



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

TITULO:

**CARACTERIZACIÓN DEL GRADO DE EXPANSIÓN DE LAS ARCILLAS DEL
SECTOR “EL CERRO” EN EL TRAMO DE VÍA ROCAFUERTE – TOSAGUA KM 184
AL KM 188 Y SU AFECTACIÓN A LA INFRAESTRUCTURA VIAL**

AUTORES:

MACHUCA MENA MARLON GABRIEL
SANTILLAN GOYA ELIAN FERNANDO

ASESOR ACADEMICO:

ING. MARCELO OLEAS

MANTA-MANABÍ-ECUADOR 2024

CERTIFICADO DEL TUTOR


Yo, Ing. Marcelo Oleas Escalante, director del Proyecto de Tesis cuyo tema es:

“CARACTERIZACIÓN DEL GRADO DE EXPANSIÓN DE LAS ARCILLAS DEL SECTOR “EL CERRO” EN EL TRAMO DE VÍA ROCAFUERTE – TOSAGUA KM 184 AL KM 188 Y SU AFECTACIÓN A LA INFRAESTRUCTURA VIAL”

Realizados por los señores egresados: *Marlon Gabriel Machuca Mena* y *Elian Fernando Santillan Goya*.

Certifico que la presente Tesis cumple con todas las disposiciones estatutarias de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí y ha sido realizada por sus autores quienes son responsables de la misma.

Manta, enero del 2025


Ing. Marcelo Oleas Escalante
Director de tesis

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta Tesis, corresponden exclusivamente a los autores, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado corresponderá a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.



Egsod. Marlon Gabriel Machuca Mena



Egsdo. Elian Fernando Santillan Goya

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL EXAMINADOR



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación siguiendo la modalidad de Proyecto de Investigación, titulado: “CARACTERIZACIÓN DEL GRADO DE EXPANSIÓN DE LAS ARCILLAS DEL SECTOR “EL CERRO” EN EL TRAMO DE VÍA ROCAFUERTE – TOSAGUA KM 184 AL KM 188 Y SU AFECTACIÓN A LA INFRAESTRUCTURA VIAL” elaborado por los egresados: MACHUCA MENA MARLON GABRIEL y SANTILLAN GOYA ELIAN FERNANDO de la Carrera de Ingeniería Civil.

INGENIERO CIVIL

Aprobado por el Tribunal Examinador



Ing. Jorge García Argandoña
Miembro del tribunal



Ing. José Hualpa Muñoz
Miembro del tribunal

AGRADECIMIENTO

Agradecemos, en primer lugar, a Dios, por darnos la salud, la fortaleza y la sabiduría para completar este desafío.

A nuestras familias, quienes han sido nuestro mayor soporte y guía a lo largo de todo este proceso. A nuestros padres, por su amor incondicional, por ser ejemplo de esfuerzo y sacrificio, y por motivarnos a alcanzar nuestras metas.

A nuestros amigos y compañeros, por su apoyo constante, su ánimo en los momentos difíciles, y por compartir este camino lleno de aprendizajes.

A los docentes de nuestra facultad y a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, por su compromiso con nuestra formación académica y profesional, y por brindarnos las herramientas necesarias para crecer.

A nuestro tutor de tesis, el Ing. Marcelo Oleas, por su invaluable orientación, paciencia y dedicación, para culminar este trabajo.

Finalmente, reconocemos nuestro propio esfuerzo y perseverancia. Este logro es el reflejo de nuestra dedicación y trabajo en equipo, superando desafíos y aprendiendo en cada paso del camino.

Marlon Gabriel Machuca Mena

Elian Fernando Santillan Goya

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a nuestras familias, quienes han sido nuestro mayor apoyo y fortaleza. A ellos, que siempre han creído en nuestras capacidades y nos han enseñado el valor del esfuerzo y la constancia.

También dedicamos este logro a todas las personas que, de una u otra forma, nos han inspirado a seguir adelante y perseguir nuestros sueños. Este trabajo es tanto nuestro como de todos aquellos que caminaron junto a nosotros en este viaje académico.

Marlon Gabriel Machuca Mena

Elian Fernando Santillan Goya

RESUMEN

En el sector de “El Cerro” se encuentran arcillolitas café oscura, conformadas principalmente por la arcilla illita, siendo este tipo de arcillas altamente reactivas al agua. Ocasionando problemas y fallas en el tramo de vía como baches, hundimientos, deformaciones, entre otros, teniendo que recurrir a mantenimientos continuos.

Se realizaron los estudios de las muestras con el valor de azul de metileno, además de esto se realizó límites de Atterberg, proctor, hinchamiento y expansión controlada. Estos ensayos brindan información detallada sobre las propiedades de las arcillas, como su plasticidad, capacidad de compactación y su tendencia al hinchamiento. Esto con el objetivo de conocer el comportamiento expansivo del suelo y su impacto en la infraestructura vial.

Por tanto, se realizaron dos tomas de muestras, las primeras tomas se utilizaron para caracterizar un tramo mayor de vía, y para la segunda toma de muestras se focalizo al sector de “El Cerro”. A partir del ensayo de valor de azul de metileno se obtuvo resultados elevados de presencia de arcillas esperando un desempeño de vía con posibles fallas o problemas, lo cual se corrobora con el alto grado expansivo obtenido por los otros métodos y los problemas que se observan en el tramo vial. Pudiendo utilizar el ensayo de valor de azul de metileno como una herramienta para caracterizar el grado expansivo de los materiales arcillosos.

Además, durante la toma de muestra y los resultados de los ensayos se pudo diferenciar que existen zonas con mayor expansividad que otras, tal es el caso de la zona central de “El Cerro” que presenta la mayor cantidad de afectaciones en la vía. En contraste a otras zonas del estudio como las del Km 184.5 al Km 185.5 donde se evidencia pocos o nulos problemas relacionados con la expansividad de las arcillas, esto se asocia a la presencia de un suelo rocoso de arcillolitas, a diferencia de los suelos residuales que son más propensos a la expansión.

ABSTRACT

In the “El Cerro” sector, dark brown claystones primarily composed of illite clay are found. This type of clay is highly reactive to water, causing issues and failures in the road section, such as potholes, sinkholes, deformations, and others, necessitating continuous maintenance.

Studies were conducted on the samples using the methylene blue value test. Additionally, Atterberg limits, Proctor compaction, swelling, and controlled expansion tests were performed. These tests provide detailed information about the properties of the clays, such as their plasticity, compaction capacity, and swelling tendency. The objective was to understand the expansive behavior of the soil and its impact on road infrastructure.

Two rounds of sampling were carried out. The first set of samples was used to characterize a broader road section, while the second round focused on the “El Cerro” sector. The methylene blue value test revealed high clay content, indicating a road performance prone to potential failures or issues, which was corroborated by the high expansive degree obtained through other methods and the visible problems in the road section. This suggests that the methylene blue value test can be used as a tool to characterize the expansive degree of clayey materials.

Additionally, during sampling and test results analysis, it was observed that some areas exhibit greater expansiveness than others. For instance, the central zone of “El Cerro” shows the highest number of road damages. In contrast, other areas of the study, such as Km 184.5 to Km 185.5, exhibit few or no issues related to clay expansiveness. This is attributed to the presence of rocky claystone soils, unlike residual soils, which are more prone to expansion.

ÍNDICE

CERTIFICADO DEL TUTOR	II
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XIV
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	2
1. CAPÍTULO I – PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1. Hipótesis	4
1.2. Problemática	4
1.3. Delimitación del problema	4
1.3.1. Delimitación del contenido	4
1.3.2. Delimitación espacial	5
1.3.3. Delimitación temporal	5

1.4.	Objetivos.....	6
1.4.1.	Objetivo general.....	6
1.4.2.	Objetivos específicos	6
1.5.	Variables.....	6
1.5.1.	Variable independiente	6
1.5.2.	Variable dependiente	6
2.	CAPÍTULO II – MARCO TEORICO	7
2.1.	Vía Tosagua – Rocafuerte.....	7
2.1.1.	Rehabilitación de la vía Tosagua-Rocafuerte	7
2.2.	Problemas actuales de la vía Rocafuerte - Tosagua.....	9
2.3.	El suelo.....	13
2.4.	Arcillas.....	13
2.4.1.	Minerales presentes en las arcillas	14
2.4.2.	Características de los materiales arcillosos.....	16
2.4.3.	Arcillas expansivas	17
2.5.	Formación Tosagua.....	18
2.6.	Análisis Mineralógicos sectores de El Cerro y El Junco	19
2.6.1.	El Cerro.....	19
2.6.2.	El Junco.....	20
2.7.	Límites de atterberg	21

2.7.1.	Plasticidad.....	21
2.7.2.	Limite liquido.....	23
2.7.3.	Limite plástico	23
2.8.	Azul de metileno para identificar la nocividad de los suelos finos.....	24
2.8.1.	Ensayo de valor de azul de metileno INV E – 235 07.....	26
2.9.	Identificación de arcillas expansivas	27
3.	CAPÍTULO III – DISEÑO METODOLOGICO.....	27
3.1.	Obtención de muestras para caracterización.....	27
3.2.	Granulometría por lavado	30
3.3.	Límites de Atterberg	32
3.3.1.	Límite líquido.....	32
3.3.2.	El límite plástico	33
3.4.	Ensayo de Proctor estándar.....	34
3.5.	Ensayo de expansión del CBR.....	36
3.6.	Ensayo de expansión controlada.....	39
3.7.	Ensayo de valor de azul de metileno.....	42
3.8.	Suelos expansivos en relación a límites de Atterberg.....	44
4.	CAPITULO IV – CÁLCULOS Y RESULTADOS.....	45
4.1.	Resultados de Ensayo de granulometría por lavado	45
4.2.	Resultados de Ensayo para límites de atterberg.....	47

4.3.	Resultados de contenido de humedad natural	56
4.4.	Resultados del Proctor estándar	56
4.5.	Resultados de hinchamiento	58
4.6.	Resultados de expansión controlada	60
4.7.	Resultados de valor de azul de metileno	61
4.8.	Comparación de resultados de los ensayos con el valor de azul de metileno ...	62
5.	CAPITULO V – CONCLUSIONES	64
6.	RECOMENDACIONES	66
7.	BIBLIOGRAFÍA	67
8.	ANEXOS	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla1.	Coordenadas de puntos muestreados	5
Tabla2.	Valor de azul metileno y el comportamiento esperado de la mezcla asfáltica. INV E -235 07	26
Tabla3.	Muestras y ubicaciones para la caracterización de las posibles arcillas expansivas	28
Tabla4.	Predicción de la expansividad a partir del límite líquido (INV E – 132 – 13) 44	
Tabla5.	Predicción de la expansividad a partir del índice de plasticidad (INV E – 132 – 13)	44

Tabla6.	Granulometría de la muestra PLT01	45
Tabla7.	Granulometría de la muestra TR01	45
Tabla8.	Granulometría de la muestra TR03	45
Tabla9.	Granulometría de la muestra TR04	45
Tabla10.	Granulometría de la muestra TR05	46
Tabla11.	Granulometría de la muestra TR06	46
Tabla12.	Granulometría de la muestra TR07	46
Tabla13.	Granulometría de la muestra TR08	46
Tabla14.	Resultados de ensayos de atterberg para muestra PLT01	47
Tabla15.	Resultados de ensayos de atterberg para muestra TR01	48
Tabla16.	Resultados de ensayos de atterberg para muestra TR03	49
Tabla17.	Resultados de ensayos de atterberg para muestra TR04	50
Tabla18.	Resultados de ensayos de atterberg para muestra TR05	51
Tabla19.	Resultados de ensayos de atterberg para muestra TR06	52
Tabla20.	Resultados de ensayos de atterberg para muestra TR07	53
Tabla21.	Resultados de ensayos de atterberg para muestra TR08	54
Tabla22.	Resumen de Carta de plasticidad de Casa Grande en las muestras	55
Tabla23.	Grado de expansividad de las muestras de estudio a partir de límites líquido y plástico	56
Tabla24.	Contenido de humedad natural	56

Tabla25.	Densidad y humedad óptima de la muestra M1	56
Tabla26.	Densidad y humedad óptima de la muestra M2.....	57
Tabla27.	Resultados de expansión por hinchamiento a 10 días.....	60
Tabla28.	Resultados del esfuerzo expansivo	61
Tabla29.	Valores de azul de metileno y desempeños anticipados	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura1.	Curva de limite líquido de la muestra PLT01	48
Figura2.	Curva de limite líquido de la muestra TR01	49
Figura3.	Curva de limite líquido de la muestra TR03	50
Figura4.	Curva de limite líquido de la muestra TR04	51
Figura5.	Curva de limite líquido de la muestra TR05	52
Figura6.	Curva de limite líquido de la muestra TR06	53
Figura7.	Curva de limite líquido de la muestra TR07	54
Figura8.	Curva de limite liquido de la muestra TR08.....	55
Figura9.	Curva de la densidad y humedad optima, muestra M1	57
Figura10.	Curva de la densidad y humedad optima, muestra M2.....	58
Figura11.	Hinchamiento en la muestra M1, compactación 56 golpes	58
Figura12.	Hinchamiento en la muestra M2, compactación 56 golpes	59
Figura13.	Hinchamiento en la muestra M4, compactación 56 golpes	59

Figura 14.	Hinchamiento en la muestra M5, compactación 56 golpes	59
Figura 15.	Esfuerzo expansivo de la muestra M2	60
Figura 16.	Esfuerzo expansivo de la muestra M5	60

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	Vía Rocafuerte-Tosagua rehabilitada y en funcionamiento (año 2013).....	7
Ilustración 2.	Vía Rocafuerte-Tosagua sector El Cerro (año 2013).....	8
Ilustración 3.	Estado de la vía Rocafuerte-Tosagua (febrero del 2024)	9
Ilustración 4.	Afectación en la entrada del Cerro (diciembre del 2024).....	10
Ilustración 5.	Entrada del Junco (diciembre del 2024)	10
Ilustración 6.	Afectaciones de la vía en el Km 184.5 (diciembre del 2024).....	11
Ilustración 7.	Afectaciones de la vía en el Km 185.5 “Dos Caminos” (diciembre del 2024)	11
Ilustración 8.	Afectaciones en la zona central de “El Cerro” (diciembre del 2024).....	12
Ilustración 9.	Esquema de la estructura de la una lámina silícica.....	15
Ilustración 10.	Esquema de la estructura de la lámina aluminica (Juárez & Rico, 2005) 15	
Ilustración 11.	Mapa geológico de la zona de estudio	19
Ilustración 12.	Análisis microscópico de una matriz de arcilla ILLITA	20
Ilustración 13.	Análisis microscópico de una matriz de arcilla ILLITA	21
Ilustración 14.	Límites de Atterberg	22

Ilustración15.	Pastilla de suelo antes y después del ensayo de limite líquido	23
Ilustración16.	Preparación y ensayo de cilindros para limite plástico.....	24
Ilustración17.	Esquema de las diferentes capas de agua adsorbida y absorbida por partículas de mineral arcilloso.	25
Ilustración18.	Ampliación de los puntos de muestreo para el estudio de la vía.	30
Ilustración19.	Medición de pesos para la granulometría por lavado	31
Ilustración20.	Elaboración de las muestras de arcillas por el método de Casagrande...	33
Ilustración21.	Elaboración de los rollos con el material pasante de tamiz 40	34
Ilustración22.	Con el material pasado de tamiz $\frac{3}{4}$ se procede a amasar de acuerdo a las humedades especificadas para obtener la humedad optima.....	36
Ilustración23.	Triturando material para el ensayo de CBR.....	38
Ilustración24.	Toma de la muestra inicial del dial y sumergimiento de los moldes	39
Ilustración25.	Preparación de la cámara de consolidación	41
Ilustración26.	Calibración de la máquina, inundación de la cámara y equilibrado de carga	41
Ilustración27.	Pasada las 24 horas se remueven las muestras del consolidometro, y se pasan las muestras a una bandeja para pesarlas y meterlas al horno	42
Ilustración28.	Resultados de la prueba del azul de metileno	62
Ilustración29.	Obtención de la muestra en campo	69
Ilustración30.	Anillo metálico colocado a presión para obtener la muestra inalterada .	69
Ilustración31.	Muestra protegida con parafina	69

Ilustración32.	Toma de GPS para las muestras	69
Ilustración33.	Preparación de las muestras para el ensayo de proctor.....	70
Ilustración34.	Desmolde de la muestra en el proctor.....	70
Ilustración35.	Enrasado de los moldes para hinchamiento	70
Ilustración36.	Calibración del deformímetro para el hinchamiento	70
Ilustración37.	Realización del ensayo de valor de azul de metileno	71
Ilustración38.	Presencia de burbujas al encontrarse en los 1,5 gramos de azul de metileno por la adsorción de los finos	71
Ilustración39.	Obtención de la muestra M1	71
Ilustración40.	Obtención de la muestra M2.....	71
Ilustración41.	Obtención de la muestra M3.....	72
Ilustración42.	Obtención de la muestra M4.....	72

INTRODUCCIÓN

Las arcillas representan un problema significativo en la ingeniería civil debido a su capacidad de aumentar y disminuir su volumen considerablemente dependiendo de las condiciones de humedad. Los suelos expansivos incluyen altas concentración de partículas finas que tienen la capacidad de hincharse y contraerse lo que provoca deformaciones en las estructuras superficiales y profundas dando problemas a los pavimentos, cimentaciones y otras infraestructuras.

Se realizaron distintos estudios para la caracterización de las arcillas en el tramo de la vía en el Cerro, específicamente del Km 184 al 188. Entre los ensayos que se realizaron están los de valor de azul de metileno, el límite líquido, el límite plástico, la granulometría por lavado, proctor, hinchamiento, expansión controlada.

La técnica del azul de metileno es usada para cuantificar la cantidad de arcilla activa presente en el suelo, y esto está estrechamente relacionado con el grado expansivo de los materiales, ya que las partículas finas no son aptas para la construcción de la vía.

Los resultados de estos estudios permitirán comprender mejor los efectos de la expansividad en arcillas y que así con estos resultados se puedan realizar medidas de estabilización que mitiguen el impacto de la expansión de suelo en la infraestructura vial.

ANTECEDENTES

- Zambrano, C. (1986). "Control de suelos expansivo en el área de Tosagua". El estudio se centró en los fenómenos de suelos expansivos y desarrollar soluciones para mitigarlos, entre las ciudades de Chone y Rocafuerte. Se utilizaron tres enfoques para determinar la expansividad de los suelos: análisis térmico diferencial basado en la composición mineralógica, métodos indirectos que emplean propiedades de índices, y métodos de medición directa. Los resultados revelaron que los suelos de la zona presentan características expansivas críticas, lo que implica la necesidad de considerar estos factores en el diseño de obras civiles. Finalmente, el trabajo propuso la estabilización de estos suelos con materiales de bajo costo, logrando obtener buenos resultados para reducir el fenómeno expansivo.
- Mora, G. (2013). "Estudio de problemas geotécnicos asociados a la presencia de arcillas expansivas en la carretera Rocafuerte – Tosagua, provincia de Manabí – Ecuador. Análisis de posibles tratamientos de mejora del terreno y recomendaciones constructivas." Esta tesis se destinó a estudiar las arcillas expansivas en la carretera Rocafuerte – Tosagua, realizando una recopilación de la información existente en esa fecha respecto a como se llevó a cabo la rehabilitación de la vía, y a partir de esto dar una recomendación sobre cómo mejorar el terreno. Mediante un estudio del terreno con la ayuda de un difractómetro de rayos X determino un suelo eminentemente arcilloso que está constituido principalmente por esmécticas, las cuales tienen un comportamiento fuertemente expansivo. Logrado identificar el tipo de material arcilloso, se dio una recomendación de mejorar el terreno a base de cal.

- Buitrón, S. y Enríquez, L. (2018). “Estudio de la estabilización de arcillas expansivas de Manabí con ceniza del volcán Tungurahua”. Con esta tesis se examinó la expansividad de las arcillas en la provincia de Manabí obteniendo muestras en distintos cantones, y a partir de varios ensayos de propiedades físicas y mecánicas, se determinó que existe una expansividad de arcillas entre alta y muy alta. Además, se encontró la dosificación óptima para la estabilización de las arcillas expansivas con ceniza del volcán Tungurahua es del 20%, obteniendo mejor comportamiento para los parámetros físicos y mecánicos, reduciendo la escala de expansión entre media y baja, demostrando la significativa influencia del aditivo.
- Paredes, R. y Quinde, C. (2019). “Aplicabilidad del azul de metileno para determinar para determinar la cantidad de material de fracción fina potencialmente dañino en los agregados utilizados para la estructura de pavimento”. La investigación se realizó ensayando los materiales de agregados pertenecientes a tres canteras distintas, mediante la aplicación del azul de metileno para identificar la presencia de arcillas expansivas, bajo referencia de la norma colombiana INV E -235-07. A partir de los resultados y su fiabilidad se dio una recomendación, para la aplicabilidad en el territorio local, siendo un método efectivo y de fácil aplicación, teniendo en consideración la similitud geológica con la del país.

1. CAPÍTULO I – PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Hipótesis

El ensayo de valor de azul de metileno puede ser utilizado como un indicativo del grado de expansión de las arcillas, comparándolo con otros métodos y las afectaciones producidas en el tramo de vía Rocafuerte – Tosagua Km 184 al 188 del sector “El Cerro”.

1.2. Problemática

La vía Rocafuerte – Tosagua tiene notorios problemas de estabilidad a lo largo de su trayecto, presentando deformaciones, grietas, baches, hundimientos, entre otros. Estos malestares que padece la vía se presentan siempre, incluso después de la rehabilitación vial dada por el MTOP en el año 2013. Cada año se debe dar mantenimiento a esta vía debido a los mismos problemas explicados, y todos estos se adjudican al tipo de suelo que existen en estas zonas, que se le denominan como arcillas expansivas. Y si bien existen varios factores respecto a los estudios, diseño, construcción y mantenimiento en cada una de las componentes en la que se involucró al proyecto de la vía Rocafuerte - Tosagua. Se estudiará en particular la caracterización del grado de expansión de las arcillas en el tramo de vía del sector “El Cerro”, relacionando el ensayo de valor de azul de metileno con otros métodos y la afectación en la infraestructura vial.

1.3. Delimitación del problema

1.3.1. Delimitación del contenido

El presente proyecto contiene un estudio de la caracterización de las arcillas en el tramo de la vía Rocafuerte – Tosagua en el sector de “El Cerro”, mediante ensayos de límites de

atterberg, expansión controlada, hinchamiento y azul de metileno para determinar el potencial nocivo de los finos.

1.3.2. Delimitación espacial

Los ensayos anteriormente mencionados serán realizados mediante la recolección de muestras cercanas a la vía como taludes o excavaciones próximas a nivel de subrasante. Las 8 primeras tomas que abarcan mayor extensión a la zona de estudio se utilizarán solo para límites de atterberg y relacionar cada uno de los puntos. Los ensayos de expansión controlada, hinchamiento y azul de metileno, serán aplicados a las últimas muestras siendo más focalizadas al sector de “El Cerro”. Con el material obtenido se trabajará en cada uno de los ensayos en el laboratorio de “Ensayo de materiales y Mecánica de suelos” de la carrera de Ingeniería Civil en la ULEAM.

Tabla 1. Coordenadas de puntos muestreados

Referencia de puntos muestreados (Zona 17 M)		
No. Punto	Este	Norte
1	582996.00 m E	9911545.00 m S
2	581463.00 m E	9910233.00 m S
3	579917.00 m E	9910069.00 m S
4	575585.00 m E	9908968.00 m S
5	575303.00 m E	9908762.00 m S
6	574995.00m E	9908594.00 m S
7	574460.00 m E	9908171.00 m S
8	572921.00 m E	9906829.00 m S
9	572943.00 m E	9906804.00 m S
10	575466.00 m E	9908844.00 m S
11	575243.00 m E	9908740.00 m S
12	574824.00 m E	9908354.00 m S
13	574174.00 m E	9908028.00 m S

1.3.3. Delimitación temporal

Esta investigación se llevó a cabo en un periodo de tiempo entre los meses de julio y diciembre del año 2024.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Caracterizar el grado de expansión de las arcillas del sector “El Cerro” en el tramo de vía Rocafuerte – Tosagua (Km 184 al Km 188) y relacionar su afectación al tramo vial mediante el ensayo de valor de azul de metileno y otros métodos.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar las propiedades características de las arcillas presentes en el tramo de vía del sector “El Cerro” mediante ensayos e investigaciones.
- Evaluar el grado de expansión de las arcillas ubicadas en el tramo de vía del sector “El Cerro” mediante ensayos.
- Relacionar el grado de expansión de las arcillas con los resultados obtenidos del ensayo de valor de azul de metileno.
- Inferir si los problemas existentes en el tramo de vía son debidos a la presencia de arcillas y su grado expansivo.

1.5. Variables

1.5.1. Variable independiente

Características y propiedades de las arcillas obtenidas por los ensayos y relaciones indirectas.

1.5.2. Variable dependiente

Grado expansivo de las arcillas mediante los resultados del estudio.

2. CAPÍTULO II – MARCO TEORICO

2.1. Vía Tosagua – Rocafuerte

La presencia de suelos arcillosos expansivos, cuya principal característica es la de producir movimientos como consecuencia de hinchamientos y retracciones del subsuelo sobre el cual se apoya las carpetas del pavimento, debido a cambios de humedad provocan en la mayoría de los casos, daños importantes a la infraestructura de la vía.

2.1.1. Rehabilitación de la vía Tosagua-Rocafuerte

En el año 2013 el MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas) invirtió US\$ 67'254,753 en la rehabilitación de la carretera Rocafuerte – Tosagua en pavimento rígido y a 2 carriles, con el propósito de brindar seguridad a sus usuarios, además incluyendo cuatro pasos peatonales en las poblaciones de Papayita, Tierra Bonita, El Junco y la Universidad en Tosagua. Con esta rehabilitación vial, se logró dar una mejoría a la imagen y el tránsito vehicular en la ciudad.



Ilustración 1. Vía Rocafuerte-Tosagua rehabilitada y en funcionamiento (año 2013)

Fuente: https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/01/18-01-2013_Reportaje_Especial_ROCAFUERTE_TOSAGUA.pdf

No obstante, no todos los km de la vía se empleó pavimento rígido, sino que se empleó pavimento flexible, tal y como lo cita El Diario *“La vía fue construida de hormigón rígido. Sin embargo, el carril izquierdo en la dirección Rocafuerte-Tosagua, se construyó de asfalto, debido a que las condiciones del suelo no permiten la colocación de concreto”*



Ilustración2. Vía Rocafuerte-Tosagua sector El Cerro (año 2013)

Fuente: <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/298212-falla-en-la-va-rocafuerte-tosagua-crea-molestias-en-los-conductores/>

A partir de la rehabilitación de la vía Rocafuerte-Tosagua y a medida que ha transcurrido el tiempo se han producido varias fallas, como lo son: hundimientos, huecos, baches, deslizamientos y aberturas en la calzada. Han existido varias opiniones de profesionales respecto a los problemas presentados en la vía, donde se destaca la falta de estudios en esta obra, siendo que en aquel momento este tipo de proyectos se iniciaban como “planes relámpago”, es decir, se hacía primero la contratación y a medida que se avanzaba, se realizaban los estudios pertinentes, sin embargo, se dejaron muchos estudios fundamentales de lado, como lo son el estudio hidrológico, suelo y tráfico; si estos parámetros tan esenciales no fueron confiables para el proyecto, las consecuencias se han ido reflejando en el paso del tiempo y hasta la actualidad.

2.2. Problemas actuales de la vía Rocafuerte - Tosagua

Para el año de la fecha de investigación (2024) en los primeros meses, la vía Rocafuerte-Tosagua se presentó como un peligro para los conductores de vehículos livianos y pesados, que deben realizar maniobras para evadir los daños existentes (baches, ondulaciones, fisuras y piscinas), esto fue más evidente en los tramos cercanos al Junco. Es decir, se tienen los mismos problemas desde hace años, y se realizan mantenimientos en la vía mediante el bacheo.



Ilustración3. Estado de la vía Rocafuerte-Tosagua (febrero del 2024)

Fuente: Manavisión

Los suelos expansivos representan un gran problema a la vía y esto es debido a su capacidad de cambiar de volumen en respuesta a variaciones en el contenido de humedad ya sea por ascenso capilar o por las lluvias suscitadas en la zona. Este comportamiento genera una serie de problemas que afecta a la funcionalidad y la durabilidad de las vías. Como se muestra en la *Ilustración2* de la entrada de “El Cerro” durante la toma de la muestra M1, donde se han realizado el mantenimiento vial para cubrir los baches debido a la retracción del suelo.



Ilustración4. Afectación en la entrada del Cerro (diciembre del 2024)

En la entrada del Junco para la toma de la muestra M2, la vía también presentó síntomas similares al de la entrada de “El Cerro”, por lo observado en campo el material se identificó un suelo residual de la formación Tosagua.



Ilustración5. Entrada del Junco (diciembre del 2024)

En el Km 184.5 al Km 185.5 donde se hizo la toma de muestras M4 y M3 respectivamente, la vía si se encuentra afectada, pero de menor manera o casi nulas con retracciones, y visualmente no se compara a los anteriores tramos mencionados de la entrada de “El Cerro” y “El junco”. Por lo observado en campo y durante la extracción de las muestras se observó un suelo rocoso de arcillolitas.



Ilustración6. Afectaciones de la vía en el Km 184.5 (diciembre del 2024)

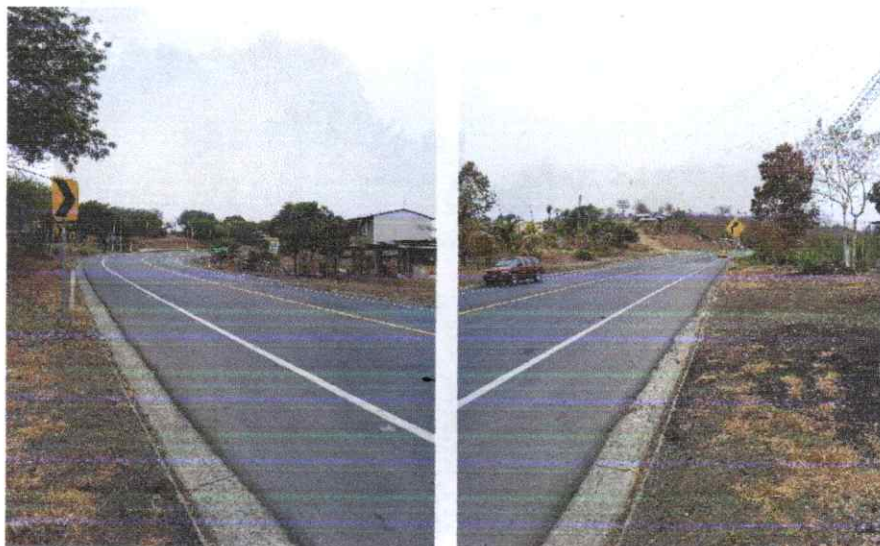


Ilustración7. Afectaciones de la vía en el Km 185.5 “Dos Caminos” (diciembre del 2024)

Los cambios en el contenido de humedad del suelo subyacente pueden generar los asentamientos y deformaciones significativos. Como se evidencio en la zona central de “El Cerro” donde se encuentran las mayores afectaciones como baches, deformaciones, piel de cocodrilo, a. Mediante la toma de la muestra M5 se pudo identificar un suelo residual de la formación Tosagüa.



Ilustración 8. Afectaciones en la zona central de “El Cerro” (diciembre del 2024)

Como se puede visualizar de los daños y problemas observados en la vía se evidencian los efectos adversos de los suelos expansivos en el tramo de vía analizado.

2.3. El suelo

Se trata de una capa superficial sobre la corteza terrestre y está compuesta por partículas minerales y orgánicas no cementadas, producto de la desintegración física o química de las rocas preexistentes. Las partículas de suelo se encuentran junto a espacios vacíos y el agua, este último es un componente integral del suelo, puede distribuirse de manera continua entre los poros intercomunicados del suelo, influyendo directamente en sus propiedades y comportamiento. El suelo como conjunto presenta una organización estructurada que varía de forma vectorial, esto es más evidente en la dirección vertical donde es notorio los cambios en las propiedades de los estratos del suelo, en comparación con los horizontales.

Los suelos se clasifican en general por el tamaño de las partículas que los componen, como gravas, arenas, limos o arcillas. Además, se pueden diferenciar como residuales o transportados. Los suelos residuales se encuentran en el mismo lugar donde se formaron, preservando lejanamente ciertas características de la roca madre, producto de los procesos mecánicos y químicos. Al contrario, los suelos transportados son movilizados y depositados por agentes como el agua o el aire, este tipo de suelos no tiene relación directa con la roca original del sitio. (Rico & Del Castillo, 1976)

2.4. Arcillas

Un suelo cohesivo se define como un conjunto de partículas minerales que tiene un considerable índice de plasticidad determinado por los límites de Atterberg y que al secarse forma una masa coherente, requiriendo una fuerza para lograr separar los granos microscópicos individuales. La cohesión de un depósito de suelo viene dada por los minerales arcillosos,

entonces la cohesión del suelo dependerá de los tamaños, partículas y materiales arcillosos presentes. Los depósitos de arcillas completamente puros, son prácticamente difíciles de encontrar en la naturaleza, debido a que en su mayoría se encuentran contaminados con limos, partículas de arena fina y coloides.

Para diferenciar una "arcilla" se debe superar en un 50% la presencia de partículas de 0,002mm o menores. Si entre el 80% o 90% del material del depósito es menor a 0,075mm, y existe una pequeña cantidad de arcilla (entre el 5% y 10%), es suficiente cantidad para otorgar propiedades cohesivas al suelo. (Bowles, 1982)

2.4.1. *Minerales presentes en las arcillas*

Específicamente las arcillas se constituyen por silicatos de aluminio, sin embargo, también considera otros minerales como lo son silicatos de magnesio, hierro u otros metales hidratados. Para obtener el producto final de una arcilla, se necesita de los silicatos que se encuentran por las rocas y metamórficas, junto con agentes de descomposición química, se llega al producto final que se conoce como arcilla. Estos minerales descritos poseen una estructura cristalina la mayoría de las veces, siendo que sus átomos se conforman en laminas, clasificándose en dos tipos de láminas: la silícica y alumínica. (Juárez & Rico, 2005)

Las láminas silícicas están conformadas por un átomo de silicio, rodeado por cuatro átomos de oxígeno, logrando un conjunto con forma de tetraedro, como se muestra en la *Figura 3.1.1*. En cambio, las láminas alumínicas están formadas por un átomo de aluminio en el centro y seis átomos de oxígeno en su contorno logrando una red de octaedros, como se indica en la *Figura 3.1.2*. (Juárez & Rico, 2005)

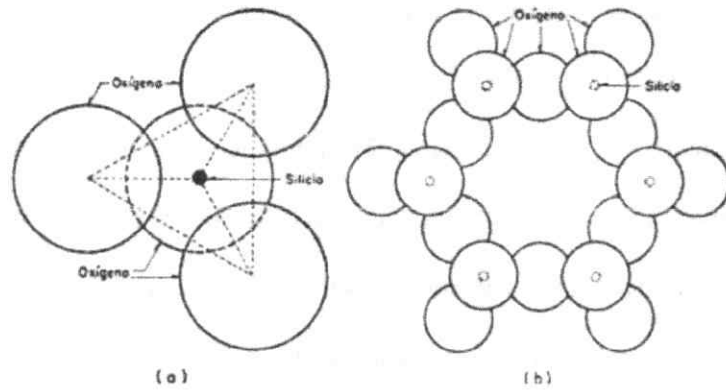


Ilustración 9. Esquema de la estructura de la una lámina silícica

Fuente: Mecánica de suelos. Fundamentos de la mecánica de suelos

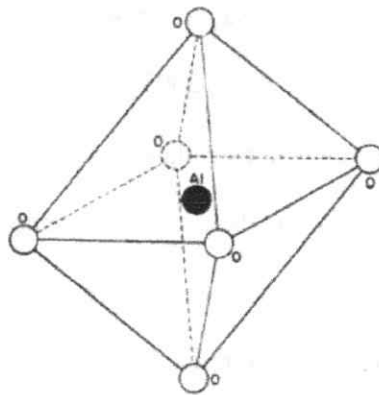


Ilustración 10. Esquema de la estructura de la lámina aluminica (Juárez & Rico, 2005)

Fuente: Mecánica de suelos. Fundamentos de la mecánica de suelos

A partir de la estructura reticular presente en los minerales de arcilla se destacan tres grupos: caolinitas, montmorillonitas e Ilitas, donde se pueden describir cada una de ellas:

- Caolinitas: Se componen por una lámina silícica y aluminica, superpuesta una respecto a otra, esto logra formar una reticula lo suficiente firme que no permite la penetración de

las moléculas de agua (adsorción), presentado una relativa estabilidad ante la presencia de agua. (Juárez & Rico, 2005)

- **Montmorillonitas:** Formada por una lámina alumínica entre dos silícicas, superpuestas indefinidamente. La unión entre retículas para este mineral es débil, presentando una relativa facilidad para introducir moléculas de agua, produciendo un incremento del volumen en los cristales, lo cual se traducen en una expansión. Entonces, las arcillas montmorillonitas se consideran inestables en presencia de agua. (Juárez & Rico, 2005)
- **Illitas:** Tiene una estructura similar a las montmorillonitas, se diferencian porque su constitución interna manifiesta tendencia a formar grumos de materia, lo cual favorece su comportamiento ante la presencia de agua, presentando una menor expansividad respecto a las montmorillonitas. (Juárez & Rico, 2005)

Una de las características que se evidencia en cada uno de los grupos, es el comportamiento ante la presencia de agua y dependiendo al tipo de mineral existente se tendrá un repuesta distinta, siendo el caso más perjudicial poseer una montmorillonita, dado que demuestra una alta inestabilidad al ser expuesta al incremento o reducción de agua.

2.4.2. Características de los materiales arcillosos

- **Intercambio catiónico**

Las partículas de arcilla al ser muy reducidas menores a dos micras (0.002 mm) tienen una gran influencia de cargas electromagnéticas, la partícula arcilla es de carga negativa y atrae las partículas de agua a su alrededor de carga positiva, esta a su vez consigue atraer cationes de diferentes elementos, entonces la película de agua formada alrededor de cada partícula de arcilla alcanza presiones muy altas, similar a una capa sólida.

- **Capacidad de hinchamiento**

En el momento que los materiales arcillosos secos absorben agua, esto provocara el hinchamiento o expansión, debido a que el agua ocupara el espacio entre capas de la estructura de las arcillas, esto también es asociado a las fuerzas energéticas producidas por la interacción de las partículas de arcilla y agua. Las arcillas expansivas tienen la particularidad de sufrir grandes cambios de volumen, de acuerdo, a la cantidad de agua y de otros factores como: composición de los minerales arcillosos, la cantidad de agua entre capas, el tipo y concentración de iones entre capas.

- **Adsorción**

Los minerales de arcilla tienen propiedades de absorción no covalente a través de tres formas: adsorción física donde se presenta la adsorción no iónica en la superficie de la arcilla (la superficie mayor se ve comprometida por volúmenes pequeños); la segunda es adsorción por intercambio iónico mediante la interacción electroestática; por último, la adsorción de moléculas pequeñas en las cavidades y poros entre partículas de arcilla. (Kumari & Mohan, 2021)

- **Plasticidad**

Esta es una propiedad que le permite a las arcillas poder deformarse ante una fuerza finita sin llegar a romperse, pudiendo recuperar su forma después de retirar la carga, dependiendo de la relación arcilla y agua se tendrá una mayor plasticidad, siendo que una baja relación se refleja una baja plasticidad que se deforma y rompe fácilmente.

2.4.3. Arcillas expansivas

Se considera arcilla expansiva, aquel material de suelo fino que presenta grandes variaciones de volumen respecto a la humedad que posee, incrementando su volumen (expansión) con el aumento de humedad y disminuyendo su volumen (contracción) con la

reducción de agua. Esta descripción tiene estrecha relación con los suelos expansivos que a lo largo del tiempo han presentado grandes problemas a las estructuras, debido a estos eventos repetitivos de expansión y contracción, se tienen daños representativos como la deformación, fisuramiento y agrietamiento de pavimentos. (Villacis, y otros, 2022)

2.5. Formación Tosagua

Aflora fundamentalmente desde Rocafuerte hasta Tosagua y se encuentra en la zona geológica, la roca sello es definida por las Lutitas de Dos Bocas de la Fm. Tosagua.

Esta está conformada por arcillolitas de color gris oscuro que meteorizan a lutitas de color chocolate el cual tiene un espesor entre 546 a 1012 m (Bristow, 1977). En la parte basal, se observa la presencia de radiolarios; la parte superior está compuesta de limolitas de color gris verdoso o amarillento (Ordoñez, Jiménez , & Suárez, 2006)

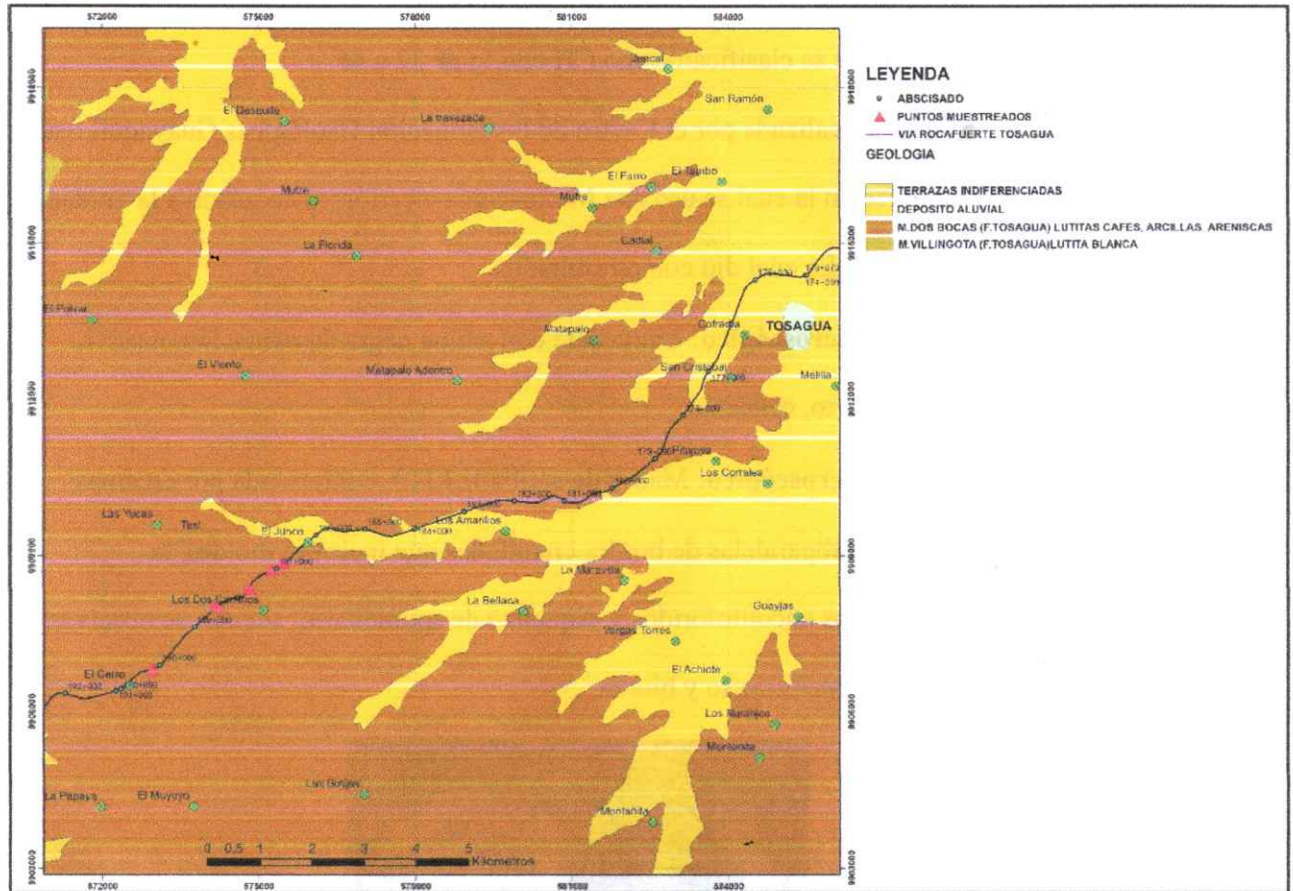


Ilustración 11. Mapa geológico de la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

2.6. Análisis Mineralógicos sectores de El Cerro y El Junco

A partir de los estudios realizados para la reconstrucción de la vía Portoviejo – Tosagua, se enviaron muestras al C.I.G.G para determinar la mineralogía mediante microscopía electrónica acoplado a una unidad de espectroscopía de rayos X. Los resultados obtenidos para los sectores de “El Cerro” y “El Junco” se detallan a continuación.

2.6.1. El Cerro

Este sector está construido completamente sobre la formación Tosagua, y este se encuentra fallas en la vía. En esta zona se encuentran una litología muy homogénea en todo el

tramo consistente de arcillolitas café oscura (chocolate), que meteorizan en color amarillo rojizo, con una alta plasticidad que se clasifican como CH con Ip de 32 a 46.

Una investigación realizada por el Centro de Investigación Geológicas Guayaquil realizó un análisis morfoquímico en la cual se usó una Microscopía electrónica acoplado a la unidad de espectroscopia de rayos X. La cual dio como resultados

- **Análisis macroscópico:** Lutita café con pátina negra de oxidación, masiva, sedosa al tacto, calcárea.
- **Análisis microscópico:** Matriz de arcilla ILLITA conformada por escamas alargadas, subparalelas de bordes crenulados que incluyen moldes de foraminíferos cocolitofóridos y esqueleto de spumellario, además se observan vetillas de calcita, yeso y biotita

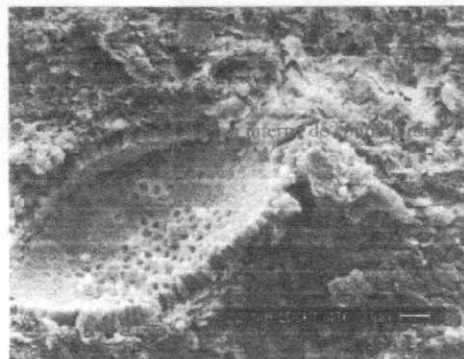


Ilustración 12. Análisis microscópico de una matriz de arcilla ILLITA

Fuente: C.I.G.G Informe del análisis mineralógico para la vía Portoviejo Tosagua

2.6.2. El Junco

Esta tiene una composición limo arenosa, con un nivel decimétrico de gravas con cantos rodados, de arcillolita tobácea, sobre los cuales se asientan pobremente, las pilas de puente.

Esta se clasifica como Arcilla grumosa café con pintas blancas, plásticas, que clasifican como CH, con Ip= 34

- **Análisis macroscópico:** Lulita café con pátina negra con alteración, masiva compacta, calcárea. Se observa abundantes microfósiles
- **Análisis microscópico:** Esta se define como ILLITA la arcilla componente de la lulita. Se encuentra con presencia de foraminíferos y radiolarios, además minerales accesorios se observan biotita, halite, yeso y carbón.



Ilustración 13. Análisis microscópico de una matriz de arcilla ILLITA

Fuente: C.I.G.G Informe del análisis mineralógico para la vía Portoviejo Tosagua

2.7. Límites de atterberg

2.7.1. Plasticidad

La plasticidad se define como una propiedad que poseen ciertos materiales para soportar deformaciones rápidas sin experimentar rebote elástico, variaciones volumétricas significativas, deformaciones o agrietamientos. Los suelos arcillosos destacan esta característica bajo condiciones específicas. Atterberg demostró que no todos los tipos de suelos poseen la propiedad de ser plásticos. Los suelos granulares (arenas y gravas) no presentan plasticidad bajo ninguna circunstancia. En contraste, los suelos finos como arcillas y limos presentan plasticidad, esto depende directamente de contenido de agua en la materia, porque no es una propiedad permanente. (Rico & Del Castillo, 1976)

Los suelos finos que contienen minerales de arcilla, al poseer cierto contenido de agua permiten su remodelación sin desmoronarse, esto se debe a la naturaleza cohesiva proporcionada por las partículas de arcilla al adsorber y rodearse de partículas de agua. El científico Albert Mauritz Atterberg desarrollo un método para poder describir la consistencia de los suelos finos en función de su contenido variable de agua.

Según Atterberg, el comportamiento de un suelo fino varía dependiendo de su contenido de agua, clasificándolo en cuatro estados básicos: sólido, semisólido, plástico y líquido, estos estados reflejan como cambia la consistencia del suelo. Siendo que, con un contenido muy bajo de agua, el suelo se comporta como un sólido frágil. Al contrario, al incrementar el contenido de agua, puede actuar como un material plástico, y en condiciones de alta saturación, el material y el agua fluyen como un líquido. (Das, 1999). Los estados de consistencia definidos por Atterberg, según su contenido de agua decreciente, se presentan como:

- Estado líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.
- Estado plástico, se comporta plásticamente (soporta deformaciones).
- Estado semisólido, el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero disminuye su volumen al secarse.
- Estado sólido, el volumen del suelo ya no varía con secado.

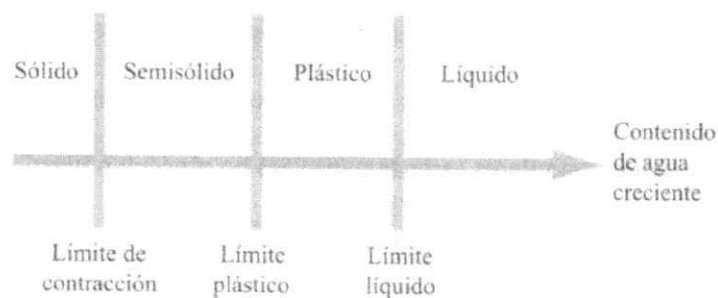


Ilustración 14. Límites de Atterberg

Fuente: Fundamento de ingeniería geotécnica Braja M. Das

2.7.2. *Limite líquido*

Se refiere al contenido de agua por encima del cual el suelo comienza a comportarse como un líquido viscoso. En este estado, la mezcla de suelo y agua tienen una resistencia al corte que es prácticamente no medible, lo que se traduce a que el material fluye como un líquido. En la mecánica de suelos, el límite líquido se determina de forma práctica, estableciendo un contenido de agua en el material, que al realizar 25 golpes con la cuchara de casa grande se cierre una acanaladura cortada en la pastilla de suelo en una distancia de 1,27cm. (Bowles, 1982)

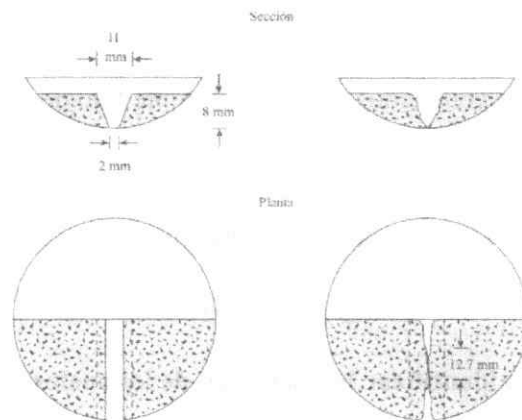


Ilustración 15. Pastilla de suelo antes y después del ensayo de límite líquido

Fuente: Fundamento de ingeniería geotécnica Braja M. Das

2.7.3. *Limite plástico*

Corresponde al contenido de agua por debajo del cual un suelo deja de comportarse como un material plástico. El límite plástico se define arbitrariamente como el contenido de humedad al cual un cilindro formado del material, se agrieta o rompe cuando se enrolla hasta alcanzar un diámetro de 3mm. (Bowles, 1982)



Ilustración 16. Preparación y ensayo de cilindros para límite plástico

Fuente: Fundamento de ingeniería geotécnica Braja M. Das

El intervalo existente entre los contenidos de agua del límite líquido y el límite plástico es cuando se comporta como un material plástico. Este intervalo se le denomina índice de plasticidad, y se calcula como la diferencia entre ambos límites

$$I_p = W_L - W_P$$

2.8. Azul de metileno para identificar la nocividad de los suelos finos

El ensayo de azul de metileno es un método utilizado para evaluar la actividad y limpieza de los suelos finos, en especial respecto a las arcillas. Este procedimiento se fundamenta en la capacidad de adsorción del azul de metileno por parte de las partículas arcillosas, lo que permite determinar las propiedades de los materiales y el posible desempeño en obras civiles. El azul de metileno, al mezclarse con agua, actúa como un colorante catiónico que interactúa con los cationes intercambiables de las arcillas mediante fenómenos de intercambio iónico y adsorción física.

Los elementos arcillosos al estar en contacto con el agua, pueden presentar propiedades como plasticidad, cohesión, adhesividad, carácter expansivo y afinidad por agua, las cuales son

consideradas nocivas en la construcción de obras. Estas propiedades están ligadas principalmente a:

- La extrema finura de las partículas y a su estructura laminar, traduciéndose en una superficie interna y externa considerable.
- El intenso estado de carga eléctrica en la superficie, que da origen al fenómeno de la actividad.

La capacidad de adsorción de azul de metileno se convierte, por lo tanto, en un indicador crucial de la actividad de las partículas arcillosas. El procedimiento del ensayo consiste en mezclar una muestra del suelo con una solución de azul de metileno de concentración conocida. Durante este proceso, las partículas de arcilla adsorben el azul de metileno hasta alcanzar un estado de saturación, momento en el cual ya no pueden adsorber más del colorante. Este punto se identifica visualmente al observar la formación de un halo en la mezcla, indicando que las partículas están completamente recubiertas. (Pino González, Esteras González, & Jiménez Sáez, 2018)

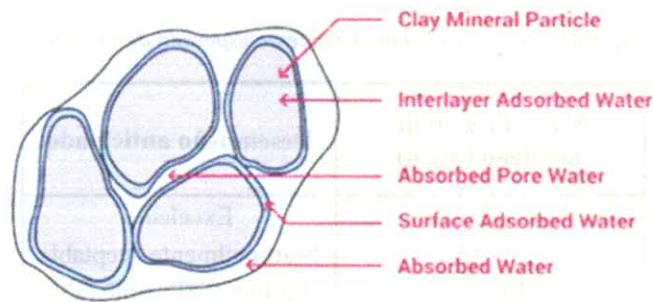


Ilustración 17. Esquema de las diferentes capas de agua adsorbida y absorbida por partículas de mineral arcilloso.

Fuente: <https://www.gravelock.com/technical.php>

2.8.1. Ensayo de valor de azul de metileno INV E – 235 07

Utilizando el azul de metileno, de una forma sencilla y económica se puede evaluar la fracción de material arcilloso en los suelos, logrando identificar su potencial nocivo sin recurrir a métodos complejos y costos como la difracción de rayos X, análisis térmico diferencial y análisis químico. El valor de azul de metileno determinado mediante la norma INV E – 235 07 (Valor de azul de metileno en agregados finos y en llenantes minerales), se puede emplear para estimar la cantidad de arcillas dañinas y materia orgánica presente en un agregado. Un valor significativo indica una gran cantidad de arcilla o de materia orgánica presentes en la muestra. (INV E, 2011)

En un recipiente que contenga agua destilada y una porción de la muestra de material (menor al tamiz No 200), se agrega gotas de solución de azul de metileno, después de cada incremento se utiliza la varilla agitadora de vidrio para retirar de la mezcla, gotas que se dejan caer sobre un papel filtro. Cuando la muestra no pueda adsorber más azul de metileno se forma un anillo azul en el papel filtro. En este momento se procede a calcular el valor de la solución (mg/g miligramos de Azul por gramo de suelo).

Tabla2. Valor de azul metileno y el comportamiento esperado de la mezcla asfáltica. INV E -235 07

Valor de azul de metileno (mg/g)	Desempeño anticipado
≤6	Excelente
7 - 12	Marginalmente aceptable
13 - 19	Problemas/Posible falla
≥20	Fallado

El cálculo de valor de azul de metileno se realiza mediante

$$VA = \frac{C * V}{W}$$

VA= valor de azul de metileno en mg de azul por gramo de material seco (mg/gr).

C= Concentración de la solución de azul de metileno, en mg de azul por ml de solución (mg/ml).

V= cantidad de solución en ml de azul de metileno en el ensayo (ml).

W= material seco utilizado en el ensayo en gramos (gr)

2.9. Identificación de arcillas expansivas

Para identificar si se trata de una arcilla expansiva o no, se requiere determinar el tipo de mineral arcilloso constituyente, mediante pruebas de difracción de rayos X, análisis térmico diferencial y análisis químicos, permitiendo verificar el contenido de montmorillonita, el cual sería el mineral más perjudicial debido a su alta expansividad. Sin embargo, debido a la complejidad de estos ensayos, se ha recurrido a otros autores y normas que han establecido relaciones del potencial expansivo de un suelo a partir de otros parámetros básicos obtenidos de ensayos como: granulometría, límites de Atterberg, valor de azul de metileno, hinchamiento y expansión controlada.

3. CAPÍTULO III – DISEÑO METODOLOGICO

3.1. Obtención de muestras para caracterización

En el estudio de la vía Tosagua-Rocafuerte, se realizará en un tramo correspondiente al Km+184 hasta el Km+188 para una caracterización de la posible arcilla expansiva. Los sectores que comprende este tramo de carretera, se encuentran “El Cerro” y “El Junco”, adicional a estos sitios se tomaron muestras referenciales más cercanas al asentamiento de Tosagua cerca del paso lateral y del sector “Los amarillos”, a continuación, se presentan las ubicaciones de los primeros muestreos.

Tabla3. Muestras y ubicaciones para la caracterización de las posibles arcillas expansivas

Puntos referenciales (cercano población Tosagua)			
PLT01	Muestra	PLT01	
	Descripción	Paso lateral Tosagua	
	Coordenadas UTM	17M	582996.00 m E 9911545.00 m S
Muestra	TR01		
TR01	Descripción	Alcantarilla	
	Coordenadas UTM	17M	581463.00 m E 9910233.00 m S
	Muestra		TR03
TR03	Descripción	Los Amarillos	
	Coordenadas UTM	17M	579917.00 m E 9910069.00 m S
	Zona de estudio Km184 - Km 188 (Vía Rocafuerte - Tosagua)		
TR04	Muestra	TR04	
	Descripción	Inicio del "Cerro", parte baja del deslizamiento	
	Coordenadas UTM	17M	575585.00 m E 9908968.00 m S
Muestra	TR05		
TR05	Descripción	Curva, al frente de 4 casas	
	Coordenadas UTM	17M	575303.00 m E 9908762.00 m S
	Muestra		TR06
TR06	Descripción	Altura de corte	
	Coordenadas UTM	17M	574995.00m E 9908594.00 m S
	Muestra		TR07
TR07	Descripción	En la curva	
	Coordenadas UTM	17M	574460.00 m E 9908171.00 m S
	Muestra		TR08
TR08	Descripción	Pasando posible formación de basalto	
	Coordenadas UTM	17M	572921.00 m E

			9906829.00 m S
M1	Muestra	M1	
	Descripción	Cercano a muestras TR08	
	Coordenadas UTM	17M	572943.00 m E
	9906804.00 m S		
M2	Muestra	M2	
	Descripción	Entre las muestras TR04 y TR05	
	Coordenadas UTM	17M	575466.00 m E
	9908844.00 m S		
M3	Muestra	M3	
	Descripción	Cercano a muestra TR05	
	Coordenadas UTM	17M	575243.00 m E
	9908740.00 m S		
M4	Muestra	M4	
	Descripción	Entre muestras TR06 y TR07	
	Coordenadas UTM	17M	574824.00 m E
	9908354.00 m S		
M5	Muestra	M5	
	Descripción	Zona comercial de "El Cerro"	
	Coordenadas UTM	17M	574174.00 m E
	9908028.00 m S		

Para la realización de este estudio para las muestras PLT01, TR01, TR03, TR05, TR06, TR07, TR08 se realizaron estudios de caracterización únicamente como lo son la granulometría por lavado, los límites líquidos y plásticos, contenido de humedad, con el objetivo de dejar caracterizados este tramo de vía, para que con así con las muestras M1, M2, M3, M4, M5 únicamente realizar los ensayos de expansividad, proctor estándar, hinchamiento, expansión controlada, azul de metileno.



Ilustración 18. Ampliación de los puntos de muestreo para el estudio de la vía.

Fuente: Google Earth

3.2. Granulometría por lavado

Se utiliza como base la norma ecuatoriana NTE INEN 697, donde se establece el método para determinar mediante lavado del árido, la cantidad del material que pasa el tamiz No.200

Equipos y materiales

- Balanza
- Tamices No.200, No.40, No.10, No.4
- Horno
- Muestra de suelo seca 200gr
- Taras, recipientes y otros utensilios generales.

Procedimiento

- Con la muestra seca de 200g, se coloca en el tamiz No.200 para proceder a lavarlo con agua potable, el objetivo es remover las partículas finas de arcillas o limos. Se debe tener cuidado para evitar la pérdida de la muestra.
- El lavado se realizará hasta que el agua pasante del tamiz sea transparente, de manera que se removieran todas las partículas finas y solo queden partículas gruesas en el tamiz.
- El material retenido por el tamiz se llevará al horno por 24 horas.
- Pasado el tiempo de secado, con la muestra restante se pasará por el conjunto de tamices No.4, No.40 y No.10 y se medirán los pesos de cada uno de los retenidos por los tamices.
- Los pesos de cada uno de los tamices, permitirán tener datos sobre la granulometría de la muestra, y todo lo restante de los 200g, será la cantidad de finos que fueron lavados.

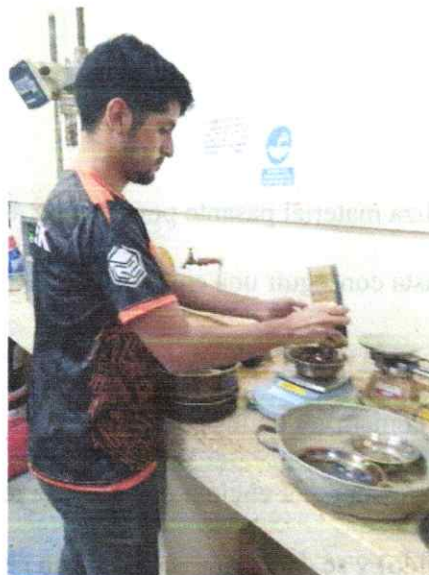


Ilustración 19. Medición de pesos para la granulometría por lavado

3.3. Límites de Atterberg

3.3.1. Límite líquido

La normativa para la realización de este ensayo se empleó la norma ecuatoriana NTE INEN 0691. Determinación del límite líquido. Método de Casagrande, equivalente a la norma ASTM D 4318 y la AASHTO T 89.

Equipos y materiales

- Muestra de suelo
- Recipientes
- Cuchara de casa grande
- Ranuradores de bronce y plástico
- Espátula
- Tamiz N°40
- Pipeta

Procedimiento

- Para este ensayo se utiliza material pasante por el tamiz 40 y secada en horno, al cual se procede añadir agua hasta conseguir una consistencia de plastilina.
- La muestra será puesta en la cuchara de casa grande y enrasada, para proseguir a dar acción a la manivela y comenzar con los golpes.
- Este 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.

- El objetivo es conseguir 25 golpes, pero debido a su complejidad se puede realizar en rangos de 12 – 15; 15 – 25; 25 – 35.
- Para cada rango de golpe se tomará una muestra, que será pesada y secada al horno, con el propósito de obtener la humedad.
- Se realiza una gráfica donde se relaciona la humedad en escala logarítmica y el número de golpes. Donde se tenga 25 golpes es la humedad del límite líquido.



Ilustración 20. Elaboración de las muestras de arcillas por el método de Casagrande

3.3.2. El límite plástico

La norma empleada es la norma ecuatoriana NTE INEN 0692, la cual es equivalente a la norma AASHTO T-90 y a la ASTM D 4318

Equipos y materiales

- Muestra del suelo
- Vidrio poroso
- Balanza

- Recipiente
- Horno

Procedimiento

- Para la realización de ensayo se utiliza el material pasante del tamiz 40 secado en horno, con la adición del agua hasta tener una consistencia plástica.
- Con la muestra se realizan rollos en una placa de vidrio de 3mm de espesor hasta que estos comiencen a fisurarse.
- Colocar la muestra en los recipientes para pesarlos y posteriormente colocarlos en el horno.
- Se determina la humedad a partir de la diferencia de los pesos antes y después del secado



Ilustración 21.

Elaboración de los rollos con el material pasante de tamiz 40

3.4. Ensayo de Proctor estándar

Materiales

- Molde de compactación

- Horno
- Pistón
- Balanza
- Bandeja
- Tamiz
- Regla para enrasar
- Probeta Graduada
- Capsulas

Procedimiento

- Con el material obtenido de los puntos antes mencionados cercanos a la vía, se procede a realizar con una muestra de 5 kg pasados a través del tamiz $\frac{3}{4}$, la cual ya se encuentra en estado seco
- Se realiza la toma de los datos de los moldes a utilizar en el ensayo tanto el diámetro y peso del molde.
- Por tanto, con el material utilizado se procede a añadir agua con el vaso de precipitación, con una humedad 10%, 13%, 16%, 19%, 22%, 28%, 33%. Estos valores de humedades se utilizaron ya que las arcillas con alto índice de plasticidad y liquido se encuentra en el rango de 28-35% de humedad optima.
- Con el agua añadida se realizó una mezcla uniforme la cual fue compactada en el molde a 3 capas con 25 golpes por capa de igual espesor
- Se retira la parte de arriba del molde, y con el material sobrante se enrasa para asi obtener el molde de manera uniforme

- El ensayo se repite con las humedades antes descritas para así facilitar la obtención de los datos y obtener los valores adecuados.



Ilustración22. Con el material pasado de tamiz $\frac{3}{4}$ se procede a amasar de acuerdo a las humedades especificadas para obtener la humedad optima.

3.5. Ensayo de expansión del CBR

Materiales

- 6 kg seco pasado por el tamiz $\frac{3}{4}$ por muestra a ensayar
- 1800ml de agua por muestra a ensayar
- Moldes cilíndricos metálicos del CBR
- Disco espaciador metálico
- Tamiz $\frac{3}{4}$
- Trípode de metal
- Reloj comparador

- Martillos de compactación
- Pesas de 4,5kg – 5 kg
- Gavetas o tanques para la inmersión
- Utensilios y herramientas de uso general (bandejas, papel filtro, balanzas, entre otros)

Procedimiento

Compactación

- Se toman las medidas del molde de CBR sin el collarín ni la base. También se debe medir el peso del molde de CBR con la base, pero sin el collarín.
- Preparado el molde se engrasará y se insertar el disco espaciador dentro del molde y se ensambla el collarín.
- Colocar un papel filtro sobre el disco separador.
- La muestra a ensayar de 6kg seco pasado por el tamiz $\frac{3}{4}$ se le añade los 1800ml (equivalente al 30%) de agua para alcanzar el contenido de humedad optima.
- Se mezcla el material y el agua hasta lograr una repartición uniforme de la humedad.
- Se empieza a colocar la porción de muestra en el molde y se compactará con el martillo una cantidad de 56 golpes, esta compactación deberá distribuir uniformemente los golpes en la periferia y centro. Se deberá lograr 5 capas de compactación de igual espesor en el molde hasta alcanzar la marca del collarín.
- Se retira el collarín del cuerpo y el exceso de muestra en el molde se enrasa con una regla metálica.
- El molde se levanta para poder retirar el disco espaciador, para seguidamente voltear el molde y la parte enrasa quede hacia abajo junto a la base.
- Para el registro se pesa el conjunto del molde y la base en una balanza del molde.

Expansión

- Se coloca el vástago y las pesas en el molde para producir una sobrecarga similar a la que existiría en una estructura de pavimento. La sobrecarga total empleada es de alrededor de 10 kg.
- Colocando el trípode y reloj comparador sobre el collarín se toma la lectura inicial, con la que se comparara para el resto de mediciones.
- Los moldes se sumergirán en las gavetas llenas de agua permitiendo la saturación y expansión en las muestras por un periodo mínimo 4 días.
- Las lecturas con el trípode y reloj comparador se realizarán pasadas 1h, 2h, 4h, 1d, 2d, 3d, 4d desde inmersión de los moldes.
- Con todos los datos obtenidos se procede con las curvas de hinchamiento para cada muestra en función del tiempo.



Ilustración23. Triturando material para el ensayo de CBR



Ilustración24. Toma de la muestra inicial del dial y sumergimiento de los moldes

3.6. Ensayo de expansión controlada

Materiales

- Consolidometro
- Anillos metálicos
- Balanza de precisión
- Calibrador
- Reloj comparador
- Cámara de carga
- Placa porosa
- Celda de confinamiento
- Pesas estándar

Procedimiento

- Obtenida las muestras en campo inalteradas se procede a remover la parafina del material para la realizar el ensayo.
- Se realiza la toma del peso en la balanza de precisión con anillo + muestra de campo
- Se coloca la muestra en el consolidometro con la placa porosa y papeles filtro.
- Se realiza la calibración del consolidometro, el reloj comparador y el brazo de palanca a nivel (se utiliza un brazo de palanca 1:10).
- Se inunda la celda de confinamiento para asi la muestra se comience a saturar.
- Para la toma del ensayo se realizaron tomas de acuerdo a los requerimientos específicos de cada muestra en función de la expansión y del tiempo conforme se requiera incrementar la carga.
- Terminado el ensayo pasado 1 día se procede a realizar el peso del anillo + muestra húmeda, posteriormente se separa la muestra del anillo y se introduce en el horno para obtener el porcentaje de humedad.
- Con los datos de carga y tiempo, se formará la curva del esfuerzo de expansión para cada muestra.



Ilustración25. Preparación de la cámara de consolidación

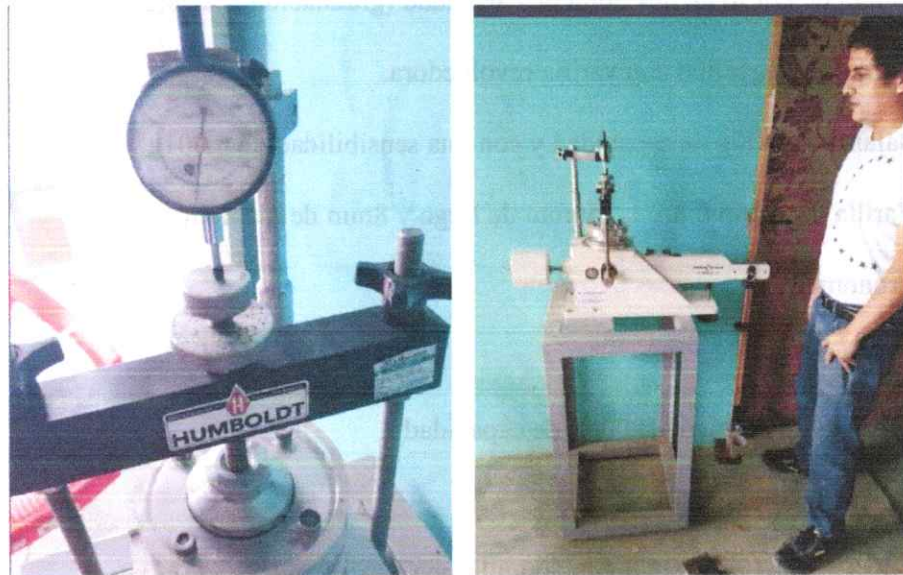


Ilustración26. Calibración de la máquina, inundación de la cámara y equilibrado de carga



Ilustración 27. Pasada las 24 horas se remueven las muestras del consolidometro, y se pasan las muestras a una bandeja para pesarlas y meterlas al horno

3.7. Ensayo de valor de azul de metileno

Equipo y materiales

- Bureta de por lo menos 50ml de capacidad (graduaciones de 0,1ml), de color ámbar.
- Agitador magnético con varilla revolvedora.
- Balanza de 200g de capacidad y con una sensibilidad de 0,001g.
- Varilla de vidrio (aprox. 250mm de largo y 8mm de diámetro).
- Cronometro.
- Platón y tamiz No 200.
- Matraz volumétrico (1000ml de capacidad).
- Papel filtro Whatman No2.
- Tres vasos de precipitado de 500 ml tipo Griffin.
- Azul de metileno, con grado reactivo, fechado y almacenado como máximo cuatro meses, en un frasco color café envuelto con papel aluminio y colocado en un gabinete oscuro a temperatura del laboratorio. (un gramo de azul de metileno se disuelve en suficiente agua

destilada para producir 200ml de solución, de tal manera que cada ml de solución contenga 5mg de azul de metileno).

- Agua destilada.
- Horno (Capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$).

Procedimiento

- Se necesita de una muestra representativa de agregado fino, se seca a una temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y se tamiza por la malla No 200, el pasante será utilizado en la prueba, el retenido se descarta.
- Utilizando el material pasante, se colocará 10g ($\pm 0.05\text{g}$) en el vaso volumétrico tipo Griffin de 500ml.
- Adicionar 30 ml de agua destilada y con el agitador se bate hasta conseguir una lechada.
- Utilizando la bureta, agregar 0,5 ml de solución de azul de metileno a la lechada y se agita por un minuto.
- Tomar una gota de la mezcla con la varilla agitadora y se deja caer en el papel filtro.
- Si no se ha formado alrededor de la gota en el papel filtro un anillo o aureola azul, se continúa incrementando en 0,5 ml de solución de azul de metileno a la lechada, batiendo por un minuto por cada incremento realizado, hasta que se observe la aureola en el papel filtro.
- Después de lograr la aureola alrededor de la gota, se continúa agitando durante 5 minutos y se verifica nuevamente en el papel filtro si se presenta la aureola. Si se continúa presentando el anillo azul se da por terminado el ensayo y se calcula el valor de azul de metileno. Caso contrario, desaparece el anillo azul, se deberá repetir el proceso de incrementar la solución de azul en la lechada.

3.8. Suelos expansivos en relación a límites de Atterberg

A partir de los valores obtenidos mediante un ensayo de límite líquido y plástico, se puede tener una relación del grado de expansividad de un suelo, estos valores altos de límites que se presentan son muy propios de suelos finos que tienden a un comportamiento expansivo. La norma INV E – 132 -13 presenta tablas para la predicción de la expansividad a partir del límite líquido y plástico como se indican en las siguientes tablas.

Tabla4. Predicción de la expansividad a partir del límite líquido (INV E – 132 – 13)

Grado de expansión	Límite líquido	
	Chen	Norma Is 1498
Bajo	< 30	20 - 35
Medio	30 - 40	35 - 50
Alto	40 - 60	50 - 70
Muy alto	> 60	70 - 90

Tabla5. Predicción de la expansividad a partir del índice de plasticidad (INV E – 132 – 13)

Grado de expansión	Índice de plasticidad		
	Holtz y Gibbs	Chen	Norma Is 1498
Bajo	< 20	0 - 15	< 12
Medio	12 - 34	10 - 35	12 - 23
Alto	23 - 45	20 - 55	23 - 32
Muy alto	> 32	> 35	> 32

4. CAPITULO IV – CÁLCULOS Y RESULTADOS

4.1. Resultados de Ensayo de granulometría por lavado

Tabla6. Granulometría de la muestra PLT01

PLT01			
Tamiz	Retiene (g)		
N°4	0.1	grava	0.05%
N°10	1.4	arenas	3.20%
N°40	3.3	finos	96.75%
N° 200	1.7		
Fondo	193.5		
Total	200		

Tabla7. Granulometría de la muestra TR01

TR01			
Tamiz	Retiene (g)		
N°4	0.3	grava	0.15%
N°10	0.4	arenas	2.50%
N°40	1	finos	97.35%
N° 200	3.6		
Fondo	194.7		
Total	200		

Tabla8. Granulometría de la muestra TR03

TR 03			
Tamiz	Retiene (g)		
N°4	10.1	grava	5.05%
N°10	6.8	arenas	7.25%
N°40	4.7	finos	87.70%
N° 200	3		
Fondo	175.4		
Total	200		

Tabla9. Granulometría de la muestra TR04

TR 04			
Tamiz	Retiene (g)		
N°4	1	grava	0.50%
N°10	2	arenas	14.00%
N°40	2.8	finos	85.50%

N° 200	23.2
Fondo	171
Total	200

Tabla10. Granulometría de la muestra TR05

TR 05	
Tamiz	Retiene (g)
N°4	13.6
N°10	3.7
N°40	6.4
N° 200	14
Fondo	162.3
Total	200

grava	6.80%
arenas	12.05%
finos	81.15%

Tabla11. Granulometría de la muestra TR06

TR 06	
Tamiz	Retiene (g)
N°4	10.3
N°10	2.5
N°40	4.1
N° 200	8.2
Fondo	174.9
Total	200

grava	5.15%
arenas	7.40%
finos	87.45%

Tabla12. Granulometría de la muestra TR07

TR 07	
Tamiz	Retiene (g)
N°4	0.1
N°10	1.5
N°40	3
N° 200	6.2
Fondo	189.2
Total	200

grava	0.05%
arenas	5.35%
finos	94.60%

Tabla13. Granulometría de la muestra TR08

TR 08	
Tamiz	Retiene (g)
N°4	20.1
N°10	12.1

grava	10.05%
arenas	29.40%

N°40	17.3
N° 200	29.4
Fondo	121.1
Total	200

finos	60.55%
-------	--------

4.2. Resultados de Ensayo para límites de atterberg

Muestra PLT 01

Tabla 14. Resultados de ensayos de atterberg para muestra PLT01

Limite líquido

Muestra PLT01	1		2		3	
Golpes	33		19		15	
Nombre de tara	P2-1	B7	52	8	78	39
Tara (g)	6.3	7.5	8.2	6.7	7.9	8.5
Tara+humedo (g)	13.6	13.1	13.7	12.3	13.7	13.3
Tara+seco (g)	10.6	10.8	11.2	9.8	11	11.2
Humedad (%)	69.77%	69.70%	83.33%	80.65%	87.10%	77.78%
Humedad promedio (%)	69.73%		81.99%		82.44%	
Limite líquido PLT01						
humedad (%)	76.93%					

Limite plástico

Muestra PLT01	1	2
Nombre de tara	J2	66
Tara (g)	6.3	8.2
Tara+humedo (g)	11.2	13.8
Tara+seco (g)	9.8	12.1
Humedad (%)	40.00%	43.59%
Humedad promedio (%)	41.79%	

IP	35.14%
----	--------

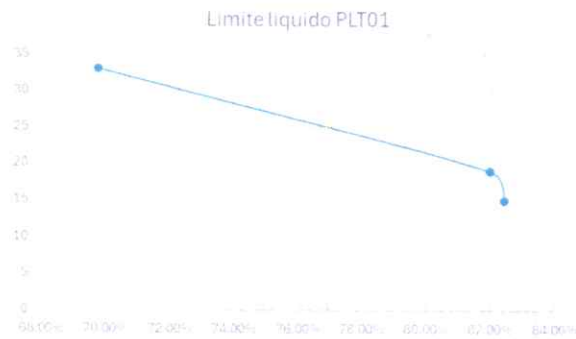


Figura1. Curva de limite líquido de la muestra PLT01

Muestra TR 01

Tabla15. Resultados de ensayos de atterberg para muestra TR01

Limite líquido

Muestra TR01	1		2		3	
Golpes	35		24		13	
Nombre de tara	X42	F37	XX4	C2	Y1	445
Tara (g)	6.9	5.3	10.2	10.8	10.9	10.4
Tara+humedo (g)	16.2	16.5	23.5	23.5	20.9	24.1
Tara+seco (g)	12.5	12.1	18.1	18.4	16.7	18.3
Humedad (%)	66.07%	64.71%	68.35%	67.11%	72.41%	73.42%
Humedad promedio (%)	65.39%		67.73%		72.92%	
Limite líquido TR 01						
humedad (%)	67.40%					

Limite plástico

Muestra TR01	1	2
Nombre de tara	P2-11	70
Tara (g)	6.3	6.8
Tara+humedo (g)	7.3	7.5
Tara+seco (g)	7.03	7.35
Humedad (%)	36.99%	27.27%
Humedad promedio (%)	32.13%	

IP	35.27%
----	--------



Figura2. Curva de limite líquido de la muestra TR01

Muestra TR 03

Tabla16. Resultados de ensayos de atterberg para muestra TR03

Limite líquido

Muestra TR 03	1		2		3	
Golpes	30		24		13	
Nombre de tara	8	p1-3	9	43	p2-3	p1-5
Tara (g)	6.7	6.9	8.3	6.9	7.4	8.5
Tara+humedo (g)	13.9	14.2	11.8	11.9	12.9	15
Tara+seco (g)	11	11.3	10.3	9.8	10.5	12.2
Humedad (%)	67.44%	65.91%	75.00%	72.41%	77.42%	75.68%
Humedad promedio (%)	66.68%		73.71%		76.55%	
Limite líquido TR 03						
humedad (%)	72.95%					

Limite plástico

Muestra TR 03	1	2
Nombre de tara	37	445
Tara (g)	5.3	10.4
Tara+humedo (g)	11.1	16.1
Tara+seco (g)	9.8	14.8
Humedad (%)	28.89%	29.55%
Humedad promedio (%)	29.22%	

IP	43.73%
----	--------

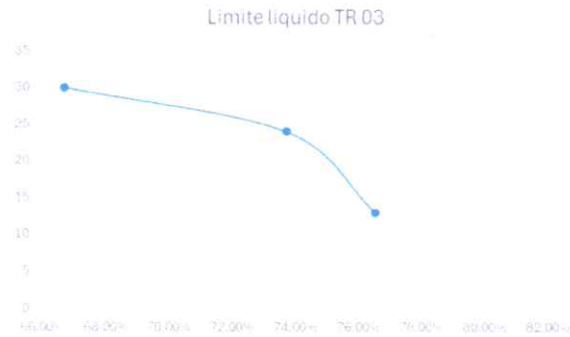


Figura3. Curva de limite liquido de la muestra TR03

Muestra TR 04

Tabla17. Resultados de ensayos de atterberg para muestra TR04

Limite líquido						
Muestra TR 04	1		2		3	
Golpes	33		18		13	
Nombre de tara	D3	P1-16	E	G12	P2-16	P1-2
Tara (g)	6.4	6.9	7.8	7.6	8.2	8.1
Tara+humedo (g)	11.8	12.7	13.1	12.6	14	13
Tara+seco (g)	9.8	10.6	11.1	10.7	11.6	11
Humedad (%)	58.82%	56.76%	60.61%	61.29%	70.59%	68.97%
Humedad promedio (%)	57.79%		60.95%		69.78%	
Limite líquido TR04						
humedad (%)	59.00%					

Limite plástico		
-----------------	--	--

Muestra TR 04	1	2
Nombre de tara	J2	8
Tara (g)	6.6	6.7
Tara+humedo (g)	10.6	10.5
Tara+seco (g)	9.8	9.6
Humedad (%)	25.00%	31.03%
Humedad promedio (%)	28.02%	

IP	30.98%
-----------	--------

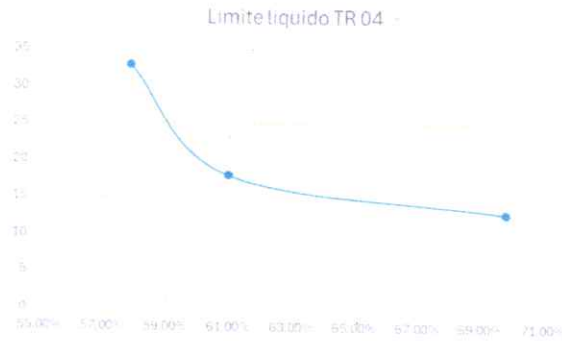


Figura4. Curva de limite líquido de la muestra TR04

Muestra TR05

Tabla18. Resultados de ensayos de atterberg para muestra TR05

Limite liquido						
Muestra TR 05	1		2		3	
Golpes	33		22		14	
Nombre de tara	c2	xx1	I44	E3	p2-16	b5
Tara (g)	10.8	10.2	10.6	6.3	8.2	7.6
Tara+humedo (g)	20.7	17.6	15.9	15.2	18.5	15.8
Tara+seco (g)	16.98	14.74	13.74	11.47	14.24	12.2
Humedad (%)	60.19%	63.00%	68.79%	72.15%	70.53%	78.26%
Humedad promedio (%)	61.59%		70.47%		74.40%	
Limite líquido TR05						
humedad (%)	68.20%					

4. Limite plástico

Muestra TR 05	1	2
Nombre de tara	p1-4	P1-16
Tara (g)	6.9	8.3
Tara+humedo (g)	7.6	9
Tara+seco (g)	7.44	8.83
Humedad (%)	29.63%	32.08%
Humedad promedio (%)	30.85%	

IP	37.35%
-----------	--------

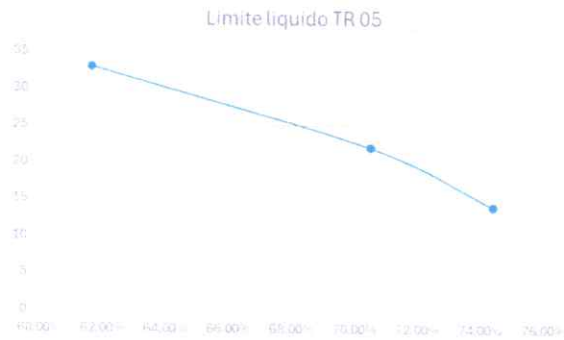


Figura5. Curva de limite líquido de la muestra TR05

Muestra TR 06

Tabla19. Resultados de ensayos de atterberg para muestra TR06

Limite líquido

Muestra TR 06	1		2		3	
Golpes	27		19		13	
Nombre de tara	9	B1	31	43	I5	C4
Tara (g)	8.3	7.4	6.9	6.9	6.6	6.6
Tara+humedo (g)	12.4	12.1	11.8	11.5	11.4	10.5
Tara+seco (g)	10.62	10.11	9.66	9.48	9.27	8.79
Humedad (%)	76.72%	73.43%	77.54%	78.29%	79.78%	78.08%
Humedad promedio (%)	75.08%		77.92%		78.93%	
Limite líquido TR 06						
humedad (%)	75.80%					

Limite plástico

Muestra TR 06	1	2
Nombre de tara	36	TL
Tara (g)	6.7	6.8
Tara+humedo (g)	8.7	11.7
Tara+seco (g)	8.18	10.49
Humedad (%)	35.14%	32.79%
Humedad promedio (%)	33.96%	

IP	41.84%
----	--------

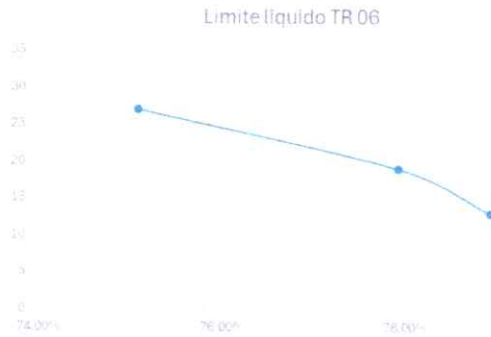


Figura6. Curva de limite liquido de la muestra TR06

Muestra TR 07

Tabla20. Resultados de ensayos de atterberg para muestra TR07

Limite líquido

Muestra TR 07	1		2	
Golpes	27		22	
Nombre de tara	P2-1	CT	p2-11	E3
Tara (g)	6.3	10.7	6.3	6.2
Tara+humedo (g)	11.7	15.5	11.8	11.9
Tara+seco (g)	9.4	13.4	9.4	9.4
Humedad (%)	74.19%	77.78%	77.42%	78.13%
Humedad promedio (%)	75.99%		77.77%	
Limite líquido TR 07				
humedad (%)	76.70%			

4. Limite plástico

Muestra TR 07	1	2
Nombre de tara	c4	f37
Tara (g)	6.6	5.3
Tara+humedo (g)	11.4	10.4
Tara+seco (g)	10.2	9
Humedad (%)	33.33%	37.84%
Humedad promedio (%)	35.59%	

IP	41.11%
-----------	--------

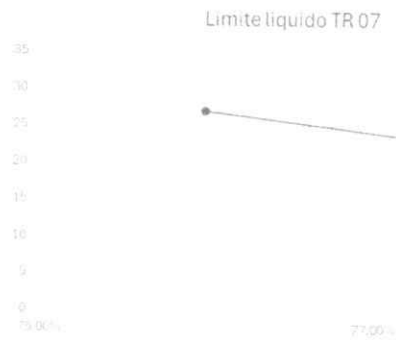


Figura7. Curva de limite líquido de la muestra TR07

Muestra TR 08

Tabla21. Resultados de ensayos de atterberg para muestra TR08

Limite líquido

Muestra TR 08	1		2		3	
Golpes	30		20		14	
Nombre de tara	P1-11	3B25	P2-14	312B1	D1	80
Tara (g)	9.2	8.3	6.8	7.5	8.1	6.7
Tara+humedo (g)	15.5	13.8	11.9	12.9	14	12
Tara+seco (g)	13.37	11.92	10.03	10.98	11.81	10.07
Humedad (%)	51.08%	51.93%	57.89%	55.17%	59.03%	57.27%
Humedad promedio (%)	51.51%		56.53%		58.15%	
Limite líquido TR 08						
humedad (%)	54.10%					

Limite plástico

Muestra TR 08	1	2
Nombre de tara	P1-13	Y1
Tara (g)	7	7.5
Tara+humedo (g)	11.5	14.2
Tara+seco (g)	10.59	12.73
Humedad (%)	25.35%	28.11%
Humedad promedio (%)	26.73%	

IP	27.37%
----	--------

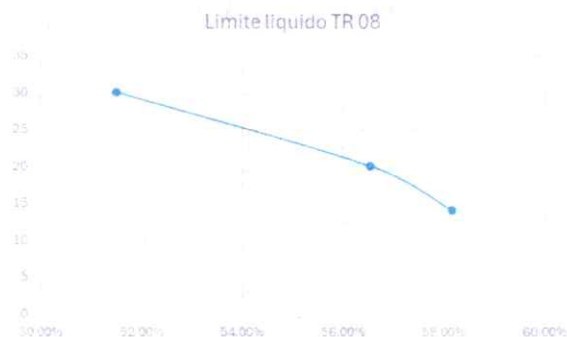


Figura 8. Curva de limite liquido de la muestra TR08

Resumen de muestras

Tabla 22. Resumen de Carta de plasticidad de Casa Grande en las muestras

Carta de plasticidad de Casa Grande		
Muestra PLT01	L. líquido	76.93%
	I. plástico	35.14%
	Clasificación	MH / OH
Muestra TR01	L. líquido	67.40%
	I. plástico	35.27%
	Clasificación	CH
Muestra TR03	L. líquido	72.95%
	I. plástico	43.73%
	Clasificación	CH
Muestra TR04	L. líquido	59.00%
	I. plástico	30.98%
	Clasificación	CH
Muestra TR05	L. líquido	68.20%
	I. plástico	37.35%
	Clasificación	CH
Muestra TR06	L. líquido	75.80%
	I. plástico	41.84%
	Clasificación	CH
Muestra TR07	L. líquido	76.70%
	I. plástico	41.11%
	Clasificación	CH
Muestra TR08	L. líquido	54.10%
	I. plástico	27.37%
	Clasificación	CH

Tabla23. Grado de expansividad de las muestras de estudio a partir de límites líquido y plástico

Muestras	L. líquido	I. plástico	Grado de expansión
PLT 01	76.93%	35.14%	Muy Alto
TR 01	67.40%	35.27%	Muy Alto
TR 03	72.95%	43.73%	Muy Alto
TR 04	59.00%	30.98%	Alto
TR 05	68.20%	37.35%	Muy Alto
TR 06	75.80%	41.84%	Muy Alto
TR 07	76.70%	41.11%	Muy Alto
TR 08	54.10%	27.37%	Alto

4.3. Resultados de contenido de humedad natural

Tabla24. Contenido de humedad natural

Contenido de humedad natural en las muestras						
Muestra	Tara	Peso tara (g)	Tara + húmedo (g)	Tara + seco (g)	%w	Promedio %w
1	P9	6.8	73	57.5	30.57%	31.52%
	T5	6.2	52.3	41	32.47%	
2	51	7.9	50.5	40.7	29.88%	29.96%
	31	6.8	60.9	48.4	30.05%	
3	E3	9.5	51.9	42.2	29.66%	29.19%
	N-3	7.4	46.4	37.7	28.71%	
4	P2-19	8.4	73.9	60.2	26.45%	26.27%
	T4	5.8	66.7	54.1	26.09%	
5	P1-11	9.1	67.8	53.8	31.32%	30.01%
	73	6.8	65.1	52.1	28.70%	

4.4. Resultados del Proctor estándar

Tabla25. Densidad y humedad óptima de la muestra M1

Molde - Muestra M1			
Altura		11.6	cm
Diámetro		10.15	cm
Peso		3661.8	g
Humedad	Peso Molde + Muestra (g)	Peso Muestra (g)	Densidad (g/cm³)

10.00%	5101.4	1439.6	1.53
13.00%	5127.4	1465.6	1.56
16.00%	5138.8	1477	1.57
19.00%	5177.8	1516	1.62
22.00%	5199.6	1537.8	1.64
28.00%	5348	1686.2	1.80
33.00%	5325.6	1663.8	1.77

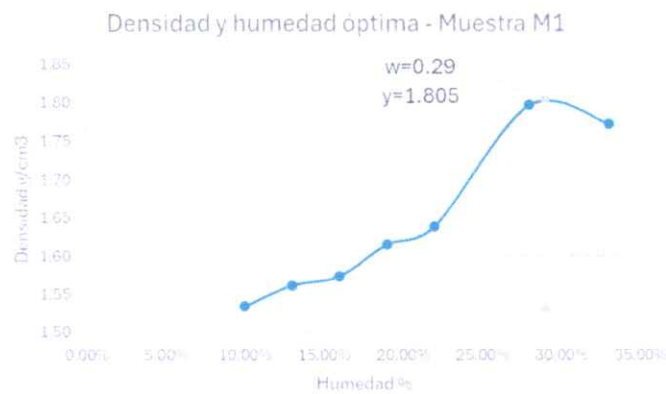


Figura9. Curva de la densidad y humedad óptima, muestra M1

Tabla26. Densidad y humedad óptima de la muestra M2

Molde - Muestra M2			
Altura		11.4	cm
Diámetro		10.2	cm
Peso		3642.6	g
Humedad	Peso Molde + Muestra (g)	Peso Muestra (g)	Densidad (g/cm3)
10.00%	5034.8	1392.2	1.49
13.00%	5058.8	1416.2	1.52
16.00%	5069.4	1426.8	1.53
19.00%	5140.6	1498	1.61
22.00%	5298.8	1656.2	1.78
30.00%	5335	1692.4	1.82
35.00%	5310	1667.4	1.79

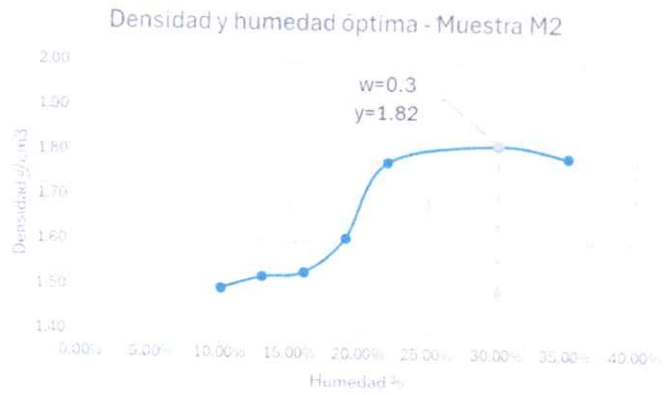


Figura10. Curva de la densidad y humedad óptima, muestra M2

4.5. Resultados de hinchamiento

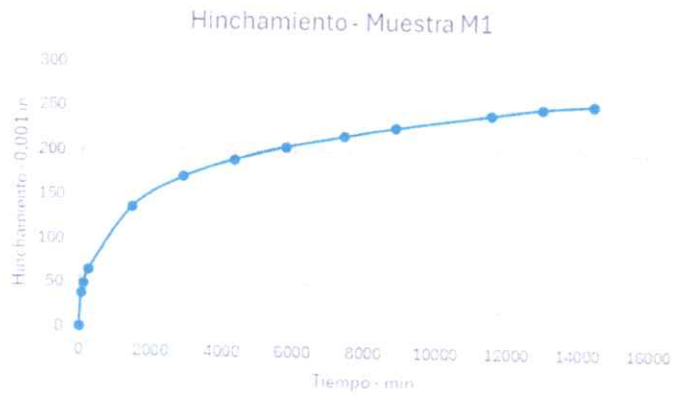


Figura11. Hinchamiento en la muestra M1, compactación 56 golpes

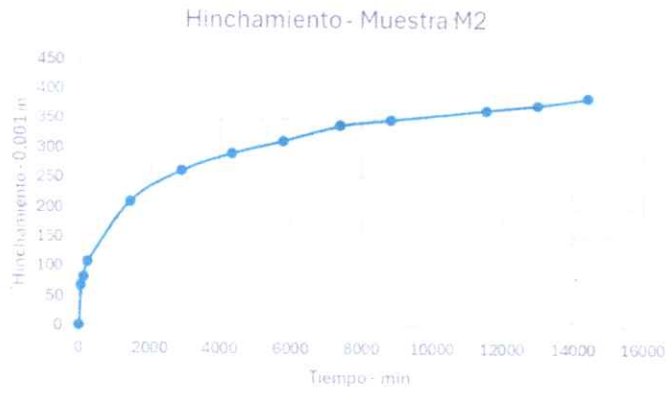


Figura 12. Hinchamiento en la muestra M2, compactación 56 golpes

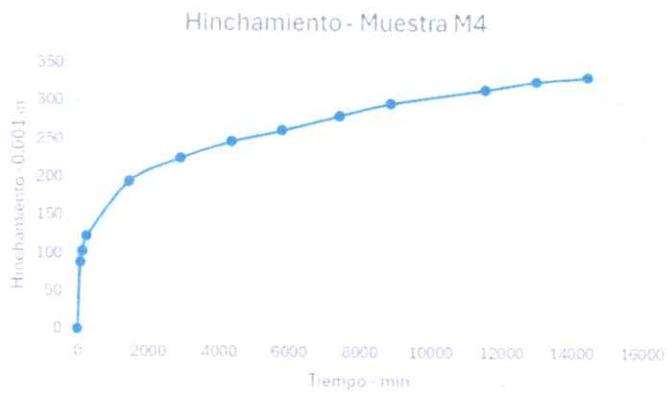


Figura 13. Hinchamiento en la muestra M4, compactación 56 golpes

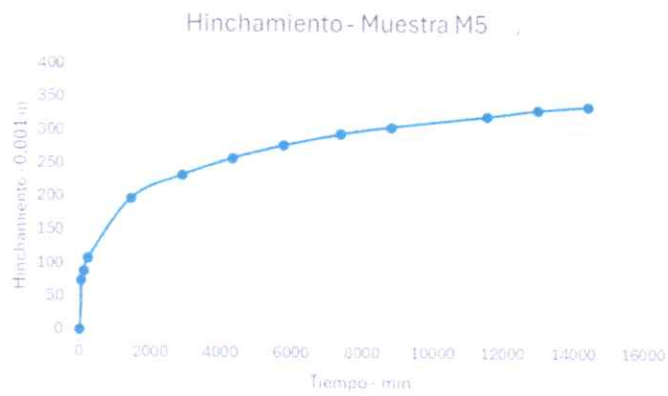


Figura 14. Hinchamiento en la muestra M5, compactación 56 golpes

Tabla 27. Resultados de expansión por hinchamiento a 10 días

Hinchamiento (10 días)						
Compactación (golpes)		56	Sobrecarga (Kg)		5.63	Grado de expansividad
Muestra	Lecturas (0,001")		Lf-Li (cm)	H. muestra (cm)	% Expansión	
	Inicial	Final				
M1	8.7	264	0.65	11.8	5.50%	Alto
M2	35	421	0.98	11.6	8.45%	Alto
M4	18	351	0.85	11.8	7.17%	Alto
M5	17	354	0.86	11.4	7.51%	Alto

4.6. Resultados de expansión controlada

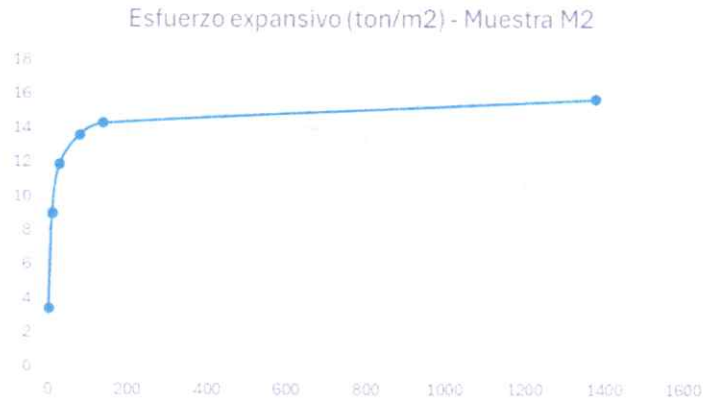


Figura 15. Esfuerzo expansivo de la muestra M2



Figura 16. Esfuerzo expansivo de la muestra M5

Tabla28. Resultados del esfuerzo expansivo

Resultados de la expansión controlada					
Muestra	Inicio	Fin	w% (inicio)	w% (fin)	Esfuerzo expansivo (ton/m2)
M1	16/12/2024 10:00	16/12/2024 14:00	21.07%	26.18%	6.67
M2	26/12/2024 9:25	27/12/2024 8:25	31.06%	39.27%	15.68
M5	27/12/2024 11:00	28/12/2024 9:00	28.90%	37.04%	4.17

4.7. Resultados de valor de azul de metileno

Tabla29. Valores de azul de metileno y desempeños anticipados

Ensayo de azul de metileno					
Punto	C (mg/ml)	V (ml)	W (gr)	VA (mg/g)	Desempeño anticipado
M1	100.00%	1.5	10	15	Problemas/posibles fallos
M2	100.00%	1.5	10	15	Problemas/posibles fallos
M4	100.00%	1	10	10	Marginalmente aceptable
M5	100.00%	1.5	10	15	Problemas/posibles fallos
TR 06	100.00%	1.5	10	15	Problemas/posibles fallos
TR 07	100.00%	1.5	10	15	Problemas/posibles fallos



Ilustración 28. Resultados de la prueba del azul de metileno

4.8. Comparación de resultados de los ensayos con el valor de azul de metileno

Muestra	Valor de azul de metileno	LL	IP	Hinchamiento	Esfuerzo expansivo (Ton/m ²)	Grado de expansividad
M1	15	54.10%	27.37%	5.50%	6.67	ALTO

Como se puede identificar al momento de realizar una comparación entre los resultados del valor de azul de metileno y el grado de expansividad, la muestra M1 tiene un valor de azul de

metileno de 15 siendo un desempeño anticipado con problemas o fallas, relacionándolo con los resultados de hinchamiento de 5,50% y esfuerzo expansivo de $6,67 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$ se obtuvo un grado de expansividad ALTO, teniendo lógica tener un resultado alto de azul debido a la actividad considerable de las arcillas. De esta muestra lo que se diferencia respecto a otras es la baja cantidad de finos y se refleja en tener el menor hinchamiento de las muestras, en campo también se observó durante la extracción de la muestra un suelo de roca menos meteorizada

respecto los otros.

Los resultados de valor de azul de metileno concuerdan con los obtenidos de los otros ensayos para determinar el grado de expansividad, como la muestra 2 cuenta también con un grado de expansividad ALTO contando con un hinchamiento del 8,45% y un esfuerzo expansivo de $15,68 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$ siendo los valores expansivos más altos evidenciados. Por otro lado, la muestra 5 cuenta con un grado de hinchamiento de 7,51%, y un grado de expansividad “ALTO”, y una caracterización por el ensayo de azul de metileno con posibles fallos, lo cual tiene relación directa con la muestra TR07 que cuenta con un porcentaje de finos de 94,7% y un límite líquido 76,7% y un límite plástico del 41,11 %, y a este grado de hinchamiento confiere también un resultado alto del esfuerzo expansivo de $4,17 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$.

5. CAPITULO V – CONCLUSIONES

- Las propiedades y características de las muestras tomadas en el tramo de vía, por granulometría se evidencia un alta de cantidad de suelo fino en un rango del 60% al 94% de partículas $< 0,0075\text{mm}$. A partir de los límites de Atterberg se obtuvieron resultados de LL entre 54% y 76%, el IP esta entre 27% y 41%. Del ensayo de hinchamiento los valores de expansión se encuentran entre el 5,5% y el 8,4%. Y los esfuerzos expansivos se encuentran entre 4,17 ton/m² y 15,68 ton/m², en general las muestras presentan resultados similares.
- Del ensayo de valor de azul de metileno se tienen resultados entre 10 mg/g y 15 mg/g lo cual refleja una considerable y alta presencia de minerales arcillosos, teniendo un desempeño de vía esperado con PROBLEMAS/POSIBLES FALLAS.
- El grado expansivo de las muestras evaluado mediante los ensayos, se obtuvo por los altos valores de límites líquidos e índice de plasticidad representando grados de expansión entre ALTO y MUY ALTO. Por el ensayo de hinchamiento al tener expansiones $>5\%$ estos se consideran como grado de expansión ALTO. En el caso de los resultados de esfuerzo expansivo se cataloga como un MODERADO/ALTO grado expansivo.
- Del ensayo de expansión controlada, se debe destacar que estos esfuerzos pueden aumentar incluso más, debido al contenido de humedad porque las muestras recolectadas ya poseían una humedad cercana al 30% y aun así pudieron absorber más agua durante el ensayo. Entonces, en temporada seca estos materiales pueden presentar un mayor esfuerzo expansivo al mostrado, siguiendo considerados como ALTO grado expansivo.

- Los resultados del valor de azul de metileno se reflejan en la cantidad de azul adsorbido por los minerales arcillosos, entre mayor sea esta cantidad también lo será la nocividad de estas partículas y se relaciona con el ALTO grado expansivo obtenido en los otros ensayos y los problemas observados en el recorrido del tramo de vía. Siendo posible identificar el grado de expansividad de las arcillas mediante este método.
- Las muestras en general obtuvieron un ALTO grado expansivo, sin embargo, hubo muestras como la M1 que tenían menos porcentajes de finos respecto a las otras, esto se puede asociar a la presencia de un suelo de roca menos meteorizada y la vía presenta problemas menores de retracción. También se observó cercana a la muestra un posible afloramiento de basalto en el Km 186,7.
- La presencia de arcillas expansivas está ligada a los suelos residuales de la Formación Tosagua y como es observado en el punto M2 cercana a la entrada del Junco se presenta un mayor hinchamiento y esfuerzo expansivo por los ensayos, y en zona se observa afectación a la vía por retracción.
- En el tramo de vía Km 184,5 al Km 185,5 mediante las muestras M3 y M4 se observó la presencia de un suelo rocoso de arcillolitas y en la infraestructura de la vía solo se presenta problemas menores por retracción. A diferencia de la muestra M5 en el Km 186 en el que la vía tiene las mayores deformaciones de la zona de estudio, asociado a un suelo residual. Lo que demuestra que en la vía existen zonas con mayores afectaciones a otras y esto se puede deber al material de los suelos residuales mayormente propensos a la expansión, que a suelos de roca menormente meteorizados.
- Los problemas de las vías están relacionados directamente con la expansión de las arcillas, como se pudo identificar del ALTO grado expansivo obtenido de los ensayos, las

arcillas presentes en la vía son propensas a cambios volumétricos dependiendo del contenido de humedad, teniendo hinchamientos $>5\%$ y esfuerzos expansivos $+4,17 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$, lo cual terminara afectando a la infraestructura vial en los cambios de temporada de lluvias que sería la condición más crítica para la actividad de las arcillas.

6. RECOMENDACIONES

- El ensayo de valor de azul metileno es una buena opción para la ingeniería de pavimentos, en la evaluación de suelos arcillosos y su grado de expansión, siendo un método más preciso que los índices tradicionales para catalogar estos parámetros, debido a su base en la capacidad de adsorción, permitiendo diferenciar la nocividad entre suelos arcillosos y los desempeños anticipados en las vías.
- En el ensayo de valor de azul de metileno se deberá utilizar la mayor concentración posible (mayores al 50%), con el fin de evitar un aumento de la cantidad de agua destilada en la solución y existan alteraciones en la identificación de los suelos finos nocivos. Además, que posibilite una reacción rápida en la muestra y la presencia del aura en el ensayo.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Bowles, J. (1982). *Propiedades geofísicas de los suelos*. Mexico: McGraw-Hill.
- Bristow, C. R. (1977). *Lexique Stratigraphique International*. Ecuador: Centre National de la Recherche Scientifique.
- Buitrón, S., & Enríquez, A. (2018). Estudio de la estabilización de arcillas expansivas de Manabí con ceniza del volcán Tungurahua. Quito, Ecuador.
- Das, B. (1999). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Mexico: Thomson Learning.
- INV E. (2011). INV E-235-07 Valor de Azul de Metileno en agregados finos y en llenantes minerales. *INVIAS*.
- Juárez, E., & Rico, A. (2005). *Mecánica de suelos. Fundamentos de la mecánica de suelos*. Mexico: Limusa.
- Kumari, N., & Mohan, C. (2021). Basics of Clay Minerals and Their Characteristic Properties. *intechopen*.
- Mora, G. (2013). Estudio de problemas geotécnicos asociados a la presencia de arcillas expansivas en la carretera Rocafuerte – Tosagua, provincia de Manabí – Ecuador. Análisis de posibles tratamientos de mejora del terreno y recomendaciones constructivas. Madrid, España.
- Ordoñez, M., Jiménez, N., & Suárez, J. (2006). *Micropaleontología ecuatoriana. Datos Bioestratigráficos y Paleoecológicos de las cuencas: Graben de Jambelí, Progreso, Manabí, Esmeraldas y Oriente; del levantamiento de la Península de Santa Elena y de las Cordilleras Chongón-Colonche, Costera y Occidente*. Ecuador: Centro de Investigación Geológica Guayaquil.

- Paredes, R., & Quinde, C. (2019). Aplicabilidad del azul de metileno para determinar para determinar la cantidad de material de fracción fina potencialmente dañino en los agregados utilizados para la estructura de pavimento. Manta, Ecuador.
- Pino González, F., Esteras González, S., & Jiménez Sáez, R. (2018). Estudio comparativo del ensayo de azul de metileno según las normas NLT-171 y UNE 83-130. *Revista Digital Del Cedex*, 109-120. Obtenido de <https://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/2070>
- Rico, A., & Del Castillo, H. (1976). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres*. Mexico: Limusa.
- Villacis, M., Luna, G., Solorzano, R., Escadeillas, G., Roman, K., Licuy, C., . . . Victor, G. (2022). Estabilizacion de arcillas expansivas con ceniza volcanica y ceniza de cascarilla de arroz. *Resvista Tecnologica ESPOL*.
- Zambrano, C. (1986). Control de suelos expansivos en el area de Tosagua. Guayaquil, Ecuador.

8. ANEXOS



Ilustración 29. Obtención de la muestra en campo



Ilustración 30. Anillo metálico colocado a presión para obtener la muestra inalterada



Ilustración 31. Muestra protegida con parafina



Ilustración 32. Toma de GPS para las muestras



Ilustración33. Preparación de las muestras para el ensayo de proctor



Ilustración34. Desmolde de la muestra en el proctor



Ilustración35. Enrasado de los moldes para hinchamiento



Ilustración36. Calibración del deformímetro para el hinchamiento



Ilustración37. Realización del ensayo de valor de azul de metileno



Ilustración38. Presencia de burbujas al encontrarse en los 1,5 gramos de azul de metileno por la adsorción de los finos



Ilustración39. Obtención de la muestra M1



Ilustración40. Obtención de la muestra M2



Ilustración 41. Obtención de la muestra M3



Ilustración 42. Obtención de la muestra M4