	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>10-04-2012</b>	<b>A</b>
Dependencia	Aprobado		Pág.	
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>i(164)</b>	

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	<b>ANA MILENA SÁNCHEZ CÁCERES ROBIN DANILO RINCÓN JAIME</b>
FACULTAD	<b>DE INGENIERÍAS</b>
PLAN DE ESTUDIOS	<b>INGENIERÍA CIVIL</b>
DIRECTOR	<b>ESP. WILLINTON HERNESTO CARRASCAL MUÑOZ</b>
TÍTULO DE LA TESIS	<b>DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIAL PROVENIENTE DE ZONAS DE EXTRACCIÓN EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, PARA SU USO EN VÍAS EN AFIRMADO, ESTABILIZADO CON CAL HIDRATADA.</b>

### RESUMEN

(70 palabras aproximadamente)

SE TOMARON TRES ZONAS DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA- NORTE DE SANTANDER: VILLA LAURA, LIMONIA Y CIRCUNVALAR, SE EVALUARON LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS QUE ESTAS POSEEN Y POSTERIORMENTE SE ANALIZÓ SI ES POSIBLE MEJORAR DICHAS CARACTERÍSTICAS POR MEDIO DEL PROCESO DE ESTABILIZACIÓN CON CAL HIDRATADA, CON EL FIN DE OBTENER MAYORES ÍNDICES DE RESISTENCIA QUE SE VEAN REFLEJADOS EN LA DURABILIDAD DE UNA VÍA CONSTRUIDA CON ESTOS MATERIALES.

### CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS:164	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM: 1
-------------	---------	----------------	-----------



SC-CER102673

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIAL  
PROVENIENTE DE ZONAS DE EXTRACCIÓN EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, PARA SU  
USO EN VIAS EN AFIRMADO, ESTABILIZADO CON CAL HIDRATADA.

AUTORES

ANA MILENA SÁNCHEZ CÁCERES

ROBIN DANILO RINCÓN JAIME

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para alcanzar el título de Ingeniero  
Civil

Director

WILLINTON HERNESTO CARRASCAL MUÑOZ

INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERIAS

INGENIERÍA CIVIL

## TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1. Determinación de las propiedades mecánicas de material proveniente de zonas de extracción en el municipio de Ocaña, para su uso en vías en afirmado, estabilizado con cal hidratada.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema.....	3
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4. Justificación.....	4
1.5 Delimitaciones.....	5
1.5.1 Delimitación operativa.....	5
1.5.2 Delimitación conceptual.....	5
1.5.3 Delimitación geográfica.....	6
1.5.4 Delimitación temporal.....	6
Capítulo 2. Marco referencial.....	7
2.1. Marco histórico.....	7
2.2. Marco Contextual.....	9

2.3 Marco Conceptual .....	10
2.3.1 Red vial nacional. ....	10
2.3.2 Vías terciarias. ....	11
2.3.3 Vías en afirmado. ....	12
2.3.4 Suelos. ....	13
2.3.4.1 <i>Gravas y arenas</i> . ....	13
2.3.4.2 <i>Limos</i> ....	13
2.3.5 Clasificación de suelos .....	14
2.3.5.1 Análisis mecánico por tamizado. ....	14
2.3.6 Límites de Atterberg. ....	16
2.3.7 Cal (Óxido de calcio). ....	17
2.3.8 pH. ....	18
2.3.9 Ensayos de laboratorio. ....	18
2.3.9.1 <i>Resistencia a la compresión inconfiada</i> . ....	18
2.3.9.2 <i>Ensayo CBR. (California Bearing Ratio)</i> . ....	19
2.3.9.3 <i>Ensayo de desgaste en la máquina de los Ángeles</i> . ....	19
2.3.9.4 <i>Ensayo de la estimación de la proporción de cal necesaria para estabilizar un suelo a partir de la medida del pH</i> .....	20
2.4 Marco Teórico .....	20
2.4.1 Estabilización de suelos. ....	20
2.4.2 Tipos de estabilización de suelos .....	20
2.4.2.1 Estabilización mecánica. ....	21
2.4.2.2 Estabilización química. ....	21

2.4.2.3 Estabilización física.....	21
2.4.2.4 Estabilización físico química.....	21
2.4.3 Estabilización con cal.....	21
2.4.4 Ventajas de la utilización de la estabilización con cal. ....	22
2.5 Antecedentes.....	24
2.6. Marco legal.....	25
Capítulo 3. Diseño metodológico.....	28
3.1. Tipo de investigación. ....	28
3.2 Población y muestra.....	28
3.2.1 Población.....	28
3.2.2 Muestra.....	28
3.3 Diseño experimental.....	29
3.4 Elementos para recolectar la información.....	32
3.5 Procesamiento de la información.....	33
Capítulo 4. Presentación de resultados.....	34
4.1 Caracterización mecánica del material tomado de las zonas de extracción según las normas del Instituto Nacional de Vías (INV). ....	34
4.1.1 Zona de extracción Villa Laura-Corregimiento de Aguas Claras.....	35
4.1.2 Zona de extracción vereda Limonia-Corregimiento de Aguas Claras.....	35

4.1.3 Zona de extracción sector de la circunvalar .....	36
4.1.4 Ensayos de laboratorio realizados al suelo en condición natural. ....	37
4.1.4.1 Preparación de las muestras de suelo para su análisis granulométrico .....	38
4.1.4.2 Ensayo para la determinación del tamaño de las partículas .....	38
4.1.4.3 Gravedad Específica. ....	45
4.1.4.4 Determinación del límite líquido.....	46
4.1.4.5 Determinación del límite plástico e índice de plasticidad.. ....	47
4.1.4.6 Clasificación de suelos según sistema unificado.....	49
4.1.4.7 Relaciones de humedad – peso unitario seco en los suelos (Ensayo normal de compactación).....	50
4.1.4.8 Ensayo de CBR.....	52
4.1.4.9 Resistencia a la compresión inconfiada .....	54
4.1.4.10 Ensayo de desgaste en la máquina de los Ángeles.....	57
4.2 Definición de la cantidad necesaria de cal hidratada para estabilizar los suelos siguiendo la norma INV E 601. ....	57
4.2.1 Propiedades mecánicas del suelo estabilizado. ....	59
4.2.1.1 Relaciones de humedad-peso unitaria seca en los suelos (ensayo normal de compactación).....	61
4.2.1.2 Resistencia a la compresión inconfiada de mezclas compactadas de suelo-cal.....	63
4.2.1.3 Relaciones de humedad-peso unitaria seca en los suelos (ensayo modificado de compactación).....	67
4.2.1.4 Límites de Atterberg. ....	68
4.2.1.5 CBR de suelos compactados en laboratorio .....	70
4.3 Comparativo de los diferentes tipos de material y sus características.....	71

4.4 Variación de las propiedades mecánicas del material sin estabilizante y el material estabilizado para cada zona de extracción. ....	75
4.4.1. Límites de Atterberg. ....	76
4.4.2 Compresión inconfiada. ....	78
4.4.4 CBR de suelos compactados en laboratorio. ....	82
5. Conclusiones. ....	87
6. Recomendaciones ....	87
Referencias ....	88
Apéndices ....	93

**LISTADO DE TABLAS**

Tabla 1 Ensayos de laboratorio para suelo natural .....	37
Tabla 2 Resultado ensayo para la determinación del tamaño de las partículas .....	40
Tabla 3 Resultados de ensayo de gravedad específica .....	46
Tabla 4 Resultado Límite líquido. ....	47
Tabla 5 Resultado del límite plástico e índice de plasticidad.....	48
Tabla 6 Clasificación de suelos .....	49
Tabla 7 Resultados de Humedad óptima y densidad máxima seca. ....	50
Tabla 8 Resultados de porcentaje de CBR .....	52
Tabla 9 Resultados de ensayo de compresión inconfina da .....	55
Tabla 10 Porcentaje óptimo de cal .....	59
Tabla 11 Ensayos para suelo estabilizado .....	60
Tabla 12 Resultados ensayo normal de compactación con adición de cal .....	62
Tabla 13 Probetas realizadas para 7 días de curado .....	64
Tabla 14 Probetas realizadas para 28 días de curado .....	65
Tabla 15 Resultados compresión inconfina da.....	66



Tabla 16 Resultados compresión inconfiada 28 días .....	66
Tabla 17 Resultados ensayo normal de compactación con adición de cal .....	67
Tabla 18 Resultados límites de Atterberg .....	69
Tabla 19 Resultados CBR .....	70
Tabla 20 Resultados Límites de Atterberg .....	76
Tabla 21 Variación porcentual en condición natural y estabilizada con cal .....	76
Tabla 22 Resultados de Resistencia a la compresión inconfiada ( 7 y 28 días) .....	78
Tabla 23 Variación porcentual de resultados del ensayo de compresión inconfiada .....	79
Tabla 24 Humedad óptima y densidad máxima .....	80
Tabla 25 Variación porcentula de densidad óptima y densidad máxima .....	81
Tabla 26 Resultados de ensayo de CBR.....	82
Tabla 27 Variación de los resultados obtenidos de CBR .....	83

## LISTADO DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Ubicación de Ocaña, Norte de Santander, Colombia.....	9
<i>Figura 2.</i> Ubicación de zonas de extracción a estudiar, Ocaña, Norte de Santander.....	10
<i>Figura 3.</i> Vía en afirmado.....	12
<i>Figura 4.</i> Serie de tamices.....	14
<i>Figura 5.</i> Hidrómetro.....	15
<i>Figura 6.</i> Cazuela de Casagrande.....	16
<i>Figura 7.</i> Relación general de la consistencia y la resistencia a la compresión simple de las arcillas.....	19
<i>Figura 8.</i> Suelos estabilizados con cal de acuerdo a la clasificación SUCS.....	22
<i>Figura 9.</i> Localización de zonas de extracción.....	34
<i>Figura 10.</i> Zona de extracción Villa Laura.....	35
<i>Figura 11.</i> Zona de extracción vereda Limonia.....	36
<i>Figura 12.</i> Zona de extracción Sector de la circunvalar.....	36
<i>Figura 13.</i> Obtención de porciones representativas.....	38
<i>Figura 14.</i> Preparación de muestras suelo seco.....	38
<i>Figura 15.</i> Sedimentación por hidrómetro.....	39
<i>Figura 16.</i> Lavado por tamiz N 200.....	39
<i>Figura 17.</i> Tamizado de las muestras.....	39
<i>Figura 18.</i> Muestra seca para tamizado.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Figura 19.</i> Curva granulométrica A-38 Circunvalar.....	40
<i>Figura 20.</i> Curva granulométrica A-25 Circunvalar.....	41
<i>Figura 21.</i> Curva granulométrica A-38 Limonia.....	41

<i>Figura 22.</i> Curva granulométrica A-38 Villa Laura..	42
<i>Figura 23.</i> Curva granulométrica A-25 Limonia.	42
<i>Figura 24.</i> Curva granulométrica A-25 Villa Laura.	43
<i>Figura 25.</i> Resumen franja granulométrica A-38.	44
<i>Figura 26.</i> Resumen franja granulométrica A-25.	44
<i>Figura 27.</i> Cocción de las muestras en los picnómetros.	45
<i>Figura 28.</i> Enfriamiento de los picnómetros.	45
<i>Figura 29.</i> Preparación de la muestra en la Cazuela de Casagrande.	46
<i>Figura 30.</i> Limite líquido.	46
<i>Figura 31.</i> Realización del límite plástico.	48
<i>Figura 32.</i> Rollos para establecer el límite plástico..	48
<i>Figura 33.</i> Preparación de mezclas.	50
<i>Figura 34.</i> Curado del material..	50
<i>Figura 35.</i> Compactación.	50
<i>Figura 36.</i> Enrasado de la probeta.	50
<i>Figura 37.</i> Resumen ensayo modificado de compactación.	51
<i>Figura 38.</i> Inmersión de las probetas..	52
<i>Figura 39.</i> Remoción del collar.	52
<i>Figura 40.</i> Falla de la maquina multiusos.	52
<i>Figura 41.</i> Colocación de la muestra en la maquina multiusos.	52
<i>Figura 42.</i> Resumen de los resultados obtenidos en el ensayo CBR (%CBR vs Densidad seca)	54
<i>Figura 43.</i> Muestra inalterada.	55
<i>Figura 44.</i> Tallado de muestras.	55

<i>Figura 45.</i> Aplicación de la carga axial. ....	56
<i>Figura 46.</i> Falla en la probeta Villa Laura. ....	56
<i>Figura 47.</i> Falla en la probeta Circunvalar.. ....	56
<i>Figura 48.</i> Falla en la probeta Limonia. ....	56
<i>Figura 49</i> Ficha técnica de cal Promical. ....	57
<i>Figura 50.</i> Cal hidratada tipo M. ....	58
<i>Figura 51.</i> Muestra con porcentajes de cal. ....	59
<i>Figura 52.</i> Toma de la medida del pH. ....	59
<i>Figura 53.</i> Medición de cantidad de cal. ....	61
<i>Figura 54.</i> Mezcla suelo - cal. ....	61
<i>Figura 55.</i> Enrase de la muestra compactada. ....	62
<i>Figura 56.</i> Resumen del ensayo normal de compactación. ....	63
<i>Figura 57.</i> Extracción de probetas. ....	64
<i>Figura 58.</i> Envoltura de probetas en papel periódico. ....	64
<i>Figura 59.</i> Curado de probetas. ....	64
<i>Figura 60.</i> Falla de la probeta. ....	64
<i>Figura 61.</i> Resumen de resultados de ensayo de compactación modificado ....	68
<i>Figura 62.</i> Peso de cal hidratada. ....	69
<i>Figura 63.</i> Mezcla suelo – cal. ....	69
<i>Figura 65.</i> Muestra no plástica. ....	69
<i>Figura 64.</i> Muestras representativas secas al horno. ....	69
<i>Figura 66.</i> Resumen de los resultados obtenidos en el ensayo CBR (%CBR vs Densidad seca). ....	71
<i>Figura 67.</i> Comparativo Zona de extracción Circunvalar. ....	72

<i>Figura 68.</i> Comparativo Zona de extracción Limonia.....	73
<i>Figura 69.</i> Comparativo Zona de extracción Villa Laura. ....	74
<i>Figura 70.</i> Resultados Límites de Atterberg. ....	76
<i>Figura 71.</i> Variación de Límites de Atterberg. ....	77
<i>Figura 72.</i> Resistencia a la compresión simple.....	78
<i>Figura 73.</i> Variación de la resistencia a la compresión para 7 y 28 días. ....	79
<i>Figura 74.</i> Ensayo modificado de compactación. ....	80
<i>Figura 75.</i> Variación del ensayo modificado de compactación. ....	82
<i>Figura 76.</i> CBR (95%). ....	83
<i>Figura 77.</i> Variación de CBR (95%). ....	84

# **Capítulo 1. Determinación de las propiedades mecánicas de material proveniente de zonas de extracción en el municipio de Ocaña, para su uso en vías en afirmado, estabilizado con cal hidratada**

## **1.1 Planteamiento del problema.**

Las vías terciarias son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí. Las carreteras consideradas como Terciarias deben funcionar en afirmado. En caso de pavimentarse deberán cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para las vías Secundarias. (Instituto Nacional de Vías [INVIAS], 2008, p.5).

En Colombia dichas vías son un factor esencial para el desarrollo tanto económico como social, estas redes permiten la comunicación entre las comunidades, facilitando el traslado de personas, servicios, productos agrícolas e insumos a las diferentes zonas integrando inclusive las regiones más apartadas del país.

Las vías en afirmado representan en el país el 70 por ciento de la red terciaria según (El Tiempo, 2017), sin embargo no presentan las mejores condiciones para su uso, debido a que, después de un tiempo de su puesta en servicio el afirmado presenta ciertos deterioros como lo son: la pérdida de grava, ondulaciones, ahuellamientos, entre otros, los cuales se acentúan en las temporadas de lluvia afectando su durabilidad, calidad y el servicio de la vía.

Ocaña, Norte de Santander, está conformada por 66,8 kilómetros de vías en afirmado como se encuentra en el Decreto N°156 de 2016, en las cuales se pueden identificar la mayoría de los deterioros antes mencionados afectando principalmente la zona rural, por la falta de un mantenimiento periódico que las conserve en buen estado, convirtiéndolas en trochas de difícil tránsito y extensos recorridos, generando un mayor tiempo en su trayecto.

La estabilización de afirmados es uno de los métodos planteados que se usa en zonas donde los problemas con el afirmado son frecuentes, estabilización con materiales como el cemento, emulsión asfáltica, cal, cloruro de calcio, cenizas, resinas y polímeros mejoran las características físicas y el comportamiento en general de los suelos, sin embargo, “la durabilidad de la estabilización depende de un buen proceso constructivo y de la calidad del material estabilizado”. (Orobio, 2010, p. 97).

Lo anterior denota la necesidad de conocer las propiedades mecánicas de los materiales que se implementan en la construcción de vías en afirmado en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, los cuales son conocidos generalmente como materiales de receba, siendo éstos obtenidos principalmente de las canteras y zonas de extracción que se encuentran a las afueras del municipio, además, establecer si es posible mejorarlas con el proceso de estabilización adicionando cal hidratada, dando lugar a que disminuyan los problemas que frecuentemente afectan a la comunidad del sector rural.

## **1.2 Formulación del problema.**

A partir de la utilización de la mezcla de material proveniente de las zonas de extracción con cal hidratada, sería posible mejorar las características mecánicas del material y posteriormente usarlo en afirmados, brindando mayor durabilidad a una vía hecha con esta mezcla.

¿Cuáles son las características mecánicas que mejoran en el material procedente de zonas de extracción en el municipio de Ocaña adicionándoles cal hidratada?

## **1.3. Objetivos.**

**1.3.1 Objetivo general.** Determinar de las propiedades mecánicas de material proveniente de zonas de extracción en el municipio de Ocaña, para su uso en vías en afirmado, estabilizado con cal hidratada.

**1.3.2 Objetivos específicos.** Realizar la caracterización mecánica del material tomado de las zonas de extracción según las normas del Instituto Nacional de Vías (INV), estableciendo criterios básicos de diseño.

Definir la cantidad necesaria de cal hidratada para estabilizar los suelos siguiendo la norma INV E 601, posteriormente realizar las mezclas de suelo – cal con cada zona de extracción y obtener sus propiedades mecánicas.



Efectuar un comparativo de los diferentes tipos de material encontrados en las zonas de extracción y determinar cuál de ellas brinda las mejores características para el mejoramiento de la red vial del municipio.

Establecer la variación de las propiedades mecánicas del material sin estabilizante y el material estabilizado para cada zona de extracción.

#### **1.4. Justificación.**

En los últimos años en el país se vive de manera intensa los fenómenos del niño y la niña, por consiguiente, se han presentado temporadas de intensas sequías e inviernos fuertes, esto trae consigo los principales problemas que presentan las vías con afirmado, que empeoran la actividad del transporte de productos agrícolas, personas, servicios y recursos. Las vías más alejadas de los cascos urbanos no son intervenidas de forma frecuente debido a que no se les da la importancia que estas tienen y se destinan pocos recursos para su adecuación.

Es por esto que se hace necesario la utilización de métodos económicamente viables, resistentes y con mayor durabilidad en periodos de tiempo más largos, permitiendo un mejoramiento en la calidad, comodidad y seguridad, uno de ellos es la estabilización con cal hidratada, la cual tiene como objetivo mejorar las propiedades mecánicas de los afirmados reduciendo los daños que continuamente se presentan.

Se requiere entonces determinar las características mecánicas de los materiales que se usan para la construcción de afirmados, ya que, si estos presentan propiedades adecuadas será mucho más efectivo que la estabilización con cal hidratada tenga una mayor durabilidad y preste un buen servicio.

Con esta investigación se puede obtener información relevante acerca de los beneficios de la aplicación del cal hidratada mezclado con material para afirmado presente en el municipio, además, de presentar buenos resultados sería posible utilizar la información para el mejoramiento de vías en afirmado que han tenido poca intervención, inversión estatal o que son de poca importancia a las cuales no llegan los recursos necesarios para la construcción de un pavimento o construcción de una placa huella.

## **1.5 Delimitaciones.**

**1.5.1 Delimitación operativa.** Durante la elaboración del proyecto se debe recopilar información, realizar visitas a las zonas de extracción del municipio, toma de muestras, elaboración de ensayos de laboratorio, análisis de resultados de los diferentes ensayos, conclusiones de los datos encontrados en los diferentes estudios.

**1.5.2 Delimitación conceptual.** Red vial terciaria, vías en afirmado, estabilización con adición cal hidratada, propiedades mecánicas, resistencia al deslizamiento, propiedades

cohesivas, baja permeabilidad, ensayos de granulometría, límites de Atterberg, desgaste, Normas Técnicas Colombianas (NTC), CBR, zonas de extracción, compactación, entre otros.

**1.5.3 Delimitación geográfica.** Esta investigación tendrá lugar en el municipio de Ocaña, Norte de Santander con coordenadas  $8^{\circ}14'15.8''$  N  $73^{\circ}21'21.7''$  O.

**1.5.4 Delimitación temporal.** En la elaboración del presente proyecto se emplearon cuatro (4) meses.

## Capítulo 2. Marco referencial

### 2.1. Marco histórico.

Es sabido que para el correcto funcionamiento a largo plazo de cualquier proyecto de construcción se requiere que la calidad del suelo sobre la que está soportada sea la mejor, los suelos que se comportan de manera inestable representan problemas relevantes para las estructuras y vías que se construyen sobre éste, sin embargo, dichos problemas pueden ser solucionados utilizando el método de la estabilización.

La estabilización de suelos consiste en realizar un tratamiento químico o mecánico que cambie considerablemente sus características y propiedades ingenieriles, produciendo resistencia y estabilidad a largo plazo. Montejo (2002) afirma que “Los materiales más utilizados actualmente en el mundo con estos fines en la construcción de carreteras son: el cemento, la cal, el asfalto y la arena” (p. 99).

Durante las últimas décadas se han desarrollado metodologías como: El triángulo de gradación elaborado por el Departamento del Ejército, la Armada y la Fuerza Aérea de los Estados Unidos y publicado en Octubre de 1994, que permiten escoger el mejor tipo de estabilizante entre cal, cemento, cenizas y asfalto para capas de pavimento como bases y sub-bases, conociendo de antemano las características físicas y clasificación del suelo a estabilizar.

El concepto de mejorar la capacidad de soporte de los suelos a través de su estabilización con aditivos es bastante antiguo; hace 5000 años atrás ya el suelo se

estabilizaba con cal o puzolanas. A pesar de ello el verdadero auge de esta técnica y su consecuente desarrollo sólo comenzó a ser realmente significativo a partir de la Segunda Guerra Mundial, a raíz de la imperiosa necesidad de construir carreteras y aeropuertos en zonas con carencia de agregados de buena calidad. (De Solminiach, Echeverría & Thenoux, 1989, p.1).

La cal es uno de los aditivos que se adapta a la mayoría de los tipos de suelo, especialmente a los que presentan contenidos de arcillas expansivas, logrando en la mayoría de caso resultados positivos en cuanto a la mejora de propiedades como resistencia, capacidad portante y el control de los cambios volumétricos en diversas condiciones climáticas. “Uno de los campos donde la cal promete considerables beneficios es en la provisión de “superficies de trabajo” y sub-bases para caminos construidos sobre suelos arcillosos pesados” (Montejo, 2002, p.100).

En Ocaña, según bases de datos y bibliotecas electrónicas, se desconocen estudios o investigaciones relacionadas con la estabilización de material para afirmados adicionando cal hidratada, es por esto que se desconocen las características mecánicas que presentan los materiales originarios del municipio y los resultados que podrían obtenerse al pasar por dicho proceso.

## 2.2. Marco Contextual.

Esta investigación se realizará en municipio de Ocaña, Norte de Santander (Ver Fig.1 y 2), con el fin de determinar las propiedades mecánicas que presentan los materiales propios de la región al mezclarse con cal hidratada, para ser usados posteriormente en vías en afirmado.



*Figura 1.* Ubicación de Ocaña, Norte de Santander, Colombia. Obtenido [https://es.wikipedia.org/wiki/Oca%C3%B1a\\_\(Norte\\_de\\_Santander\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Oca%C3%B1a_(Norte_de_Santander))

Para desarrollar esta investigación, se requiere obtener material para afirmado, el cual será tomado de zonas de extracción del municipio los cuales son:

- Vereda Limonia (Corregimiento de Aguas Claras).
- Finca Villa Laura (Corregimiento de Aguas Claras).

- La Circunvalar (Zona urbana del municipio de Ocaña).

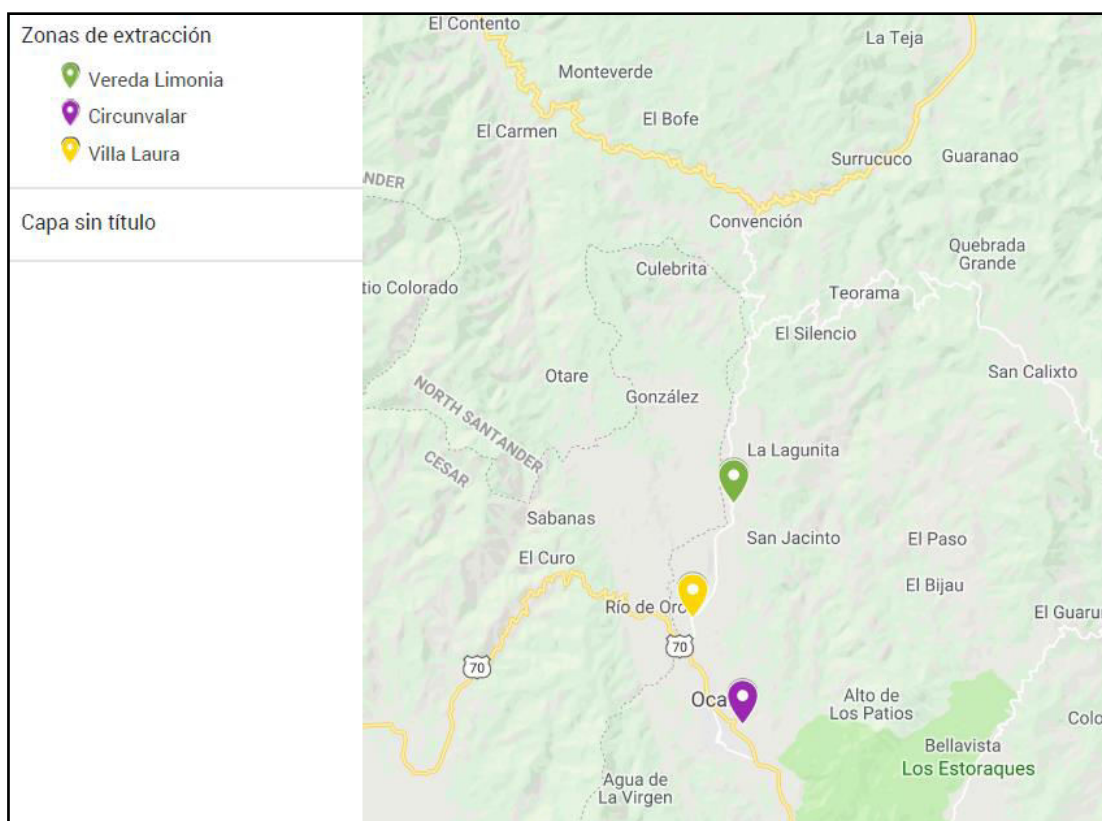


Figura 2. Ubicación de zonas de extracción a estudiar, Ocaña, Norte de Santander. Obtenido Google Maps

## 2.3 Marco Conceptual.

**2.3.1 Red vial nacional.** La red vial nacional está compuesta por carreteras y caminos que se extienden a lo largo de todo el país, las vías que hacen parte de esta red están clasificadas según dos criterios que son su funcionalidad y tipo de terreno (INVIAS, 2018, p.4).

Según su funcionalidad las vías se clasifican en:

- **Vías primarias:** se encargan de comunicar las capitales de los departamentos, y las principales zonas de producción y consumo del país y de éste con los demás países, estas vías deben funcionar pavimentadas. (INVIAS, 2008, p.5).

-**Vías secundarias:** Son las vías que comunican las cabeceras municipales entre sí, y se unen con alguna vía primaria, estas carreteras pueden funcionar pavimentadas o en afirmado. (INVIAS, 2008, p.5)

-**Vías terciarias:** Son aquellas que comunican las cabeceras municipales con las veredas o unen veredas entre sí. Estas vías deben funcionar en afirmado, en caso de que estén pavimentadas deben cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para las vías secundarias. (INVIAS, 2008, p.5).

**2.3.2 Vías terciarias.** Según ( Rodríguez,2019) “la red terciaria está compuestas por un total de 142.284 km” que comunican las cabeceras municipales con sus veredas o veredas entre sí, las personas que viven en la zonas rural utilizan estas vías principalmente para transportar los productos obtenidos de actividades agrícolas y ganaderas, también para acceder a los servicios como la salud y la educación.



**2.3.3 Vías en afirmado.** Son aquellas vías conformadas por terreno natural reforzado con material seleccionado (ver figura 3), disponen de mejoramientos en el trazado para facilitar la circulación permanente en dos sentidos, de igual forma la circulación diaria puede ser de 100 vehículos (Sánchez, 2009). El material utilizado para conformar el afirmado debe cumplir con algunas normas con respecto a su granulometría y su contenido de material fino debe ser suficiente para mantener la cohesión entre sus partículas (**Ver Apéndice M y N.**)



*Figura 3.* Vía en afirmado. Fuente: Autores 2019

**2.3.4 Suelos.** El suelo constituye la capa más visible de la tierra, y pueden ser producto de la descomposición de las rocas o pueden ser transportados por agentes de intemperismo como lo son el agua, el aire, la lluvia, el viento, etc. Para la ingeniería civil el suelo constituye la superficie de soporte de la mayor parte de las estructuras como lo son vías, puentes, edificios, muros y demás, es por esto que es de vital importancia conocer las características y propiedades que tiene cada uno de ellos. La mecánica de suelos es una herramienta fundamental para establecer estas características pues en ella se mezclan las leyes de la mecánica y la hidráulica, para dar solución a los problemas que se presentan con el día a día. (Duque & Escobar, 2016, p.11).

A continuación se describen los suelos comúnmente encontrados y su nombre:

**2.3.4.1 Gravas y arenas.** Los suelos que constituyen este grupo contienen partículas redondeadas y angulosas por lo general no hay presencia de cohesión.

**2.3.4.2 Limos.** Los limos pertenecen al grupo de materiales fino- granulares (partículas que pasan el tamiz No 200), contienen un valor de cohesión más bajo que el de las arcillas y en ellos se puede encontrar material orgánico.

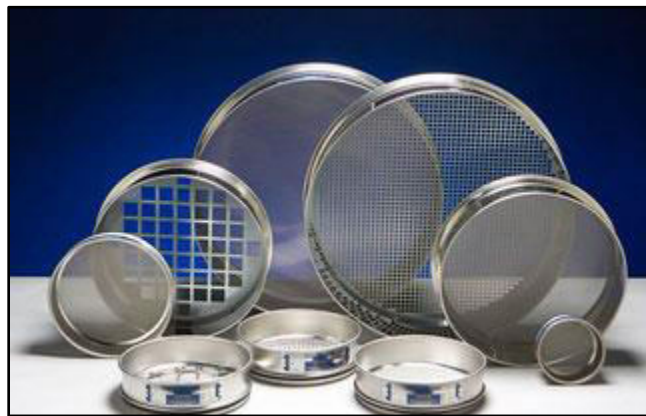
**2.3.4.3 Arcillas.** Son las partículas de suelo que se producen a partir de la degradación química de las rocas y los minerales que éstas contienen.

Las partículas de arcilla se caracterizan por tener cohesión, el tamaño de sus partículas es menor de 0.075mm y al ser mezclado con agua se convierte en una pasta plástica.

**2.3.5 Clasificación de suelos.** En mecánica de suelos existen dos métodos conocidos para la clasificación de suelos que son:

**2.3.5.1 Análisis mecánico por tamizado.** El análisis mecánico por tamizado es utilizado en suelos de tipo grueso-granular (gravas-arenas), este método consiste en pasar una determinada cantidad de suelo seco al horno, por una serie de tamices ordenados de mayor a menor abertura (ver figura 4) y determinar así su clasificación de acuerdo a las cantidades retenidas en cada uno de ellos.

Algunas de las dimensiones de tamices más utilizadas son: 75mm (3”), 50mm (2”), 37,5mm (1-1/2”), 25mm (1”), 19mm (3/4”), 9,5 (3/8”), 4,75 (No.4), 2mm (No.10), 850 $\mu$ m (No.20), 425 $\mu$ m (No.40), 250  $\mu$ m (No.60), 106  $\mu$ m (No.140), 75  $\mu$ m (No.200).



*Figura 4.* Serie de tamices. Obtenido <https://www.productosquimicosdelsur.com.mx/montinox/>

**2.4.5.2 Análisis por sedimentación.** Este método consiste en utilizar un hidrómetro (ver figura 5) para medir a diferentes tiempos la densidad de una solución compuesta por suelo que pasa el tamiz No.200, defloculante y agua.



*Figura 5.* Hidrómetro. Obtenido <http://equipamientocientifico.com/suelo/1031-hidrometro-para-suelos-de-bouyoucos.html>

Los suelos se clasifican en grupos y subgrupos que dependen de las características que cada uno presenta (**Ver Apéndices O, P**), actualmente se conocen dos sistemas para la clasificación de suelos, estos son el sistema AASHTO y el sistema Unificado de Clasificación (Das, 2001, p.35).

**2.3.6 Límites de Atterberg.** En 1900 el científico sueco Albert Mauritz Atterberg desarrolló un método para determinar la consistencia de los suelos con diferentes contenidos de agua, presentando así cuatro estados básicos: sólido, semisólido, plástico y líquido.

Se conocen como límites de Atterberg a la transición que ocurre dependiendo del porcentaje de agua, el paso del estado sólido a semisólido es conocido como *límite de contracción*, el paso del estado semisólido a plástico se conoce como *límite plástico*, y el paso del estado plástico al líquido es llamado se conoce como *límite plástico* (Das, 2001, p.27).

**2.3.6.1 Límite líquido.** Es el paso del suelo de un estado plástico a un estado líquido, la determinación de este límite se realiza utilizando la cazuela de Casagrande (ver Figura 6), en la cual se deposita una muestra de suelo que pasa el tamiz 40 mezclado con agua, se divide la muestra con un ranurador y se cuentan los golpes que hacen que la ranura se cierre una distancia de 1,3cm, se realizan varias pruebas con rangos diferentes de humedad y el límite líquido corresponde a la humedad obtenida a los 25 golpes.



Figura 6. Cazuela de Casagrande. Obtenido <https://www.hcsoft.net/lab/index.php?zona=comohacer&hoja=limites>

**2.4.6.2 Limite plástico.** Es el paso del suelo de un estado semisólido a un estado plástico, es menor contenido de humedad en que el suelo puede ser moldeado, se determina formando rollitos sobre una superficie que no sea absorbente hasta que éstas se agrieten.

**2.4.6.3 Índice de plasticidad.** Es la capacidad que tiene el suelo de absorber agua antes disolverse. El valor índice de plasticidad se obtiene de la diferencia entre el limite líquido y el índice de plasticidad, de esta manera cuanto mayor sea el número obtenido el material es más plástico.

**2.3.7 Cal (Oxido de calcio).** El óxido de calcio se produce por la sensibilidad al calor de las partículas de carbonato que contienen las rocas calizas las cuales son sometidas a altas temperaturas que van de los 900 a 1200 °C. Se pueden encontrar diferentes tipos de cal que existen en el mercado para su uso en diferentes actividades como son:

- **Cal viva:** Es el producto de la calcinación de la roca caliza se usa principalmente en la fabricación de morteros, pinturas y productos desinfectantes.

- **Cal hidratada:** Proviene de la reacción del agua con la cal viva formando así hidróxido de calcio, se producen en polvo seco, en pasta o lechada. “El uso más importante de la cal es el de estabilizar suelos, para estos fines se emplea la cal hidratada en polvo, que viene envasada en bolsas de papel facilitando de esta manera su manipuleo y transporte” (Huezo & Orellana, 2009).

**-Cal hidráulica:** Tiene la propiedad de endurecerse en presencia del agua, tiene baja resistencia mecánica ya que depende de la cantidad de arcilla que se contenga la roca caliza de la cual proviene. Su principal uso se encuentra en la fabricación de morteros estructurales.

**2.3.8 pH.** Es la unidad de medida para la acidez y la alcalinidad de una solución. El pH mide los iones de hidrógeno, es posible determinar su valor utilizando un potenciómetro más conocido como pH-metro o papel tornasol.

El valor de pH varía en una escala de 0 a 14, siendo 0 el valor de acidez máximo, 14 el valor básico máximo y 7 el punto neutro de la escala.

### 2.3.9 Ensayos de laboratorio.

**2.3.9.1 Resistencia a la compresión inconfiada.** Esta prueba se realiza generalmente en especímenes de arcilla, consiste en la aplicación de una carga axial a un espécimen de material en forma de cilindro con dimensiones que cumplan una relación diámetro – altura entre 2 y 2.5 hasta provocar una falla, de esta manera el valor de la resistencia a la compresión es el mayor valor de carga por unidad de área (ver figura 7) o el valor obtenido con una deformación axial de 15%.(I.N.V.E 152, 2012, p.1).

Consistencia	$q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )
Muy blanda	0–25
Blanda	25–50
Media	50–100
Firme	100–200
Muy firme	200–400
Dura	> 400

*Figura 7. Relación general de la consistencia y la resistencia a la compresión simple de las arcillas. Obtenido de: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das, pág. 237.*

**2.3.9.2 Ensayo CBR. (California Bearing Ratio).** Este ensayo consiste en la determinación de un índice de resistencia de los suelos de subrasante, subbase y base. El ensayo se realiza sobre muestras preparadas en laboratorio con un porcentaje de peso unitario seco determinado previamente en un ensayo de compactación y condiciones determinadas de humedad y densidad.

El CBR se expresa generalmente como la relación porcentual del esfuerzo requerido para que un pistón penetre 2,54mm o 5,08mm dentro de la muestra de ensayo y el esfuerzo que se requirió para penetrar a la misma profundidad una muestra patrón de grava bien gradada (I.N.V. E -148 , 2012, p.2).

**2.3.9.3 Ensayo de desgaste en la máquina de los Ángeles.** Este ensayo mide la degradación de los agregados pétreos con composición granulométrica definida, combinando acciones de abrasión, impacto y molienda en un tambor de acero rotatorio con una cantidad determinada de esferas metálicas, se realiza el número especificado de revoluciones para cada tipo de material y se mide el porcentaje de pérdida a través de un tamizado. (I.N.V.E - 218, 2012, p.2).



**2.3.9.4 Ensayo de la estimación de la proporción de cal necesaria para estabilizar un suelo a partir de la medida del pH.** A través de este ensayo se estima el menor porcentaje de cal que da lugar a un valor de pH igual o mayor de 12.4 en la mezcla suelo-cal. Se prepara una mezcla de suelo con diferentes contenidos de cal, y se obtiene la medida de su pH sobre las lechadas de las muestras, se sugieren hacer las mezclas con cantidades de cal de 2, 3, 4, 5 y 6% con respecto al peso del suelo seco (I.N.V.E- 601, 2012, p.2).

## **2.4 Marco Teórico.**

**2.4.1 Estabilización de suelos.** La estabilización de suelos se entiende como una serie de procesos que cambian considerablemente las propiedades físicas y mecánicas del material en estado natural, esos procesos se aplican o se lleva a cabo según la necesidad ingenieril, buscando que sea apto para cada tipo de requerimiento.

**2.4.2 Tipos de estabilización de suelos.** La estabilización de suelos se clasifica en estabilización mecánica, estabilización física, estabilización físico química, y estabilización química. “Para establecer un tipo de estabilización de suelos, la zona en estudio deberá presentar suelos como son: los limos, las arcillas o las arenas limosos o arcillosas (Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos, 2014, P24)” (Cabana, 2017, p. 32).

**2.4.2.1 Estabilización mecánica.** Este tipo de estabilización se lleva a cabo a través del proceso de compactación que permite la reacomodación de las partículas, esto a su vez mejora la resistencia debido al considerable aumento de la densidad.

**2.4.2.2 Estabilización química.** La estabilización química se entiende como la reacción obtenida al adicionar productos cementantes que modifiquen las propiedades físicas y mecánicas del material, dando lugar a un material adecuado para su uso o aplicación.

**2.4.2.3 Estabilización física.** Este proceso se entiende como el ajuste de las características del suelo a través de la modificación de su granulometría, por lo cual se ajusta a la franja y esto conlleva a una mejor gradación del material.

**2.4.2.4 Estabilización físico química.** Este proceso se lleva a cabo a través de la mezcla de materiales finos como la arcilla con algún tipo de sustancia que tenga comportamiento puzolánico y se conglomeran ejerciendo una reducción a la plasticidad y aumenta las propiedades físicas y mecánicas del material.

**2.4.3 Estabilización con cal.** Esta estabilización se lleva a cabo a través de la mezcla de un porcentaje de cal con respecto al peso del suelo seco en condición natural, esto se lleva a cabo generalmente para reducir el índice de plasticidad, luego de alcanzar su objetivo primario, también mejora de forma considerablemente las propiedades mecánicas del suelo y consigo permite aumentar la resistencia a la compresión en largos lapsos de tiempo.

A continuación, se pueden observar los diferentes tipos de suelos que pueden ser estabilizados con cal ver **figura 8**.

Símbolo del Grupo	Nombre del Tipo de suelo	Estabilizante
SC	Arcillas, arenas, mezclas de arena y arcilla	<b>CAL</b>
ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, arenas finas limosas o arcillosas	
CL	Arcilla de plasticidad baja a media, arcilla con grava y arena, arcilla limosas	
OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas e baja plasticidad	
MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos y finos o limosos	
CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta	
OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada, limos orgánicos.	

*Figura 8.* Suelos estabilizados con cal de acuerdo a la clasificación SUCS. Obtenido: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/13375>

**2.4.4 Ventajas de la utilización de la estabilización con cal.** La estabilización con cal mejora la relación de soporte CBR, incrementando la capacidad portante del suelo, como se evidencia en el trabajo de grado “mejoramiento de la relación de soporte (CBR) al adicionar el estabilizante químico cal a la sub-rasante de la carretera no pavimentada de bajo tránsito Paria – Wilcahuain, Huaraz, 2017”, se evidenció que con la correcta adición de la cal trae consigo mejoras significativas al comportamiento mecánico del material en estudio, el cual se lleva a cabo por medio de las propiedades cementantes que posee, gracias a la cantidad suficiente de cal se genera un comportamiento puzolánico de la mezcla perdurando a través del tiempo y aumentando de forma considerable la capacidad portante del suelo, la impermeabilidad, además, reduciendo considerablemente la plasticidad, y a su vez los cambios volumétricos.

- Las mezclas suelo con la adición de cal permite una notable reducción en el índice de plasticidad, como se puede observar en el estudio titulado “Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en El Salvador”, donde se puede identificar que la adición de cal a un determinado suelo puede reducir su índice de plasticidad hasta volverlo prácticamente cero, contribuyendo a que dicha mezcla pueda aumentar la resistencia, además se concluyó que se reduce el porcentaje de humedad del suelo, cambiando considerablemente las características mecánicas con respecto al suelo natural.

- Como se puede observar la sensibilidad en los suelos susceptibles a estabilizar con cal una considerable disminución de la plasticidad dando lugar a un aumento significativo en las diferentes propiedades mecánicas del material, esto se puede observar en la investigación titulada “caracterización de un suelo arcilloso tratado con hidróxido de calcio”. Esto demuestra una mejora significativa en la mezcla suelo – cal comparándola directamente con el suelo natural y a su vez muestra una mejora en el material, además, sería posible efectuar una adecuada durabilidad de una mezcla suelo – cal.

- La aplicación de la cal en la estabilización de suelos, hace posible mejorar de forma significativa la funcionalidad y económicamente hablando la utilización de esta en los diferentes ámbitos de la ingeniería, como se puede apreciar en la investigación titulada “comportamiento de suelos residuales de dioritas estabilizados con cal y su evolución en el tiempo”, dando lugar a la factibilidad del uso de suelos estabilizados con cal, garantizando una correcta estabilidad al momento de ser utilizado en los diferentes enfoques de la ingeniería.

## 2.5 Antecedentes.

Se realizó en el año 2018 en la Universidad de Guayaquil el trabajo de grado titulado **“Análisis Comparativo de los efectos del Agua de Mar y de Cal en la Estabilización de Suelos Arcillosos en Calles que conforman el Barrio 2 de Noviembre de la Comuna Engabao perteneciente al Cantón Playas Provincia del Guayas”**, este trabajo de grado consistió en hacer una comparación de los efectos y cambios causados con la adición y agua de mar en los suelos arcillosos, al realizar el análisis de resultado se llegó a la conclusión de que le agua de mar no generaba cambios significativos en el suelos sin embargo con adición de cal hidratada se mejoró la resistencia de éste con un porcentaje de cal del 7% (Silvestre, 2018).

En el año 2017 se desarrolló en la Universidad de Costa Rica la **“Guía para la selección de agentes estabilizadores para suelos y materiales granulares”**, esta guía presenta una serie de pasos a seguir para determinar el mejor estabilizante para los diferentes materiales, el estabilizante a adicionar depende principalmente de la clasificación del suelo en el sistema de clasificación AASHTO (Aguar, Ulloa, Ávila & Loría, 2017).

Se realizó en el año 2018 en la Universidad Católica de Colombia el trabajo de investigación titulado **“Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante”**, en el cual se evidencia que al adicionar cal viva y ceniza volante a un suelo de tipo arcilloso, se concluye que la cal viva es el estabilizante que genera mejores beneficios en cuanto al aumento de resistencia y es una buena alternativa económica en cuanto a los costos que generaría el transporte de un material adecuado. (Parra, 2018).

Se llevó a cabo en año 2015 en la Universidad Francisco de Paula Santander- Ocaña el trabajo de grado titulado **“Determinación de la variación de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos compresibles en condición natural y estabilizada con cementantes”**, el cual consistió en utilizar material arcilloso proveniente del corregimiento de Pueblo Nuevo en Ocaña Norte de Santander, para la determinación de la variación de las propiedades mecánicas se realizaron mezclas con cal y cemento, con las cuales se obtuvieron resultados positivos en cuanto al aumento de la resistencia de los suelos arcillosos en especial con la adición de cal (Gómez & Guillin, 2015).

## **2.6. Marco legal.**

Durante el desarrollo de esta investigación no es necesaria la adquisición de permisos legales, sin embargo, se deben tener en cuenta las siguientes leyes y normas:

Ley 685 del 2001: El presente Código tiene como objetivos de interés público fomentar la exploración técnica y la explotación de los recursos mineros de propiedad estatal y privada; estimular estas actividades en orden y satisfacer los requerimientos de la demanda interna y externa de los mismos y a que su aprovechamiento se realice en forma armónica con los principios y normas de explotación racional de los recursos naturales no renovables y del ambiente, dentro de un concepto integral de desarrollo sostenible y del fortalecimiento económico y social del país. (Ley 685, 2001).

Resolución 0744 del 4 de marzo del 2009: Adoptar como norma técnica de los proyectos de la red vial Nacional, “EL MANUAL DE DISEÑO GEOMETRICO PARA

CARRETERAS” elaborado en 2007 por el Instituto Técnico Nacional de Vías- INVIAS.  
(Resolución 0744 del 4 de marzo del 2009).

### **Normas del Instituto Nacional de vías.**

Especificaciones Técnicas Art.311-13 Afirmado: Este trabajo consiste en el suministro, transporte, colocación y compactación de los materiales de afirmado sobre la subrasante terminada, o sobre un afirmado existente, de acuerdo con la presente especificación, los alineamientos, pendientes y dimensiones indicados en los planos del proyecto y las instrucciones del Interventor.( Art.311-13 Afirmado).

Art.300 Disposiciones generales para la ejecución de afirmados, sub-Bases y bases estabilizadas.

I.N.V.E-601-13 Estimación de la proporción de cal necesaria para estabilizar un suelo a partir de la medida del pH.

I.N.V.E-605-13 Resistencia a la compresión inconfiada de mezclas compactadas suelo-cal.

I.N.V.E-218-13(Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5mm (1 1/2”) por medio de la máquina de los Ángeles.

I.N.V.E-125-13 (Determinación del límite líquido de los suelos).

I.N.V.E-126-13 (Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos).

I.N.V.E-148-13 (Relación de soporte del suelo en el laboratorio, CBR de laboratorio).

I.N.V.E-123-07(Análisis granulométrico de suelos por tamizado).

I.N.V.E-141-13 (Relaciones de Humedad- Peso unitario seco en los suelos-(Ensayo Normal de Compactación).

I.N.V.E-122-13(Determinación en laboratorio del contenido de agua (Humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo agregado.

I.N.V. E-123-13 (Análisis granulométrico por medio del hidrómetro).



## Capítulo 3. Diseño metodológico

### 3.1. Tipo de investigación.

La investigación que se desarrollará en el presente proyecto es de tipo experimental, en la cual su primera etapa será ejecutada en campo (toma de muestras), como paso a seguir se realizarán ensayos de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas del material de afirmado, se establecerá la porción de cal requerida para la estabilización de cada muestra y se determinaran los cambios que ocurren a sus propiedades con la realización de las mezclas.

### 3.2 Población y muestra.

**3.2.1 Población.** La población seleccionada para el desarrollo del presente proyecto de investigación serán las zonas de extracción de material para afirmado (receba) del municipio de Ocaña, Norte de Santander.

**3.2.2 Muestra.** Como muestra se tomarán 3 zonas de extracción comúnmente utilizadas en el municipio para el uso de vías terciarias, las cuales son: Finca Villa Laura y vereda Limonia ubicadas en el corregimiento de Aguas Claras, y el Sector de la circunvalar ubicado en la zona urbana del municipio de Ocaña.

### 3.3 Diseño experimental.

Se obtendrá el material de estudio de las zonas de extracción previamente seleccionadas, y se llevarán a cabo los siguientes ensayos tanto para el material en estado natural, como para el material estabilizado con adición de cal hidratada, que ayudarán a determinar sus propiedades:

Granulometría por tamizado cumpliendo las normas NTC 1522; INV E – 123 – 13 para definir la distribución de los diferentes tamaños de partículas presentes en el material en estado natural de las 3 canteras a estudiar. Además, se realizará el ensayo de granulometría por hidrómetro para determinar la distribución de las partículas de suelo menores del tamiz N°200.

Total, de ensayos por muestra: 3.

Después de determinar la gradación que posee cada uno de los materiales extraídos de las diferentes canteras, se procede a realizar su estabilización con la adición de cal hidratada, mediante la norma INV E – 601, la cual establece el porcentaje mínimo requerido para estabilizar un suelo por medio de la medición del pH, el cual deberá tener un valor igual o superior a 12.4. Se realizará este ensayo con mezclas de suelo- cal hidratada con porcentajes de: 2, 4, 6, 8 y 10%.

Total, de ensayos por muestra: 3

Una vez establecido el porcentaje de cal hidratada para estabilizar el material de cada una de las canteras se procede a determinar los límites de Atterberg, se realizarán al material en

estado natural y al material estabilizado de cada cantera. El límite líquido, límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos se harán siguiendo la norma (NTC 4630; INV E – 125 – 13; INV E – 126 – 13).

Ensayos para material en estado natural: 3

Ensayos para material estabilizado: 3

Después de establecer los límites de las diferentes muestras, se procede a realizar el ensayo de relaciones humedad – peso unitario seco en los suelos INV E – 141 – 13, (INV E – 142 – 13) este ensayo se emplea para determinar la relación entre la humedad y el peso unitario seco de los suelos.

Ensayos para material en estado natural: 3

Ensayos para material estabilizado: 3

Se realizará de igual forma el ensayo CBR (California Bearing Ratio) según la norma de INVIAS INV E – 148 – 13, éste se utiliza para la determinación del índice de resistencia a los materiales de afirmados obtenidos de las canteras del municipio, para la evaluación de materiales que contengan tamaños menores a 19 mm (3/4”).

Ensayos para material en estado natural: 3

Ensayos para material estabilizado: 3

Se realizará el ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión inconfiada de mezclas compactadas de suelo estabilizado o tratado con cal siguiendo la norma INV E – 605 – 13 y resistencia a la compresión inconfiada para material en estado natural siguiendo la norma INV E – 152.

Además, para el material estabilizado se ensayarán probetas con tiempos de curado de 7 y 28 días para cada una de las muestras de suelo obtenidas.

Ensayos para material en estado natural: 3

Ensayos para material estabilizado: 9

Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 1/2”) por medio de la máquina de los ángeles INV E – 218 – 13. Este ensayo para medir la degradación de los agregados pétreos para afirmados que componen cada cantera en estudio.

Ensayos para material en estado natural: 3

Ensayos para material estabilizado: 3

En total se realizarán 7 ensayos de laboratorio para cada muestra de material en estado natural.  $7*3= 21$ , y 5 ensayos para cada muestra de material estabilizado  $5*3=15$ .

Total, de ensayos: 36.

### **3.4 Elementos para recolectar la información.**

Para el desarrollo del presente proyecto, es necesaria la utilización de los diferentes equipos e instrumentos para la recolección de información en la realización de cada uno de los ensayos.

Los instrumentos para la recolección de información necesaria para el desarrollo de esta investigación, son los diferentes equipos e instrumentos de laboratorios utilizados para la realización de cada ensayo como el juego de tamices para realizar análisis granulométrico, recipientes para toma de muestras, balanzas, horno para calcular humedades, hidrómetro, termómetro, equipos misceláneo, cazuela de casa grande y la espátula para la estimación del límite líquido, taras para colocar las muestras, estimación de la proporción de cal por medio de la medida del pH, martillo metálico, regla metálica, extractor de muestras para realización de ensayo de proctor, además para realizar el ensayo de CBR se utiliza el martillo de compactación, pistón de penetración, tanque, luego para determinar la resistencia a la compresión inconfiada se utilizan moldes de compactación de collar removible y placa de base, dispositivo para medir las dimensiones de las probetas compactadas, por último, se realizará el ensayo de desgaste en la máquina de los ángeles y las esferas de acero para el cálculo del desgaste del material para afirmados.

### 3.5 Procesamiento de la información.

Con la realización del presente proyecto se espera encontrar los datos, para establecer las características mecánicas de material de afirmado estabilizado con cal hidratada.

El proyecto tendrá el siguiente procedimiento:

- ❖ Recolección de información general.
- ❖ Visita a las canteras establecidas para obtener el material de afirmado necesario para ensayos de laboratorio.
- ❖ Realización de los ensayos de análisis granulométrico por tamizado y por hidrómetro, límites de Atterberg, estimación de la proporción de cal necesaria a partir de la medida del pH, ensayo de proctor, CBR, ensayo de compresión inconfiada, ensayo de desgaste en la máquina de los Ángeles.
- ❖ Análisis de resultados de los respectivos ensayos de laboratorio.
- ❖ Verificar el cumplimiento de las normas para afirmados establecidas por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS).
- ❖ Conclusiones y recomendaciones, además del respectivo registro fotográfico durante la elaboración del presente proyecto.

## Capítulo 4. Presentación de resultados

### 4.1 Caracterización mecánica del material tomado de las zonas de extracción según las normas del Instituto Nacional de Vías (INV).

Se realizó la visita a las tres zonas de extracción de material (ver figura 9) que fueron seleccionadas para la realización de este estudio, con el fin de obtener muestras representativas que permitan determinar sus características físicas y mecánicas estableciendo criterios básicos para su uso en vías en afirmado.

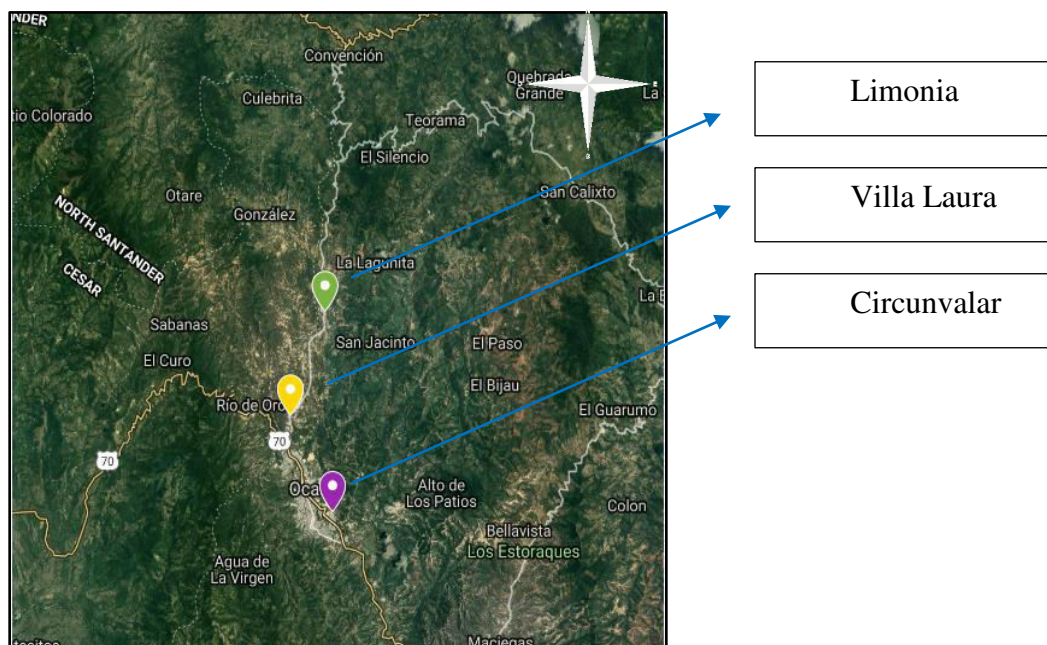


Figura 9. Localización de zonas de extracción. Fuente: Adaptado de Google Earth.

**4.1.1 Zona de extracción Villa Laura-Corregimiento de Aguas Claras.** Esta zona se encuentra ubicada en la parte rural del municipio de Ocaña Norte de Santander, aproximadamente a 2 km del casco urbano. El material que se extrae de esta zona pertenece al complejo ígneo intrusivo y presenta características de tipo areno-arcilloso con coloración amarilla, (**ver figura 10**), se obtuvieron las muestras necesarias para realizar los ensayos de laboratorio.



*Figura 10.* Zona de extracción Villa Laura. Fuente: Autores del proyecto 2019.

**4.1.2 Zona de extracción vereda Limonia-Corregimiento de Aguas Claras.** Este lugar se encuentra ubicado en la zona rural del municipio de Ocaña Norte de Santander, sobre la vía que conduce al corregimiento de Aguas Claras aproximadamente a 7 km del casco urbano. El material extraído en esta zona pertenece al complejo ígneo intrusivo y presenta características de tipo arenoso con importante contenido de limos, con una coloración naranja (**ver figura 11**).





*Figura 11.* Zona de extracción vereda Limonia. Fuente: Autores del proyecto 2019.

**4.1.3 Zona de extracción sector de la circunvalar.** Esta zona se encuentra dentro del casco urbano del municipio de Ocaña Norte de Santander, el material encontrado en esta zona pertenece al complejo intrusivo extrusivo, presenta características de tipo arenoso con algo de arcilla, y una coloración naranja (**Ver figura 12**).



*Figura 12.* Zona de extracción Sector de la circunvalar. Fuente: Autores del proyecto 2019

**4.1.4 Ensayos de laboratorio realizados al suelo en condición natural.** Se detallan a continuación en la tabla 1, los ensayos realizados a cada muestra de suelo es estado natural tomada de las zonas de extracción con su respectiva norma.

**Tabla 1**

*Ensayos de laboratorio para suelo natural.*

<b>Ensayo Número</b>	<b>Norma</b>	<b>Título</b>
<b>1</b>	<b>INV E-106-13</b>	Preparación de muestras de suelo por vía seca para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas.
<b>2</b>	<b>INV E-123-13</b>	Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos.
<b>3</b>	<b>INV E-128-13</b>	Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral empleando un picnómetro con agua.
<b>4</b>	<b>INV E-125-13</b>	Determinación del límite líquido de los suelos.
<b>5</b>	<b>INV E-126-13</b>	Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.
<b>6</b>	<b>INV E-181-13</b>	Sistema unificado de clasificación de suelos para propósitos de ingeniería.
<b>7</b>	<b>INV E-122-13</b>	Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado.
<b>8</b>	<b>INV E-142-13</b>	Relaciones de humedad-peso unitario seco en los suelos ( ensayo modificado de compactación)
<b>9</b>	<b>INV E-148-13</b>	CBR de suelos compactados en laboratorio y sobre muestra inalterada.
<b>10</b>	<b>INV E-152-13</b>	Compresión inconfiada en muestras de suelos.
<b>11</b>	<b>INV E-601-13</b>	Estimación de la proporción de cal necesaria para estabilizar un suelo a partir de la medida del pH.
<b>12</b>	<b>INVE E-218-13</b>	Desgaste en la máquina de los Ángeles.

Fuente: Autores del proyecto 2019.

**4.1.4.1 Preparación de las muestras de suelo para su análisis granulométrico.** Previo al análisis granulométrico, se realizó la preparación de la muestra de acuerdo con lo indicado en la norma INV E-106-13, la cual consiste en tomar parte de la muestra obtenida del sitio de recolección pasándola por un proceso de secado a temperatura ambiente y el posterior cuarteo manual de la misma (**Ver figura 13 y 14**).

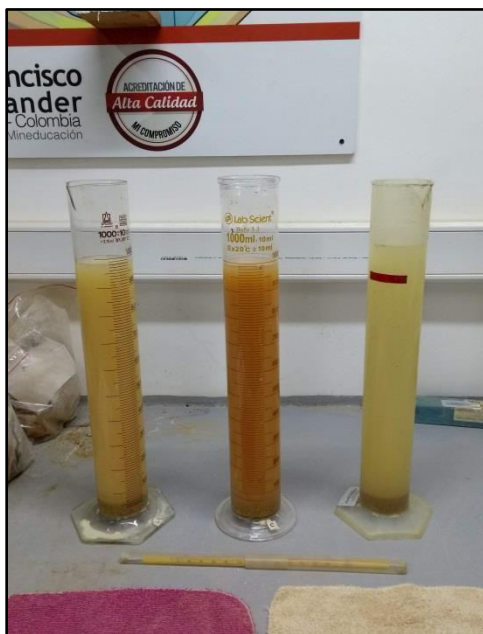


*Figura 14.* Preparación de muestras de suelo seco. Fuente: Autores del proyecto 2019.



*Figura 13.* Obtención de porciones representativas. . Fuente: Autores del proyecto 2019.

**4.1.4.2 Ensayo para la determinación del tamaño de las partículas.** Siguiendo la norma INV E-123-13, se realizó el ensayo para determinar el tamaño de las partículas por medio de un tamizado manual, usando la abertura de los tamices que permitieran comparar los resultados obtenidos (**ver tabla 2**) con las franjas granulométricas presentadas en el artículo 311 (Especificaciones generales de construcción de carreteras) de INVIAS. (**Ver figuras 15 – 24**). (**Ver apéndice A**).



*Figura 15.* Sedimentación por hidrómetro. Fuente: Autores del proyecto 2019



*Figura 16.* Lavado por tamiz N 200. Fuente: Autores del proyecto 2019.



*Figura 17.* Muestra seca para tamizado. Fuente: Autores del proyecto 2019.



*Figura 18.* Tamizado de las muestras. Fuente: Autores del proyecto 2019.

**Tabla 2**

Resultado ensayo para la determinación del tamaño de las partículas.

Ensayo Número	Zona de extracción	% Grava	% Arena	% Limo	% Arcilla
1	Circunvalar	15,53	73,87	1,58	9,02
2	Limonia	7,24	74,54	5,55	12,66
3	Villa Laura	9,92	81,08	4,64	4,36

Fuente: Autores del proyecto 2019.

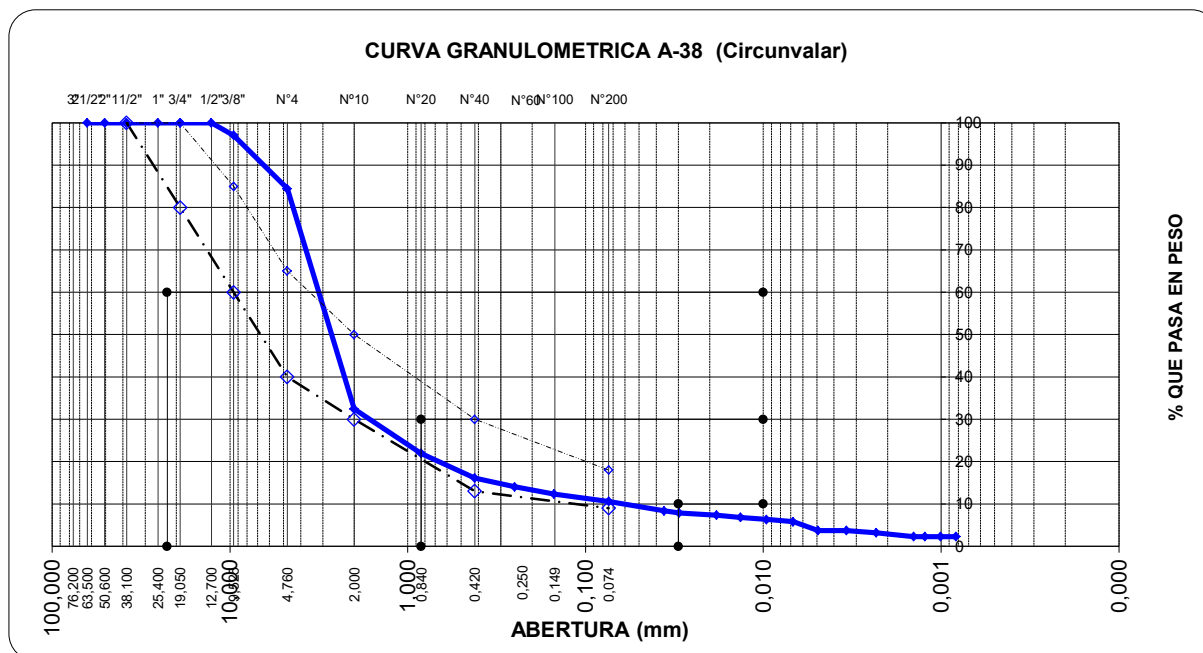


Figura 19. Curva granulométrica A-38 Circunvalar. Fuente: Autores del proyecto 2019.

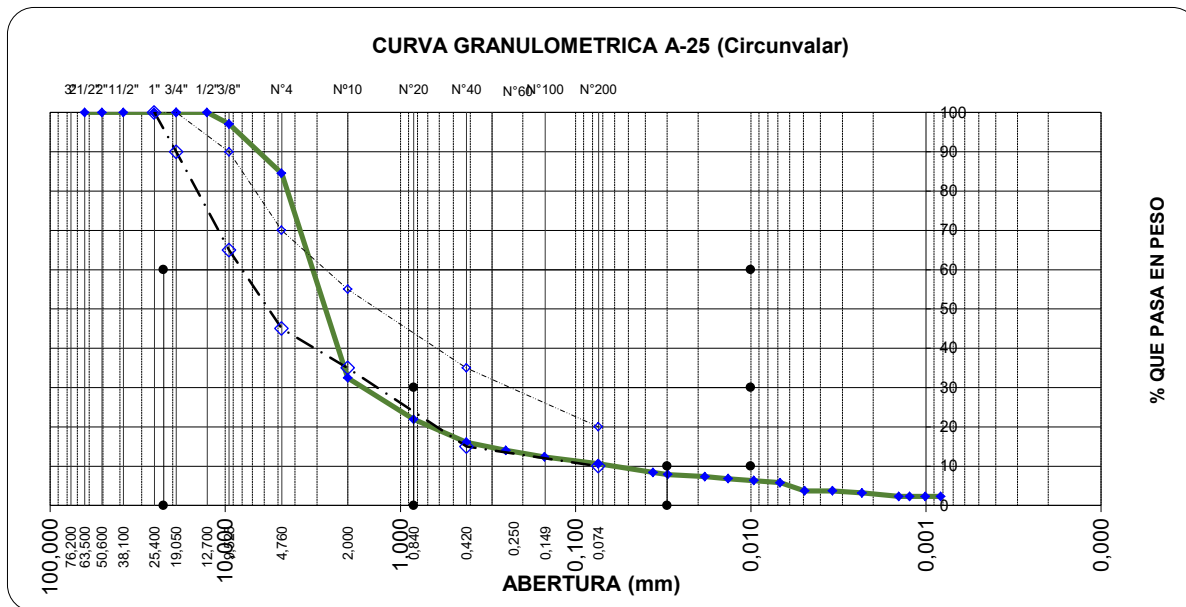


Figura 20. Curva granulométrica A-25 Circunvalar. Fuente: Autores del proyecto 2019

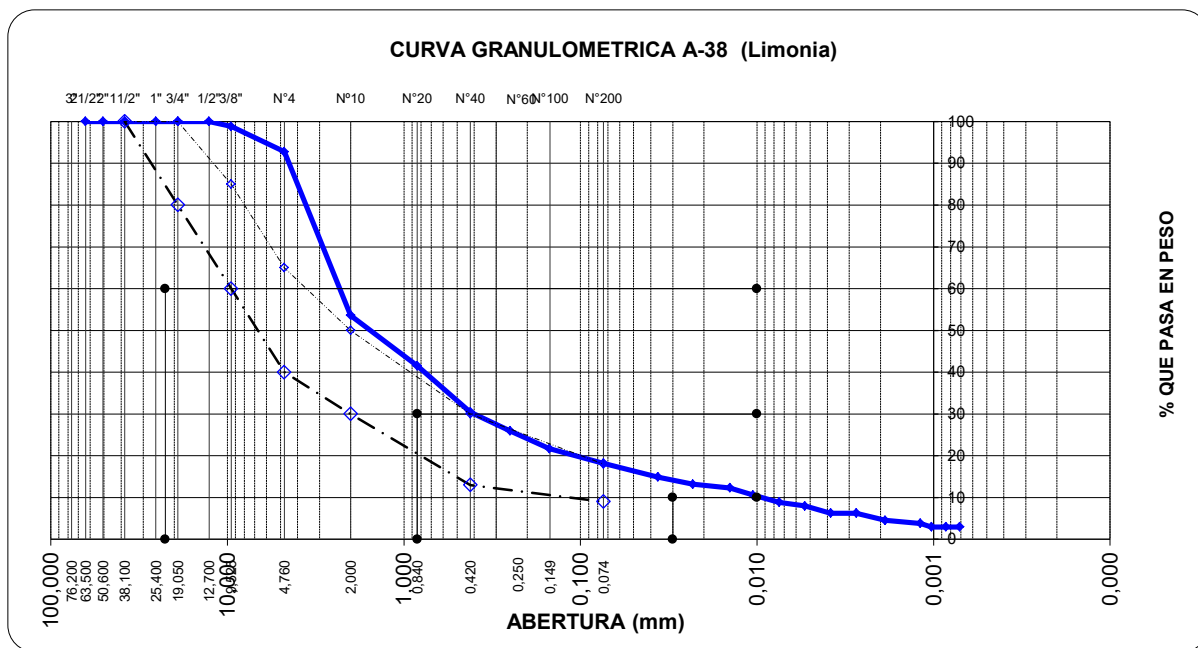


Figura 21. Curva granulométrica A-38 Limonia. Fuente: Autores del proyecto 2019.

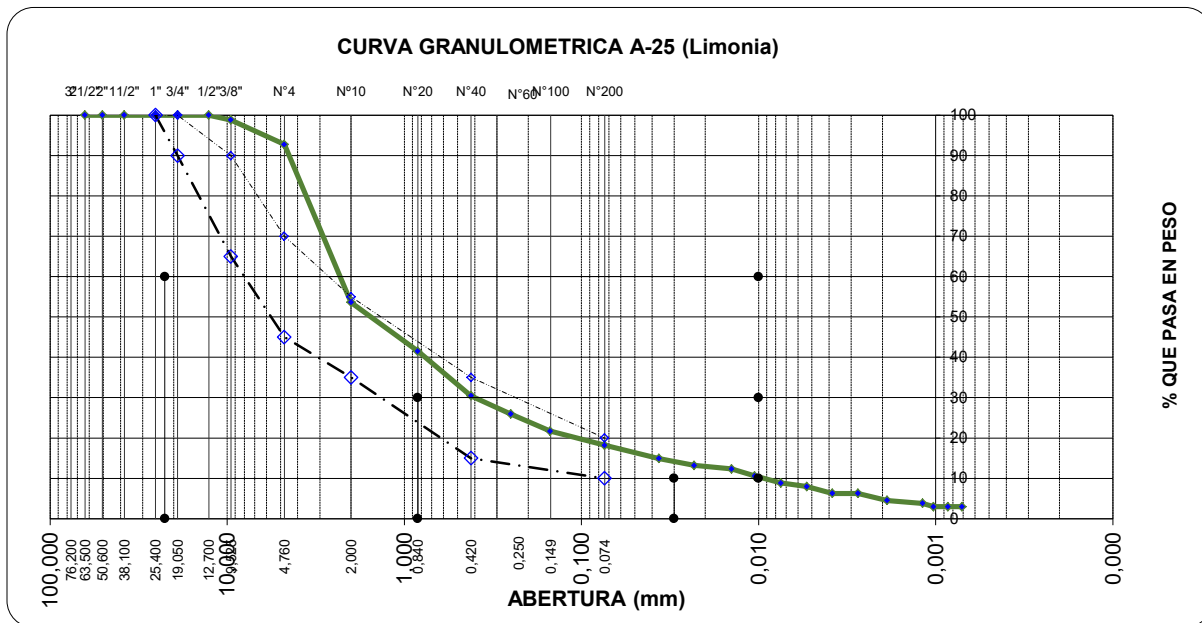


Figura 23. Curva granulométrica A-25 Limonia. Fuente: Autores del proyecto 2019

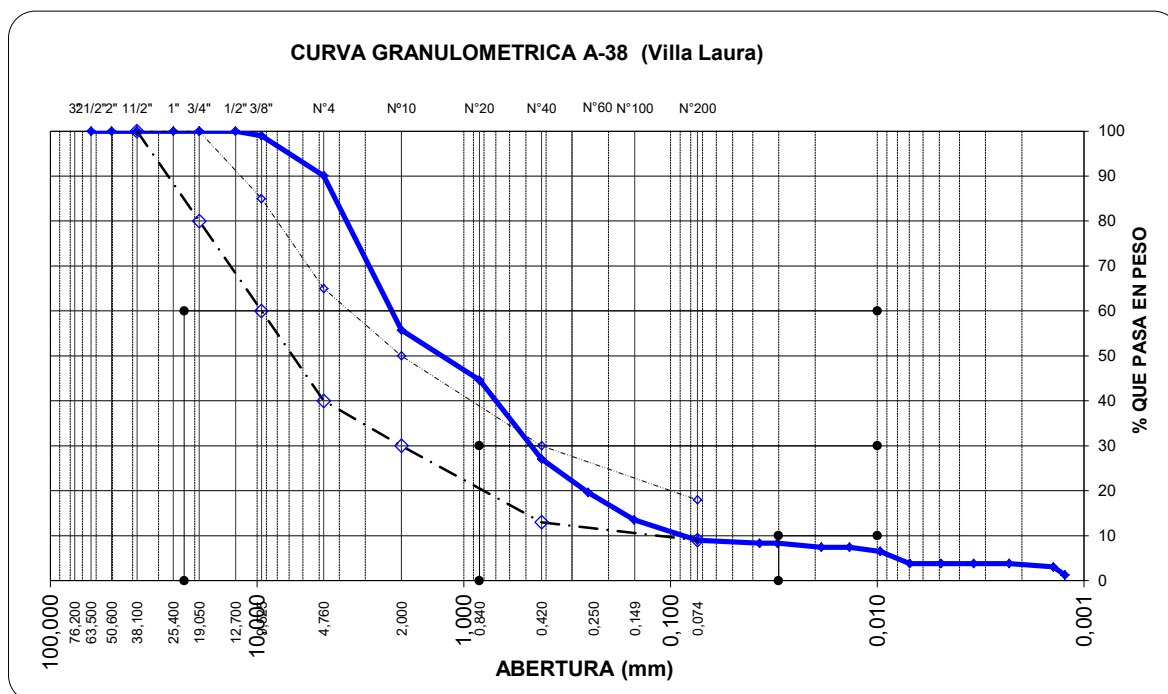


Figura 22. Curva granulométrica A-38 Villa Laura. Fuente: Autores del proyecto 2019.

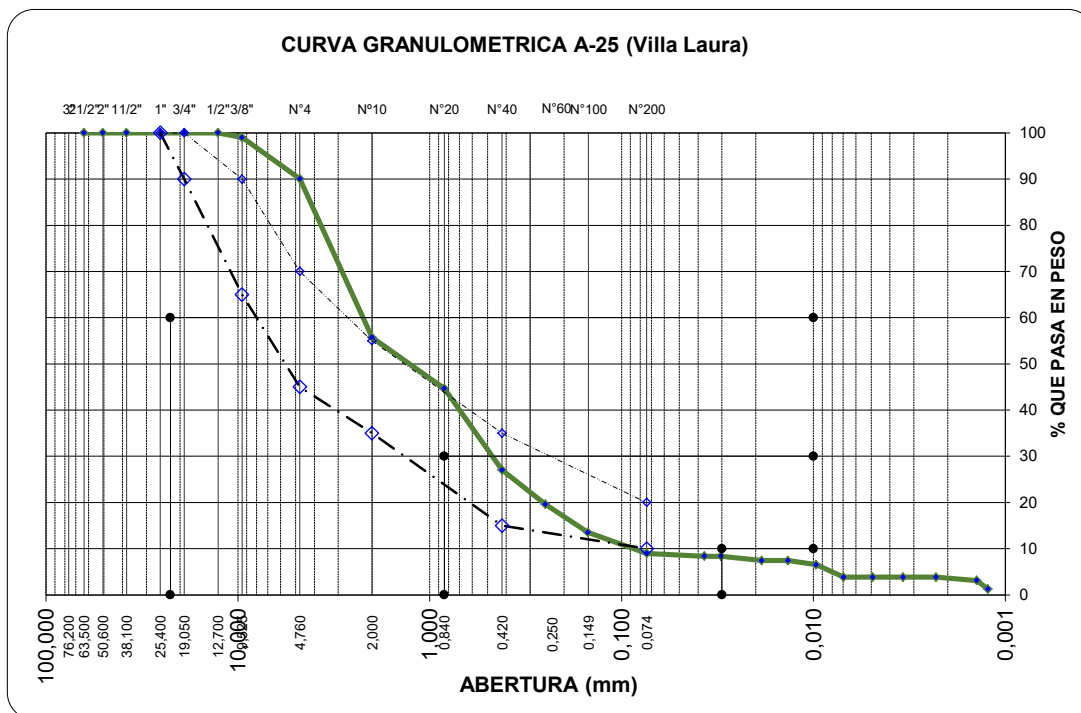


Figura 24. Curva granulométrica A-25 Villa Laura. Fuente: Autores del proyecto 2019

Como se puede apreciar en las anteriores figuras que muestran las franjas obtenidas para cada zona de extracción, ninguna de ellas se ajusta en su totalidad a las franjas A-25 y A-38, establecidas en la norma INVIAS, en la **figura 26** y **27** se muestra un resumen de la granulometría obtenida para los tres sectores.



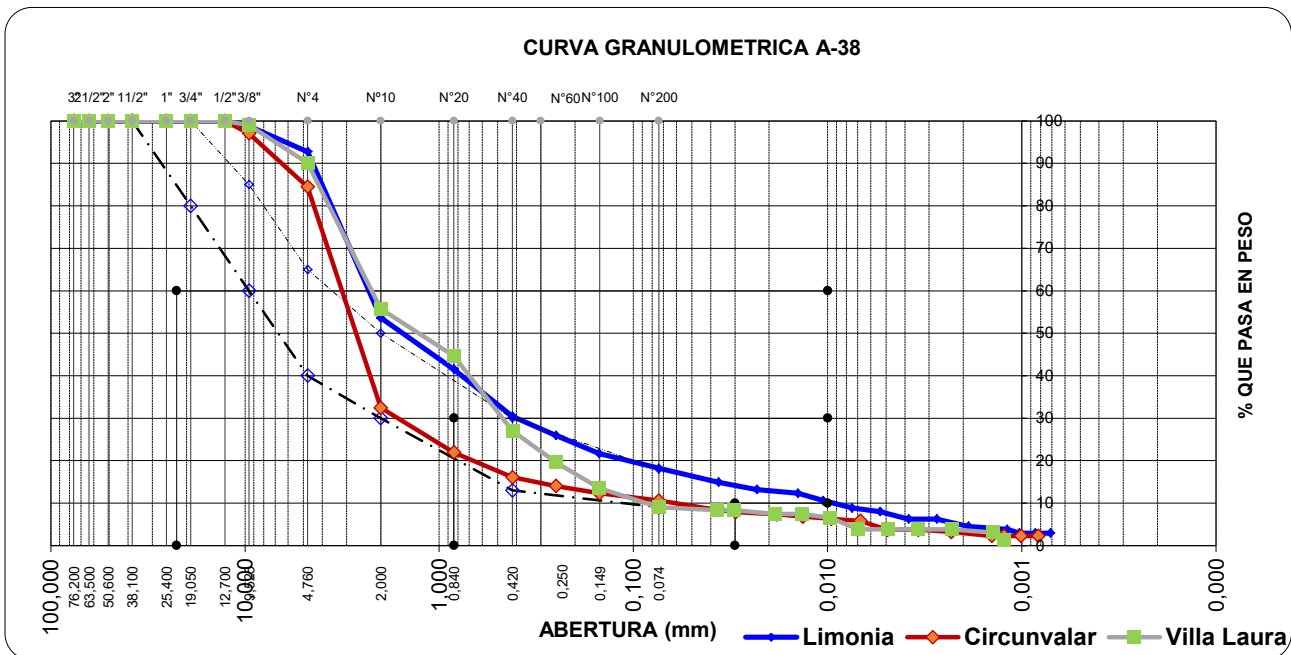


Figura 25. Resumen franja granulométrica A-38. Fuente: Autores del proyecto 2019

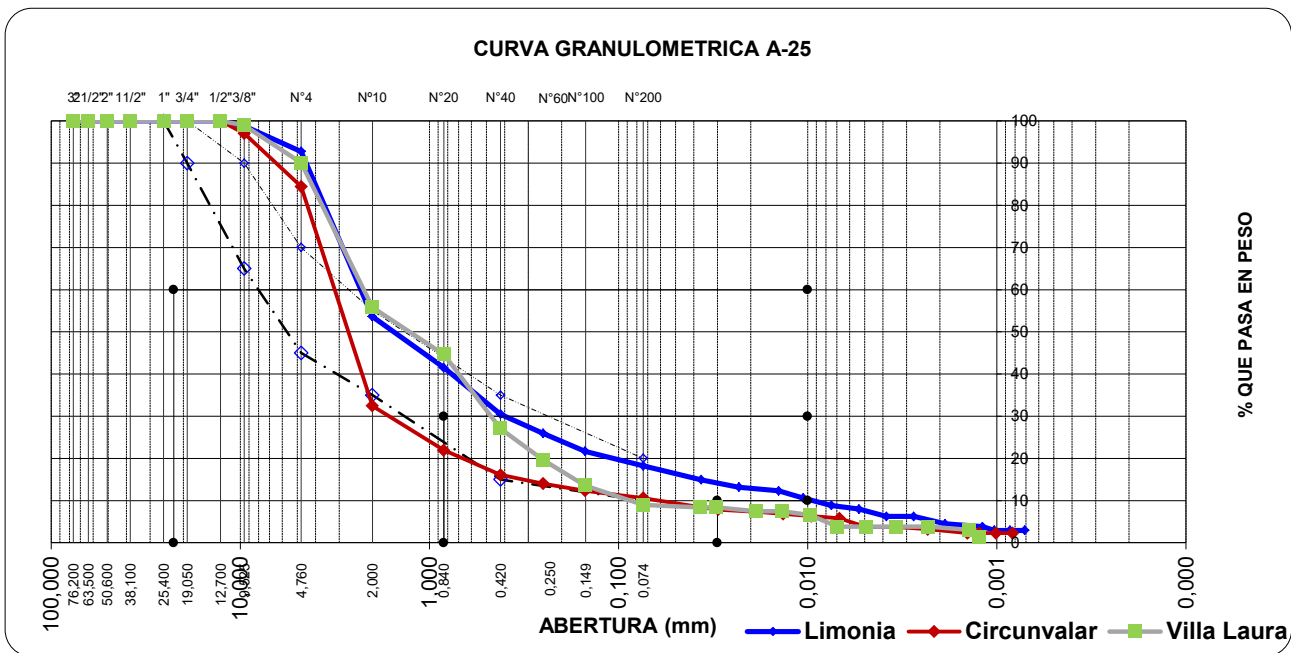


Figura 26. Resumen franja granulométrica A-25. Fuente: Autores del proyecto 2019

**4.1.4.3 Gravedad Específica.** Se realizó el ensayo de gravedad específica de las partículas a las tres muestras de suelo contempladas en esta investigación siguiendo la norma INV E-128-13, como se puede observar (**ver figuras 27 y 28**), los resultados se muestran en la **tabla 3**. (**Ver apéndice B**).



Figura 27. Cocción de las muestras en los picnómetros. Fuente: Autores del proyecto 2019.



Figura 28. Enfriamiento de los picnómetros. Fuente: Autores del proyecto 2019.

**Tabla 3**

*Resultados de ensayo de gravedad específica.*

Ensayo Número	Zona de extracción	Gravedad específica (GS)
1	Circunvalar	2,61
2	Limonía	2,63
3	Villa Laura	2,61

Fuente: Autores del proyecto 2019.

**4.1.4.4 Determinación del límite líquido.** Después obtener una muestra representativa de cada muestra de suelo, se procede a la realización del ensayo para determinar el límite líquido de los suelos (**ver figuras 29 y 30**), siguiendo la norma INV E-125-13, usando material que pasa el tamiz N 40, con los respectivos resultados de cada muestra ver **tabla 4**. (**Ver apéndice C**).



*Figura 29.* Preparación de la muestra en la Cazuela de Casagrande. Fuente: Autores del proyecto 2019.



*Figura 30.* Límite líquido. Fuente: Autores del proyecto 2019.

**Tabla 4.***Resultado límite líquido.*

<b>Ensayo Número</b>	<b>Zona de extracción</b>	<b>%L.L</b>
<b>1</b>	Circunvalar	35.08
<b>2</b>	Limonia	32.82
<b>3</b>	Villa Laura	32,38

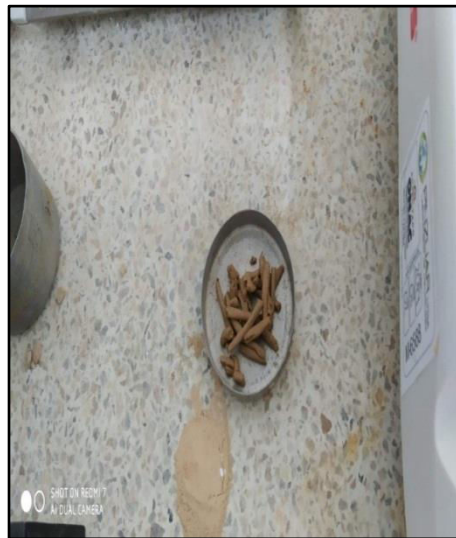
Fuente: Autores del proyecto 2019.

Como puede observarse en la anterior tabla el límite líquido obtenido para cada zona de extracción es menor que el máximo valor establecido en la norma INVIAS el cual es 40%, siendo el Sector Villa Laura, el material para el cual se obtuvo un valor más cercano a este parámetro.

**4.1.4.5 Determinación del límite plástico e índice de plasticidad.** Se tomó parte del material preparado para la elaboración del límite líquido y se determinaron los límites plástico e índice de plasticidad (**ver figura 31 y 32**), siguiendo los parámetros descritos en la norma INV E-126-13. Con los respectivos resultados del límite líquido e índice de plasticidad como se puede apreciar en la **tabla 5**.



*Figura 31.* Realización del límite plástico. Fuente: Autores del proyecto 2019.



*Figura 32.* Rollos para establecer el límite plástico. Fuente: Autores del proyecto 2019.

**Tabla 5**

*Resultados del límite plástico e índice de plasticidad.*

<b>Ensayo Numero</b>	<b>Zona de extracción</b>	<b>%L.P</b>	<b>%I.P</b>
<b>1</b>	Circunvalar	28,99	6,09
<b>2</b>	Limonia	24.58	8,24
<b>3</b>	Villa Laura	25.41	6,97

Fuente: Autores del proyecto 2019.

Al determinar el limite plástico, y calcular el índice de plasticidad, se observa que los valores obtenidos para las zonas de extracción se encuentran dentro del rango presentado en la norma INVIAS para afirmados, cuyo rango es (4-9%).

**4.1.4.6 Clasificación de suelos según sistema unificado.** Con el resultado obtenido de los anteriores laboratorios se procede a realizar la clasificación según la norma INV E-181-13, proceso del cual se obtuvieron los siguientes resultados. (**Ver tabla 6**).

**Tabla 6**

*Clasificación de suelos.*

<b>Zona de extracción</b>	<b>Clasificación según S.U.C.S</b>
<b>Circunvalar</b>	SP-SM
<b>Limonia</b>	SM
<b>Villa Laura</b>	SP-SM

Fuente: Autores del proyecto 2019.

Con los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio de Granulometría y Límites de Atterberg, se realizó la respectiva clasificación de los suelos extraídos de cada zona según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), dando como resultado que para las zonas de Circunvalar y Villa Laura se tiene una clasificación (SP-SM) es decir, una arena mal gradada con finos limosos, y para la zona de Limonia se obtuvo (SM) es decir, una arena limosa.

**4.1.4.7 Relaciones de humedad – peso unitario seco en los suelos (Ensayo modificado de compactación).** Se realizó el ensayo de compactación modificado según lo indicado en la norma INV E-142-13 utilizando el **método C**, se preparó la muestra con las humedades deseadas y dejándolas en recipientes plásticos cerrados por un tiempo de curado de 16 horas (**ver figuras 33, 34, 35 y 36**), obteniendo los valores de humedad óptima y densidad máxima seca para cada muestra de suelo ver **tabla 7. (Ver apéndice D).**



*Figura 33.* Preparación de mezclas. Fuente: autores del proyecto 2019



*Figura 34.* Curado del material. Fuente: Autores del proyecto 2019.



*Figura 35.* Compactación. Fuente: Autores del proyecto 2019.



*Figura 36.* Enrasado de la probeta. Fuente: Autores del proyecto 2019.

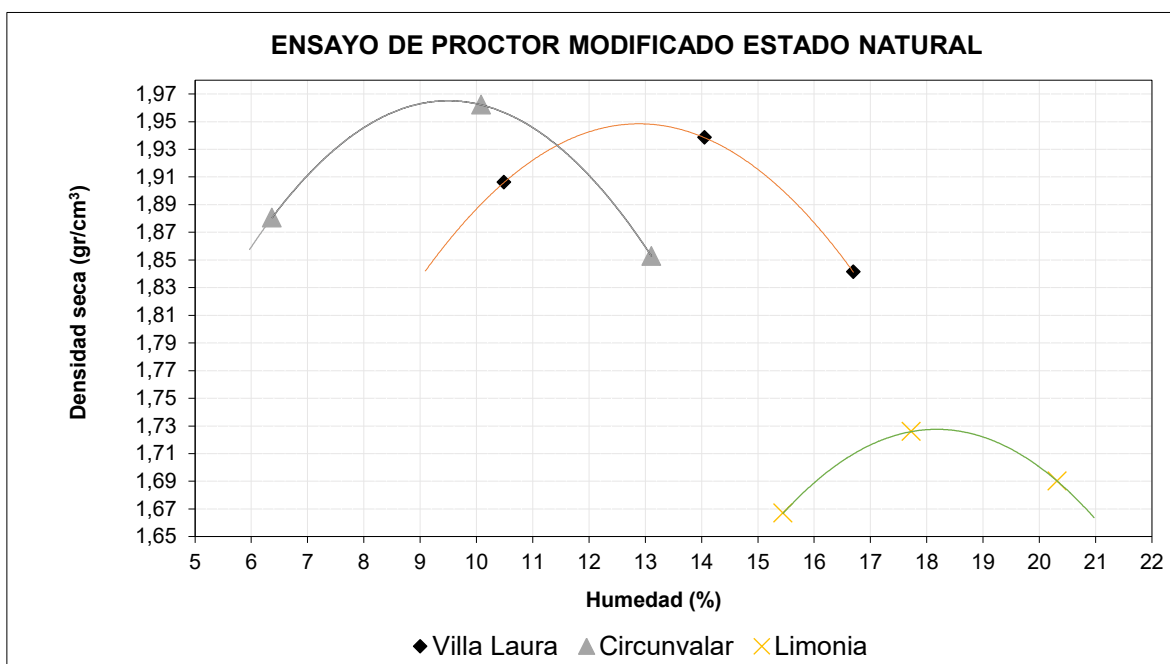
**Tabla 7**

*Resultados de Humedad óptima y densidad máxima seca.*

Ensayo Numero	Zona de extracción	Humedad óptima%	Densidad máxima seca (g/cm <sup>3</sup> )
1	Circunvalar	9,51	1,967
2	Limonia	18,11	1,729
3	Villa Laura	12,66	1,948

Fuente: Autores del proyecto 2019

Se puede observar en la **figura 38** un resumen de los resultados obtenidos para este ensayo.



*Figura 37. Resumen ensayo modificado de compactación. Fuente: Autores del proyecto 2019.*



**4.1.4.8 Ensayo de CBR.** Siguiendo la norma INV E-148-13 se realizó el ensayo de CBR, con el fin de obtener resultados con el 95% de compactación usando la humedad óptima obtenida en el ensayo de proctor modificado, los cilindros pasaron por un periodo de inmersión de 4 días (ver figura 38 y 39), para posteriormente ser fallados en la maquina multiusos del laboratorio de suelos y pavimentos. (Ver figuras 40 y 41) (Ver apéndice E).



*Figura 39.* Remoción del collar. Fuente: Autores del proyecto 2019.



*Figura 38.* Inmersión de las probetas. Fuente: Autores del proyecto 2019.



*Figura 41.* Colocación de la muestra en la maquina multiusos. Fuente: Autores del proyecto 2019.



*Figura 40.* Falla de la maquina multiusos. Fuente: Autores del proyecto 2019.

**Tabla 8**

*Resultados de porcentaje de CBR.*

<b>Ensayo Numero</b>	<b>Zona de extracción</b>	<b>Humedad óptima (%)</b>	<b>Densidad máx.(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>CBR 95%</b>
1	Circunvalar	9,5	1,967	36,00 %
2	Limonia	18,3	1,725	1,80 %
3	Villa Laura	12,8	1,947	21,00 %

Fuente: Autores del proyecto 2019.

Los resultados de CBR obtenidos para las zonas de extracción en estado natural se tomaron para una compactación igual al 95%, en caso de querer realizar el diseño de una vía se debe efectuar el respectivo estudio de intensidad vehicular que permitiría determinar la carga a la cual estaría sometida y compararla así con los valores de CBR obtenidos.

De acuerdo a lo observado en la **tabla 8**, el sector de Limonia no cumple con el requisito para CBR que se encuentra en la norma, el cual establece que para una compactación del 95% el índice de CBR debe ser mayor o igual a 15%.

Se muestran en la **figura 42** los resultados obtenidos en este ensayo.

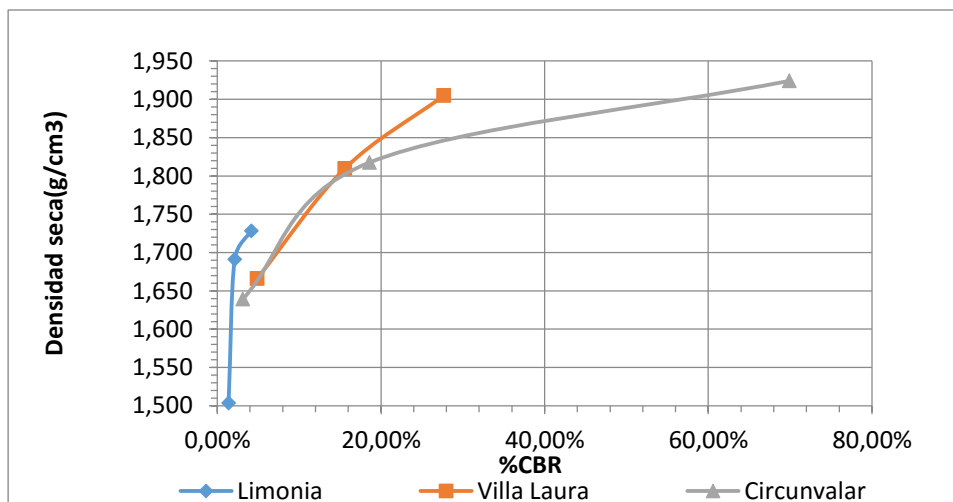


Figura 42. Resumen de los resultados obtenidos en el ensayo CBR (%CBR vs Densidad seca). Fuente: Autores 2019

**4.1.4.9 Resistencia a la compresión inconfiada.** Este ensayo permite establecer el valor de resistencia última de un suelo, bajo la aplicación de una carga axial controlada aplicada a las probetas talladas de muestras inalteradas obtenidas en las zonas de extracción (**ver figuras 43, 44, 45, 46, 47 y 48**). Este ensayo se realizó siguiendo lo indicado en la norma INV E-152-13, las probetas obtenidas para este ensayo no presentan un diámetro homogéneo debido a que fueron talladas de forma manual, los resultados obtenidos se muestran en la **tabla 9**. (**Ver apéndice F**).

**Tabla 9**

*Resultados de ensayo de compresión inconfiada.*

Ensayo numero	Zona de extracción	Descripción	Peso unitario (g/cm <sup>3</sup> )	Resistencia a la compresión inconfiada (kPa)
1	<b>Circunvalar</b>	Material arenoso, con limoso color naranja	1,90	377,491
2	<b>Limonia</b>	Material areno limoso, color marrón naranja	1,87	280,272
3	<b>Villa Laura</b>	Material areno arcilloso color marrón amarillo.	2,27	312,763

Fuente: Autores del proyecto 2019.



*Figura 43.* Muestra inalterada.  
Fuente: Autores del proyecto 2019



*Figura 44.* Tallado de muestras. Fuente: Autores del proyecto 2019



*Figura 45.* Aplicación de la carga axial. Fuente: Autores del proyecto 2019



*Figura 46.* Falla en la probeta Villa Laura. Fuente: Autores del proyecto 2019.



*Figura 47.* Falla en la probeta Circunvalar. Fuente: Autores del proyecto 2019.



*Figura 48.* Falla en la probeta Limonia. Fuente: Autores del proyecto 2019.

**4.1.4.10 Ensayo de desgaste en la máquina de los Ángeles.** Debido a que los materiales de las zonas de extracción en estudio no cumplen con la gradación requerida por la norma INVIAS para afirmados en cuanto a la realización del ensayo de desgaste (Gradación A), no fue posible su elaboración.

## **4.2 Definición de la cantidad necesaria de cal hidratada para estabilizar los suelos siguiendo la norma INV E 601.**

Se realizó este ensayo usando 25 g de suelo seco en el horno a una temperatura de 110°C y tamizado por el tamiz N°40, los cuales fueron depositados en recipientes plásticos y mezclados con porcentajes de cal de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 % con respecto a su peso seco, con el fin obtener un pH igual o aproximado a 12,4 siguiendo el procedimiento de la norma INV E-601-13. La cal utilizada en este procedimiento fue la cal hidratada tipo M de la marca PROMICAL (ver figura 49) la cual presenta las siguientes características físicas y químicas que cumplen con los requisitos indicados en la norma INV E 601. (Ver figura 50)

<p><b>Granulometría</b></p> <p>Máximo residuo retenido en malla 30 0.50%</p> <p>Máximo residuo retenido en malla 200 15.0%</p>
<p><b>Composición</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Oxido de Calcio y Magnesio (base no volátil) Min. 95.0%</li><li>• Oxido de Calcio y Magnesio (base volátil) Min. 71.2%</li><li>• Residuos Insolubles Max. 1.75%</li><li>• Humedad Max. 0.75%</li><li>• Dióxido de Carbono Max. 5.0%</li><li>• Retención de agua</li></ul>

Figura 49 Ficha técnica de cal Promical. Obtenido [https://docs.wixstatic.com/ugd/fa8761\\_144d4b0eee444da0a65f4fe3acd58617.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/fa8761_144d4b0eee444da0a65f4fe3acd58617.pdf)



*Figura 50.* Cal hidratada tipo M. Fuente: Autores del proyecto 2019.

A las mezclas de cal y suelo fueron agregados 100 ml de agua y posteriormente fueron agitadas durante 30 segundos, cada 10 minutos hasta completar un total de 1 hora.

Después de este proceso se procedió a tomar el valor del pH para establecer el porcentaje óptimo **ver figura 51 y 52**, se pueden apreciar los porcentajes obtenidos de cada muestra en la **tabla 10.** (Ver apéndice G).



*Figura 51. Muestra con porcentajes de cal. Fuente: Autores del proyecto 2019.*



*Figura 52. Toma de la medida del pH. Fuente: Autores del proyecto 2019*

**Tabla 10**

*Porcentaje óptimo de cal.*

<b>Ensayo Numero</b>	<b>Zona de extracción</b>	<b>% Óptimo de cal</b>
1	<b>Circunvalar</b>	8
2	<b>Limonia</b>	8
3	<b>Villa Laura</b>	10

Fuente: Autores del proyecto 2019.

Con los valores obtenidos para cada zona de estudio se determinó el porcentaje óptimo para que se genere la estabilización, la cual ocurre cuando se aplican porcentajes de cal en rangos entre el 8 y 10% como se muestra en la tabla anterior.



**4.2.1 Propiedades mecánicas del suelo estabilizado.** Obtenido el porcentaje óptimo para estabilizar los suelos estudiados, se procedió a realizar los ensayos de laboratorio presentados en la **tabla 11** con el fin de obtener sus propiedades mecánicas y de resistencia, las mezclas de suelo-cal utilizadas para los ensayos se realizaron sin tener en cuenta el porcentaje de cal útil vial (CUV).

**Tabla 11**

*Ensayos para suelo estabilizado.*

<b>Ensayo Número</b>	<b>Norma</b>	<b>Título</b>
<b>1</b>	<b>INV E-141-13</b>	Relaciones de humedad-peso unitario seco en los suelos (ensayo normal de compactación)
<b>2</b>	<b>INV E-152-13</b>	Resistencia a la compresión inconfiada de mezclas compactadas de suelo-cal.
<b>3</b>	<b>INV E-142-13</b>	Relaciones de humedad-peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación).
<b>4</b>	<b>INV E-126-13</b>	Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.
<b>5</b>	<b>INV E-148-13</b>	CBR de suelos compactados en laboratorio y sobre muestra inalterada.

Fuente: Autores del proyecto 2019.

**4.2.1.1 Relaciones de humedad-peso unitaria seca en los suelos (ensayo normal de compactación).** Se realizó el ensayo normal de compactación siguiendo el procedimiento establecido en la norma INV E-141-13, agregando el porcentaje de cal determinado anteriormente para cada muestra de suelo con el fin de obtener la humedad óptima y la densidad máxima de cada material, los resultados ensayo normal de compactación con adición de cal se puede observar en la **tabla 12**. (Ver apéndice H).

**-Preparación de la muestra:** Se obtuvo la humedad higroscópica de cada muestra, y se agregó la cantidad de cal correspondiente a su peso seco para realizar la mezcla, posteriormente se adicionó agua en las cantidades necesarias para este ensayo con un exceso del 1,5% para compensar la evaporación. (Ver figuras 53, 54 y 55).



*Figura 53.* Medición de cantidad de cal.  
Fuente: Autores del proyecto 2019.



*Figura 54.* Mezcla suelo - cal. Fuente:  
Autores del proyecto 2019.



*Figura 55.* Enrase de la muestra compactada. Fuente: Autores del proyecto 2019.

**Tabla 12**

*Resultados ensayo normal de compactación con adición de cal*

<b>Ensayo Numero</b>	<b>Zona de extracción</b>	<b>Humedad óptima %</b>	<b>Densidad máxima seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	<b>Circunvalar</b>	15,45	1,766
<b>2</b>	<b>Limonia</b>	22,23	1,493
<b>3</b>	<b>Villa Laura</b>	15,56	1,732

Fuente: Autores del proyecto 2019.

Se puede observar en la **figura 56** el resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de normal de compactación.

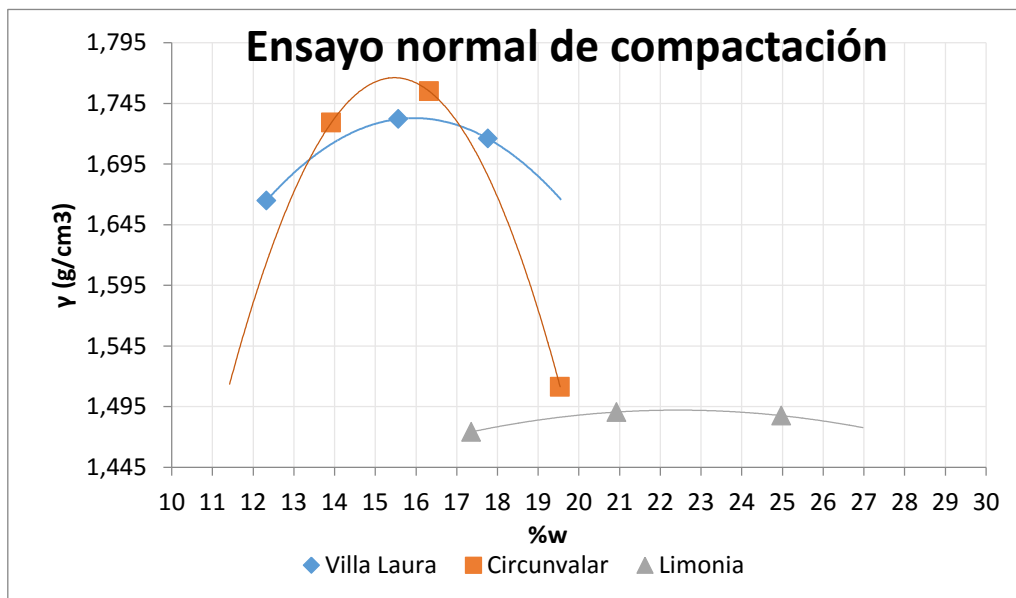


Figura 56. Resumen del ensayo normal de compactación. Fuente: Autores del proyecto 2019.

#### 4.2.1.2 Resistencia a la compresión inconfiada de mezclas compactadas de suelo-cal.

Utilizando la humedad óptima y la densidad máxima obtenidas en el anterior ensayo se procedió a preparar las muestras de suelo mezclándolas con estas cantidades, y fabricar probetas que permitieran determinar la resistencia a la compresión para periodos de curado de 7 y 28 días, para cada tiempo de curado se fabricaron dos probetas y se obtiene de estas un resultado promedio de la compresión como se pueden apreciar en las **tablas 15 y 16. (Ver apéndice I).**

**-Preparación de la muestra:** Cada muestra fue mezclada con la cantidad de cal y agua correspondientes para realizar las mezclas. Se fabricaron probetas en el molde de 4" especificado en la norma INV E-141-13, debido a que no se contaba con los materiales y equipos mencionados en la norma para el curado de las probetas, se utilizó el proceso descrito según (Gómez & Guillin, 2015, p.65), el cual consistió en someter cada probeta a un proceso de curado

envolviéndolas en papel periódico humedecido y selladas en bolsas herméticas hasta completar su periodo de curado para ser ensayadas. (Ver figuras 57, 58, 59 y 60).



*Figura 57.* Extracción de probetas. Fuente: Autores del proyecto 2019



*Figura 58.* Envoltura de probetas en papel periódico. Fuente: autores del proyecto 2019.



*Figura 59.* Curado de probetas. Fuente: Autores de proyecto 2019.



*Figura 60.* Falla de la probeta. Fuente: Autores del proyecto 2019.

**Tabla 13***Probetas realizadas para 7 días de curado.*

<b>Ensayo Numero</b>	<b>Zona de extracción</b>	<b>Fecha de montaje</b>	<b>Fecha de ensayo</b>
<b>1</b>	<b>Circunvalar</b>	15/05/2019	22/05/2019
<b>2</b>	<b>Limonia</b>	15/05/2019	22/05/2019
<b>3</b>	<b>Villa Laura</b>	06/05/2019	13/05/2019

*Fuente:* Autores del proyecto 2019.**Tabla 14***Probetas realizadas para 28 días de curado.*

<b>Ensayo Numero</b>	<b>Zona de extracción</b>	<b>Fecha de montaje</b>	<b>Fecha de ensayo</b>
<b>1</b>	<b>Circunvalar</b>	15/05/2019	12/06/2019
<b>2</b>	<b>Limonia</b>	15/05/2019	12/06/2019
<b>3</b>	<b>Villa Laura</b>	06/05/2019	03/05/2019

*Fuente:* Autores del proyecto 2019.

**Tabla 15***Resultados compresión inconfiada 7 días.*

<b>Ensayo numero</b>	<b>Zona de extracción</b>	<b>Descripción</b>	<b>Resistencia a la compresión inconfiada (kPa)</b>
<b>1</b>	<b>Circunvalar</b>	Material arenoso, con limoso color naranja	509,552
<b>2</b>	<b>Limonia</b>	Material areno limoso, color marrón naranja	423,579
<b>3</b>	<b>Villa Laura</b>	Material areno arcilloso color marrón amarillo.	308,646

*Fuente:* Autores del proyecto 2019.**Tabla 16***Resultados compresión inconfiada 28 días.*

<b>Ensayo numero</b>	<b>Zona de extracción</b>	<b>Descripción</b>	<b>Resistencia a la compresión inconfiada (kPa)</b>
<b>1</b>	<b>Circunvalar</b>	Material arenoso, con limoso color naranja	720,275
<b>2</b>	<b>Limonia</b>	Material areno limoso, color marrón naranja	664,937
<b>3</b>	<b>Villa Laura</b>	Material areno arcilloso color marrón amarillo.	590,490

*Fuente:* Autores del proyecto 2019.

**4.2.1.3 Relaciones de humedad-peso unitaria seca en los suelos (ensayo modificado de compactación).** Se realizó el ensayo modificado de compactación adicionando el porcentaje de cal correspondiente a cada muestra de suelo para realizar las mezclas y hallar el contenido óptimo de humedad y máxima densidad seca siguiendo la norma INV E-142-13. Los resultados ensayo normal de compactación con adición de cal como se puede observare en la **tabla 17**. (Ver **apéndice J**).

**-Preparación de la muestra:** las mezclas fueron realizadas añadiendo el porcentaje de cal correspondiente al peso seco de la muestra, y añadiendo agua con incrementos de 3% para obtener los puntos correspondientes a la gráfica de humedad vs densidad seca.

**Tabla 17**

*Resultados ensayo normal de compactación con adición de cal.*

<b>Ensayo Numero</b>	<b>Zona de extracción</b>	<b>Humedad óptima%</b>	<b>Densidad máxima seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	<b>Circunvalar</b>	10,53	1,875
<b>2</b>	<b>Limonía</b>	18,71	1,699
<b>3</b>	<b>Villa Laura</b>	13,34	1,849

*Fuente:* Autores del proyecto 2019.

Se observa en la **figura 61** el resumen de los valores obtenidos es este ensayo.



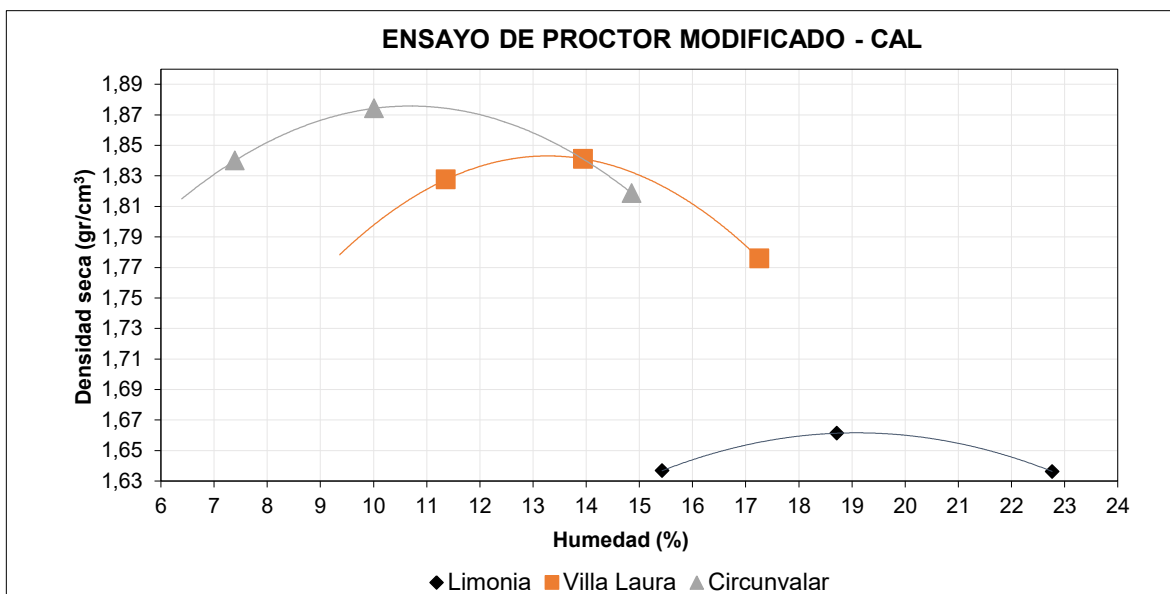


Figura 61. Resumen de resultados de ensayo de compactación modificado

**4.2.1.4 Límites de Atterberg.** Se calcularon el límite líquido e índice plástico de los suelos estabilizados con su porcentaje correspondiente de cal para su estabilización. (Ver apéndice K).

**-Preparación de la muestra:** Se obtuvieron 150g de suelo seco al aire libre, al cual se le agregó el porcentaje de cal correspondiente para cada uno de ellos y se realizó la mezcla de estos materiales (ver figura 62, 63, 64 y 65), posteriormente se adicionó agua de manera gradual para establecer los valores de límite líquido, y la realización del límite plástico. A continuación, se muestran en la **tabla 18** los resultados obtenidos.



Figura 62. Peso de cal hidratada.  
Fuente: Autores del proyecto 2019



Figura 63. Mezcla suelo – cal. Fuente:  
Autores del proyecto 2019.

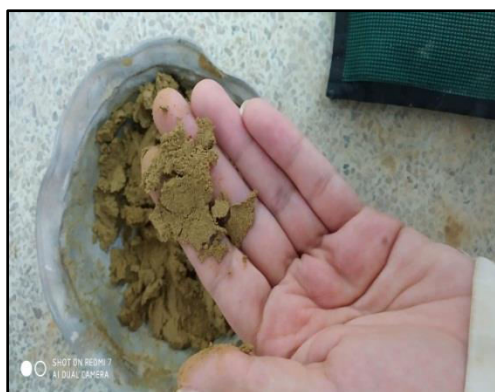


Figura 65. Muestras representativas secas  
al horno. Fuente: Autores del proyecto  
2019.



Figura 64. Muestra no plástica. Fuente:  
Autores del proyecto 2019.

**Tabla 18**

*Resultados Límites de Atterberg.*

Ensayo Numero	Zona de extracción	%L.L	%L.P	I.P
1	Circunvalar	30,63	27,86	2,78
2	Limonía	No practicable	No practicable	NP
3	Villa Laura	No practicable	No practicable	NP

Fuente: Autores del proyecto 2019.

Como puede observarse en la anterior tabla, no fue posible determinar los valores de los límites de Atterberg con adición de cal para los sectores de Limonia y Villa Laura, debido a que unos de los efectos que genera la adición de este estabilizante es la reducción de la plasticidad en los materiales.

**4.2.1.5 CBR de suelos compactados en laboratorio.** Se realizó el ensayo de CBR de los suelos preparando las probetas con los porcentajes de humedad óptima y densidad máxima obtenidos en el ensayo modificado de compactación, y siguiendo lo establecido en la norma INV E-148-13. (Ver apéndice L)

**-Preparación de la muestra:** para realizar la mezcla se adicionó cal hidratada a la muestra de suelo en su porcentaje correspondiente con respecto a su peso seco, de igual forma se prepararon tres moldes para CBR compactados con 10, 25 y 56 golpes para alcanzar el 95% de compactación, los moldes fueron sumergidos por un periodo de 4 días, y fueron fallados en la maquina multiusos como se puede observar en la **tabla 19**.

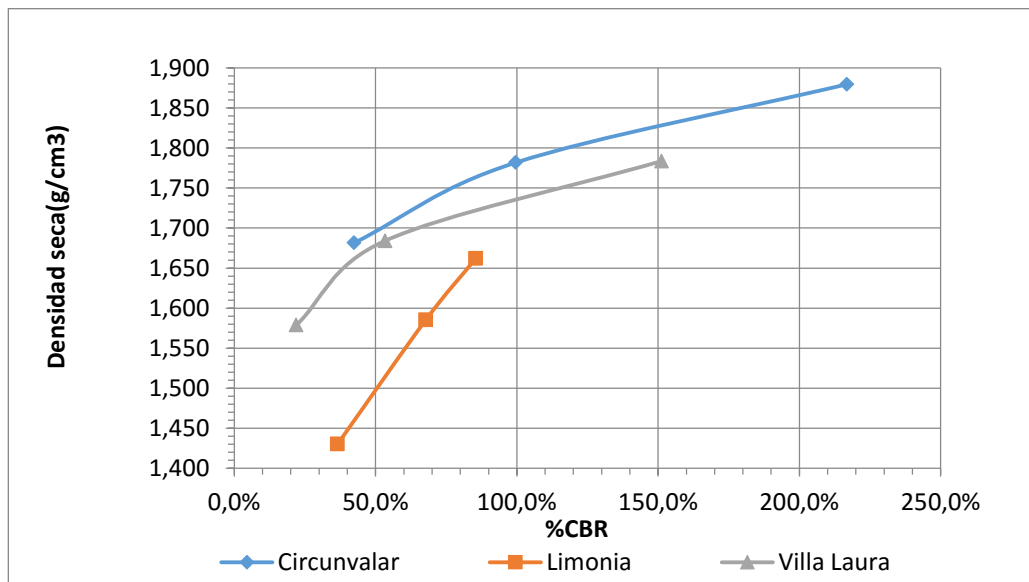
**Tabla 19**

*Resultados CBR.*

Ensayo Numero	Zona de extracción	Humedad óptima (%)	Densidad máx.(g/cm <sup>3</sup> )	CBR 95%
1	Circunvalar	10,53	1,875	100%
2	Limonia	18,71	1,661	64%
3	Villa Laura	13,34	1,849	120%

*Fuente:* Autores del proyecto 2019.

A continuación se muestran en la **figura 66** los un resumen de los resultados obtenidos.



*Figura 66.* Resumen de los resultados obtenidos en el ensayo CBR (%CBR vs Densidad seca). Fuente: Autores 2019

#### 4.3 Comparativo de los diferentes tipos de material y sus características.

Los materiales escogidos para realizar el proceso de estabilización adicionando cal difieren en sus características físicas y mecánicas, por tal razón su reacción al adicionar este estabilizante fue diferente en cada uno de ellos, a continuación, se presentan en las **figura 67, 68 y 69** un cuadro comparativo que muestra los materiales de estudio y las características obtenidas después de su estabilización.

Zona de extracción (Circunvalar)		
Estado natural		Estado estabilizado
<b>Límites de Atterberg</b>		
Limite Líquido: 35.08%		Limite Líquido: 30.63
Limite plástico: 28.99%		Limite plástico: 27.86
IP: 6.09		IP: 2.78
<b>Ensayo Modificado de compactación</b>		
Humedad óptima: 9,51%		Humedad óptima: 10,53%
Densidad máx.: 1,967		Densidad máx.: 1,875
<b>Compresión simple</b>		
	<b>7 Días</b>	<b>28 Días</b>
377,491kPa	509.552 kPa	720.275 kPa
<b>CBR (95% de compactación)</b>		
36,00%	100%	

Figura 67. Comparativo Zona de extracción Circunvalar. Fuente: Autores 2019

Se observa en la **figura 67** los cambios entre los valores obtenidos en los ensayos realizados al material de sector de la Circunvalar en su estado natural y estabilizado, para el cual se tiene entonces una disminución para los límites de Atterberg, en cuanto al ensayo de compactación se observa que en condición estabilizada hay un aumento de la humedad óptima, esto causado por absorción de agua debido a la adición de la cal hidratada, de igual manera el valor de la densidad máxima disminuye con respecto al obtenido en condición natural.

De igual manera se aprecia en la tabla que la resistencia a la compresión de este material en condición estabilizada aumenta en el transcurso del tiempo, pues se observa que en 28 días

aumentó más del doble en comparación con el valor obtenido en condición natural, en cuanto el valor del CBR para el 95% de compactación aumenta de un 36,00% hasta 100%.

Zona de extracción (Limonia)		
Estado natural	Estado estabilizado	
<b>Límites de Atterberg</b>		
Limite Líquido: 32.82%	Limite Líquido: -	
Limite plástico: 24.58%	Limite plástico: -	
IP: 8,24	IP: NP	
<b>Ensayo Modificado de compactación</b>		
Humedad óptima: 17,91%	Humedad óptima: 18,71 %	
Densidad máx.: 1,729	Densidad máx.: 1,661	
<b>Compresión simple</b>		
	<b>7 Días</b>	<b>28 Días</b>
280,272kPa	423.579 kPa	664.937 kPa
<b>CBR (95% de compactación)</b>		
1,8%	64%	

*Figura 68.* Comparativo Zona de extracción Limonia. Fuente: Autores 2019

Se puede observar en la **figura 68** que el límite líquido y plástico se reducen en condición estabilizada hasta el punto de eliminar por completo la plasticidad del material, de igual forma se observa que en el ensayo de compactación modificado el porcentaje de humedad óptima aumenta y se reduce la densidad máxima, en cuanto al valor de compresión simple se observa que el valor obtenido en condición natural (280,272 kPa) aumenta con el transcurso del tiempo ya que en un periodo de tiempo de 7 días el valor aumenta hasta 423,579 kPa y para un periodo de 28 días la resistencia es de 664,937 kPa.

El valor obtenido para el 95% de compactación aumenta en condición estabilizada aumenta favorablemente hasta obtener un porcentaje de 64% cumpliendo con el requisito presentado en la norma INVIAS para afirmados.

Zona de extracción (Villa Laura)		
Estado natural	Estado estabilizado	
<b>Límites de Atterberg</b>		
Limite Líquido: 32.69 %	Limite Líquido: -	
Limite plástico: 25.41 %	Limite plástico: -	
IP: 7.28	IP: NP	
<b>Ensayo Modificado de compactación</b>		
Humedad óptima: 12,66 %	Humedad óptima: 13,34%	
Densidad máx.: 1,948	Densidad máx.: 1,849	
<b>Compresión simple</b>		
	<b>7 Días</b>	<b>28 Días</b>
312,763kPa	308.646 kPa	590.490 kPa
<b>CBR (95% de compactación)</b>		
21,00%	120 %	

Figura 69. Comparativo Zona de extracción Villa Laura. Fuente: Autores 2019

En la **figura 69** se observa la disminución de los límites de Atterberg al realizar la estabilización con adición de cal hidratada, pues se redujo la plasticidad del material a tal punto de no ser posible la realización de dichos ensayos, de igual forma que en las zonas de extracción anteriores en el ensayo de compactación modificado se aumenta el porcentaje óptimo de humedad y se disminuye la densidad seca máxima del material debido a las reacciones físico-químicas de la cal hidratada con las partículas de arcilla del material que producen una

estructura floculada más porosa y de menor densidad, en cuanto al ensayo de compresión simple se observa que el material disminuye su resistencia en condición estabilizada para un periodo de 7 días, esto puede deberse a la influencia de la reducción de la plasticidad sin embargo para el periodo de 28 días la resistencia a la compresión aumenta.

Para el ensayo de CBR se obtiene un aumento significativo en condición estabilizada con el cual se comprueba que el agente estabilizante es efectivo para aumentar la capacidad de los suelos estudiados.

Según las comparaciones realizadas anteriormente , se concluye que el material que brinda las mejores características para ser estabilizado es el tomado del sector de la Circunvalar, ya que, al ser estabilizado, sus límites líquido y plástico siguen brindando cohesión entre las partículas, y esto reduciría la pérdida de material a la hora de estar en contacto con el tránsito, también fue el material con mayor valor de resistencia a la compresión simple, en cuanto a la granulometría se ajusta de mejor forma con respecto a las requeridas en la norma y uno de los materiales con mayor valor de CBR.

#### **4.4 Variación de las propiedades mecánicas del material sin estabilizante y el material estabilizado para cada zona de extracción.**

A continuación, se presentan los resultados de la variación de las propiedades de cada muestra estudiada en su estado natural y con la aplicación de cal hidratada.



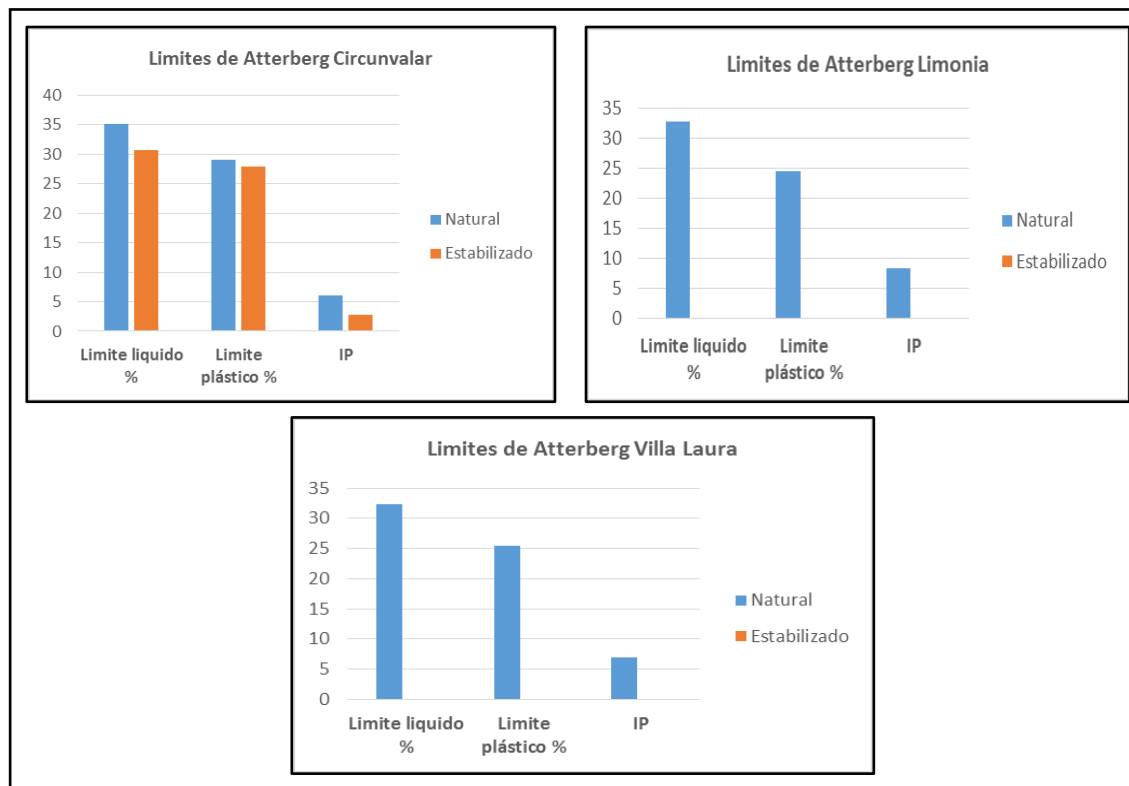
**4.4.1. Límites de Atterberg.** Se presenta a continuación (Ver tabla 20 y Figura 70) los resultados obtenidos para el límite líquido, plástico e índice de plasticidad en estado natural y su resultado al aplicar cal hidratada con su porcentaje correspondiente.

**Tabla 20**

*Resultados de los límites de Atterberg.*

Zona de extracción	Condición natural			Condición estabilizada		
	Límite líquido %	Límite plástico %	Índice de plasticidad	Límite líquido %	Límite plástico %	Índice de plasticidad
<b>Circunvalar</b>	35,08	28,99	6,09	30,63	27,86	2,78
<b>Limonia</b>	32,82	24,58	8,24	-	-	NP
<b>Villa Laura</b>	32,38	25,41	6,97	-	-	NP

*Fuente:* Autores del proyecto 2019.



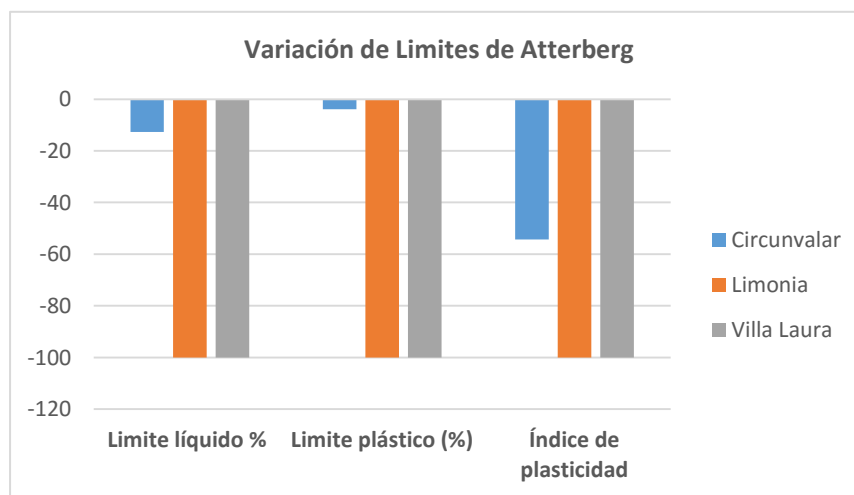
*Figura 70.* Resultados Límites de Atterberg. Fuente: Autores 2019

**Tabla 21**

*Variación porcentual en condición natural y estabilizada con cal.*

Zonas de extracción	Circunvalar	Limonia	Villa Laura
<b>Limite líquido %</b>	-12,68	-100	-100
<b>Limite plástico (%)</b>	-3,90	-100	-100
<b>Índice de plasticidad</b>	-54,35	-100	-100

*Fuente:* Autores del proyecto 2019.



*Figura 71.* Variación de Límites de Atterberg. Fuente: Autores 2019

En la **tabla 21** y la **figura 71** se muestra la variación porcentual de los resultados obtenidos en los ensayos, tomando como referencia el valor de la muestra en estado natural, por lo tanto, se observa que el valor del Limite líquido, limite plástico e índice plasticidad disminuyen en un 12,68 %, 3,90 % y 54,35 % respectivamente.

La variación porcentual de las zonas de extracción Limonia y Villa Laura no se puede determinar, debido los valores de límite líquido y límite plástico no se pudieron establecer para el estado estabilizado.

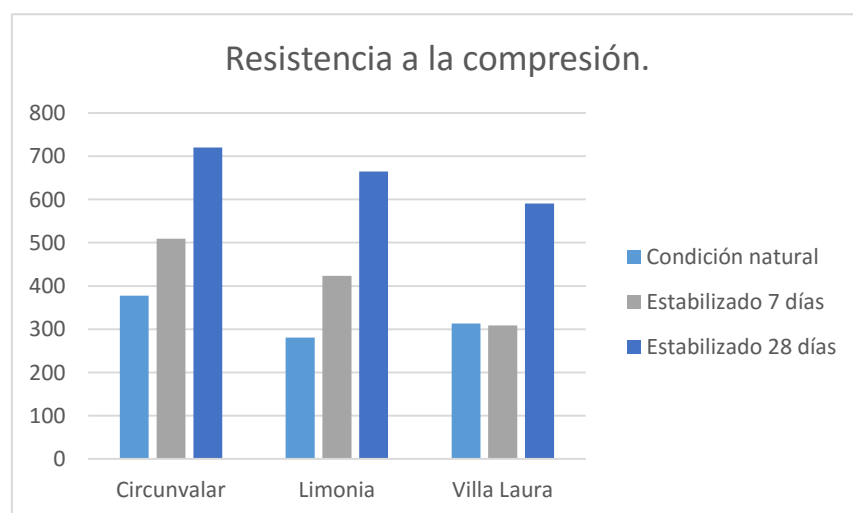
**4.4.2 Compresión inconfínada.** A continuación, son presentados en la tabla 22 y la figura 72 los valores obtenidos para la compresión inconfínada al realizar las mezclas suelo cal con un tiempo de curado de 7 y 28 días.

**Tabla 22**

*Resultados de resistencia a la compresión inconfínada (7 y 28 días)*

<b>Zona de extracción</b>	<b>Resistencia a la compresión (kPa) (Condición Natural)</b>	<b>Resistencia a la compresión (kPa) (Estabilizado 7 días)</b>	<b>Resistencia a la compresión (kPa) (Estabilizado 28 días)</b>
<b>Circunvalar</b>	377,491	509,552	720,275
<b>Limonia</b>	280,272	423,579	664,937
<b>Villa Laura</b>	312,763	308,646	590,490

*Fuente:* Autores del proyecto 2019.



*Figura 72.* Resistencia a la compresión simple. Fuente: Autores 2019

Se observan en la **tabla 23** y la **figura 73** la variación porcentual de los resultados obtenidos tomando como valor de comparación el resultado obtenido en el estado natural, de lo cual se deduce que para el tiempo de curado de 7 días en el sector de la Circunvalar y Limonia hay un aumento de 34,98 y 51,13% respectivamente, caso contrario ocurre con el sector de Villa Laura en cual tiene una disminución del 1,32%.

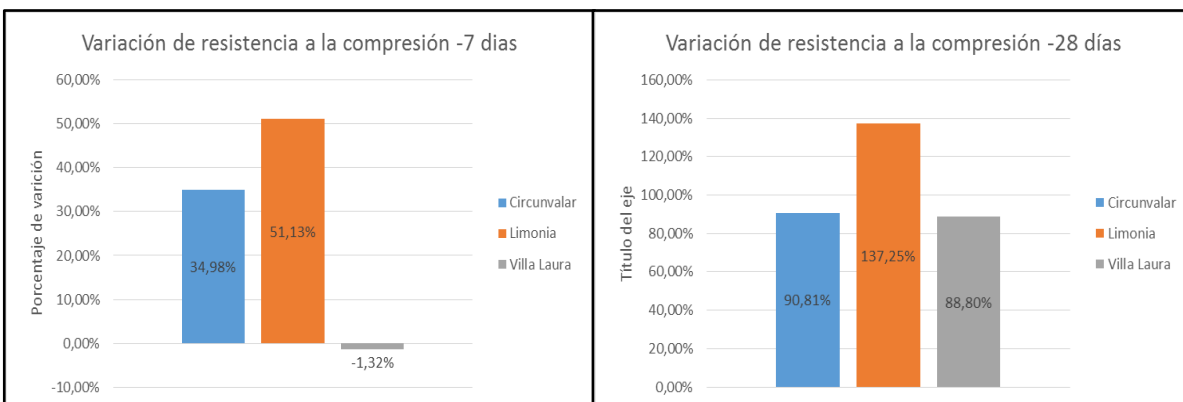
Para el tiempo de curado de 28 días para los sectores de la Circunvalar, Limonia y Villa Laura se obtuvo un aumento de la resistencia a la compresión de 90,81, 137,25 y 88,80% respectivamente.

**Tabla 23**

*Variación porcentual de los resultados del ensayo de compresión inconfiada*

<b>Zona de extracción</b>	<b>Resistencia a la compresión (kPa) (Estabilizado 7 días)</b>	<b>Resistencia a la compresión (kPa) (Estabilizado 28 días)</b>
<b>Circunvalar</b>	34,98%	90,81%
<b>Limonia</b>	51,13%	137,25%
<b>Villa Laura</b>	-1,32%	88,80%

*Fuente:* Autores del proyecto 2019.



**Figura 73.** Variación de la resistencia a la compresión para 7 y 28 días. Fuente: Autores 2019

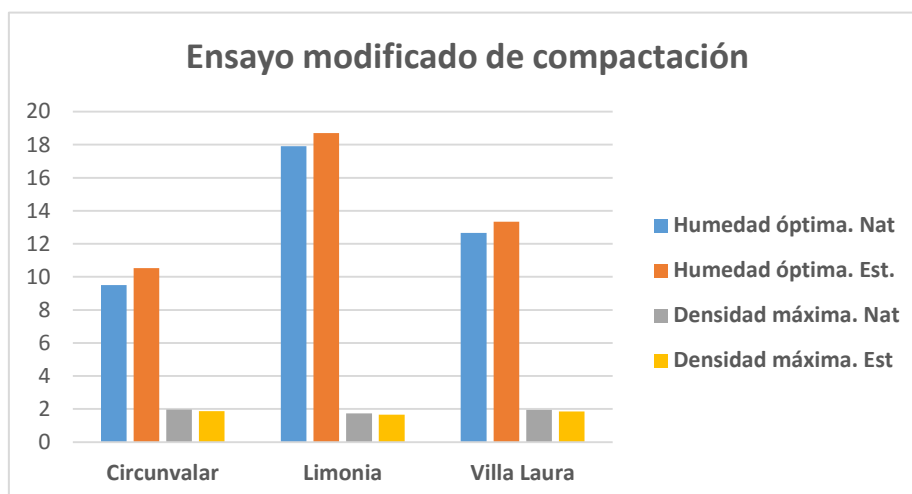
**4.4.3 Relaciones de humedad – peso unitario seco en los suelos (Ensayo modificado de compactación).** En la **tabla 24** y la **figura 74** se muestran los resultados obtenidos para el ensayo de compactación de las diferentes muestras, en su estado natural y estabilizado.

**Tabla 24**

*Humedad óptima y densidad máxima*

Zona de extracción	Condición Natural		Estabilizado	
	Humedad óptima %	Densidad máxima seca (g/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima %	Densidad máxima seca (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Circunvalar</b>	9,51	1,967	10,53	1,875
<b>Limonia</b>	17,91	1,729	18,71	1,661
<b>Villa Laura</b>	12,66	1,948	13,34	1,849

Fuente: Autores del proyecto 2019.



*Figura 74.* Ensayo modificado de compactación. Fuente: Autores 2019

Se observa en la **tabla 25** y la **figura 75** la variación porcentual de la humedad óptima y la densidad máxima de cada muestra tomando como referencia el valor obtenido en condición natural, de la cual se puede concluir que la humedad óptima aumenta para los sectores de la Circunvalar, Limonia y Villa Laura en porcentajes de %10,726, %4,467 y %4,265 respectivamente.

De igual forma se observa la variación de la densidad la cual disminuye para los sectores de la Circunvalar, Limonia y Villa Laura en porcentajes de %4,677, %3,933 y %5,390 respectivamente.

**Tabla 25**

*Variación porcentual de la humedad óptima y densidad máxima*

Zonas de extracción	Humedad optima %	Densidad máxima seca %
Circunvalar	10,726	-4,677
Limonia	4,467	-3,933
Villa Laura	4,265	-5,390

*Fuente: Autores de proyecto 2019.*

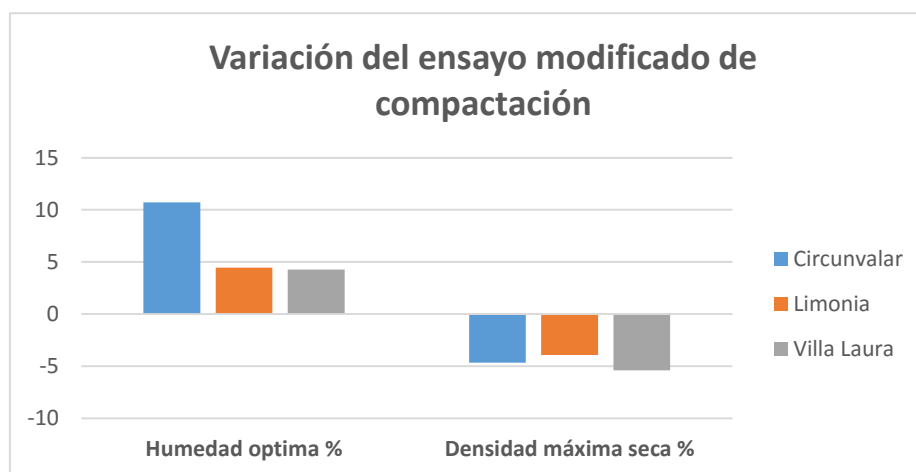


Figura 75. Variación del ensayo modificado de compactación. Fuente: Autores 2019

**4.4.4 CBR de suelos compactados en laboratorio.** En la **tabla 26** y la **figura 76** se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de CBR realizados a cada una de las muestras, es su estado natural y estabilizado con cal hidratada.

**Tabla 26**

*Resultados de ensayo CBR.*

Zona de extracción	Condición Natural CBR 95%	Estabilizado CBR 95%
Circunvalar	36,00	100,0
Limonia	1,80	64,0
Villa Laura	21,0	120,0

Fuente: Autores del proyecto 2019.

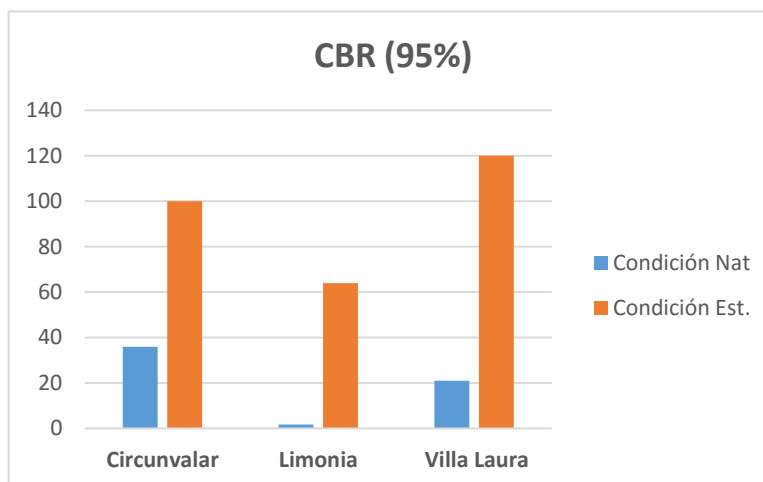


Figura 76. CBR (95%). Fuente: Autores 2019

En la **tabla 27** y la **figura 77** se observa la variación de los resultados obtenidos tomando como valor de referencia el obtenido en condición natural, en los cuales se obtuvo un aumento del CBR para el 95 % de compactación en los sectores de la Circunvalar, Limonia y Villa Laura de 177,78 %, 3455,56 % y 471,43 % respectivamente.

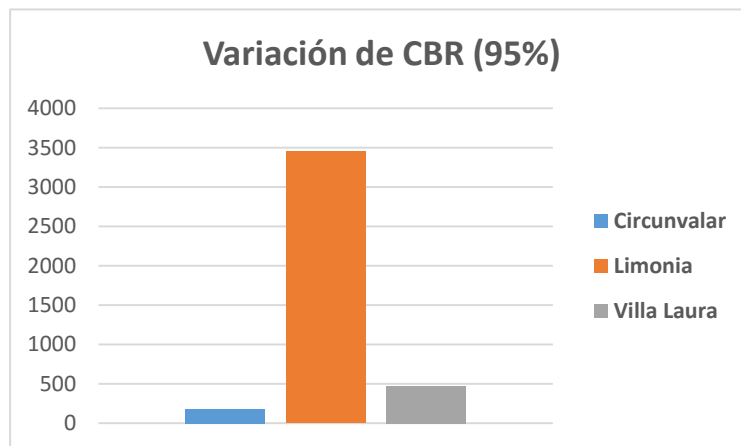
**Tabla 27**

*Variación de los resultados obtenidos de CBR*

Zona de extracción	CBR 95%
Circunvalar	177,78
Limonia	3455,56*
Villa Laura	471,43

Nota: Se puede observar una un valor elevado de porcentaje de variación para el sector de Limonia, debido al bajo índice de CBR que éste material presentó en condición natural. Fuente: Autores del proyecto 2019.





*Figura 77.* Variación de CBR (95%). Fuente: Autores 2019

## 5. Conclusiones

Según la clasificación de suelos obtenida para cada zona de extracción se observa, que en estas predominan los materiales de tipo arenoso por ello es posible deducir que el material encontrado en las mismas no es el más adecuado para realizar el proceso de estabilización con cal hidratada, ya que contienen bajos porcentajes de arcilla lo cual afecta directamente en la plasticidad mínima que debe cumplirse para su uso como materiales de afirmado. Se debe optar por usar otros métodos de estabilización que se adecuen a las características de cada material.

Observando los resultados obtenidos en el ensayo de CBR en condición natural para las zonas de Circunvalar y Villa Laura se deduce que estos son materiales aptos para resistir las cargas del tráfico ya que se obtuvieron porcentajes que se encuentran por encima del mínimo establecido en la norma INVIAS para ser usados como materiales de afirmado en vías terciarias.

Se llevó a cabo el ensayo de pH para determinar el porcentaje que permitiera estabilizar cada muestra de suelo con cal hidratada para el cual se obtuvieron valores para los sectores de Circunvalar, Limonia y Villa Laura de (8%, 8% y 10%), estos valores fueron establecidos observando el comportamiento de las gráficas obtenidas, tomando como porcentaje óptimo para estabilizar el material, el mínimo porcentaje en el cual el valor de pH mantiene un comportamiento estable y su valor es cercano a 12,4. En las mezclas realizadas de suelo-cal no se tuvo en cuenta el CUV (Cal Útil Vial).

Dadas las condiciones y características para el uso de materiales como afirmado, el Sector de Circunvalar fue el que mejor se adaptó a estos requisitos tanto en condición natural como

estabilizada. El sector de Limonia por ser el material que presenta mayor contenido de arcilla es el que mejor reacciona a la adición de cal hidratada esto se ve reflejado en el aumento considerable de sus características mecánicas.

## 6. Recomendaciones

Se recomienda realizar un diseño de mezclas a las diferentes zonas de extracción que permita ajustar la granulometría a las franjas establecidas en el artículo 311-13 para afirmados, y a su vez mejorar la reacción obtenida al estabilizar el material con cal hidratada.

Es de vital importancia tener cuidado para la realización de los diferentes ensayos de laboratorio, uno de ellos es el ensayo de pH de los suelos, en el momento de tomar las respectivas lecturas, por lo cual, se debe calibrar el equipo a utilizar, además, de tener en cuenta la temperatura de la mezcla de suelo – cal hidratada para evitar la variación drástica de los resultados obtenidos de cada muestra. A su vez en los ensayos de proctor y CBR se debe ser cuidadoso al momento de realizar la mezcla suelo – cal y la adición del debido porcentaje de agua para la compactación, pues esto afectaría sensiblemente los resultados obtenidos.

## Referencias

- Aguiar, J.P., Ulloa, A., Ávila, T., & Loría, L.G. (2017). *Guía para la selección de agentes estabilizadores para suelos y materiales granulares* (Proyecto de Investigación). Universidad de Costa Rica, San José. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1533/LM-PI-UMP-055R1%20Gu%c3%ada%20para%20la%20selecci%c3%b3n%20de%20agentes%20estabilizadores.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alcaldía municipal de Ocaña. (30 de junio de 2016). Decreto [156] Por el cual se adopta el plan de desarrollo “Es la hora de Ocaña”2016-2019”. Recuperado de [http://ocananortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/ocananortedesantander/content/files/000108/5376\\_plandedesarrolloeslahoradeocaa20162019.pdf](http://ocananortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/ocananortedesantander/content/files/000108/5376_plandedesarrolloeslahoradeocaa20162019.pdf)
- Cabana, M. A. (2017). *Mejoramiento de la relación de soporte (CBR) al adicionar el estabilizante químico cal a la sub-rasante de la carretera no pavimentada de bajo tránsito Paria-Wilcahuain, Huaraz, 2017*. (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo. Huaraz. Perú. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/13375?show=full>
- De Solminihaç, H., Echeverría, G., & Thenoux, G. (1989). Estabilización Química de Suelos: Aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos. *Revista Ingeniería de construcción*, volumen (6), 53-78. Obtenido de <https://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/323/267>

Del total de la red terciaria con la que cuenta Colombia, 96% está en mal estado. (15 de febrero de 2019). *La república*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/infraestructura/del-total-de-la-red-vial-terciaria-con-la-que-cuenta-colombia-96-esta-en-mal-estado-2828335>

Duque, G., & Escobar, C. E. (2016). Origen Formación y Constitución del suelo, Fisicoquímica de las arcillas. En Duque, G., & Escobar, C. E, *Geomecánica* (11-28). Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/53252/85/introduccion.pdf>

Gómez, L.E., & Guillin, W.F. (2015). *Determinación de la variación de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos compresibles en condición natural y estabilizada con cementantes*. (Tesis de pregrado). Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña.

Huezo, H. M., & Orellana, A. C. (2009). *Guia básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en el salvador*. (Tesis de pregrado). Universidad del Salvador. Ciudad universitaria. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/196386351/Guia-basica-para-estabilizacion-de-suelos-de-cal-en-caminos-de-baja-intensidad-vehicular-en-El-Salvador>

Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2008). *Manual de diseño geométrico de carreteras*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/985-manual-de-diseno-geometrico/file>

Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2012). Sección 100-Suelos. I.N.V.E – 152 Compresión inconfinaada en muestras de suelos. *Normas de ensayo de materiales para carreteras*. Recuperado de <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139->

documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras

Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2012). Sección 100-Suelos. I.N.V.E – 148 CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada. *Normas de ensayo de materiales para carreteras*. Recuperado de <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>

Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2012). Sección 200. I.N.V.E – 218. Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½”) por medio de la máquina de los Ángeles. *Normas de ensayo de materiales para carreteras*. Recuperado de <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>

Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2012). Sección 600. I.N.V.E – 601. Estimación de la proporción de cal necesaria para estabilizar un suelo a partir de la medida del pH. *Normas de ensayo de materiales para carreteras*. Recuperado de <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>

Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2012). *Capítulo 3\_1. Especificaciones generales de construcción de carreteras*. Obtenido de

<https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>

Montejo, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para carreteras*. Obtenido de

<https://es.slideshare.net/carlonchosuicida/alfonso-montejo-fonseca-ingenieria-de-pavimentos>

M, D. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Obtenido de

[https://www.scribd.com/document\\_downloads/direct/59248036?extension=pdf&ft=1544115840&lt=1544119450&user\\_id=243169625&uahk=1DaEYN6atCMc-5e43oln-SA6\\_rg](https://www.scribd.com/document_downloads/direct/59248036?extension=pdf&ft=1544115840&lt=1544119450&user_id=243169625&uahk=1DaEYN6atCMc-5e43oln-SA6_rg)

Orobio, A. (2011). Consideraciones para el diseño y construcción de vías en afirmado

estabilizadas con cloruro de calcio. *DYNA*, volumen 78(165), 93-100. Obtenido de

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25643/39141>

Parra, M.G. (2018). *Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante*. (Tesis de

pregrado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C. Obtenido de

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22856/1/TRABAJO%20DE%20GRADO%20MANUEL%20GERARDO%20PARRA%20GOMEZ%20505587.pdf>

Sánchez, F. (2009). Escuela Colombiana de Ingeniería. Curso Diseño de Pavimentos.

Recuperado de [http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina\\_via/modulos/modulos.html](http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/modulos.html)

Silvestre, J.M. (2018). *Análisis Comparativo de los efectos del Agua de Mar y de Cal en la*

*Estabilización de Suelos Arcillosos en Calles que conforman el Barrio 2 de Noviembre de*



*la Comuna Engabao perteneciente al Cantón Playas Provincia del Guayas.* (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/29329>

Solo 25 por ciento de vías terciarias del país están en buen estado. (30 de Mayo de 2017). *El Tiempo*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/vias-terciarias-de-colombia-en-mal-estado-93430>

# Apéndices

### Apéndices A. Analisis granulometrico por hidrometro. Muestra Limonia.

ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR HIDROMETRO												
SECTOR :		Aguas Claras										
LOCALIZACIÓN :		Limonia					MUESTRA No. :			1		
NORMA		INV E 123 - 13			DESCRIPCIÓN : Material areno limoso color marrón naranja							
HIDROMETRO		152 H			Gs de los solidos		2.6		a:		1.01	
AGENTE DISPERSANTE		Hexametafosfato de sodio			Cantidad:		125.ml		WE:		116.45	
CORRECCION DE CERO		3			Correccion de menisco		1		Ws:		62.47	
FECHA	HORA	TEMPO	TEMP.	LECT. REAL	CORRECCION.	LECTURA	%	HID. CORR.	L.	L/T	K	D
	LECTURA	MIN.	°C	HIDRO.	TEMP.	RC.CORR.	MAS FINO	MENISCO	TABLA		TABLA	mm
17/06/2019	07:32	2	21	20,0	0,20	17,20	14,92	18	13,30	6,65000	0,01414	0,03646
	07:33	3	21	18,0	0,20	15,20	13,18	16	13,70	4,56667	0,01414	0,03022
	07:38	8	21	17,0	0,20	14,20	12,32	15	13,80	1,72500	0,01414	0,01857
	07:45	15	21	15,0	0,20	12,20	10,58	13	14,20	0,94667	0,01414	0,01376
	08:00	30	21	13,0	0,20	10,20	8,85	11	14,50	0,48333	0,01414	0,00983
	08:30	60	21	12,0	0,20	9,20	7,98	10	14,70	0,24500	0,01414	0,00700
	09:30	120	21	10,0	0,20	7,20	6,24	8	15,00	0,12500	0,01414	0,00500
	11:40	250	21	10,0	0,20	7,20	6,24	8	15,00	0,06000	0,01414	0,00346
	16:40	550	21	8,0	0,20	5,20	4,51	6	15,30	0,02782	0,01414	0,00236
18/06/2019	07:30	1440	22	7,0	0,40	4,40	3,82	5	15,50	0,01076	0,01397	0,00145
	15:30	1920	22	6,0	0,40	3,40	2,95	4	15,60	0,00813	0,01397	0,00126
19/06/2019	07:30	2880	22	6,0	0,40	3,40	2,95	4	15,60	0,00542	0,01397	0,00103
20/06/2019	15:30	4320	22	6,0	0,40	3,40	2,95	4	15,60	0,00361	0,01397	0,00084
RC= R real-correccion cero + ct      % mas fino= Rc*(a)/Ws      D=K √ L/T												



Universidad Francisco de Paula Santander  
Ocaña - Colombia  
Vigilada Mineducación

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA

LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS

Análisis Mecánico por Tamizado

Ubicación(Km)  
Fecha

Limonia  
04/04/2019

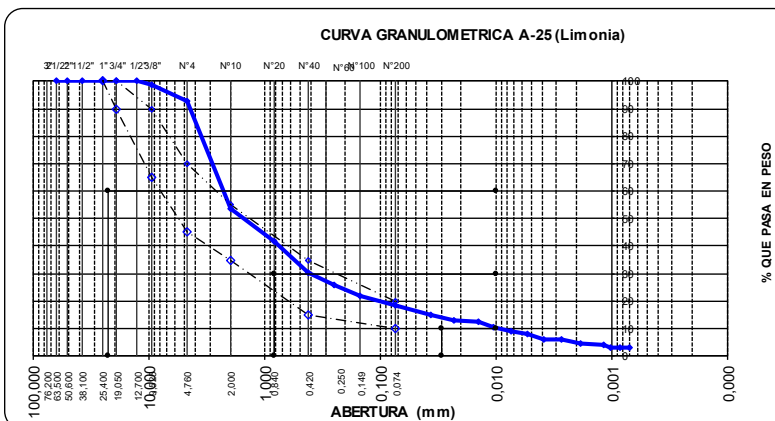
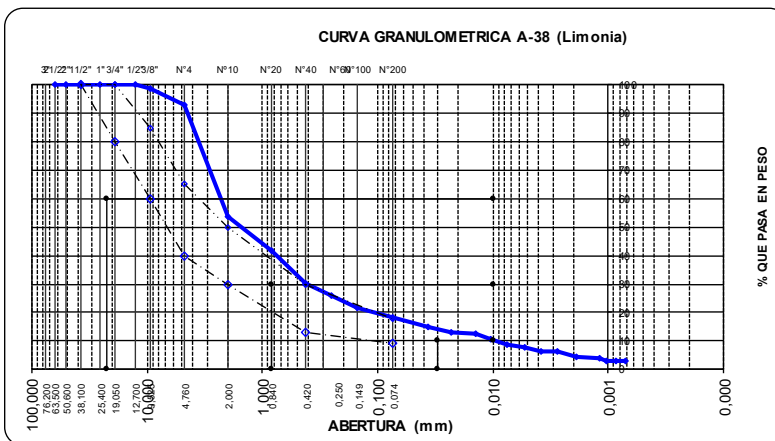
Datos de Ensayo

Peso de la muestra: 1208,02 gr

Tamices	Abertura en mm.	% que Pasa
ASTM		
3"	76,200	100,0
2 1/2"	63,500	100,0
2"	50,800	100,0
1 1/2"	38,100	100,0
1"	25,400	100,0
3/4"	19,050	100,0
1/2"	12,700	100,0
3/8"	9,525	98,8
Nº4	4,760	92,8
Nº10	2,000	53,6
Nº20	0,840	41,5
Nº40	0,420	30,5
Nº60	0,250	25,9
Nº100	0,150	21,7
Nº200	0,074	18,2
	0,036	14,9
	0,023	13,2
	0,014	12,3
	0,011	10,6
	0,007	8,8
	0,005	8,0
	0,004	6,2
	0,003	6,2
	0,002	4,5
	0,001	3,8
	0,001	2,9
	0,001	2,9
	0,001	2,9

GRANULOMETRIA FINOS		Muestra	42,2gr			
Tamaño tamiz	Abertura mm	Retenido	% Ret	%PA	%Pasa	
Nº 10	2	0	0	0	100	
Nº 20	0,85	14,08	33,36	33,36	66,64	
Nº 40	0,425	12,87	30,50	63,86	36,14	
Nº 60	0,25	5,28	12,51	76,37	23,63	
Nº 100	0,15	4,95	11,73	88,10	11,90	
Nº 200	0,075	4,04	9,57	97,68	2,32	
Fondo		0,98	2,32	100	0,00	
Total		42,2	100			

GRANULOMETRIA GRUESOS		Muestra:	420,34 gr			
Tamaño tamiz	Abertura mm	Retenido	% Ret	%PA	%Pasa	
1 1/2"	37,5	0	0,000	0,000	100,000	
1"	25,0	0	0,000	0,00	100,00	
3/4"	19,0	0	0,000	0,00	100,00	
1/2"	12,7	0	0,000	0,00	100,00	
3/8"	9,5	12,45	2,962	2,96	97,04	
Nº 4	4,75	63,05	15,000	17,96	82,04	
Nº 10	0,075	344,84	82,038	100,00	0,00	
Total		420,34	100			



### Muestra Villa Laura.

ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR HIDROMETRO													
SECTOR :		Aguas Claras											
LOCALIZACIÓN :		Villa Laura					MUESTRA No. :			2			
NORMA:		INV E 123 - 13			DESCRIPCIÓN :		Material areno arcilloso color marrón amarillo.						
HIDROMETRO		152.H			Gs de los solidos		2,6		a:		1,01		
AGENTE DISPERSANTE		Hexametafosfato de sodio			Cantidad:		125.ml		WE.:		111,19		
CORRECCION DE CERO		3			Correccion de menisco		1		Ws		62,00		
FECHA	HORA	TIEMPO	TEMP.	LECT. REAL	CORRECCION	LECTURA	%	HID. CORR.	L.		L/T	K	D
									LECTURA	MIN.			
17/06/2019	07:42	2	21	12,0	0,20	9,20	8,36	10	14,70	7,35000	0,01369	0,037115	
	07:43	3	21	12,0	0,20	9,20	8,36	10	14,70	4,90000	0,01369	0,030304	
	07:48	8	21	11,0	0,20	8,20	7,45	9	14,80	1,85000	0,01369	0,018620	
	07:55	15	21	11,0	0,20	8,20	7,45	9	14,80	0,98667	0,01369	0,013598	
	08:10	30	21	10,0	0,20	7,20	6,54	8	15,00	0,50000	0,01369	0,009680	
	08:40	60	21	7,0	0,20	4,20	3,82	5	15,50	0,25833	0,01369	0,006958	
	09:40	120	21	7,0	0,20	4,20	3,82	5	15,50	0,12917	0,01369	0,004920	
18/06/2019	11:50	250	21	7,0	0,20	4,20	3,82	5	15,50	0,06200	0,01369	0,003409	
	16:50	550	21	7,0	0,20	4,20	3,82	5	15,50	0,02818	0,01369	0,002298	
	07:40	1440	22	6,0	0,40	3,40	3,09	4	15,60	0,01083	0,01353	0,001408	
	15:40	1920	22	4,0	0,40	1,40	1,27	2	16,00	0,00833	0,01353	0,001235	

RC= R real-correccion cero + ct

% mas fino= Rc\*(a)/Ws

D=K √ L/T



**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA**  
**LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

**Análisis Mecánico por Tamizado**

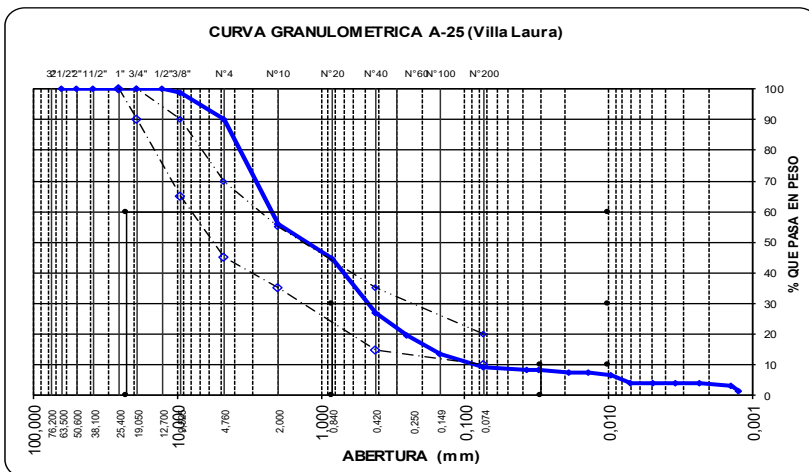
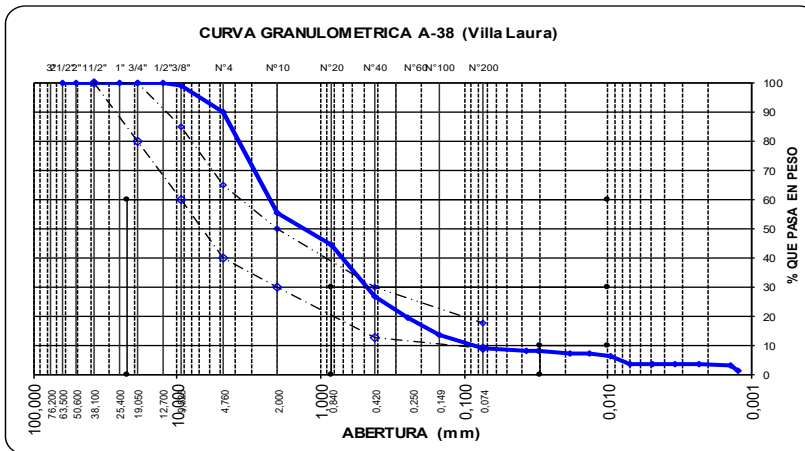
Ubicación(Km)                     Villa Laura                      
 Fecha                     04/04/2019                    

**Datos de Ensayo**  
 Peso de la muestra:                     1232,83 gr                    

Tamices	Abertura en mm.	% que Pasa
3"	76,200	100,0
2 1/2"	63,500	100,0
2"	50,800	100,0
1 1/2"	38,100	100,0
1"	25,400	100,0
3/4"	19,050	100,0
1/2"	12,700	100,0
3/8"	9,525	99,0
Nº4	4,760	90,1
Nº10	2,000	55,8
Nº20	0,840	44,7
Nº40	0,420	27,1
Nº60	0,250	19,6
Nº100	0,150	13,5
Nº200	0,074	9,0
	0,037	8,4
	0,030	8,4
	0,019	7,4
	0,014	7,4
	0,010	6,5
	0,007	3,8
	0,005	3,8
	0,003	3,8
	0,002	3,8
	0,001	3,1
	0,001	1,3

GRANULOMETRIA FINOS		Muestra	52,51 gr		
Tamaño tamiz	Abertura	Retenido	% RET	%PA	%Pasa
Nº 10	2	0	0	0	100
Nº 20	0,85	12,35	23,52	23,52	76,48
Nº 40	0,425	19,57	37,27	60,79	39,21
Nº 60	0,25	8,27	15,75	76,54	23,46
Nº 100	0,15	6,75	12,85	89,39	10,61
Nº 200	0,075	5,05	9,62	99,01	0,99
Fondo		0,52	0,99	100	0,00
Total		52,51	100		

GRANULOMETRIA GRUESOS		Muestra	317,7 gr		
Tamaño tamiz	Abertura mm	Retenido	% Ret	%PA	%Pasa
1 1/2"	37,5	0	0,000	0,000	100,000
1"	25,0	0	0,000	0,00	100,00
3/4"	19,0	0	0,000	0,00	100,00
1/2"	19,0	0	0,000	0,00	100,00
3/8"	9,5	9,75	3,069	3,07	96,93
Nº 4	4,75	86,83	27,331	30,40	69,60
Nº 10	0,075	221,12	69,600	100,00	0,00
Total		317,70	100		



### Muestra Circunvalar.

ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR HIDROMETRO												
SECTOR :		Circunvalar										
LOCALIZACION :		Circunvalar					MUESTRA No. :			3		
NORMA		INVE 123 - 13			DESCRIPCION :		Material areno limoso con coloracion naranja					
HIDROMETRO		152 H			Gs de los solidos		2.6		a:		1.01	
AGENTE DISPERSANTE		Hexametafosfato de sodio			Cantidad:		125.ml		WE:		197.18	
CORRECCION DE CERO		3			Correccion de menisco		1		Ws		63.97	
FECHA	HORA	TEMPO	TEMP.	LECT. REAL	CORRECCION	LECTURA	%	HD. CORR.	L	L/T	K	D
	LECTURA	MN.	°C	HDRO.	TEMP.	RC.CORR.	MAS FINO	MENISCO	TABLA		TABLA	mm
17/06/2019	07:35	2	21	19.0	0.20	16.20	8.30	17	13.50	6.75000	0.01391	0.036139
	07:36	3	21	18.0	0.20	15.20	7.79	16	13.70	4.56667	0.01391	0.029725
	07:43	8	21	17.0	0.20	14.20	7.27	15	13.80	1.72500	0.01391	0.018269
	07:50	15	21	16.0	0.20	13.20	6.76	14	14.00	0.93333	0.01391	0.013438
	08:05	30	21	15.0	0.20	12.20	6.25	13	14.20	0.47333	0.01391	0.009570
	08:35	60	21	14.0	0.20	11.20	5.74	12	14.30	0.23833	0.01391	0.006791
	09:35	120	21	10.0	0.20	7.20	3.69	8	15.00	0.12500	0.01391	0.004918
	11:50	250	21	10.0	0.20	7.20	3.69	8	15.00	0.06000	0.01391	0.003407
	16:50	550	21	9.0	0.20	6.20	3.18	7	15.20	0.02764	0.01391	0.002312
18/06/2019	07:35	1440	22	7.0	0.40	4.40	2.25	5	15.50	0.01076	0.01374	0.001426
	15:35	1920	22	7.0	0.40	4.40	2.25	5	15.50	0.00807	0.01374	0.001235
19/06/2019	07:35	2880	22	7.0	0.40	4.40	2.25	5	15.50	0.00538	0.01374	0.001008
20/06/2019	15:35	4320	22	7.0	0.40	4.40	2.25	5	15.50	0.00359	0.01374	0.000823
$RC = R \text{ real} - \text{correccion cero} + ct$ $\% \text{ mas fino} = Rc / (a) / Ws$ $D = K \sqrt{L/T}$												



Universidad Francisco de Paula Santander  
Ocaña - Colombia  
Vigilada Mineducación

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA

LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS

Análisis Mecánico por Tamizado

Ubicación(Km) \_\_\_\_\_  
Fecha \_\_\_\_\_

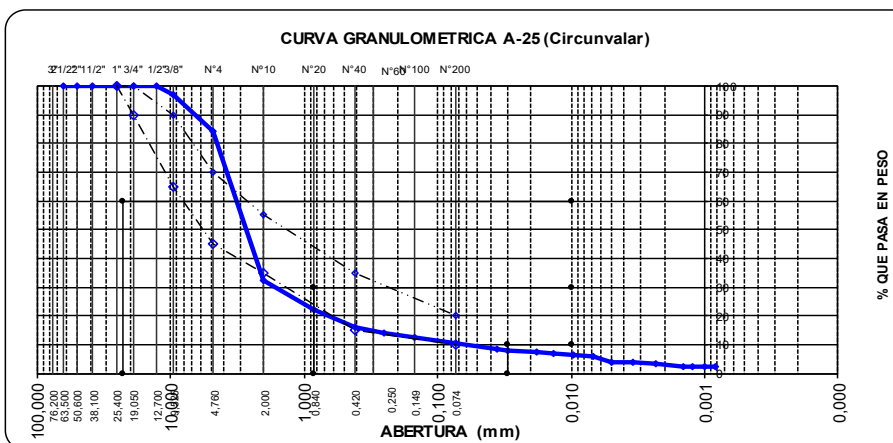
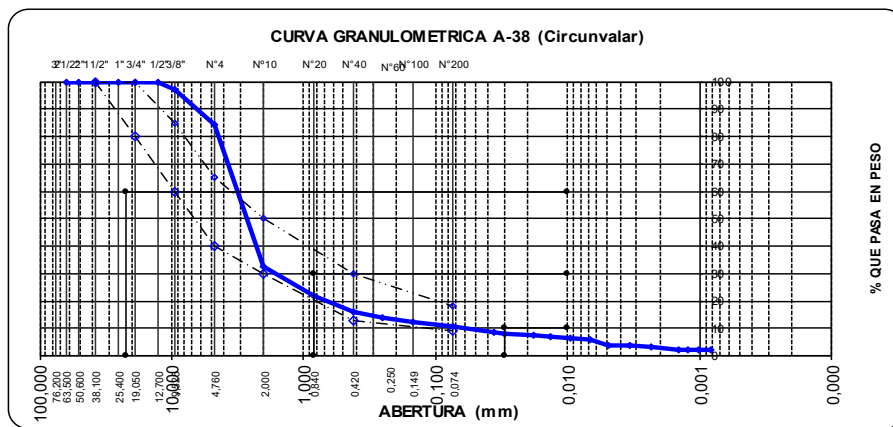
Circunvalar \_\_\_\_\_  
04/04/2019 \_\_\_\_\_

**Datos de Ensayo**  
Peso de la muestra: 1292,5 gr

Tamices	Abertura en mm.	% que Pasa
3"	76,200	100,0
2 1/2"	63,500	100,0
2"	50,600	100,0
1 1/2"	38,100	100,0
1"	25,400	100,0
3/4"	19,050	100,0
1/2"	12,700	100,0
3/8"	9,525	97,1
Nº4	4,760	84,5
Nº10	2,000	32,4
Nº20	0,840	21,9
Nº40	0,420	16,1
Nº60	0,250	14,0
Nº100	0,150	12,3
Nº200	0,074	10,6
	0,036	8,4
	0,030	7,9
	0,018	7,3
	0,013	6,8
	0,010	6,3
	0,007	5,8
	0,005	3,7
	0,003	3,7
	0,002	3,2
	0,001	2,3
	0,001	2,3
	0,001	2,3
	0,001	2,3


GRANULOMETRIA FINOS		Muestra				
		43,34 gr				
Tamaño tamiz	Abertura	Retenido	% RET	%PA	%Pasa	
Nº 10	2	0	0	0	100	
Nº 20	0,85	20,72	47,80803	47,81	52,19	
Nº 40	0,425	11,51	26,55745	74,37	25,63	
Nº 60	0,25	4,07	9,390863	83,76	16,24	
Nº 100	0,15	3,35	7,72958	91,49	8,51	
Nº 200	0,075	3,43	7,914167	99,40	0,60	
Fondo		0,26	0,599908	100	0,00	
Total		43,34	100			

GRANULOMETRIA GRUESOS		Muestra				
		650,97 gr				
Tamaño tamiz	Abertura mm	Retenido	% Ret	%PA	%Pasa	
1 1/2"	37,5	0	0,000	0,000	100,000	
1"	25,0	0	0,000	0,00	100,00	
3/4"	19,0	0	0,000	0,00	100,00	
1/2"	12,7	0	0,000	0,00	100,00	
3/8"	9,5	31,24	4,799	4,80	95,20	
Nº 4	4,75	133,92	20,572	25,37	74,63	
Nº 10	0,075	485,81	74,629	100,00	0,00	
Total		650,97	100			





### Apéndice B. Gravedad específica. Muestra Limonia.

	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER</b>  <b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>	
Localización:	Limonia	Muestra N°: <u>2</u>
Descripción:	Material areno arcilloso con coloración marrón naranja	Fecha: <u>12/06/2019</u> Norma: <u>INV E-128-13</u>

**GRAVEDAD ESPECIFICA FRACCION FINA I.N.V. E-128-13**

PRUEBA N°	3	11	8
Peso del Pignómetro [W] (gr)	150,14	153,66	151,98
Peso suelo seco horno [Wo] (gr)	76,75	76,77	76,39
Peso Pignómetro+agua+suelo [W1] (gr)	710,82	712,48	707,33
Peso Pignómetro+agua [W2] (gr)	662,81	665,11	660,18
Volumen Pignómetro [V] (cm <sup>3</sup> )	500,0	500,0	500,0
Temperatura agua en el ensayo (T°C)	22°C	22°C	22°C
Factor de corrección de temperatura [K]	0,9996	0,9996	0,9996
Gravedad Especifica [Ss]	2,669	2,610	2,611
Gravedad Especifica promedio (Ss prom.)	2,630		

Aplicación:  $Ss = [Wo \cdot K] / [W2 + Wo - W1]$

Aplicación:  $Ss = [A] / [A - C]$

Ss Muestra Total=

OBSERVACIONES

---



---



---




---

Temp. En °C	Dens. Rel. Agua	F.C (K)
18	0,9986244	1,0004
19	0,9984347	1,0002
20	0,9982343	1,0000
21	0,9980233	0,9998
22	0,9978018	0,9996
23	0,9975702	0,9993
24	0,9973286	0,9991
25	0,9970770	0,9989
26	0,9968156	0,9986
27	0,9965451	0,9983
28	0,9962652	0,998

Factores de corrección por temperatura

## Muestra Villa Laura.

	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER</b>  <b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>	
Localización:	Villa Laura	Muestra N°: 1
Descripción:	Material areno arcilloso, color marron amarillo	Fecha: 12/06/2019
		Norma: INV E-128-13

<b>GRAVEDAD ESPECIFICA FRACCION FINA I.N.V. E-128-13</b>				
<b>PRUEBA N°</b>	12	2 1	0	
Peso del Pignómetro [W] (gr)	145,02	153,39	152,30	
Peso suelo seco horno [Wo] (gr)	77,28	77,26	77,13	
Peso Pignómetro+agua+suelo [W1] (gr)	699,13	704,68	703,84	
Peso Pignómetro+agua [W2] (gr)	651,27	657,01	656,39	
Volumen Pignómetro [V] (cm <sup>3</sup> )	500,0	500,0	500,0	
Temperatura agua en el ensayo (T°C)	22°C	22°C	22°C	
Factor de corrección de temperatura [K]	0,9996	0,9996	0,9996	
Gravedad Específica [Ss]	2,626	2,610	2,598	
Gravedad Específica promedio (Ss prom.)	2,611			

Aplicación:  $Ss = [W_0 \cdot K] / [W_2 + W_0 - W_1]$

Aplicación:  $Ss = [A] / [A - C]$

<b>Ss Muestra Total=</b>	
--------------------------	--

**OBSERVACIONES**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_


\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Temp. En °C	Dens. Rel. Agua	F.C (K)
18	0,9986244	1,0004
19	0,9984347	1,0002
20	0,9982343	1,0000
21	0,9980233	0,9998
22	0,9978018	0,9996
23	0,9975702	0,9993
24	0,9973286	0,9991
25	0,9970770	0,9989
26	0,9968156	0,9986
27	0,9965451	0,9983
28	0,9962652	0,998

Factores de corrección por temperatura

## Muestra Circunvalar.

	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER</b>	
	<b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>	
Localización:	Circunvalar	Muestra N°: 3
Descripción:	Material areno limoso con coloración naranja	Fecha: 12/06/2019
		Norma: INV E-128-13

**GRAVEDAD ESPECIFICA FRACCION FINA I.N.V. E-128-13**

PRUEBA N°	2	3	7	
Peso del Pignómetro [W] (gr)	156,11	141,50	157,29	
Peso suelo seco horno [Wo] (gr)	74,85	75,66	74,97	
Peso Pignómetro+agua+suelo [W1] (gr)	722,54	691,08	713,67	
Peso Pignómetro+agua [W2] (gr)	676,12	644,47	667,38	
Volumen Pignómetro [V] (cm <sup>3</sup> )	500,0	500,0	500,0	
Temperatura agua en el ensayo (T°C)	22°C	22°C	22°C	
Factor de corrección de temperatura [K]	0,9996	0,9996	0,9996	
Gravedad Especifica [Ss]	2,632	2,603	2,613	
Gravedad Especifica promedio (Ss prom.)	2,616			

Aplicación:  $Ss = [Wo \cdot K] / [W2 + Wo - W1]$

Aplicación:  $Ss = [A] / [A - C]$

Ss Muestra Total=

OBSERVACIONES

\_\_\_\_\_


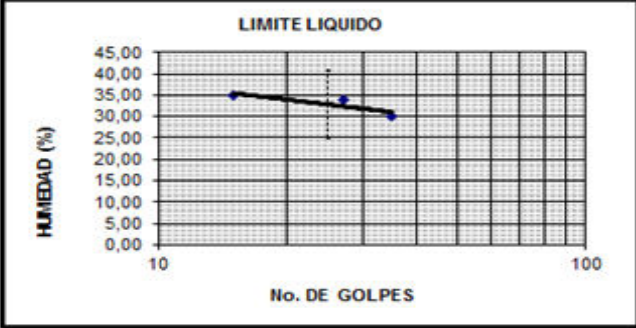
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_


Temp. En °C	Dens. Rel. Agua	F.C (K)
18	0,9986244	1,0004
19	0,9984347	1,0002
20	0,9982343	1,0000
21	0,9980233	0,9998
22	0,9978018	0,9996
23	0,9975702	0,9993
24	0,9973286	0,9991
25	0,9970770	0,9989
26	0,9968156	0,9986
27	0,9965451	0,9983
28	0,9962652	0,998

Factores de corrección por temperatura

### Apéndice C. Límites de Atterberg del terreno natural. Muestra Limonia

 <b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA</b> <b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>								
<b>LIMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG</b>								
<b>FECHA:</b>	08/04/2019							
<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Limonia- Aguas Claras N.S							
<b>REALIZADO POR:</b>	Autores del Proyecto							
<b>DESCRIPCIÓN :</b>	Material areno limoso con coloración marrón naranja							
<b>LIMITE LIQUIDO</b>								
<b>NÚMERO DE GOLPES</b>	15	27	35					
<b>NÚMERO DEL RECIPIENTE</b>	5	58	68					
<b>PESO DEL RECIPIENTE ( Gr. )</b>	20,51	19,60	19,16					
<b>PESO HÚMEDO ( Gr. )</b>	40,01	36,55	33,37					
<b>PESO SECO ( Gr. )</b>	34,95	32,27	30,08					
<b>HUMEDAD ( % )</b>	35,04	33,78	30,13					
<b>LIMITE PLASTICO</b>								
<b>NÚMERO DEL RECIPIENTE</b>	2	10	18					
<b>PESO DEL RECIPIENTE ( Gr. )</b>	11,06	7,17	11,52					
<b>PESO HÚMEDO (Gr. )</b>	17,07	12,83	17,18					
<b>PESO SECO ( Gr. )</b>	15,87	11,72	16,07					
<b>HUMEDAD ( % )</b>	24,95	24,40	24,40					
		<table border="1"> <tr> <td><b>LIMITE LIQUIDO (%)</b></td> <td>32,82</td> </tr> <tr> <td><b>LIMITE PLASTICO (%)</b></td> <td>24,58</td> </tr> <tr> <td><b>INDICE DE PLASTICIDAD</b></td> <td>8,24</td> </tr> </table>	<b>LIMITE LIQUIDO (%)</b>	32,82	<b>LIMITE PLASTICO (%)</b>	24,58	<b>INDICE DE PLASTICIDAD</b>	8,24
<b>LIMITE LIQUIDO (%)</b>	32,82							
<b>LIMITE PLASTICO (%)</b>	24,58							
<b>INDICE DE PLASTICIDAD</b>	8,24							

### Muestra Villa Laura.

 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Vicerrectoría Académica	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA</b> <b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>
--	---

#### LIMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG

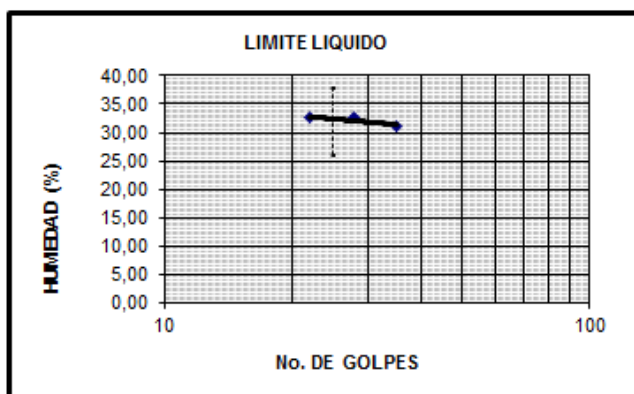
<b>FECHA:</b>	08/04/2019
<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Villa Laura - Ocaña N.S
<b>REALIZADO POR:</b>	Autores del Proyecto
<b>DESCRIPCIÓN :</b>	Material areno arcilloso color marrón amarillo

#### LIMITE LIQUIDO

NÚMERO DE GOLPES	22	28	35	
NÚMERO DEL RECIPIENTE	19	11	21	
PESO DEL RECIPIENTE ( Gr. )	18,33	20,78	18,01	
PESO HÚMEDO ( Gr. )	41,07	41,51	34,44	
PESO SECO ( Gr. )	35,49	36,42	30,54	
HUMEDAD ( % )	32,52	32,54	31,13	


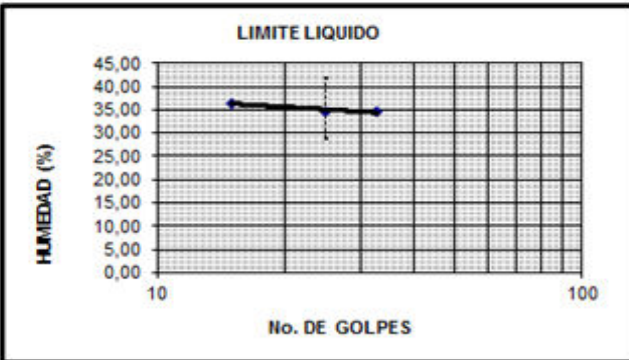
#### LIMITE PLASTICO

NÚMERO DEL RECIPIENTE	13	20	
PESO DEL RECIPIENTE ( Gr. )	13,90	10,85	
PESO HÚMEDO (Gr. )	18,82	16,69	
PESO SECO ( Gr. )	17,68	15,69	
HUMEDAD ( % )	30,16	20,66	

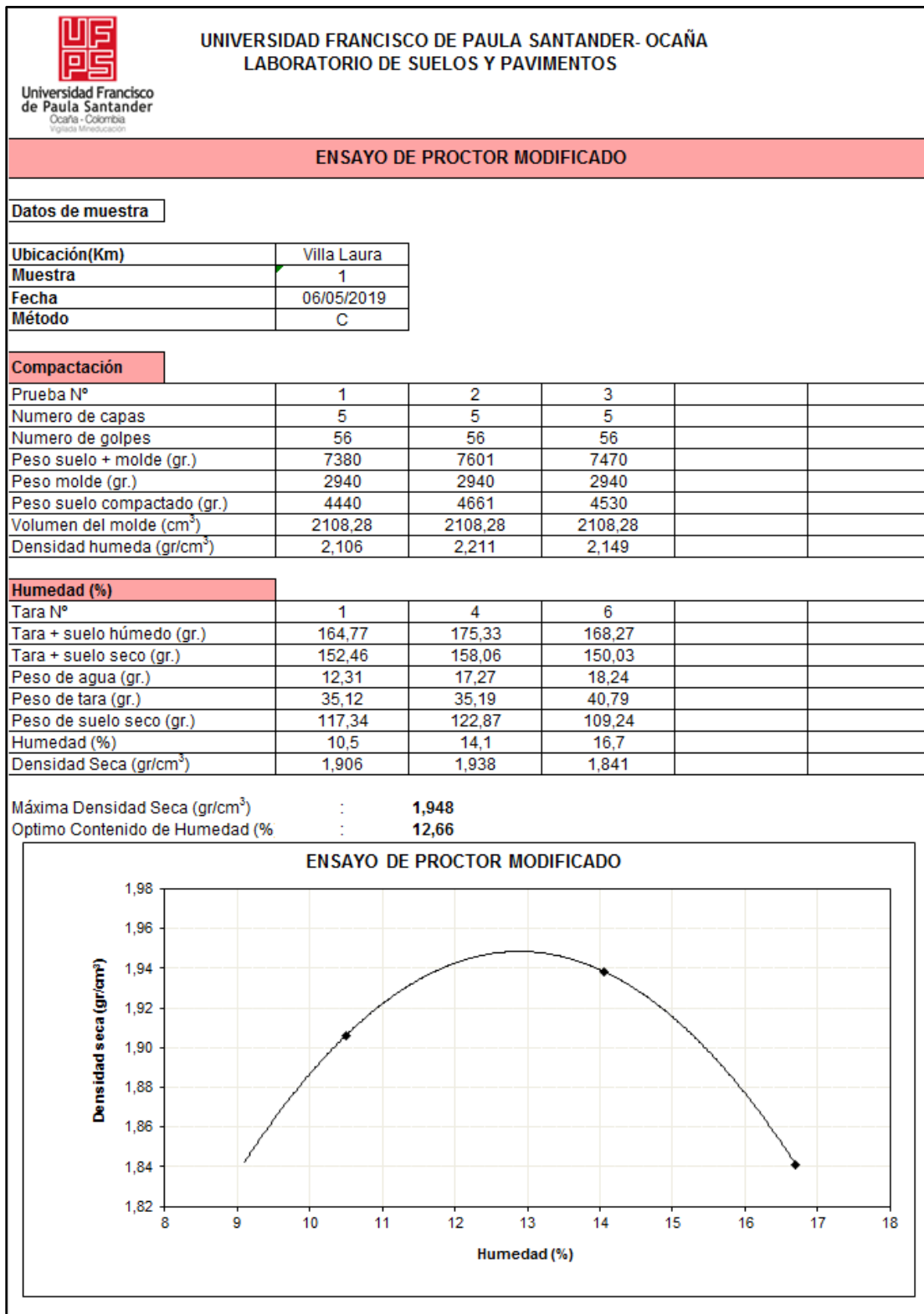


<b>LIMITE LIQUIDO (%)</b>	<b>32,38</b>
<b>LIMITE PLASTICO (%)</b>	<b>25,41</b>
<b>INDICE DE PLASTICIDAD</b>	<b>6,97</b>


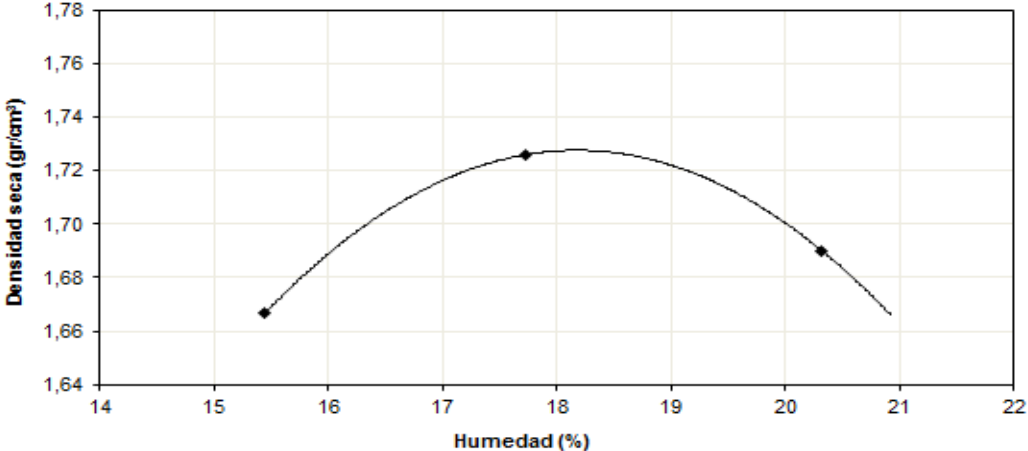
### Muestra Circunvalar.

 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA</b> <b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>		
	<b>LIMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG</b>		
<b>FECHA:</b>	08/04/2019		
<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Ocaña, sector Circunvalar		
<b>REALIZADO POR:</b>	Autores del Proyecto		
<b>DESCRIPCIÓN :</b>	Material areno limoso con coloración naranja		
<b>LIMITE LIQUIDO</b>			
<b>NÚMERO DE GOLPES</b>	15	25	33
<b>NÚMERO DEL RECIPIENTE</b>	1	2	3
<b>PESO DEL RECIPIENTE ( Gr. )</b>	29,36	23,60	28,17
<b>PESO HÚMEDO ( Gr. )</b>	54,08	53,04	52,26
<b>PESO SECO ( Gr. )</b>	47,48	45,44	46,07
<b>HUMEDAD ( % )</b>	36,42	34,80	34,58
<b>LIMITE PLASTICO</b>			
<b>NÚMERO DEL RECIPIENTE</b>	1	48	41
<b>PESO DEL RECIPIENTE ( Gr. )</b>	10,60	10,19	10,40
<b>PESO HÚMEDO (Gr. )</b>	17,04	18,12	17,58
<b>PESO SECO ( Gr. )</b>	15,58	16,35	15,97
<b>HUMEDAD ( % )</b>	29,32	28,73	28,90
			
<b>LIMITE LIQUIDO (%)</b>			35,08
<b>LIMITE PLASTICO (%)</b>			28,99
<b>INDICE DE PLASTICIDAD</b>			6,09

### Apéndice D. Relaciones de humedad. Muestra Villa Laura.


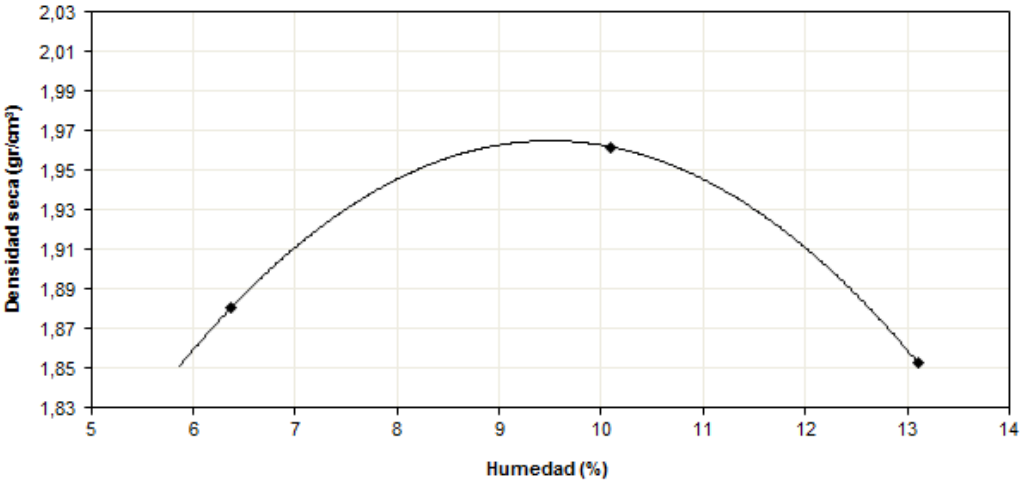


### Muestra Limonia.


 <b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA</b> <b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>									
<b>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</b>									
<b>Datos de muestra</b>									
Ubicación(Km)	Limonia								
Muestra	2								
Fecha	08/05/2019								
Método	C								
<b>Compactación</b>									
Prueba N°	1	2	3						
Numero de capas	5	5	5						
Numero de golpes	56	56	56						
Peso suelo + molde (gr.)	6840	7224	7227						
Peso molde (gr.)	2755	2940	2940						
Peso suelo compactado (gr.)	4085	4284	4287						
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2122,932	2108,28	2108,28						
Densidad humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1,924	2,032	2,033						
<b>Humedad (%)</b>									
Tara N°	3	14	5						
Tara + suelo húmedo (gr.)	138,22	147,10	127,50						
Tara + suelo seco (gr.)	123,78	131,00	111,10						
Peso de agua (gr.)	14,44	16,10	16,40						
Peso de tara (gr.)	30,30	40,20	30,40						
Peso de suelo seco (gr.)	93,48	90,80	80,70						
Humedad (%)	15,45	17,73	20,32						
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,667	1,726	1,690						
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	:	<b>1,729</b>							
Optimo Contenido de Humedad (%)	:	<b>17,91</b>							
<b>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</b>									
 <p>The graph plots Dry Density (gr/cm<sup>3</sup>) on the y-axis (ranging from 1.64 to 1.78) against Moisture (%) on the x-axis (ranging from 14 to 22). A smooth curve is drawn through three data points, showing a peak at approximately 17.91% moisture and 1.729 gr/cm<sup>3</sup> dry density.</p> <table border="1"> <caption>Data points from the Proctor test graph</caption> <thead> <tr> <th>Humedad (%)</th> <th>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15.45</td> <td>1.667</td> </tr> <tr> <td>17.73</td> <td>1.726</td> </tr> <tr> <td>20.32</td> <td>1.690</td> </tr> </tbody> </table>		Humedad (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	15.45	1.667	17.73	1.726	20.32	1.690
Humedad (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )								
15.45	1.667								
17.73	1.726								
20.32	1.690								



### Muestra Circunvalar.

 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia <small>Vigilada Mineducación</small>		UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS			
<b>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</b>					
<b>Datos de muestra</b>					
Ubicación(Km)	CIRCUNVALAR				
Muestra	3				
Fecha	10/05/2019				
Método	C				
<b>Compactación</b>					
Prueba N°	1	2	3	4	
Numero de capas	5	5	5	5	
Numero de golpes	56	56	56	56	
Peso suelo + molde (gr.)	7157	7494	7358	7417	
Peso molde (gr.)	2940	2940	2940	2940	
Peso suelo compactado (gr.)	4217	4554	4418	4477	
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2108,28	2108,28	2108,28	2108,28	
Densidad humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2,000	2,160	2,096	2,124	
<b>Humedad (%)</b>					
Tara N°	5	2	4	11	
Tara + suelo húmedo (gr.)	180,23	184,87	184,68	198,53	
Tara + suelo seco (gr.)	171,90	170,91	167,05	175,98	
Peso de agua (gr.)	8,33	13,96	17,63	22,55	
Peso de tara (gr.)	41,08	32,55	32,57	36,32	
Peso de suelo seco (gr.)	130,82	138,36	134,48	139,66	
Humedad (%)	6,37	10,09	13,11	16,1	
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,880	1,962	1,853	1,828	
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	:	<b>1,967</b>			
Óptimo Contenido de Humedad (%)	:	<b>9,51</b>			
<b>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</b>					
 <p>The graph plots Dry Density (gr/cm<sup>3</sup>) on the y-axis (ranging from 1.83 to 2.03) against Moisture (%) on the x-axis (ranging from 5 to 14). A smooth curve is drawn through four data points, showing a peak at approximately 1.967 gr/cm<sup>3</sup> and 9.51% moisture. The data points are: (6.37, 1.880), (10.09, 1.962), (13.11, 1.853), and (16.1, 1.828).</p>					

## Apéndice E. Ensayo de la relación de soporte de california CBR. Muestra Limonia.

		<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA</b> <b>LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>				
<b>ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)</b>						
Realizado por :	Ana Milena Sanchez - Robin Danilo Rincón					
Revisado por :						
Fecha:	14/06/2019					
<b>Datos de muestra</b>						
Ubicación	Limonia					
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) :	1,729					
Óptimo Contenido de Humedad (%) :	17,91					
<b>Compactación</b>						
Molde N°	10	11	12			
Número de capas	5	5	5			
Número de golpes	56	25	10			
Peso suelo + molde (gr.)	8576	8502	7936			
Peso molde (gr.)	3849,1	3877,6	3822,6			
Peso suelo compactado (gr.)	4726,9	4624,4	4113,4			
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2319,9	2319,5	2320,4			
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2,038	1,994	1,773			
<b>Humedad (%)</b>						
Tara N°	5	2	6			
Tara+suelo húmedo (gr.)	135,41	117,99	139,54			
Tara+suelo seco (gr.)	119,48	105,43	123,26			
Peso de agua (gr.)	15,93	12,56	16,28			
Peso de tara (gr.)	30,50	35,30	32,31			
Peso de suelo seco (gr.)	88,98	70,13	90,95			
Humedad (%)	17,90	17,91	17,90			
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,728	1,691	1,504			
<b>Aplicación de Carga</b>						
Penetración (mm.)	Molde 10		Molde 11		Molde 12	
	Carga (kN)	Presión (Mpa)	Carga (kN)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	0
0,64	0,166	0,086	0,072	0,0372	0,035	0,0181
1,27	0,301	0,156	0,138	0,0713	0,084	0,0434
1,91	0,439	0,227	0,186	0,0961	0,122	0,0630
2,54	0,555	0,287	0,230	0,1189	0,147	0,0760
3,18	0,630	0,326	0,275	0,1421	0,169	0,0873
3,81	0,693	0,358	0,321	0,1659	0,210	0,1085
5,08	0,798	0,412	0,422	0,2181	0,274	0,1416
7,62	0,971	0,502	0,574	0,2966	0,398	0,2057
10,16	1,129	0,583	0,699	0,3612	0,505	0,2610
12,70	1,291	0,667	0,817	0,4222	0,596	0,3080
CBR.CORR.0,1"	4,16%		1,72%		1,10%	
CBR.CORR.0,2"	4,00%		2,12%		1,37%	
Lec.inicial(pulg)	0,034		0,036		0,038	
Lec.final(pulg)	0,304		0,312		0,382	
Expansión (%)	5,90		6,03		7,51	
Días de inmersión	4 días					
Humedad de penetración	31,21		33,88		35,45	



Universidad Francisco de Paula Santander  
Ocaña - Colombia  
Vigilada Mineducación

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA  
LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

Realizado por: Ana Milena Sánchez- Robin Danilo Rincón.

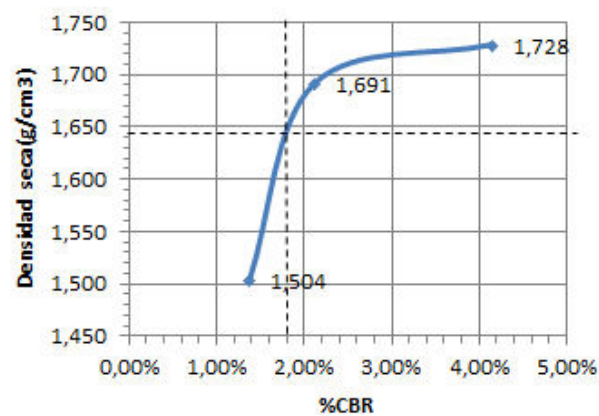
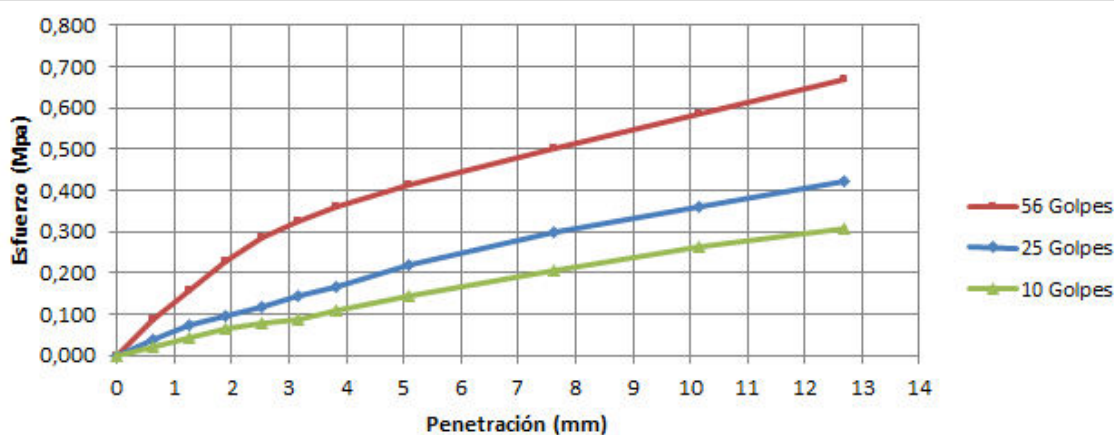
Fecha: 14/06/2019

**Datos de muestra**

Ubicación : Limonia

Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>) : 1,729

Optimo Contenido de Humedad (%) : 17,91



	CBR 0,1"	CBR 0,2"
56	4,16%	4,00%
25	1,72%	2,12%
10	1,10%	1,37%


95% M.D.S=	1,643
CBR 95%	1,80%

OBSERVACIONES:

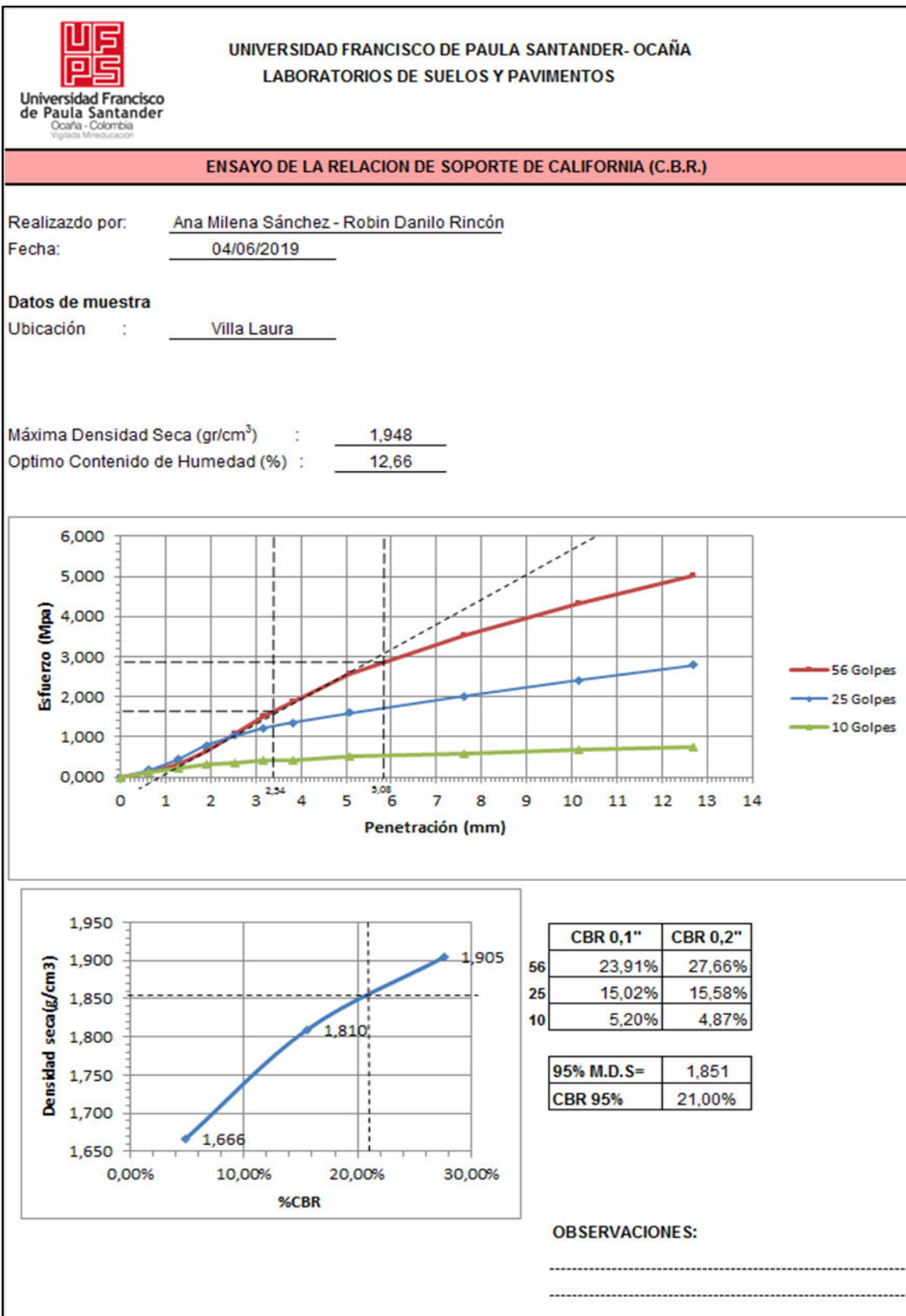
.....

.....

## Muestra Villa Laura.

 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Vicede Mineración	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA</b> <b>LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>					
<b>ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)</b>						
Realizado por :	Ana Milena Sanchez - Robin Danilo Rincón					
Revisado por :						
Fecha	04/06/2019					
<b>Datos de muestra</b>						
Prog. (Km.)	VILLA LAURA					
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) :	1,948					
Optimo Contenido de Humedad (%) :	12,66					
<b>Compactación</b>						
Molde N°	11      10      12					
Número de capas	5      5      5					
Número de golpes	56      25      10					
Peso suelo + molde (gr.)	8856      8579      8178					
Peso molde (gr.)	3877,6      3849,1      3822,6					
Peso suelo compactado (gr.)	4978,4      4729,9      4355,4					
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2319,5      2319,9      2320,4					
Densidad humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2,146      2,039      1,877					
<b>Humedad (%)</b>						
Tara N°	13      1      5					
Tara+suelo húmedo (gr.)	195,61      188,21      191,19					
Tara+suelo seco (gr.)	177,96      171,55      173,64					
Peso de agua (gr.)	17,65      16,66      17,55					
Peso de tara (gr.)	38,79      39,95      34,94					
Peso de suelo seco (gr.)	139,17      131,60      138,70					
Humedad (%)	12,68      12,66      12,65					
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,905      1,810      1,666					
<b>Aplicación de Carga</b>						
Penetración (mm.)	Molde 11		Molde 10		Molde 12	
	Carga (kN)	Presión (Mpa)	Carga (kN)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	0
0,64	0,223	0,115	0,330	0,1705	0,222	0,1147
1,27	0,622	0,321	0,860	0,4444	0,421	0,2176
1,91	1,280	0,661	1,510	0,7804	0,582	0,3008
2,54	2,088	1,079	2,006	1,0367	0,694	0,3587
3,18	2,900	1,499	2,354	1,2165	0,773	0,3995
3,81	3,635	1,879	2,614	1,3509	0,835	0,4315
5,08	4,988	2,578	3,106	1,6052	0,971	0,5018
7,62	6,850	3,540	3,899	2,0150	1,151	0,5948
10,16	8,346	4,313	4,654	2,4052	1,292	0,6677
12,70	9,704	5,015	5,410	2,7959	1,443	0,7457
CBR.CORR.0,1"	23,91%		15,02%		5,20%	
CBR.CORR.0,2"	27,66%		15,58%		4,87%	
Lec.inicial(pulg)	0,006		0,004		0	
Lec.final(pulg)	0,033		0,05		0,065	
Expansión (%)	0,59		1,00		1,42	
Días de inmersión	4 días					
Humedad de penetración	19,49		21,32		24,01	

### Muestra Circunvalar.





Universidad Francisco  
de Paula Santander  
Ocaña - Colombia  
Vigilada Mineducación

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA  
LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

Realizado por : Ana Milena Sanchez - Robin Danilo Rincón

Revisado por :

Fecha 14/06/2019

Datos de muestra

Prog. (Km.) CIRCUNVALAR

Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>) : 1,967

Optimo Contenido de Humedad (%) : 9,51

Compactación

Molde N°	10	11	12
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	56	25	10
Peso suelo + molde (gr.)	8737	8495	7988
Peso molde (gr.)	3849,1	3877,6	3822,6
Peso suelo compactado (gr.)	4887,9	4617,4	4165,4
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2319,9	2319,5	2320,4
Densidad humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2,107	1,991	1,795

Humedad (%)

Tara N°	11	18	15
Tara+suelo húmedo (gr.)	93,10	85,66	90,18
Tara+suelo seco (gr.)	87,75	81,03	85,94
Peso de agua (gr.)	5,35	4,63	4,24
Peso de tara (gr.)	31,45	32,45	41,40
Peso de suelo seco (gr.)	56,30	48,58	44,54
Humedad (%)	9,50	9,53	9,52
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,924	1,817	1,639

Aplicación de Carga

Penetración (mm.)	Molde 10		Molde 11		Molde 12	
	Carga (kN)	Presión (Mpa)	Carga (kN)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	0
0,64	0,718	0,371	0,281	0,1452	0,137	0,0708
1,27	2,285	1,181	0,735	0,3798	0,241	0,1245
1,91	4,988	2,578	1,400	0,7235	0,313	0,1618
2,54	7,416	3,833	2,054	1,0615	0,399	0,2062
3,18	9,385	4,850	2,535	1,3101	0,458	0,2367
3,81	10,960	5,664	2,942	1,5204	0,512	0,2646
5,08	13,400	6,925	3,703	1,9137	0,617	0,3189
7,62	16,520	8,537	4,922	2,5437	0,792	0,4093
10,16	17,830	9,214	6,029	3,1158	0,934	0,4827
12,70	19,040	9,840	7,107	3,6729	1,084	0,5602

CBR.CORR.0,1"	66,37%	15,38%	2,99%
CBR.CORR.0,2"	69,90%	18,58%	3,10%
Lec.inicial(pulg)	0,003	0,015	0,038
Lec.final(pulg)	0,043	0,056	0,085
Expansión (%)	0,87	0,90	1,03
Días de inmersión	4 días		
Humedad de penetración	16,38	18,02	22,37



**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA**  
**LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

**ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

Revisado por:           Ana Milena Sánchez - Robin Danilo Rincón          

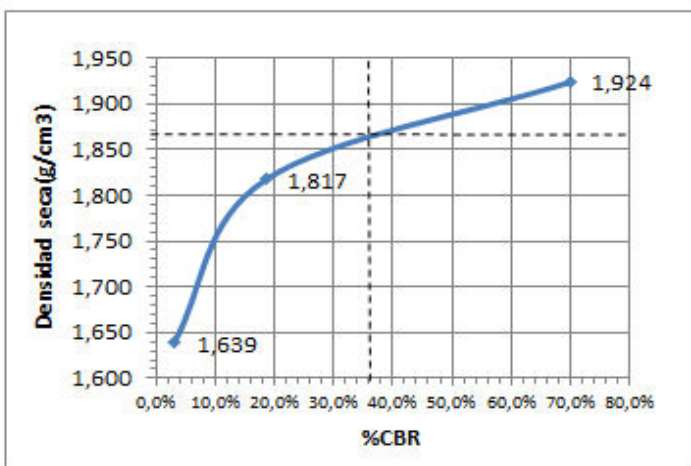
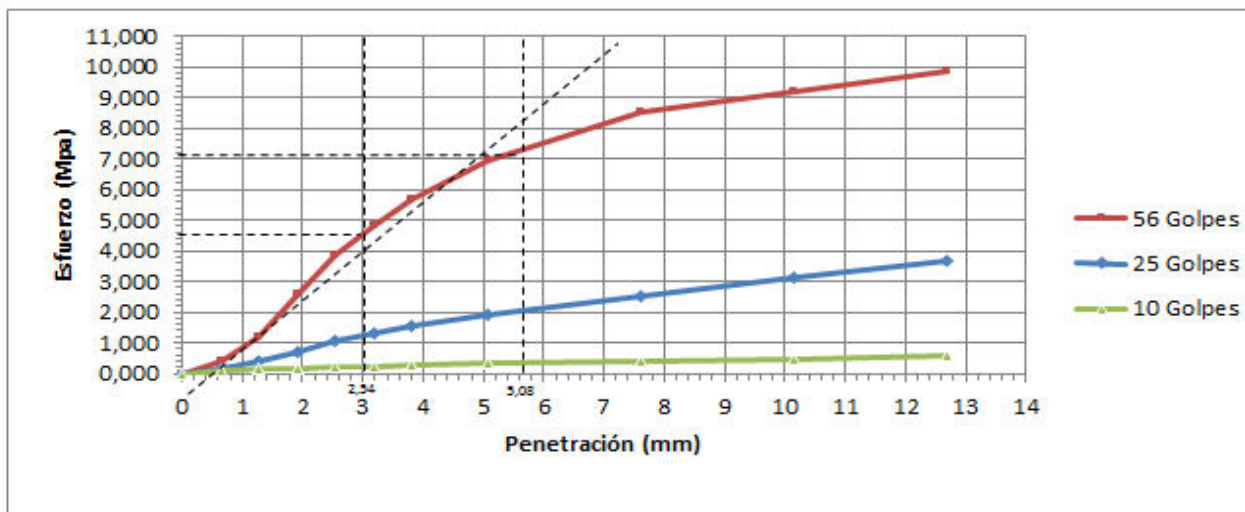
Fecha:           14/06/2019          

**Datos de muestra**

Ubicación :           Circunvalar          

Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>) :           1,967          

Optimo Contenido de Humedad (%) :           9,51          



	CBR 0,1"	CBR 0,2"
56	66,37%	69,90%
25	15,38%	18,58%
10	2,99%	3,10%

95% M.D.S=	1,869
CBR 95%	36,00%


OBSERVACIONES:

-----






### Muestra Circunvalar.

 <b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>																															
<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>																															
LOCALIZACIÓN: <u>Circunvalar</u>	ESPECIMEN: <u>1</u>																														
DESCRIPCIÓN: <u>Material areno limoso, color coloración naranja</u>	FECHA: <u>02/05/2019</u>																														
<table border="1"> <tr><td>Diámetro</td><td>5,25</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Alt. Inicial</td><td>11,06</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Area</td><td>21,65</td><td>cm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Volumen</td><td>239,42</td><td>cm<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>P. Humedo</td><td>454,26</td><td>gr</td></tr> <tr><td>P. Unitario</td><td>1,90</td><td>gr/cm<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>Alt. Final</td><td>11,06</td><td>cm</td></tr> </table>	Diámetro	5,25	cm	Alt. Inicial	11,06	cm	Area	21,65	cm <sup>2</sup>	Volumen	239,42	cm <sup>3</sup>	P. Humedo	454,26	gr	P. Unitario	1,90	gr/cm <sup>3</sup>	Alt. Final	11,06	cm	<table border="1"> <tr><td>γ<sub>d</sub> max</td><td>1.690</td><td>gr/cm<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>G<sub>s</sub></td><td>2071</td><td></td></tr> <tr><td>W%</td><td>12,25</td><td>%</td></tr> </table>	γ <sub>d</sub> max	1.690	gr/cm <sup>3</sup>	G <sub>s</sub>	2071		W%	12,25	%
Diámetro	5,25	cm																													
Alt. Inicial	11,06	cm																													
Area	21,65	cm <sup>2</sup>																													
Volumen	239,42	cm <sup>3</sup>																													
P. Humedo	454,26	gr																													
P. Unitario	1,90	gr/cm <sup>3</sup>																													
Alt. Final	11,06	cm																													
γ <sub>d</sub> max	1.690	gr/cm <sup>3</sup>																													
G <sub>s</sub>	2071																														
W%	12,25	%																													
Lectura del deformímetro (0.001")	Deformación de la muestra Δh (m.m.)	Deformación unitaria ε	Area C.F 1-ε	Ac (cm <sup>2</sup> )	Deformímetro de carga C (Unidades)	C (kN)	σ (kPa)	%ε																							
0	0	0	0	16,15	0	0	0	0																							
10	0,254	0,00230	0,99770	21,70	25	0,11	49,642	0,23																							
20	0,508	0,00459	0,99541	21,75	64	0,28	127,641	0,46																							
30	0,762	0,00689	0,99311	21,80	83	0,36	165,233	0,69																							
40	1,016	0,00919	0,99081	21,85	95	0,41	188,697	0,92																							
50	1,27	0,01148	0,98852	21,90	108	0,47	214,009	1,15																							
60	1,524	0,01378	0,98622	21,95	122	0,53	241,150	1,38																							
70	1,778	0,01608	0,98392	22,00	137	0,59	270,101	1,61																							
80	2,032	0,01837	0,98163	22,05	153	0,66	300,840	1,84																							
90	2,286	0,02067	0,97933	22,10	166	0,72	325,538	2,07																							
100	2,54	0,02297	0,97703	22,16	175	0,76	342,305	2,30																							
110	2,794	0,02526	0,97474	22,21	187	0,81	364,800	2,53																							
120	3,048	0,02756	0,97244	22,26	194	0,84	377,491	2,76																							
130	3,302	0,02986	0,97014	22,31	192	0,83	372,738	2,99																							

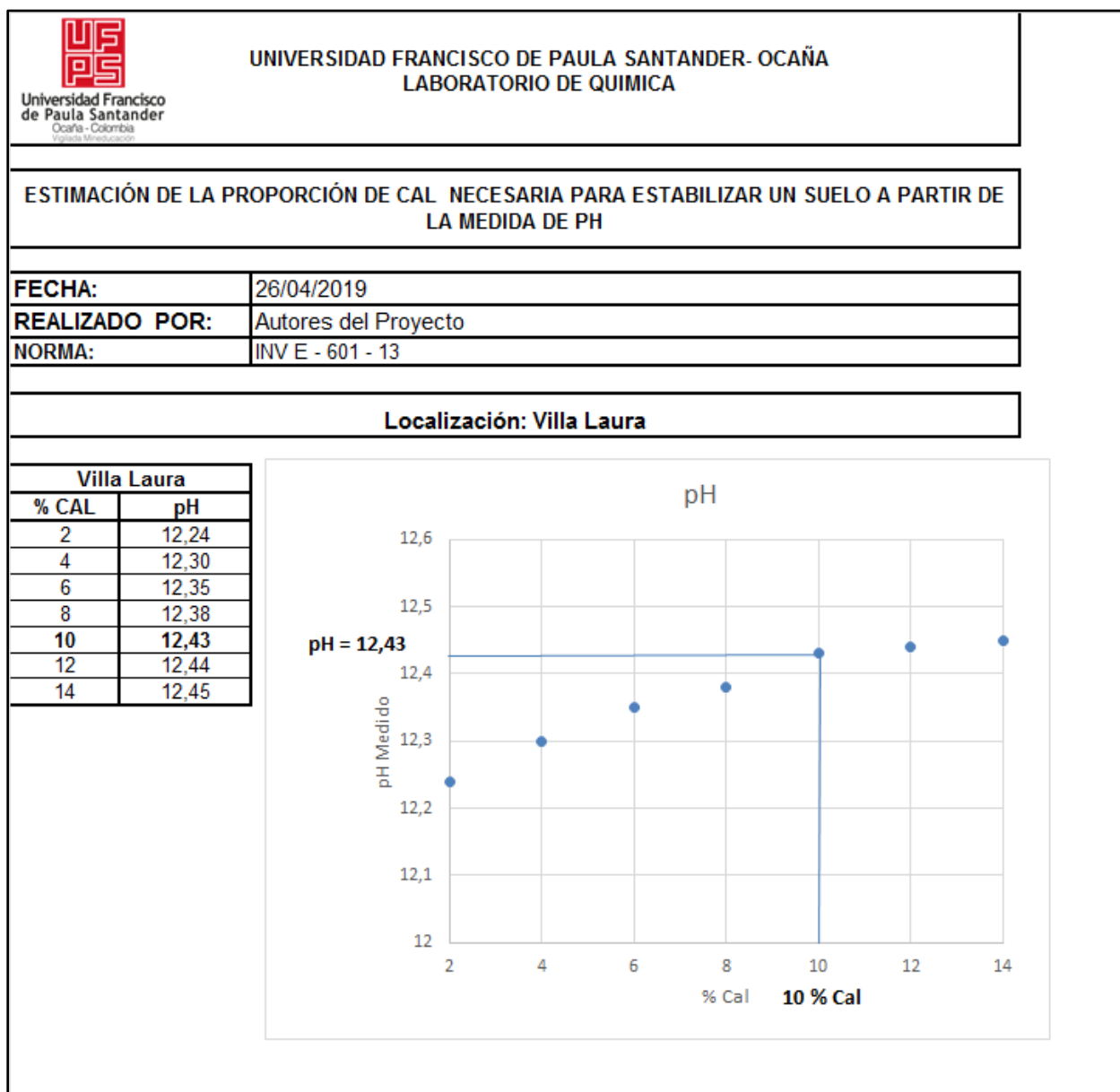
#### Esfuerzo vs Deformación



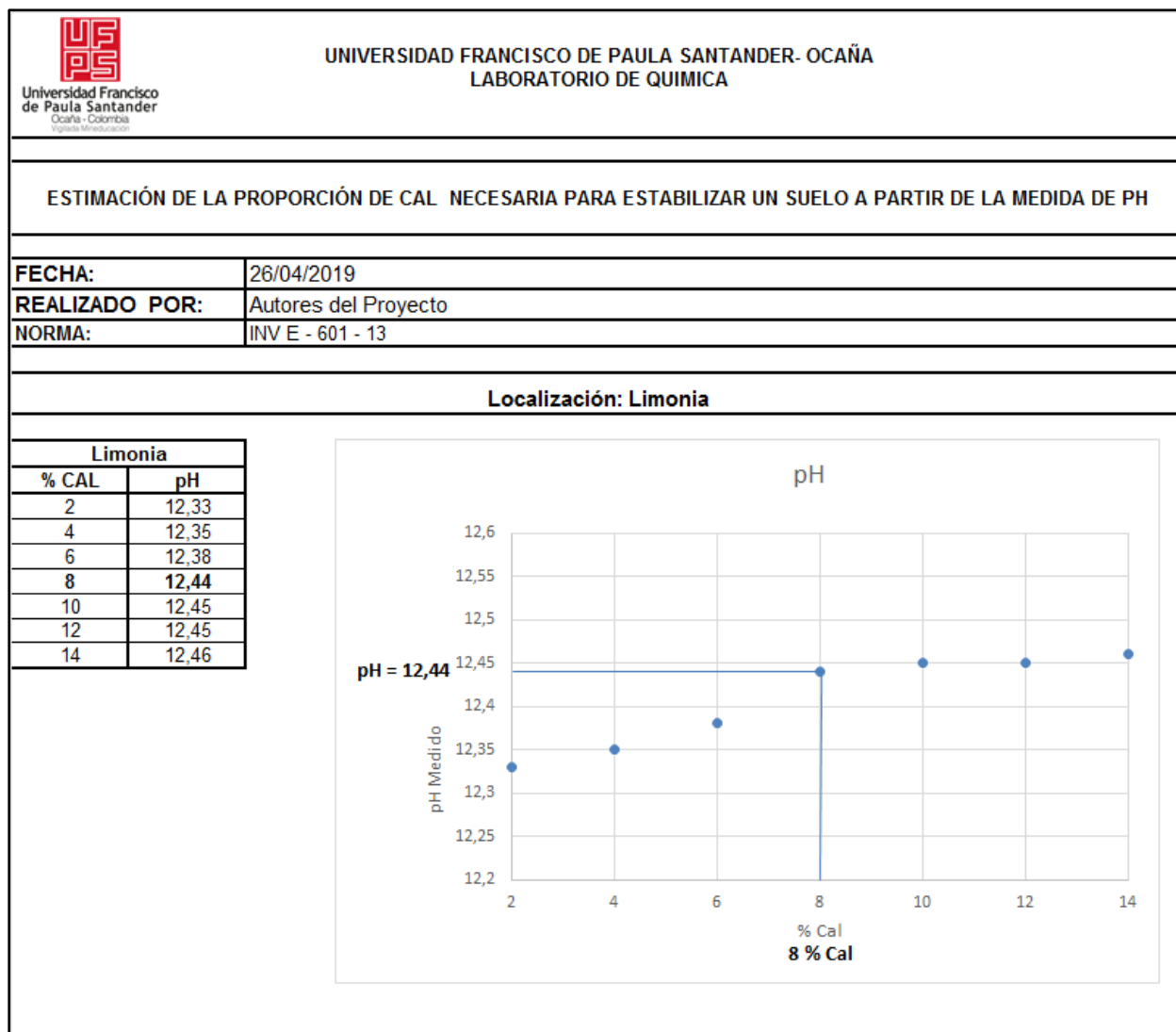
Deformación (%)	Esfuerzo (kPa)
0	0
0,254	49,642
0,508	127,641
0,762	165,233
1,016	188,697
1,27	214,009
1,524	241,150
1,778	270,101
2,032	300,840
2,286	325,538
2,54	342,305
2,794	364,800
3,048	377,491
3,302	372,738



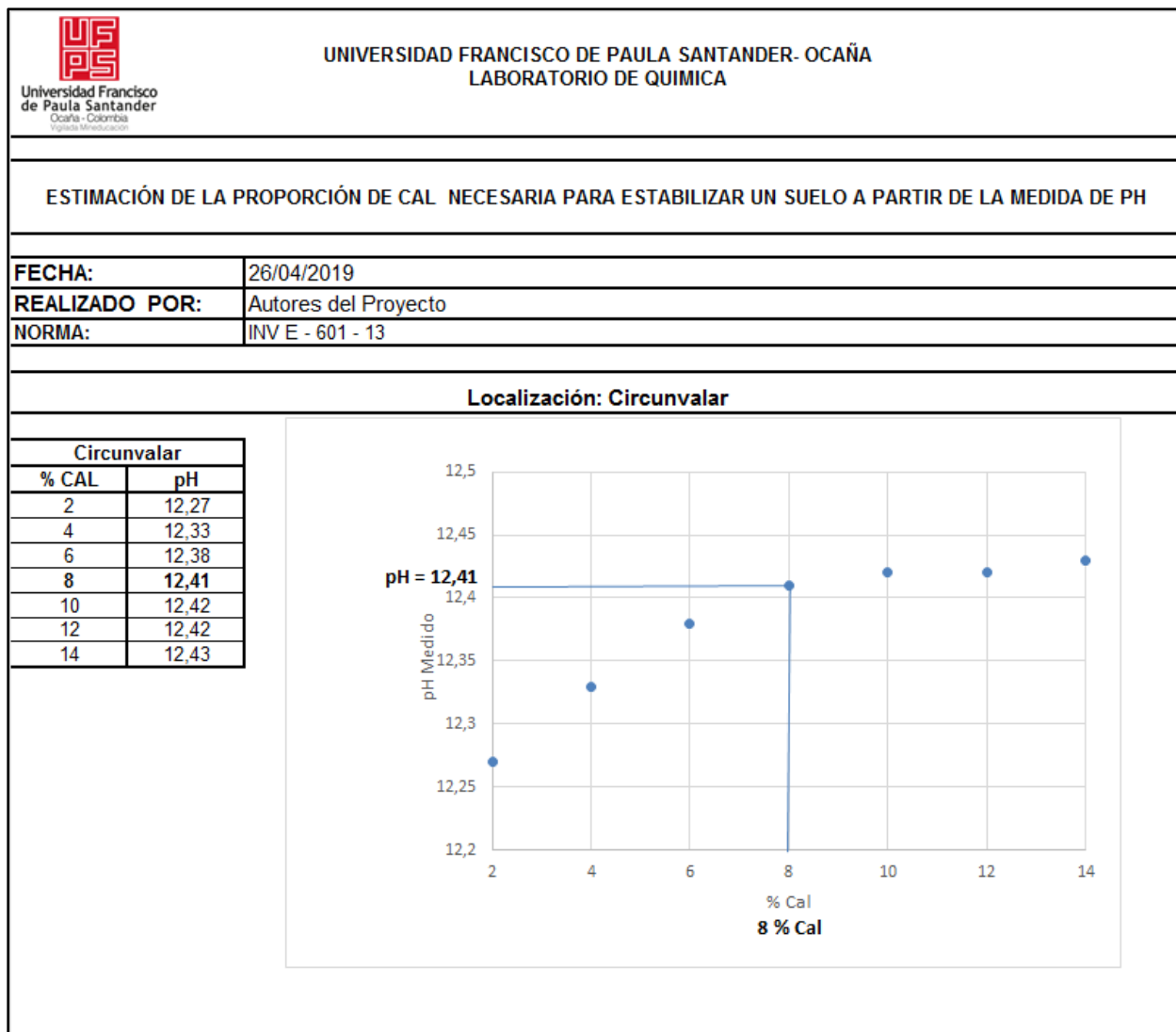
**Apéndice G.** Estimación de la proporción de cal necesaria para estabilizar un suelo a partir de la medida de pH. **Muestra Villa Laura.**




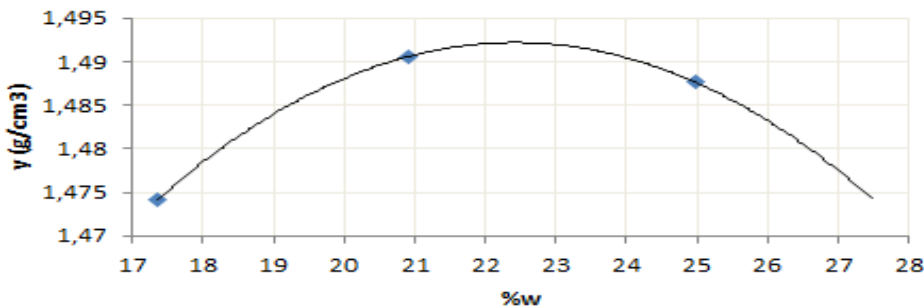
### Muestra Limonia.




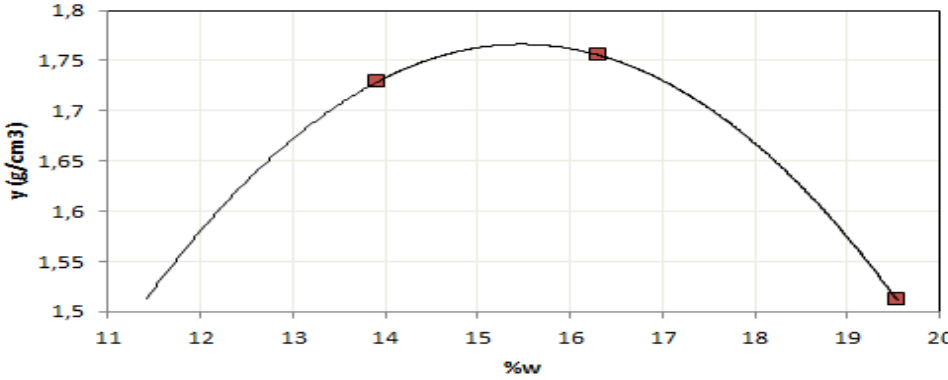
### Muestra Circunvalar.




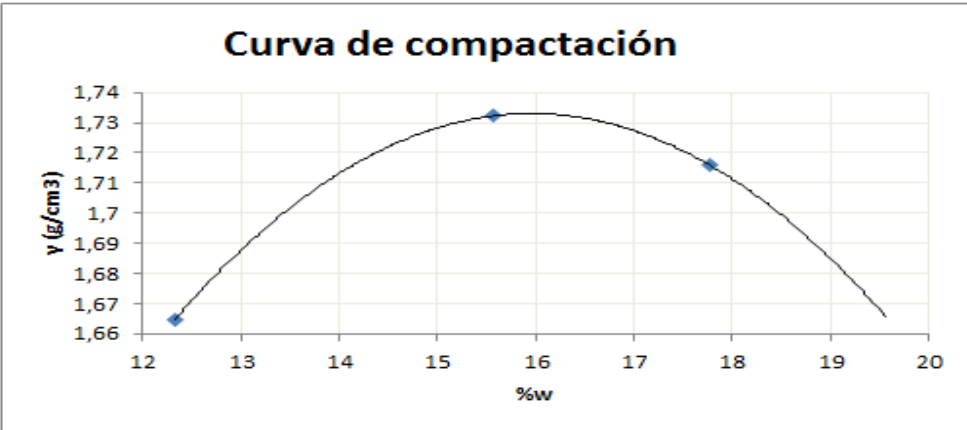
**Apéndice H. Proctor estándar con adición de cal. Muestra Limonia.**

 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia <small>Vigilada Mineducación</small>		<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA            SANTANDER- OCAÑA LABORATORIOS DE            SUELOS Y PAVIMENTOS</b>		
<b>ENSAYO DE PROCTOR ESTANDAR</b>				
LOCALIZACIÓN:	LIMONIA		Método	C
CAL %	8			
wtara (g)	30,3			
wtara+m.húmedo (g)	192,66			
wtara+m.seco (g)	173,79			
%w nat	13,15			
<b>Próctor estándar</b>				
Ensayo N°	3	4	5	
N° Golpes	25	25	25	
Humedad Natural (%)	13,15	13,15	13,15	
Humedad deseada (%)	20,15	23,15	27,15	
Humedad Adicional	6	9	13	
W muestra Húmeda (g)	2000	2000	2000	
W muestra seca (g)	1767,55	1767,55	1767,55	
W Agua adicional (g)	123,73	176,76	247,48	
# Molde	1	1	1	
W muestra+ molde (g)	3615	3684	3738	
W molde (g)	1965	1965	1965	
W muestra Húmeda (g)	1650	1719	1773	
<b>% Humedad</b>				
W tara (g)	32,2	31,12	38,5	
W tara+ m.humeda (g)	210,47	188,42	174,22	
W tara + m.seca (g)	184,1	161,2	147,1	
%W	17,36	20,93	24,97	
<b>Densidad</b>				
Vol. Molde (cm3)	953,67	953,67	953,67	
W seco (g)	1405,93	1421,54	1418,71	
$\gamma$ (g/cm3)	1,474	1,491	1,488	
<b>Curva de compactación</b>				
				

### Muestra Circunvalar

 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia <small>Vigilada Mineducación</small>		<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>	
<b>ENSAYO DE PROCTOR ESTANDAR</b>			
LOCALIZACIÓN:	CIRCUNVALAR	Método	C
CAL %	8		
wtara (g)	37,71		
wtara+m.húmedo (g)	157,23		
wtara+m.seco (g)	149,61		
%w nat	6,81		
<b>Próctor estandar</b>			
Ensayo N°	2	3	3
N° Golpes	25	25	25
Humedad Natural (%)	6,81	6,81	6,81
Humedad deseada (%)	16,81	19,81	22,81
Humedad Adicional	9	12	15
W muestra Húmeda (g)	2000	2000	2000
W muestra seca (g)	1872,49	1872,49	1872,49
W Agua adicional (g)	187,25	243,42	299,58
# Molde	2	3	3
W muestra+ molde (g)	3848	3912	3688
W molde (g)	1992	1965	1965
W muestra Húmeda (g)	1856	1947	1723
<b>% Humedad</b>			
W tara (g)	31,16	38,47	40,56
W tara+ m.humeda (g)	215,21	201,16	173,13
W tara + m.seca (g)	192,72	178,33	151,46
%W	13,92	16,32	19,54
<b>Densidad</b>			
Vol. Molde (cm <sup>3</sup> )	942,172	953,67	953,67
W seco (g)	1629,21	1673,78	1441,36
$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,729	1,755	1,511
<b>Curva de compactación</b>			
			

## Muestra Villa Laura


 <p>Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Vigilada Mineducación</p>		<p align="center"><b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b></p>	
<b>ENSAYO DE PROCTOR ESTANDAR</b>			
LOCALIZACIÓN:	VILLA LAURA	Método	C
CAL %	10		
wtara (g)			40,69
wtara+m.húmedo (g)			204,84
wtara+m.seco (g)			195,42
%w nat			6,09
<b>Próctor estandar</b>			
Ensayo N°	1	2	3
N° Golpes	25	25	25
Humedad Natural (%)	6,09	6,09	6,09
Humedad deseada (%)	14,09	17,09	20,09
Humedad Adicional	7	10	13
W muestra Húmeda (g)	2000	2000	2000
W muestra seca (g)	1885,2	1885,2	1885,2
W Agua adicional (g)	150,82	207,42	263,99
# Molde	1	2	3
W muestra+ molde (g)	3754	3878	3896
W molde (g)	1992	1992	1992
W muestra Húmeda (g)	1762	1886	1904
<b>% Humedad</b>			
W tara (g)	32,4	32,07	32,45
W tara+ m.humeda (g)	157,14	181,02	213,2
W tara + m.seca (g)	143,45	160,96	185,93
%W	12,33	15,56	17,77
<b>Densidad</b>			
Vol. Molde (cm <sup>3</sup> )	942,172	942,172	942,172
W seco (g)	1568,62	1632,00	1616,74
$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,665	1,732	1,716
 <p align="center"><b>Curva de compactación</b></p>			





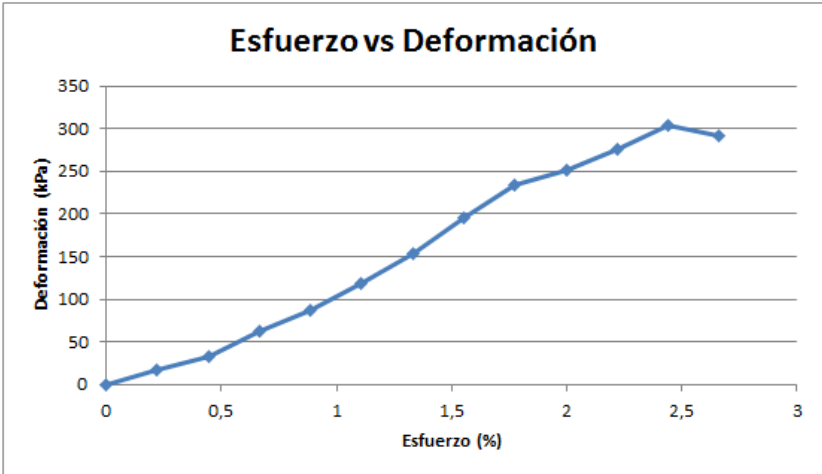


## Muestra Villa Laura, espécimen 1.


 <b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>																															
<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>																															
LOCALIZACION: <u>Finca Villa Laura-Aguas Claras</u>	DIAS DE CURADO: <u>7 dias</u>																														
DESCRIPCION: <u>Arena arcillosa color marrón claro</u>	ESPECIMEN <u>1</u>																														
	FECHA <u>12/04/2019</u>																														
<table border="1"> <tr><td>Diámetro</td><td>10,134</td><td>cm.</td></tr> <tr><td>Alt. Inicial</td><td>11,445</td><td>cm.</td></tr> <tr><td>Area</td><td>80,66</td><td>cm<sup>2</sup>.</td></tr> <tr><td>Volumen</td><td>923,14</td><td>cm<sup>3</sup>.</td></tr> <tr><td>P. Humedo</td><td>1831,08</td><td>gr.</td></tr> <tr><td>P. Unitario</td><td>1,98</td><td>gr/cm<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>Alt. Final</td><td>11,45</td><td>cm.</td></tr> </table>	Diámetro	10,134	cm.	Alt. Inicial	11,445	cm.	Area	80,66	cm <sup>2</sup> .	Volumen	923,14	cm <sup>3</sup> .	P. Humedo	1831,08	gr.	P. Unitario	1,98	gr/cm <sup>3</sup>	Alt. Final	11,45	cm.	<table border="1"> <tr><td>γ<sub>d</sub> max</td><td>1,771</td><td>gr/cm<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>G<sub>s</sub>:</td><td>2071</td><td></td></tr> <tr><td>W%</td><td>11,97</td><td>%</td></tr> </table>	γ <sub>d</sub> max	1,771	gr/cm <sup>3</sup>	G <sub>s</sub> :	2071		W%	11,97	%
Diámetro	10,134	cm.																													
Alt. Inicial	11,445	cm.																													
Area	80,66	cm <sup>2</sup> .																													
Volumen	923,14	cm <sup>3</sup> .																													
P. Humedo	1831,08	gr.																													
P. Unitario	1,98	gr/cm <sup>3</sup>																													
Alt. Final	11,45	cm.																													
γ <sub>d</sub> max	1,771	gr/cm <sup>3</sup>																													
G <sub>s</sub> :	2071																														
W%	11,97	%																													
Lectura del deformimetro (0.001")	Deformación de la muestra Δh (m.m.)	Deformación unitaria ε	Area C.F 1-ε	Ac (cm <sup>2</sup> )	Deformimetro de carga C (Unidades)	C (kN)	σ (kPa)	%ε																							
0	0	0	0	80,84	0	0	0	0																							
10	0,254	0,00222	0,99778	80,84	2	0,133	16,40	0,22																							
20	0,508	0,00444	0,99556	81,02	5	0,273	33,64	0,44																							
30	0,762	0,00666	0,99334	81,20	10	0,506	62,27	0,67																							
40	1,016	0,00888	0,99112	81,38	14,5	0,715	87,91	0,89																							
50	1,27	0,01110	0,98890	81,56	20	0,972	119,15	1,11																							
60	1,524	0,01332	0,98668	81,75	26	1,251	153,08	1,33																							
70	1,778	0,01554	0,98446	81,93	33,5	1,601	195,39	1,55																							
80	2,032	0,01775	0,98225	82,12	40,5	1,927	234,65	1,78																							
90	2,286	0,01997	0,98003	82,30	43,5	2,067	251,10	2,00																							
100	2,54	0,02219	0,97781	82,49	48	2,276	275,93	2,22																							
110	2,794	0,02441	0,97559	82,68	53	2,509	303,46	2,44																							
120	3,048	0,02663	0,97337	82,87	51	2,416	291,53	2,66																							

### Esfuerzo vs Deformación

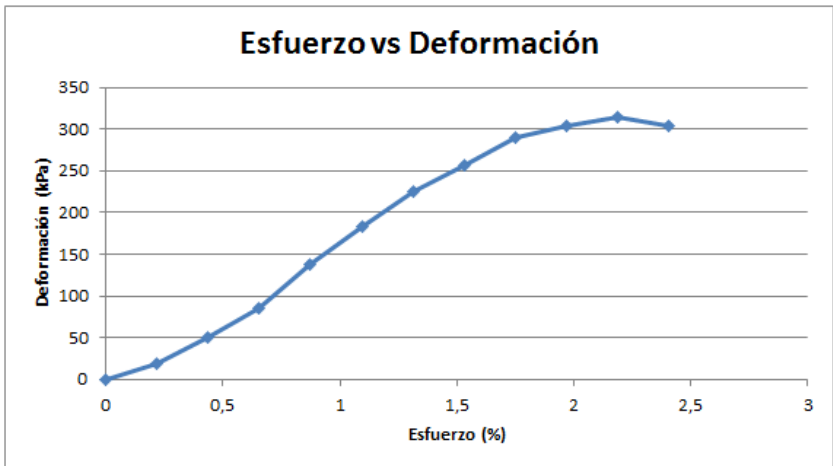


## Muestra Villa Laura, espécimen 2.

		<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>						
<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>								
LOCALIZACIÓN:	Finca Villa Laura-Aguas Claras	DIAS DE CURADO:	7 días					
DESCRIPCIÓN:	Arena arcillosa color marrón claro.	ESPECIMEN	2					
		FECHA	22/05/2019					
Diámetro	10,116	cm.	yd max	1,729	gr/cm3			
Alt. Inicial	11,615	cm.	Gs:	2071				
Area	80,37	cm <sup>2</sup>	W%	11,97	%			
Volumen	933,53	cm <sup>3</sup>						
P. Humedo	1807,15	gr.						
P. Unitario	1,94	gr/cm <sup>3</sup>						
Alt. Final	11,62	cm.						
Lectura del deformímetro (0.001")	Deformación de la muestra $\Delta h$ (m.m.)	Deformación unitaria ( $\epsilon$ )	Area C.F 1- $\epsilon$	Ac (cm <sup>2</sup> )	Deformímetro de carga C (Unidades)	C (kN)	$\sigma$ (kPa)	% $\epsilon$
0	0	0	0	80,55	0	0	0	0
10	0,254	0,00219	0,99781	80,55	2,5	0,156	19,358	0,22
20	0,508	0,00437	0,99563	80,73	8	0,412	51,086	0,44
30	0,762	0,00656	0,99344	80,90	14	0,692	85,550	0,66
40	1,016	0,00875	0,99125	81,08	23	1,112	137,098	0,87
50	1,27	0,01093	0,98907	81,26	31	1,484	182,667	1,09
60	1,524	0,01312	0,98688	81,44	38,5	1,834	225,162	1,31
70	1,778	0,01531	0,98469	81,62	44	2,090	256,044	1,53
80	2,032	0,01749	0,98251	81,80	50	2,369	289,627	1,75
90	2,286	0,01968	0,98032	81,99	52,5	2,486	303,179	1,97
100	2,54	0,02187	0,97813	82,17	54,5	2,579	313,833	2,19
110	2,794	0,02406	0,97594	82,35	53	2,509	304,652	2,41

### Esfuerzo vs Deformación



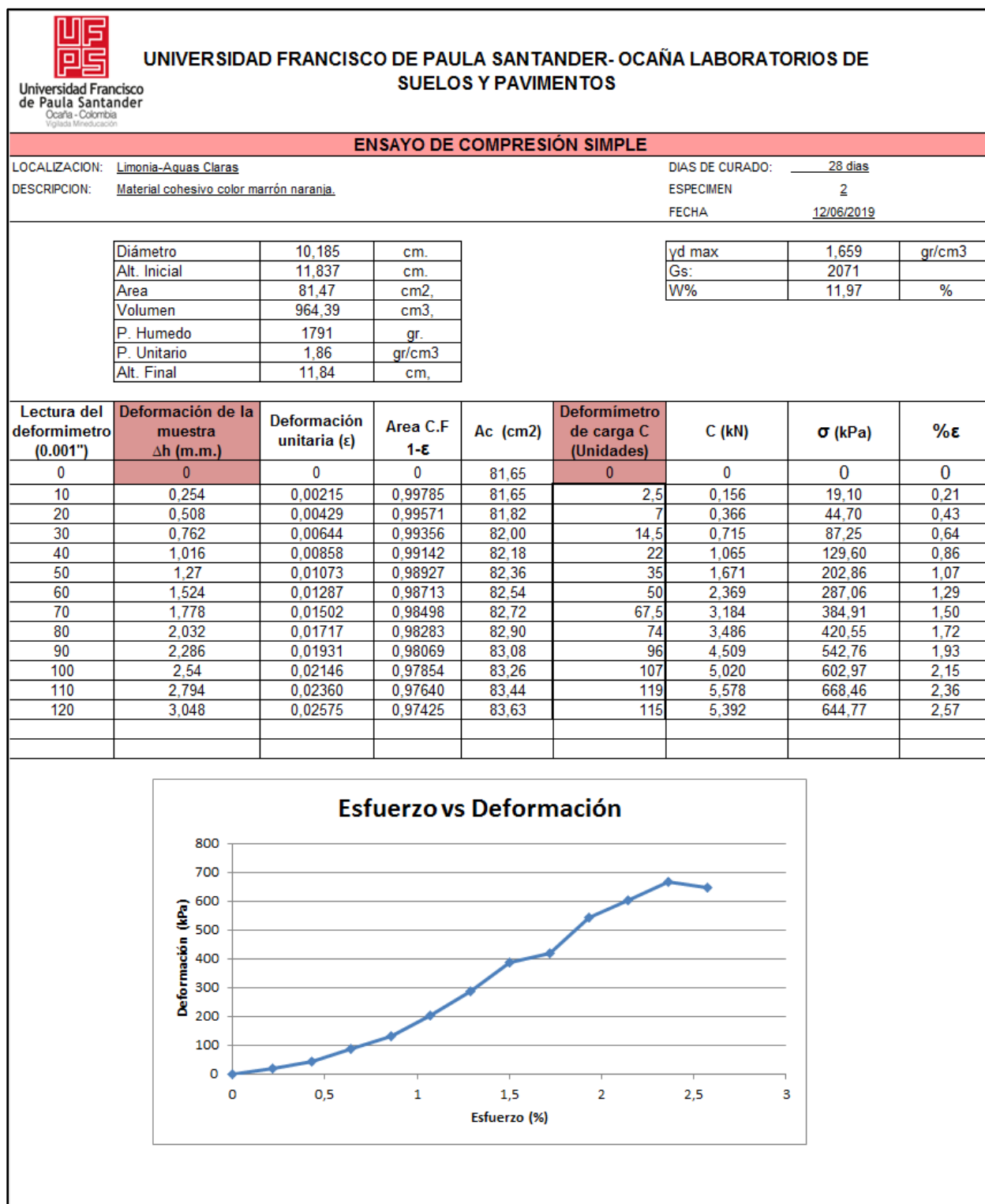
Esfuerzo (%)	Deformación (kPa)
0	0
0,22	19,358
0,44	51,086
0,66	85,550
0,87	137,098
1,09	182,667
1,31	225,162
1,53	256,044
1,75	289,627
1,97	303,179
2,19	313,833
2,41	304,652








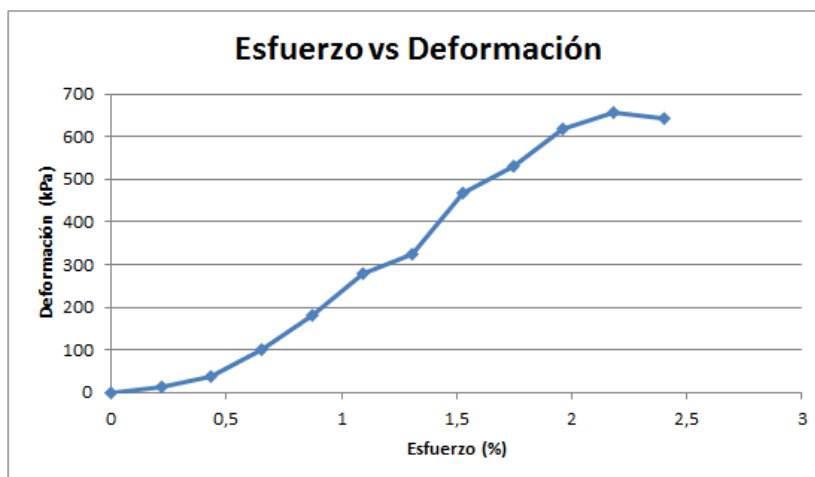
## Muestra Limonia, espécimen 2.



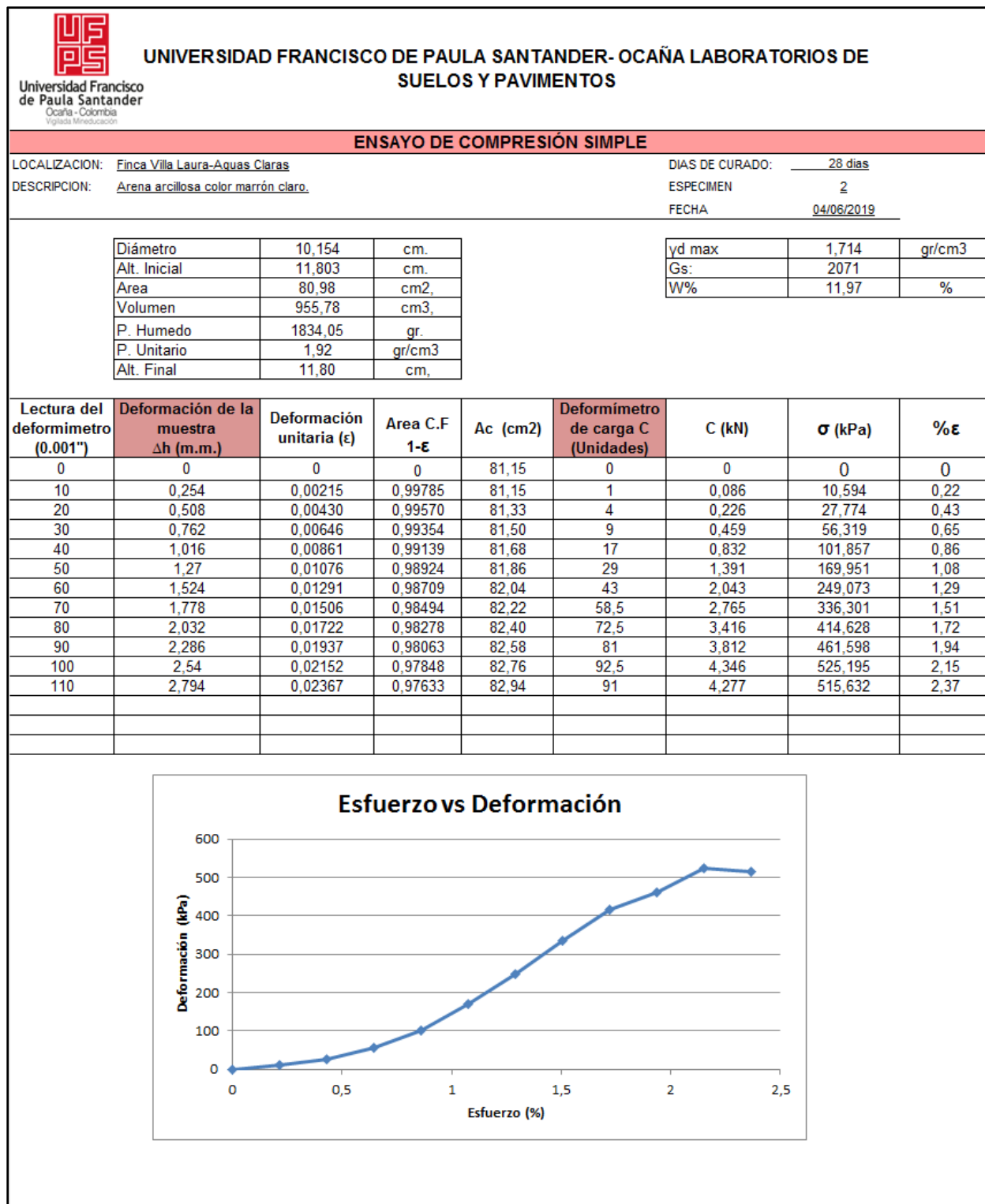


## Muestra Villa Laura. Espécimen 1


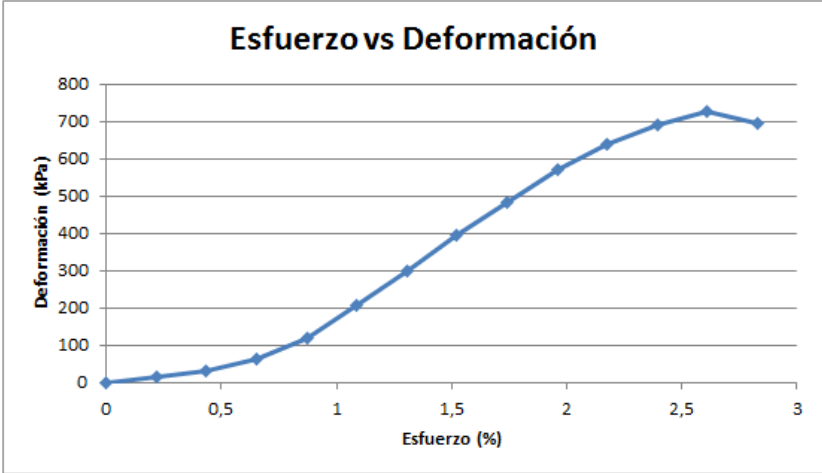
		<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>																													
<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>																															
LOCALIZACION:	Finca Villa Laura-Aguas Claras	DIAS DE CURADO:	28 días																												
DESCRIPCION:	Arena arcillosa color marrón claro	ESPECIMEN	1																												
		FECHA	04/06/2019																												
<table border="1"> <tr><td>Diámetro</td><td>10,163</td><td>cm.</td></tr> <tr><td>Alt. Inicial</td><td>11,646</td><td>cm.</td></tr> <tr><td>Area</td><td>81,12</td><td>cm<sup>2</sup>.</td></tr> <tr><td>Volumen</td><td>944,74</td><td>cm<sup>3</sup>.</td></tr> <tr><td>P. Humedo</td><td>1844,98</td><td>gr.</td></tr> <tr><td>P. Unitario</td><td>1,95</td><td>gr/cm<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>Alt. Final</td><td>11,65</td><td>cm.</td></tr> </table>	Diámetro	10,163	cm.	Alt. Inicial	11,646	cm.	Area	81,12	cm <sup>2</sup> .	Volumen	944,74	cm <sup>3</sup> .	P. Humedo	1844,98	gr.	P. Unitario	1,95	gr/cm <sup>3</sup>	Alt. Final	11,65	cm.	<table border="1"> <tr><td>yd max</td><td>1,744</td><td>gr/cm<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>Gs:</td><td>2071</td><td></td></tr> <tr><td>W%</td><td>11,97</td><td>%</td></tr> </table>	yd max	1,744	gr/cm <sup>3</sup>	Gs:	2071		W%	11,97	%
Diámetro	10,163	cm.																													
Alt. Inicial	11,646	cm.																													
Area	81,12	cm <sup>2</sup> .																													
Volumen	944,74	cm <sup>3</sup> .																													
P. Humedo	1844,98	gr.																													
P. Unitario	1,95	gr/cm <sup>3</sup>																													
Alt. Final	11,65	cm.																													
yd max	1,744	gr/cm <sup>3</sup>																													
Gs:	2071																														
W%	11,97	%																													
<b>Lectura del deformimetro (0.001")</b>	<b>Deformación de la muestra Δh (m.m.)</b>	<b>Deformación unitaria ε</b>	<b>Area C.F 1-ε</b>	<b>Ac (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deformimetro de carga C (Unidades)</b>	<b>C (kN)</b>	<b>σ (kPa)</b>	<b>%ε</b>																							
0	0	0	0	81,30	0	0	0	0																							
10	0,254	0,00218	0,99782	81,30	1,5	0,109	13,44	0,22																							
20	0,508	0,00436	0,99564	81,48	5,5	0,296	36,31	0,44																							
30	0,762	0,00654	0,99346	81,66	16,5	0,809	99,03	0,65																							
40	1,016	0,00872	0,99128	81,84	31	1,484	181,39	0,87																							
50	1,27	0,01091	0,98909	82,02	48,5	2,299	280,36	1,09																							
60	1,524	0,01309	0,98691	82,20	56,5	2,672	325,05	1,31																							
70	1,778	0,01527	0,98473	82,38	82	3,858	468,35	1,53																							
80	2,032	0,01745	0,98255	82,56	93	4,370	529,26	1,74																							
90	2,286	0,01963	0,98037	82,75	109	5,113	617,95	1,96																							
100	2,54	0,02181	0,97819	82,93	116	5,438	655,78	2,18																							
110	2,794	0,02399	0,97601	83,12	114	5,346	643,15	2,40																							



## Muestra Villa Laura, espécimen 2.


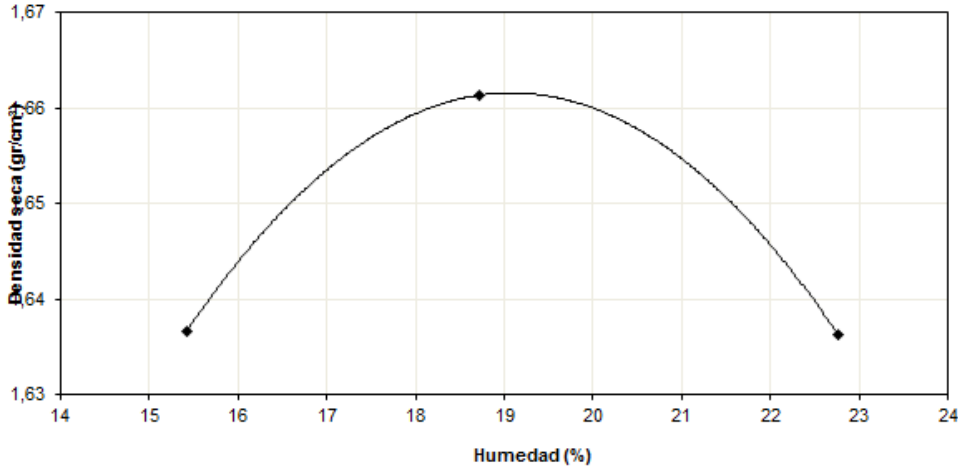


## Muestra Circunvalar, espécimen 1.


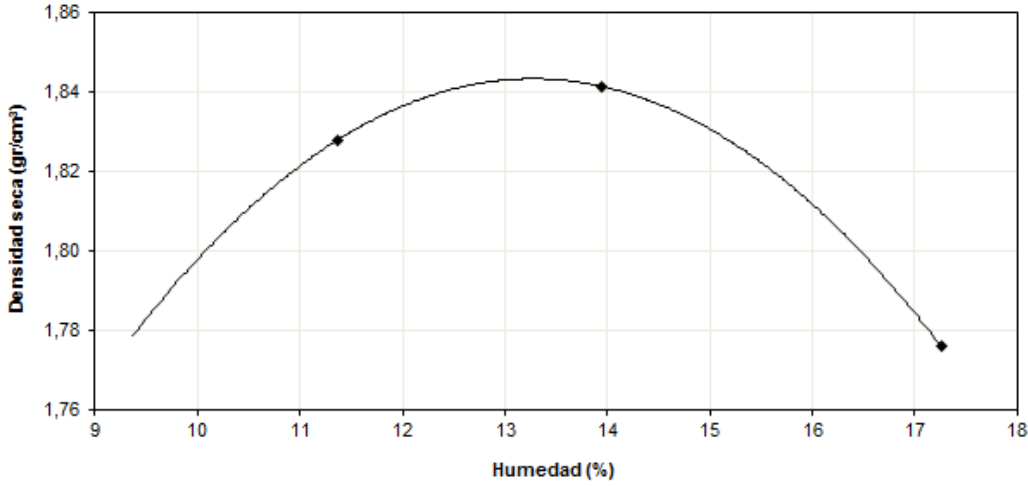
		<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>																																																																																																																																							
<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>																																																																																																																																									
LOCALIZACION: <u>Circunvalar</u>		DIAS DE CURADO: <u>28 días</u>																																																																																																																																							
DESCRIPCION: <u>Arena arcillosa color marrón claro.</u>		ESPECIMEN <u>1</u>																																																																																																																																							
		FECHA <u>12/06/2019</u>																																																																																																																																							
<table border="1"> <tr><td>Diámetro</td><td>10,178</td><td>cm.</td></tr> <tr><td>Alt. Inicial</td><td>11,67</td><td>cm.</td></tr> <tr><td>Area</td><td>81,36</td><td>cm<sup>2</sup>.</td></tr> <tr><td>Volumen</td><td>949,48</td><td>cm<sup>3</sup>.</td></tr> <tr><td>P. Humedo</td><td>1928</td><td>gr.</td></tr> <tr><td>P. Unitario</td><td>2,03</td><td>gr/cm<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>Alt. Final</td><td>11,67</td><td>cm.</td></tr> </table>		Diámetro	10,178	cm.	Alt. Inicial	11,67	cm.	Area	81,36	cm <sup>2</sup> .	Volumen	949,48	cm <sup>3</sup> .	P. Humedo	1928	gr.	P. Unitario	2,03	gr/cm <sup>3</sup>	Alt. Final	11,67	cm.	<table border="1"> <tr><td>yd max</td><td>1,813</td><td>gr/cm<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>Gs:</td><td>2071</td><td></td></tr> <tr><td>W%</td><td>11,97</td><td>%</td></tr> </table>		yd max	1,813	gr/cm <sup>3</sup>	Gs:	2071		W%	11,97	%																																																																																																								
Diámetro	10,178	cm.																																																																																																																																							
Alt. Inicial	11,67	cm.																																																																																																																																							
Area	81,36	cm <sup>2</sup> .																																																																																																																																							
Volumen	949,48	cm <sup>3</sup> .																																																																																																																																							
P. Humedo	1928	gr.																																																																																																																																							
P. Unitario	2,03	gr/cm <sup>3</sup>																																																																																																																																							
Alt. Final	11,67	cm.																																																																																																																																							
yd max	1,813	gr/cm <sup>3</sup>																																																																																																																																							
Gs:	2071																																																																																																																																								
W%	11,97	%																																																																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lectura del deformímetro (0.001")</th> <th>Deformación de la muestra Δh (m.m.)</th> <th>Deformación unitaria ε</th> <th>Area C.F 1-ε</th> <th>Ac (cm<sup>2</sup>)</th> <th>Deformímetro de carga C (Unidades)</th> <th>C (kN)</th> <th>σ (kPa)</th> <th>%ε</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>81,54</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>10</td><td>0,254</td><td>0,00218</td><td>0,99782</td><td>81,54</td><td>2</td><td>0,133</td><td>16,263</td><td>0,22</td></tr> <tr><td>20</td><td>0,508</td><td>0,00435</td><td>0,99565</td><td>81,72</td><td>4,5</td><td>0,249</td><td>30,495</td><td>0,44</td></tr> <tr><td>30</td><td>0,762</td><td>0,00653</td><td>0,99347</td><td>81,90</td><td>10</td><td>0,506</td><td>61,743</td><td>0,65</td></tr> <tr><td>40</td><td>1,016</td><td>0,00871</td><td>0,99129</td><td>82,08</td><td>20</td><td>0,972</td><td>118,403</td><td>0,87</td></tr> <tr><td>50</td><td>1,27</td><td>0,01088</td><td>0,98912</td><td>82,26</td><td>35,5</td><td>1,694</td><td>205,943</td><td>1,09</td></tr> <tr><td>60</td><td>1,524</td><td>0,01306</td><td>0,98694</td><td>82,44</td><td>52</td><td>2,462</td><td>298,696</td><td>1,31</td></tr> <tr><td>70</td><td>1,778</td><td>0,01524</td><td>0,98476</td><td>82,62</td><td>69</td><td>3,254</td><td>393,798</td><td>1,52</td></tr> <tr><td>80</td><td>2,032</td><td>0,01741</td><td>0,98259</td><td>82,80</td><td>85</td><td>3,998</td><td>482,804</td><td>1,74</td></tr> <tr><td>90</td><td>2,286</td><td>0,01959</td><td>0,98041</td><td>82,99</td><td>101</td><td>4,742</td><td>571,360</td><td>1,96</td></tr> <tr><td>100</td><td>2,54</td><td>0,02177</td><td>0,97823</td><td>83,17</td><td>113</td><td>5,299</td><td>637,128</td><td>2,18</td></tr> <tr><td>110</td><td>2,794</td><td>0,02394</td><td>0,97606</td><td>83,36</td><td>123</td><td>5,763</td><td>691,428</td><td>2,39</td></tr> <tr><td>120</td><td>3,048</td><td>0,02612</td><td>0,97388</td><td>83,54</td><td>129,5</td><td>6,065</td><td>726,011</td><td>2,61</td></tr> <tr><td>130</td><td>3,302</td><td>0,02829</td><td>0,97171</td><td>83,73</td><td>124</td><td>5,810</td><td>693,890</td><td>2,83</td></tr> </tbody> </table>	Lectura del deformímetro (0.001")	Deformación de la muestra Δh (m.m.)	Deformación unitaria ε	Area C.F 1-ε	Ac (cm <sup>2</sup> )	Deformímetro de carga C (Unidades)	C (kN)	σ (kPa)	%ε	0	0	0	0	81,54	0	0	0	0	10	0,254	0,00218	0,99782	81,54	2	0,133	16,263	0,22	20	0,508	0,00435	0,99565	81,72	4,5	0,249	30,495	0,44	30	0,762	0,00653	0,99347	81,90	10	0,506	61,743	0,65	40	1,016	0,00871	0,99129	82,08	20	0,972	118,403	0,87	50	1,27	0,01088	0,98912	82,26	35,5	1,694	205,943	1,09	60	1,524	0,01306	0,98694	82,44	52	2,462	298,696	1,31	70	1,778	0,01524	0,98476	82,62	69	3,254	393,798	1,52	80	2,032	0,01741	0,98259	82,80	85	3,998	482,804	1,74	90	2,286	0,01959	0,98041	82,99	101	4,742	571,360	1,96	100	2,54	0,02177	0,97823	83,17	113	5,299	637,128	2,18	110	2,794	0,02394	0,97606	83,36	123	5,763	691,428	2,39	120	3,048	0,02612	0,97388	83,54	129,5	6,065	726,011	2,61	130	3,302	0,02829	0,97171	83,73	124	5,810	693,890	2,83		
Lectura del deformímetro (0.001")	Deformación de la muestra Δh (m.m.)	Deformación unitaria ε	Area C.F 1-ε	Ac (cm <sup>2</sup> )	Deformímetro de carga C (Unidades)	C (kN)	σ (kPa)	%ε																																																																																																																																	
0	0	0	0	81,54	0	0	0	0																																																																																																																																	
10	0,254	0,00218	0,99782	81,54	2	0,133	16,263	0,22																																																																																																																																	
20	0,508	0,00435	0,99565	81,72	4,5	0,249	30,495	0,44																																																																																																																																	
30	0,762	0,00653	0,99347	81,90	10	0,506	61,743	0,65																																																																																																																																	
40	1,016	0,00871	0,99129	82,08	20	0,972	118,403	0,87																																																																																																																																	
50	1,27	0,01088	0,98912	82,26	35,5	1,694	205,943	1,09																																																																																																																																	
60	1,524	0,01306	0,98694	82,44	52	2,462	298,696	1,31																																																																																																																																	
70	1,778	0,01524	0,98476	82,62	69	3,254	393,798	1,52																																																																																																																																	
80	2,032	0,01741	0,98259	82,80	85	3,998	482,804	1,74																																																																																																																																	
90	2,286	0,01959	0,98041	82,99	101	4,742	571,360	1,96																																																																																																																																	
100	2,54	0,02177	0,97823	83,17	113	5,299	637,128	2,18																																																																																																																																	
110	2,794	0,02394	0,97606	83,36	123	5,763	691,428	2,39																																																																																																																																	
120	3,048	0,02612	0,97388	83,54	129,5	6,065	726,011	2,61																																																																																																																																	
130	3,302	0,02829	0,97171	83,73	124	5,810	693,890	2,83																																																																																																																																	
<div style="text-align: center;"> <h3>Esfuerzo vs Deformación</h3>  </div>																																																																																																																																									




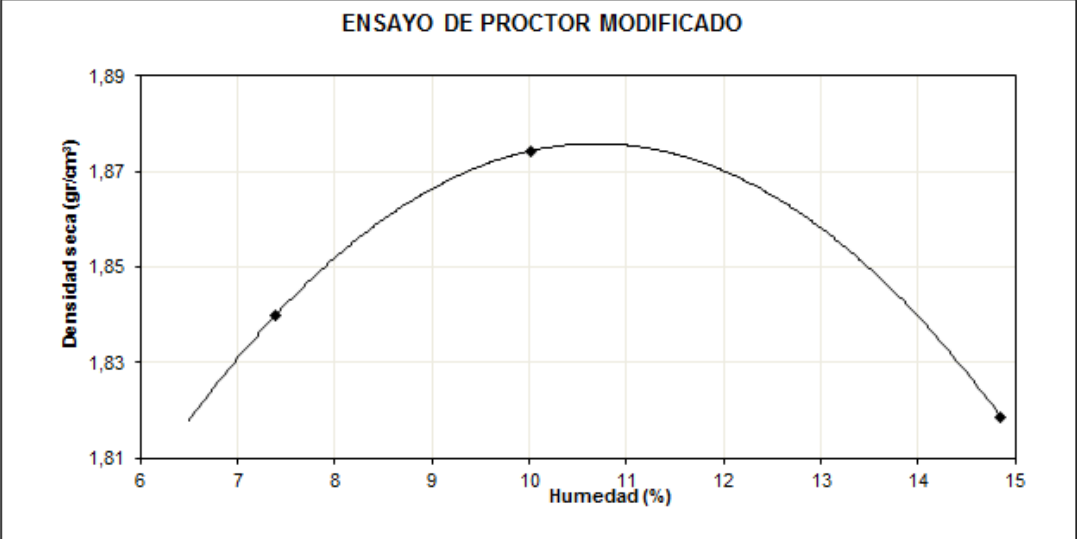
### Apéndice J. Ensayo de proctor modificado con adición de cal. Muestra Limonia.

 <b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA</b> <b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>													
<b>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</b>													
<b>Datos de muestra</b>													
<b>Ubicación(Km)</b>	Limonia												
<b>Muestra</b>	2												
<b>Fecha</b>	25/05/2019												
<b>Método</b>	C												
<b>Compactación</b>													
Prueba N°	1	2	3										
Numero de capas	5	5	5										
Numero de golpes	56	56	56										
Peso suelo + molde (gr.)	6923	7098	7175										
Peso molde (gr.)	2940	2940	2940										
Peso suelo compactado (gr.)	3983	4158	4235										
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2108,28	2108,28	2108,28										
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1,889	1,972	2,009										
<b>Humedad (%)</b>													
Tara N°	5	3	5										
Tara + suelo húmedo (gr.)	120,47	116,70	115,14										
Tara + suelo seco (gr.)	109,04	104,42	101,23										
Peso de agua (gr.)	11,43	12,28	13,91										
Peso de tara (gr.)	34,95	38,80	40,13										
Peso de suelo seco (gr.)	74,09	65,62	61,10										
Humedad (%)	15,43	18,71	22,8										
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,637	1,661	1,636										
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	:	<b>1,661</b>											
Optimo Contenido de Humedad (%)	:	<b>18,71</b>											
<b>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</b>													
 <p>The graph plots Dry Density (gr/cm<sup>3</sup>) on the y-axis (ranging from 1.63 to 1.67) against Moisture (%) on the x-axis (ranging from 14 to 24). A smooth curve is drawn through three data points, showing a peak at approximately 18.71% moisture and 1.661 gr/cm<sup>3</sup> dry density.</p> <table border="1"> <caption>Data points from the Proctor test graph</caption> <thead> <tr> <th>Moisture (%)</th> <th>Dry Density (gr/cm<sup>3</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15.43</td> <td>1.637</td> </tr> <tr> <td>18.71</td> <td>1.661</td> </tr> <tr> <td>22.8</td> <td>1.636</td> </tr> </tbody> </table>						Moisture (%)	Dry Density (gr/cm <sup>3</sup> )	15.43	1.637	18.71	1.661	22.8	1.636
Moisture (%)	Dry Density (gr/cm <sup>3</sup> )												
15.43	1.637												
18.71	1.661												
22.8	1.636												


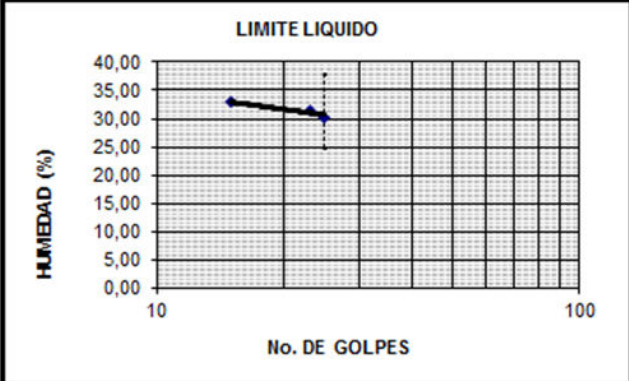
## Muestra Villa Laura.

 <b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA</b> <b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>													
<b>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</b>													
<b>Datos de muestra</b>													
Ubicación(Km)	VILLA LAURA												
Muestra	1												
Fecha	29/05/2019												
Método	C												
<b>Compactación</b>													
Prueba N°	1	2	3										
Numero de capas	5	5	5										
Numero de golpes	56	56	56										
Peso suelo + molde (gr.)	7231	7363	7330										
Peso molde (gr.)	2940	2940	2940										
Peso suelo compactado (gr.)	4291	4423	4390										
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2108,28	2108,28	2108,28										
Densidad humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2,035	2,098	2,082										
<b>Humedad (%)</b>													
Tara N°	1	4	6										
Tara + suelo húmedo (gr.)	106,79	113,66	122,89										
Tara + suelo seco (gr.)	99,46	104,03	109,95										
Peso de agua (gr.)	7,33	9,63	12,94										
Peso de tara (gr.)	34,95	34,97	34,97										
Peso de suelo seco (gr.)	64,51	69,06	74,98										
Humedad (%)	11,36	13,94	17,26										
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,828	1,841	1,776										
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	:	<b>1,849</b>											
Optimo Contenido de Humedad (%)	:	<b>13,34</b>											
<b>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</b>													
 <p>The graph plots Dry Density (gr/cm<sup>3</sup>) on the y-axis (ranging from 1.76 to 1.86) against Moisture (%) on the x-axis (ranging from 9 to 18). A smooth curve is drawn through three data points, showing a peak at approximately 13.34% moisture and 1.849 gr/cm<sup>3</sup> dry density.</p> <table border="1"> <caption>Data points from the Proctor test graph</caption> <thead> <tr> <th>Humedad (%)</th> <th>Densidad seca (gr/cm<sup>3</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>11.36</td> <td>1.828</td> </tr> <tr> <td>13.94</td> <td>1.841</td> </tr> <tr> <td>17.26</td> <td>1.776</td> </tr> </tbody> </table>						Humedad (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	11.36	1.828	13.94	1.841	17.26	1.776
Humedad (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )												
11.36	1.828												
13.94	1.841												
17.26	1.776												

### Muestra Circunvalar.


		<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA</b> <b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>			
<b>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</b>					
<b>Datos de muestra</b>					
Ubicación(Km)	CIRCUNVALAR				
Muestra	3				
Fecha	27/05/2019				
Método	C				
<b>Compactación</b>					
Prueba N°	1	2	3		
Numero de capas	5	5	5		
Numero de golpes	56	56	56		
Peso suelo + molde (gr.)	7106	7287	7344		
Peso molde (gr.)	2940	2940	2940		
Peso suelo compactado (gr.)	4166	4347	4404		
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2108,28	2108,28	2108,28		
Densidad humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1,976	2,062	2,089		
<b>Humedad (%)</b>					
Tara N°	11	8	12		
Tara + suelo húmedo (gr.)	137,23	155,95	120,50		
Tara + suelo seco (gr.)	130,65	144,71	109,09		
Peso de agua (gr.)	6,58	11,24	11,41		
Peso de tara (gr.)	41,64	32,41	32,28		
Peso de suelo seco (gr.)	89,01	112,30	76,81		
Humedad (%)	7,4	10,0	14,9		
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,840	1,874	1,819		
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) : <b>1,875</b> Optimo Contenido de Humedad (%) : <b>10,53</b>					
<b>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</b>					
					

### Apéndice K. Límites de Atterberg con cal. Muestra Circunvalar.


 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia <small>Escuela de Ingeniería</small>	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA</b> <b>LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>						
<b>LIMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG</b>							
<b>FECHA:</b>	11/06/2019						
<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Ocaña, Circunvalar						
<b>REALIZADO POR:</b>	Autores del Proyecto						
<b>DESCRIPCIÓN :</b>	Material limo arcilloso, con arenas color naranja						
<b>LIMITE LIQUIDO</b>							
<b>NÚMERO DE GOLPES</b>	15	23	25				
<b>NÚMERO DEL RECIPIENTE</b>	25	21	35				
<b>PESO DEL RECIPIENTE ( Gr. )</b>	20,39	18,01	18,25				
<b>PESO HÚMEDO ( Gr. )</b>	40,29	35,59	37,81				
<b>PESO SECO ( Gr. )</b>	35,37	31,39	33,26				
<b>HUMEDAD ( % )</b>	32,84	31,39	30,31				
<b>LIMITE PLASTICO</b>							
<b>NÚMERO DEL RECIPIENTE</b>	1	2					
<b>PESO DEL RECIPIENTE ( Gr. )</b>	7,45	11,95					
<b>PESO HÚMEDO (Gr. )</b>	12,40	17,23					
<b>PESO SECO ( Gr. )</b>	11,34	16,06					
<b>HUMEDAD ( % )</b>	27,25	28,47					
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td><b>LIMITE LIQUIDO (%)</b></td> <td style="text-align: right;">30,63</td> </tr> <tr> <td><b>LIMITE PLASTICO (%)</b></td> <td style="text-align: right;">27,86</td> </tr> <tr> <td><b>INDICE DE PLASTICIDAD</b></td> <td style="text-align: right;">2,78</td> </tr> </table>	<b>LIMITE LIQUIDO (%)</b>	30,63	<b>LIMITE PLASTICO (%)</b>	27,86	<b>INDICE DE PLASTICIDAD</b>	2,78
<b>LIMITE LIQUIDO (%)</b>	30,63						
<b>LIMITE PLASTICO (%)</b>	27,86						
<b>INDICE DE PLASTICIDAD</b>	2,78						



## Apéndice L. Ensayo de la relación de soporte de California CBR con adición de cal. **Muestra Limonia.**

		<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA</b> <b>LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>				
<b>ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)</b>						
Realizado por :	Ana Milena Sanchez - Robin Danilo Rincón					
Revisado por :						
Fecha	14/06/2019					
<b>Datos de muestra</b>						
Ubicación	Limonia					
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) :	1,661					
Optimo Contenido de Humedad (%) :	18,71					
<b>Compactación</b>						
Molde N°	10	11	8			
Número de capas	5	5	5			
Número de golpes	56	25	10			
Peso suelo + molde (gr.)	8425	8243	7796			
Peso molde (gr.)	3849,1	3877,6	3882,5			
Peso suelo compactado (gr.)	4575,9	4365,4	3913,5			
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2319,9	2319,5	2305,6			
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1,972	1,882	1,697			
<b>Humedad (%)</b>						
Tara N°	11	18	15			
Tara+suelo húmedo (gr.)	182,49	186,13	140,54			
Tara+suelo seco (gr.)	160,22	161,55	124,80			
Peso de agua (gr.)	22,27	24,58	15,74			
Peso de tara (gr.)	41,06	30,22	40,70			
Peso de suelo seco (gr.)	119,16	131,33	84,10			
Humedad (%)	18,69	18,72	18,72			
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,662	1,585	1,430			
<b>Aplicación de Carga</b>						
Penetración (mm.)	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
	Carga (kN)	Presión (Mpa)	Carga (kN)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	0
0,64	0,816	0,422	1,586	0,8196	1,260	0,6512
1,27	2,565	1,326	4,687	2,4222	3,133	1,6191
1,91	4,692	2,425	7,218	3,7302	4,187	2,1638
2,54	6,971	3,603	9,011	4,6568	4,875	2,5194
3,18	9,352	4,833	10,770	5,5659	5,282	2,7297
3,81	11,610	6,000	11,690	6,0413	5,662	2,9261
5,08	15,960	8,248	13,510	6,9819	6,305	3,2584
7,62	21,560	11,142	15,650	8,0879	6,802	3,5152
10,16	23,810	12,305	18,060	9,3333	7,554	3,9039
12,70	26,370	13,628	20,560	10,6253	8,197	4,2362
<b>CBR.CORR.0,1"</b>						
	70,04%		67,49%		36,51%	
<b>CBR.CORR.0,2"</b>						
	85,43%		67,79%		31,63%	
<b>Lec.inicial(pulg)</b>						
	0,032		0,027		0,047	
<b>Lec.final(pulg)</b>						
	0,032		0,042		0,068	
<b>Expansión (%)</b>						
	0,00		0,33		0,46	
<b>Días de inmersión</b>						
			4 días			
<b>Humedad de penetración</b>						
	26,637		29,08		32,25	

## Muestra Villa Laura.

		<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA</b> <b>LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>				
<b>ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)</b>						
Realizado por :	Ana Milena Sanchez - Robin Danilo Rincón					
Revisado por :						
Fecha	07/06/2019					
<b>Datos de muestra</b>						
Prog. (Km.)	VILLA LAURA					
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) :	1,849					
Optimo Contenido de Humedad (%) :	13,34					
<b>Compactación</b>						
Molde N°	10	11	12			
Número de capas	5	5	5			
Número de golpes	56	25	10			
Peso suelo + molde (gr.)	8540	8305	7975			
Peso molde (gr.)	3849,1	3877,6	3822,6			
Peso suelo compactado (gr.)	4690,9	4427,4	4152,4			
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2319,9	2319,5	2320,4			
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2,022	1,909	1,790			
<b>Humedad (%)</b>						
Tara N°	13	1	5			
Tara+suelo húmedo (gr.)	180,43	186,33	143,57			
Tara+suelo seco (gr.)	164,00	169,17	131,50			
Peso de agua (gr.)	16,43	17,16	12,07			
Peso de tara (gr.)	41,05	40,57	41,07			
Peso de suelo seco (gr.)	122,95	128,60	90,43			
Humedad (%)	13,36	13,34	13,35			
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,784	1,684	1,579			
<b>Aplicación de Carga</b>						
Penetración (mm.)	Molde 11		Molde 10		Molde 12	
	Carga (kN)	Presión (Mpa)	Carga (kN)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	0
0,64	4,967	2,567	2,300	1,1886	1,276	0,6594
1,27	11,270	5,824	4,980	2,5736	2,045	1,0568
1,91	16,530	8,543	6,209	3,2088	2,546	1,3158
2,54	20,190	10,434	7,124	3,6817	2,934	1,5163
3,18	23,170	11,974	7,895	4,0801	3,625	1,8734
3,81	25,540	13,199	8,599	4,4439	3,471	1,7938
5,08	29,440	15,214	9,776	5,0522	3,856	1,9928
7,62	35,640	18,419	11,670	6,0310	4,419	2,2837
10,16	40,760	21,065	13,410	6,9302	4,958	2,5623
12,70	45,670	23,602	15,030	7,7674	5,489	2,8367
<b>CBR.CORR.</b>						
CBR.CORR,0,1"	151,22%	53,36%	21,98%			
CBR.CORR,0,2"	147,71%	49,05%	19,35%			
Lec.inicial(pulg)	0,024	0,01	0,046			
Lec.final(pulg)	0,025	0,012	0,048			
Expansión (%)	0,02	0,04	0,04			
Días de inmersión	4 días					
Humedad de penetración	21,26	22,26	24,01			



UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA  
LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

Realizado por: Ana Milena Sánchez- Robin Danilo Rincón

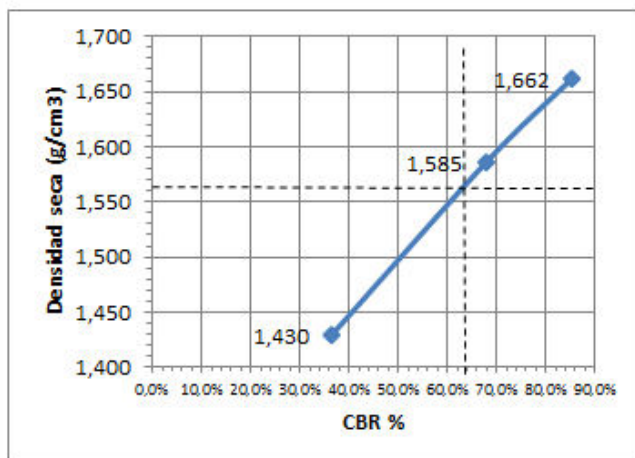
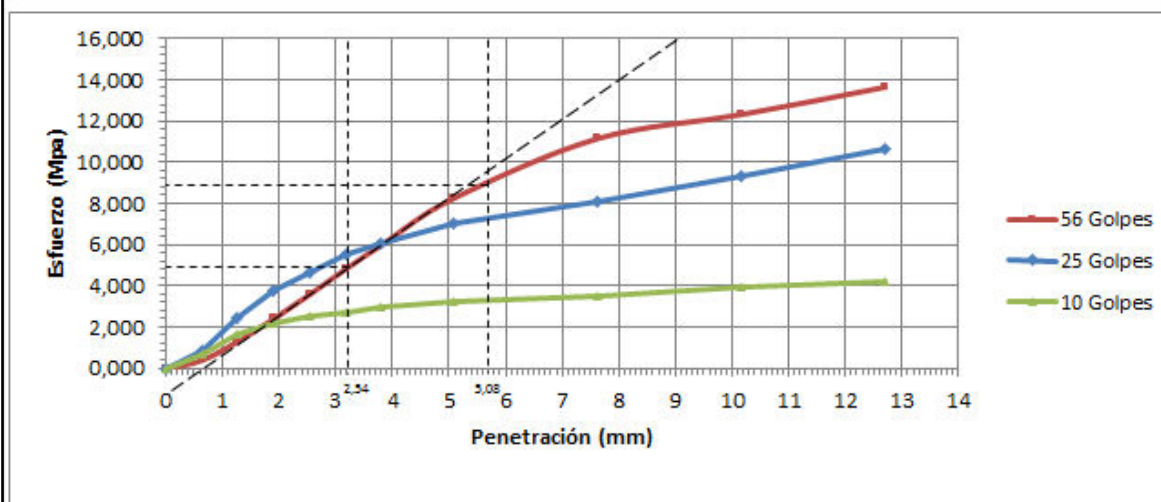
Fecha: 14/06/2019

Datos de muestra

Ubicación : Limonia

Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>) : 1,661

Optimo Contenido de Humedad (%) : 18,71



	CBR 0,1"	CBR 0,2"
56	70,04%	85,43%
25	67,49%	67,79%
10	36,51%	31,63%

95% M.D.S=	1,578
CBR 95%	64,00%

OBSERVACIONES:

.....  
.....



Universidad Francisco de Paula Santander  
Ocaña - Colombia  
Vigilada Mineducación

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA  
LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

Realizado por: Ana Milena Sánchez- Robin Danilo Rincón

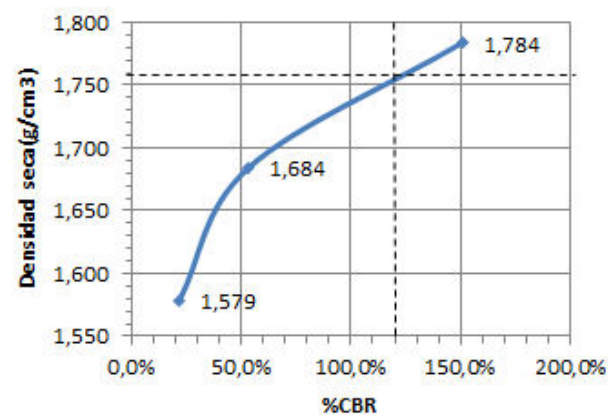
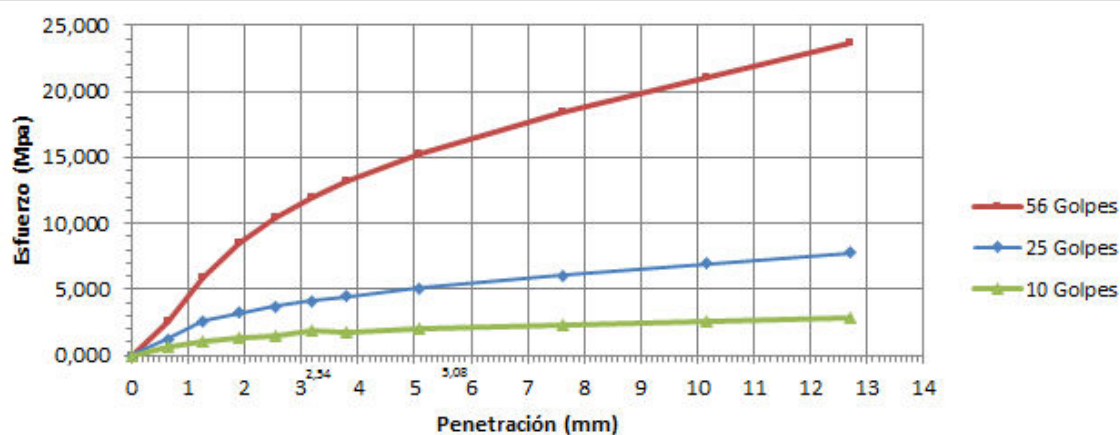
Fecha: 07/06/2019

Datos de muestra

Ubicación: Villa Laura

Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>): 1,849

Óptimo Contenido de Humedad (%): 13,34



	CBR 0,1"	CBR 0,2"
56	151,22%	147,71%
25	53,36%	49,05%
10	21,98%	19,35%


95% M.D.S=	1,757
CBR 95%	120,00%

OBSERVACIONES:

.....

.....

## Muestra Circunvalar.

		<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA</b> <b>LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>				
<b>ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)</b>						
Realizado por :	Ana Milena Sanchez - Robin Danilo Rincón					
Revisado por :						
Fecha	14/06/2019					
<b>Datos de muestra</b>						
Prog. (Km.)	CIRCUNVALAR					
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) :	1,875					
Óptimo Contenido de Humedad (%) :	10,53					
<b>Compactación</b>		<b>Humedad (%)</b>				
Molde N°	1	2	3			
Número de capas	5	5	5			
Número de golpes	56	25	10			
Peso suelo + molde (gr.)	8985	8651	8436			
Peso molde (gr.)	4195	4111	4171			
Peso suelo compactado (gr.)	4790	4540	4265			
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2306,0	2305,0	2295,0			
Densidad humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2,077	1,970	1,858			
Tara N°	11	18	15			
Tara+suelo húmedo (gr.)	177,51	180,27	207,61			
Tara+suelo seco (gr.)	164,49	166,41	191,17			
Peso de agua (gr.)	13,02	13,86	16,44			
Peso de tara (gr.)	40,64	34,95	34,94			
Peso de suelo seco (gr.)	123,85	131,46	156,23			
Humedad (%)	10,51	10,54	10,52			
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1,880	1,782	1,681			
<b>Aplicación de Carga</b>						
Penetración (mm.)	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
	Carga (kN)	Presión (Mpa)	Carga (kN)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0	0	0
0,64	1,355	0,700	2,056	1,0625	2,367	1,2233
1,27	6,654	3,439	6,522	3,3705	4,124	2,1313
1,91	14,970	7,736	10,610	5,4832	5,040	2,6047
2,54	22,330	11,540	13,300	6,8734	5,666	2,9282
3,18	28,740	14,853	15,270	7,8915	6,182	3,1948
3,81	34,370	17,762	16,930	8,7494	6,621	3,4217
5,08	43,220	22,336	19,650	10,1550	7,457	3,8537
7,62			23,930	12,3669	8,880	4,5891
10,16			27,500	14,2119	10,190	5,2661
12,70			30,660	15,8450	11,380	5,8811
CBR.CORR.0,1"	167,25%	99,61%			42,44%	
CBR.CORR.0,2"	216,85%	98,59%			37,42%	
Lec.inicial(pulg)	0,05	0,022			0,017	
Lec.final(pulg)	0,052	0,022			0,019	
Expansión (%)	0,04	0,00			0,04	
Días de inmersión		4 días				
Humedad de penetración	15,91	16,85			19,82	



Universidad Francisco de Paula Santander  
Ocaña - Colombia  
Vigilada Mineducación

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER- OCAÑA  
LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

Realizado por: Ana Milena Sánchez- Robin Danilo Rincón.

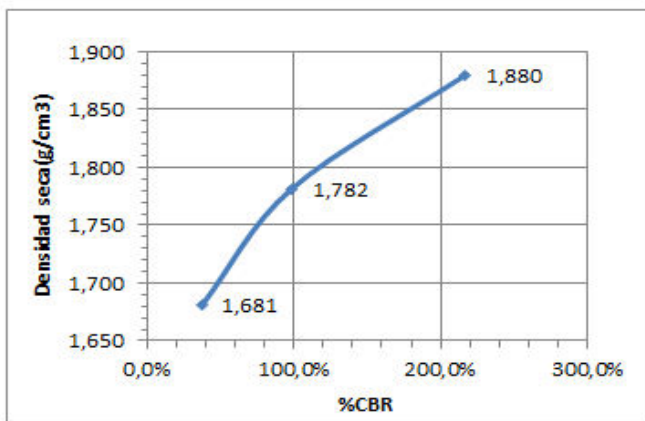
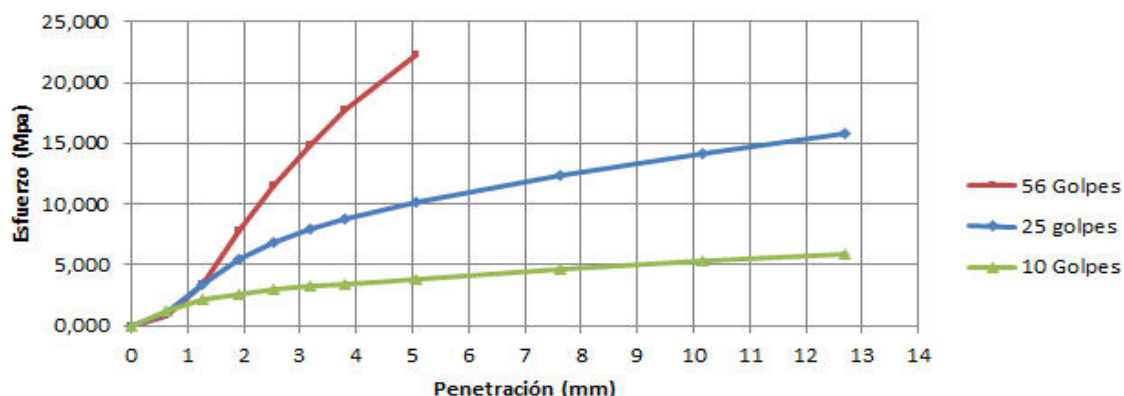
Fecha: 14/06/2019

Datos de muestra

Ubicación : Circunvalar

Máxima Densidad Seca ( $gr/cm^3$ ) : 1,875

Optimo Contenido de Humedad (%) : 10,53



	CBR 0,1"	CBR 0,2"
56	167,25%	216,85%
25	99,61%	98,59%
10	42,44%	37,42%

95% M.D.S=	1,781
CBR 95%	100%

OBSERVACIONES:

-----  
-----  
-----

**Apéndice M. Requisitos de los agregados para afirmados.**

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO
<b>Dureza (O)</b>		
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) - 500 revoluciones	E-218	50
<b>Durabilidad (O)</b>		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	12 18
<b>Limpieza (F)</b>		
Límite líquido, máximo (%)	E-125	40
Índice de plasticidad (%)	E-125 y E-126	4 - 9
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%)	E-211	2
Contracción lineal	E-127 o E-129	Tabla 311 - 3
<b>Resistencia del material (F)</b>		
CBR (%): porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado (numeral 311.5.2.2.2); el CBR se medirá sobre muestras sometidas previamente a cuatro días de inmersión.	E-148	≥ 15

Obtenido de: Normas y especificaciones INVIAS 2012, Capítulo 3.

**Apéndice N.** Franjas granulométricas del material de afirmado.

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)							
	37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	1 ½"	1"	¾"	⅜"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% PASA								
A-38	100	-	80-100	60-85	40-65	30-50	13-30	9-18
A-25	-	100	90-100	65-90	45-70	35-55	15-35	10-20
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %			6 %			3 %

Obtenido de: Normas y especificaciones INVIAS 2012, Capítulo 3.



Apéndice O. Sistema unificado de clasificación de suelos S.U.C.S.

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.) INCLUYENDO IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN									
DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO					
<b>SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS</b> Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 @ (Las partículas de 0.075 mm de diámetro (O malla No. 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.)	<b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4 PARA CUAL CUALQUIERA VISUAL PUEDE OBSERVARSE UN COMPO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	<b>GW</b>	Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con poca o nada de finos	DETERMINAR LOS LÍMITES DE ARENA Y ARELLA DE LA DIVISIÓN ORGANOMÉTRICA, DETERMINAR EL PORCENTAJE PASANTE PARA LA MALLA DE LOS SUELOS DE LA DIVISIÓN DE CLASIFICACIÓN COMO: ARELLA, ARELLA FINA, ARELLA MEDIANA, ARELLA GRUESA, ARELLA MUY GRUESA, ARELLA MUY MUY GRUESA Y ARELLA MUY MUY MUY GRUESA.					
		<b>GP</b>	Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena con poca o nada de finos						
		<b>GM</b>	a		Gravas limosas, mezcla de grava, arena y limo	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD $C_u$ : mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA $C_c$ : entre 1 y 3. $C_u = D_{60} / D_{10}$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} D_{60})$			
			u		Gravas arcillosas, mezcla de grava, arena y arcilla				
	<b>GC</b>	Gravas arcillosas, mezcla de grava, arena y arcilla	NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.						
	<b>ARENAS</b> Menos de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4	<b>SW</b>	Areñas bien graduadas, arena con grava, con poca o nada de finos		LÍMITES DE ATERRERGO ABAJO DE LA "LÍNEA A" O LP MEJOR QUE 4.				
		<b>SP</b>	Areñas mal graduadas, arena con grava, con poca o nada de finos			Arcilla de la "línea A" y con LP entre 4 y 7 con una de fronteras que requieren el uso de símbolos dobles.			
	<b>ARENAS, COHESIVOS</b> Cantidad apreciable de partículas finas	<b>ARRENAS LIMPAS</b> Poco o nada de partículas finas	<b>SM</b> <table border="1"> <tr> <td>a</td> <td>Areñas limosas, mezcla de arena y limo</td> </tr> <tr> <td>u</td> <td>Areñas arcillosas, mezcla de arena y arcilla</td> </tr> </table>		a	Areñas limosas, mezcla de arena y limo	u	Areñas arcillosas, mezcla de arena y arcilla	LÍMITES DE ATERRERGO ABAJO DE LA "LÍNEA A" O LP MEJOR QUE 4.
					a	Areñas limosas, mezcla de arena y limo			
	u	Areñas arcillosas, mezcla de arena y arcilla							
<b>SC</b>	Areñas arcillosas, mezcla de arena y arcilla	Arcilla de la "línea A" y con LP entre 4 y 7 con una de fronteras que requieren el uso de símbolos dobles.							
<b>SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS</b> Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 @ Las partículas de 0.075 mm de diámetro (O malla No. 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	<b>LEMSOS Y ARCILLAS</b> Límite Líquido menor de 50	<b>ML</b>	Limos inorgánicos, polvo de arcilla, limos arcillosos o arcillosos ligeramente plásticos.	CI - Grava, S - Arena, O - Suelo Orgánico, P - Turba, M - Limo C - Arcilla, W - Bien Graduada, P - Mal Graduada, L - Baja Compresibilidad, H - Alta Compresibilidad					
		<b>CL</b>	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arcillosas, arcillas limosas, arcillas pobres.						
	<b>LEMSOS Y ARCILLAS</b> Límite Líquido Mayor de 50	<b>OL</b>	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.						
		<b>MH</b>	Limos inorgánicos, limos arcillosos o arcillosos, más arcillosos.						
		<b>CH</b>	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas limosas.						
	<b>OH</b>	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.							
	<b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b>		<b>P</b>		Turba y otros suelos altamente orgánicos.				

**CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)**

\*\* CLASIFICACIÓN DE FRONTERA- LOS SUELOS QUE POSEAN LAS CARACTERÍSTICAS DE DOS GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACIÓN DE LOS DOS SÍMBOLOS; POR EJEMPLO GW-GC, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA BIEN GRADUADAS CON CEMENTANTE ARCILLOSO.

© TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD.

\* LA DIVISIÓN DE LOS GRUPOS GM Y SM EN SUBDIVISIONES a Y u SON PARA CAMINOS Y AEROPUERTOS ÚNICAMENTE, LA SUB-DIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATERRERGO EL SUFDO a SE USA CUANDO EL L.L. ES DE 28 O MENOS Y EL LP ES DE 6 O MENOS. EL SUFDO u ES USADO CUANDO EL L.L. ES MAYOR QUE 28.

Obtenido: <https://civilgeeks.com/2015/07/1/apuntes-del-sistema-unificado-de-clasificacion-de-suelos-s-u-c-s/>

## Apéndice P. Clasificación de suelos método AASHTO M-145.

Clasificación de Suelos Método AASHTO M-145:											
Clasificación General <sup>(1)</sup>	Materiales Granulares (35% o menos pasa la malla N° 200)							Materiales Limo-Arcillosos (pasan más del 35% la malla N° 200)			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A-7 <sup>(2)</sup>
Clasificación por Grupos:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Análisis Granulométrico Porcentaje que pasa:											
Tamiz N° 10	50 máx										
N° 40	30 máx	50 máx	51 mín								
N° 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Características de la fracción que pasa la malla N° 40											
Límite Líquido:			No plástico	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de Plasticidad:	6 máx		plástico	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipos usuales de los materiales componentes importantes.	Fragmentos de Piedra, Grava y Arena.		Arena Fina	Arena y Gravas limosas o arcillosas.				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Clasific. Gral como Subrasante.	DE EXCELENTE A BUENA.					DE REGULAR A MALA.					

*Nota (1): Procedimiento de Clasificación:* Teniendo presente los datos de prueba necesario, procédase de izquierda a derecha en el cuadro; se encontrará el grupo correcto siguiendo un proceso de eliminación. El primer grupo de la izquierda que corresponda con los datos de la prueba es la clasificación correcta.

*Nota (2):* El grupo A-7 se subdivide en A-7-5 o A-7-6, según su plasticidad. Para  $IP \leq LL-30$ , la clasificación es A-7-5; para  $IP > LL-30$ , tenemos A-7-6.

$$\text{ÍNDICE DE GRUPO} = (F - 35) [0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01 (F - 15)(IP - 10) \quad ; \quad \text{Para los suelos: A-4; A-5; A-6 y A-7}$$

F = porcentaje del suelo que pasa por la malla N° 200, expresado como número entero.  
 LL = límite líquido (%).  
 IP = índice plástico (%).

- El índice de grupo siempre se reporta aproximándolo al número entero más cercano, a menos que su valor calculado sea negativo, en cuyo caso se reporta como cero.
- No hay límite superior para el índice de grupo.
- El índice de grupo de suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 siempre es cero (IG=0) El índice de grupo se agrega entre paréntesis a la clasificación de grupo y subgrupo. Ejemplo: un suelo arcilloso con IG = 25, puede clasificarse como A-7-6(25).
- Al calcular el índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, úsese el índice de grupo parcial para el IP, o sea:

$$\text{ÍNDICE DE GRUPO} = 0,01 (F - 15)(IP - 10)$$

Obtenido: <https://es.scribd.com/document/342393148/Aashto-m-145>