



**UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU
SANTO**

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL

**MEJORAR LA CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS USANDO
SÁBILA, PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS RURALES**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE SE PRESENTA COMO
REQUISITO PREVIO A OPTAR EL GRADO DE INGENIERO
CIVIL**

AUTOR:

LUIS ANDRÉS BAREK ORTI

TUTORA:

ING. Carmen Terreros, PhD

SAMBORONDÓN, MARZO 2015

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por darme vida y fuerza todos los días. a mis padres por siempre apoyarme en todos los momentos en mi carrera a mis hermanos por siempre estar en los deberes difíciles , a la universidad por presentarme a mis grandes amigos , a los profesores que han hecho esta graduación posible especialmente a mi tutora Carmen Terreros.

Andrés Barek

RECONOCIMIENTO

Andrés Barek

ÍNDICE GENERAL

CARÁTULA.....	I
AGRADECIMIENTO	II
RECONOCIMIENTO.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE GRÁFICOS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	IX
CAPÍTULO I.....	1
1. EL PROBLEMA	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Formulación de problema	2
1.3. Sistematización del problema	2
1.4. Objetivos de la investigación	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Justificación o importancia de la investigación	3
1.6. La propuesta.....	4

CAPÍTULO II.....	5
2. MARCO REFERENCIAL	5
2.1. Sábila.....	5
2.1.1. Clasificación taxonómica.....	6
2.1.2. Características de la planta:.....	7
2.2. Bases.....	7
2.2.1. Aglutinantes para bases.....	8
2.2.2. Erosión de Bases	10
2.3. Sub-base	11
2.3.1. Capa anticontaminante o capa filtro	13
2.4. Sub-rasante	14
2.4.1. Preparación de la sub-rasante	15
2.4.2. Estabilización química.....	15
CAPÍTULO III.....	18
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
3.1. Observación y Toma de Muestras	18
3.2. Población y muestra	18
3.3. Sistema de Hipótesis y variables	25
3.4. Definiciones conceptuales	26
3.5. Diseño de la investigación	27
3.6. Instrumento de recolección de datos	27
3.7. Técnicas de investigación y pasos a utilizar	28

CAPÍTULO IV.....	33
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	33
CAPÍTULO V.....	51
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
5.1. Conclusiones	51
5.2. Recomendaciones.....	53
BIBLIOGRAFÍA.....	54
ANEXOS.....	56

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Clasificación taxonómica	6
Gráfico 2 Características de la Base.....	8
Gráfico 3 Apariencia de la base	9
Gráfico 4 Apariencia de la base zahorra artificial.....	10
Gráfico 5 Características de la Sub-base	13
Gráfico 6 Vehículo estabilizador de suelo con químicos.....	16
Gráfico 7 Diferencias entre una muestra de suelo sin estabilizar y otra estabilizada químicamente	16
Gráfico 8 Toma de muestra	19
Gráfico 9 Herramientas empleadas para la prueba de contenido de humedad.....	21
Gráfico 10 División del material.	22
Gráfico 11 El cuarteo del material.....	22
Gráfico 12 Peso del material húmedo más el recipiente.....	23
Gráfico 13 Pasante Malla 3/4.....	24
Gráfico 14 Peso del material tamizado en la malla 3/4	24
Gráfico 15 CM3 de agua.....	30
Gráfico 16 Cilindros de compactación con 3% de sábila	30
Gráfico 17 Tamizado.....	32
Gráfico 18 CBR Suelo Natural (Sin sábila)	38
Gráfico 19 CBR con sábila al 3%.....	42
Gráfico 20 CBR al 9% de sábila.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Espesor de capa compacta.....	12
Tabla 2 Porcentaje que pasa por el tamiz 200.....	33
Tabla 3 Prueba Proctor sin sábila.....	34
Tabla 4 CBR Con suelo natural Elaborado por: El autor.....	35
Tabla 5 CBR Penetración suelo natural.....	36
Tabla 6 Prueba de Proctor sábila 3%	39
Tabla 7 Prueba CBR al 3% de sábila.....	40
Tabla 8 CBR Penetración con muestra de sábila 3%	41
Tabla 9 Prueba Proctor 3%.....	43
Tabla 10 Prueba CBR al 9% de sábila.....	44
Tabla 11 CBR Penetración con muestra de sábila 9%	45
Tabla 12 Contenido de humedad Natural	47
Tabla 13 Ensayo de Durabilidad.....	48
Tabla 14 Comparación de expansiones.....	49
Tabla 15 Prueba de expansión	59

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Suelo natural	56
Fotografía 2 Separación del material	56
Fotografía 3 Compactación de la muestra	56
Fotografía 4 Toma de muestra.....	57
Fotografía 5 Material no compactado	57
Fotografía 6 Pesado de la muestra del suelo en la balanza digital	57
Fotografía 7 Pruebas realizadas In Situ.....	58
Fotografía 8 Realización de gráficos CBR Normal.....	59

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

En el Ecuador, particularmente en las zonas rurales, existen caminos de cuarto orden compuestos por suelo de mala calidad, los mismos que por la escasez de recursos no han sido lastrados y menos todavía, asfaltados, puesto que estos trabajos orientados al desarrollo vial generalmente se han concentrado en el mejoramiento de las carreteras de primer orden.

Al no contar con el respectivo asfaltado, la condición de los caminos es totalmente inadecuada para la circulación de vehículos, debido a que la adherencia es menor en el suelo suelto, consecuentemente el levantamiento de polvo es desagradable, se disminuye la visibilidad, el agua afecta a la resistencia de la sub-rasante, sub-base y base, por lo que se aumenta el desgaste de los motores y neumáticos.

A través de la utilización de sábila como aglutinante del suelo, se podría obtener una mezcla más densa y más resistente que podría cambiar la mala calidad del mismo, satisfaciendo en parte, la necesidad de contar con caminos rurales y que a la vez cuenten con mejor tiempo de vida útil.

Desde esta perspectiva, el problema está en la falta de un estudio donde se determine la posibilidad de utilizar algún material económico como aglutinante para mejorar las condiciones de la sub-rasante. A partir de lo que se menciona, es imperativo que se conozcan los detalles y las características del nuevo componente que se busca utilizar para la preparación de suelos; tomando como referencia lo que menciona Gage (2009, pág. 12), sobre la sábila o aloe vera:

La palabra aloe se deriva del árabe *alloe* o del hebreo *halal*, que significa “Sustancia amarga y brillante”, descripción que sólo es adecuada para uno o dos ingredientes de la sábila. El látex, que comúnmente se llama savia amarilla. La otra parte importante de la hoja de la sábila, o sea, la sustancia clara y semisólida que constituye el parenzima, que se conoce como gel.

Con la implementación del proyecto se pretende mejorar la calidad del suelo de los caminos de cuarto orden que se encuentran sin asfaltar, planteando la posibilidad del uso de la sábila como alternativa probablemente más económica para ser aplicada en la mezcla, con lo que se pretende aumentar la resistencia del suelo y alargar su vida útil.

1.2. Formulación de problema

La formulación del problema de investigación se determina en base a la situación que se ha podido identificar en la pre investigación y observación realizada por parte del autor, en relación a la malas condiciones del suelo que presentan los caminos de cuarto orden. Por lo tanto, el problema se define de la siguiente manera: ¿Cómo mejorar la capacidad portante de los suelos, de modo que sean apropiados para la sub-rasante, base y sub base?

1.3. Sistematización del problema

La sistematización del problema se determina de la siguiente manera:

¿Cuál es la posibilidad de utilizar la sábila como material aglutinante para el mejoramiento del suelo de los caminos de cuarto orden?

¿Cuál es la durabilidad de la sábila como agente aglutinante?

¿Cuál es la resistencia de la sábila al exponerse al lavado con la lluvia?

¿Cuáles son los resultados que se obtienen con diferentes proporcionamientos de sábila?

¿Cuál es la resistencia del suelo con material aglutinante de sábila, en relación al estado natural del suelo?

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

- Mejorar la capacidad portante de los suelos de mala calidad, utilizando sábila como aglutinante, para que sean empleados en la construcción de caminos rurales.

1.4.2. Objetivos específicos

- Estudiar las características mecánicas de la sábila como posible aglutinante de suelos de mala calidad.
- Hacer mezclas con diferentes proporcionamientos de sábila para así determinar la resistencia de cada una de ellas y compararlas con el suelo natural.
- Determinar el porcentaje de expansión con los diferentes proporcionamientos y compararlos con su suelo en estado natural.
- Medir la durabilidad de la mezcla estabilizada con sábila como agente aglutinante.

1.5. Justificación o importancia de la investigación

La investigación propuesta es importante debido a que resulta relevante que se analice las condiciones del suelo que presentan los caminos de cuarto orden, con la finalidad de determinar la factibilidad de utilizar la sábila como aglutinante para mejorar la resistencia de la sub-rasante, base y la sub-base. De esta manera se busca proporcionar una alternativa económica que permita contribuir a solucionar el problema identificado.

Con el desarrollo de la investigación se va a optimizar la calidad de suelo en los caminos de cuarto orden, ya que se utilizará un componente que ayudará en su resistencia, durabilidad y compactación. Un suelo que ya

sea utilizado en una base, sub-base o sub-rasante, al ser mezclada con la sábila genere propiedades de un mejor rendimiento.

Además, se establecerá un precedente en cuanto a la utilización de esta nueva técnica para mejoramiento de suelo, considerando que hasta la actualidad no existe información que indique el uso de la sábila como material aglutinante, con lo cual se podrá contribuir al desarrollo de futuras investigaciones y estudios orientados a obtener una mejor calidad del suelo y reducir los inconvenientes relacionados con el deterioro de los caminos de cuarto orden.

1.6. La propuesta

Considerando el mal estado en el que se encuentra la mayoría de los caminos de cuarto orden, se pensó en la necesidad de desarrollar un estudio para determinar la factibilidad de aplicación de la sábila como material aglutinante, con el propósito de proporcionar una alternativa probablemente más económica para el mejoramiento de la sub-rasante, sub – base y base.

La propuesta se basa en la elaboración de estudios comparativos sobre la densidad del material aglutinante, mezclando el suelo con diferentes proporciones de sábila en un lapso de tiempo determinado para dicha investigación, este estudio permitirá establecer el porcentaje de sábila necesaria para la compactación del suelo en los caminos de cuarto orden, para incrementar la resistencia de la superficie.

El estudio se realizó mediante la aplicación de sábila mezclada con el material que se encuentra en la sub-rasante, para realizar comparaciones en los resultados obtenidos con el suelo natural.

CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Sábila

Según Ortiz (2010):

El Aloe Vera es una planta siempre verde, de hojas largas y carnosas. Normalmente crece en estado espontáneo en las lomas, a orillas de los caminos y en lugares pedregosos, donde llueve poco. Su poder de resistencia a las sequías, es tan fuerte que puede vivir sin agua por varios años, dentro de las casas, sólo dependiendo de la humedad del ambiente.

El Aloe Vera o sábila es una planta que se originó en África y es reconocida por sus múltiples propiedades en el campo de la salud y estética, así como día a día se encuentran nuevos usos y beneficios de la misma en otros aspectos. El Aloe vera pertenece a la familia de las liliáceas, e incluye las plantas con flores, espárragos, cebolla y ajo. *Aloe Barbadensis Miller*, del tipo de plantas utilizadas en la bebida de Aloe Vera es la planta más poderosa en lo que se refiere a la resistencia al resecamiento lo que ha generado un alto impacto en las aplicaciones comerciales actualmente.

La planta es históricamente conocida desde hace varios miles de años. Hipócrates, padre de la medicina creía que la planta de Aloe Vera era la primera alternativa de todas las plantas medicinales que existen en el mundo; incluso en el antiguo Egipto esta planta era muy apreciada y se dice que Cleopatra utilizó la planta para beneficio de su belleza. Mientras que las propiedades de la bebida de Aloe Vera se han aprovechado en su máxima expresión, actualmente existen ciertos estudios científicos que tratan de buscarle nuevos usos, especialmente en temas orientados en el aspecto de la construcción.

(Gage, La sábila (Aloe vera), 2009, pág. 09) “Para muchos, la sábila es sólo un remedio casero que sirve para cuidar pequeñas heridas y quemaduras; para otros; sólo es una planta decorativa; y para otros, es la última maravilla natural.”

Referenciando lo compartido por Gage (2009), la sábila o Aloe vera es una hierba que crece en climas áridos y está ampliamente distribuido en países como Filipinas, India y África. Se ha utilizado como medicina herbaria, incluso en la antigüedad con los primeros registros de uso de aloe vera en Egipto durante el siglo 16 antes de Cristo. La sábila o aloe vera se utiliza ampliamente como la medicina herbolaria tradicional en China, Japón, Rusia, Sudáfrica, Estados Unidos, Jamaica, América Latina y la India. Se emplea como medicina natural por sus propiedades anti-inflamatorias, regeneradoras, anti-bacterianas y anti-hongos.

2.1.1. Clasificación taxonómica

Gráfico 1 Clasificación taxonómica



Fuente: (Ganjul, 2010)

Varios investigadores atribuyen los beneficios que brinda la sábila, a un componente específico, como es el carbohidrato, denominado también acemanano, que contiene a su vez un sinnúmero de componentes internamente unificados, que producen un efecto aliviador en las zonas donde se la aplique. La sábila, también se ha empleado como tratamiento de enfermedades como el cáncer, úlceras, VIH infecciones y otras.

El uso de esta hierba incluso ha invadido a la cosmética, ya que existen en la actualidad varios productos de belleza que nacen a partir de las propiedades curativas y protectoras, por ello también es frecuente que los dermatólogos la recomienden con más regularidad a pacientes con problemas de acné.

2.1.2. Características de la planta:

- Por lo general crece hasta 35 cm de altura.
- Sus hojas son de color verde, con ancho de 6 cm que crece para arriba estrechándose con márgenes espinosos.
- La flor de la sábila crece de manera erguida en ciertos casos puede superar la altura de la planta.
- Las flores de sábila son de color amarillo único, y entre amarillo y rojo crecen hasta un aproximado de 2 cm.

2.2. Bases

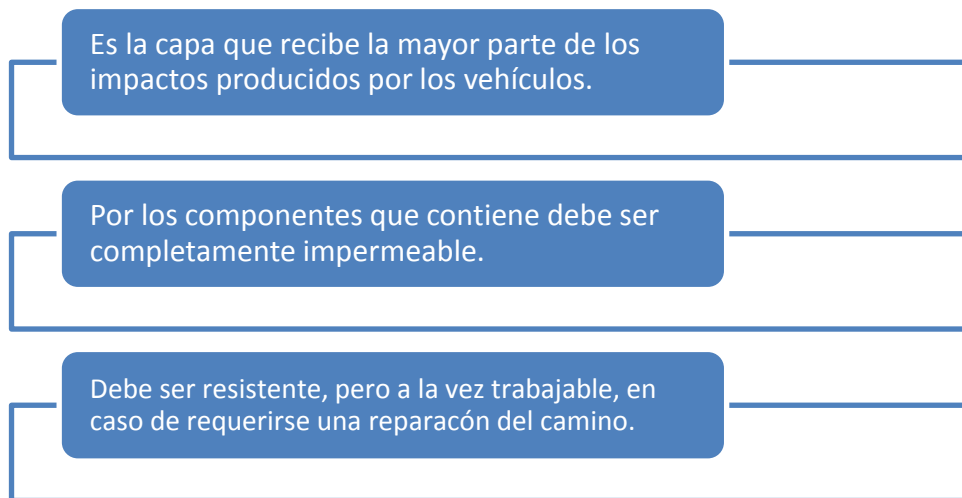
Según Valle (2009, pág. 190), “Esta capa tiene por finalidad absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y, además repartir uniformemente estos esfuerzos a la sub-base y al terreno de función”.

Referenciando lo mencionado por Valle (2009), las bases son las capas más resistentes en la construcción de carreteras o caminos en general, cuyas características varían entre ser granuladas, o hechas a partir de mezclas estabilizadas con cemento u otros componentes adherentes. La base se sitúa sobre de sub-base, bajo la carpeta de rodadura. Es muy importante debido a que debe recibir las presiones de las capas superiores y a su vez trasmitirlas sin deformar a las capas inferiores.

Por lo general los componentes empleados en le construcción de la base tienen que disponer de características bien definidas para asegurar su durabilidad, por ello se mencionan los requerimientos principales del material a emplearse para la base así como las características de estos:

1. Presentar resistencia ante los cambios climáticas como el calor, humedecimiento.
2. No registrar modificaciones en el volumen de los componentes por sí solos o mezclados, es decir no ser expansivos.
3. El desgaste en porcentaje debe ser menor al 50%.
4. En el estudio de la base se debe tener cuidado de que el material que pase a través del tamiz #200 tenga límite líquido inferior al 35%, mientras el índice de plasticidad debe ser menor a 6.
5. En cuanto al CBR, este debe presentar un porcentaje mayor al 50%. En los últimos 15cm (arriba) deberán ser de mejor calidad un CBR de 65%,80%,100% según el tipo de carretera estemos hablando.

Gráfico 2 Características de la Base



Fuente: (Bautista & Moreno, 2010)

2.2.1. Aglutinantes para bases

Cuando no se dispone del material apropiado para bases se usan aglutinantes especiales. En el Ecuador según datos proporcionados por la empresa Holcim (2015), la estabilización de suelos para base que utilizan normalmente, son los cementos hidráulicos por las propiedades mecánicas que presenta y la reducida susceptibilidad a condiciones climáticas adversas.

La adición del cemento o asfalto (típicamente menos del 5%) a veces no es suficiente para estabilizar las bases, por lo tanto se recomienda que la base sea modificada o tratada químicamente. En esta investigación se va a mencionar dos tipos de bases alternativas, las cuales son: MACADAM o de granulometría discontinua y ZAHORRA ARTIFICIAL o de granulometría continua.

- **MACADAM**

Este tipo de base fue diseñada por el ingeniero escocés MAC ADAM, en el año 1820, él ideó un pavimento a base de un árido (rocas calcáreas) grueso extendido y apisonado con capas de asfalto intermedio.

Se debe recalcar que durante varios años este tipo de MACADAM asfáltico ha sido el más usado, actualmente se encuentra en desuso debido a la baja capacidad de soporte, el alto costo en su colocación, y a la escasez de materiales pétreos, haciendo poco rentable el aplicar este tipo de base.

Gráfico 3 Apariencia de la base



Fuente: (Dal-Ré, 2009)

- **ZAHORRA ARTIFICIAL**

También es una estabilización con asfalto. Este tipo de base es de granulometría continua, hay áridos de diferentes tamaños en proporciones parecidas.

Gráfico 4 Apariencia de la base zahorra artificial



Fuente: (Dal-Ré, 2009)

- **ESTABILIZACION CON CEMENTO**

El suelo con cierta proporción de cemento y agua. A diferencia del hormigón esta proporción de cemento es muy baja, de manera que los granos de suelo no estén envueltos de cemento, sino parcialmente unido con las otras piedras granuladas. El cemento se encuentra en un 5 a 10% en peso del suelo.

2.2.2. Erosión de Bases

La erosión es la pérdida de material de la base debido a la acción hidráulica o al tránsito vehicular. Se presenta en las articulaciones de pavimentos rígidos y a lo largo del borde de todo tipo de pavimentos. La condición está relacionada con la durabilidad de la base en relación con su potencial para romperse bajo cargas dinámicas de tráfico, las condiciones climáticas, efectos ambientales, así como la acción del agua.

Cuando el tráfico aumenta, se requiere una base más resistente a la erosión, junto con el diseño de transferencia de carga conjunta más adecuado. El nivel de tráfico es un factor muy importante en la construcción de bases / sub-bases, sobre todo teniendo en cuenta que probablemente recibirá 10 a 20 veces más repeticiones de cargas pesadas.

Mientras que la capa de la base es a menudo la más afectada por la erosión, cualquier capa directamente debajo de una base también puede experimentar erosión.

Algunas empresas constructoras con la supervisión de ingenieros colocan una capa de sub-base granular densa entre la base y sub-base compactada para reducir este problema. Otra forma es a través de la estabilización de la capa superior de un suelo con un material como por ejemplo la sábila, para reducir este problema; Sin embargo, este enfoque debe producir un material suficientemente duro con resistencia a la compresión adecuada y uniformidad a lo largo del proyecto. Los geotextiles también se utilizan como capas de separación para mantener los materiales de la sub-base y sub-rasante en su lugar.

A fin de evitar en lo más posible altos niveles de erosión el estabilizado de materiales de base o sub-base se logra con la adición de una cantidad suficiente de materiales como cemento o asfalto para producir la resistencia a la tracción significativa. Tales materiales se consideran bases unidas y tienen un aumento sustancial de la capacidad estructural sobre el de bases no unidas y modificadas.

2.3. Sub-base

Para Valle (2009, pág. 185):

La sub-base es la capa material seleccionado que se coloca encima de la sub-rasante. La misión fundamental del conjunto granular de la base y sub-base es la de servir para repartir las cargas del tráfico al terreno, de modo que este soporte las presiones sin mayores deformaciones.

Conforme a lo mencionado por Valle (2009), la capa de sub-base se sitúa debajo de la base y admite materiales de menor calidad, pero de ella también depende la estabilidad de la superficie en general: por consiguiente también se debe mantener compactar bien para que no se produzcan deformaciones en el suelo que puedan dañar la estructura del camino.

Mantienen prescripciones técnicas las cuales se determinan a continuación

- Áridos naturales
- Diversas prescripciones granulométricas
 - La fracción en peso que pasa por el tamiz n° 200 debe ser menor que los 2/3 de la fracción que pase por el tamiz n° 40
 - La curva granulométrica de los materiales está reglamentada por la tabla que se presentará a continuación:

Tabla 1 Espesor de capa compacta

Tamiz UNE	S 1	S 2	S 3
50	100	100	-
25	-	75 - 95	100
10	30 - 65	40 - 75	50 - 85
5	25 - 55	30 - 60	35 - 65
2	15 - 40	20 - 45	25 - 50
0,4	08 - 20	15 - 30	15 - 30
0,08	2 - 8	5 - 20	5 - 15

Fuente: (Mad Eduforma, 2009)

El tamaño máximo no superará la mitad del espesor de la capa a compactar

La plasticidad del material también está limitada, tal como la calidad soporte y la calidad de los áridos, cuyo coeficiente de desgaste de Los Ángeles debe ser inferior a 50. Cuando se pone en obra esta actividad se debe considerar las prescripciones fundamentales detalladas a continuación.

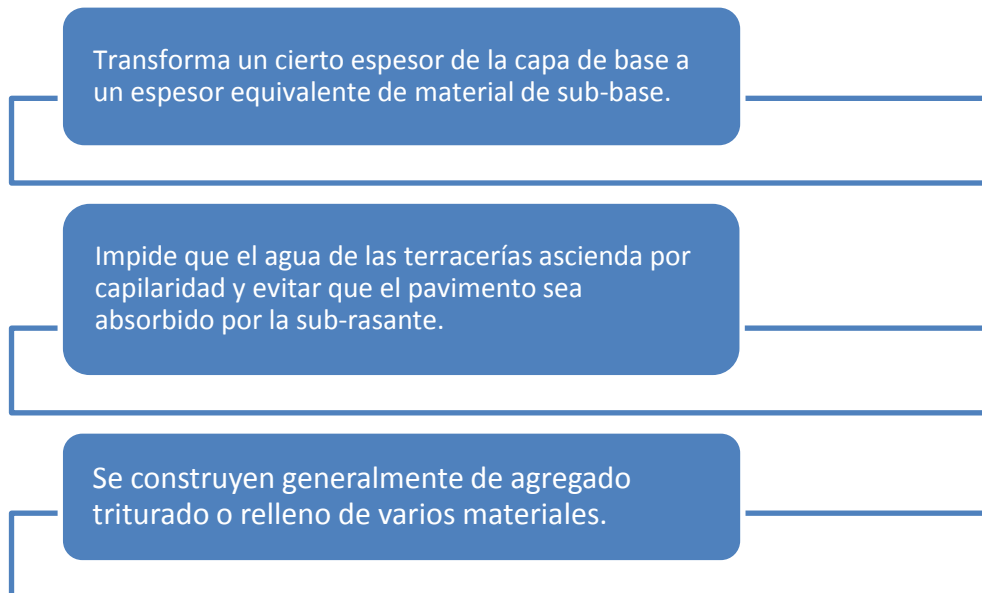
- Densidad de compactación al 95% del proctor modificado.
- En los bordes no debe haber segregación.

De igual manera la sub-base tiene funciones preestablecidas que se mencionan detalladamente a continuación:

1. Debe ser preparada de tal forma que sirva a la capa del pavimento como drenaje.

2. Permite controlar y eliminar las modificaciones en el volumen de los materiales empleados para la sub-rasante, como por ejemplo impedir que el material se torne muy elástico, ya que puede perjudicar toda la estructura del suelo.
3. Controla el exceso de agua que puede producirse en zonas cercanas a fuentes naturales o artificiales de este líquido, o durante temporadas lluviosas evitando en su totalidad el hinchamiento del suelo. En este caso sería muy útil el uso de materiales que controlen la expansión como estamos seguros sucederá con la sábila.

Gráfico 5 Características de la Sub-base



Fuente: (Bautista & Moreno, 2010)

2.3.1. Capa anticontaminante o capa filtro

Esta capa se compone principalmente de arena o gravilla, debe extenderse sobre la sub-base o explanada previamente preparada, debido a que el suelo puede presentar características arcillosas expansivas, lo que a futuro generaría que la humedad produzca la hinchazón y agrietamiento tanto de la sub-rasante como de la sub-base, base. Además se encuentra formada principalmente por un suelo granular

seleccionado con el espesor necesario, que permita establecer la superficie capaz de soportar las capas superiores.

2.4. Sub-rasante

Según Juárez (2009, pág. 530), “Por sub-rasante se entiende la superficie de una terracería terminada, siendo ésta última el conjunto de cortes y terraplenes de una obra vial”.

Este término se le atribuye al terreno de fundación o iniciación de la estructura de los pavimentos, pudiendo ser constituida tanto del suelo natural o la parte superior de un relleno debidamente compactado, luego de haberse efectuado el respectivo movimiento de tierra.

A partir de la década del 40, la definición sobre el diseño de los caminos estaba fundamentada sobre las características ingenieriles de la sub-rasante. Estas características se basaban en la plasticidad, resistencia al corte de los suelos y a la susceptibilidad a las temporadas altas y bajas.

Luego a partir de las postrimerías referentes de los años 50, se puso más atención en las propiedades básicas de la sub-rasante y se desarrollaron nuevos ensayos para categorizar de mejor manera a los suelos: Las pruebas empleando cargas estáticas de baja velocidad para la deformación como el ensayo del CBR y las compresión simple, reemplazados por pruebas dinámicas y de reproducción de cargas como las del ensayo del módulo de la resiliencia.

Este módulo consiste en tomar una muestra de suelo para confinarlo en una cámara triaxial y así conocer su comportamiento ante la carga dinámica que los vehículos generan creando pulsos que llegan a todas las capas incluida la sub-rasante, teniendo un mejor conocimiento de lo que sucede bajo un pavimento en lo concerniente a tensiones y deformaciones.

2.4.1. Preparación de la sub-rasante

Es importante que todos los tramos de un camino rural, estén sobre una superficie de cimentación estable, luego del movimiento de tierra se deberá nivelar y compactar, y si es necesario mejorar la sub-rasante. Una vez finalizada la nivelación inicial, se establece la calidad y el procesamiento final de la sub-rasante puede comenzar.

Con el fin de conseguir las propiedades especificadas de la sub-rasante, es importante que se seleccione un relleno de buena calidad, y se empleen los materiales adecuados. Muchas veces el mejoramiento de la sub-rasante requiere aditivos o estabilización con asfalto, cemento, ceniza o cal. En esta tesis estamos analizando la posibilidad de mejorar la sub-rasante con un aglutinante nuevo: la sábila. Cada uno de estos materiales debe ser adecuadamente estudiado, para determinar cuál es el aditivo más adecuado para lograr los resultados que se desean.

2.4.2. Estabilización química

Rodríguez y Castillo, (2010, pág. 143) “La estabilización por medios químicos, generalmente es lograda por la adición de los agentes estabilizadores específicos, como el cemento, la cal, el asfalto o u otros”.

La mezcla de cal o de cemento con agregados gruesos para la sub-rasante, a menudo se realiza en una planta de mezclado central. Aunque se requiere esta planta de mezclado principalmente para el control de gradación de los materiales con el tipo o las condiciones del camino a construirse, también se permite un buen control de la cal-agregado o proporciones de cemento-agregado o de otro aglutinante con los agregados.

Gráfico 6 Vehículo estabilizador de suelo con químicos

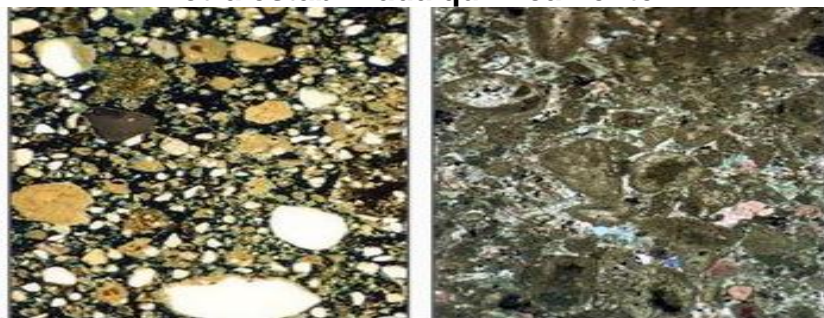


Fuente: (Rodríguez & Castillo, 2010)

En la estabilización con cal, se aumenta la fuerza cohesiva de la arcilla y se reduce la permeabilidad significativamente. Cuando se mezcla el material de base el estabilizador disuelve las sales minerales y las propiedades cementantes naturales del suelo. Al mezclar el suelo se dispersa el material disuelto en los espacios vacíos entre los granos del suelo donde se cura y se cristalizan los espacios vacíos que de no tratarse pueden a futuro también generar agrietamiento.

Las sales minerales re-cristalizadas y los cementos naturales forman una unión efectiva que resulta en una mayor resistencia, la capacidad de soporte de carga y la durabilidad. La sustitución de las moléculas de agua débilmente ionizados con radicales sulfato fuertemente ionizados junto con el aumento de la densidad seca hacen que el suelo tratado sea más resistente a la penetración del agua. Esto reduce el potencial de encogimiento e hinchamiento en temporadas de lluvia.

Gráfico 7 Diferencias entre una muestra de suelo sin estabilizar y otra estabilizada químicamente



Fuente: (Rodríguez & Castillo, 2010)

La estabilización de la sub-rasante es muy importante, especialmente cuando este proceso se lleva a cabo de manera química, ya que permite la cristalización, disolución y mezclado de los componentes del suelo. Como se puede observar en el gráfico, en el lado izquierdo se presenta una muestra de suelo sin estabilizar, fácilmente se puede observar a los materiales separados, rocas dejando espacios vacíos, mientras que del lado derecho se observa que los espacios han sido cubiertos con los gránulos que el suelo de la base presenta.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Observación y Toma de Muestras

Para identificar las propiedades y el estado actual de los caminos rurales, se procederá a realizar la observación respectiva y la toma de muestras necesarias que permitirán al autor reconocer las especificaciones ingenieriles del suelo. En este contexto, se requerirá de la aplicación de un método directo, mediante el cual se recabarán las muestras para la posterior ejecución de pruebas y ensayos.

Considerando que a nivel local existe una cantidad considerable de caminos rurales o de cuarto orden, se deberá sectorizar el lugar para llevar a cabo el sondeo respectivo. Para este efecto, se considera necesaria la determinación de los parámetros fundamentales para el manejo de la muestra, la misma que deberá ser alterada con el propósito de obtener la información necesaria para conocer el efecto de la sábila como aglutinante para mejorar la capacidad portante de los suelos.

3.2. Población y muestra

En el desarrollo del estudio se deberá considerar los siguientes factores para seleccionar la población y muestra que se considerarán como objeto de estudio. Con la intención de evaluar las condiciones de los suelos, se determinará como población las superficies que se presenten en mal estado. En este caso, se consideran todos los caminos de cuarto orden que se encuentren ubicados en los alrededores de la Vía a Samborondón, que por la falta de recursos, han sido relegados y necesitan ser mejorados de manera económica y eficiente.

Muestra:

Según lo menciona Hernández (2009), “La muestra hace referencia al conjunto representativo de la población total, con el cual se trabajará”. (Pág. 128)

En este caso, se ha tomado como una muestra un camino de cuarto orden ubicado en un desvío del Km 9 ½ de la Vía de Samborondón con una longitud de 450,22m, puesto que representa el estado de la mayoría de los caminos rurales de la cuenca baja del Río Daule, en el que se encuentran condiciones geológicas similares a las requeridas para llevar a cabo el estudio.

Gráfico 8 Toma de muestra



Fuente: (Google Maps, 2015)

Muestra tomada:

Este camino de cuarto orden, está compuesto de 75% arcilla de alta compresibilidad, 15% arena, 10% gravilla. Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es arcilla de alta compresibilidad (CH), y según el AASHTO es A-7-6 (20). Partiendo de este hecho se procedió a realizar una serie de ensayos que se muestran a continuación:

Ensayo de durabilidad

La durabilidad se define como la capacidad del suelo estabilizado para conservar su fuerza, impermeabilidad y estabilidad dimensional en periodo prolongado de servicio bajo las condiciones diseñadas. El grado de durabilidad se basa en los objetivos de desempeño definidos por resistencia a la absorción de humedad, reducción de la resistencia a la compresión y flexión, y los ciclos de humedecimiento y secado.

Para suelo-cemento estabilizado hay dos procedimientos estándar de pruebas de durabilidad. ASTM D559, Método de prueba estándar para humedecimiento-secado del suelo-cemento y ASTM D560, Método de prueba estándar para congelación-descongelación.

Para otras mezclas estabilizadas, no existe una prueba o procedimiento estándar, sin embargo se suele utilizar el método de cepillado (humedecido-secado) descrito por la ASTM D559 como prueba de durabilidad estándar para tener idea de su comportamiento en función del tiempo.

Se realizan luego de 7 días de curado en arena saturada de por lo menos 2 probetas cilíndricas de 4 “de diámetro x 4 “de altura que han sido compactadas con el porcentaje de cemento obtenido en este caso (suelo-cemento). Según las especificaciones ASTM D-559 y las IRAM 10524 constan de 12 ciclos de 48 horas cada uno: las probetas se sumergen en agua durante 5 horas y luego se secan durante 42 horas a 71⁰C. Las probetas se cepillan con un cepillo ribete de cerda galvanizado de una longitud total de 520mm 18 veces en sus caras laterales y 4 veces en cada base, se limpia el polvo y se pesan. Este ciclo se repite 12 veces hasta que finalmente se saca el peso final.

$$\% \text{ desgaste} = \frac{\text{peso seco inicial} - \text{peso seco final}}{\text{peso seco inicial}} \times 100$$

Las Normas IRAM admiten hasta un 14 % de desgaste en el caso de suelo-cemento.

Ensayo de humedad

A continuación se procedió a determinar su primera propiedad basada en el contenido de humedad, con lo que se tendrá idea de la consistencia del suelo al compararlo con sus límites de Atterberg. Además, se mostrará el proceso que se llevó cabo en el laboratorio, para determinar el contenido de humedad en una muestra de suelo. Las herramientas que se requieren para este proceso son:

Gráfico 9 Herramientas empleadas para la prueba de contenido de humedad

Horno	
Balza	
Espátula	
Brocha	
Recipientes	

Elaborado por: El autor
Fuente: (Cassan, 2010)

1. Del material previamente seleccionado y homogenizado, se procede a dividirlo en cuatro partes.

Gráfico 10 División del material.



Elaborado por: El autor

A esta división en cuatro partes se la conoce como cuarteo.

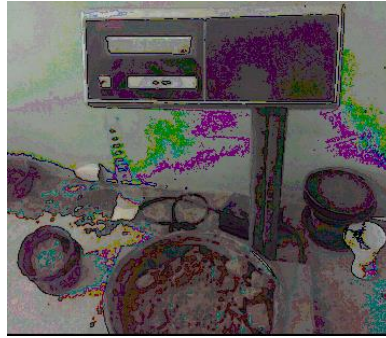
Gráfico 11 El cuarteo del material



Elaborado por: El autor

2. Del cuarteo luego se procede a tomar una porción cualquiera del material tal como llegó.
3. Luego se procede a pesar la porción seleccionada. Hay que recalcar que el peso obtenido será el peso húmedo más el recipiente.

Gráfico 12 Peso del material húmedo más el recipiente



Elaborado por: El autor

4. Del material pesado previamente se procede a llevarlo al horno por 24 horas, para saber la humedad con la que el material ha salido del sitio

$$(W_h - W_s) / W_w = w \%$$

Ensayo granulométrico

El siguiente ensayo es la determinación del porcentaje de finos:

5. Luego de que hayan pasado las 24 horas el material dentro del horno, se procede a lavarlo, con el fin de saber el porcentaje de finos.
6. Después de haber lavado el material pasándolo por el tamiz 200, se lo lleva por segunda vez al horno por 24 horas más, para luego pesarlo y saber cuánto es el porcentaje retenido en tamiz 200 y por diferencia obtener el porcentaje de finos.

Ensayo Proctor

La finalidad del ensayo Proctor es determinar la densidad seca máxima y la humedad óptima del suelo, es decir las mejores condiciones de trabajo de ese suelo. Con esa densidad seca máxima obtendremos su mejor resistencia.

7. Luego con el material restante del suelo se procede a realizar el ensayo Proctor, tamizando el material con una malla $\frac{3}{4}$. Vale acotar, que solo se empleará el material que pase a través del tamiz $\frac{3}{4}$, mientras que el material restante (quede en el tamiz) por lo general de mayor tamaño no se empleará.

Gráfico 13 Pasante Malla 3/4



Elaborado por: El autor

8. Luego de haber tamizado el material, se procede a pesarlo.

Gráfico 14 Peso del material tamizado en la malla 3/4



Elaborado por: El autor

Para la elaboración del Proctor Modificado, antes de hacer el CBR, se requieren unos 25 kilos de suelo pasante tamiz $\frac{3}{4}$. Se separan en 5 porciones y a cada una se las somete a diferentes cantidades de agua, en este caso fue: 80, 160, 240, 320 y 400 cm³ de agua.

Con la curva humedad-densidad se va a definir la densidad seca máxima y la humedad óptima con la que trabajará en el CBR, el cual según lo menciona Sanz (2010, pág. 53), “es el ensayo más empleado en la técnica vial, siempre que se trate de determinar la resistencia de un suelo”.

Ensayo CBR

Ahora solo se trabajará con la humedad óptima determinando la cantidad exacta de agua en la curva humedad-densidad. Se hacen tres cilindros compactados con 56, 25 y 12 golpes cada uno, todos con su humedad óptima. A los tres cilindros se los somete primero a pruebas de hinchamiento y luego a la penetración

Es importante la prueba de hinchamiento sobretodo en estos suelos de mala calidad. Se ha establecido que se puede admitir un máximo de 1 % de expansión en capas de base, 2 % en sub-bases y suelos con más del 3 % de expansión no se deben de usar en caminos.

En la penetración con la que finalmente se obtiene el CBR se admite un mínimo de 15 % para capas de sub-base y 40 % en la parte inferior de la base. Los últimos 15 cm. (bajo la carpeta de rodadura) de la capa de base tienen que ser de mejor calidad (> 65% de CBR) según el tipo de camino.

3.3. Sistema de Hipótesis y variables

Hipótesis

“Si se comprueba que la sábila actuando como aglutinante, mejora las condiciones mecánicas de resistencia y densidad de los suelos de mala calidad, se podría usar en los caminos de cuarto orden para aumentar su “vida útil”

Variables

- **Variable independiente:**
- Resistencia del suelo-control de expansión.
- **Variable dependiente:**
Porcentaje de sábila por peso o volumen del suelo.

3.4. Definiciones conceptuales

Aglutinante: (Del Castillo & Rico, 2009, pág. 36), “La función del aglutinante no solo es el unir las partículas abrasivas, sino dar también un factor de seguridad en la colocación del grano”.

Compactación: (Subdirección de Conservación y Mantenimiento de la Subdirección General del Estado, 2012), “Proceso mediante el cual se juntan partículas de suelo lo más posible, expulsando el aire que queda entre éstas, y reduciendo la separación entre partículas”.

Consolidación: (Subdirección de Conservación y Mantenimiento de la Subdirección General del Estado, 2012), “Proceso mediante el cual se expulsa el exceso de agua entre partículas y esto permite reducir el espacio entre éstas obteniendo así un suelo mejor conformado”.

Suelos: (Subdirección de Conservación y Mantenimiento de la Subdirección General del Estado, 2012), “Son sedimentos u otras acumulaciones de partículas sólidas no consolidadas producidas por la desintegración de rocas y mezcla de estas partículas con materiales orgánicos”.

Proctor: Término que dentro del área de mecánica de suelos, también conocido como ensayo de compactación Proctor, es un proceso de análisis y control de calidad al compactarse el suelo. El nombre de este

ensayo se debe en honor a Ralph R. Proctor quién fue el inventor del mismo.

CBR: Sus siglas significan (California Bearing Ratio), lo que en español sería “Ensayo de Relación de Soporte de California”, con este ensayo se puede medir la resistencia del suelo y así probar la calidad de un terreno para sub-rasante, sub base y base de pavimentos.

3.5. Diseño de la investigación

Debido a que el proyecto que se desea realizar es para comprobar el nivel de resistencia de los suelos en construcción, será necesario emprender una serie de investigaciones con las cuáles se pueda verificar, como actúan los suelos sin la aplicación de otros componentes que posiblemente mejorarían su resistencia ante ciertos factores.

Es necesario acotar que el bajo rendimiento del camino aumenta la congestión del tráfico, pone en peligro la seguridad pública, y eleva los costos de mantenimiento. Con precisión la predicción de rendimiento y durabilidad es fundamental para mejorar el diseño del pavimento. Sin embargo, los procedimientos de diseño actuales siguen basándose en gran medida en los datos empíricos de la década de los cincuenta.

El diseño de la investigación determina la aplicación de una investigación científica, de tipo causal, ya que está orientado a estudiar la resistencia del suelo a la sub-rasante mediante la utilización de la sábila como material aglutinante. En base a tales resultados se determinará la factibilidad de su aplicación para el mejoramiento de caminos de cuarto orden, por lo que se incluye un factor causa – efecto.

3.6. Instrumento de recolección de datos

Los instrumentos de investigación, son una parte importante para desarrollar los estudios pertinentes, en este caso será necesario desarrollar estudios que dentro del campo de la ingeniería, arrojarán resultados respaldados de manera cuantitativa, para luego comprobarlos y verificarlos.

Como instrumento de investigación aplicado se desarrollará lo siguiente:

- Informes técnicos semanales de inspección.
- Resultados de las pruebas de densidades y resistencia a la compresión utilizada.
- Registro de prueba de densidad - humedad con el aglutinante utilizado.

3.7. Técnicas de investigación y pasos a utilizar

La técnica de esta investigación es experimental, ya que se hará uso de tres tipos de ensayos, que permitirán determinar la factibilidad de aplicar la sábila como material aglutinante:

- Ensayos de densidad – humedad del suelo con sábila.
- Ensayo de resistencia a la compresión con y sin sábila.
- Toma de testigos en el sitio para verificar aumento de densidad y de resistencia.
- Ensayo de durabilidad (humedecido-secado) para verificar si está dentro de los parámetros admisibles.

Es importante tener claro que La prueba de Resistencia (valor R) es una prueba de la rigidez del material. El procedimiento de ensayo expresa la resistencia de un material a la deformación como una función de la relación de presión lateral transmitida a la presión vertical aplicada. Es esencialmente una versión modificada de la prueba de compresión.

Los pasos a realizar para la técnica a emplear son:

1. Recolección de información de pruebas de mezclas de aglutinante y suelo, comparados con los suelos sin aglutinante.

2. Verificación de cumplimiento de la normativa técnica de cada muestra realizada.
3. Análisis de las muestras obtenidas.
4. Análisis de los resultados obtenidos.
5. Conclusiones.

Es importante acotar que para realizar el ensayo de Proctor se necesitan 5 capas que pesen 2500 libras/punto, esto es con la finalidad de obtener un punto en estado natural (como ha llagado el material).

- Por lo tanto el primer punto se obtiene un material en estado natural.
- Luego en el siguiente punto se le agregará 80 cm³ de agua, esto con la finalidad de aumentar la humedad, y conocer hasta donde llega la densidad máxima del material. Por lo tanto, por cada punto que se va realizando, será necesario emplear más humedad, esto permite saber con cuanta humedad se está trabajando.
- Para el tercer punto se le agregará el doble de la cantidad de agua es decir 160 cm³, luego 240 por último 320.

Luego de haber concluido los ensayos, tendrán que ir al horno por 24 horas, se incluye todos los ensayos realizados, debido a que se desea extraer también la humedad ambiental.

Luego de transcurrir las 24 horas de los ensayos en el horno, se procede a calcular la humedad y la densidad máxima seca. El cálculo se lo realiza con una fórmula de humedad, es decir:

$$\text{(Peso húmedo + r) - (Peso seco + r) = Peso de agua}$$

Luego:

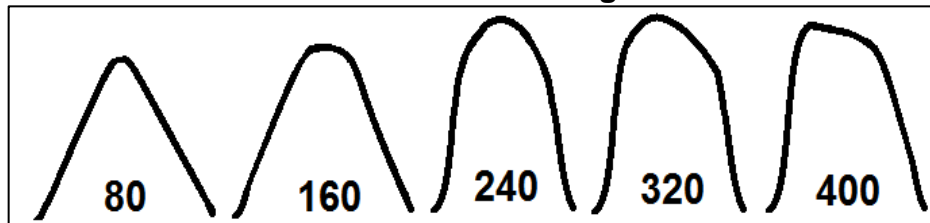
$$\text{(Peso seco + r) - r = Peso seco}$$

Por último:

$$\text{Peso del agua/Peso seco X 100= \% humedad}$$

Luego de conocer el porcentaje de humedad óptima para trabajar los CBR, se debe considerar la misma cantidad de agua que está en el material en ese punto de humedad óptima.

Gráfico 15 CM3 de agua



Elaborado por: El autor

- 1. CBR sin sábila.**
- 2. Con 3% de sábila**
 - 7500 Gr de suelo.
 - 225 Gr de sábila se mezcla bien se añade humedad óptima, y se compacta en 3 cilindros con diferentes golpes (56.25.10).
 - Con un martillo de diez libras se procede a dar golpes por cada capa.
 - Se colocan las pesas (5 lb. Cada una) en el espacio que queda al sacar el disco espaciador, colocando previamente el disco metálico perforado.

Gráfico 16 Cilindros de compactación con 3% de sábila



Elaborado por: El autor

- **Se hace hinchamiento.**
- **Se hace penetración.**

Hinchamiento: Se sumergen los cilindros en una piscina para observar su hinchamiento a las 24, 48, 72 y 96 horas.

Pasado ese tiempo se procede a la penetración, se saca el disco metálico perforado y nuevamente se colocan las pesas equivalentes al peso del pavimento (mínimo 10 libras), se deja que escurra un poco el agua y se procede a penetrar el pistón de especificación (3 pulg² de sección) con una velocidad de 0.05 pulg/minuto hasta penetrar 0,5 pulgadas.

3. Con 9% de sábila

-7500 grs. de suelo

-675 grs. de sábila

Se mezclan bien:

Primero se hace el Proctor con lo que se determina la humedad óptima y la densidad seca máxima

Con esa humedad óptima y la sábila se compactan tres cilindros:

- **Se hace hinchamiento.**
- **Se hace penetración.**

1) Contenido de humedad

Se toma una porción del suelo (más o menos 200 Gr.), se procede a pesarlo, se toma en consideración la siguiente fórmula:

Wh + r = = Llevar al horno

Ws + r =

Ww =

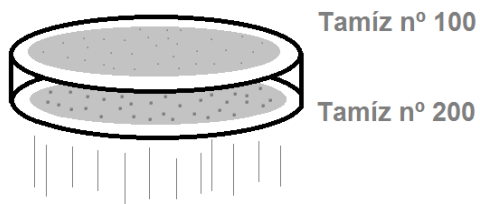
-r =

W s = = Peso seco

$$\frac{Ww}{Ws} \times 100 = w \%$$

1. Se realiza el lavado por tamiz 200: el material seco se coloca sobre dos tamices y en un lavadero se procede a lavarlo, que pasen todos los finos. La malla superior es solo de protección a la 200:

Gráfico 17 Tamizado



Elaborado por: El autor

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

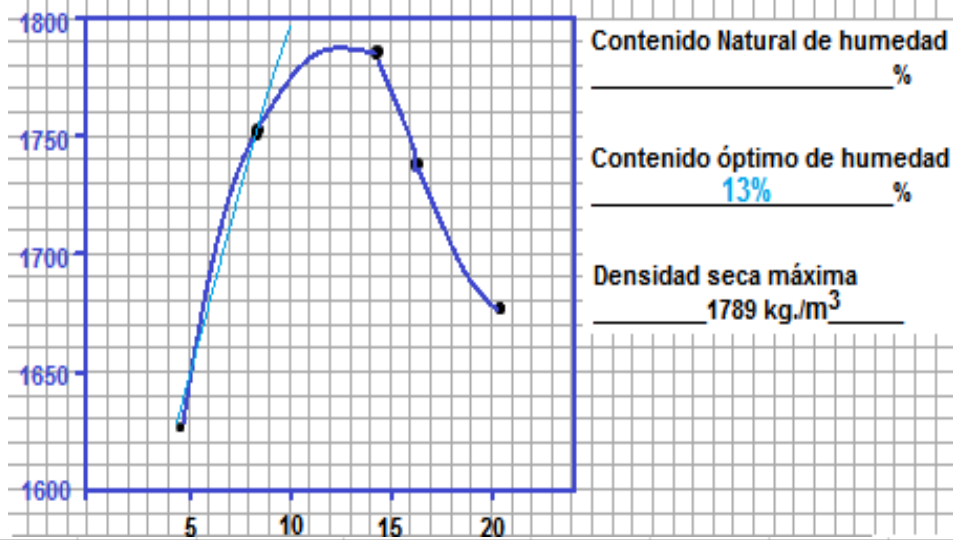
Tabla 2 Porcentaje que pasa por el tamiz 200

PORCENTAJE QUE PASA POR EL TAMIZ 200						
Proyecto			Fecha			
Perforaciones			Muestra			
Muestra No.						
Recipiente No.			NX			
Peso en gr.	Recipiente de recipiente		123,5			
	Peso inicial+recipiente		537,4			
	Peso final + recipiente		325,3			
	Peso inicial		413,9			
	Peso final		201,8			
$\% \text{Retenido} = \frac{\text{Peso final} \times 100}{\text{Peso inicial}}$			48,76			
$\% \text{ Pasa Tamiz N}^\circ 200 \times 100 \text{ } \% \text{-} \% \text{ Retenido}$			51,24			
Muestra No.						
Recipiente No.			NX			
Peso en gr.	Recipiente de recipiente					
	Peso inicial+recipiente					
	Peso final + recipiente					
	Peso inicial					
	Peso final					
$\% \text{Retenido} = \frac{\text{Peso final} \times 100}{\text{Peso inicial}}$						
$\% \text{ Pasa Tamiz N}^\circ 200 \times 100 \text{ } \% \text{-} \% \text{ Retenido}$						
Muestra No.						
Recipiente No.						
Peso en gr.	Recipiente de recipiente					
	Peso inicial+recipiente					
	Peso final + recipiente					
	Peso inicial					
	Peso final					
$\% \text{Retenido} = \frac{\text{Peso final} \times 100}{\text{Peso inicial}}$						
$\% \text{ Pasa Tamiz N}^\circ 200 \times 100 \text{ } \% \text{-} \% \text{ Retenido}$						
Observaciones: Clorificación 3 veces = CH, arcilla de celta , comprensibilidad con algo de arena y gravilla						

Elaborado por: El autor

Tabla 3 Prueba Proctor sin sábila

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL LABORATORIO "Ing. Dr. ARNALDO				PRUEBA PROCTOR									
Volumen del cilindro: 0.000944				Muestra N° _____ Fecha _____									
Peso del cilindro: 4308				Proyecto _____									
Número de golpes por capa: 25				Localización: _____									
Número de capas: 5													
Cantida d de (m^3) agua	Recipie nte N°	Peso tierra húmeda + recipiente gr.	Peso tierra seca + recipiente gr.	Peso de recipiente gr.	Peso de agua gr.	Peso seco gr.	%	Peso tierra húmeda + cilindro kg.	Peso tierra húmeda W kg.	$I = \frac{w}{100}$	Peso de tierra seca W kg.	Densida d Mega	
EN	17	300,2	288,2	28,5	12,0	259,7	4,62	8,925	1607	1,0462	1,536	1627	
80	27	207,4	193,3	22,5	14,1	170,8	8,26	6100	1792	1,0862	1,655	1754	
160	12	226,7	201,4	23,1	25,3	178,3	14,19	6232	1924	1,1419	1,685	1785	
240	1	302,8	262,5	28,2	40,3	234,3	17,20	6230	1922	1,1720	1,64	1737	
320	15	288,6	244,3	30,2	44,3	214,1	20,69	6220	1912	1,2069	1,584	1678	



Muestra N°	PROF.	Clasificación	Gs	Wi	w	lp	%-N° 4

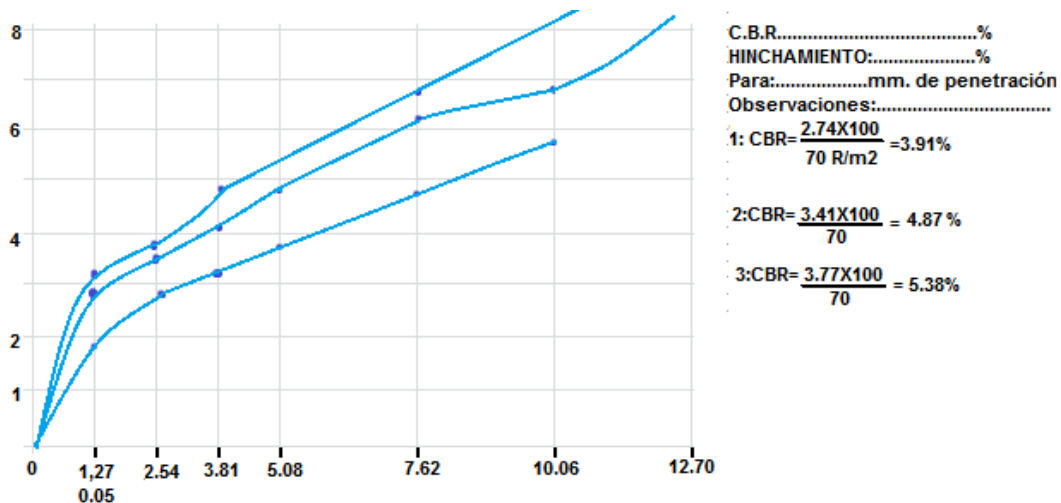
Elaborado por: El autor

Tabla 4 CBR Con suelo natural

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL		FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y LABORATORIO "Ing. Dr. ARNALDO RUFFILLI"			C.B.R.	
PROYECTO:				FECHA		
Fecha...						
LOCALIZACIÓN						
Muestra						
LOCALIZACIÓN		MUESTRA:				
Molden N°.		Peso de molde		Volumen de molde		
N° de golpes por capa		N° de capas		Peso del martillo		
N° de ensayo		1	2 (12 Golpes)	3	4 (25 Golpes)	5 6
ANTES DE LA INMERSIÓN						
H	N° rec		13		A	14
U	321 wh+r		283,1		247	323,9
M	Ws+r		251		218	286,4
E	Ww=		32,1		29	37,5
D	r=		22,3		21,7	23,2
A	ws=		228,7		196,3	263,2
D	W%		14,0		14,8	14,2
Molde + Suelo Humedo	P		10897		11362	11761
Molde			6,456		6660	7048
Suelo Humedo	W		441		4702	4,713
Suelo seco = $\frac{1+W}{100}$	Ws	29	3,894	25	4,096	1 4,127
Contenido de agua = $\frac{W - Ws}{W} = 100$	W		14,03		14,79	14,24
Densidad Humena = $\frac{W}{W_s} = 100$	rn		1918		2030	2035
Densidad seca = $\frac{r_h}{r_s}$	rs		1682		1769	1781
DESPUÉS DE LA INMERSIÓN						
$1 + w/100$						
Humedad	N-rec		A 0		8	a
	Wh + r		382,5		456,5	399,2
	Ws+r		314,1		385,3	342,6
	Ww=		68,4		71,2	56,6
	r=		30,1		31,3	299
	ws=		284		354	312,7
	W%		24,1		20,1	18,1
Molde + Suelo Humedo	P		11281		11545	11880
Molde			6456		6661	7,048
Suelo Humedo	w		4,825		4,884	4,832
Suelo seco = $\frac{100 W}{100 + W}$	Ws		3,888		4,066	4,091
Contenido de agua = $\frac{W - Ws}{Ws} = 100$	W		24,08		20,11	18,1
Densidad de Humedad = $\frac{W}{V}$	rh		2083		2109	2086
Densidad seca = $\frac{r_h}{r_s}$	rs		1679		1756	1767
$1 + w/100$ HINCHAMIENTO						
Lectura Inicial			0,100		0,1	0,100
24 Horas			0,203		0,189	0,166
48....			0,266		0,25	0,19
72....			0,318		0,31	0,206
96....			0,634		0,300	0,217
			Observación			
		%E	10,68		4	2,34
OPERADOR POR:		CALCULO POR:		VERIFICADO POR		

Elaborado por: El autor
Tabla 5 CBR Penetración suelo natural

Proyecto						
Perforación	Muestra					
Molde N°	Peso de molde			Volumen de molde (V)		
N° de golpes por capa	N° de capas			Peso del martillo	Altura de caída cm	
Número de ensayo	1	2	3	1 (12 Golpes)	2 (25 Golpes)	3 (56 Golpes)
	Carga de penetración en libros			Carga de penetración en Kgs.		
1,27 mm. (0.05")				37	54	60
2,54 mm. (0.10")				56	66	73
3,81 mm. (0.15")				60	78	95
5,08 mm. (0.20")				72	94	110
7,26 mm. (0.30")				93	120	133
10,16 mm. (0.40")				110	149	162
12,70 mm. (0.50")				133	164	183
	Carga Unitaria en Lbs./ pulg2			Carga Unitaria en kg. cm2		
1,27 mm. (0.05")				1.91	2.79	3.1
2,54 mm. (0.10")				2.74	3.41	3.77
3,81 mm. (0.15")				3.10	4.03	4.91
5,08 mm. (0.20")				3.72	4.86	5.68
7,26 mm. (0.30")				4.81	6.2	6.87
10,16 mm. (0.40")				5.68	7.7	8.37
12,70 mm. (0.50")				6.87	8.48	9.46



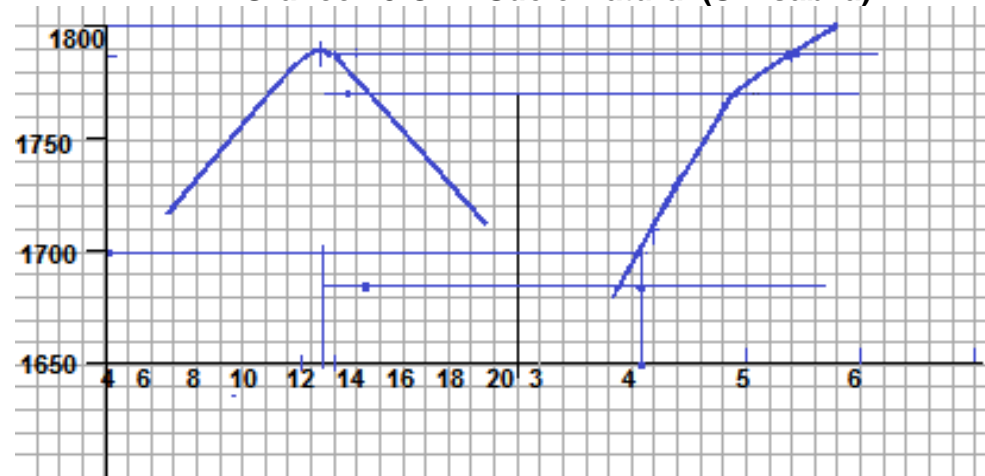
Elaborado por: El autor

Proctor Estándar:

Suelo: 12500 Gr.

- Separado en 5 porciones, cada una de 5000 Gr. 3 capas, 25 golpes por capa.
- Para cada punto diferente cantidad de agua.

Gráfico 18 CBR Suelo Natural (Sin sábila)



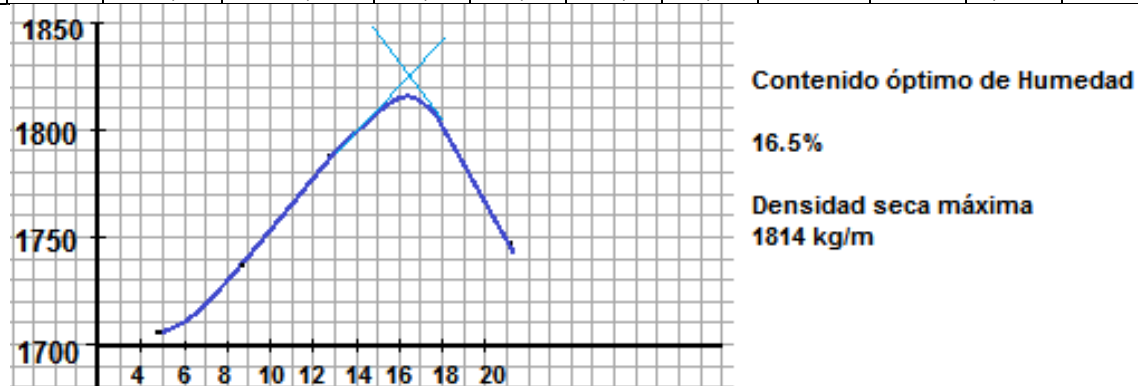
	Golpes		
	12	25	56
Densidad	1682	1769	1781
CBR	3.91	4.87	5.38
(W%) humedad	14.03	14.77	14.24

Elaborado por: El autor

- $95\% \text{ d-máx} = 0.95 \times 1789 = 1699,5$
- CBR de diseño 4,15%.

Tabla 6 Prueba de Proctor sábila 3%

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL LABORATORIO "Ing. Dr. ARNALDO				PRUEBA PROCTOR								
Volumen del cilindro: 0.000944				Muestra N° _____ Fecha _____								
Peso del cilindro: 4513				Proyecto _____								
Número de golpes por capa: 25				Localización _____								
Número de capas: 5												
Cantida d de agua C_m^3	Recipie nte N°	Peso tierra húmeda + recipiente gr.	Peso tierra seca + recipiente gr.	Peso de recipient e gr.	Peso de agua gr.	Peso seco gr.	%	Peso tierra húmeda + cilindro kg	Peso tierra húmeda W kg.	$I = \frac{W}{100}$	Peso de tierra seca W kg.	Densida d Mega
EN	17	289,3	277,3	24,5	12,0	252,8	4,75	6201	1688	1,0475	1611	1707
80	27	315,6	291	21,9	23,6	270,1	8,74	6295	1782	1,0874	1639	1735
160	12	273,3	250,3	23,3	29	227	12,77	6415	1902	1,1277	1687	1787
240	1	300,8	262	26,7	38,8	235,3	16,49	6500	1987	1,1649	1706	1807
320	15	205,5	258,2	24,5	47,3	233,7	20,24	6494	1982	1,2024	1648	1746



Elaborado por: El autor

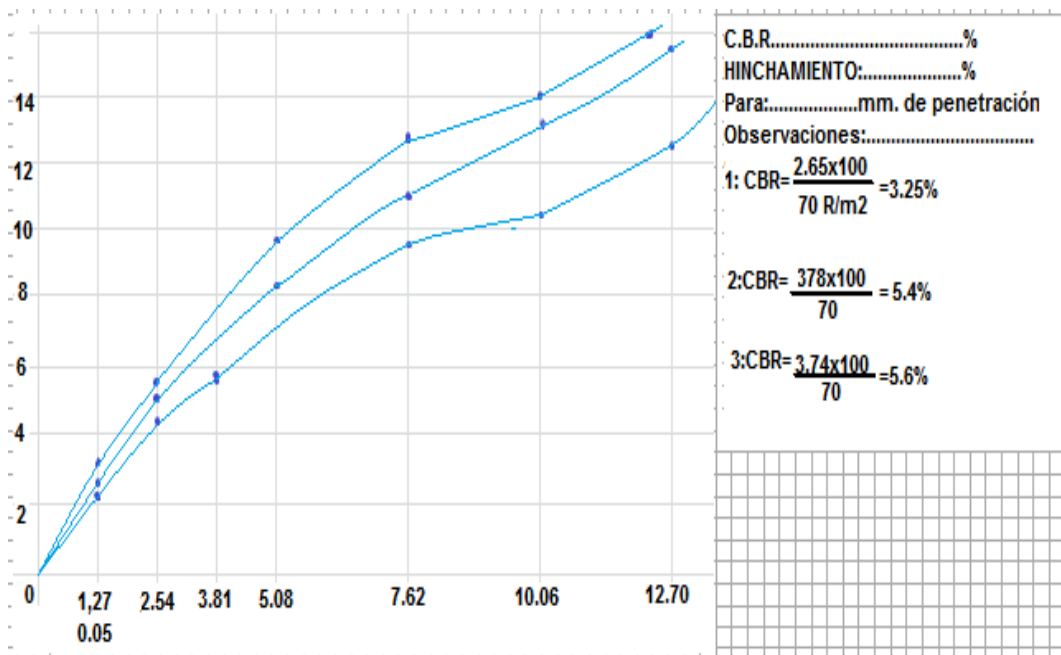
Tabla 7 Prueba CBR al 3% de sábila

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL		FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y CIENCIAS				C.B.R.	
		LABORATORIO "Ing. Dr. ARNALDO RUFFILLI"					
PROYECTO:		FECHA					
LOCALIZACIÓN		MUESTRA:					
Molden N°:		Peso de molde		Volumen de molde			
N° de golpes por capa		N° de capas		Peso del martillo			
N° de ensayo		1	2 (12 Golpes)	3	4 (25 Golpes)	5	6
ANTES DE LA INMERSIÓN							
H U M E D A D	N° rec		13		5		5
	321	251	308,2		356		349,8
	Ws+r		268,1		309,9		305,6
	Ww=		40,1		46,1		44,2
	r=		21,7		41,47		30
	ws=		246,4		268,43		275,6
	W%		16,3		17,17		16,0
Molde + Suelo Humedo	P		12303				11444
Molde			7628		7686		6586
Suelo Humedo	W		4,675		4,829		4,858
Suelo seco	$= \frac{1+W}{100}$	Ws					
Contenido de agua	$= \frac{W - Ws}{Ws} = 100$	W	4,021		4,147		4,187
Densidad Humena	W/V	m	16,27		16,45		16,0
Densidad seca	$\frac{rh}{1+w/100}$	rs	2019		2085		2098
			1736		1790		1808
DESPUÉS DE LA INMERSIÓN							
H u m e d a d	N-rec		1		17		62
	Wh + r		379,5		426,3		438,0
	Ws+r		309,2		355,6		374,6
	Ww=		70,3		70,7		63,4
	r=		31		30,8		29,5
	ws=		278,2		324,8		34,51
	W%		25,3		21,8		18,4
Molde + Suelo Humedo	P		12487		12660		11512
Molde			7,628		7,686		6,586
Suelo Humedo	w		4,859		4,974		4,926
Suelo seco	$= \frac{100W}{100 + W}$	Ws					
Contenido de agua	$= \frac{W - Ws}{Ws} = 100$	W	3,879		4,085		4,161
Densidad de Humedad	W/V	rh	25,27		21,26		18,37
Densidad seca	$\frac{rh}{1+w/100}$	rs	2098		21,48		21,27
			1675		1764		1797
HINCHAMIENTO							
Lectura Inicial			0,100		0,1		0,100
24 Horas			1,154		0,139		0,110
48....			0,180		0,154		0,119
72....			0,217		0,176		0,149
96....			0,240		0,200		0,160
			Observación				
		% E	2,85		2,00		1,2
OPERADOR POR:		CALCULO POR:		VERIFICADO POR			

Elaborado por: El autor

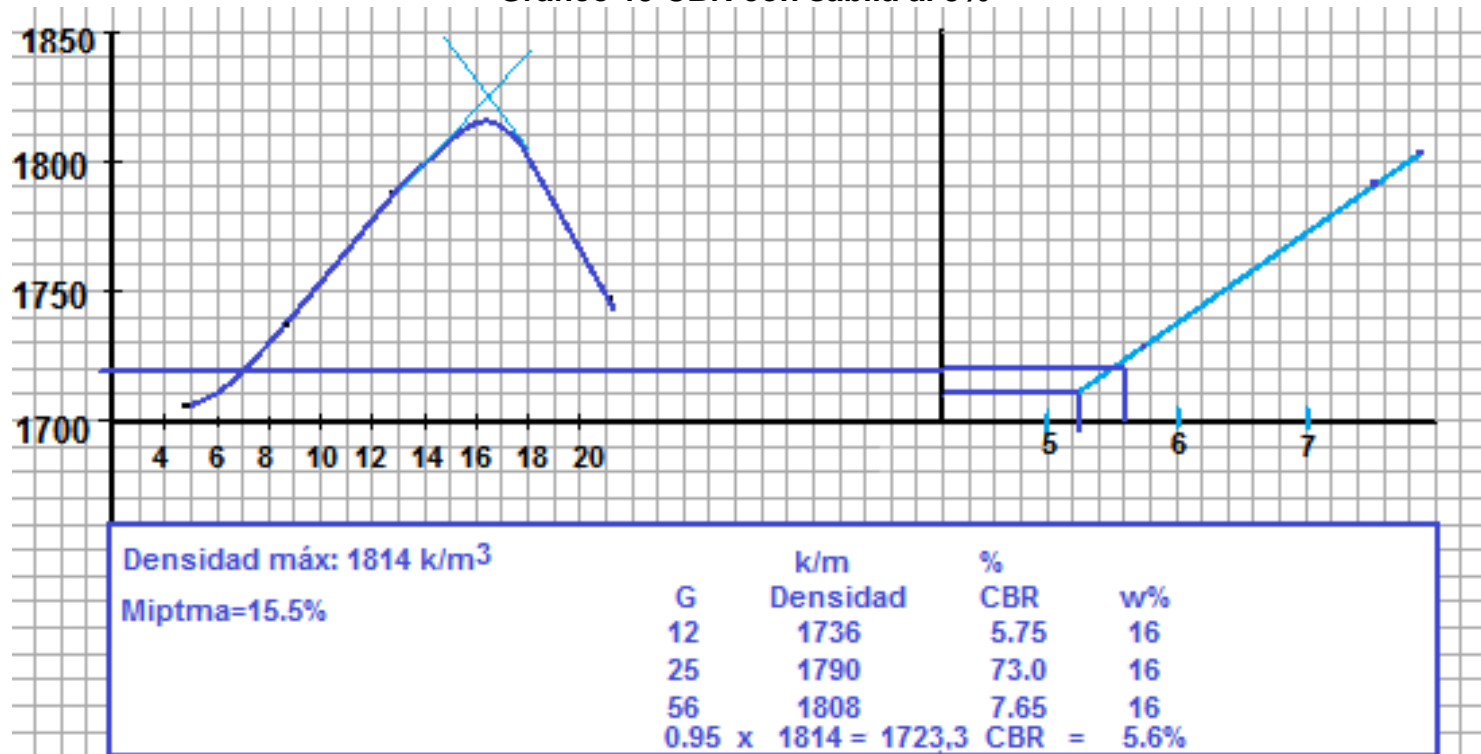
Tabla 8 CBR Penetración con muestra de sábila 3%

Proyecto				Muestra	3%		
Perforación							
Molde N°	Peso de molde			Kg	Volumen de molde (V)		Cm3
N° de golpes por capa	N° de capas			Peso del martillo	Kg.	Altura de caída cm	
Número de ensayo	1	2	3	1 (12 Golpes)	2 (25 Golpes)	3 (56 Golpes)	
	Carga de penetración en libras			Carga de penetración en Kgs.			
1,27 mm. (0.05")				48,38	58,05	69,66	
2,54 mm. (0.10")				85,53	98,87	103,5	
3,81 mm. (0.15")				112,23	135,45	148,99	
5,08 mm. (0.20")				135,45	162,54	185,76	
7,26 mm. (0.30")				176,09	212,85	251,55	
10,16 mm. (0.40")				0,11	253,48	274,77	
12,70 mm. (0.50")				239,91	244,12	309,6	
	Carga Unitaria en Lbs./ pulg2			Carga Unitaria en kg. cm2			
1,27 mm. (0.05")				2,5	3,0	3,6	
2,54 mm. (0.10")				4,42	5,11	5,35	
3,81 mm. (0.15")				5,8	7,00	7,7	
5,08 mm. (0.20")				7,00	8,4	9,6	
7,26 mm. (0.30")				9,1	11,00	13	
10,16 mm. (0.40")				10,6	13,1	14,2	
12,70 mm. (0.50")				12,4	15,2	16	



Elaborado por: El autor

Gráfico 19 CBR con sábila al 3%



Elaborado por: El autor

Tabla 9 Prueba Proctor 3%

Prueba Proctor

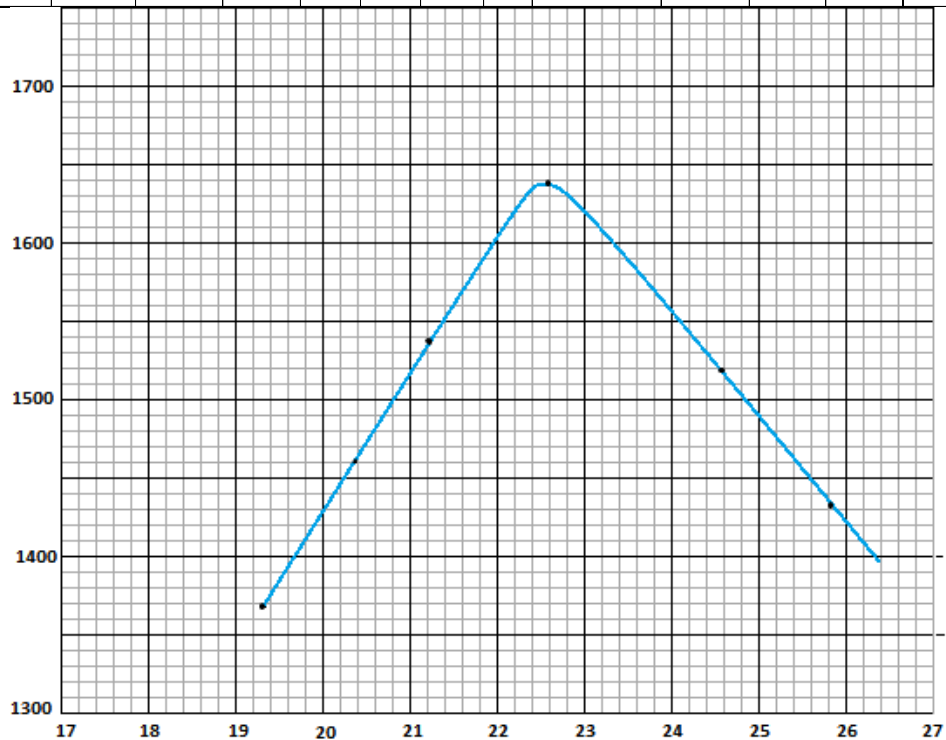
Referencia: Standard AASHTO T-99

Volumen del cilindro:	0,002123 m
Altura de Cilindro del Martillo	
Número de Golpes, N	56
Peso del Martillo, pm:	

Modificado ASSHO T-180

Peso del Cilindro: (K)	6,33 kg
Muestra:	
Elevación	
Operación:	

Cantidad de agua	Recipiente No	Peso Tierra Húmeda +rcd	Peso Tierra Seca+rcp	Peso del rcp	Peso de agua	Peso Seco	W	Peso tierra húmeda+cilindro	Peso tierra Húmeda	$1 + \frac{w}{100}$	Peso Tierra seca	Peso Volumétrica seco
cm ³		gr.	gr.	gr.		gr.	%	kg.	kg.		kg.	kg/m ³
80	A ₁	205	173,94	20,93	31,06	153	20,3	10,032	3,729	1,203	3,10	1460
160	A ₂	217	182,74	21,14	34,26	161,6	21,2	10,259	3,951	1,212	3,26	1540
340	A ₃	229	186,58	21,01	37,42	165,57	22,6	10,571	4,268	1,226	3,48	1640
320	A ₄	218	179,29	21,93	38,71	157,36	24,6	10,3046	4,001	1,246	3,216	1515
360	A ₅	209	170,49	21,35	38,5	149,14	25,8	10,13	3,827	1,258	3,042	1435



Contenido de Agua W%

Yd Max (kg/m³)	1642
W Optim (%)	22,5

Elaborado por: El autor

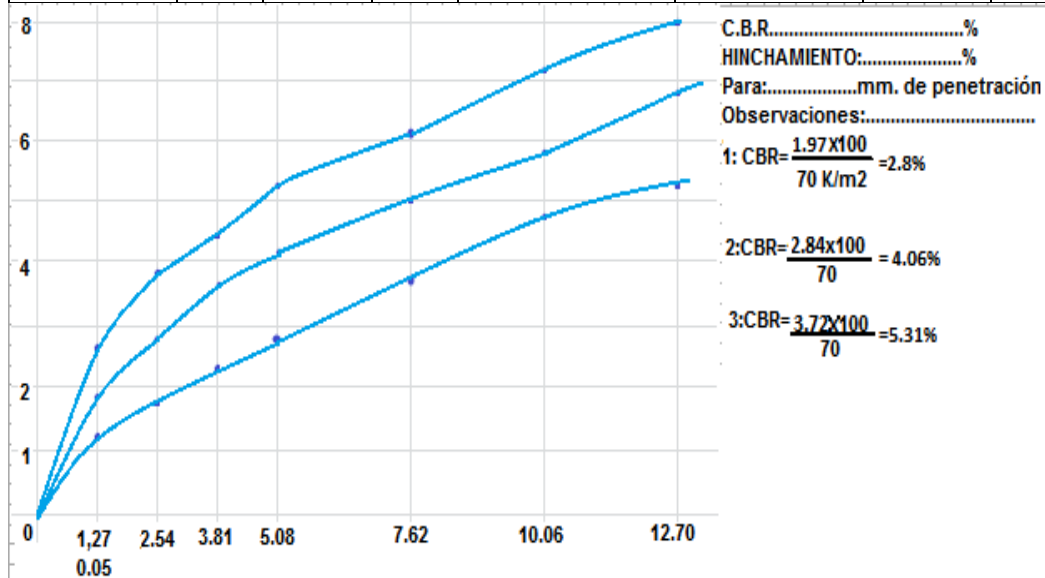
Tabla 10 Prueba CBR al 9% de sábila

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL		FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y CIENCIAS				C.B.R.	
		LABORATORIO "Ing. Dr. ARNALDO RUFFILLI"					
PROYECTO.		Fecha...					
LOCALIZACIÓN		Muestra					
Molden N°.		Volumen de molde 0,002123		Peso de molde			
N° de golpes por capa		N° de capas		Peso del martillo			
N° de ensayo		1	2	3	4	5	6
Antes de la inmersión							
H U M E D A D	N° rec	25		X 25 golpes		56	
	Wh + r	246,8		317,7		302,8	
	Ws+r	205,1		263,4		251,9	
	Ww=	41,7		54,3		50,9	
	r=	21,5		22,7		23,2	
	ws=	183,6		240,7		228,7	
	W%	22,7		22,6		22,3	
Molde + Suelo Humedo	F	12359		11106		11289	
Molde		7801		6636		6640	
Suelo Humedo	W	4,558		4470		4,649	
Suelo seco = $\frac{1+W}{100}$	Ws	3,714		3,708		3,80	
Contenido de agua = $\frac{W - Ws}{Ws} = 100$	W	22,72		22,55		22,3	
Densidad Humena $\frac{W}{V}$	m	1968		1930		2007	
Densidad seca $\frac{rh}{1+w/100}$	rs	1604		1575		1642	
Despues de la inmersión							
H U M E D A D	N-rec	14		N		4	
	Wh + r	435,0		427,3		406,2	
	Ws+r	348,2		345,8		332,9	
	Ww=	86,2		81,5		73,3	
	r=	29,4		31,2		30,4	
	ws=	318,8		314,6		302,5	
	W%	27,2		25,9		24,2	
Molde + Suelo Humedo	P	12459		11268		11338	
Molde		7801		6636		6640	
Suelo Humedo	w	4,658		4,632		4,698	
Suelo seco	Ws	3,661		3,679		3,782	
Contenido de agua = $\frac{100W}{Ws}$	W	27,22		25,9		24,23	
Densidad de Humedad $\frac{100W}{rh} = 100$	rh	2011		2000		20,28	
Densidad seca $\frac{Ws}{rh} = 100$	rs	1518		1588		1633	
Hinchamiento							
Lectura Inicial		0,100		100		0,100	
24 Horas		117		112		110	
48....		126		120		117	
72....		137		133		128	
96....		145		0,140		0,133	
%E		0,90		0,80		0,66	
Operador por		Calculo por		Verificado por			

Elaborado por: El autor

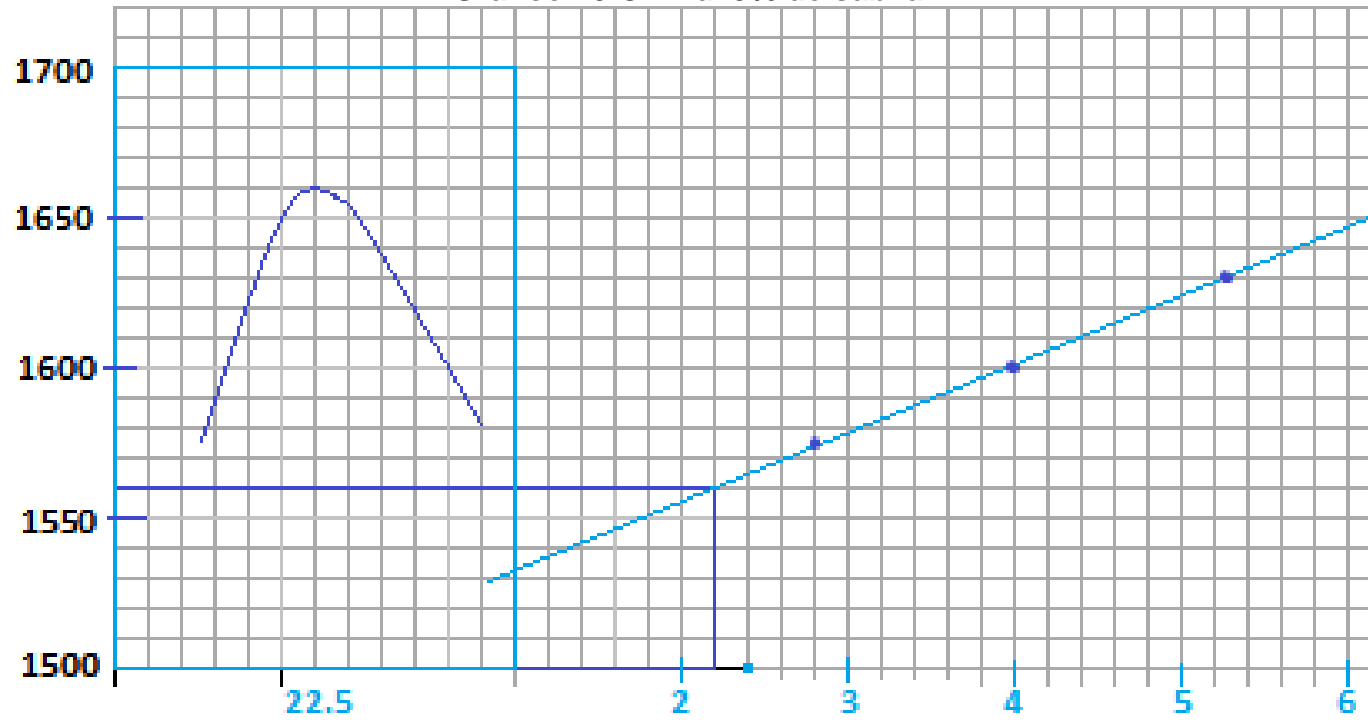
Tabla 11 CBR Penetración con muestra de sábila 9%

Proyecto							
Perforación	Muestra						
Molde N°	Peso de molde			Kg		Volumen de molde (V)	Cm3
N° de golpes por capa	N° de capas			Peso del martillo		Kg.	Altura de caída cm
Número de ensayo	1	2	3	1	2	3	
	Carga de penetración en libros			Carga de penetración en Kgs.			
1,27 mm. (0.05")				25	38	55	
2,54 mm. (0.10")				38	55	72	
3,81 mm. (0,15")				47	68	85	
5,08 mm. (0.20")				55	81	97	
7,26 mm. (0.30")				72	97	119	
10,16 mm. (0.40")				89	114	136	
12,70 mm. (0.50")				102	131	153	
	Carga Unitaria en Lbs./ pulg2			Carga Unitaria en kg. cm2			
1,27 mm. (0.05")				1,29	1,96	2,84	
2,54 mm. (0.10")				1,96	2,84	3,72	
3,81 mm. (0,15")				2,43	3,51	4,38	
5,08 mm. (0.20")				2,34	4,16	5,04	
7,26 mm. (0.30")				bied	5,04	6,13	
10,16 mm. (0.40")				bied	5,91	7,01	
12,70 mm. (0.50")				5,27	6,79	7,88	



Elaborado por: El autor

Gráfico 20 CBR al 9% de sábila



CBR %
1575 2.08
1604 4.06
1642 5.31

$$0.95 \times 1642 = 1560$$

$$\text{CBR} = 2.2\% = < 4.15$$

Elaborado por: El autor

Tabla 12 Contenido de humedad Natural

Contenido de Humedad Natural						
Proyecto			Fecha			
Perforaciones			Muestra			
Muestra No.			Acc			
Recipiente No.			Nx			
Peso en gr.	Recipiente + peso húmedo	600				
	recipiente + peso seco	537,4				
	Agua	62,6				
	Peso del recipiente	123,5				
	Peso seco	413,9				
Contenido de Agua		15,12				
Muestra No.						
Recipiente No.						
Peso en gr.	Recipiente + peso húmedo					
	recipiente + peso seco					
	Agua					
	Peso del recipiente					
	Peso seco					
Contenido de Agua						
Muestra No.						
Recipiente No.						
Peso en gr.	Recipiente + peso húmedo					
	recipiente + peso seco					
	Agua					
	Peso del recipiente					
	Peso seco					
Contenido de Agua						
$W\% = \frac{(\text{Recipiente} + \text{peso húmedo}) - (\text{recipiente} + \text{peso seco})}{(\text{Recipiente} + \text{peso seco}) - (\text{recipiente})} \times 100 \frac{W_w}{W_s} \times 100$						
Observaciones:.....						
.....						
.....						
.....						
Natural	13	1 4,7	4,13%			
3% Sábila	16,5	16,3	5,6%			
9% Sábila	22,5	22,5	2,2%			

Elaborado por: El autor

Tabla 13 Ensayo de Durabilidad

Ensayo de durabilidad Con Sábila al 3%

1	Ph =2174,8				
2	Ph =2164,2				
1	Ps -1982	Cepillado	1967,1	Psss	2129,2
2	Ps -1988		1965,6		2161,8
1	Ps -1966,8	Cepillado	1943,8	Psss	2127,8
2	Ps -1964,1		1937,1		2149,1
1	Ps -1943,1	Cepillado	1924,9	Psss	2093,1
2	Ps -1937,8		1911,6		2098,9
1	Ps -1925,3	Cepillado	1908,6	Psss	2087,9
2	Ps -1910,7		1888,9		2081,2
1	Ps -1907,9	Cepillado	1880,9	Psss	2058,2
2	Ps -1888		1858,9		2067,6
1	Ps -1880	Cepillado	1853,1	Psss	2143,8
2	Ps -1857,3		1829,6		2039,9
1	Ps -1853	Cepillado	1819,6	Psss	2039,7
2	Ps -1828,1		1799,9		2021,5
1	Ps -1820	Cepillado	1790,8	Psss	2021,9
2	Ps -1799,7		1772,4		2018,6
1	Ps -1789,9	Cepillado	1763,1	Psss	1959,3
2	Ps -1773		1743,3		1958,1
1	Ps -1762,6	Cepillado	1733,5	Psss	1941,7
2	Ps -1744,8		1710,1		1936
1	Ps -1732,7	Cepillado	1681,3	Psss	1911,3
2	Ps -1711,1		1650,1		1920,7
Final de la muestra	Ps -1680,7 Ps -1649,6				

Ph =Peso húmedo

% Desgaste: $\frac{W_{si} - W_{st}}{W_{si}} \times 100$

Psss = Peso saturado superficialmente seco.

Muestra 1 $\frac{1982-1680,7}{1982} = 15.20 \%$

Muestra 2 $\frac{1988-1649,6}{1988} \times 100 = 17 \%$

Elaborado por: El autor

El ensayo de durabilidad es un tipo de prueba que se utiliza para medir la resistencia del material con el cual se va a trabajar la base de un determinado suelo, en este caso en relación al uso del nuevo compuesto, como lo es la sábila.

Pasos a seguir

- Se procedió a realizar la mezcla respectiva de los componentes.
- Se ejecutaron pruebas para determinar el peso volumétrico.
- Caracterizó el suelo ya estabilizado y mejorado.
- Se elaboraron especímenes y se realizaron ensayos.
- De acuerdo a los resultados se seleccionó el porcentaje óptimo del componente sábila.

Por lo tanto, luego del respectivo ensayo de durabilidad con el 3% de sábila, y diversos tipos de peso, se pudo comprobar al final de la muestra que dio como resultado un peso seco de 1680,7 – 1649,6, dando por terminado dicho ensayo y comprobando que el porcentaje de sábila empleado (3%), es el más apropiado para poder obtener caminos estables y duraderos, gracias a la acción de la sábila como aglutinante.

La norma IRAM 10524 Y 10514, admite hasta el 14% de desgaste en materiales mezclados con suelo-cemento. Se ha llegado a un 15%, y a 17% que son admisibles también para bloques de cerámicas.

Tabla 14 Comparación de expansiones

Muestra	56 golpes	25 golpes	12 golpes
Natural	10,68	4	2,34
3% Sábila	2,85	2	1,2
9% Sábila	0,9	0,8	0,66

Elaborado por: El Autor

Disminución de expansión porcentualmente con respecto al estado natural

3%	73,22%	50%	48,71%
9%	91,5%	80%	71,79%

Como muestra el cuadro hay una disminución de expansión del 74% a 56 golpes del 3 % de sábila en comparación al estado natural y con el 9 % de sábila a 56 golpes hay una disminución del 92%.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Finalmente como se desea mejorar la resistencia de los suelos en la construcción de los caminos de cuarto orden, empleando la sábila como aglutinante, se demostró que:

- La nueva técnica de utilización de la sábila asegura su rápida dispersión y el drenaje de las aguas superficiales. La sábila como material aglutinante puede lograr que el suelo se vuelva más compacto, con lo que se reduce el levantamiento de polvo y el desgaste del mismo.
- La sábila al contar con una característica aglutinante, mejora la densidad del suelo (Prueba Proctor) por ello, y en base las características de este tipo de planta, se la ha considerado idónea para realizar pruebas, e identificar el porcentaje apropiado de una parte de esta planta, para emplearla como aglutinante en la construcción de caminos de cuarto orden.
- De las pruebas realizadas en el laboratorio, el porcentaje apto de sábila -identificado con el cual se puede mejorar la construcción de los caminos cuarto orden fue al 3% este porcentaje podrá variar dependiendo de las condiciones de cada tipo de suelo y clima.

- Se redujo considerablemente el porcentaje (%) de hinchamiento, a mayor porcentaje de sábila, mayor reducción de porcentaje de expansión.
- Es importante tomar en cuenta en el caso de reducción de hinchamiento con el 9 % de sábila con respecto al estado natural es del 92 % a 56 golpes esto quiere decir que así el CBR haya salido menor con este porcentaje la cualidad que tiene como reductor de expansión puede ser muy beneficioso para cualquier problema de expansión.

5.2. Recomendaciones

- Considerar que el clima es un factor importante al momento de quererse aplicar este tipo material en la construcción de caminos de cuarto orden. Probablemente en sectores que pasan mayormente húmedos, no sea apropiada la aplicación de sábila en la construcción de los caminos o su aplicación debe hacerse cuando no están saturados.
- Esta tesis se ha realizado con una muestra de material de una subrasante de mala calidad en un camino lateral de la vía Samborondón entonces fuese interesante hacer estudios con diferentes tipos de suelos con los diferentes porcentajes de sábila y ver cuál es la mejor opción.
- Encontrar el punto más alto donde tiene la mayor resistencia al esfuerzo cortante y también que disminuya el porcentaje de expansión. Posiblemente este porcentaje debería estar situado entre el 3% y el 5%.
- La forma de aplicar este método es: una vez alcanzado el mejor porcentaje de sábila mezclarlo con el agua (humedad óptima) del suelo que se va a compactar, una vez mezclados se riega en la capa a mejorar e inmediatamente después se pasa el rodillo.

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO Designation. (2010). *Relación de soporte de suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio)*. California: AASHTO.
- Bautista, J., & Moreno, A. (2010). *Calidad del diseño en la construcción*. Bogotá: Diaz de Santos.
- Casanova, E. (2010). *Introducción a la ciencia del suelo*. Caracas : Universidad Central de Venezuela.
- Cassan, M. (2010). *Los Ensayos "in Situ" en la Mecánica Del Suelos*. Barcelona: Editores técnicos y Asociados.
- Cornejo, P. (02 de Junio de 2014). Ingeniero. (S. Vanegas, Entrevistador)
- Crespo, C. (2009). *Problemas resueltos de mecánica de suelos y de cimentaciones*. México D.F.: Limusa.
- Dal-Ré, R. (2009). *Caminos Rurales Proyecto y Construcción*. México D.F.: Mundi prensa.
- Fonseca, J. (2011). *Proyecto y Construcción de carreteras*. Barcelona: Parainfo.
- Gage, D. (2009). *La sábila (Aloe vera)*. México. D.F: Destiny book.
- Gage, D. (2009). *La sábila: Suavizante y curativo natural*. México, D.F.: Inner Traditions.
- Ganjul, L. (2010). *Todo obre la sábila*. México D.F.: Universidad de México.
- Google Maps. (13 de Abril de 2015). *Google Maps*. Recuperado el 13 de Abril de 2015, de Vía a Samborondón: <https://www.google.com.ec/maps/place/Av+Samborond%C3%B3n,+Samborond%C3%B3n/@-2.0720829,-79.8756825,391m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x902d132c74acf59b:0x65cd0bab21218b76>

- Graux, D., & Sanz, J. (2010). *Fundamentos de mecánica del suelo, proyecto de muros y cimentaciones*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados.
- Hernández, B. (2009). *Técnicas de estadísticas de investigación*. Barcelona: Diaz de Santos.
- Juárez, E. (2009). *Mecánica de suelos*. México D.F.: Limusa.
- Juárez, E., & Rodríguez, A. (2012). *Mecánica de suelos, Volume 3*. Barcelona: Limusa.
- Mad Eduforma. (2009). *Auxiliares de carretera de la comunidad*. España: Mad Eduforma.
- Marivete, A. (2010). *Los nuevos materiales de construcción*. Madrid: ISBM.
- Ortiz, J. (2010). *Aloe Vera: La planta del futuro*. Bloomington: AuthorHouse.
- Reed Business Information. (2010). Técnica constructiva. *Arte y Cemento*, 170.
- Rodríguez, A. (2009). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres*. Barcelona: Limusa.
- Rodríguez, A., & Castillo, H. (2010). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y Aeropistas*. México D.F.: Limusa.
- Sanz, J. (2010). *Mecánica de suelos*. París: Editorial Reverte.
- Terreros, C. (2009). *Mecánica de suelos y asfaltos, tecnología de ensayos*. Guayaquil: UEES.
- Thompson, R. (2009). *Construcciones vanguardistas*. México D.F.: Parainfo.
- Valle, R. (2009). *Carreteras, calles y aeropistas*. Buenos Aires: El Ateneo.

ANEXOS

Muestras



Fotografía 1 Suelo natural



Fotografía 2 Separación del material



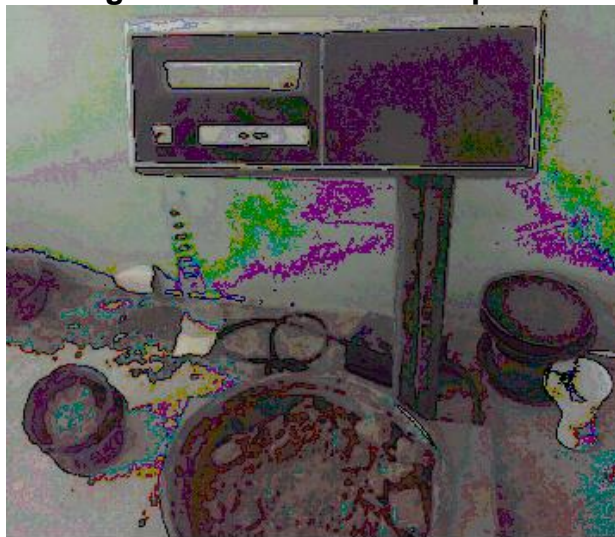
Fotografía 3 Compactación de la muestra



Fotografía 4 Toma de muestra



Fotografía 5 Material no compactado



Fotografía 6 Pesado de la muestra del suelo en la balanza digital

PORCENTAJE QUE PASA EL TAMIZ N° 200

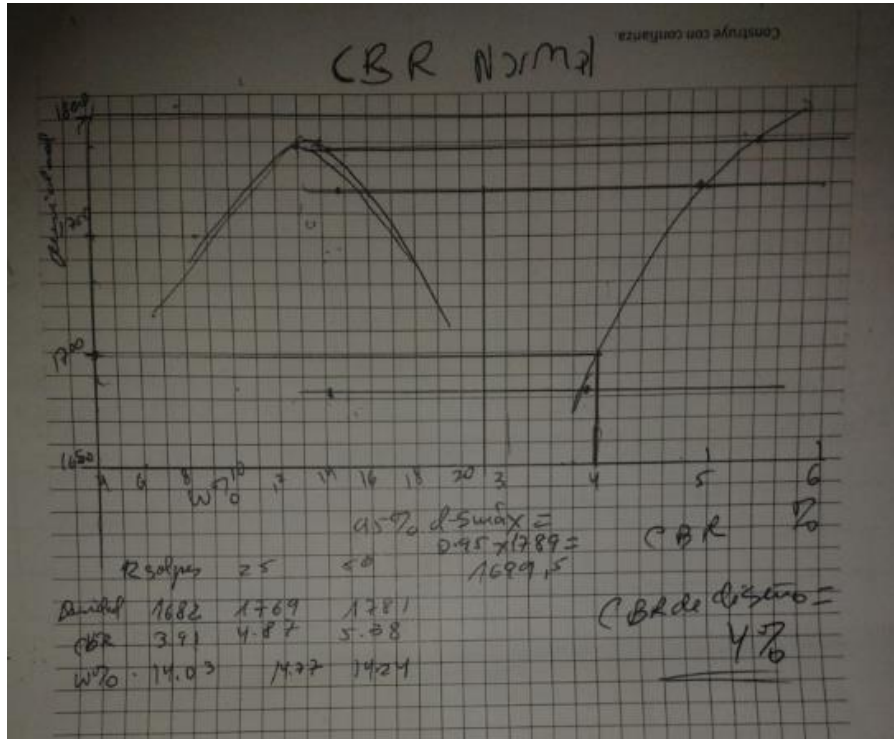
Fecha: _____

Proyecto _____

Perfección _____ MUESTRA: _____ PROFUNDIDAD _____

MUESTRA N°							
RECIPIENTE N°		NX					
PESO EN GRAMOS	PESO DEL RECIPIENTE	123.5					
	PESO INICIAL + RECIPIENTE	537.4					
	PESO FINAL + RECIPIENTE	325.3					
	PESO INICIAL	413.9					
	PESO FINAL	201.8					
% RETENIDO = $\frac{\text{PESO FINAL} \cdot 100}{\text{PESO INICIAL}}$		48.76					
% PASA TAMIZ N° 200 = 100% - % RETENIDO		51.24					
MUESTRA N°							
RECIPIENTE N°							
PESO EN GRAMOS	PESO DEL RECIPIENTE						
	PESO INICIAL + RECIPIENTE						
	PESO FINAL + RECIPIENTE						
	PESO INICIAL						
	PESO FINAL						
% RETENIDO = $\frac{\text{PESO FINAL} \cdot 100}{\text{PESO INICIAL}}$							
% PASA TAMIZ N° 200 = 100% - % RETENIDO							
MUESTRA N°							
RECIPIENTE N°							
PESO EN GRAMOS	PESO DEL RECIPIENTE						
	PESO INICIAL + RECIPIENTE						
	PESO FINAL + RECIPIENTE						
	PESO INICIAL						
	PESO FINAL						
% RETENIDO = $\frac{\text{PESO FINAL} \cdot 100}{\text{PESO INICIAL}}$							
% PASA TAMIZ N° 200 = 100% - % RETENIDO							
OBSERVACIONES: _____							
OPERADOR _____ CALCULADO POR: _____ VERIFICADO POR: _____							

Fotografía 7 Pruebas realizadas In Situ



Fotografía 8 Realización de gráficos CBR Normal

Golpes	12	%	25	%	56	%
Natural	10,68	100	4	100	2,34	100
3% Sábila	2,85	26,68	2	50	1,2	51,28
9% Sábila	0,9	8,42	0,8	20	0,66	28,20

Tabla 15 Prueba de expansión