

USO DE TOBA VOLCÁNICA COMO SOLUCIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS. USE OF VOLCANIC TUFF AS A SOLUTION FOR EXPANSIVE SOILS.

Autores: ¹Francisco Andrés Giler Zambrano y ²Rodolfo Andrés Robles Cedeño

¹E-mail de contacto: fgilerz@ulvr.edu.ec

²E-mail de contacto: rroblesc@ulvr.edu.ec

Artículo recibido: 26 de Marzo del 2021

Artículo revisado: 6 de Abril del 2021

Artículo aprobado: 30 de Abril del 2021

¹Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil (Ecuador).

²Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil (Ecuador).

Resumen

En esta investigación se analizará las características del suelo expansivo utilizando toba volcánica. Para ello se utilizará la toba volcánica en suelos expansivos para reducir el índice de plasticidad y mejorar su capacidad portante. Desde el punto de vista metodológico este proyecto de investigación trabaja aspectos de investigación cuantitativa lo cual aportara significativamente este paradigma y se justifica debido a que se aplicaron técnicas experimentales que permitieron obtener los datos sobre la utilización de la toba volcánica. Para demostrar la estabilización del estrato del suelo expansivo se realizaron algunos ensayos en el laboratorio de la Facultad de ingeniería civil Arnaldo Ruffini, se realizaron tres calicata a cielo abierto para obtener muestra de suelo y elaborar los ensayos de clasificación, los resultados obtenidos determinan que es un mismo estrato, por ese motivo se elaboró un solo ensayo de proctor y C.B.R. del material más representativo, obteniendo los resultados de los ensayos de límites líquido y plástico, se procedió a triturar la toba volcánica para mezclarlo con la arcilla utilizándolo como un estabilizador de suelo y obtener resultados que estén dentro de las especificaciones técnicas para material de mejoramiento, la mezcla de la toba volcánica y el suelo se le realizaron los ensayo de proctor y C.B.R. se calculó el porcentaje de expansión que tendría la mezcla de arcilla con Toba. Siendo de suma importancia dado que esta investigación servirá como guía para los ingenieros que trabajan en el campo de la construcción con el fin de usar nuevos estabilizadores más amigables con el medio ambiente ,se fundamenta en el uso de la toba volcánica como material que puede ser

utilizado en la estabilización de suelos expansivos, a la vez que mejora el comportamiento de la plasticidad y la capacidad portante del suelo, de tal manera que su uso se pudiera masificar en el área de la construcción. Esta investigación busca utilizar la toba volcánica en el área de la construcción, con el fin de sacarlo del medio ambiente al ser un material contaminante y usarlo como estabilizador de suelos expansivos.

Palabras claves: Toba volcánica, Suelos expansivos, Plasticidad.

Abstract

In this research, the characteristics of the expansive soil will be analyzed using volcanic tuff. For this, volcanic tuff will be used in expansive soils to reduce the plasticity index and improve its bearing capacity. From the methodological point of view, this research project works on quantitative research aspects which significantly contribute to this paradigm and is justified because experimental techniques were applied that allowed obtaining data on the use of volcanic tuff. To demonstrate the stabilization of the expansive soil stratum, some tests were carried out in the laboratory of the Arnaldo Ruffini Faculty of Civil Engineering, three open pit pits were carried out to obtain a soil sample and develop the classification tests, the results obtained determine that it is the same stratum, for this reason a single proctor and CBR test of the most representative material was elaborated, obtaining the results of the tests of liquid and plastic limits, the volcanic tuff was crushed to mix it with the clay using it as a soil stabilizer and obtain results that are within the technical specifications for improvement material, the

mixture of the volcanic tuff and the soil will be carried out the proctor and CBR tests, the percentage of expansion that the clay mixture with Toba should be calculated. . Being of utmost importance given that this research will serve as a guide for engineers working in the construction field to use new stabilizers that are more environmentally friendly, it is based on the use of volcanic tuff as a material that can be used in the stabilization of expansive soils, while improving the behavior of plasticity and the bearing capacity of the soil, in such a way that its use could become widespread in the construction area. This research seeks to use volcanic tuff in the construction area, to remove it from the environment as it is a polluting material and use it as a stabilizer for expansive soils.

Keywords: Volcanic tuff, Expansive soils, Plasticity.

Sumário

Nesta pesquisa, as características do solo expansivo serão analisadas usando tufo vulcânico. Para isso, o tufo vulcânico será usado em solos expansivos para reduzir o índice de plasticidade e melhorar sua capacidade de carga. Do ponto de vista metodológico, este projeto de pesquisa trabalha com aspectos da pesquisa quantitativa que contribuem significativamente para este paradigma e se justifica porque foram aplicadas técnicas experimentais que permitiram obter dados sobre a utilização do tufo vulcânico. Para demonstrar a estabilização do estrato expansivo do solo, foram realizados alguns ensaios no laboratório da Faculdade de Engenharia Civil Arnaldo Ruffini, foram realizadas três valas a céu aberto para obtenção de amostra de solo e desenvolvimento dos ensaios de classificação, os resultados obtidos determinam que é o mesmo estrato, por este motivo foi elaborado um único proctor e teste CBR do material mais representativo, obtendo-se os resultados dos testes de limites líquidos e plásticos, o tufo vulcânico foi triturado para misturá-lo com a argila usando-o como um estabilizador de solo e obtenção de resultados que estejam dentro das especificações técnicas para material de beneficiamento, será realizada a mistura do tufo vulcânico com o solo os testes

de proctor e CBR, a porcentagem de expansão que a mistura de argila com Toba deve ser calculada. Sendo de extrema importância visto que esta pesquisa servirá de guia para os engenheiros que atuam na área da construção no sentido de utilizar novos estabilizadores mais ecologicamente corretos, baseia-se na utilização do tufo vulcânico como material que pode ser utilizado no estabilização de solos expansivos, ao mesmo tempo em que melhora o comportamento da plasticidade e da capacidade de carga do solo, de forma que seu uso possa se generalizar na área de construção. Esta pesquisa busca utilizar o tufo vulcânico na área de construção, a fim de retirá-lo do meio ambiente por ser um material poluente e utilizá-lo como estabilizador de solos expansivos.

Palavras-chave: Tufo vulcânico, Solos expansivos, Plasticidade.

Introducción

Todas las obras de ingeniería civil descansan, de una u otra forma, sobre el suelo, y muchas de ellas, además, utilizan la tierra como elemento de construcción para terraplenes, diques y rellenos en general; por lo que, en consecuencia, su estabilidad y comportamiento funcional y estético estarán regidos, entre otros factores, por la conducta del material de asiento situado dentro de las profundidades de influencia de los esfuerzos que se generan, o por la del suelo utilizado para conformar los rellenos.

Si se sobrepasan los límites de la capacidad resistente del suelo, o si aún sin llegar a ellos las deformaciones son considerables, se pueden producir esfuerzos secundarios en los miembros estructurales, quizás no tomados en consideración en el diseño, productores a su vez de deformaciones importantes, fisuras, grietas, desplomos que pueden producir, en casos extremos, el colapso de la obra. En consecuencia, las condiciones del suelo como elemento de sustentación y construcción y las del cimiento como dispositivo de transición

entre aquél y la estructura, han de ser siempre observadas, aunque esto se haga en proyectos pequeños fundados sobresuelos normales a la vista de datos estadísticos y experiencias locales, y en proyectos de mediana a gran importancia, durante los últimos años se han empleado cada vez más los vocablos geotecnia y geo mecánica para significar la asociación de las disciplinas que estudian la corteza terrestre desde el interés de la ingeniería civil, concurriendo ciencias como la geología con sus diversas ramas y la geofísica con su división, la sismología.

A la vista de los tres materiales sólidos naturales que ocupan nuestra atención, podemos dividir la geotécnica en: mecánica de suelos, mecánica de rocas y mecánicas de nieves, noveles especialidades, todas presentadas en orden de aparición dentro de las cuales la última no tiene cabida en nuestro medio subtropical. La más vieja de las nuevas, la mecánica de suelos, será motivo de nuestro estudio desde ahora en adelante, no sin antes puntualizar que ella versa sobre un material heterogéneo, disímil de partícula a partícula, donde su contenido de humedad que puede ser variable con el tiempo ejerce capital influencia sobre su comportamiento; debiendo aplicarse nuestros conocimientos físicos-matemáticos para evaluar y predecir su comportamiento.

Ardua tarea, distinta a la que realizamos en otros materiales de construcción tales como el acero y el hormigón, donde las cualidades físicas son impresas a voluntad, con relativa facilidad. al través de procesos metalúrgicos que ofrecen una amplia gama de productos finales, en el primer caso, y mediante diseños de mezclas en el segundo, todo en armonía con las necesidades de un proyecto dado

Desarrollo
Suelos

La tierra o suelo se define como cualquier material no consolidado compuesto de distintas partículas sólidas con gases o líquidos incluidos. El tamaño máximo de las partículas que pueden clasificarse como suelo no es fijo, pero determina la función en que ellas están implicadas. Los suelos pueden ser mezclas bien definidas de unos cuantos minerales específicos o mezclas heterogéneas de cualquier cosa. (Olivera Delgado, 2021)

El suelo contiene una amplia variedad de materiales tales como la grava, la arena y las mezclas arcillosas depositadas por glaciares, las arenas aluviales y limos y arcillas de los depósitos aluviales de los ríos, las arcillas marinas blandas y las arenas de las playas de la costa, las rocas muy meteorizadas de los trópicos, y hasta las escorias, los bastidores de camas, las latas y las cenizas de los vertederos de las ciudades. (Iza, 2021)

Se denomina suelo o tierra 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 él. 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.

De un modo simplificado puede decirse que las etapas implicadas en la formación del suelo son las siguientes: Instalación de los seres vivos (microorganismos, líquenes, musgos, etc.) sobre ese sustrato inorgánico. Esta es la fase más significativa, con sus procesos vitales y metabólicos, continúan la meteorización de los minerales, iniciada por mecanismos inorgánicos. Además, los restos vegetales y animales a través de la fermentación y la

putrefacción enriquecen ese sustrato. Mezcla de todos estos elementos entre sí, y con agua y aire intersticiales. Inicialmente, se da la alteración de factores físicos y químicos de las rocas, realizada, fundamentalmente, por la acción geológica del agua y otros agentes geológicos externos, y posteriormente por la influencia de los seres vivos, que es fundamental en este proceso de formación. (Olivera Delgado, 2021) Se desarrolla así una estructura en niveles superpuestos, conocida como el perfil de un suelo, y una composición química y biológica definida. Las características locales de los sistemas implicados, litología y relieve, clima y biota y sus interacciones dan lugar a los diferentes tipos de suelo.

Los procesos de alteración mecánica y meteorización química de las rocas, determinan la formación de un manto de alteración o aluvión que cuando, por la acción de los mecanismos de transporte de laderas, es desplazado de su posición de origen, se denomina coluvión.

Sobre los materiales del coluvión puede desarrollarse lo que comúnmente se conoce como suelo; el suelo es el resultado de la dinámica física, química y biológica de los materiales alterados del coluvión, originándose en su seno una diferenciación vertical en niveles horizontales. En estos procesos, los de carácter biológico y bioquímico llegan a adquirir una gran importancia, ya sea por la descomposición de los productos vegetales y su metabolismo, por los microorganismos y los animales zapadores. (Iza, 2021)

El conjunto de disciplinas que se abocan al estudio del suelo se engloba en el conjunto denominado Ciencias del suelo, aunque entre ellas predomina la edafología e incluso se usa el adjetivo edáfico para todo lo relativo al suelo.

El estudio del suelo implica el análisis de su mineralogía, su física, su química y su biología.

Toba volcánica

La toba volcánica es una roca ígnea extrusiva (roca volcánica) que se forma por la consolidación y litificación de productos volcánicos que han sido expulsados desde un volcán típicamente por una erupción volcánica explosiva. Aunque los geólogos están más claros que una toba volcánica generalmente es una roca que está formada principalmente por ceniza volcánica, el término es generalmente usado para describir a todas las rocas que se forman por la consolidación de productos volcánicos. Por lo tanto, a manera general la toba volcánica puede contener fragmentos de partículas del tamaño de polvo a partículas del tamaño de una roca y estar compuesta de muchos tipos diferentes de materiales. (Kassab, 2021)

Cómo se forma

La toba volcánica se forma por la litificación de materiales piroclásticos y principalmente por la consolidación de la ceniza volcánica que es expulsada por una erupción volcánica explosiva. Cuando la ceniza se deposita sobre el suelo, poco a poco se va compactando y soldando hasta formar a la roca. Los componentes de la toba generalmente son más gruesos cerca del volcán de origen y disminuyen en grosor cuando caen a más distancia desde el volcán. En lugar de ser una “capa”, una toba suele ser un depósito “en forma de lente”. (Kassab, 2021)

La toba también puede ser más gruesa en el lado a favor del viento hacia abajo o en el lado del volcán de donde se dirigió la explosión. Algunos depósitos de toba tienen cientos de metros de espesor y tienen un volumen eruptivo total de muchas millas cúbicas. Ese enorme

grosor puede ser de una sola explosión eruptiva o, más comúnmente, de oleadas sucesivas de una sola erupción, o erupciones que estuvieron separadas por largos períodos de tiempo. (Kassab, 2021)

Características y propiedades físicas

- Composición mineral

Mineralógicamente la toba volcánica está compuesta por alto porcentaje de sílice (SiO₂) debido a que gran parte de la matriz de esta roca es vidrio volcánico. Además, al provenir de erupciones explosivas significa que está asociada con magmas ácidos, lo que hace que sea común que este conformado por minerales de biotita, plagioclasas, cuarzo, feldespatos potásicos y moscovita. (Kassab, 2021)

- Composición química

Su composición va a depender de los minerales y rocas que contenga, pero al estar relacionado con erupciones volcánicas explosivas, significa que generalmente proviene de composición intermedia a félsicos. Por lo tanto, la toba volcánica típicamente tendría una composición intermedia a ácida es decir sobre el 55% de sílice (SiO₂) (Arroyo-Solórzano, 2021)

- Color y variedades

Esta roca ocurre en variedades de colores que se encuentran en tonalidades claras. Existen tobas de tonalidades verdosas, blanquecinas, amarillentas, rojizas, cremas, cafés y todo va depender de su composición mineral, litológica y de su formación. Por ejemplo, una toba verdosa es debido a que contiene bastantes minerales ferromagnesianos como el anfíbol, que al alterarse a clorita hace que la roca se torne verdosa. Tonalidades amarillas, rojizas, cafés o marrones, es debido a que puede contener cierto porcentaje de hierro. (Lopez, 2020).

- Textura y estructura

La toba volcánica se entra en varios rangos de clasificación en cuanto a cómo sus componentes interactúan en la roca. Es típico reconocer a esta roca por su textura piroclástica. También puede presentar una textura a manera de laminación, debido a que se forma por la caída de ceniza volcánica, en diferentes intervalos o lapsos de tiempo. Además, hay otro término que se usa comúnmente en el campo de la geología, que es decir una toba soldada a aquella que tiene textura piroclástica y una matriz muy dura. Finalmente, a diferencia de la pumita (piedra pómez) la toba no presenta vesículas.

Toba soldada

A veces, la expulsión de los productos volcánicos está lo suficientemente calientes y cuando aterrizan las partículas son suaves y pegajosas. Entonces estos materiales se “suedan” juntos al impactar o al compactarse. La roca formada a partir de esta eyección caliente se conoce como “toba soldada”, porque las partículas expulsadas se sueldan juntas. Algunos depósitos pueden contener tobas soldadas cerca del volcán de origen y tobas no soldadas a una distancia donde las partículas más pequeñas y frías caen al suelo. (Cupuerán Yáñez, 2016) Esta roca no tiene usos relevantes, su alto contenido de sílice, su baja dureza e inestabilidad no la hacen apta para roca de construcción. Además, su forma y colores tampoco la hacen llamativa como para colección. Simplemente los museos y universidades donde se enseña geología la recolectan para enseñanza de los estudiantes.

Estabilizadores

La tierra que no posee las características deseadas para una construcción particular puede ser mejorada añadiendo uno o más estabilizadores. Cada estabilizador puede

cumplir uno (o a lo sumo dos) de las siguientes funciones:

- Incrementa la resistencia a la comprensión y al impacto de la construcción de tierra, y también reduce su tendencia a la dilatación o contracción, aglomerando las partículas de suelo unas a otras.
- Reduce o elimina completamente la absorción de agua (que causa dilataciones, contracciones y erosión) sellando todos los vacíos y poros, y cubriendo las partículas de arcilla con una película impermeable.
- Reduce el agrietamiento dándole flexibilidad la cual permite que el suelo se expanda o contraiga en algún grado.
- Reduce la expansión y contracción excesiva reforzando el suelo con material fibroso.

El efecto de la estabilización se incrementa generalmente cuando el suelo se compacta. Algunas veces la compactación sola es suficiente para estabilizar el suelo, sin embargo, sin un estabilizador apropiado, el efecto puede no ser permanente, particularmente en el caso de una mayor exposición al agua. (Tacca Huaracca, 2021)

Pero, antes de considerar el uso de un estabilizador se deben investigar los siguientes puntos:

¿El suelo disponible satisface los principales requerimientos incluso sin estabilización? Esto depende del clima local, riesgos naturales y el tipo de construcción.

- ¿El diseño de la edificación toma en cuenta las características y limitaciones del material? Ejemplos de un diseño apropiado es construir en niveles altos e incorporar capas para proteger de la humedad (para minimizar el daño de la absorción capilar) y proporcionar aleros anchos en los techos (para proteger contra la lluvia y la radiación solar).

- ¿Es realmente necesaria la estabilización de toda la construcción, o puede ser suficiente una buena protección para la superficie (por ejemplo, elucido estabilizado)?

Reduciendo la necesidad de estabilización, se pueden ahorrar considerables costos, tiempo y esfuerzo.

Tipos de Estabilizadores

Un gran número de sustancias podrían ser utilizados para estabilizar el suelo, y se están realizando muchas investigaciones para encontrar el estabilizar más adecuado para cada tipo de suelo, pero, a pesar de estos esfuerzos de investigación, no hay un estabilizador "milagroso" que pueda ser utilizado en todos los casos. La estabilización no es una ciencia exacta, por ello depende del constructor hacer bloques de prueba con diferentes tipos y cantidades de estabilizadores, los cuales se pueden ensayar.

Los estabilizadores disponibles en la naturaleza más comúnmente utilizados en construcciones tradicionales son:

- Arena y arcilla.
- Paja y fibras de plantas
- Jugos de plantas (savia látex, aceites).
- Cenizas de madera.
- Excremento de animal (principalmente estiércol y orina de caballo).
- Otros productos de animales (sangre, pelo, cola, hormigueros).

Los estabilizadores manufacturados más comunes, (por ejemplo, productos y subproductos de las industrias locales o de los grandes procesos industriales) son:

- Cal y puzolana.
- Cemento Portland.
- Yeso.
- Asfalto.
- Estabilizadores de suelo comerciales.

- Silicato de sodio ("vidrio soluble")
- Resinas
- Sueros (caseína).
- Melaza.

Como utilizar los Estabilizadores

El beneficio completo de emplear un estabilizador se alcanza sólo si éste hace contacto con cada partícula del suelo, por ello, se necesita un mezclado bastante completo.

Para encontrar la mejor combinación y las mejores proporciones de estabilizadores para un suelo determinado se necesita mucha preparación y muchos ensayos. Vale la pena gastar tiempo y esfuerzo, incluso si se toma uno o dos meses de preparación.

La única manera de determinar la proporción correcta de estabilizador es hacer de 5 a 7 bloques de prueba por cada mezcla y someterlos a una serie de ensayos, tales como los ensayos de resistencia a compresión después de diferentes períodos de secado, ensayos de secado y humedecimiento prolongado, e inmersión en agua.

Los bloques estabilizados con cal y cemento portland necesitan ser curados en húmedo por lo menos 7 días para que obtengan resistencia. Los programas de ensayos deben tomar en cuenta las condiciones climáticas locales, la posibilidad de heladas, y similares. La elección del estabilizador también diferirá entre las regiones áridas y húmedas.

Debe recordarse que los bloques de prueba sólo necesitan una pequeña cantidad de suelo, la cual es fácil de mezclar. Durante la construcción real o la producción de bloques en serie, el mezclado de grandes cantidades de suelo es más difícil, de modo que debería añadirse una proporción ligeramente mayor de estabilizador (excepto en el caso del cemento).

El propósito de estos ensayos siempre es encontrar la menor cantidad de estabilizador que satisfaga los requerimientos. Muy a menudo los requerimientos específicos son injustificablemente altos originando elevados costos innecesariamente.

California Bearing Ratio (CBR)

El CBR de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1" o 0.2" de penetración, expresada en por ciento en su respectivo valor estándar. También se dice que mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado, sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo. (Ahmed, 2021)

El CBR (California Bearing Ratio) se obtiene como un porcentaje del esfuerzo requerido para hacer penetrar un pistón una profundidad de 0.1 pulgadas en una muestra de suelo y el esfuerzo requerido para hacer penetrar el mismo pistón, la misma profundidad de 0.1 pulgadas, en una muestra patrón de piedra triturada. (Bardhan, 2021)

El ensayo CBR (California Bear Ratio) es una prueba que se originó en el Departamento de Carreteras de California en los Estados Unidos de América en el año 1929, con el objetivo de conocer los suelos donde diseñará adecuadamente los pavimentos, la ASTM denomina el ensayo simplemente un ensayo de relación de soporte. (Angamarca S, 2013)

Este ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de densidad y humedad controladas; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno. Además, el ensayo permite

evaluar la calidad relativa del suelo para subrasante, sub-base y base. Dado que el comportamiento de los suelos varía de acuerdo a su grado de alteración, con su granulometría y sus características físicas, el método a seguir para determinar el CBR, es diferente en cada caso. (Praveen, 2021). Pueden ser:

- C.B.R: Suelos perturbados y remoldeados
- Suelos gravosos y arenosos.
- Suelos cohesivos, poco plásticos y nada plásticos
- Suelos cohesivos y expansivos
- C.B.R. suelos inalterados.
- C.B.R. in-situ.

Determinación de CBR.

El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria en Kilos/cm² (libras por pulgadas cuadrada, (psi)) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón (con un área de 19.4 centímetros cuadrados) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria. (Praveen, 2021)

Patrón requerido para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturada, en ecuación, esto se expresa:

$$BR = \text{carga unitaria de ensayo} / \text{carga unitaria patrón} * 100\%$$

El número CBR usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 2.54 mm (0,1”), sin embargo, si el valor del CBR para una penetración de 5.08 mm (0,2”) es mayor, dicho valor debe aceptarse como valor final de CBR. Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar. El ensayo de CBR se utiliza para establecer una relación entre el

comportamiento de los suelos principalmente utilizados como bases y subrasante bajo el pavimento de carreteras y aeropistas. (Praveen, 2021)

Valores de carga unitaria patrón

En forma de ecuación esto es:

$$\%CBR = \text{Carga unitaria de prueba} / \text{Carga unitaria patrón} * 100$$

Si una muestra requiere una carga de 550 lbs/pulg² para obtener 0.1 de penetración, su capacidad portante será:

$$\%CBR = 550 \text{ lbs/pulg} / 1000 \text{ lbs/pulg} * 100$$

$$\%CBR = 55$$

Estudio de suelos.

La ejecución de un estudio de suelos nos permite determinar las propiedades del suelo tanto físicas como mecánicas; para este caso que es un proyecto vial nos permite determinar las propiedades y características de que posee la subrasante, es decir el terreno sobre el cual se asentara la carpeta asfáltica.

Para este estudio es de vital importancia la asesoría técnica por un profesional con experiencia en el campo de estudio de suelos, el cual brindara apoyo en las actividades a realizarse como son las siguientes:

- Reconocimiento del sitio en el cual está previsto el trazado geométrico de la vía.
- Determinar el sitio exacto en donde se efectuará las perforaciones que son necesarias para extraer las muestras.
- Organizar cada uno de las muestras extraídas con el fin de controlar en el laboratorio las mismas.
- Recoger las muestras que sean necesarias para cada uno de los ensayos que se procedan a realizar.
- Interpretar los resultados obtenidos de cada uno de los ensayos para así de esta manera proceder al cálculo y diseño del pavimento.

Para conocer e identificar las propiedades mecánicas del suelo de fundación o subrasante, en necesario realizar los siguientes ensayos de laboratorio.

- Límites Atterberg
- CBR
- Granulometría
- Contenido de humedad
- Densidad máxima y humedad optima (Proctor)

Para realizar los ensayos antes mencionados se debe tomar muestras mediante calicatas entre 1.5 a 2 m de profundidad, estas muestras deberán ser tomadas cada 200 o 500 m, esto dependerá primordialmente del tipo de carretera que se construirá. En los primeros 50cm se debe tomar alrededor de 50 kg de muestra alternada, que servirá para realizar los ensayos de:

- Clasificación del suelo
- Granulometría
- Humedad
- CBR
- Densidad máxima y humedad optima (Proctor)
- Límites de consistencia.

Además, se debe recolectar una muestra inalterada con la que se pueda determinar la cohesión que posee el suelo de los taludes que son parte de la carretera, estos datos junto con los del ángulo de fricción interna, servirá para determinar la estabilidad que poseen los taludes.

Metodología

Una vez determinado la toba y el suelo expansivo se realizarán los estudios que nos permitirán recolectar, examinar la información de la muestra tomada en campo. Las técnicas que se van a utilizar en esta investigación son los ensayos de correspondientes de laboratorio:

- Formato de laboratorio
- Ensayo de resistencia

- Ensayo de C.B.R.

Los instrumentos utilizados en la investigación son:

- Laboratorio de mecánica de suelo y concreto
- Equipo de laboratorio
- Formatos de laboratorio
- Fichas de observación

Para esta investigación, la primera etapa sería la ubicación de un suelo expansivo. Luego se tomaron muestras para saber las propiedades del material, lo cual nos permitió escoger el material idóneo para estabilizarlo. La siguiente etapa se procedió a escoger la toba volcánica bajo las características que se presentó en la cantera. Luego de escoger la toba volcánica adecuada para este suelo y para las condiciones requeridas, se procedió a la mezcla del mismo. En la última etapa se procedió a realizar la toma de muestras y los ensayos requeridos por la norma de acuerdo con el cronograma planteado. La mezcla con la toba volcánica triturada se le realizara los ensayos de clasificación, proctor y C.B.R. respectivo para tener valores apropiados para su verificación y poder determinar su expansión a cada mezcla realizada y así establecer la proporción adecuada para utilizarlo en estos suelos expansivos y evitar la deformación en la estructura a cimentar.

Análisis de resultados.

El análisis consiste básicamente en dar respuesta a los objetivos o hipótesis planteadas a partir de las mediciones efectuadas y los datos resultantes. Para plantear el análisis es conveniente plantear un plan de análisis o lo que se conoce como un plan de explotación de datos. En él se suele detallar de manera flexible cómo vamos a proceder al enfrentarnos a los datos, cuáles serán las principales líneas de análisis, qué orden vamos a seguir, y qué tipo de

pruebas o técnicas de análisis aplicaremos sobre los datos (Neme Chaves, 2021).

Los análisis a realizar serán de acuerdo a las normas ASTM y estipulado en las Especificaciones del Ministerio y Transporte de Obras Públicas, de la misma manera se obtendrá y evaluará los resultados de los ensayos para

obtener la mejor mezcla que de la toba volcánica y el suelo expansivo que cumpla con lo estipulado y poder recomendar su utilización.

Ensayo de clasificación, proctor y C.B.R. al material existente

Tabla 1 Ensayo de clasificación material existente. (Calicata 1 Muestra 1 Profundidad 0.00-1.50)

NORMAS ASTM D2487, D2216, D4318, D422						
Especificaciones para mejoramiento				Limite Liquido ≤ 36	Índice de Plasticidad ≤ 9	
Valor de		P. Húmedos + capsula	P. Seco + capsula	Peso Capsula	W%	
1. Contenido de agua		774.00	653.00	274.00	31.93	
2. Limite Liquido	Golpes					
	34	22.87	16.93	9.76	82.85	
	26	23.20	17.07	9.91	85.61	
	20	25.12	17.96	9.87	88.50	
3. Limite Plástico		24.98	17.58	9.44	90.91	
		18.10	15.96	9.89	35.26	
		17.84	15.84	10.13	35.03	
	16.87	15.03	9.84	35.45		
4. Granulometría				5. Resumen		
Peso inicial húmedo para cálculos			500.00	% de grava	0	
Peso inicial seco para cálculos			379.00	% de arena	19	
Tamiz	Pes. Ret parcial	% Retenido acumulado	% que pasa	Especificaciones Mejoramiento	% de finos	80
4"		0.0	100	100	Limite Liquido (LL)	86
1 1/2"					Limite Plástico (LP)	35
1"					Índice Plástico (IP)	51
3/4"					% Humedad (W)	32
3/8"					6. Clasificación	
No. 4	1.00	0.3	99.7		SUCS	CH
No. 10					AASHTO	A-7-5
No. 40					IG (86)	46
No. 200	73.00	19.5	80.5	2-20	IG (45)	20
7. Descripción				Arcilla limosa, color negro		

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

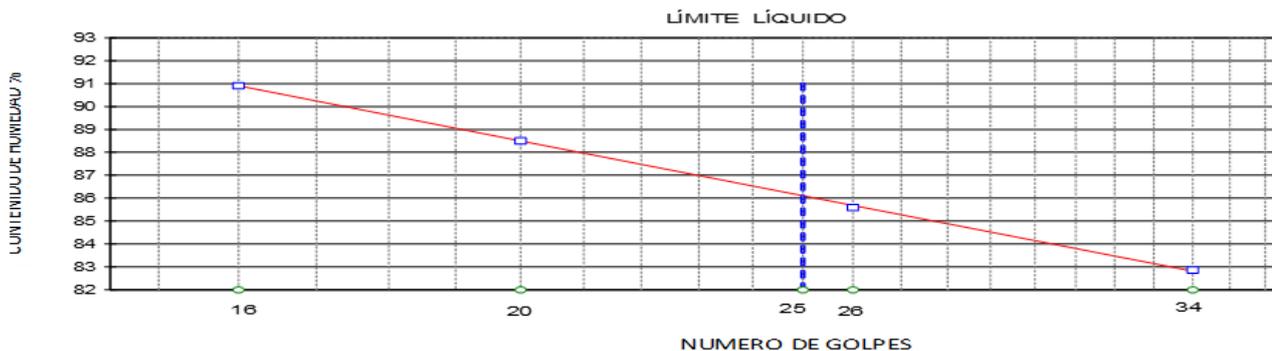


Gráfico 1 Ensayo de clasificación material existente. (Calicata 1 Muestra 1 Profundidad 0.00-1.50)

Tabla 2 Ensayo Proctor (Calicata 1, muestra 1)

ASTM D 1557									
1. Norma y ensayo			Procedimiento A			2. Datos del molde			
Golpe/capa			25			Diámetro			10.16 cm
No. de capas			5			Volumen			932 cm ³
Material pasa el tamiz			#4			Peso			3.080 gr
Peso del martillo			4.5 kg			3. Descripción/SUCS			Arcilla limosa, color negra
Altura de caída			45.7 cm						CH
4. Datos para la curva									
Punto No.		1		2		3		4	
Peso suelo + molde		4.520		4.603		4.648		4.643	
Peso suelo		1.440		1.523		1.568		1.563	
Densidad humedad		1.544		1.634		1.682		1.676	
5. Contenidos de agua									
P. Suelos hum. + cap.		99.94	99.94	96.63	96.63	92.22	92.22	98.34	98.34
P. Suelos seco + cap.		87.81	87.81	83.51	83.51	78.35	78.35	82.00	82.00
P. Capsulas		17.44	17.44	17.33	17.33	17.14	17.14	17.83	17.83
w (%)		17.24	17.24	19.82	19.82	22.66	22.66	25.46	25.46
w Promedio (%)		17.24		19.82		22.66		25.46	
Peso Unit. Seco		1.317		1.363		1.371		1.336	
6. Resultados		Peso unitario seco					1.373 kg/m ³		
		Contenido de agua optimo					21.8 %		

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

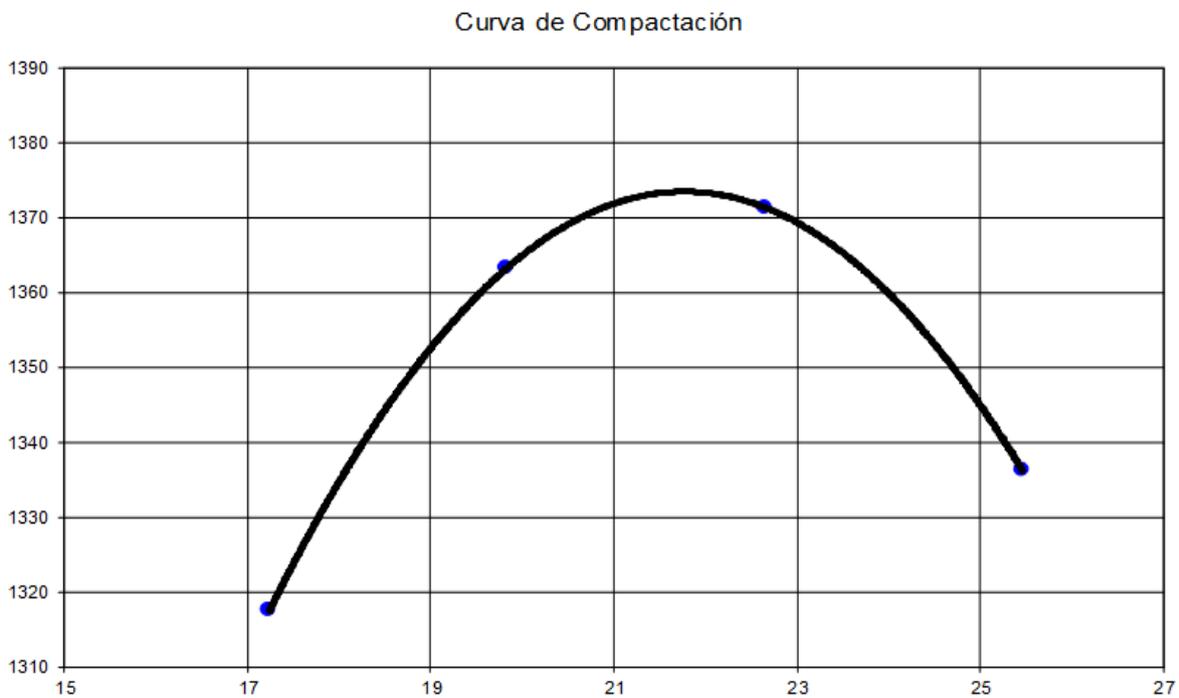


Gráfico 2 Ensayo Proctor (Calicata 1, muestra 1)

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil

Tabla 3 Ensayo de clasificación material existente. (Calicata 2 Muestra 1 Profundidad 0.00-1.50)

NORMAS ASTM D2487, D2216, D4318, D422						
Especificaciones para mejoramiento				Limite Liquido ≤ 36	Índice de Plasticidad ≤ 9	
Valor de	P. Húmedos + capsula	P. Seco + capsula	Peso Capsula	W%		
1. Contenido de agua	635.28	556.43	266.00	33.35		
2. Limite Liquido	Golpes					
	34	23.44	17.13	9.54	83.14	
	26	22.87	16.75	9.62	85.83	
	20	23.76	17.00	9.34	88.25	
3. Limite Plástico		18.65	16.33	9.65	34.73	
		16.98	15.17	9.76	33.46	
		17.85	15.76	9.82	35.19	
4. Granulometría			5. Resumen			
Peso inicial húmedo para cálculos			387.28	% de grava	1	
Peso inicial seco para cálculos			290.43	% de arena	21	
Tamiz	Pes. Ret parcial	% Retenido acumulado	% que pasa	Especificaciones Mejoramiento	% de finos	
4"		0.0	100	100	Limite Liquido (LL)	
1 1/2"					86	
1"					Limite Plástico (LP)	
3/4"					34	
3/8"					Índice Plástico (IP)	
No. 4	1.87	0.6	99.4		52	
No. 10					% Humedad (W)	
No. 40					33	
No. 200	62.32	22.1	77.9		6. Clasificación	
7. Descripción			2-20	SUCS	CH	
				AASHTO	A-7-5	
				IG (86)	45	
				IG (45)	20	
				Arcilla limosa, color negra		

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

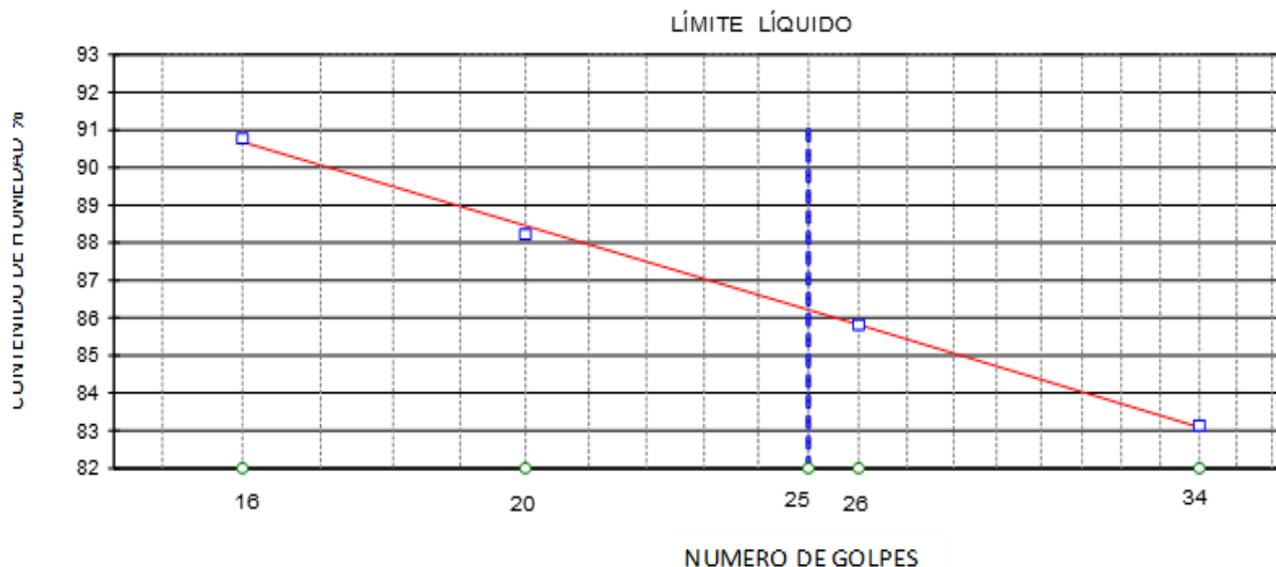


Gráfico 3 Ensayo de clasificación material existente. (Calicata 2 Muestra 1 Profundidad 0.00-1.50)

Tabla 4 Ensayo de clasificación material existente. (Calicata 3 Muestra 1 Profundidad 0.00-1.50)

NORMAS ASTM D2487, D2216, D4318, D422						
Especificaciones para mejoramiento				Limite Liquido ≤ 36	Índice de Plasticidad ≤ 9	
Valor de	P. Húmedos + capsula	P. Seco + capsula	Peso Capsula	W%		
1. Contenido de agua	698.65	602.83	273.00	29.05		
2. Limite Liquido	Golpes					
	34	25.43	18.15	9.32	82.45	
	26	21.94	15.87	8.73	85.01	
	21	24.87	17.61	9.28	87.15	
3. Limite Plástico	16	22.87	16.62	9.65	89.67	
		17.43	15.21	8.72	34.21	
		18.54	16.17	9.12	33.62	
		17.87	15.74	9.74	35.50	
4. Granulometría				5. Resumen		
Peso inicial húmedo para cálculos			425.65	% de grava	0	
Peso inicial seco para cálculos			329.83	% de arena	18	
Tamiz	Pes. Ret parcial	% Retenido acumulado	% que pasa	Especificaciones Mejoramiento	% de finos	
4"		0.0	100	100	81	
1 1/2"					Limite Liquido (LL)	85
1"					Limite Plástico (LP)	34
3/4"					Índice Plástico (IP)	51
3/8"					% Humedad (W)	29
				6. Clasificación		
No. 4	1.23	0.4	99.6	SUCS	CH	
No. 10				AASHTO	A-7-5	
No. 40				IG (86)	47	
No. 200	60.22	18.6	81.4	IG (45)	20	
7. Descripción				Arcilla limosa, color negra		

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

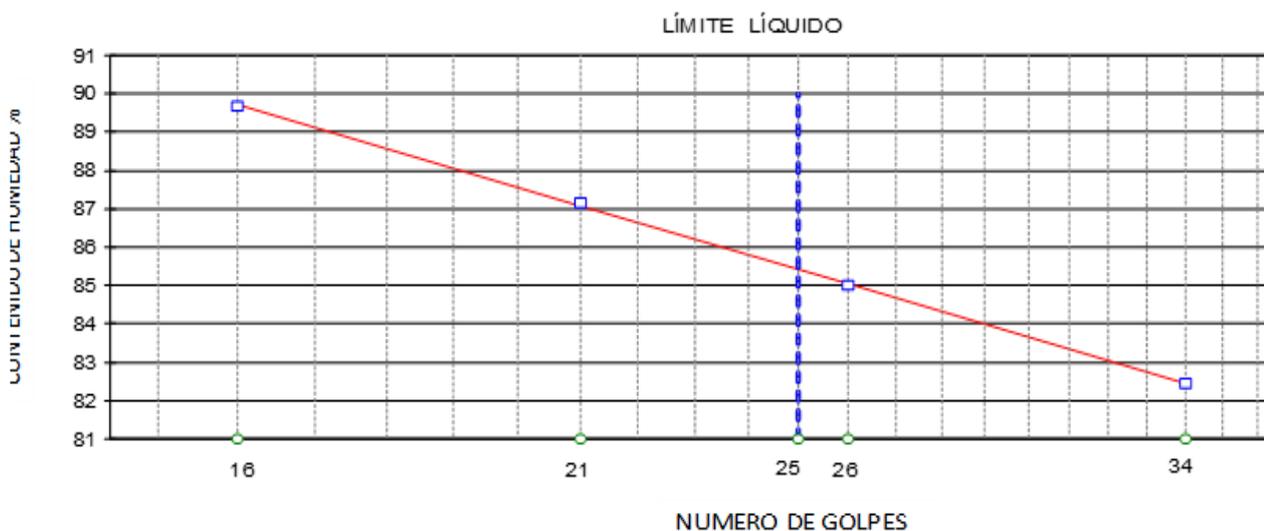


Gráfico 4 Ensayo de clasificación material existente. (Calicata 3 Muestra 1 Profundidad 0.00-1.50)

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 5 Ensayo de C.B.R.

DATOS DE COMPACTACIÓN DEL SUELO PARA ENSAYOS C.B.R.								
ASTM D 1557		Sobrecarga: 4.54 Kgr			Humedad de la muestra 18.32%			
Humedad óptima: 21.80%		Densidad Máxima Seca 1373 Kgr/m ³			Calicata 1		Muestra 1	
LL= 86		LP =35		IP =51		Profundidad: 0.00-1.50		
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO.								
Molde No.		5		V		L		
No. de capas		5		5		5		
No. de golpes por capas		56		25		12		
ESTADO DE LA MUESTRA		Antes de sumergir	Después de sumergir	Antes de sumergir	Después de sumergir	Antes de sumergir	Después de sumergir	
Peso muestra húmeda + molde (gr)		10997	11401	11654	12016	10416	10817	
Peso del molde (gr)		7026		7834		6945		
Peso de muestra húmeda (gr)		3971	4375	3820	4182	3471	3872	
Volumen muestra (cm ³)		2362.19	2503.67	2374.57	2517.99	2332.81	2476.96	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)		1.681	1.747	1.609	1.661	1.488	1.563	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA		Humedad inicial	Humedad final	Humedad inicial	Humedad final	Humedad inicial	Humedad final	
Recipiente No.		F	G	C	A	V	R	
Peso muestra húmeda + tarro (gs)		83.46	84.54	76.56	74.65	77.45	85.02	
Peso de la muestra seca + tarro(g)		71.72	68.59	66.02	60.92	66.85	69.07	
Peso del agua (gs)		11.74	15.95	10.54	13.73	10.60	15.95	
Peso del tarro (gs)		17.08	17.40	16.83	17.34	17.60	17.09	
Peso de la muestra seca (gs)		54.64	51.19	49.19	43.58	49.25	51.98	
Contenido de la humedad promedio (%)		21.49%	31.16%	21.43%	31.51%	21.52%	30.68%	
Peso unitario seco (gr/cm ³)		1383.75	1332.31	1324.84	1262.95	1224.38	1196.16	
Porcentaje de compactación		100.78%	97.04%	96.49%	91.98%	89.18%	87.12%	
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)								
Dia del mes	Hora del día	Inter. de Tiempo en hora	Molde No. 5		Molde No. V		Molde No. L	
			Esponjamiento		Esponjamiento		Esponjamiento	
			Lectura del indicador (pulg)	%	Lectura del indicador (pulg)	%	Lectura del indicador (pulg)	%
9/3/2021	09H00	0	0.0000	0.0%	0.0000	0.0%	0.0000	0.0%
	10H00	1		0.0%		0.0%		0.0%
	11H00	2		0.0%		0.0%		0.0%
	13H00	4		0.0%		0.0%		0.0%
	17H00	8		0.0%		0.0%		0.0%
10/3/2021	09H00	24		0.0%		0.0%		0.0%
	21H00	36		0.0%		0.0%		0.0%
11/3/2021	09H00	48		0.0%		0.0%		0.0%
12/3/2021	09H00	72		0.0%		0.0%		0.0%
13/3/2021	09H00	96	0.2745	6.0%	0.2768	6.0%	0.2832	6.2%

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 6 Ensayo de C.B.R

C.B.R. PENETRACIÓN						
Calicata 1			Muestra 1			
Molde No: 5		Peso del molde: 7.03 Kg		Volumen del molde (V): 2362.19 cm³		
No. golpes por capa 56		No. capas 5		Peso del martillo: 4.54 Kg		Altura de caída: 45.7 cm
Número de ensayo	1	2	3	1	2	3
	Carga de penetración en libras			Carga de penetración en kilogramos		
0.635 mm (0.025")	21.01			9.55		
1.27 mm (0.05")	60.59			27.54		
2.54 mm (0.10")	99.35			45.16		
3.81 mm (0.15")	131.51			59.78		
5.08 mm (0.20")	161.21			73.28		
7.62 mm (0.30")	194.21			88.28		
10.16 mm (0.40")	212.36			96.53		
12.70 mm (0.50")	227.21			103.28		
	Carga unitaria en lb/pulg²			Carga unitaria en kg/cm²		
0.635 mm (0.025")	7.00			0.49		
1.27 mm (0.05")	20.20			1.42		
2.54 mm (0.10")	33.12			2.33		
3.81 mm (0.15")	43.84			3.08		
5.08 mm (0.20")	53.74			3.78		
7.62 mm (0.30")	64.74			4.55		
10.16 mm (0.40")	70.79			4.98		
12.70 mm (0.50")	75.74			5.32		
C.B.R.: 3.67%		Hinchamiento: 5.99%		Para: 2.54 mm de penetración		

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

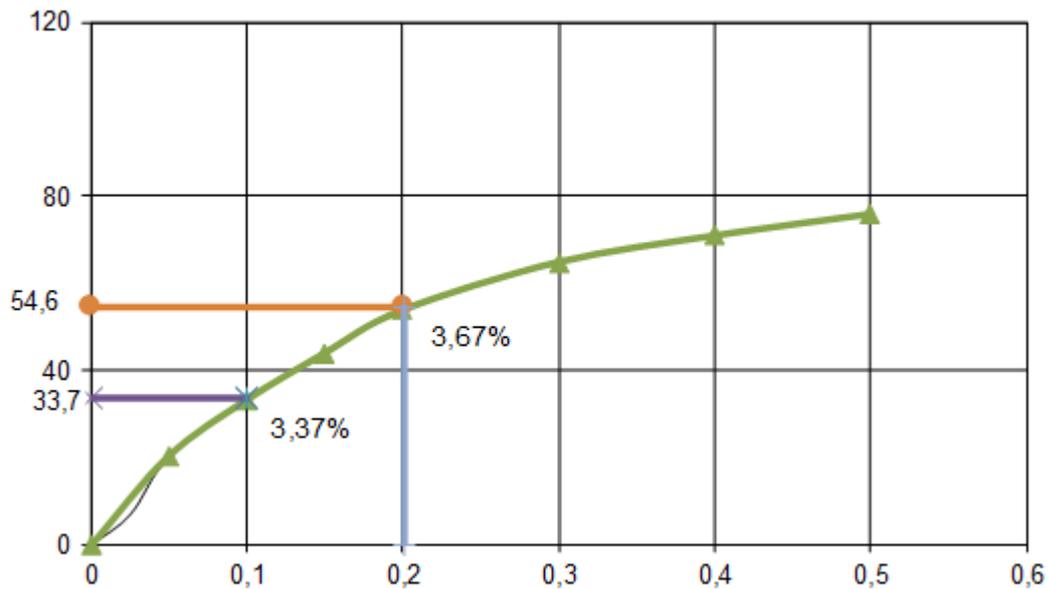


Gráfico 5 Ensayo de C.B.R

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 7 Ensayo de C.B.R

C.B.R. PENETRACIÓN							
Calicata 1			Muestra 1				
Molde No: 5		Peso del molde: 7.85 Kg		Volumen del molde (V): 2374.57 cm³			
No. golpes por capa 25		No. capas 5		Peso del martillo: 4.54 Kg		Altura de caída: 45.7 cm	
Número de ensayo		1	2	3	1	2	3
		Carga de penetración en libras			Carga de penetración en kilogramos		
0.635 mm	(0.025")	21.01			9.55		
1.27 mm	(0.05")	37.50			17.05		
2.54 mm	(0.10")	62.24			28.29		
3.81 mm	(0.15")	86.98			39.54		
5.08 mm	(0.20")	103.47			47.03		
7.62 mm	(0.30")	124.09			56.41		
10.16 mm	(0.40")	139.76			63.53		
12.70 mm	(0.50")	152.96			69.53		
		Carga unitaria en lb/pulg²			Carga unitaria en kg/cm²		
0.635 mm	(0.025")	7.00			0.49		
1.27 mm	(0.05")	12.50			0.88		
2.54 mm	(0.10")	20.75			1.46		
3.81 mm	(0.15")	28.99			2.04		
5.08 mm	(0.20")	34.49			2.42		
7.62 mm	(0.30")	41.36			2.91		
10.16 mm	(0.40")	46.59			3.27		
12.70 mm	(0.50")	50.99			3.58		
C.B.R.: 3.35%		Hinchamiento: 6.04%		Para: 5.08 mm de penetración			

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

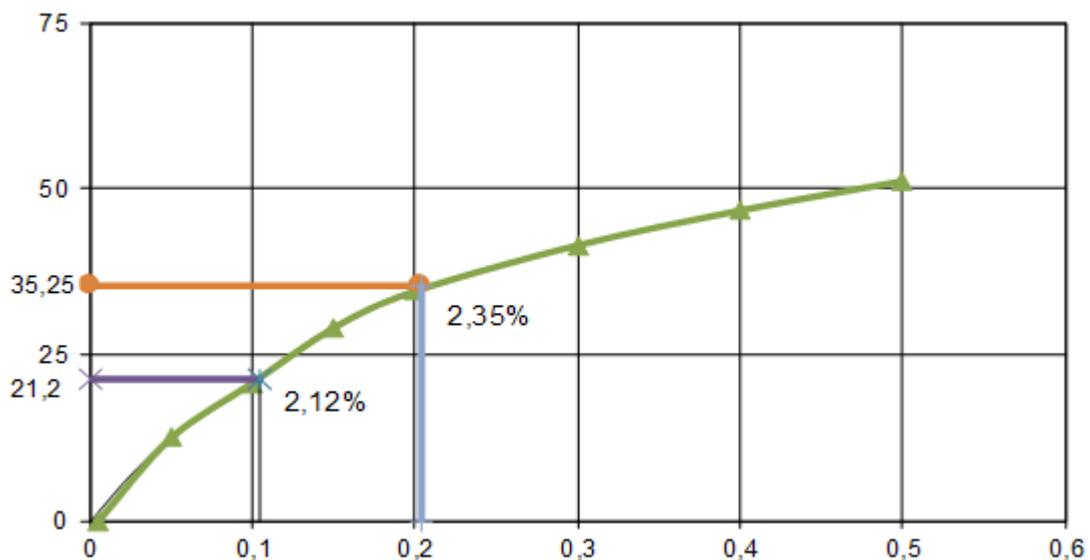


Gráfico 6 Ensayo de C.B.R

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 8 Ensayo de C.B.R

C.B.R. PENETRACIÓN							
Calicata 1			Muestra 1				
Molde No: 5		Peso del molde: 6.95 Kg		Volumen del molde (V): 2332.81 cm³			
No. golpes por capa 12			No. capas 5		Peso del martillo: 4.54 Kg		
Altura de caída: 45.7 cm							
Número de ensayo		1	2	3	1	2	3
		Carga de penetración en libras			Carga de penetración en kilogramos		
0.635 mm	(0.025")	7.82			3.56		
1.27 mm	(0.05")	13.59			6.18		
2.54 mm	(0.10")	24.31			11.05		
3.81 mm	(0.15")	33.63			15.29		
5.08 mm	(0.20")	42.45			19.30		
7.62 mm	(0.30")	50.70			23.04		
10.16 mm	(0.40")	56.47			25.67		
12.70 mm	(0.50")	60.59			27.54		
		Carga unitaria en lb/pulg²			Carga unitaria en kg/cm²		
0.635 mm	(0.025")	2.61			0.18		
1.27 mm	(0.05")	4.53			0.32		
2.54 mm	(0.10")	8.10			0.57		
3.81 mm	(0.15")	11.21			0.79		
5.08 mm	(0.20")	14.15			0.99		
7.62 mm	(0.30")	16.90			1.19		
10.16 mm	(0.40")	18.82			1.32		
12.70 mm	(0.50")	20.20			1.42		
C.B.R.: 0.96%		Hinchamiento: 6.18%		Para: 5.08 mm de penetración			

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

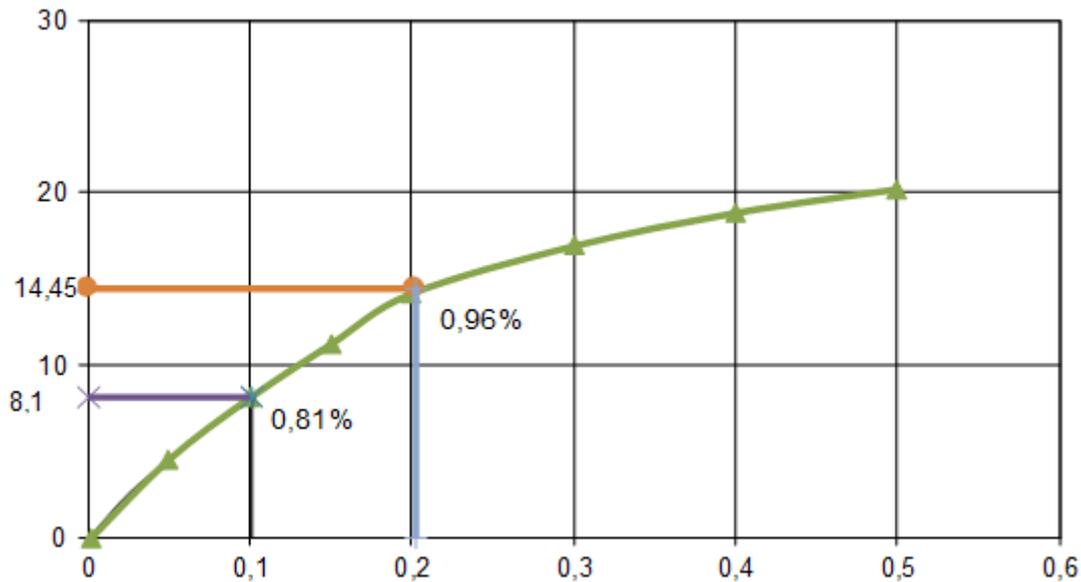


Gráfico 7 Ensayo de C.B.R

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 9 Ensayo de C.B.R. diseño

ENSAYO DE C.B.R. DISEÑO										
Calicata: 1					Muestra: 1					
w Promedio (%)	17.24	19.82	22.66	25.46	Número de golpes	12	25	56	95%	100%
Peso unit. Seco Kg/m³	1.317	1.363	1.371	1.338	Peso unit. Seco Kg/m³	1.196	1.263	1.332	1.304	1.373
					C.B.R. (%)	0.96	2.35	3.67	3.12	4.38
Resultados: ASTM D 1557					Peso unitario seco: 1.373 kg/m ³					
					Contenido de agua optimo: 21.8%					

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 10 Ensayo de clasificación material Toba triturada

NORMAS ASTM D2487, D2216, D4318, D422						
Especificaciones para mejoramiento				Limite Liquido ≤36	Índice de Plasticidad ≤9	
Valor de	P. Húmedos + capsula	+	P. Seco + capsula	Peso Capsula	W%	Resultados
1. Contenido de agua	101.29		99.74	17.16	1.88	2
2. Limite Liquido	NO PLASTIC					NP
3. Limite Plástico	NO PLASTIC					NP
4. Granulometría				5. Resumen		
Peso inicial húmedo para cálculos				4000.00	% de grava	16
Peso inicial seco para cálculos				3926.30	% de arena	82
Tamiz	Pes. Ret parcial	% Retenido acumulado	% que pasa	Mejoramiento rango %	% de finos	
4"				100	Limite Liquido (LL)	0
1 ½"					Limite Plástico (LP)	0
1"					Índice Plástico (IP)	0
¾"					% Humedad (W)	2
3/8"					6. Clasificación	
No. 4	612.00	15.56	84.4		SUCS	SW
No. 10					AASHTO	A-1-a
No. 40					IG (86)	0
No. 200	3219.00	97.57	2.4	0-20	IG (45)	0
7. Descripción				Arena con grava, gris clara		

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Ensayo de clasificación de la mezcla del material existente con 15% de Toba triturada.

Tabla 11 Ensayo de clasificación material existente 85% y Toba triturada 15%

NORMAS ASTM D2487, D2216, D4318, D422						
Especificaciones para mejoramiento				Limite Liquido ≤ 36	Índice de Plasticidad ≤ 9	
Valor de		P. Húmedos + capsula	P. Seco + capsula	Peso Capsula	W%	
1. Contenido de agua		243.78	217.74	38.76	14.55	
2. Limite Liquido	Golpes					
	34	23.76	18.65	8.65	51.10	
	26	24.87	19.57	9.58	52.95	
	20	22.65	18.03	9.54	54.42	
	16	23.94	19.00	10.13	55.89	
3. Limite Plástico			17.55	15.63	8.44	26.70
			17.49	15.61	8.76	27.45
			18.04	16.12	9.17	27.63
4. Granulometría				5. Resumen		
Peso inicial húmedo para cálculos			387.28	% de grava	24	
Peso inicial seco para cálculos			290.43	% de arena	27	
Tamiz	Pes. Ret parcial	% Retenido acumulado	% que pasa	Especificaciones Mejoramiento	% de finos	
4"		0.0	100	100	Limite Liquido (LL)	53
1 1/2"					Limite Plástico (LP)	27
1"					Índice Plástico (IP)	26
3/4"					% Humedad (W)	15
3/8"					6. Clasificación	
No. 4	421.00	24.1	75.9		SUCS	CH
No. 10					AASHTO	A-7-6
No. 40					IG (86)	9
No. 200	478.00	51.5	48.5	2-20	IG (45)	9
7. Descripción				Arena arcillosa gris clara		

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

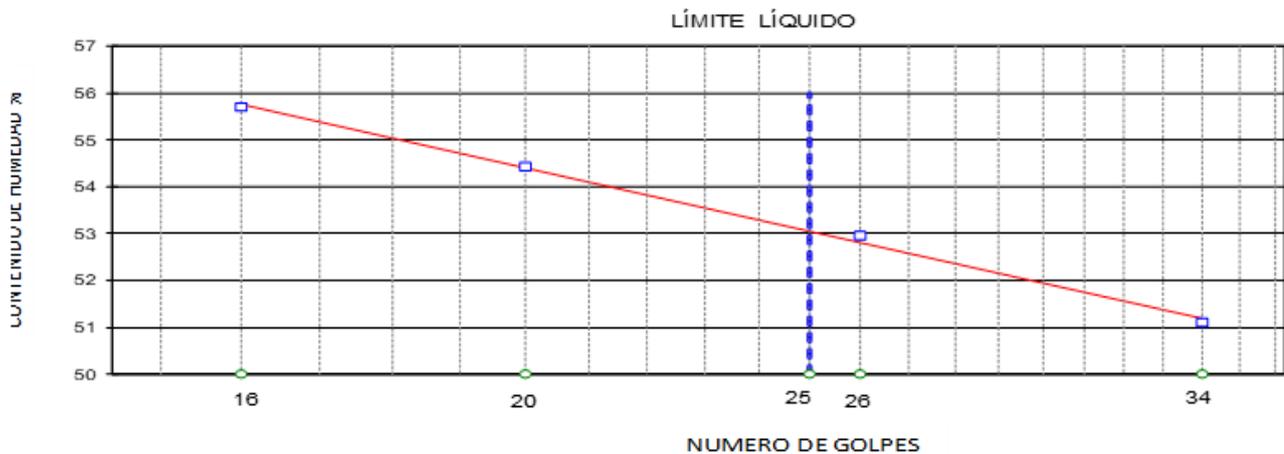


Gráfico 8 Ensayo de clasificación material existente 85% y Toba triturada 15%

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Ensayo de clasificación mezcla del material existente con 25% de Toba triturada

Tabla 12 Ensayo de clasificación material existente 75% y Toba triturada 25%

NORMAS ASTM D2487, D2216, D4318, D422						
Especificaciones para mejoramiento				Limite Liquido ≤ 36	Índice de Plasticidad ≤ 9	
Valor de		P. Húmedos + capsula	P. Seco + capsula	Peso Capsula	W%	
1. Contenido de agua		238.45	218.83	32.45	10.53	
2. Limite Liquido	Golpes					
	34	21.32	18.18	9.17	34.85	
	26	23.87	20.08	9.73	36.62	
	20	24.35	19.98	8.71	38.78	
	16	22.97	19.00	9.12	40.18	
3. Limite Plástico		18.33	16.42	9.54	27.76	
		16.98	15.31	9.33	27.93	
		17.82	16.04	9.74	28.25	
4. Granulometría				5. Resumen		
Peso inicial húmedo para cálculos			2000.00	% de grava	27	
Peso inicial seco para cálculos			1809.51	% de arena	62	
Tamiz	Pes. Ret parcial	% Retenido acumulado	% que pasa	Especificaciones Mejoramiento	% de finos	21
4"		0.0	100	100	Limite Liquido (LL)	37
1 1/2"					Limite Plástico (LP)	28
1"					Índice Plástico (IP)	9
3/4"					% Humedad (W)	11
3/8"					6. Clasificación	
No. 4	481.20	26.6	73.4		SUCS	CH
No. 10					AASHTO	A-2-4
No. 40					IG (86)	0
No. 200	943.70	78.7	21.3	2-20	IG (45)	0
7. Descripción				Arena limosa arcillosa gris clara		

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

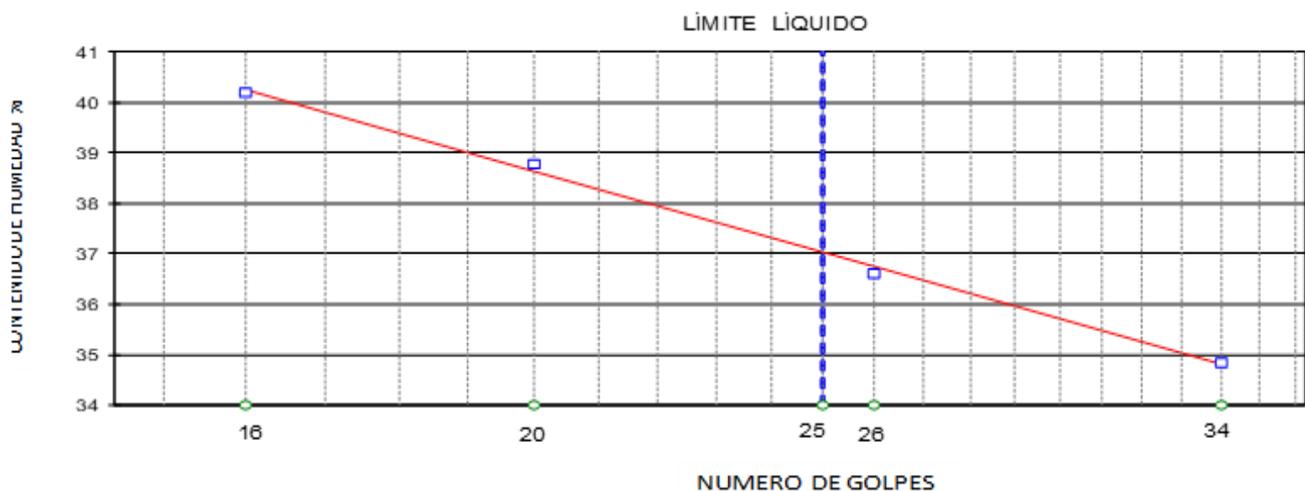


Gráfico 9 Ensayo de clasificación material existente 75% y Toba triturada 25%

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Ensayo de clasificación mezcla del material existente con 30% de Toba triturada

Tabla 13 Ensayo de clasificación material existente 70% y Toba triturada 30%

NORMAS ASTM D2487, D2216, D4318, D422						
Especificaciones para mejoramiento				Limite Liquido ≤ 36	Índice de Plasticidad ≤ 9	
Valor de		P. Húmedos + capsula	P. Seco + capsula	Peso Capsula	W%	
1. Contenido de agua		232.87	218.87	37.86	7.73	
2. Limite Liquido	Golpes					
	34	23.55	20.48	9.45	27.83	
	26	24.76	21.16	8.96	29.51	
	20	21.56	18.72	9.54	30.94	
	16	22.59	19.35	9.34	32.37	
3. Limite Plástico			17.73	16.02	8.44	22.56
			17.98	16.44	9.53	22.29
			17.41	15.82	8.72	22.39
4. Granulometría				5. Resumen		
Peso inicial húmedo para cálculos			2000.00	% de grava	25	
Peso inicial seco para cálculos			1809.51	% de arena	61	
Tamiz	Pes. Ret parcial	% Retenido acumulado	% que pasa	Especificaciones Mejoramiento	% de finos	14
4"		0.0	100	100	Limite Liquido (LL)	30
1 1/2"					Limite Plástico (LP)	22
1"					Índice Plástico (IP)	7
3/4"					% Humedad (W)	8
3/8"					6. Clasificación	
No. 4	467.00	25.2	74.8		SUCS	SC
No. 10					AASHTO	A-2-4
No. 40					IG (86)	0
No. 200	1134.00	86.2	13.8	2-20	IG (45)	0
7. Descripción				Arena arcillosa gris clara		

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

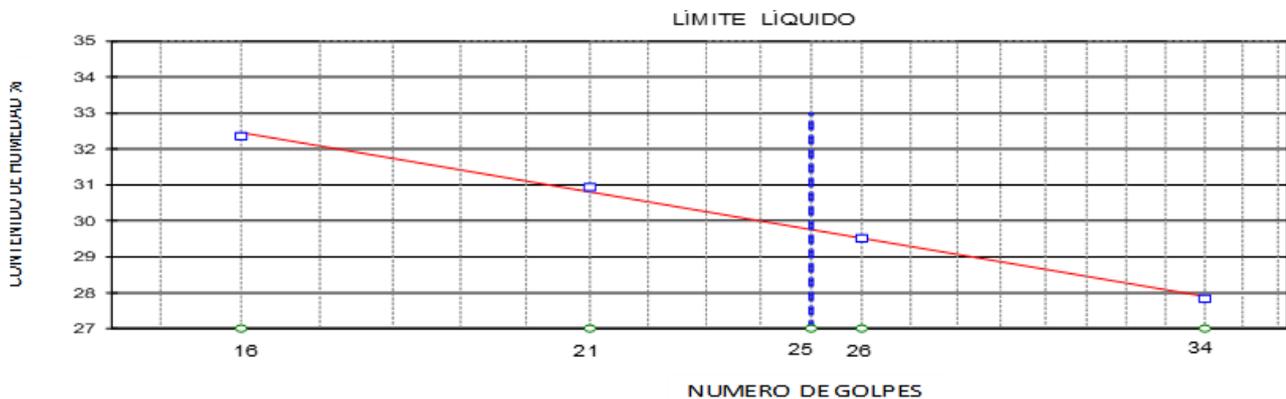


Gráfico 10 Ensayo de clasificación material existente 70% y Toba triturada 30%
Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Ensayo de proctor y C.B.R. a la mezcla 70% de arcilla y 30% de Toba triturada

Tabla 14 Ensayo de proctor material existente 70% y Toba triturada 30%

ASTM D 1557										
1. Norma y ensayo	Procedimiento A					2. Datos del molde				
Golpe/capa	25					Diámetro	10.16 cm			
No. de capas	5					Volumen	932 cm ³			
Material pasa el tamiz	#4					Peso	3.080 gr			
Peso del martillo	4.5 kg		3. Descripción/SUCS			Arena arcillosa gris clara.				
Altura de caída	45.7 cm					SC				
4. Datos para la curva										
Punto No.	1		2		3		4		5	
Peso suelo + molde	4.656		4.949		5.101		5.057		4.842	
Peso suelo	1.576		1.869		2.021		1.977		1.762	
Densidad humedad	1.690		2.005		2.168		2.120		1.890	
5. Contenidos de agua										
P. Suelos hum. + cap.	94.32	94.32	84.55	84.55	94.82	94.82	78.49	78.49	103.52	103.52
P. Suelos seco + cap.	90.34	90.34	79.67	79.97	88.06	88.06	72.33	72.33	93.49	93.49
P. Capsulas	18.33	18.33	17.58	17.58	18.39	18.39	18.26	18.26	18.33	18.33
w (%)	5.53	5.53	7.34	7.34	9.70	9.70	11.39	11.39	13.34	13.34
w Promedio (%)	5.53		7.34		9.70		11.39		13.34	
Peso Unit. Seco	1.602		1.868		1.976		1.904		1.667	
6. Resultados	Peso unitario seco					1.978 kg/m ³				
	Contenido de agua optimo					9.6 %				

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Curva de Compactación

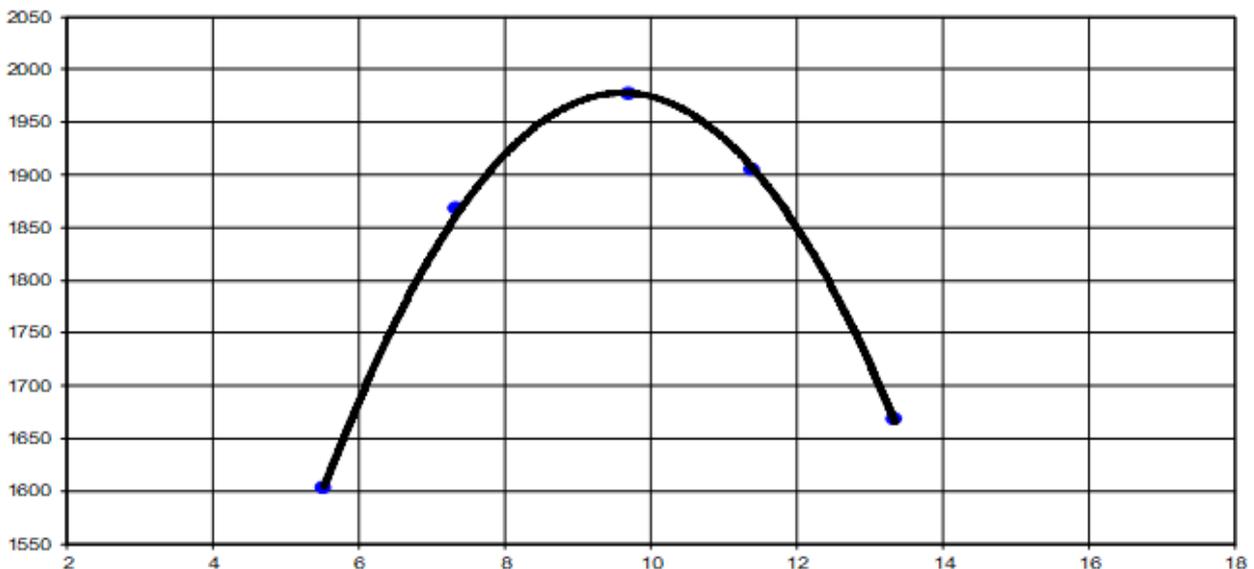


Gráfico 11 Ensayo de proctor material existente 70% y Toba triturada 30%

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 15 Ensayo de C.B.R. material existente 70% y Toba triturada 30%

DATOS DE COMPACTACIÓN DEL SUELO PARA ENSAYOS C.B.R.								
ASTM D 1557		Sobrecarga: 4.54 Kgr			Humedad de la muestra 18.32%			
Humedad óptima: 9.60%		Densidad Máxima Seca 1978 Kgr/m ³			Calicata		Muestra 1	
LL= 30		LP =23		IP =7		Profundidad:		
CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO DE LA MUESTRA DE ENSAYO.								
Molde No.		5		V		L		
No. de capas		5		5		5		
No. de golpes por capas		56		25		12		
ESTADO DE LA MUESTRA		Antes de sumergir	Después de sumergir	Antes de sumergir	Después de sumergir	Antes de sumergir	Después de sumergir	
Peso muestra húmeda + molde (gr)		12173	12384	12675	12841	11253	11305	
Peso del molde (gr)		7026		7834		6945		
Peso de muestra húmeda (gr)		5147	5358	4841	5007	4308	4360	
Volumen muestra (cm ³)		2362.19	2386.16	2374.57	2399.08	2332.81	2357.55	
Peso unitario húmedo (gr/cm ³)		2.179	2.245	2.039	2.087	1.847	1.849	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA		Humedad inicial	Humedad final	Humedad inicial	Humedad final	Humedad inicial	Humedad final	
Recipiente No.		q	h	t	A	f	g	
Peso muestra húmeda + tarro (gs)		66.21	76.71	98.43	74.65	88.94	86.73	
Peso de la muestra seca + tarro(g)		61.95	68.76	91.12	66.86	82.66	78.07	
Peso del agua (gs)		4.26	7.95	7.31	7.79	6.28	8.66	
Peso del tarro (gs)		17.63	17.32	17.63	17.34	17.54	17.43	
Peso de la muestra seca (gs)		44.32	51.44	73.49	49.52	65.12	60.64	
Contenido de la humedad promedio (%)		9.61%	15.45%	9.95%	15.73%	9.64%	14.28%	
Peso unitario seco (gr/cm ³)		1987.84	1944.87	1854.24	1803.36	1684.27	1618.27	
Porcentaje de compactación		100.50%	98.33%	93.33%	91.17%	85.15%	81.81%	
DATOS DEL ESPONJAMIENTO (HINCHAMIENTO)								
Dia del mes	Hora del día	Inter. de Tiempo en hora	Molde No. 5		Molde No. V		Molde No. L	
			Esponjamiento		Esponjamiento		Esponjamiento	
			Lectura del indicador (pulg)	%	Lectura del indicador (pulg)	%	Lectura del indicador (pulg)	%
11/3/2021	09H00	0	0.0000	0.0%	0.0000	0.0%	0.0000	0.0%
	10H00	1		0.0%		0.0%		0.0%
	11H00	2		0.0%		0.0%		0.0%
	13H00	4		0.0%		0.0%		0.0%
	17H00	8		0.0%		0.0%		0.0%
12/3/2021	09H00	24		0.0%		0.0%		0.0%
	21H00	36		0.0%		0.0%		0.0%
13/3/2021	09H00	48		0.0%		0.0%		0.0%
14/3/2021	09H00	72		0.0%		0.0%		0.0%
15/3/2021	09H00	96	0.0465	1.0%	0.0473	1.0%	0.0486	1.1%

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 16 Ensayo de C.B.R. material existente 70% y Toba triturada 30%

C.B.R. PENETRACIÓN								
Calicata			Muestra 1					
Molde No: 5		Peso del molde: 7.03 Kg		Volumen del molde (V): 2362.19 cm³				
No. golpes por capa 56			No. capas 5		Peso del martillo: 4.54 Kg			
Número de ensayo			1	2	3	1		
			Carga de penetración en libras			Carga de penetración en kilogramos		
0.635 mm	(0.025")	21.01				9.55		
1.27 mm	(0.05")	235.46				107.03		
2.54 mm	(0.10")	722.58				328.45		
3.81 mm	(0.15")	1102.72				501.24		
5.08 mm	(0.20")	1408.62				640.28		
7.62 mm	(0.30")	1739.36				790.62		
10.16 mm	(0.40")	1970.86				895.85		
12.70 mm	(0.50")	2111.40				959.73		
			Carga unitaria en lb/pulg²			Carga unitaria en kg/cm²		
0.635 mm	(0.025")	7.00				0.49		
1.27 mm	(0.05")	78.49				5.52		
2.54 mm	(0.10")	240.86				16.93		
3.81 mm	(0.15")	367.57				25.84		
5.08 mm	(0.20")	469.54				33.00		
7.62 mm	(0.30")	579.79				40.75		
10.16 mm	(0.40")	656.95				46.18		
12.70 mm	(0.50")	703.80				49.47		
C.B.R.: 33.00%		Hinchamiento: 1.01%		Para: 2.54 mm de penetración				

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

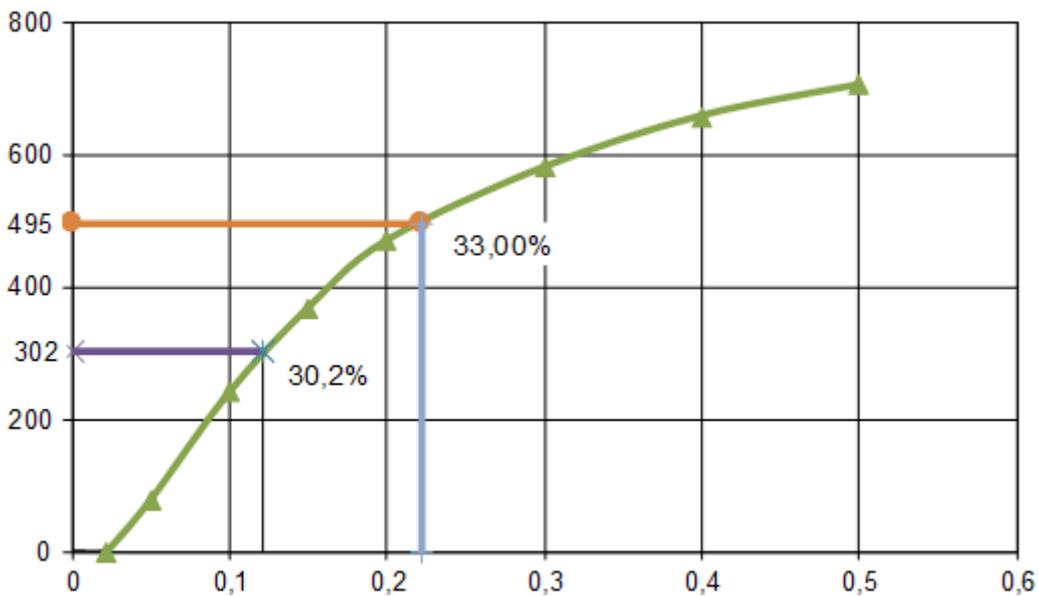


Gráfico 12 Ensayo de C.B.R. material existente 70% y Toba triturada 30%

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 17 Ensayo de C.B.R. material existente 70% y Toba triturada 30%

C.B.R. PENETRACIÓN							
Calicata			Muestra 1				
Molde No: V		Peso del molde: 7.85 Kg		Volumen del molde (V): 2374.57 cm³			
No. golpes por capa 25		No. capas 5		Peso del martillo: 4.54 Kg		Altura de caída: 45.7 cm	
Número de ensayo		1	2	3	1	2	
		Carga de penetración en libras			Carga de penetración en kilogramos		
0.635 mm	(0.025")	45.75			20.79		
1.27 mm	(0.05")	309.72			140.78		
2.54 mm	(0.10")	681.28			309.67		
3.81 mm	(0.15")	995.27			452.40		
5.08 mm	(0.20")	1292.87			587.67		
7.62 mm	(0.30")	1598.79			726.72		
10.16 mm	(0.40")	1747.63			794.38		
12.70 mm	(0.50")	1846.85			839.48		
		Carga unitaria en lb/pulg²			Carga unitaria en kg/cm²		
0.635 mm	(0.025")	15.25			1.07		
1.27 mm	(0.05")	103.24			7.26		
2.54 mm	(0.10")	227.09			15.96		
3.81 mm	(0.15")	331.76			23.32		
5.08 mm	(0.20")	430.96			30.29		
7.62 mm	(0.30")	532.93			37.46		
10.16 mm	(0.40")	582.54			40.95		
12.70 mm	(0.50")	615.62			43.27		
C.B.R.: 29.73%		Hinchamiento: 1.03%		Para: 5.08 mm de penetración			

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

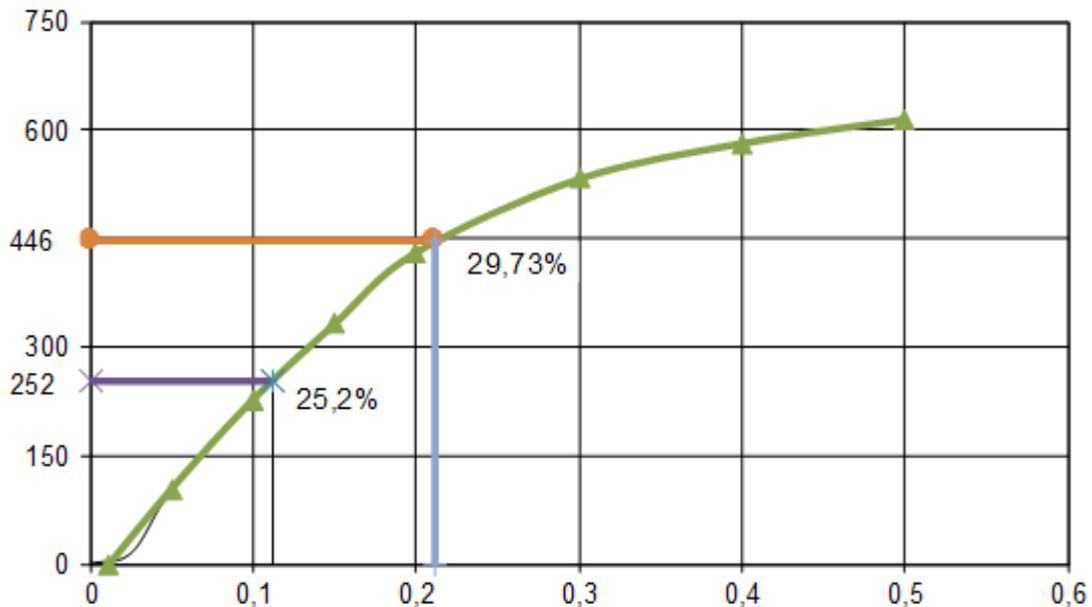


Gráfico 13 Ensayo de C.B.R. material existente 70% y Toba triturada 30%

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 18 Ensayo de C.B.R. material existente 70% y Toba triturada 30%

C.B.R. PENETRACIÓN						
Calicata			Muestra 1			
Molde No: L		Peso del molde: 6.95 Kg		Volumen del molde (V): 2332.81 cm³		
No. golpes por capa 5			No. capas 5		Peso del martillo: 4.54 Kg	
Número de ensayo			1	2	3	1
			2	3	2	3
			Carga de penetración en libras			Carga de penetración en kilogramos
0.635 mm	(0.025")	37.50			17.05	
1.27 mm	(0.05")	194.21			88.28	
2.54 mm	(0.10")	524.36			238.34	
3.81 mm	(0.15")	854.78			388.54	
5.08 mm	(0.20")	1102.72			501.24	
7.62 mm	(0.30")	1375.55			625.25	
10.16 mm	(0.40")	1524.38			692.90	
12.70 mm	(0.50")	1656.67			753.03	
			Carga unitaria en lb/pulg²			Carga unitaria en kg/cm²
0.635 mm	(0.025")	12.50			0.88	
1.27 mm	(0.05")	64.74			4.55	
2.54 mm	(0.10")	174.79			12.29	
3.81 mm	(0.15")	284.93			20.03	
5.08 mm	(0.20")	367.57			25.84	
7.62 mm	(0.30")	458.52			32.23	
10.16 mm	(0.40")	508.13			35.72	
12.70 mm	(0.50")	552.22			38.82	
C.B.R.: 25.73%		Hinchamiento: 1.06%		Para: 5.08 mm de penetración		

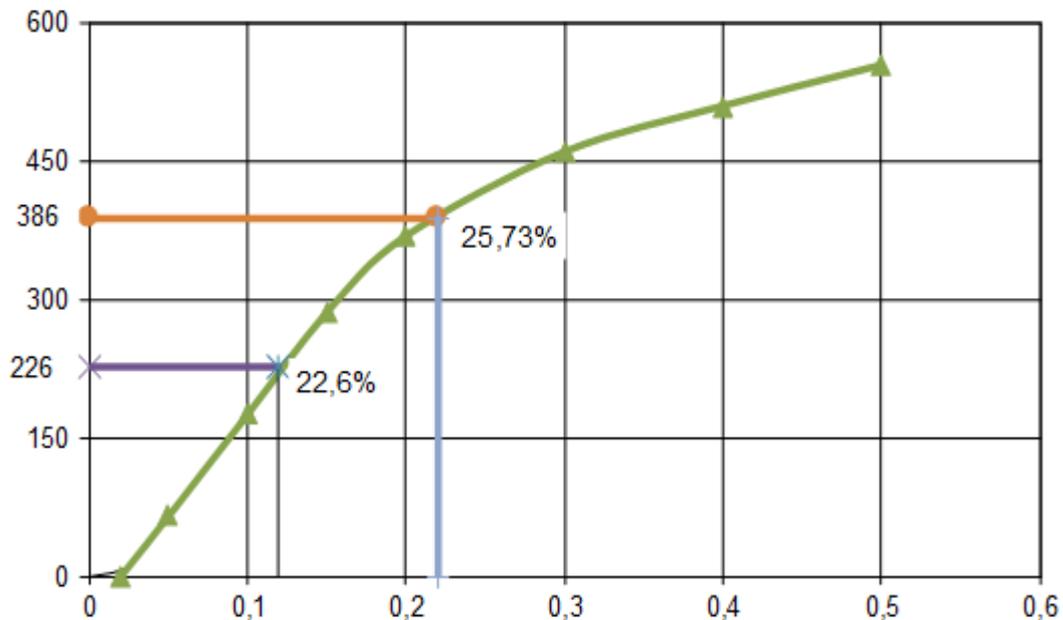


Gráfico 14 Ensayo de C.B.R. material existente 70% y Toba triturada 30%
Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Tabla 19 Ensayo de C.B.R. Diseño material existente 70% y Toba triturada 30%

ENSAYO DE C.B.R. DISEÑO											
Calicata: 1						Muestra: 1					
w Promedio (%)	5.53	7.34	9.70	11.39	13.24	Número de golpes	12	25	56	95%	100%
Peso unit. Seco Kg/m³	1.602	1.868	1.976	1.904	1.667	Peso unit. Seco Kg/m³	1.618	1.803	1.945	1.879	1.978
						C.B.R. (%)	25.73	29.73	33.00	31.50	33.80
Resultados: ASTM D 1557						Peso unitario seco: 1.978 kg/m ³					
						Contenido de agua optimo: 9.6%					

Curva de Compactación

Fuente: Laboratorio Ruffilli de la Universidad de Guayaquil.

Análisis del proceso de los ensayos

Para demostrar la estabilización del estrato del suelo expansivo se realizaron algunos ensayos en el laboratorio de la Facultad de ingeniería civil Arnaldo Ruffini, se realizaron tres calicatas a cielo abierto para obtener muestra de suelo y elaborar los ensayos de clasificación, los resultados obtenidos determinaron que es un mismo estrato, por ese motivo se elaboró un solo ensayo de proctor y C.B.R. del material más representativo, obteniendo los resultados de los ensayos de límites líquido y plástico, se procedió a triturar la toba volcánica para mezclarlo con la arcilla utilizándolo como un

estabilizador de suelo y obtener resultados que estén dentro de las especificaciones técnicas para material de mejoramiento, la mezcla de la toba volcánica y el suelo se le realizaron los ensayo de proctor y C.B.R. se calculó el porcentaje de expansión que tendría la mezcla de arcilla con Toba

El ensayo de clasificación al material existente dio su límite líquido 86%, el índice de plasticidad 51% y el pasante del tamiz 200-80%, su clasificación SUCS CH (arcilla limosa negra plástica), el ensayo de clasificación a la Toba triturada su límites es N-P (no plástico) el pasante del tamiz 200 es 2,4% con estos datos

obtenidos se procedió a realizar la mezcla de estos dos materiales hasta tener resultados que cumplan con las especificaciones recomendadas.

La primera mezcla se le agrego el 15% de Toba triturada y el 85% de arcilla limosa negra, obteniendo el límite líquido 53%, el índice de plasticidad 26% y el pasante del tamiz 200 48%, su clasificación SUCS SC (arena arcillosa gris claro), como no cumple con lo requerido se realizó otro ensayo más con un porcentaje mayor.

La segunda mezcla se le agrego el 30% de Toba triturada y el 70% de arcilla limosa negra, obteniendo el límite líquido 30%, el índice de plasticidad 7% y el pasante del tamiz 200 13,8%, su clasificación SUCS SC (arena arcillosa gris claro), con esta mezcla se obtuvieron valores que están dentro de lo permitido para utilizarlo como material de mejoramiento, por este motivo a esta mezcla se le realizó los ensayos de Proctor y C.B.R. para comprobar si con este porcentaje de mezcla mejora su comportamiento mecánico y se puede utilizar esta dosificación, el resultado de la densidad seca máxima es 1.978 Kg/cm³, el C.B.R. 33,8% y el esponjamiento 1,01%.

Conclusión.

Para determinar la plasticidad del suelo expansivo, se realizó una calicata a cielo abierto para determinar los ensayos de clasificación proctor y C.B.R. al material existente, el límite líquido es del 86%, su índice de plasticidad es de 51%, el pasante del tamiz 200 es del 80% el ensayo del proctor su densidad máxima es de 1.373 kg/m³, su humedad óptima es de 21,8% y el ensayo de B.B.R. al 100% de compactación es de 4,38% su porcentaje de expansión o hinchamiento es del 6%, con estos resultados se puede determinar que es un material expansivo

no apto para cimentar sobre este estrato, por eso para reducir su plasticidad y expansión se lo mezcló con la toba triturada.

Para realizar el proceso de trituración a la Toba volcánica para mejorar su gradación y su mezcla sea más homogénea, a esta trituración se le realizó los ensayos de clasificación dando como resultado los límites N-P el pasante del tamiz 200 es de 2,4%, el pasante del tamiz N° 4 es 84%, con este material triturado se mezcló con el material existente como es la arcilla limosa negra, el porcentaje que se utilizó para su mezcla es del 15 y 30 por ciento de la Toba triturada, a cada mezcla se le realizó el ensayo de clasificación para determinar si está dentro de las normas requeridas y ser considerada como un material de mejoramiento que es apto para disminuir su expansión.

Para el cálculo del C.B.R. de la mezcla y la revisión de los resultados de plasticidad se realizaron dos clasificaciones de la mezcla una con el 15% de Toba triturada con el 85% de arcilla obteniendo resultados de límite líquido de 53%, índice de plasticidad de 26%, el pasante del tamiz 200 es del 48%. Su clasificación SUCS es SC (arena arcillosa gris clara), no cumple las especificaciones para material de mejoramiento que es de límite líquido menor al 36%, índice de plasticidad menor a 9%, pasante del tamiz 200 menor al 20% y el C.B.R. mayor al 20% el hinchamiento o expansión debe ser menor al 4% de una carga referencial a la estructura de pavimento que es de 4,5 kg. Y su densidad de compactación mayor a 1400 Kg/m³, para ser considerado dentro de las Especificaciones del MTOP 804 normas, se realizó otra mezcla con el 30% de toba triturada y 70% de arcilla dando un límite líquido 30%, un índice de plasticidad de 7% el pasante del tamiz 200 de 14%, esta mezcla cumple con la especificación y su densidad

máxima es de 1,978 Kg/m³ y su C.B.R. es de 33,8% y su hinchamiento es de 1%.

Con lo expuesto es muy importante utilizar elementos innovadores en este caso los estabilizadores de suelo como es la toba volcánica triturada permiten mejorar los suelos expansivos y darle una utilidad adecuada a este material, con esta combinación el 30% de Toba triturada se ha disminuido considerablemente su expansión dando estabilidad a cualquier estructura asentada sobre este material mezclado, claro esto depende también de la descarga que tenga la estructura.

Referencias Bibliográficas

- Arroyo-Solórzano, M. Q.-R.-B. (2021). Unidades morfotectónicas-volcánicas del sector noroeste del volcán Poás, Costa Rica.
- Cupuerán Yáñez, M. I. (2016). Toba volcánica (1.22. 128).
- Iza, R. D. (2021). Análisis de suelos utilizando redes neuronales en las florícolas de Rosas

del Sector Norte de la Provincia de Cotopaxi. RECIMUNDO, 5(2), 316-330.

- Kassab, C. M. (2021). Estudio de la actividad reactiva y resistencia mecánica de la cal con residuo de toba volcánica en morteros.
- Lopez, S. D. (2020). Estudio experimental de la formación de interés tratificados esmectita-ilita por alteración hidrotermal de una toba volcánica (Doctoral dissertation, Universidad de Granada).
- Olivera Delgado, J. A. (2021). Influencia de la interacción suelo-estructura en el análisis y diseño estructural de edificios de concreto armado, Urb. Álamos, Wánchaq, Cusco-2021.
- Tacca Huaracca, J. A. (2021). Estabilización de suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante, Vía de evitamiento, Abancay–Apurímac, 2021.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright (c) Francisco Andrés Giler Zambrano y Rodolfo Andrés Robles Cedeño

