	176.2	207.1	187.7	181.2
Peso de tara + Suelo Seco(gr)	132.7	150.8	172.4	150.6	147.5
Peso del Agua (gr)	19.9	25.4	34.7	37.1	33.7
Peso del suelo seco (g)	100.7	106.8	125	119.2	99.1
Contenido de Humedad (%)	19.8	23.8	27.8	31.1	34.0
Para determinar Densidad					
Ensaye N°	1	2	3	4	5
Molde N°	8	8	8	8	8
Peso del Molde	4.2761	4.2761	4.2761	4.2761	4.2761
Peso del suelo + el molde (Kg)	5.6359	5.7500	5.8416	5.8221	5.8110
Peso Volumétrico húmedo (Kg/m ³)	1,442.0	1,563.0	1,660.1	1,639.4	1,627.7
Contenido de Humedad (%)	19.8	23.8	27.8	31.1	34.0
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,204.1	1,262.7	1,299.4	1,250.3	1,214.6

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 3.2

PROCTOR ESTANDAR 90% ARCILLA MAS 10% DE CASCARA DE HUEVO PULVERIZADO					
Contenido de Humedad (%)					
Ensaye	1	2	3	4	5
Tara N°	F-110	A-04	CH-2A	A-30B	A-19
Peso de Tara (gr)	32.21	41.6	46.9	32.4	42.1
Peso tara +Suelo Húmedo (gr)	187.7	219.7	249.3	155.1	177.9
Peso de tara + Suelo Seco(gr)	161.5	183.7	206.1	127.1	143.2
Peso del Agua (gr)	26.2	36	43.2	28	34.7
Peso del suelo seco (g)	129.29	142.1	159.2	94.7	101.1
Contenido de Humedad (%)	20.3	25.3	27.1	29.6	34.3
Para determinar Densidad					
Ensaye N°	1	2	3	4	5
Molde N°	8	8	8	8	8
Peso del Molde	4.2761	4.2761	4.2761	4.2761	4.2761
Peso del suelo + el molde (Kg)	5.6810	5.8654	5.9048	5.8931	5.8790
Peso Volumétrico húmedo (Kg/m ³)	1,489.8	1,685.4	1,727.1	1,714.7	1,699.8
Contenido de Humedad (%)	20.3	25.3	27.1	29.6	34.3
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,238.8	1,344.7	1,358.5	1,323.4	1,265.5

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 3.3

PROCTOR ESTANDAR 85% ARCILLA MAS 15% DE CASCARA DE HUEVO PULVERIZADO					
Contenido de Humedad (%)					
Ensaye	1	2	3	4	5
Tara N°	A-08	A-04	A-30A	A-031	E-YO
Peso de Tara (gr)	31.5	41.6	32.4	32.4	31.1
Peso tara +Suelo Húmedo (gr)	189.7	234.8	197.8	176.7	206.5
Peso de tara + Suelo Seco(gr)	161.5	196.9	162.8	143.9	162.8
Peso del Agua (gr)	28.2	37.9	35	32.8	43.7
Peso del suelo seco (g)	130	155.3	130.4	111.5	131.7
Contenido de Humedad (%)	21.7	24.4	26.8	29.4	33.2
Para determinar Densidad					
Ensaye N°	1	2	3	4	5
Molde N°	3	3	3	3	3
Peso del Molde	4.1531	4.1531	4.1531	4.1531	4.1531
Peso del suelo + el molde (Kg)	5.5794	5.6784	5.7935	5.7809	5.7078
Peso Volumétrico húmedo (Kg/m ³)	1,512.5	1,617.5	1,739.6	1,726.2	1,648.7
Contenido de Humedad (%)	21.7	24.4	26.8	29.4	33.2
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,242.9	1,300.2	1,371.5	1,333.8	1,237.9

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 3.4

PROCTOR ESTANDAR 95% ARCILLA MAS 5% CAL					
Contenido de Humedad (%)					
Ensaye	1	2	3	4	5
Tara N°	D-36	N-27	I-P	CH-13	A-30B
Peso de Tara (gr)	31.1	48.8	32.0	32.3	32.4
Peso tara +Suelo Húmedo (gr)	186.7	234.8	198.8	218.7	205.6
Peso de tara + Suelo Seco(gr)	160.6	199.9	162.8	174.6	160.8
Peso del Agua (gr)	26.1	34.9	36	44.1	44.8
Peso del suelo seco (g)	129.5	151.1	130.8	142.3	128.4
Contenido de Humedad (%)	20.2	23.1	27.5	31.0	34.9
Para determinar Densidad					
Ensaye N°	1	2	3	4	5
Molde N°	3	3	3	3	3
Peso del Molde	4.1531	4.1531	4.1531	4.1531	4.1531
Peso del suelo + el molde (Kg)	5.5863	5.6806	5.7952	5.7832	5.7547
Peso Volumétrico húmedo (Kg/m ³)	1,519.8	1,619.8	1,741.4	1,728.6	1,698.4
Contenido de Humedad (%)	20.2	23.1	27.5	31.0	34.9
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,264.9	1,315.9	1,365	1,319.7	1,259.1

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 3.5

PROCTOR ESTANDAR 90% DE ARCILLA MAS 10% DE CAL Contenido de Humedad (%)					
Ensaye	1	2	3	4	5
Tara N°	A-11	I-P	A-30A	CH-13	A-04
Peso de Tara (gr)	31.4	31.1	32.4	32.4	41.6
Peso tara +Suelo Húmedo (gr)	198.7	218.0	175.5	212.2	227.6
Peso de tara + Suelo Seco(gr)	172.0	181.9	144.4	170.1	180.0
Peso del Agua (gr)	26.7	36.1	31.1	42.1	47.6
Peso del suelo seco (g)	140.6	150.8	112.0	137.7	138.4
Contenido de Humedad (%)	19.0	23.9	27.8	30.6	34.4
Para determinar Densidad					
Ensaye N°	1	2	3	4	5
Molde N°	3	3	3	3	3
Peso del Molde	4.1531	4.1531	4.1531	4.1531	4.1531
Peso del suelo + el molde (Kg)	5.6050	5.7380	5.8234	5.7998	5.7647
Peso Volumétrico húmedo (Kg/m ³)	1,539.7	1,680.7	1,771.3	1,746.2	1,709.0
Contenido de Humedad (%)	19.0	23.9	27.8	30.6	34.4
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,293.9	1,356.1	1,386.3	1,337.4	1,271.7

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 3.6

PROCTOR ESTANDAR 85% DE ARCILLA MAS 15% DE CAL					
Contenido de Humedad (%)					
Ensaye	1	2	3	4	5
Tara N°	B-08	A-19	A-178	A-031	A-19
Peso de Tara (gr)	31.5	42.1	31.4	32.4	42.1
Peso tara +Suelo Húmedo (gr)	159.6	183	179.8	155.1	179.9
Peso de tara + Suelo Seco(gr)	135.8	154.1	147.6	127.1	145.2
Peso del Agua (gr)	23.8	28.9	32.2	28	34.7
Peso del suelo seco (g)	104.3	112	116.2	94.7	103.1
Contenido de Humedad (%)	22.8	25.8	27.7	29.6	33.7
Para determinar Densidad					
Ensaye N°	1	2	3	4	5
Molde N°	3	3	3	3	3
Peso del Molde	4.1531	4.1531	4.1531	4.1531	4.1531
Peso del suelo + el molde (Kg)	5.6560	5.7860	5.8467	5.8231	5.7443
Peso Volumétrico húmedo (Kg/m ³)	1,593.7	1,731.6	1,796.0	1,770.9	1,687.4
Contenido de Humedad (%)	22.8	25.8	27.7	29.6	33.7
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,297.6	1,376.4	1,406.3	1,366.8	1,262.5

Fuente: Elaboración Propia

IV. Valor relativo soporte de california CBR con diferentes porcentajes de aditivos.

Anexos 4.1

Ensaye de Relación Soporte C.B.R de 95% Arcilla con 5% de cáscara de huevo pulverizado.

Localización del proyecto	Comunidad	Las Maderas	Tipitapa
Descripción del suelo :	Arcilla	Muestra N° 1	Color :Negro
Volumen de molde (m³):	0.002086	N° de Capas	3
N° de golpes por capa	12	25	56
Molde N°	A-2	A-3E	A-8
Peso del molde (Kg)	7.1169	7.1006	7.1233
Peso del molde más suelo húmedo(Kg)	10.3587	10.4635	10.5849
Tara N°	B-12-1	A-04	K-30
Peso de tara (g)	47.4	41.6	41.5
Peso tara más suelo húmedo (g)	168.2	188.0	186.9
Peso Tara más suelo seco (g)	141.2	154.6	150.9
Peso del agua (g)	27	33.4	36
Peso suelo seco (g)	93.8	113.0	109.4
Contenido de humedad (%) w	28.8	29.6	32.9
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m³)	1,554.1	1,612.1	1,659.4
Peso volumétrico Seco (Kg/m³)	1,206.72	1,244.33	1,248.58

Fuente: Elaboración Propia

Hinchamiento de la 95%Arcilla con 5% de cáscara de huevo pulverizado

Dia	Lectura	Hinchamiento		Dia	Lectura	Hinchamiento		Dia	Lectura	Hinchamiento	
		(mm)	(%)			(mm)	(%)			(mm)	(%)
1	63.00	1.26	1.39	1	58.00	1.47	1.28	1	52.00	1.32	1.14
2	66.00	1.68	1.45	2	60.00	1.52	1.32	2	56.00	1.42	1.23
3	69.00	1.75	1.52	3	65.00	1.65	1.43	3	59.00	1.50	1.30
4	72.00	1.83	1.59	4	68.00	1.73	1.50	4	65.00	1.66	1.44

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 4.2

Ensaye de Relación Soporte C.B.R de 90% Arcilla con 10 % de cáscara de huevo pulverizado.

Localización del proyecto:	Comunidad	Las Maderas	Tipitapa
Descripción del suelo :	Arcilla	Muestra N° 2	Color :Negro
Volumen de molde (m³)	0.002086	N° de Capas	3
N° de golpes por capa	12	25	56
Molde N°	A-2	A-3E	A-8
Peso del molde (Kg)	7.1169	7.1006	7.1233
Peso del molde más suelo húmedo(Kg)	10.4302	10.503	10.6006
Tara N°	A-04	A-01	A-40
Peso de tara (g)	41.6	32.0	41.5
Peso tara más suelo húmedo (g)	169.2	175.0	185.0
Peso Tara más suelo seco (g)	140.6	142.4	152
Peso del agua (g)	28.6	32.6	33
Peso suelo seco (g)	99.0	110.4	110.5
Contenido de humedad (%) w	28.89	29.5	29.9
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m³)	1,588.4	1,631.1	1,667.0
Peso volumétrico Seco (Kg/m³)	1,232.34	1,259.23	1,283.63

Fuente: Elaboración Propia

Hinchamiento de la 90% Arcilla con 10% de cáscara de huevo pulverizado

Dia	Lectura	Hinchamiento		Dia	Lectura	Hinchamiento		Dia	Lectura	Hinchamiento	
		(mm)	(%)			(mm)	(%)			(mm)	(%)
0	10.00	0.25	0.00	0	10.00	0.25	0.00	0	10.00	0.25	0.00
1	50.00	1.25	1.10	1	45.00	1.14	1.0	1	25.00	0.64	0.6
2	60.00	1.52	1.30	2	55.00	1.40	1.20	2	36.00	0.92	0.8
3	65.00	1.65	1.40	3	60.00	1.52	1.30	3	55.00	1.40	1.20
4	70.00	1.78	1.50	4	64.00	1.65	1.40	4	60.00	1.52	1.30

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 4.3

Ensaye de Relación Soporte C.B.R de 85% Arcilla con 15% de cáscara de huevo pulverizado.

Localización del proyecto	Comunidad	Las Maderas	Tipitapa
Descripción del suelo :	Arcilla	Muestra N° 3	Color :Negro
Volumen de molde (m ³):	0.002086	N° de Capas	3
N° de golpes por capa	12	25	56
Molde N°	A-2	A-5	A-8
Peso del molde (Kg)	7.1169	7.1006	7.1233
Peso del molde más suelo húmedo(Kg)	10.6	10.759	10.9113
Tara N°	A-01	A-6	A-178
Peso de tara (g)	32.0	42.0	48.4
Peso tara más suelo húmedo (g)	186.9	174.0	186.9
Peso Tara más suelo seco (g)	150.9	142.4	152.9
Peso del agua (g)	36	31.6	34
Peso suelo seco (g)	118.9	100.4	104.5
Contenido de humedad (%) w	30.3	31.5	32.5
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1,669.8	1,753.8	1,815.9
Peso volumétrico Seco (Kg/m ³)	1,281.69	1,333.94	1,370.13

Fuente: Elaboración propia

Hinchamiento de la 85% Arcilla con 15% de cáscara de huevo pulverizado

Dia	Lectura	Hinchamiento		Dia	Lectura	Hinchamiento		Dia	Lectura	Hinchamiento	
		(mm)	(%)			(mm)	(%)			(mm)	(%)
0	10	0.25	0.00	0	10.00	0.25	0.00	0	10.00	0.25	0.00
1	50.00	1.27	1.10	1	40.00	1.02	0.9	1	38.00	0.97	0.8
2	55.00	1.40	1.20	2	50.00	1.27	1.10	2	40.00	1.02	0.9
3	60.00	1.52	1.30	3	55.00	1.40	1.20	3	45.00	1.14	1.0
4	65.00	1.65	1.40	4	60.00	1.52	1.30	4	56.00	1.40	1.2

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 4.5

Ensaye de Relación soporte C.B.R de 95% Arcilla con 5 % de Cal

Localización del proyecto	Comunidad	Las Maderas	Tipitapa
Descripción del suelo :	Arcilla	Muestra N° 1	Color :Negro
Volumen de molde (m³):	0.002086	N° de Capas	3
N° de golpes por capa	12	25	56
Molde N°	A-1	A-4	A-8
Peso del molde (Kg)	7.134	7.119	7.129
Peso del molde más suelo húmedo(Kg)	10.403	10.629	10.834
Tara N°	CH-12	A-30-A	A-19
Peso de tara (g)	42.4	32.4	42.1
Peso tara más suelo húmedo (g)	99.0	106.8	174.6
Peso Tara más suelo seco (g)	86.12	90	141.3
Peso del agua (g)	12.88	16.8	33.3
Peso suelo seco (g)	43.7	57.6	99.2
Contenido de humedad (%) w	29.5	29.2	33.6
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m³)	1,567.1	1,682.6	1,776.1
Peso volumétrico Seco (Kg/m³)	1,210.50	1,302.69	1,329.75

Fuente: Elaboración propia

Hinchamiento de la Arcilla con 5% de Cal

Dia	Lectura	Hinchamiento		Dia	Lectura	Hinchamiento		Dia	Lectura	Hinchamiento	
		(mm)	(%)			(mm)	(%)			(mm)	(%)
1	63.00	1.26	1.39	1	58.00	1.47	1.28	1	52.00	1.32	1.14
2	66.00	1.68	1.45	2	60.00	1.52	1.32	2	56.00	1.42	1.23
3	69.00	1.75	1.52	3	65.00	1.65	1.43	3	59.00	1.50	1.30
4	72.00	1.83	1.59	4	68.00	1.73	1.50	4	65.00	1.66	1.44

Elaboración: Fuente propia

Anexos 4.6

Ensaye de Relación soporte C.B.R de 90% Arcilla con 10% de Cal

Localización del proyecto	Comunidad	Las Maderas	Tipitapa
Descripción del suelo :	Arcilla	Muestra N° 2	Color :Negro
Volumen de molde (m³):	0.002086	N° de Capas	3
Numero de golpes por capa	12	25	56
Molde N°	A-1	A-5	A-2
Peso del molde (Kg)	7.134	7.1524	7.1169
Peso del molde más suelo húmedo(Kg)	10.4288	10.6354	10.8675
Tara N°	00-21	A-16	IR-C
Peso de tara (g)	41.3	41.6	41.2
Peso tara más suelo húmedo (g)	172.2	157.1	124.1
Peso Tara más suelo seco (g)	141.2	131.0	104.21
Peso del agua (g)	31	26.1	19.89
Peso suelo seco (g)	99.9	89.4	63.0
Contenido de humedad (%) w	31.03	29.2	31.6
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m³)	1,579.5	1,669.7	1,798.0
Peso volumétrico Seco (Kg/m³)	1,205.43	1,292.39	1,366.60

Fuente: Elaboración propia

Hinchamiento de la 90% Arcilla con 10% de Cal

Dia	Lectura	Hinchamiento		Dia	Lectura	Hinchamiento		Dia	Lectura	Hinchamiento	
		(mm)	(%)			(mm)	(%)			(mm)	(%)
0	10.00	0.25	0.00	0	10.00	0.25	0.00	0	10.00	0.25	0.00
1	56.00	1.42	1.23	1	54.00	1.37	1.19	1	49.00	1.24	1.08
2	58.00	1.47	1.28	2	56.00	1.42	1.23	2	51.00	1.30	1.12
3	60.00	1.52	1.32	3	57.00	1.45	1.25	3	53.00	1.35	1.17
4	63.00	1.60	1.39	4	58.00	1.47	1.28	4	55.00	1.40	1.21

. Fuente: Elaboración propia

Anexos 4.7

Ensaye de Relación soporte C.B.R de 85% Arcilla con 15% de Cal

Localización del proyecto	Comunidad	Las Maderas	Tipitapa
Descripción del suelo :	Arcilla	Muestra N° 3	Color :Negro
Volumen de molde (m³):	0.002086	N° de Capas	3
N° de golpes por capa	12	25	56
Molde N°	A-2	A-8	A-3E
Peso del molde (Kg)	7.1169	7.1233	7.1006
Peso del molde más suelo húmedo(Kg)	10.6864	10.7481	10.8764
Tara N°	00-21	B-12-1	A-178
Peso de tara (g)	41.3	30.4	47.4
Peso tara más suelo húmedo (g)	157.2	174.0	185.8
Peso Tara más suelo seco (g)	131.2	140.5	152.9
Peso del agua (g)	26	33.5	32.9
Peso suelo seco (g)	89.9	110.1	105.5
Contenido de humedad (%) w	28.92	30.4	31.2
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m³)	1,711.2	1,737.7	1,810.1
Peso volumétrico Seco (Kg/m³)	1,327.30	1,332.30	1,379.78

Fuente: Elaboración propia

Hinchamiento de la 85% Arcilla con 15% de Cal

Dia	Lectura	Hinchamiento		Dia	Lectura	Hinchamiento		Dia	Lectura	Hinchamiento	
		(mm)	(%)			(mm)	(%)			(mm)	(%)
0	10.00	0.25	0.00	0	10.00	0.25	0.00	0	10.00	0.25	0.00
1	52.00	1.32	1.14	1	51.00	1.12	1.30	1	48.00	1.22	1.06
2	54.00	1.37	1.19	2	53.00	1.17	1.35	2	50.00	1.27	1.10
3	56.00	1.42	1.23	3	55.00	1.21	1.40	3	52.00	1.32	1.14
4	58.00	1.47	1.28	4	57.00	1.25	1.45	4	54.00	1.37	1.19

Fuente: Elaboración propia

III. Valor relativo soporte de california (C.B.R) con los diferentes porcentajes de aditivo

Carga- Penetración: 95% Arcilla más 5% de cáscara huevo pulverizado

ENSAYO PARA 12 GOLPES				
Penetracion	Antes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	105.9	35.30		
0.050	158.9	52.95		
0.075	211.8	70.60		
0.100	317.7	105.90	105.90	10.59
0.150	370.7	123.55		
0.200	370.7	123.55	123.55	8.24
0.300	370.7	123.55		
0.400	370.7	123.55		
0.500	370.7	123.55		

ENSAYO PARA 25 GOLPES				
Penetracion	Antes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	211.8	70.60		
0.050	211.8	70.60		
0.075	317.7	105.90		
0.100	370.7	123.55	123.55	12.36
0.150	423.6	141.20		
0.200	423.6	141.20	141.20	9.4
0.300	423.6	141.20		
0.400	476.6	158.85		
0.500	476.6	158.85		

ENSAYO PARA 56 GOLPES				
Penetracion	Antes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	264.8	88.25		
0.050	370.7	123.55		
0.075	370.7	123.55		
0.100	423.6	141.20	141.20	14.12
0.150	476.6	158.85		
0.200	476.6	158.85	158.85	10.59
0.300	529.5	176.50		
0.400	582.5	194.15		
0.500	582.5	194.15		

Fuente: Elaboración propia

Carga- Penetración: 90% Arcilla más 10% de cáscara huevo pulverizado

ENSAYO PARA 12 GOLPES				
Penetracion	ntes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	158.9	52.95		
0.050	211.8	70.60		
0.075	264.8	88.25		
0.100	317.7	105.90	105.90	10.59
0.150	370.7	123.55		
0.200	423.6	141.20	141.20	9.41
0.300	423.6	141.20		
0.400	423.6	141.20		
0.500	423.6	141.20		

ENSAYO PARA 25 GOLPES				
Penetracion	ntes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	211.8	70.60		
0.050	317.7	105.90		
0.075	370.7	123.55		
0.100	370.7	123.55	123.55	12.36
0.150	476.6	158.85		
0.200	476.6	158.85	158.85	10.6
0.300	476.6	158.85		
0.400	529.5	176.50		
0.500	582.5	194.15		

ENSAYO PARA 56 GOLPES				
Penetracion	Antes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	211.8	70.60		
0.050	370.7	123.55		
0.075	423.6	141.20		
0.100	476.6	158.85	158.85	15.885
0.150	529.5	176.50		
0.200	582.5	194.15	194.15	12.94
0.300	741.3	247.10		
0.400	741.3	247.10		
0.500	794.3	264.75		

Fuente: Elaboración propia

Carga –Penetración: 85% Arcilla más 15% de cáscara huevo pulverizado

ENSAYO PARA 12 GOLPES				
Penetracion	Antes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	317.7	105.90		
0.050	370.7	123.55		
0.075	423.6	141.20		
0.100	476.6	158.85	158.85	15.89
0.150	582.5	194.15		
0.200	688.4	229.45	229.45	15.30
0.300	741.3	247.10		
0.400	847.2	282.40		
0.500	847.2	282.40		

ENSAYO PARA 26 GOLPES				
Penetracion	Antes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	423.6	141.20		
0.050	476.6	158.85		
0.075	582.5	194.15		
0.100	688.4	229.45	229.45	22.95
0.150	741.3	247.10		
0.200	847.2	282.40	282.40	18.8
0.300	953.1	317.70		
0.400	1112.0	370.65		
0.500	1164.9	388.30		

ENSAYO PARA 56 GOLPES				
Penetracion	Antes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	476.6	158.85		
0.050	582.5	194.15		
0.075	688.4	229.45		
0.100	741.3	247.10	247.10	24.71
0.150	847.2	282.40		
0.200	953.1	317.70	317.70	21.18
0.300	1112.0	370.65		
0.400	1164.9	388.30		
0.500	1270.8	423.60		

Fuente: Elaboración propia

Carga –Penetración: 95%Arcilla más 5% de Cal

ENSAYO PARA 12 GOLPES ARCILLA MAS 5% DE CAL				
Penetracion	Antes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	105.9	35.30		
0.050	211.8	70.60		
0.075	370.7	123.55		
0.100	476.6	158.85	158.85	15.89
0.150	582.5	194.15		
0.200	635.4	211.80	211.80	14.12
0.300	741.3	247.10		
0.400	794.3	264.75		
0.500	900.2	300.05		

ENSAYO PARA 25 GOLPES ARCILLA MAS 5% DE CAL				
Penetracion	Antes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	211.8	70.60		
0.050	370.7	123.55		
0.075	476.6	158.85		
0.100	582.5	194.15	194.15	19.42
0.150	635.4	211.80		
0.200	741.3	247.10	247.10	16.5
0.300	794.3	264.75		
0.400	900.2	300.05		
0.500	1006.1	335.35		

ENSAYO PARA 56 GOLPES ARCILLA MAS 5% DE CAL				
Penetracion	Antes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	370.7	123.55		
0.050	476.6	158.85		
0.075	582.5	194.15		
0.100	635.4	211.80	211.80	21.180
0.150	741.3	247.10		
0.200	847.2	282.40	282.40	18.83
0.300	900.2	300.05		
0.400	1006.1	335.35		
0.500	1059.0	353.00		

Fuente: Elaboración propia

Carga-Penetración: 90% Arcilla más 10% de Cal

ENSAYO PARA 12 GOLPES ARCILLA MAS 10% DE CAL				
Penetracion	Antes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	370.7	123.55		
0.050	476.6	158.85		
0.075	582.5	194.15		
0.100	635.4	211.80	211.80	21.18
0.150	688.4	229.45		
0.200	741.3	247.10	247.10	16.47
0.300	794.3	264.75		
0.400	953.1	317.70		
0.500	953.1	317.70		

ENSAYO PARA 25 GOLPES ARCILLA MAS 10% DE CAL				
Penetracion	Antes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	476.6	158.85		
0.050	582.5	194.15		
0.075	635.4	211.80		
0.100	741.3	247.10	247.10	24.71
0.150	847.2	282.40		
0.200	900.2	300.05	300.05	20.0
0.300	1006.1	335.35		
0.400	1059.0	353.00		
0.500	1112.0	370.65		

ENSAYO PARA 56 GOLPES ARCILLA MAS 10% DE CAL				
Penetracion	Antes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	529.5	176.50		
0.050	635.4	211.80		
0.075	688.4	229.45		
0.100	847.2	282.40	282.40	28.240
0.150	900.2	300.05		
0.200	1006.1	335.35	335.35	22.36
0.300	1059.0	353.00		
0.400	1164.9	388.30		
0.500	1164.9	388.30		

Fuente: Elaboración propia

Carga-Penetración: 85% Arcilla más 15% de Cal

ENSAYO PARA 12 GOLPES ARCILLA MAS 15% DE CAL				
Penetracion	Antes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	105.9	35.30		
0.050	158.9	52.95		
0.075	264.8	88.25		
0.100	423.6	141.20	141.20	14.12
0.150	635.4	211.80		
0.200	900.2	300.05	300.05	20.00
0.300	1164.9	388.30		
0.400	1270.8	423.60		
0.500	1323.8	441.25		

ENSAYO PARA 25 GOLPES ARCILLA MAS 15% DE CAL				
Penetracion	Antes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	264.8	88.25		
0.050	476.6	158.85		
0.075	635.4	211.80		
0.100	741.3	247.10	247.10	24.71
0.150	900.2	300.05		
0.200	1164.9	388.30	388.30	25.9
0.300	1270.8	423.60		
0.400	1376.7	458.90		
0.500	1482.6	494.20		

ENSAYO PARA 56 GOLPES ARCILLA MAS 15% DE CAL				
Penetracion	Antes sin corregir		Corregido	
Pulgadas	Carga en Lbs	Carga lbs/in2	Lbs/in2	C.B.R (%)
0.000	0.0	0.00		
0.025	476.6	158.85		
0.050	635.4	211.80		
0.075	741.3	247.10		
0.100	900.2	300.05	300.05	30.01
0.150	1164.9	388.30		
0.200	1376.7	458.90	458.90	30.59
0.300	1535.6	511.85		
0.400	1800.3	600.10		
0.500	2012.1	670.70		

Fuente: Elaboración propia

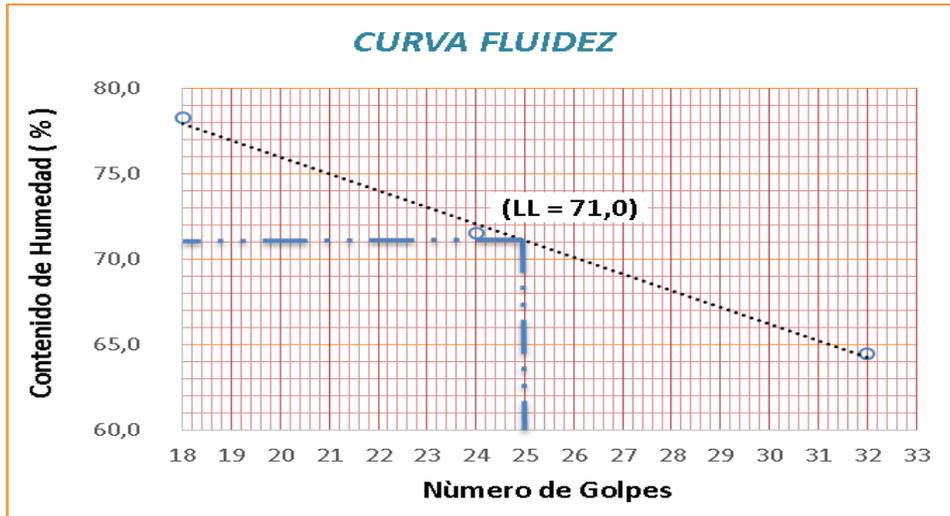
Anexos II

Graficas de ensayos

ANEXOS RESULTADOS DE GRAFICAS DEL CAPITULO 3

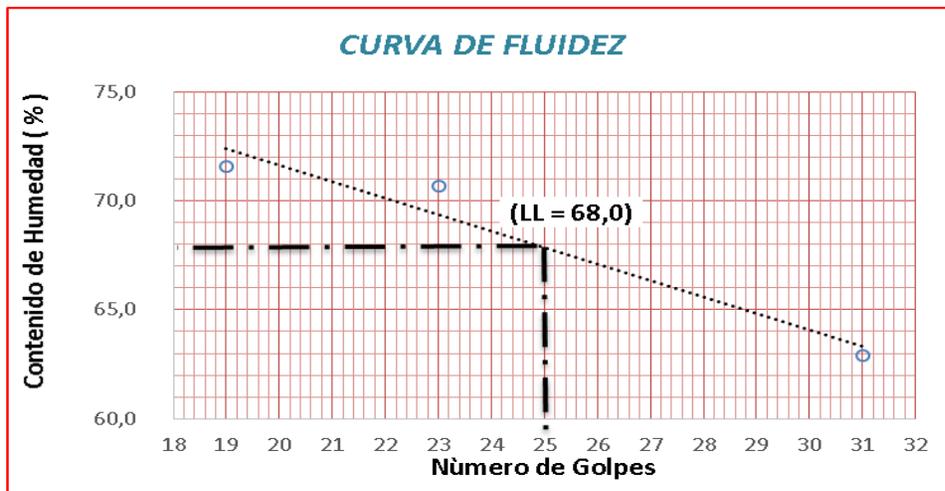
Los gráficos y resultados obtenidos en los ensayos realizados en el capítulo 3 de límites de consistencia del punto 3.5.

Grafica 3.5.1 Curva de Fluidez 95% de arcilla más 5% de cáscara de huevo pulverizado



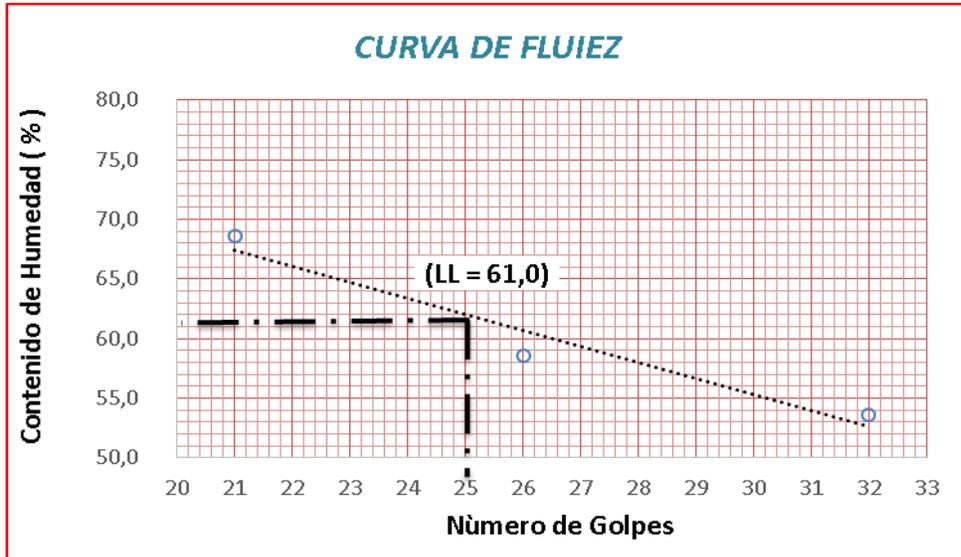
Fuente: Elaboración propia

Grafica 3.5.2 Curva de Fluidez 90% de arcilla más 10% de cáscara de huevo Pulverizado



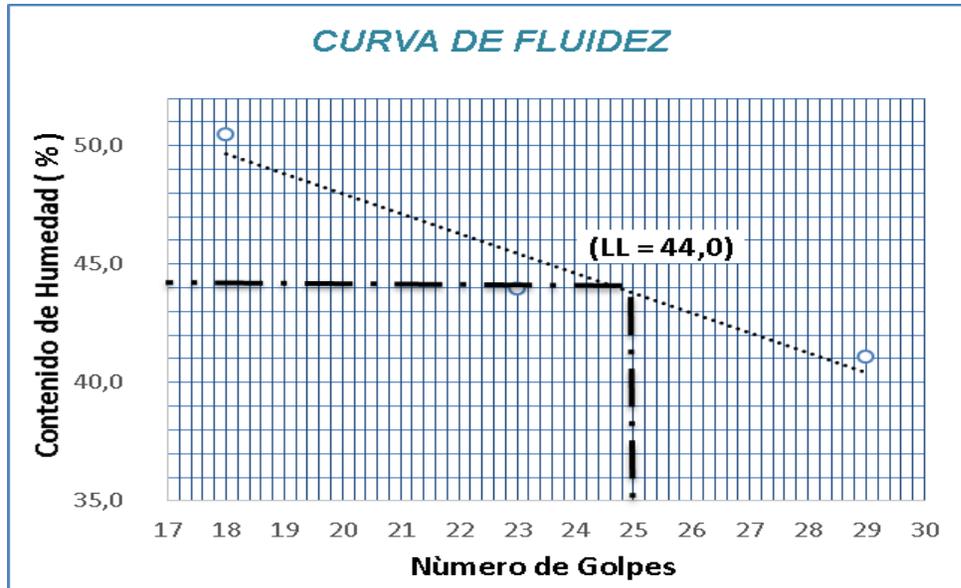
Fuente: Elaboración propia

Grafica 3.5.3 Curva de Fluidez 85% de arcilla más 15% de Cáscara de huevo Pulverizado



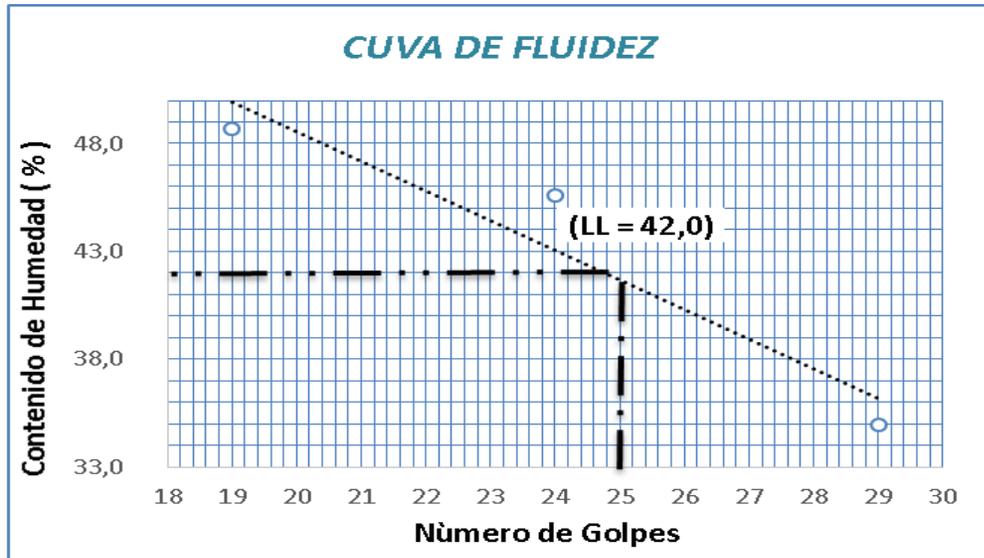
Fuente: Elaboración propia

Grafica 3.5.4 Curva de Fluidez 95% de Arcilla más 5% Cal



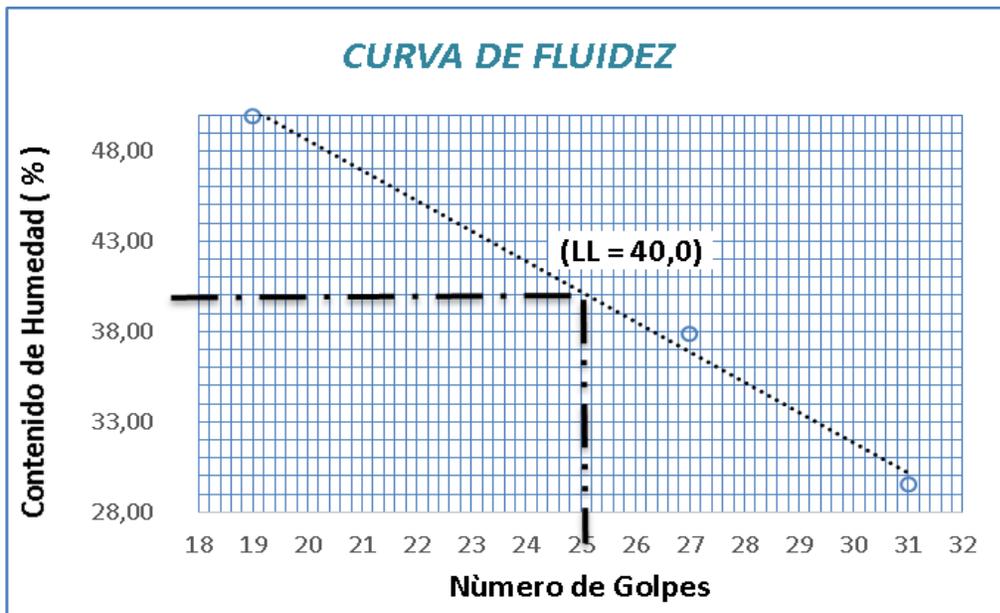
Fuete: Elaboración propia

Grafica 3.5.5 Curva de Fluidez 90% de Arcilla más 10% Cal



Fuente: Elaboración propia

Grafica 3.5.6. Curva de Fluidez 85% de Arcilla más 15% Cal

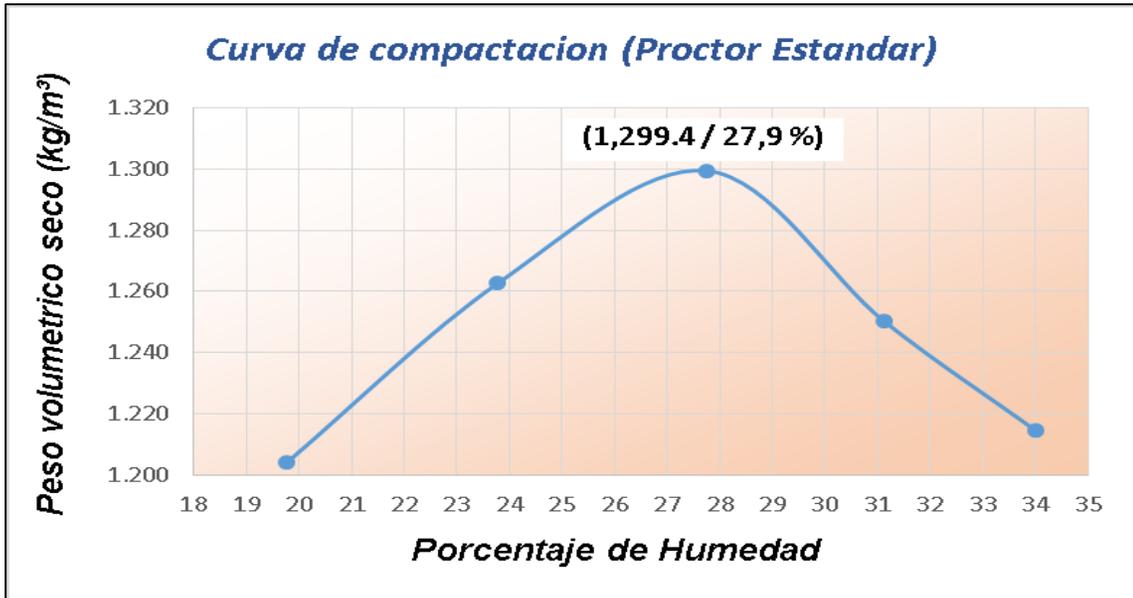


Fuente: Elaboración propia

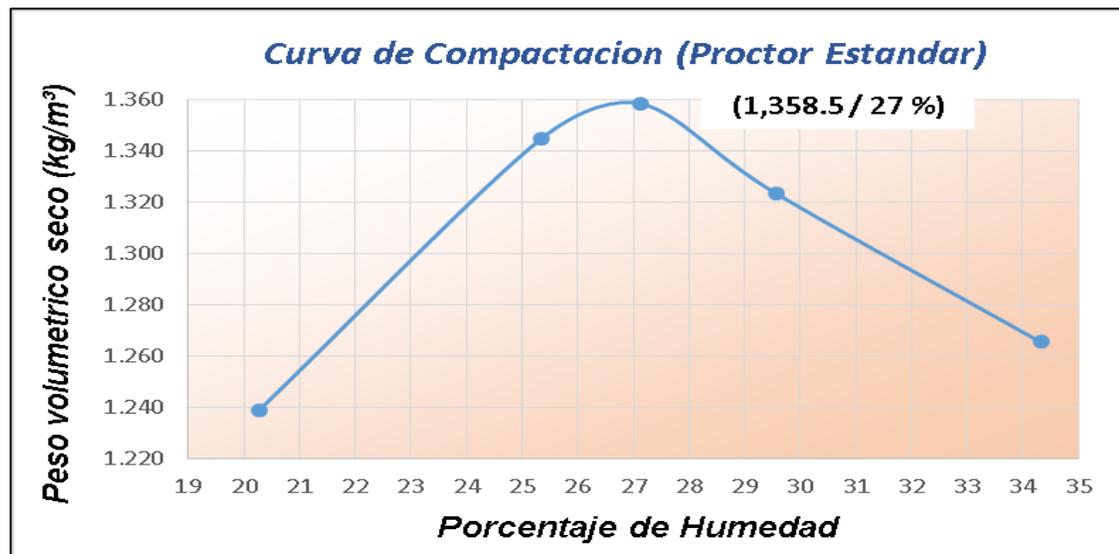
ANEXOS II DEL CAPITULO 3

Gráficos Proctor Estándar con diferentes porcentajes de estabilizadores del 3.6.

Grafica 3.6.1 Curva de Compactación (Proctor Estándar) 95% de arcilla más 5% de cáscara de huevo pulverizado

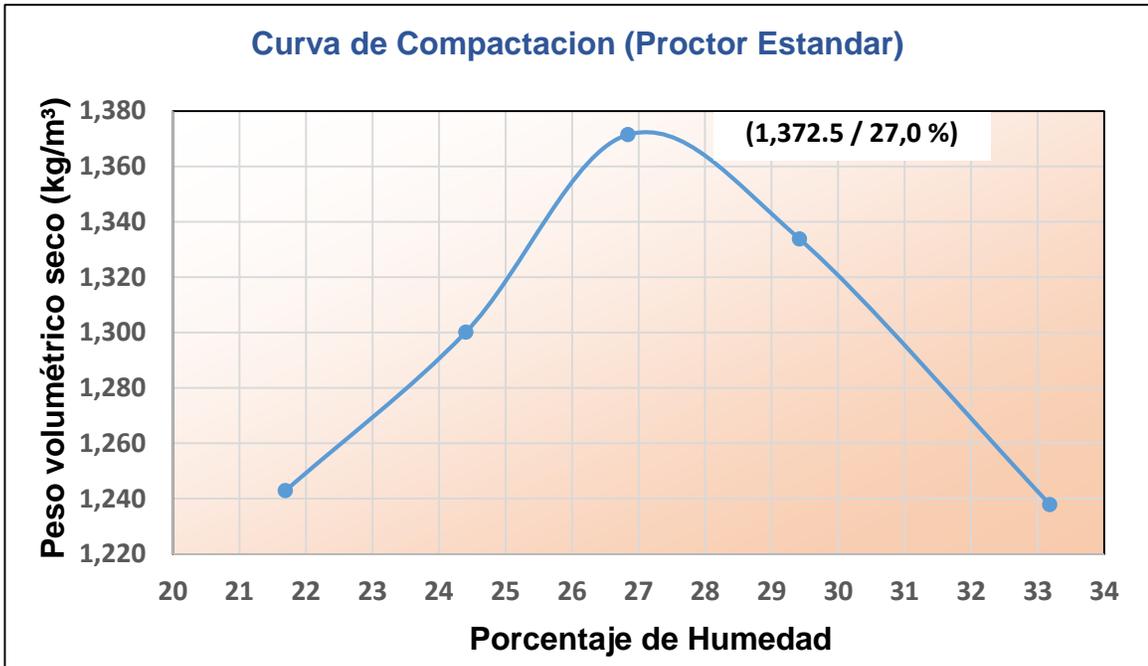


Grafica 3.6.2 Curva de Compactación (Proctor Estándar) 90% de arcilla más 10% cáscara de huevo pulverizado



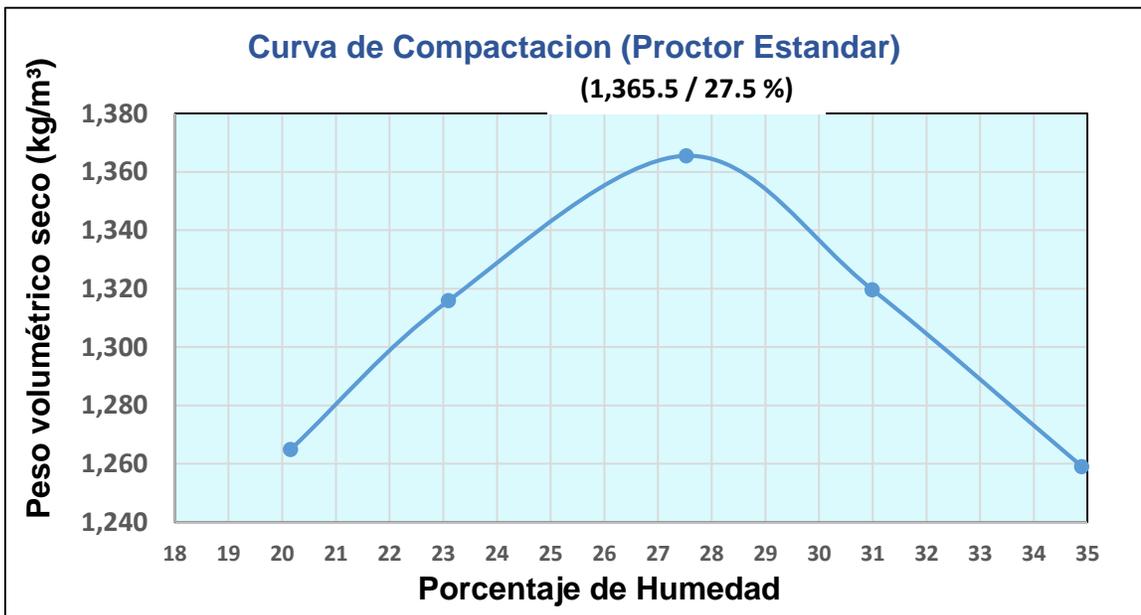
Fuente: Elaboración Propia

Grafica 3.6.3 Curva de Compactación (Proctor Estándar) 85% de arcilla más 15% cáscara de huevo

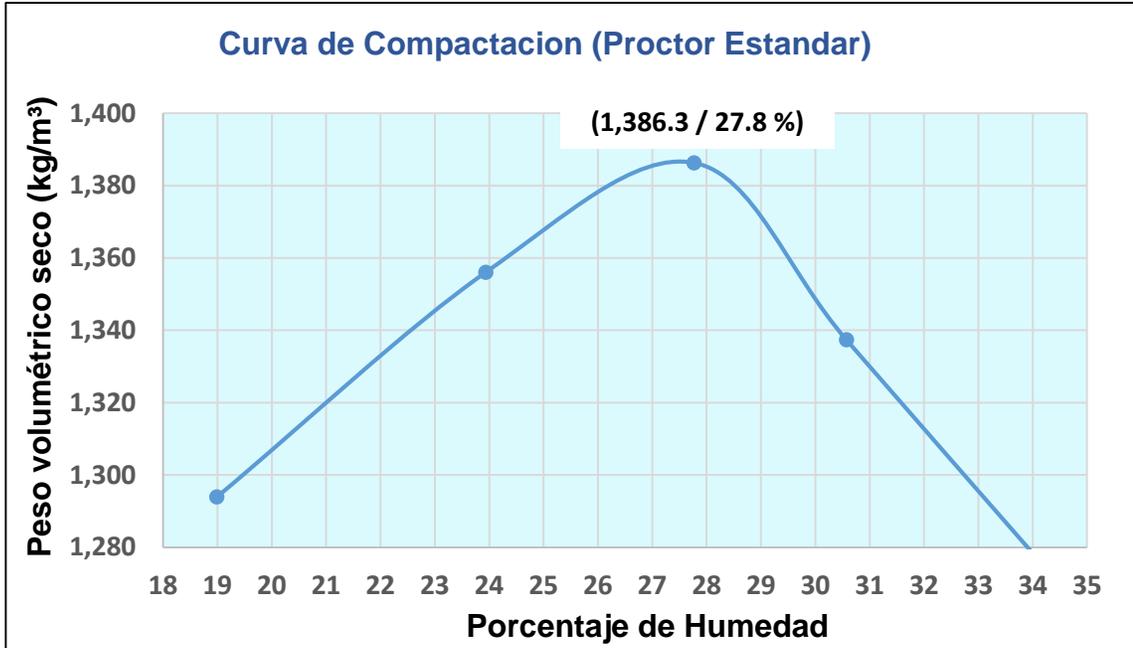


Fuente: Elaboración propia

Grafica 3.6.4 Curva de Compactación (Proctor Estándar) 95% de acilla más 5% de Cal.

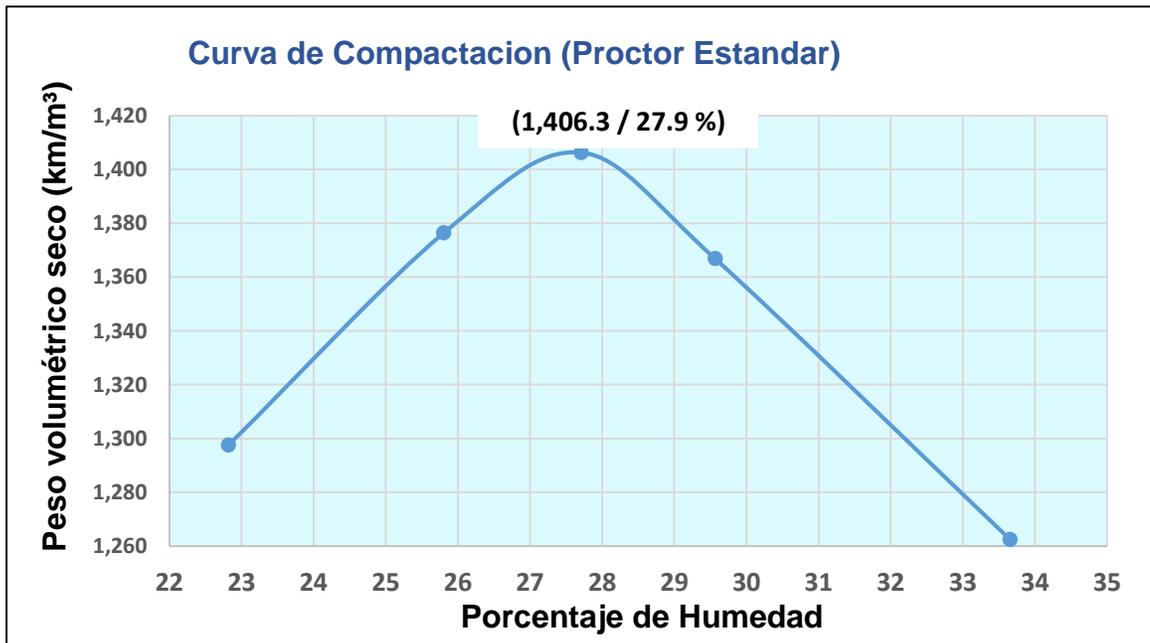


Grafica 3.6.5 Curva de Compactación (Protor Estándar) 90% de arcilla más 10% de Cal



Fuente: Elaboración propia

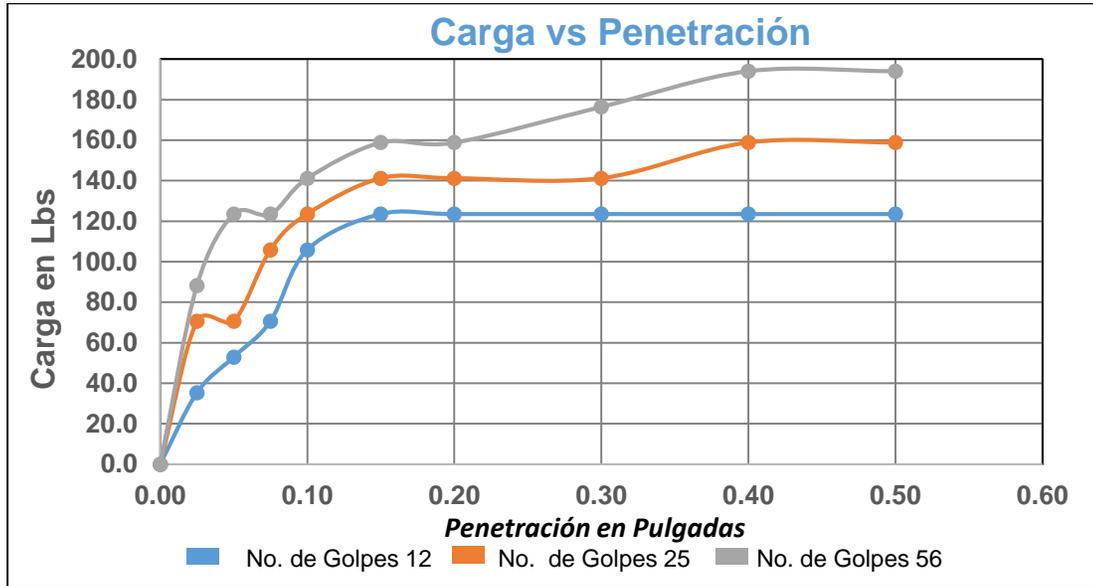
Grafica 3.6.6 Curva de Compactación (Protor Estándar) 85% de arcilla más 15% de Cal.



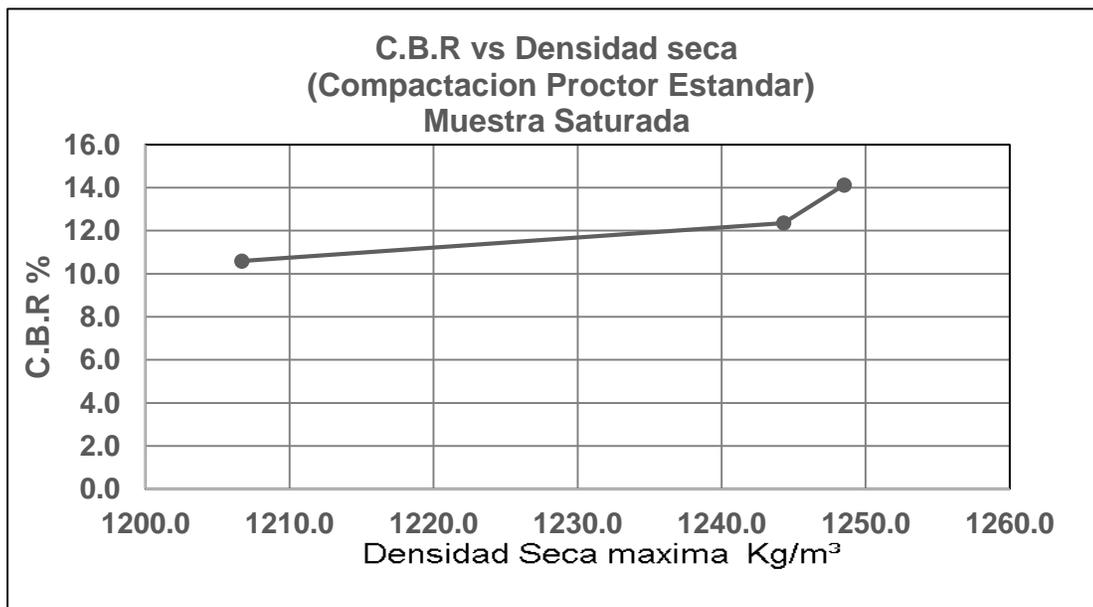
ANEXOS II del capítulo 3 del punto 3.7

Valor Relativo soporte de california (CBR) con diferentes porcentajes aditivos

Gráfica 3.7.1 Carga Vs Penetración 95% de arcilla con 5% de cáscara de huevo pulverizada

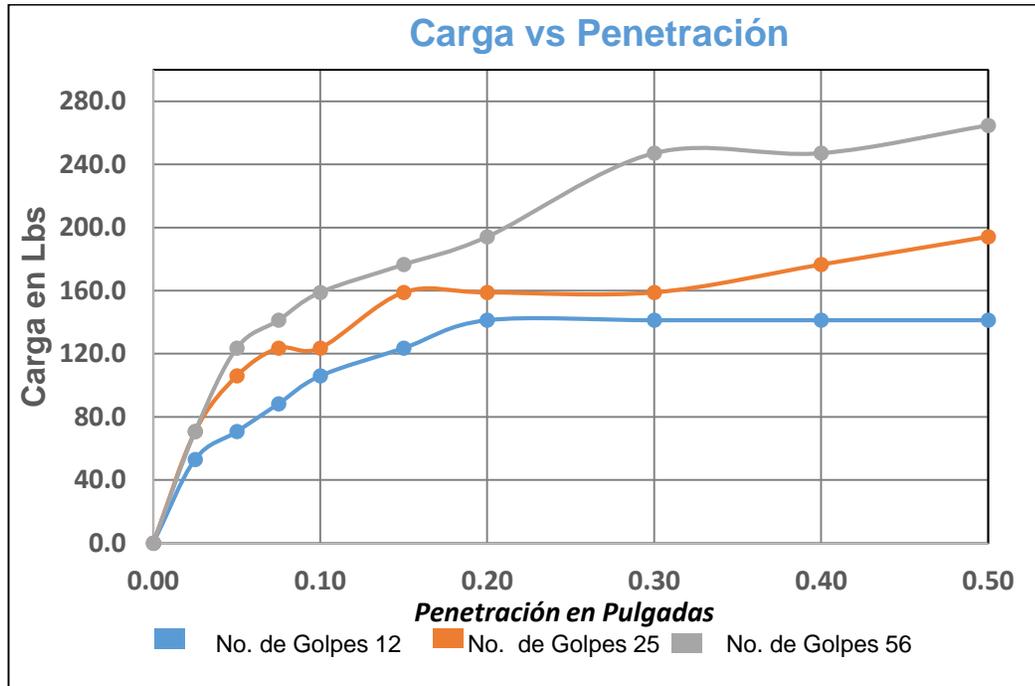


Grafica 3.7.1.1 Curva CBR con 5% de cáscara de huevo pulverizado

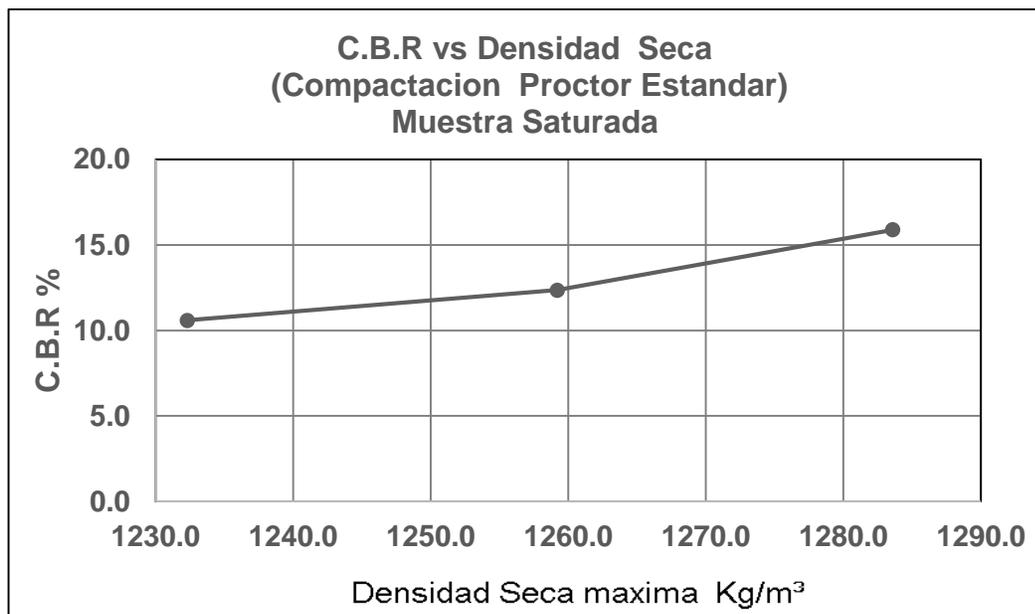


Fuente: Elaboración propia

Grafica 3.7.2 Carga Vs Penetración 90% de arcilla más 10% de cáscara de huevo pulverizado

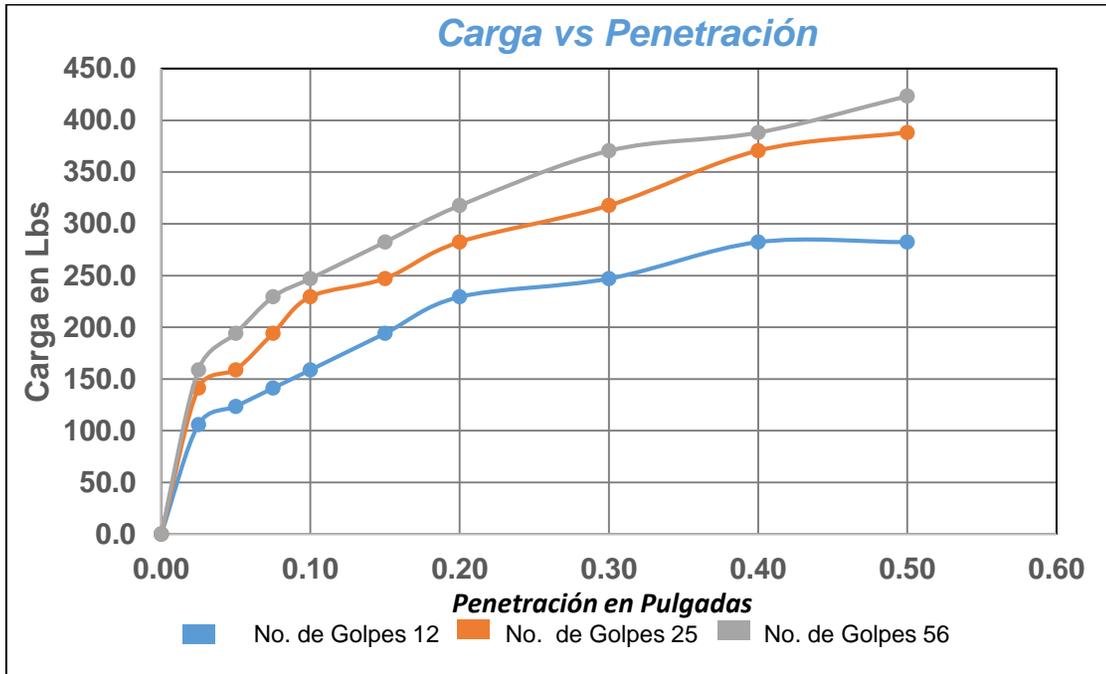


Grafica 3.7.2.1 Curva CBR Vs Densidad Seca Máxima con 10% de cáscara de huevo pulverizado

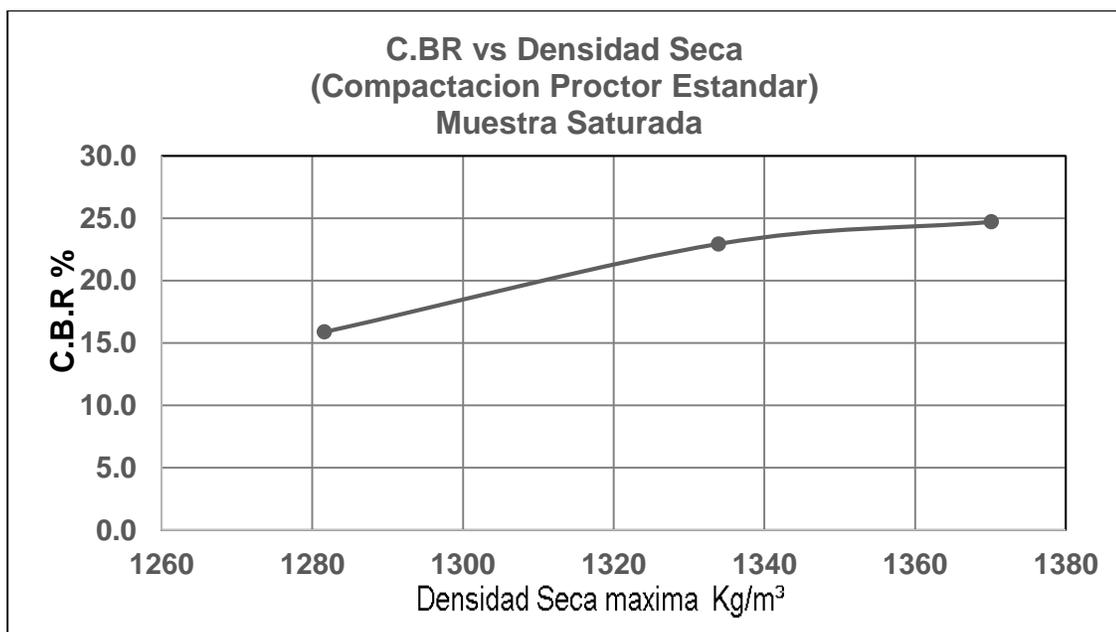


Fuente: Elaboración propia

Grafica 3.7.3 Carga Vs Penetración con 95% de arcilla más 5% de cáscara de huevo pulverizado

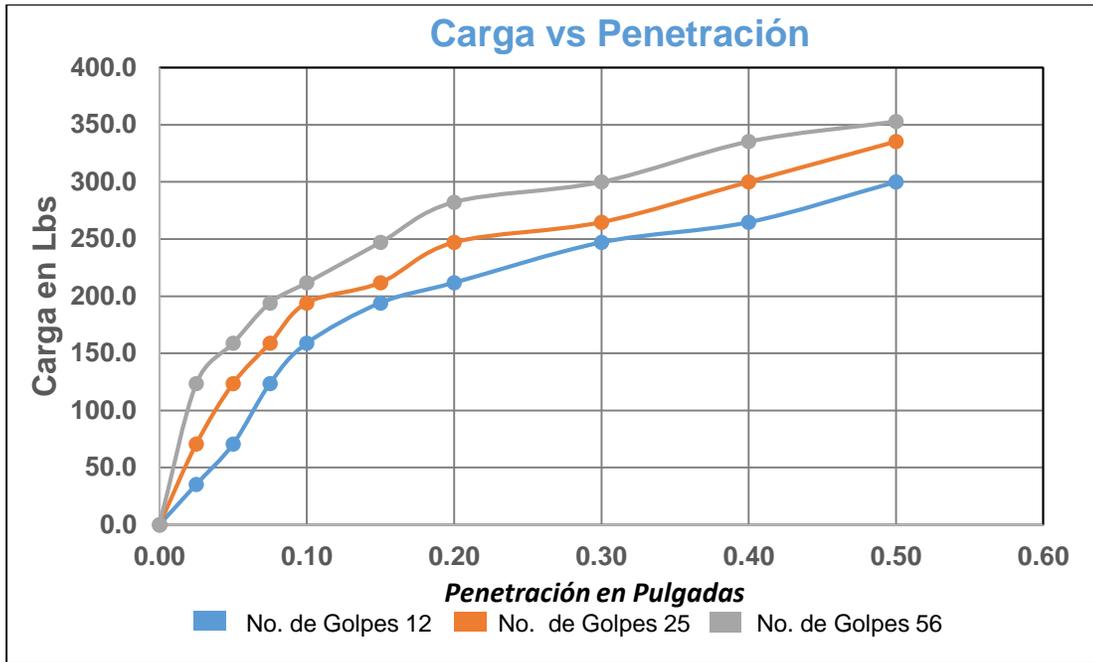


Grafica 3.7.3.1 Curva CBR Vs Densidad Seca Máxima con 15% de cáscara de huevo pulverizado



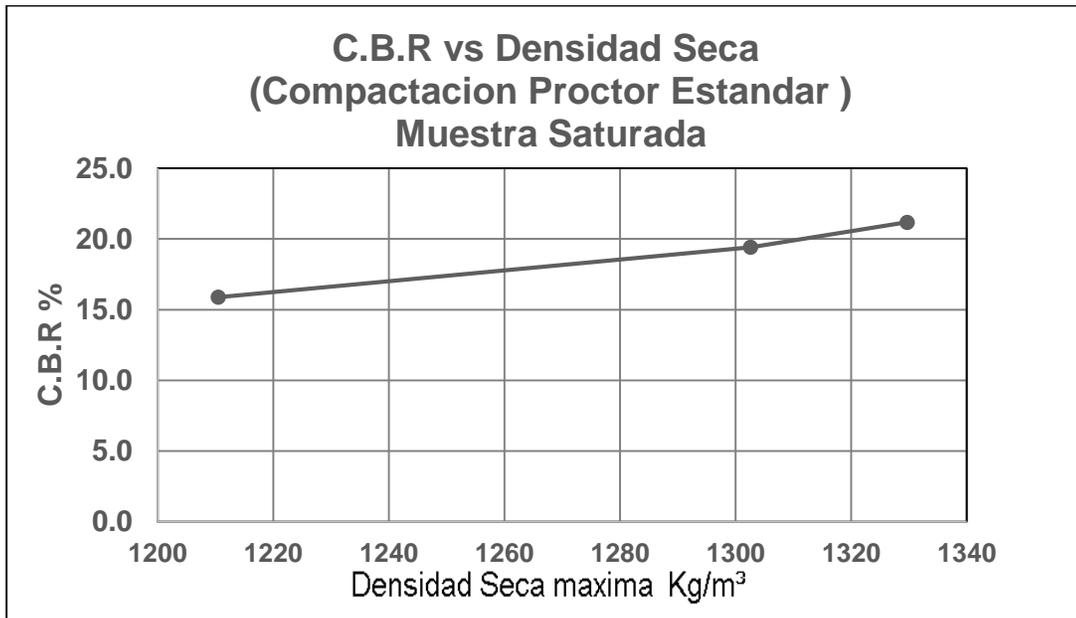
Fuente: Elaboración propia

Grafica 3.7.4 Carga Vs Penetración 95% de arcilla más 5% de Cal



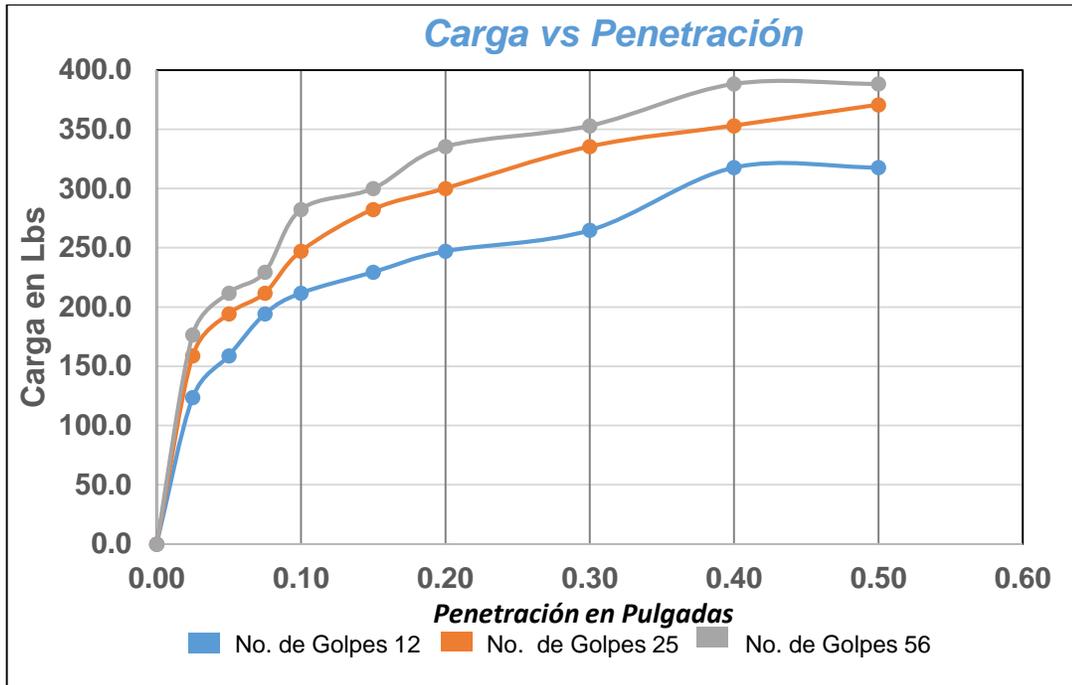
Fuente: Elaboración propia

Grafica 3.7.4.1 Curva CBR Vs Densidad Seca Máxima con 5% de cal



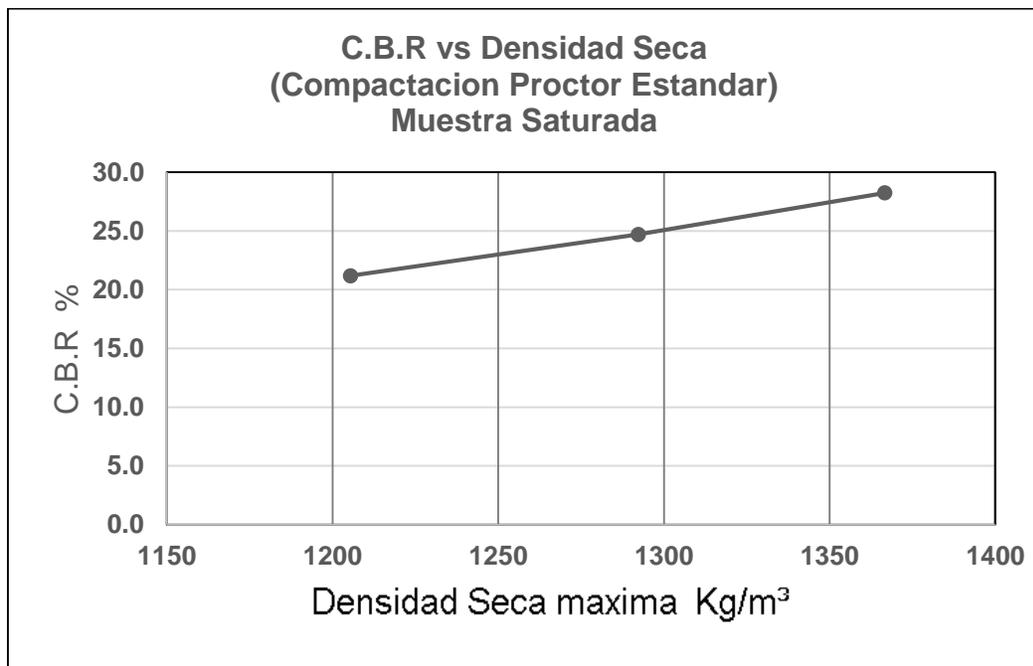
Fuente: Elaboración propia

Grafica 3.7.5 Carga Vs Penetración 90% de arcilla más 10 % de Cal



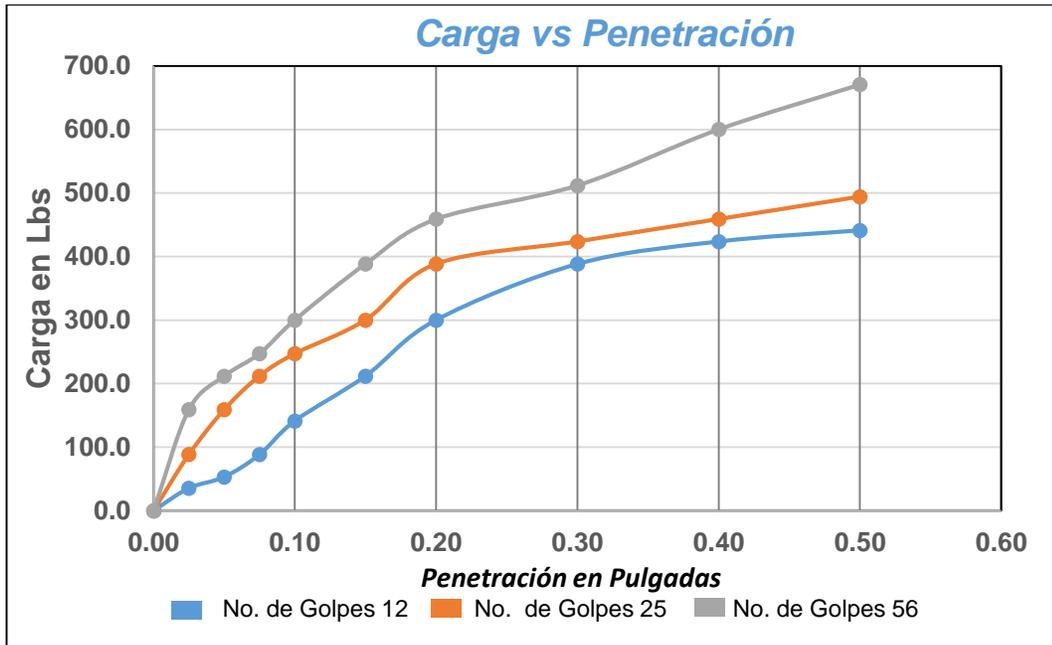
Fuente: Elaboración propia

Grafica 3.7.5 .1 Curva CBR Vs Densidad Seca Máxima con 10% de Cal



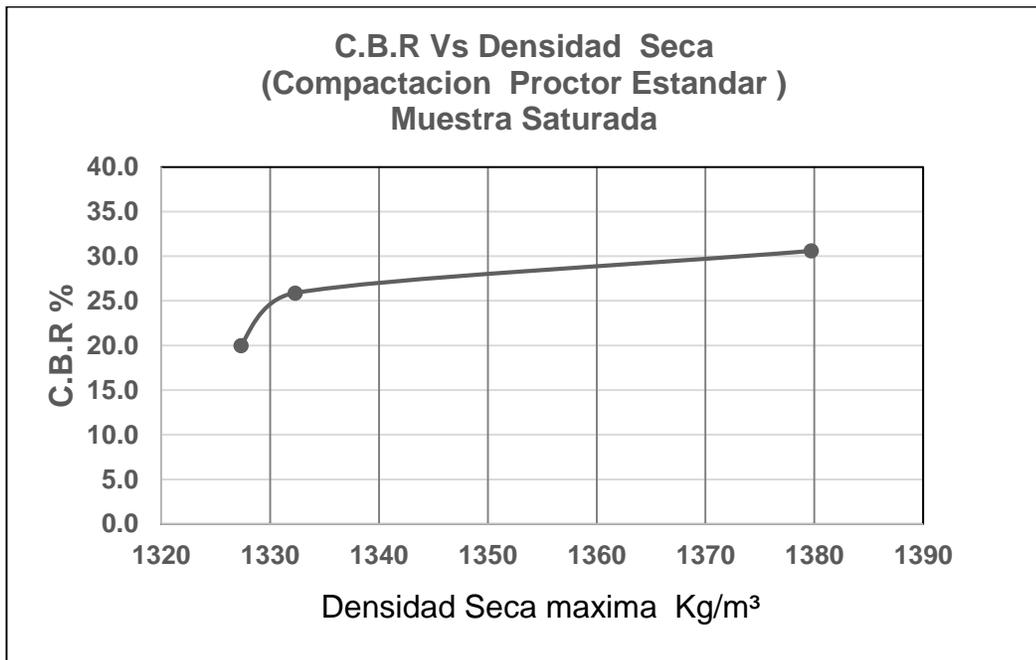
Fuente: Elaboración propia

Grafica 3.7.6 Carga Vs Penetración con 85%de arcilla más 15 % de Cal



Fuente: Elaboración propia

Grafica 3.7.6.1 Curva CBR Vs Densidad Seca Máxima con 15% de Cal



Fuente: Elaboración propia

ANEXOS III
DE IMAGENES

ANEXOS IMÁGENES DE LOS ENSAYES.

IMAGEN N° 1: Ensaye Exploración y Muestreo

Lugar en estudio



Textura del suelo. Lugar B° Nuevo comunidad Las Maderas Tipitapa



IMAGEN N° 2:

Ensaye de Humedad de Arcilla en estado natural



IMAGEN N° 3

Ensaye Gravedad Específica de la arcilla en estado natural



IMAGEN N° 4

Ensaye de Pesos Unitarios



IMAGEN N° 5

Ensaye Límites de consistencia (Límites Atterberg)





IMAGEN N° 6

Ensayo de Proctor Estándar



IMAGEN N° 6

Ensaye C.B.R .Elaboración de molde



IMAGEN N° 7

Proceso de preparación de aditivo –Cáscara de huevo Pulverizado

