



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULACIÓN DE INGENIERO CIVIL

Caracterización de los materiales de subrasante en zonas no urbanizadas de la ciudad de Loja, aplicadas a obras de infraestructura vial en el polígono denominado “Carigán”

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTOR: Tirado Jaya, Carlos Alberto

DIRECTOR: Tapia Chávez, Ángel Guillermo

LOJA – ECUADOR

2015

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Ingeniero.

Ángel Guillermo Tapia Chávez.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: Caracterización de los materiales de subrasante en zonas no urbanizadas de la ciudad de Loja, aplicadas a obras de infraestructura vial en el polígono denominado "Carigán", realizado por el profesional en formación Tirado Jaya Carlos Alberto, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Después de la revisión, análisis, y corrección respectiva, autorizo su presentación para la defensa y sustentación del proyecto de fin de titulación.

Loja, marzo del 2015.

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Tirado Jaya Carlos Alberto, declaro ser autor del presente trabajo de fin de titulación: Caracterización de los materiales de subrasante en zonas no urbanizadas de la ciudad de Loja, aplicadas a obras de infraestructura vial en el polígono denominado “Carigán” de la Titulación de Ingeniero Civil, siendo el Ing. Ángel Guillermo Tapia Chávez director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f)

Autor: Tirado Jaya Carlos Alberto

Cédula: 1900511971

DEDICATORIA

Con amor y cariño a ese pilar tan fundamental en mi vida como lo ha sido toda mi familia: abuelos, tíos, primos, hermanos; sin su apoyo nada de lo que he logrado hasta el día de hoy hubiera sido posible.

A mis padres, a ellos principalmente por no haberse limitado nunca a la hora de darme las facilidades que como estudiante necesité a lo largo de toda mi vida académica, les expreso mis sentimientos de admiración, y dedico el presente trabajo.

AGRADECIMIENTO

A mi pequeña familia: Celso, Miriam, Byron y Lupe, por todo ese apoyo incondicional en los buenos y malos momentos de mi vida.

Al Ing. Ángel Tapia, por su guía y orientación, para culminar con éxito el presente proyecto de investigación.

A mis tíos Alexander y Rocío, por su esfuerzo y la ayuda desinteresada que me han ofrecido, especialmente a lo largo de esta etapa universitaria.

A mis compañeros de carrera, por convertirse en un apoyo fundamental en toda esta nueva vida académica.

A todas las personas que de una manera u otra estuvieron presentes en la consecución de esta primera meta, mis más sinceros agradecimientos

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ABREVIATURAS.....	viii
SIMBOLOGÍA.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESÚMEN EJECUTIVO.....	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES.....	3
1.1 Introducción.....	4
1.2 Objetivos.....	5
1.3 Problemática.....	6
1.4. Alcance y Organización.....	6
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Subrasante.....	8
2.2 Caracterización de materiales.....	12
2.3 Parámetros utilizados para la caracterización de la subrasante.....	12
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....	17
3.1 Introducción.....	18
3.2 Trabajo de gabinete.....	18
3.3 Trabajo de campo.....	21
3.4 Trabajo de laboratorio.....	26
3.5 Estudio de material de cantera.....	29
3.6 Elaboración de un mapa de zonificación de suelo.....	31
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	32
4.1 Contenido de humedad.....	33
4.2 Granulometría.....	34
4.3 Plasticidad.....	35
4.4 Clasificación.....	36
4.5 Compactación.....	38
4.6 CBR.....	39

4.7 Análisis de material de cantera	40
CONCLUSIONES	41
RECOMENDACIONES	42
BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXOS	44
CALICATA No. 3	45
CALICATA No. 4	53
CALICATA No. 5	61
CALICATA No. 9	70
CALICATA No. 10	79
CALICATA No. 11	87
CALICATA No. 12	96
CALICATA No. 19	104
CALICATA No. 20	112
CALICATA No. 21	120
CALICATA No. 22	128
CALICATA No. 23	136
CBR DE DISEÑO ZONAL	145
CANTERA SIN MEJORAMIENTO	146
CANTERA MEJORADA	148
MAPAS DE ZONIFICACIÓN	154
FOTOGRAFÍAS	156

ABREVIATURAS

Arc.Gis	Sistema y Análisis de la Información Geográfica.
Arc.Map	Análisis de Mapas.
A.A.S.T.H.O	American Association of State Highway and transportation Officials
C.A.D	Computer Aided Design (Dibujo Asistido por Ordenador).
C.B.R	Valor de Soporte de California
C.H	Contenido de Humedad
D.C.P	Penetrómetro Dinámico de Cono.
E	Este.
I.G	Índice de Grupo
L.L	Límite Líquido.
L.P	Límite Plástico.
Mr	Modulo resiliente
N	Norte.
P.I	Índice de Plasticidad.
U.C.G	Unidad Civil Geominera.
U.T.M	Universal Transverse Mercator. (Sistema de Coordenadas Transversal de Mercator).
U.T.P.L	Universidad Técnica Partícula de Loja.
W	Contenido de Humedad (%)

SIMBOLOGÍA

F	Porcentaje de suelo que pasa por la malla # 200.
qu	Resistencia a la comprensión simple.
Ha	Hectárea.
T	Tonelada.
m	Metro
mm	Milímetro
Psi	Libra-fuerza por pulgada cuadrada
in – plg	Pulgada
lb	Libra
kg	Kilogramo
MPa	Mega pascal
ln	Logaritmo natural
rpm	Revoluciones por minuto

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura de un pavimento.....	8
Figura 2: Deformaciones producidos en pavimentos rígidos y flexibles.....	10
Figura 3: Estados de consistencia de un suelo plástico.....	13
Figura 4: Variación del límite líquido e índice de plasticidad para los suelos de los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.....	16
Figura 5: Ubicación de la zona de estudio.....	19
Figura 6: Puntos de estudio seleccionados mediante triangulación.....	21
Figura 7: Profundidades de muestreo.....	23
Figura 8: Penetrómetro Dinámico de Cono.....	24
Figura 9: Resumen de acuerdo a la clasificación de las muestras estudiadas.....	36
Figura 10: Resumen de acuerdo al grupo de las muestras estudiadas.....	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de suelos según AASHTO.....	15
Tabla 2: Criterio para la ejecución de perforaciones en el terreno para definir un perfil de suelo.....	20
Tabla 3: Ecuaciones de correlación CBR-DCP.....	25
Tabla 4: Códigos de clasificación de acuerdo al grupo de suelo.....	31
Tabla 5: Códigos de clasificación de acuerdo al valor de CBR.....	31
Tabla 6: Resumen de contenidos de humedad, por calicata y por profundidad.....	33
Tabla 7: Resumen de ensayos de granulometría, por calicata y profundidad.....	34
Tabla 8: Resumen de plasticidad, por calicata y profundidad.....	35
Tabla 9: Resumen de clasificación de muestras.....	37
Tabla 10: Resumen de resultados de compactación.....	38
Tabla 11: Valores obtenidos de CBR por calicata, a 1.50 m de profundidad.....	39
Tabla 12: Resumen de ensayos de la cantera, y cantera mejorada.....	40

RESÚMEN EJECUTIVO

En el presente proyecto, se estudió y analizó la caracterización de los materiales de subrasante en zonas no urbanizadas de la ciudad de Loja, aplicadas a obras de infraestructura vial.

La caracterización consistió en el muestreo y ensayo de las muestras seleccionadas del polígono de estudio denominado “Carigán”, para obtener parámetros que permitieron clasificar al suelo dentro de grupos definidos por la norma AASHTO. Estos ensayos se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos de la Titulación de Ingeniero Civil de la Universidad Técnica Particular de Loja.

Así mismo se realizó el estudio de material de una cantera de la zona, con fines de mejorar la calidad de la subrasante mediante el proceso de mezclado.

Para concluir se elaboraron dos mapas, uno de acuerdo a la clasificación de la muestra estudiada, y otro con los resultados de capacidad portante.

PALABRAS CLAVES: Caracterización, muestreo, AASHTO, cantera, subrasante, capacidad portante.

ABSTRACT

Through this project, we will study and characterization of subgrade materials in non-urbanized areas of the city of Loja, applied to road infrastructure will be discussed.

The characterization consisted of sampling and testing of selected samples of the study area to obtain parameters for classifying land within groups defined by AASHTO. These tests were conducted in laboratory soil School of Civil Engineering of the Universidad Técnica Particular de Loja.

In addition the study of material from a Quarry purposes of improving the quality of the subgrade by the mixing process was performed.

To conclude, two maps classification, one according to the classification of the sample, and another with the results of bearing capacity were developed.

KEYWORDS: characterization, sampling, AASHTO quarry subgrade bearing capacity.

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1 Introducción.

En proyectos de construcción vial, es de gran importancia tener bien definidas las propiedades físicas y mecánicas que tiene la subrasante, que es el elemento de soporte de la estructura del pavimento, por lo que interesa conocer y cuantificar adecuadamente la calidad disponible de los suelos y sus propiedades, para ser utilizadas como parámetros del diseño y ser consideradas en las especificaciones técnicas del proyecto.

Por tales motivos, es necesario poder incluir valores de ensayos de determinación de sus propiedades para el control de calidad y para la verificación de los aspectos de construcción señalados para el proyecto, de manera que se pueda cumplir con los requisitos definidos para las cargas y cumplimiento de vida útil del pavimento.

En muchos casos las características de dichos materiales no cumplen con lo que se busca en ellos, sin embargo, se pueden realizar alteraciones en éstos para poder obtener las propiedades satisfactorias de un pavimento de excelentes condiciones, y por ende un transporte eficiente de pasajeros, turismo y productos. Por esta razón es de mucho interés verificar las propiedades de cada uno de los materiales utilizados y el desempeño que presentan al formar las capas del pavimento durante su proceso de construcción.

La determinación de las características y desempeño de los materiales se obtiene a partir de un conjunto de ensayos creados necesariamente para verificar que dichos materiales funcionen correctamente de acuerdo a rangos previamente establecidos en normas para condiciones similares.

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo General.

- Caracterizar los materiales de subrasante en zonas no urbanizadas de la ciudad de Loja, aplicadas a obras de infraestructura vial en el polígono denominado “Carigán” que está ubicado en las siguientes coordenadas en el DATUM PSAD 56:

A (694421.39 E ; 9564000.00 N)

B (696000.00 E ; 9564000.00 N)

C (696000.00 E ; 9562000.00 N)

D (694421.39 E ; 9562000.00 N)

E (694421.39 E ; 9562415.12 N)

F (694000.00 E ; 9562415.12 N)

G (694000.00 E ; 9562768.30 N)

H (694421.39 E ; 9562768.30 N)

1.2.2 Objetivos específicos.

- Realizar el muestreo y ensayo de los materiales de subrasante.
- Realizar la clasificación de los materiales de acuerdo a las normas AASHTO.
- Identificar las propiedades de capacidad de soporte a nivel de subrasante.
- Generar un mapa de zonificación de acuerdo a los parámetros físicos-mecánicos del suelo.

1.3 Problemática.

La ciudad de Loja afronta un problema que viene haciéndose común a nivel nacional: el desarrollo urbano no organizado dentro de áreas de expansión, trayendo como resultado la necesidad de dotación de servicios a estos nuevos grupos poblacionales.

Uno de los primeros servicios que se deben proveer son las vías de comunicación, ya que estas son las principales arterias de desarrollo para cualquier comunidad, y muchas veces por la falta de planificación, o falta de conocimiento de las propiedades del suelo de la zona, se realizan obras viales sin el apropiado diseño, produciéndose deterioros a corto o mediano plazo, dejándolas muchas veces en pésimo estado, y en algunos casos intransitables.

Debido a los problemas expuestos, surge la necesidad de estudiar las características y propiedades de los suelos a nivel de subrasante que se encuentran en las diferentes zonas de expansión de la ciudad, con lo cual se contará con la información necesaria para una planificación de infraestructura urbana bien establecida de acuerdo a las ordenanzas Municipales y normativas de diseño AASHTO.

1.4. Alcance y Organización.

El Capítulo 2: “Marco Teórico”, se centra en explicar los conceptos usados, tales como definiciones de la subrasante, caracterización de los materiales, los ensayos que nos sirven para determinar los parámetros de clasificación de un suelo, así como una breve explicación de los sistemas de clasificación utilizados.

En el Capítulo 3: “Metodología”, se presenta la metodología utilizada para llevar a cabo la investigación, los subcapítulos en que se la dividió, así como un resumen de cada uno de ellos: se expone el proceso de selección de muestras y lugares de estudio (trabajo de gabinete), recolección de muestras y ensayos in-situ (trabajo de campo), se presenta también información de la ejecución de los ensayos y procesos de cálculo (trabajo de laboratorio); estudio de una cantera seleccionada para el mejoramiento de la calidad de los suelos de la zona de estudio, y por último el procedimiento seguido para la elaboración del mapa de zonificación geotécnica.

Finalmente en el Capítulo 4: “Análisis de Resultados” se muestra un breve análisis de los resultados obtenidos, así como tablas de resumen de los ensayos.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Subrasante.

2.1.1 Definición.

Se define como la capa de suelo de una vía que resiste las cargas transmitidas por el paquete estructural del pavimento. Esta capa puede ser producida por procesos de corte o relleno, y una vez compactada debe cumplir con las características contempladas en los respectivos documentos de diseño.

El espesor de la capa de rodadura dependerá en gran parte de las propiedades de la subrasante, por lo que ésta debe satisfacer los requerimientos especificados de expansión, resistencia, incompresibilidad y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño del paquete estructural de un pavimento se basa en el ajuste de las cargas previstas por el tránsito a la capacidad de soporte de la subrasante.

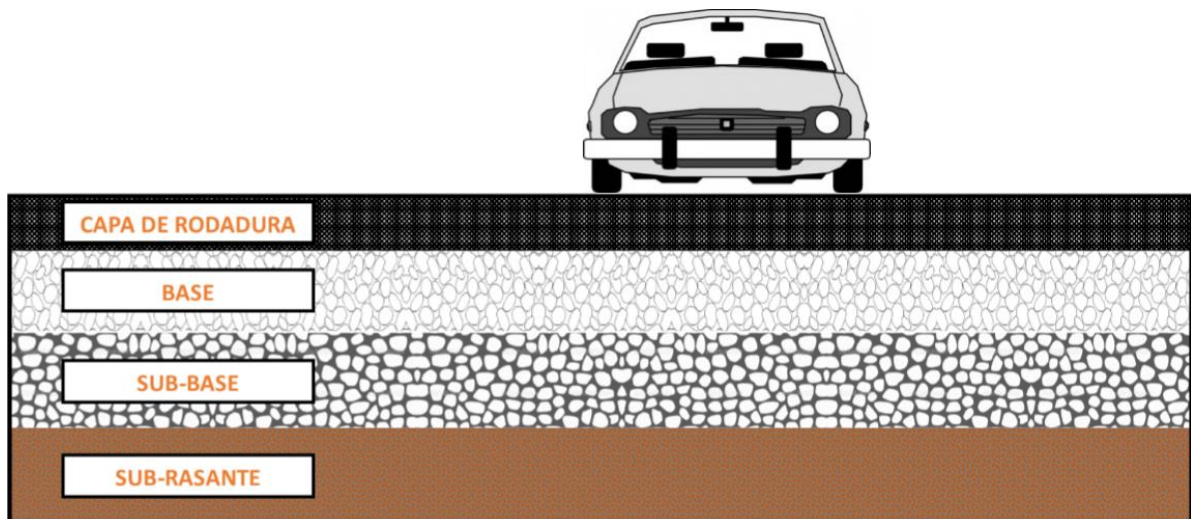


Figura 1: Estructura de un pavimento
Fuente: Montejo Fonseca Alfonso, Ingeniería de Pavimentos.

2.1.2 Propiedades características de la subrasante.

2.1.2.1 Propiedades físicas:

Utilizadas para selección de materiales y especificaciones técnicas de construcción, estas propiedades son:

- Tamaño de las partículas (Granulometría).
- Plasticidad (Límite líquido, límite plástico).
- Contenido de humedad.

2.1.2.2 Propiedades mecánicas:

Nos permiten conocer las características de los materiales para carreteras, para materiales de subrasante podemos relacionar la calidad de ésta con:

- Humedad óptima.
- Densidad máxima.
- Valor de CBR.
- Módulo resiliente.
- Módulo de Poisson.

2.1.3 Función de la subrasante dentro del pavimento.

2.1.3.1 Introducción:

Un pavimento es el conjunto de capas de material granular que absorbe y transfiere las cargas ocasionadas por el tráfico vehicular a los estratos inferiores, obteniendo una superficie de rodamiento conformada por una capa que puede ser de asfalto o de concreto hidráulico.

Las condiciones que debe cumplir para un funcionamiento apropiado son: dimensiones adecuadas, diseño horizontal y vertical correcto, garantizar la adherencia adecuada entre el vehículo y la capa de rodadura en condiciones críticas, además deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito para evitar fallas estructurales ocasionadas por las cargas aplicadas, de la intemperie y del agua; también debe presentar color y textura apropiados.

Pasando a las funciones que tienen los pavimentos además de proporcionar una superficie de rodamiento, otra muy importante es la estructural, que consiste en recibir y distribuir las cargas y disipar los esfuerzos transmitidos por los vehículos. Por este motivo es muy importante estudiar perfectamente el tipo de material que se va a utilizar, los de mayor capacidad de carga se colocarán en las capas superiores ya que los esfuerzos se van disipando conforme a la profundidad, los materiales de menor capacidad se colocarán en las capas inferiores.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando se determina el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. (García, 2012, recuperado de <http://www.arqhys.com/contenidos/pavimento-concepto.html>)

La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo la compactación y la humedad dos factores importantes, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

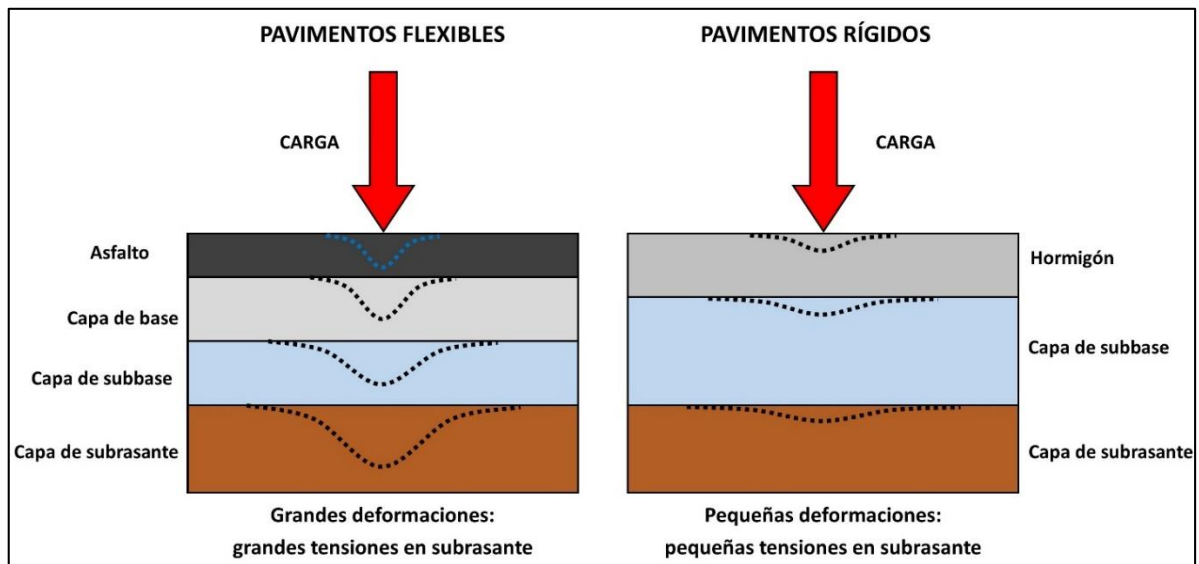


Figura 2: Deformaciones producidas en pavimentos flexibles y rígidos.

Fuente: Becerra Salas, Mario Rafael, Análisis comparativo de las alternativas de pavimentación.

2.1.3.2 Función de la subrasante en pavimentos de hormigón.

Como consecuencia de su rigidez, el pavimento de hormigón tiene considerable resistencia de flexión denominada también de viga y alta capacidad para distribuir las cargas. Las presiones sobre el suelo o material debajo del pavimento, son muy pequeñas por la distribución de las cargas sobre una amplia superficie. Se deduce en consecuencia que los pavimentos de hormigón no requieren subrasantes demasiado resistentes.

Para asegurar un correcto desempeño del pavimento de hormigón, se necesita que el suelo de la subrasante presente densidad y soporte uniformes, para así prevenir grandes cambios de volumen en suelos expansivos.

Un parámetro importante es el módulo de reacción “K” de la subrasante, que representa el soporte que la subrasante proporciona al paquete estructural, éste puede ser determinado mediante ensayos in-situ, o por correlación con valores encontrados con otros procedimientos, como el valor de CBR.

2.1.3.2 Función de la subrasante en pavimentos de asfalto.

Las principales funciones son:

- Reducir el costo total del pavimento, al contribuir en la disminución del espesor de la base que se construye, que es un elemento más caro que debe cumplir con especificaciones más rígidas que la subrasante.
- Proteger a la base aislándola de la terracería, a fin de evitar la introducción de material fino y plástico, que pudiera provocarle cambios volumétricos perjudiciales al variar las condiciones de humedad, y por consiguiente reducir su resistencia estructural.

En los pavimentos flexibles se consideran los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural. Además de los esfuerzos cortantes también se tienen los producidos por la aceleración, frenaje de los vehículos y esfuerzos de tensión en los niveles superiores de la estructura.

2.2 Caracterización de materiales.

Se refiere a la identificación o clasificación de un material, tomando como base el estudio de sus características físicas, mecánicas o estructurales.

Para esto se emplean varias técnicas de caracterización, de acuerdo a los objetivos de estudio del material en análisis. Determinando las propiedades del material se pueden identificar la naturaleza del mismo, así como los campos donde resulta más factible su aplicación.

2.3 Parámetros utilizados para la caracterización de la subrasante.

2.3.1 Granulometría.

Es la determinación y cálculo de la cantidad de material granular de cada uno de los distintos tamaños señalados en normas de estudio, con fines de establecer el origen y las propiedades mecánicas que presenta el material estudiado.

2.3.2 Plasticidad.

Es la propiedad que presentan algunos materiales que consiste en la capacidad de deformarse sin presentar fisuras o fallas.

La consistencia de los suelos plásticos varía de acuerdo al contenido de agua, así se pueden determinar sus estados de consistencia si se conocen los límites entre ellas. Albert Mauritz Atterberg definió cuatro estados en los que puede encontrarse un suelo plástico en función de su consistencia, que varía según la humedad: sólido, semisólido, plástico y líquido. Un suelo plástico seco se encuentra en estado sólido; al incrementar su humedad varía de forma gradual su consistencia hasta llegar al estado líquido. Los umbrales de humedad que separan cada uno de los estados son denominados límites de Atterberg, y estos son: límite líquido, plástico y de retracción. (Franch, 2013)

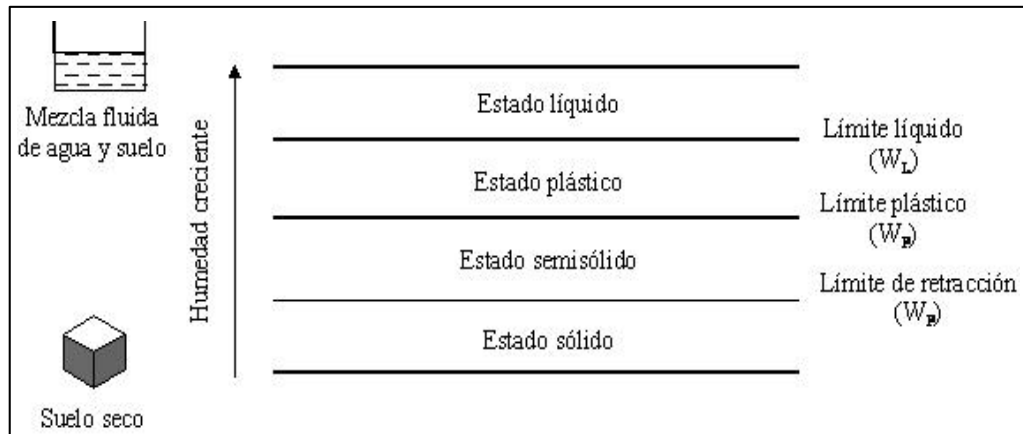


Figura 3: Estados de consistencia de un suelo plástico.
Fuente: www.estudiosgeotecnicos.info

2.3.2.1 Límite líquido

Conceptualmente el límite líquido (WL) corresponde a la humedad por encima de la cual la resistencia al corte de un suelo es nula (propia de un líquido) y se determina mediante un ensayo que relaciona este umbral de humedad con un cierto número de golpes que es necesario dar a un dispositivo en forma de cuchara para que dos porciones de suelo separadas por un surco se unan en una longitud preestablecida (12 mm); comúnmente a este test se le denomina como ensayo de la cuchara de Casagrande.

El procedimiento general consiste en colocar una muestra húmeda en la copa de Casagrande, dividirlo en dos con el acanalador y contar el número de golpes requerido para cerrar la ranura.

El procedimiento estándar es efectuar por lo menos tres determinaciones para tres contenidos de humedad diferentes, se anota el número de golpes y su contenido de humedad. Luego se grafican los datos en escala semilogarítmica y se determina el contenido de humedad para $N= 25$ golpes.

2.3.2.2 Límite plástico

Corresponde al contenido de agua de un suelo, que una vez sobrepasado muestra una deformación plástica en relación a las tensiones aplicadas; en la práctica se lo relaciona con el contenido de agua por debajo del cual no se puede modelar un cilindro de 3 mm de diámetro.

2.3.2.3 Límite de retracción.

El límite de retracción se define como el contenido de agua por debajo del cual el suelo deja de reducir su volumen proporcionalmente a la disminución de la humedad (proceso de retracción); por debajo de dicho umbral se deduce que parte de los poros del suelo se encuentran ya ocupados por aire, por lo que se asume que el límite de retracción corresponde con la humedad de saturación de una arcilla (que al contrario de lo que ocurre en un suelo granular, no equivale al máximo contenido en agua que pueda presentar el suelo.)

2.3.3 Clasificación AASHTO

Es el sistema de clasificación adoptado por la American Association of State Highway Officials (AASHTO M 145), tras varias revisiones del sistema adoptado por el Bureau of Public Roads de Estados Unidos, en el que los suelos se agrupan en función de su comportamiento como capa de soporte o asiento del firme. Es el sistema más utilizado en la clasificación de suelos en carreteras.

En esta clasificación los suelos se clasifican en siete grupos (A-1, A-2,..., A-7), según su granulometría y plasticidad. Más concretamente, en función del porcentaje que pasa por los tamices nº 200, 40 y 10, y de los Límites de Atterberg de la fracción que pasa por el tamiz nº 40. Estos siete grupos se corresponden a dos grandes categorías de suelos, suelos granulares (con no más del 35% que pasa por el tamiz nº 200) y suelos limo-arcillosos (más del 35% que pasa por el tamiz nº 200).

La categoría de los suelos granulares; gravas y arenas; está compuesta por los grupos A-1, A-2 y A-3, y su comportamiento es en general, de bueno a excelente, salvo los subgrupos A-2-6 y A-2-7, que se comportan como los suelos arcillosos debido a la alta plasticidad de los finos que contiene, siempre que el porcentaje de estos supere el 15%.

Tabla 1: Clasificación de suelos según AASHTO.

CLASIFICACION GENERAL	Materiales Granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz Nº 200)							Materiales Limo - Arcillosos (más del 35% que pasa el tamiz Nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
SUB - GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
% que pasa el Tamiz:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del Material que pasa el tamiz Nº 40											
Límite Líquido			NO PLÁSTICO	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 máx.
Índice de Plasticidad	6máx.	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de Material	fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Terreno de Fundación	Excelente a Bueno						Regular a Deficiente				

NOTA: El Índice de plasticidad de los suelos A-7-5 es igual o menor que su Límite Líquido 30, el de los A-7-6 mayor que su Límite Líquido (fig. 1) se halla indicada la relación entre lo LL e IP de los materiales finos. Dicho de otro modo, el grupo A-7 es subdividido en A-7-5 ó A-7-6 dependiendo del Límite Plástico (L.P.)
Si el LP \geq 30, la clasificación es A-7-6
Si el LP < 30, la clasificación es A-7-5

Fuente: Normativa AASHTO M-145.

Los grupos incluidos por los suelos granulares son los siguientes:

- **A-1:** Corresponde a una mezcla bien graduada de gravas, arenas (gruesa y fina) y finos no plásticos o muy plásticos. También se incluyen en este grupo las mezclas bien graduadas de gravas y arenas sin finos.
- **A-1-a:** Incluye los suelos con predominio de gravas, con o sin material fino bien graduado.
- **A-1-b:** Incluye suelos constituidos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien graduado.
- **A-3:** Corresponde, típicamente, a suelos constituidos por arena fina de playa o de duna, de origen eólico, sin finos limosos o arcillosos o con una pequeña cantidad de limo no plástico. También incluyen este grupo, los depósitos fluviales de arena fina mal graduada con pequeñas cantidades de arena gruesa o grava.
- **A-2:** Este grupo comprende a todos los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz nº 200 y que no pueden ser clasificados en los grupos A-1 y A-3, debido a que el porcentaje de finos o la plasticidad de estos (o ambas cosas) están por encima de los límites fijados para dichos grupos. Por todo esto, este grupo contiene una gran variedad de suelos granulares que estarán entre los correspondientes a los grupos A-1 y A-3 y a los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.

- **A-2-4 y A-2-5:** En estos subgrupos se incluyen los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz nº 200 y cuya fracción que pasa por el tamiz nº 40 tiene las características de los grupos A-4 y A-5, de suelos limosos. En estos subgrupos están incluidos los suelos compuestos por grava y arena gruesa con contenidos de limo o índices de plasticidad por encima de las limitaciones del grupo A-1, y los suelos compuestos por arena fina con una proporción de limo no plástico que excede la limitación del grupo A-3.
- **A-2-6 y A-2-7:** En estos subgrupos se incluyen suelos como los descritos para en los subgrupos A-2-4 y A-2-5, excepto que los finos contienen arcilla plástica con tienen las características de los grupos A-6 y A-7.

La categoría de los suelos limo-arcillosos está compuesta por los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, cuyo comportamiento va de regular a malo. En esta categoría los suelos se clasifican en los distintos grupos atendiendo únicamente a su límite líquido y a su índice de plasticidad, según las zonas del gráfico siguiente gráfico, de esta forma se clasifican también los suelos del grupo A-2 en los distintos subgrupos.

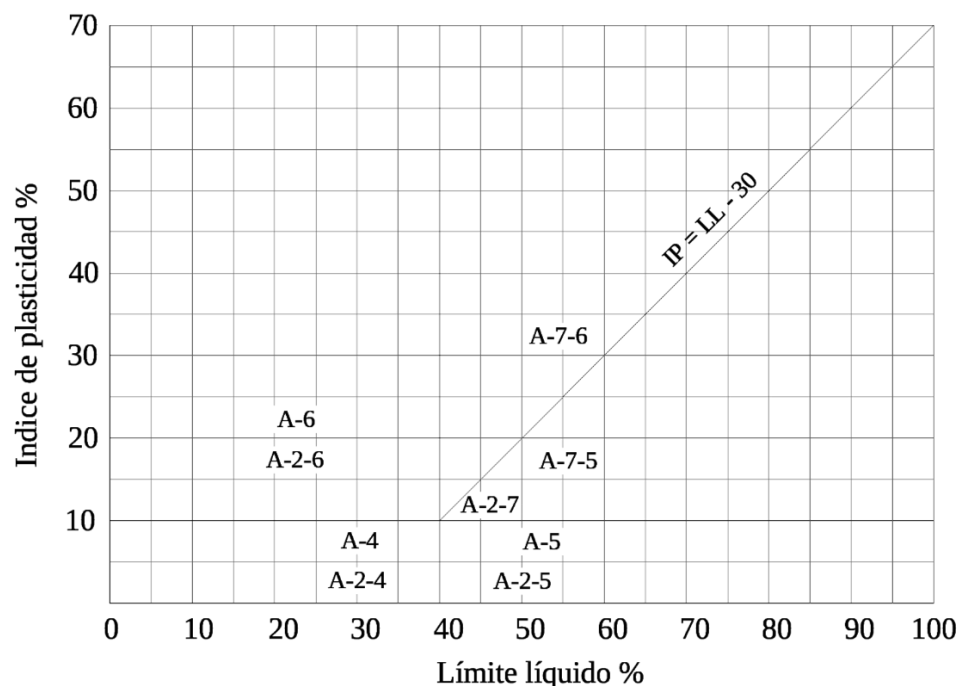


Figura 4: Variación del límite líquido e índice de plasticidad para los suelos de los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.
Fuente: Normativa ASTM.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1 Introducción.

Con el propósito de tener un avance organizado del trabajo, se procedió a dividir las actividades a ejecutar en distintos grupos de desarrollo, los mismos que inicialmente se basaron en el lugar en que se iban a llevar a cabo las actividades (gabinete, campo o laboratorio), y por último en el tipo de trabajo realizado (estudio de material de cantera y elaboración del mapa de zonificación).

3.2 Trabajo de gabinete.

3.2.1 Introducción.

El trabajo de gabinete se refiere a todas las actividades realizadas en oficinas, despachos, bibliotecas, etc. En el presente proyecto de investigación este trabajo fue realizado en la selección y caracterización de la zona de estudio, y la creación de los puntos de estudio.

3.2.2 Selección de la zona de estudio.

Con la ayuda del mapa base elaborado por la Titulación de Ingeniero en Geología y Minas de la Universidad Técnica Particular de Loja, se procedió a dividir la zona en varios polígonos de estudio, para la presente investigación se seleccionó el polígono denominado "CARIGÁN" (Figura 5), ubicado en las siguientes coordenadas en el DATUM PSAD 56:

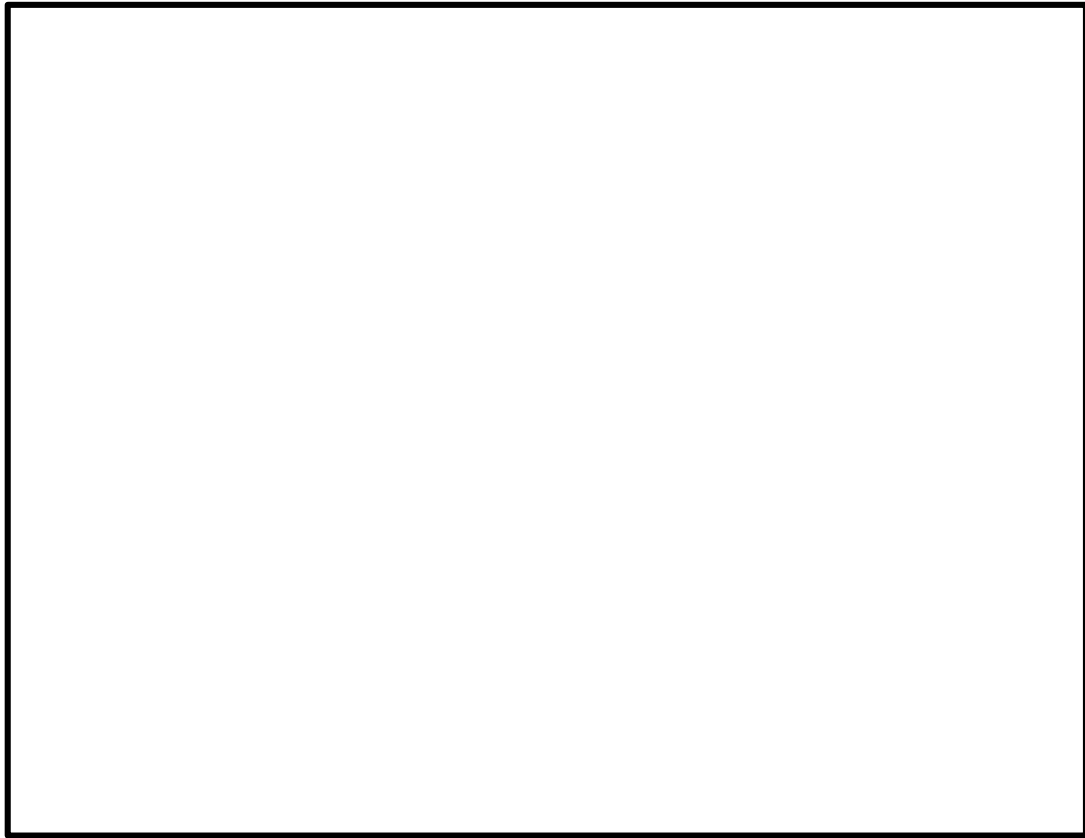


Figura 5: Ubicación de la zona de estudio.
Fuente: Mapa Titulación de Ingeniero en Geología y Minas.

3.2.2 Características de la zona de estudio.

3.2.2.1 Características físicas.

La zona de estudio delimitada tiene un área de 3307148.77 m² (330.7 Has), con un perímetro de 8000 m.

3.2.2.2 Uso

La zona presenta poca área de construcción, en relación a la extensión total de terreno. El uso mayoritario que se les da a los suelos en toda esta área es para fines agrícolas, destacando huertos compuestos de policultivos, como hortalizas y otras especies de ciclo corto.

Otro uso importante, pero no de la magnitud de la agricultura, es la ganadería, especialmente bovina.

3.2.2.3 Red vial.

La red vial existente está conformada en su mayoría por caminos afirmados, sin un diseño planificado, ya que fueron abiertos conforme a las necesidades de acceso de sus habitantes; también atraviesa esta zona la vía Panamericana Loja – Cuenca, que es una vía asfaltada de primer orden.

3.2.3 Puntos de estudio.

El procedimiento seguido para determinar los puntos de estudio, fue realizar triangulaciones dentro de la zona de estudio para obtener un muestreo uniforme y lograr que los resultados sean más representativos, la distancia de triangulación fue de 500 m, que se la obtuvo mediante la siguiente tabla:

Tabla 2: Criterio para la ejecución de perforaciones en el terreno para definir un perfil de suelo.

TIPO DE ZONA	ESPACIAMIENTO	PROFUNDIDAD
Carreteras	250 m - 500 m	1.5 m
Pistas de aterrizaje	A lo largo de la línea central, 60 m - 70 m	Cortes: 3 m debajo de la rasante. Rellenos: 3 m debajo de la superficie existente del suelo.
Otras áreas pavimentadas	1 perforación cada 1000 m ²	Cortes: 3 m debajo de la rasante. Rellenos: 3 m debajo de la superficie existente del suelo.
Préstamos	Pruebas suficientes para definir claramente el material	Hasta la profundidad que se propone usar como préstamo

Fuente: Montejo Fonseca Alfonso, Ingeniería de Pavimentos.

Figura 6: Puntos de estudio seleccionados mediante triangulación.
Fuente: Mapa base, Titulación de Ingeniero en Geología y Minas.

3.3 Trabajo de campo.

3.2.1 Ubicación de los puntos de muestreo.

Luego de haber establecido los puntos de los que se obtendrán las muestras, se realizó una visita preliminar para realizar la inspección visual del terreno y establecer si existen condiciones favorables para hacer el respectivo muestreo. Los puntos se los localizó con la ayuda de un GPS.

En los casos que se determinó que existen facilidades para obtener las muestras, se procedió a contactar a los propietarios de los predios para informarles los objetivos de nuestro estudio, así como también solicitarles el permiso correspondiente, para de esta manera proceder a obtener las muestras en una segunda visita.

En los puntos de estudio donde se encontraron problemas de acceso, o por no poder contar con el permiso correspondiente, se procedió a reubicarlos en un lugar cercano en donde sí se pueda contar con las facilidades necesarias para el muestreo, con el fin de minimizar las alteraciones en cuanto al espaciamiento entre puntos.

3.2.2 Recolección de muestras.

Una vez obtenidas las coordenadas definitivas de los puntos de estudio y los permisos correspondientes, se realizó una segunda visita al campo con el objetivo de obtener las muestras para su respectivo estudio.

3.2.1.1 Método empleado.

Se utilizó el método de exploración y muestreo mediante la elaboración manual de calicatas, que consistió en una excavación en el terreno que nos permitió observar los estratos, y así mismo obtener muestras directamente del suelo.

Las calicatas tuvieron una profundidad de 1.50 m, y dimensiones de aproximadamente 1.00 m X 1.00 m.

3.2.1.2 Características de la muestra.

Se recogió muestras de suelo a 0.50 m., 1.00 m. y 1.50 m. con un peso aproximado de 3 Kg. para arcillas y 10 Kg. para suelos granulares, y se colocaron en bolsas plásticas impermeables para conservar la humedad natural del terreno, ya que éste es un parámetro que se incluye dentro del presente trabajo. Estas muestras nos sirvieron para realizar los ensayos de contenido de humedad, granulometría, límite líquido y límite plástico, y así realizar la respectiva clasificación del estrato de suelo encontrado a la profundidad estudiada.

A partir de aproximadamente 1.50 de profundidad, obtuvimos alrededor de 50 Kg. de muestra, para realizar los ensayos de compactación y CBR.

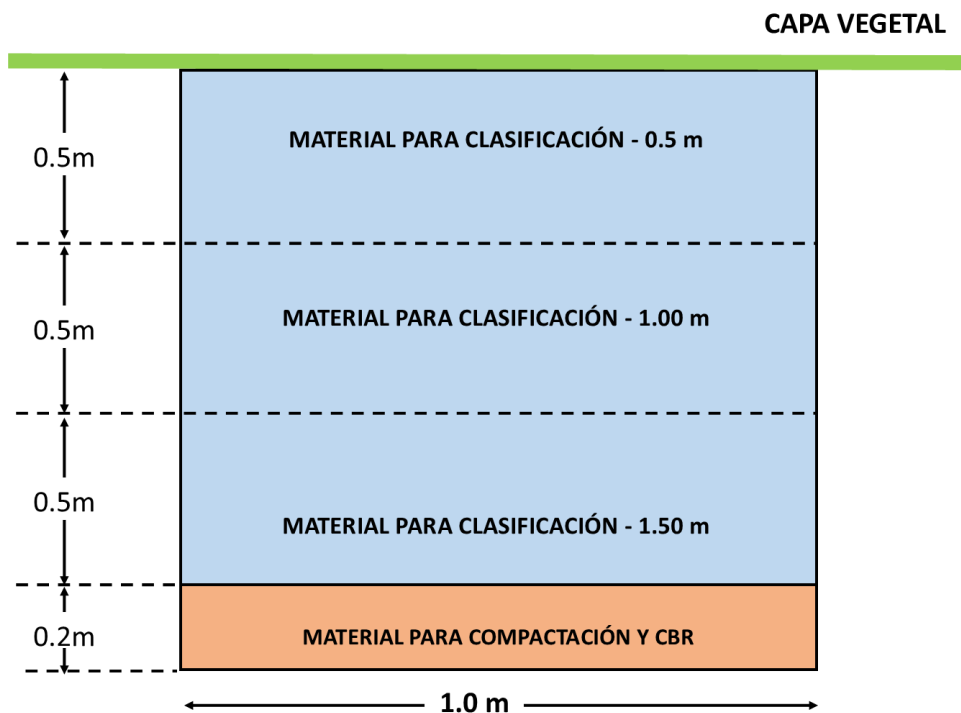


Figura 7: Profundidades de muestreo.
Fuente: Autor.

3.2.3 Ensayos in-situ.

3.2.3.1 Introducción.

Los ensayos geotécnicos in situ constituyen una serie de técnicas variadas e independientes con un objetivo común: la caracterización física y mecánica de las capas que componen el suelo a través de parámetros medidos en el propio medio natural.

La utilización de ensayos in situ permite determinar de forma directa o indirecta parámetros mediante la utilización de procedimientos sencillos o complejos y correlaciones empíricas o semi-empíricas.

Los ensayos realizados en el presente trabajo de investigación fueron los del Penetrómetro de bolsillo y Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP).

3.2.3.2 Penetrómetro de bolsillo.

Este ensayo se lo realizó para tener el valor de la resistencia a la compresión inconfiada medida en campo.

El Penetrómetro de bolsillo se compone de una carcasa, un muelle, una punta de penetración plana, un anillo deslizante y una escala. Al presionar el Penetrómetro contra el suelo, la punta se encuentra con la resistencia de la fuerza de la tierra. El muelle es comprimido por esta fuerza. El anillo se desliza y nos muestra en la escala la fuerza máxima que ha encontrado. La escala ha sido calibrada de tal manera que la resistencia a la penetración que se ha encontrado puede leerse en él de inmediato.

En cada calicata se tomaron 3 lecturas a una profundidad de 1.50 m.

3.2.3.3 Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP).

Es un instrumento simple que permite explorar in situ el soporte que presentan las capas de suelo componentes del paquete estructural de un pavimento.

El principio de trabajo de esta herramienta consiste en introducir el extremo del equipo en forma de cono a través de la capa de suelo que se va a estudiar, con la fuerza proporcionada por la caída libre de una masa de 8 Kg, con una altura de caída de 575 mm.

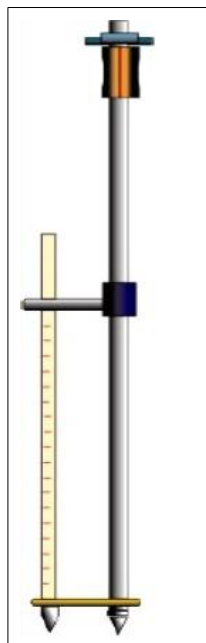


Figura 8: Penetrómetro Dinámico de Cono.

Fuente: Modelos de correlación entre el DCP y el CBR inalterado para suelos cohesivos, Buitrago Pérez Gonzalo.

Los valores obtenidos mediante este ensayo, están relacionados con el valor de la resistencia al corte “in situ” de los materiales, y con el perfil de resistencia encontramos las características de los materiales de todas las capas de la estructura, hasta una profundidad de estudio determinada.

Este ensayo se lo realizó en las calicatas 5, 9, 11 y 23. El procedimiento seguido fue el establecido en la norma ASTM D 6951.

Tabla 3: Ecuaciones de correlación CBR-DCP.

Ecuación de correlación	Referencia
$\text{Log (CBR)} = 2.56 - 1.16 \text{ Log (DCPI)}$	Livneh (1987)
$\text{Log (CBR)} = 2.56 - 1.16 \text{ Log (DCPI)}$	Harison (1986)
$\text{Log (CBR)} = 2.70 - 1.12 \text{ Log (DCPI)}$	Harison (1986)
$\text{Log (CBR)} = 2.55 - 1.14 \text{ Log (DCPI)}$	Harison (1987)
$\text{Log (CBR)} = 2.45 - 1.12 \text{ Log (DCPI)}$	Livneh et al. (1992)
$\text{Log (CBR)} = 2.46 - 1.12 \text{ Log (DCPI)}$	Webster et al. (1992)
$\text{Log (CBR)} = 2.62 - 1.27 \text{ Log (DCPI)}$	Kleyn (1975)
$\text{Log (CBR)} = 2.44 - 1.07 \text{ Log (DCPI)}$	Ese et al. (1995)
$\text{Log (CBR)} = 2.60 - 1.07 \text{ Log (DCPI)}$	NCDOT (Pavement, 1998)
$\text{Log (CBR)} = 2.53 - 1.14 \text{ Log (DCPI)}$	Coonse (1999)

Fuente: Correlación entre los valores de DCP y CBR de suelos para la región geológica del área local de Valledupar, Lacera Torres Gabriel F.

3.4 Trabajo de laboratorio.

3.4.1 Introducción.

El laboratorio de mecánica de suelos, es el medio mediante el cual se obtienen datos firmes y confiables de las propiedades físicas del suelo, para ser considerados en las distintas etapas de un proyecto.

Dentro de la presente investigación, en una primera fase se obtuvieron los parámetros necesarios para la clasificación del material, como son:

- Contenido de humedad.
- Granulometría.
- Límite líquido.
- Límite plástico.

Con los datos obtenidos se llevó a cabo la clasificación mediante las normas AASHTO y SUCS.

En una segunda fase se realizaron ensayos para determinar las principales propiedades ingenieriles de los suelos, como son:

- Determinación del contenido óptimo de humedad y densidad seca máxima mediante el ensayo proctor.
- Determinación del CBR.

3.4.2 Contenido de humedad.

El objetivo de este ensayo es cuantificar el porcentaje de humedad presente en una muestra de suelo. El procedimiento seguido es el tradicional, utilizando un horno de secado, donde el contenido de agua de un suelo es la proporción entre el peso del agua presente en la muestra analizada de suelo y el peso de las partículas sólidas.

La norma seguida fue la AASHTO 265.

3.4.3 Granulometría.

Este ensayo tiene como fin determinar los tamaños de las partículas de un suelo, este parámetro junto con los valores de plasticidad sirven para realizar la clasificación del material. Para realizar este procedimiento se emplean tamices ordenados de acuerdo a su abertura, de acuerdo a la norma AASHTO T88

3.4.4 Límite Líquido.

El límite líquido es el porcentaje de humedad que está en la frontera entre el estado líquido y plástico de un suelo. En la práctica es el contenido de agua que se necesita para cerrar la ranura realizada a una muestra colocada en el equipo de Casagrande, después de proporcionarle 25 golpes desde una altura de 10 mm.

También se puede definir el límite líquido como el menor porcentaje de agua en el que una muestra de suelo puede presentar fluidez por efectos de vibración.

La norma empleada para la realización de este ensayo fue la AASHTO T89.

3.4.5 Límite Plástico.

El límite plástico es el valor comprendido entre el estado plástico y semi-sólido. Es el menor porcentaje de humedad en el que el suelo permanece plástico.

En el laboratorio se puede determinar esta propiedad siguiendo un proceso sencillo que consiste en obtener el porcentaje de humedad en el que no es posible moldear un cilindro de 3 mm de diámetro con la muestra, ya que esta se vuelve quebradiza o presenta fisuras. El contenido de humedad calculado es el límite plástico.

La norma seguida para realizar este ensayo fue la AASHTO T90.

3.4.6 Ensayo de compactación, método Proctor Modificado.

El ensayo de compactación se lo realiza para encontrar la humedad óptima a la cual un suelo logrará su mayor densidad. El contenido de agua de una muestra es importante pues, al variarla se pueden alcanzar mayores o menores densidades, ya que el agua satura los espacios del suelo ocupados por aire, logrando una adecuada organización de las partículas, que a su vez aumenta la densidad; sin embargo demasiada agua podría separar las partículas disminuyendo su densidad. De ahí la importancia del ensayo Proctor, ya que proyectos viales es preciso obtener un soporte donde apoyarse, y un suelo mal compactado podría acarrear el colapso de un paquete estructural bien diseñado.

Mediante este proceso el objetivo es que el suelo posea un comportamiento estructural más adecuado para cumplir con las especificaciones requeridas. Normalmente cuando el suelo se compacta bajo distintas circunstancias se emplea la curva de compactación, que muestra la correlación entre densidad y contenido de agua. En la curva también se muestran otros datos, como rama seca antes del contenido de humedad óptimo (lado izquierdo de la curva), y la rama húmeda después del contenido de humedad óptimo (lado derecho de la curva). Esta curva también ofrece información importante sobre la energía utilizada a lo largo de este ensayo, determinando que, mientras más alta sea la curva, mayor será la cantidad de energía invertida en el proceso.

La norma utilizada para la realización del ensayo fue la AASHTO T 180.

3.4.7 California Bearing Ratio (CBR)

En los pavimentos flexibles la falla más frecuente es la falla por corte de los materiales que componen las diferentes capas, por esto es que los diseños de este tipo de pavimentos se hacen basándose en los parámetros de resistencia al corte de los materiales.

Debido a esto es que resulta indispensable medir la resistencia de los suelos que serán usados como subrasante, base o subbase; uno de los ensayos más utilizados para tal fin es el ensayo de Relación de Soporte de California o CBR (California Bearing Ratio).

Por medio del ensayo de CBR se puede obtener un número con el cual es posible caracterizar el suelo y determinar su uso como material para cualquiera de las capas de los pavimentos flexibles. El ensayo se realizó utilizando la norma ASTM D 1883.

3.5 Estudio de material de cantera.

Una cantera es una explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridos.

Las canteras son la fuente principal de agregados para la construcción de obras viales, los cuales se constituyen en uno de los insumos fundamentales a lo largo del proyecto. Por ser materia prima en la ejecución de estas obras, su valor económico representa un factor significativo en el costo total de cualquier proyecto.

3.5.1 Clases de canteras.

3.5.1.1 De formación de aluvión.

También conocidas como canteras fluviales, en éstas los ríos cumplen la función de agentes naturales de erosión, trasladando rocas a lo largo de grandes distancias para formar depósitos de estos materiales, dentro de los cuales podemos encontrar desde cantos rodados y gravas hasta arena, limos y arcillas.

Estas canteras poseen períodos de autoabastecimiento por la acción propia de las corrientes de agua, lo cual involucra un aprovechamiento económico, pero con un gran efecto hacia las fuentes de agua y su dinámica natural. En términos ambientales, una cantera de aluvión posee más aprobación en terrazas ubicadas lejos del área de influencia del cauce, que directamente sobre él.

3.5.1.2 Canteras de roca.

Conocidas también como canteras de peña, se originan en la formación geológica de una zona, que puede ser sedimentaria, ígnea o metamórfica; por sus características estas canteras no presentan la propiedad de autoabastecerse a lo largo del tiempo, convirtiéndose así en fuentes limitadas de abastecimiento.

3.5.2 Selección de la cantera de estudio.

Por la proximidad a nuestra zona de estudio, la cantera de la cual se extrajo el material fue la cantera Zalapa, de propiedad del Municipio de Loja.

3.5.3 Clasificación del material de cantera.

Se realizaron los ensayos necesarios para obtener los diferentes parámetros que nos sirvieron para clasificar la muestra, de acuerdo a la norma AASHTO M 145, como son:

- Granulometría.
- Límite líquido.
- Límite plástico.

Se siguieron los procedimientos y cálculos tal como fueron explicados anteriormente en las secciones 3.4.3 (granulometría), 3.4.4 (límite líquido), y 3.4.5 (límite plástico)

3.5.4 Compactación y CBR.

Para determinar las características mecánicas de la muestra, se realizaron los ensayos de compactación proctor y CBR, siguiendo el mismo procedimiento de los capítulos 3.4.6, y 3.4.7 respectivamente.

3.5.5 Abrasión.

En pavimentos es de vital importancia el uso de un agregado de buena calidad en la mezcla, deben ser resistentes al desgaste a lo largo de su vida. Estos materiales también tienen que resistir a la trituración, degradación, almacenamiento y compactación, puesto que deben transmitir de manera correcta las cargas de la superficie del pavimento a las capas subyacentes. Cuando el agregado no es suficientemente resistente al desgaste, puede causar un fallo estructural.

La prueba más usada y aceptada para medir la resistencia de los agregados al desgaste es por medio de la máquina de Los Ángeles, basada en la norma AASHTO T-96.

3.5.6 Mejoramiento del material de cantera.

Con los resultados obtenidos de los estudios del material de cantera (ver ANEXO II – Estudio de material de cantera) se procedió a realizar el mejoramiento de la muestra, mezclándola con material extraído del río Malacatos, en una proporción de 70% de material de cantera, y 30% de material de río.

A la muestra mejorada se le realizó los ensayos de granulometría, plasticidad, compactación proctor y CBR, siguiendo los mismos procedimientos explicados anteriormente en la sección 3.4 trabajo de laboratorio.

3.6 Elaboración de un mapa de zonificación de suelo.

La zonificación consiste en agrupar distintas partes de un área geográfica con similares características o parámetros de clasificación.

En el presente proyecto, los parámetros que se tuvieron en cuenta fueron: la clasificación del suelo y el valor de CBR, obtenidos a una profundidad de 1.50 m.

3.6.1 Zonificación por clasificación del suelo.

Esta zonificación se la realizó tomando en cuenta los datos de clasificación de cada calicata, obtenidos a la profundidad de 1.50 m, y otorgando un nuevo código de clasificación a los distintos tipos de suelo.

Tabla 4: Códigos de clasificación de acuerdo al grupo de suelo.

Código	CLASIFICACIÓN AASTHO	GRUPOS	SUBGRUPOS INCLUIDOS
1	Fragmentos de rocas, gravas y arenas	A-1	A-1-a , A-1-b
2	Arenas finas	A-3	--
3	Gravas y arenas limosas o arcillosas	A-2	A-2-4 , A-2-5 , A-2-6 , A-2-7
4	Suelos limosos	A-4 , A-5	--
5	Suelos arcillosos	A-6 , A-7	A-7-5 , A-7-6

Fuente: Autor.

3.6.2 Zonificación de acuerdo al valor de CBR.

Se trabajó con los datos obtenidos del ensayo de CBR de laboratorio, con el material obtenido a 1.50 m de cada calicata.

Igualmente se asignaron nuevos códigos para describir los valores de CBR de laboratorio.

Tabla 5: Códigos de clasificación de acuerdo al valor de CBR.

Código	Categoría de Subrasante	Valor
S0	Subrasante inadecuada	< 3%
S1	Subrasante pobre	3% - 6%
S2	Subrasante regular	6% - 10%
S3	Subrasante buena	10% - 20%
S4	Subrasante muy buena	20% - 30%
S5	Subrasante excelente	> 30%

Fuente: Autor.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1 Contenido de humedad.

Los valores calculados de contenido de humedad estuvieron dentro de un rango muy disperso, este resultado se debe a las propiedades propias del suelo, a factores externos como posibles precipitaciones antes del muestreo o influencia de la temperatura.

Tabla 6: Resumen de contenidos de humedad, por calicata y por profundidad.

CALICATA	PROFUNDIDAD	Contenido de humedad (%)	Humedad promedio
3	0.50	21.54	22.15
	1.00	24.83	
	1.50	20.09	
4	0.50	41.22	38.71
	1.00	36.76	
	1.50	38.14	
5	0.50	8.95	9.20
	1.00	10	
	1.50	8.65	
9	0.50	21.74	19.71
	1.00	19.84	
	1.50	17.54	
10	0.50	18.74	20.87
	1.00	20.49	
	1.50	23.37	
11	0.50	14.93	19.22
	1.00	19.01	
	1.50	23.73	
12	0.50	18.7	17.87
	1.00	19.32	
	1.50	15.58	
19	0.50	53.22	42.68
	1.00	35.75	
	1.50	39.07	
20	0.50	7.03	9.90
	1.00	15.99	
	1.50	6.67	
21	0.50	18.35	16.22
	1.00	16.72	
	1.50	13.58	
22	0.50	23.14	19.94
	1.00	17.62	
	1.50	19.07	
23	0.50	25.14	21.10
	1.00	19.03	
	1.50	19.13	

Fuente: Autor.

NOTA: Los ensayos se los presenta en el apartado ANEXOS I – ENSAYOS DE LABORATORIO

4.2 Granulometría.

NOTA: Los ensayos se los presenta en el apartado ANEXOS I – ENSAYOS DE LABORATORIO

4.3 Plasticidad.

NOTA: Los ensayos se los presenta en el apartado ANEXOS I – ENSAYOS DE LABORATORIO

4.4 Clasificación.

- 28 de las 36 muestras estudiadas fueron clasificadas como arcillosas, 5 como limos y 3 como fragmentos de roca, grava y arena.

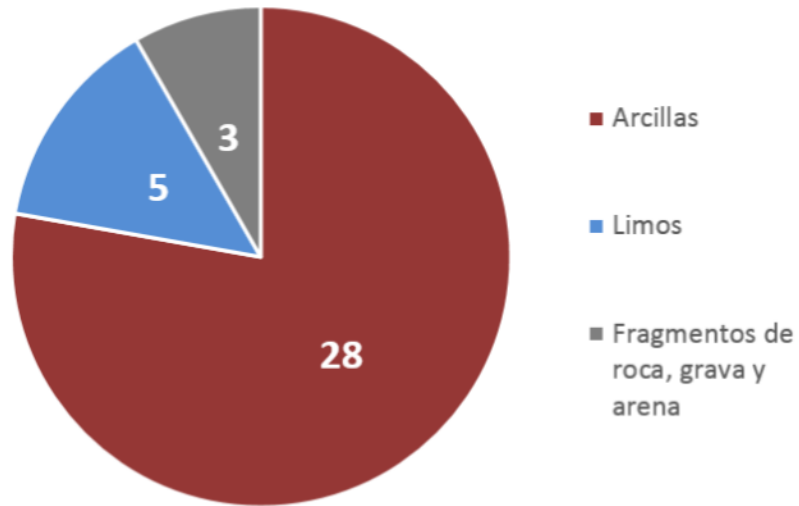


Figura 9: Resumen de acuerdo a la clasificación de las muestras estudiadas.
Fuente: Autor.

- Tomando en cuenta la clasificación por grupos, 17 de las 36 muestras estudiadas correspondieron al grupo A-6.

Figura 10: Resumen de acuerdo al grupo de las muestras estudiadas.
Fuente: Autor.

Tabla 9: Resumen de clasificación de muestras.

CALICATA	PROFUNDIDAD	Clasificación AASHTO		Color
		Código	Denominación	
3	0.50	A-6	Arcilloso	Gris oscuro
	1.00	A-7-6	Arcilloso	Gris oscuro
	1.50	A-7-6	Arcilloso	Marrón oscuro
4	0.50	A-7-5	Arcilloso	Marrón claro
	1.00	A-7-6	Arcilloso	Marrón claro
	1.50	A-7-5	Arcilloso	Marrón claro
5	0.50	A-6	Arcilloso	Gris oscuro
	1.00	A-6	Arcilloso	Gris oscuro
	1.50	A-4	Limoso	Gris oscuro
9	0.50	A-4	Limoso	Café claro
	1.00	A-4	Limoso	Café oscuro
	1.50	A-4	Limoso	Café oscuro
10	0.50	A-6	Arcilloso	Café oscuro
	1.00	A-7-6	Arcilloso	Marrón claro
	1.50	A-7-6	Arcilloso	Marrón claro
11	0.50	A-4	Limoso	Café claro
	1.00	A-6	Arcilloso	Café claro
	1.50	A-6	Arcilloso	Café claro
12	0.50	A-6	Arcilloso	Gris oscuro
	1.00	A-6	Arcilloso	Gris oscuro
	1.50	A-6	Arcilloso	Gris claro
19	0.50	A-7-5	Arcilloso	Marrón claro
	1.00	A-7-6	Arcilloso	Marrón claro
	1.50	A-7-6	Arcilloso	Marrón claro
20	0.50	A-1-a	Fragmentos de roca, grava y arena	Gris oscuro
	1.00	A-1-a	Fragmentos de roca, grava y arena	Gris oscuro
	1.50	A-1-b	Fragmentos de roca, grava y arena	Gris oscuro
21	0.50	A-6	Arcilloso	Café claro
	1.00	A-6	Arcilloso	Café oscuro
	1.50	A-6	Arcilloso	Café oscuro
22	0.50	A-6	Arcilloso	Marrón oscuro
	1.00	A-6	Arcilloso	Marrón claro
	1.50	A-6	Arcilloso	Marrón claro
23	0.50	A-7-6	Arcilloso	Café oscuro
	1.00	A-6	Arcilloso	Café claro
	1.50	A-6	Arcilloso	Café claro

Fuente: Autor.

NOTA: Los ensayos se los presenta en el apartado ANEXOS I – ENSAYOS DE LABORATORIO

4.5 Compactación.

Tabla 10: Resumen de resultados de compactación.

CALICATA	Humedad óptima (%)	Densidad seca máxima (Kg/m ³)
3	12.58	1951
4	24.68	1479
5	12.91	1914
9	12.32	1942
10	18.36	1792
11	12.35	2000
12	12.08	1966
19	22.69	1538
20	9.08	2135
21	20.96	1619
22	15.49	1888
23	13.81	1897

Fuente: Autor.

NOTA: Los ensayos se los presenta en el apartado ANEXOS I – ENSAYOS DE LABORATORIO

4.6 CBR

- La calicata que presentó el valor de CBR más alto fue la No. 22, con un valor de 19%.
- EL valor más bajo de CBR fue de 1%, encontrado en las calicatas 3 y 19.

Tabla 11: Valores obtenidos de CBR por calicata, a 1.50 m de profundidad.

Valores de CBR por calicata

Fuente: Autor

- **CBR de diseño:** El valor tomado como de resistencia de diseño, debe ser aquel sobrepasado o por lo menos igualado por el 75% de todos los resultados obtenidos, que es el coeficiente con el que se trabaja para diseño de vías de bajos volúmenes de tránsito. El valor encontrado de CBR de diseño fue de 3%. (ver cálculos en la página 147)

NOTA: Los ensayos se los presenta en el apartado ANEXOS I – ENSAYOS DE LABORATORIO

4.7 Análisis de material de cantera.

- Con el mejoramiento del material de cantera, se logró reducir el valor de la abrasión, de un 46.16% a 37.07%.
- El CBR de diseño de la cantera mejorada fue de 36%.

CONCLUSIONES

- El muestreo de la zona de estudio se llevó sin contratiempos significativos, excepto en lugares donde los propietarios pidieron mover el punto asignado, por la interferencia con zonas destinadas a otras actividades.
- Los puntos de estudio no se modificaron en más de 5 metros de distancia.
- La zona presenta predominancia de suelos arcillosos, ya que el 77.8% de las muestras fueron clasificadas en este tipo de suelo.
- El grupo de clasificación más común fue el A-6, con un 47% de ocurrencia.
- En cuanto a la capacidad de soporte, la mayoría de valores de CBR calculados son bajos, el CBR de diseño calculado para la zona es de 3%, que es el valor de una SUBRASANTE POBRE.
- Por el bajo valor de CBR de diseño, se realizó el estudio de la cantera “Zalapa”, obteniendo un valor de CBR de laboratorio de 36%, correspondiente a una SUBRASANTE EXCELENTE, concluyendo que es un material apropiado para utilizar como mejoramiento.
- Basado en los datos obtenidos de las calicatas, se generaron 2 mapas de zonificación, uno correspondiente a la clasificación del suelo y otro tomando en cuenta la capacidad portante. Con estos mapas es posible tener una concepción general de las características de los suelos, obteniendo una base organizada para llevar a cabo futuros proyectos viales.

RECOMENDACIONES


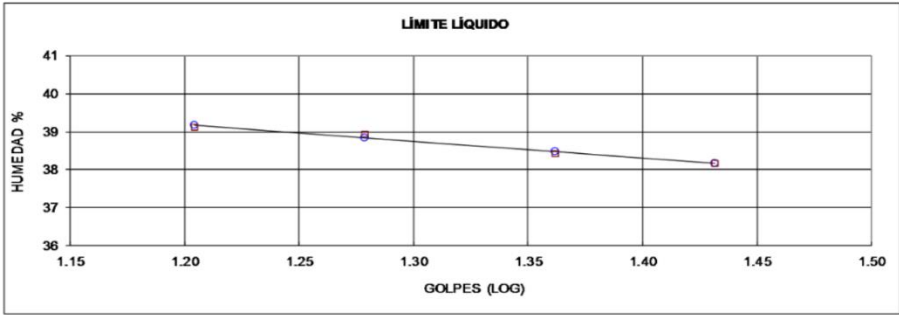
- Tomar en cuenta la clasificación realizada en el presente proyecto para la realización de cualquier estudio u obra a efectuarse, ya que las propiedades de cada tipo de suelo son parámetros muy influyentes en el comportamiento e interacción del suelo con la estructura a construirse.
- Por ser la cantera más cercana a la zona, se recomienda utilizar la cantera “Zalapa” en una proporción de mezclado 70-30, que cumple con las especificaciones técnicas para material de subrasante.
- En caso de que la cota de proyecto no coincida con el material estudiado por motivos de excavación o relleno, se recomienda realizar nuevos estudios del material a la profundidad en la que se trabajará.
- Tomando en cuenta que la mayoría de suelos estudiados fueron arcillosos, se recomienda tomar las precauciones debidas al momento de la construcción de proyectos viales, para evitar fallas típicas de estos suelos como cambios de volumen o asentamientos.

BIBLIOGRAFÍA

- Braja, D. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México: Editorial Thomson International.
- Braja, D. (2006). *Principios de Ingeniería de Cimentaciones Quinta Edición*. México: Editorial Thomson International.
- Franch, J. (2013, Enero 6). Descriptores geotécnicos: plasticidad, límites de Atterberg y consistencia. [Web log post] Recuperado de <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/descriptores-geotecnicos-5-plasticidad-limites-de-atterberg-y-consistencia/>
- Hernández, E. (2005). Pavimentación de la carretera México-Tuxpán, tramo Tejocotal-Nuevo Necaxa (Tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México. Recuperado de: http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4728/362_PAVIMENTACION%20DE%20LA%20CARRETERA%20MEXICO-TUXPAN%20TRAMO%20TEJOCOTAL-NUEVO%20NECAXA.pdf?sequence=1
- Juárez, E. y Rico, A. (1969). *Mecánica de Suelos, Tomo I: Fundamentos de la mecánica de suelos*. México: U.N.A.M.
- Lacera, G. (2006). Correlación entre los valores de resistencia a la penetración cónica D.C.P. y el valor de relación de soporte C.B.R. de suelos para la región geológica del área local de Valledupar (Proyecto de Grado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Recuperado de: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/1729/2/119409.pdf>
- Montejo, A. (2010). *Ingeniería de Pavimentos; Tercera edición Tomo 1*. Colombia: Editorial Panamericana Formas e Impresas S.A.,
- Sánchez, S. (2006). Ampliación y reconstrucción de la carretera federal México-Puebla de la ciudad de Cholula a Santa María Zacatepec, km. 98+300 al km. 103+300 (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas, Puebla, México. Recuperado de: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/sanchez_r_se/

ANEXOS

CALICATA No. 3

	DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINAS E INGENIERIA CIVIL LABORATORIOS UTPL																																				
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN INF-LAB-DGM-IC-013-2014																																					
PROYECTO : "CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE SUBRASANTE EN ZONAS NO URBANIZADAS DE LA CIUDAD DE LOJA, APLICADAS A OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL "																																					
OBRA : ESTUDIO DE MATERIAL DE SUBRASANTE LOCALIZAC: CARIGÁN SOLICITADO: Egdo. CARLOS TIRADO FECHA : 01/08-2014	NORMA : ASTM D 4318, AASHTO T-27 CALICATA : 3 MUESTRA : 1 PROFUNDIDAD : 0.5 m REALIZADO : Carlos Alberto Tirado Jaya																																				
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>GOLPES</th> <th>PESO HUM.</th> <th>PESO SECO</th> <th>CÁPSULA</th> <th>w %</th> <th>RESULTADO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.CONTENIDO DE AGUA</td> <td></td> <td>378.11 359.64</td> <td>323.31 307.74</td> <td>72.92 62.90</td> <td>21.89 21.20</td> <td>21.54</td> </tr> <tr> <td>2.- LÍM. LÍQUIDO</td> <td>16 19 23 27</td> <td>72.46 67.66 62.43 65.39</td> <td>70.18 64.84 59.71 62.42</td> <td>64.35 57.60 52.63 54.64</td> <td>39.11 38.95 38.42 38.17</td> <td>38.32</td> </tr> <tr> <td>3.- LÍMITE PLÁSTICO</td> <td></td> <td>65.77 77.44</td> <td>65.35 76.96</td> <td>63.31 74.62</td> <td>20.59 20.51</td> <td>20.55</td> </tr> </tbody> </table>		GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO	1.CONTENIDO DE AGUA		378.11 359.64	323.31 307.74	72.92 62.90	21.89 21.20	21.54	2.- LÍM. LÍQUIDO	16 19 23 27	72.46 67.66 62.43 65.39	70.18 64.84 59.71 62.42	64.35 57.60 52.63 54.64	39.11 38.95 38.42 38.17	38.32	3.- LÍMITE PLÁSTICO		65.77 77.44	65.35 76.96	63.31 74.62	20.59 20.51	20.55								
	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO																															
1.CONTENIDO DE AGUA		378.11 359.64	323.31 307.74	72.92 62.90	21.89 21.20	21.54																															
2.- LÍM. LÍQUIDO	16 19 23 27	72.46 67.66 62.43 65.39	70.18 64.84 59.71 62.42	64.35 57.60 52.63 54.64	39.11 38.95 38.42 38.17	38.32																															
3.- LÍMITE PLÁSTICO		65.77 77.44	65.35 76.96	63.31 74.62	20.59 20.51	20.55																															
4.- GRANULOMETRÍA	5.- CLASIFICACIÓN																																				
PESO IN= 512.05 (H/S) S PESO INICIAL DE CÁLCULO: 512.05	GRAVA 3 ARENA 35 FINOS 62																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>TAMIZ</th> <th>PESO RT.</th> <th>% RET</th> <th>% PASA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1"</td><td>0.00</td><td>0</td><td>100</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>0.00</td><td>0</td><td>100</td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>0.00</td><td>0</td><td>100</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>0.00</td><td>0</td><td>100</td></tr> <tr><td>No. 4</td><td>13.08</td><td>3</td><td>97</td></tr> <tr><td>No. 10</td><td>25.74</td><td>5</td><td>95</td></tr> <tr><td>No. 40</td><td>57.50</td><td>11</td><td>89</td></tr> <tr><td>No. 200</td><td>193.05</td><td>38</td><td>62</td></tr> </tbody> </table>	TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	1"	0.00	0	100	3/4"	0.00	0	100	1/2"	0.00	0	100	3/8"	0.00	0	100	No. 4	13.08	3	97	No. 10	25.74	5	95	No. 40	57.50	11	89	No. 200	193.05	38	62	LL = 38.00 LP = 21.00 IP = 17.00 CLASIFICACIÓN SUCS : CL AASHTO: A-6 IG(86): 9 IG(45): 8
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA																																		
1"	0.00	0	100																																		
3/4"	0.00	0	100																																		
1/2"	0.00	0	100																																		
3/8"	0.00	0	100																																		
No. 4	13.08	3	97																																		
No. 10	25.74	5	95																																		
No. 40	57.50	11	89																																		
No. 200	193.05	38	62																																		
																																					
CLASIFICACIÓN AASHTO: Suelo arcilloso (A-6)																																					
Observaciones: La toma de muestras y los ensayos son realizados por el profesional en formación, y supervisadas por el Director del proyecto.																																					
Ing. Ángel Tapia Ch. DIRECTOR DE TESIS	Carlos Alberto Tirado Jaya TESISISTA																																				