

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Tunja, octubre del 2018

## DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres Willian Rodríguez Sierra y Doris Yaneth Díaz Gonzalez, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hija, son los mejores padres.

A mi hermano Willian Stiven, a mi mejor amiga Mónica Jiménez y a su hermano Camilo Jiménez por estar siempre presentes, acompañándonos y por el apoyo moral, que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

A mis padres Wilmar Yesid Quiroga Díaz y Luz Amanda Rojas por su apoyo incondicional, su confianza, entrega y amor que día a día ha sido el motivo para seguir adelante.

Al movimiento católico Lazos de Amor Mariano por sus oraciones, enseñanzas y espiritualidad; especialmente a Fernanda Viasus y a Yuly Paola Muñoz.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a nuestros padres: Luz Amanda y Wilmar Yesid; y, Willian y Doris, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

Agradecemos a nuestros docentes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, a los ingenieros: Lesly Nataly López Valiente, a Cristian Pinilla, a Omar Jiménez, a Oscar Ramírez, a Osmar Gamba y a Jaime Paredes por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión y por la guía y ayuda en las labores de esta investigación; agradecemos de manera especial, al magister Luis Alberto Cáceres Cárdenas director de nuestro proyecto de investigación quien ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente, nuestro trabajo.

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEPÓSITO DE DIATOMITAS DEL BARRIO  
LOS PATRIOTAS UBICADO EN LA CIUDAD DE TUNJA

JIMMY FERNEY QUIROGA ROJAS  
XIOMARA ALEJANDRA RODRIGUEZ DIAZ

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
TUNJA  
2018

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEPÓSITO DE DIATOMITAS DEL BARRIO  
LOS PATRIOTAS UBICADO EN LA CIUDAD DE TUNJA

JIMMY FERNEY QUIROGA ROJAS  
XIOMARA ALEJANDRA RODRIGUEZ DIAZ

Trabajo de Tesis de pregrado

DIRECTOR:  
ING. Luis Alberto Cáceres Cárdenas  
Magister en Geotecnia

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
TUNJA  
2018

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>12</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE ESTUDIO</b> .....	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>3. ALCANCE Y LIMITACIONES</b> .....	<b>15</b>
<b>4. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>16</b>
<b>5. MARCOS DE REFERENCIA</b> .....	<b>17</b>
5.1 MARCO CONCEPTUAL .....	17
5.2 ESTADO DEL ARTE.....	19
5.3 MARCO TEÓRICO .....	24
<b>6. DISEÑO METODOLÓGICO</b> .....	<b>26</b>
6.1 METODOLOGÍA.....	26
<b>7. GENERALIDADES</b> .....	<b>28</b>
7.1 LOCALIZACION .....	28
7.2 DESCRIPCCION DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	29
<b>8. DESARROLLO DEL ESTUDIO</b> .....	<b>32</b>
8.1 FISIOGRAFIA Y CLIMA .....	32
8.2 DESCRIPCCION GEOLOGICA.....	33
8.2.11 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.....	38
8.3 TOPOGRAFÍA .....	40
8.4 HIDROGRAFÍA.....	42
8.5 PRECIPITACIÓN Y CLIMA .....	43
8.6 CLIMOGRAMA TUNJA.....	45
<b>9. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO</b> .....	<b>46</b>
9.1 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA.....	46
9.2 ENSAYOS DE LABORATORIO.....	57
<b>10. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO</b> .....	<b>59</b>
2.3 PRUEBAS DE CARACTERIZACION .....	59
2.4 PRUEBAS DE CARACTERIZACION MECÁNICA.....	85
CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL .....	90
<b>11. PRUEBAS MINERALOGICAS Y QUIMICAS</b> .....	<b>99</b>

11.1	MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO MEB .....	99
11.2	FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX) .....	103
11.3	DIFRACCIÓN DE RAYOS X DRX .....	105
11.4	POTENCIAL DE DISPERSIVILIDAD.....	110
11.5	PH DEL SUELO .....	113
<b>12.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>115</b>
<b>13.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>119</b>
<b>14.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>120</b>
	<b>ANEXO A. PERFIL ESTRATIGRAFICO</b>	
	<b>ANEXO B. PERFIL DE CARACTERIZACIÓN VISUAL SEGÚN NORMA INV 102-13</b>	
	<b>ANEXO C. PERFIL GENERAL DE SUS RESPECTIVOS RESULTADOS</b>	
	<b>ANEXO D. RESULTADOS PRUEBAS DE LABORATORIO</b>	

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> ensayos de caracterización básicos a realizar .....	27
<b>Tabla 2</b> ensayos de caracterización mecánicos a realizar.....	27
<b>Tabla 3</b> Localización de perforaciones, realizadas en el la zona de estudio .....	50
<b>Tabla 4</b> Ensayos de caracterización geomecánica realizados sobre las muestras. .....	58
<b>Tabla 5</b> Resultados Humedad Natural.....	61
<b>Tabla 6</b> Resumen de Límites de Atterberg para las muestras obtenidas de los sondeos. ....	64
<b>Tabla 7</b> Resultados de consistencia del suelo.....	65
<b>Tabla 8</b> Valores de los límites líquidos, limite plástico, índice de plasticidad y clasificación USCS.....	67
<b>Tabla 9</b> Potencial expansivo de los Suelos .....	68
<b>Tabla 10</b> resultados de potencial de expansión según la norma INV E 132-13.....	68
<b>Tabla 11</b> Potencial de ablandamiento Cíclico de materiales finos.....	70
<b>Tabla 12</b> Potencial de ablandamiento Cíclico de materiales finos.....	72
<b>Tabla 13</b> Resultados peso unitario Total. ....	73
<b>Tabla 14</b> Resultados peso unitario Seco. ....	74
<b>Tabla 15</b> Resultados relación de vacios. ....	75
<b>Tabla 16</b> Resultados Porosidad.....	76
<b>Tabla 17</b> Resultados saturación. ....	77
<b>Tabla 18</b> Resumen Resultados granulometría por hidrómetro. ....	79
<b>Tabla 19</b> Resultados de Gravedad Específica.....	80
<b>Tabla 20</b> Resumen resultados de gravedad específica .....	81
<b>Tabla 21.</b> Resumen Resultados Conductividad Hidráulica o permeabilidad, (carga variable). ....	83
<b>Tabla 22</b> Clasificación del suelo por consistencia I.N.V. E – 152 .....	85
<b>Tabla 23</b> Resumen de Características Físico - Mecánicas de los Sondeos. ....	85
<b>Tabla 24</b> Resultados valores máximo y mínimo por sondeo .....	86
<b>Tabla 25.</b> Resumen Resultados de corte directo.....	89
<b>Tabla 26.</b> Resultado de consolidación Unidimensional.. ....	91
<b>Tabla 27.</b> Resultado de PINHOLE MT-M1.....	96
<b>Tabla 28.</b> Resultado de PINHOLE MT-M2.....	97
<b>Tabla 29.</b> Resultado de PINHOLE MT-M3.....	97
<b>Tabla 30.</b> Resultados EDX. ....	100
<b>Tabla 31.</b> Clasificación especies de diatomitas encontradas.....	100
<b>Tabla 32</b> resultados FRX.....	104
<b>Tabla 33</b> resultados DRX.....	109

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> curvas ensayo Triaxiales CD, Tierra Diatomacea arcillosa de tengchong. .....	21
<b>Figura 2</b> Envolventes de resistencia, Ensayo de corte, Tierra Diatomacea arcillosa de Tengchong.....	22
<b>Figura 3</b> Envolventes de resistencia, Ensayo de corte, Tierra Diatomacea arcillosa de Tengchong.....	22
<b>Figura 4</b> Localización general del Municipio de Tunja y zona de estudio. Fuente. google earth.....	28
<b>Figura 5</b> Localización general de la zona de estudio. Fuente. google earth.....	28
<b>Figura 6</b> Zonificación escogida para la ubicación de sondeos.....	30
<b>Figura 7</b> Ubicación de sondeos zona de estudio.....	30
<b>Figura 8</b> Fisiografía y clima – Zona de estudio.....	32
<b>Figura 9</b> Localización general del Municipio de Tunja y zona de estudio.....	33
<b>Figura 10</b> Localización general del Municipio de Tunja y zona de estudio.....	34
<b>Figura 11</b> Localización general del Municipio de Tunja y zona de estudio.....	35
<b>Figura 12</b> Localización general del Municipio de Tunja y zona de estudio.....	36
<b>Figura 13</b> Deposito aluvial Zona de Estudio. Tomado del IGAC.....	38
<b>Figura 14</b> Geología regional de Tunja, Zona de Estudio.....	39
<b>Figura 15</b> Geología local de Tunja, Zona de Estudio.....	39
<b>Figura 16</b> Mapa Hidrográfico municipio de Tunja, Zona de Estudio.....	40
<b>Figura 17</b> Topografía Regional, Zona de Estudio, vista desde el norte y oriente respectivamente.....	41
<b>Figura 18</b> Topografía Regional vista sur, Zona de Estudio.....	41
<b>Figura 19</b> Topografía local, Zona de Estudio.....	41
<b>Figura 20</b> Mapa Hidrográfico municipio de Tunja, Zona de Estudio.....	42
<b>Figura 21</b> Probabilidad diaria de precipitación.....	43
<b>Figura 22</b> Temperatura máxima y mínima promedio.....	44
<b>Figura 23</b> Climograma de Tunja.....	45
<b>Figura 24</b> Panorámica, Zona de Estudio.....	46
<b>Figura 25</b> Panorámica, Zona de Estudio.....	47
<b>Figura 26</b> Panorámica, Zona de Estudio.....	47
<b>Figura 27</b> sondeo 1,2 y 3, Zona de Estudio.....	48
<b>Figura 28</b> Sondeo 4 Y 5, Zona de Estudio.....	48
<b>Figura 29</b> Apique 1 y 2, Zona de Estudio.....	49
<b>Figura 30</b> Apique 2, Zona de Estudio.....	49
<b>Figura 31</b> Talud con contenido de diatomitas, Zona de Estudio.....	50
<b>Figura 32</b> ubicación de los sondeos y calicatas, Zona de Estudio, barrio patriotas Tunja.....	51
<b>Figura 33</b> Muestras Sondeo 1, Zona de Estudio.....	52
<b>Figura 34</b> muestras sondeo 2, Zona de Estudio.....	52
<b>Figura 35</b> muestras sondeo 3, Zona de Estudio.....	53
<b>Figura 36</b> muestras sondeo 4, Zona de Estudio.....	54
<b>Figura 37</b> Muestras sondeo 5, Zona de Estudio.....	55



<b>Figura 38</b> Apique 1, Zona de Estudio.....	55
<b>Figura 39</b> Apique 2, Zona de Estudio.....	56
<b>Figura 40</b> Talud, Zona de Estudio.....	56
<b>Figura 41</b> Susceptibilidad a la licuación de suelos finos. ....	70
<b>Figura 42</b> Talud de corte con exposición de capas con contenido de Diatomita. <b>Fuente.</b> Propia.....	96
<b>Figura 43</b> Foto general y foto de la aulocoseira granulata obtenida de las muestras estudiadas.....	100
<b>Figura 44</b> Especies de diatomitas encontradas en las muestras estudiadas con sus dimensiones. ....	101
<b>Figura 45</b> Especies de diatomitas encontradas en las muestras estudiadas. ....	102
<b>Figura 46</b> Especies de diatomitas encontradas en las muestras estudiadas. ....	103
<b>Figura 47</b> Preparación de muestra para el ensayo de DRX.....	105
<b>Figura 48</b> Resultados DRX muestra de 0.0 a 0.30 m.....	106
<b>Figura 49</b> Resultados DRX para la diatomita base 1. ....	107
<b>Figura 50</b> Resultados DRX de comparación entre la diatomita base 1 y 2. ....	107
<b>Figura 51</b> Resultados DRX muestra de 3.7 a 4.0 m.....	108
<b>Figura 52</b> Resultados DRX para la diatomita base 2. ....	108
<b>Figura 53</b> Resultados caracterización laboratorio de agronomía uptc. ....	111
<b>Figura 54</b> Grado de Dispersibilidad.....	111
<b>Figura 55</b> Porcentaje de sodio vs total de sales disueltas.....	113
<b>Figura 56</b> Resultados caracterización laboratorio de agronomía uptc. ....	114

## LISTA DE GRAFICAS

<b>Gráfica 1</b> Humedad natural de los Sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. ....	60
<b>Gráfica 2</b> Limite plastico S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5.....	62
<b>Gráfica 3</b> Limites líquidos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5.....	63
<b>Gráfica 4</b> Índices de plasticidad S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. ....	64
<b>Gráfica 5</b> Resultados carta de plasticidad para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. <b>Fuente.</b> Propia. ....	65
<b>Gráfica 6</b> Potencial de Ablandamiento Cíclico de suelos finos según BRAY J.D. y SANCIO R.B.(2006).....	71
<b>Gráfica 7</b> Resultados peso unitario total para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. <b>Fuente.</b> Propia.....	74
<b>Gráfica 8</b> Resultados peso unitario seco para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. <b>Fuente.</b> Propia.....	75
<b>Gráfica 9</b> Resultados relación de vacios para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. <b>Fuente.</b> Propia.....	76
<b>Gráfica 10</b> Resultados de porosidad para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. <b>Fuente.</b> Propia.....	77
<b>Gráfica 11</b> Resultados saturación para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. <b>Fuente.</b> Propia.....	78
<b>Gráfica 12</b> Resultados gravedad específica para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. <b>Fuente.</b> Propia.....	82
<b>Gráfica 13</b> Resultados de permeabilidad vs profundidad para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. <b>Fuente.</b> Propia.....	84
<b>Gráfica 14.</b> Resultados módulo de elasticidad para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. <b>Fuente.</b> Propia.....	86
<b>Gráfica 15</b> Resultados resistencia máxima para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, y S-5. <b>Fuente.</b> Propia.....	87
<b>Gráfica 16</b> Resultados cohesión no drenada para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. ....	88
<b>Gráfica 17.</b> Cohesión vs profundidad.....	89
<b>Gráfica 18.</b> Angulo de fricción interna vs profundidad.....	89
<b>Gráfica 19.</b> Curva de relación de vacios vs esfuerzo normal MT-M1.....	92
<b>Gráfica 20.</b> Curva de relación de vacios vs esfuerzo normal MT-M2.....	93
<b>Gráfica 21.</b> Curva de relación de vacíos vs esfuerzo normal MT-M3.....	93
<b>Gráfica 22</b> Resultados FRX.....	104

## INTRODUCCIÓN

A continuación se presentan resultados del estudio de caracterización geotécnica del depósito de Diatomeas ubicado en el barrio Patriotas en la ciudad de Tunja, Colombia; con el fin de determinar los comportamientos característicos de este tipo de suelo. En primera instancia se da a conocer la ubicación del sitio donde se desarrolló el estudio, posteriormente se realiza el diagnóstico de la zona, seguido de la descripción metodológica de desarrollo del estudio, con la presentación de los resultados de laboratorio realizados para las sondeos realizados en la zona de estudio, cuyo perfil contiene capas de Diatomita; se reportan los resultados tales como la humedad natural, propiedades índice, gravedad específica, permeabilidad de carga variable, granulometría por hidrómetro, límites de consistencia además de la determinación de parámetros de resistencia del suelo mediante los ensayos de compresión inconfiada, corte directo y consolidación unidimensional.

Además, se incluye la información obtenida mediante los resultados de las pruebas realizadas como microscopía electrónica de barrido y transmisión (MEB), difracción de rayos X (DRX), Fluorescencia, pH y potencial de dispersividad; información que nos permitirá conocer más el comportamiento de este tipo de suelo en esta zona de estudio.

El desarrollo del estudio comprende la recopilación de información sobre el sector, la investigación geotécnica, la topografía local, la geología local de la zona en estudio y la hidrología de la región; el estudio, se inicia con la recopilación y revisión de información existente desde el punto de vista geológico y geotécnico, la visita al sitio, el desarrollo de la investigación geotécnica del perfil del subsuelo, trabajos de laboratorio, análisis de la información y elaboración del informe final; la topografía local y la regional es obtenida de las planchas de restitución y bases de datos del IGAC.

## RESUMEN

El presente estudio busca caracterizar el comportamiento geotécnico de un depósito de arcillas diatomeas por medio de ensayos físico-mecánicos, mineralógicos, y de clasificación, ubicado en la ciudad de Tunja departamento de Boyacá (Colombia). El depósito en mención, y del cual se obtuvieron muestras inalteradas para su estudio, tiene una extensión de 60.6 ha y las diatomitas están dispuestas a manera de capas no continuas de forma lenticular y con espesores de entre 5 y 8 m; ya identificado y realizado el proceso de exploración se desarrollan ensayos de caracterización, en particular referentes a contenidos de humedad, límites de consistencia, gravedad específica, granulometría, conductividad hidráulica, densidad, ESP, SAR, pinhole, Ph, al igual que ensayos mecánicos como corte directo, compresión inconfiada, y consolidación unidimensional. También se evaluarán la especie representativa mediante pruebas de Microscopía electrónica por barrido (MEB), difracción de rayos x (DRX) y otros ensayos para saber su composición mineralógica. Con estos resultados se espera poder comprender el comportamiento geotécnico del material diatomáceo encontrado en este depósito, esta investigación se está realizando a través del grupo de investigación GIISAG, de la escuela de ingeniería civil en la universidad pedagógica y tecnológica de Colombia UPTC.

*Palabras clave – comportamiento geotécnico, ensayos físico-mecánicos, Diatomeas.*

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE ESTUDIO

¿Cuál es el comportamiento geotécnico de un suelo con presencia de diatomeas, y que se podría esperar de este ante la aplicación de cargas?

La caracterización geotécnica de un suelo consiste en determinar la composición y propiedades físicas, químicas, mecánicas, e hídricas del terreno donde se proyecta una obra o se extrae material para construcción; por tal motivo es de gran importancia conocer las características del material objeto de estudio, para así considerar su comportamiento geotécnico ante las modificaciones requeridas por la construcción de obras de ingeniería, ya que existen materiales que son inadecuados para este fin. En la ciudad de Tunja del departamento de Boyacá se encuentran ubicados depósitos de arcillas con diatomitas la cual es un material sedimentario de origen biológico, compuesto por esqueletos fosilizados de las frústulas de diatomeas, estas se forman por la acumulación sedimentaria de esqueletos microscópicos de algas unicelulares y acuáticas, además de esqueletos opalinos fosilizados de la diatomea. La acumulación de estas forman grandes depósitos, por este motivo se quiere estudiar las características geotécnicas de este material en sus condiciones insitu, y poder identificar su comportamiento a partir del análisis de los resultados de ensayos mecánicos químicos y físicos y con ello tener claridad de lo que generaría si se usara en obras de ingeniería.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Caracterizar el comportamiento geotécnico de arcillas diatomeas por medio de ensayos mecánicos y de clasificación, del depósito del barrio patriotas ubicado en la ciudad de Tunja departamento de Boyacá.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Describir las propiedades geotécnicas básicas de un suelo conformado por material diatoméico por medio de caracterización visual, táctil y ensayos de laboratorio.
- Reconocer y caracterizar la zona de exploración donde se realizará la extracción del material mediante perforaciones.
- Predecir la deformabilidad del suelo presentado en el depósito a estudiar.

### **3. ALCANCE Y LIMITACIONES**

Los ensayos necesarios para la caracterización geotécnica del suelo con contenido de arcillas diatomeicas, se realizó en un depósito ubicado en el barrio los patriotas de la ciudad de Tunja del departamento de Boyacá donde se realizó 5 perforaciones y dos apiques; los ensayos efectuados son los básicos para caracterización física, mecánica e hidráulica de este suelo. Algunas de las limitaciones que se presentaron en la realización del estudio es la disponibilidad de adquisición de un material homogéneo con contenido de diatomita ya que por tener un origen biogénico dependiendo su lugar de depositación, como también de las condiciones de este y del clima, puede que estos depósitos como en este caso no sean homogéneos, teniendo impurezas y mezclas en sus capas de otros tipos de suelos como limos o arcillas, tal como se ha presentado en esta caracterización, por tanto los datos y resultados presentados son los característicos del depósito ubicado en el barrio patriotas de la ciudad de Tunja, Departamento de Boyacá.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Las cimentaciones son los elementos que transmiten las cargas de la estructura al suelo de sustentación de las mismas, de este sistema –cimentación-suelo de fundación- depende la estabilidad y asentamientos de la estructura, para determinar esto se debe hacer un estudio de caracterización mecánica y física del suelo, ya que este debe soportar en forma holgada los esfuerzos ejercidos por las estructuras y admitir deformaciones tolerables a las mismas; teniendo en cuenta el crecimiento social y económico de la ciudad de Tunja se puede proyectan construcciones en los sectores de Xativilla, la Macarena y el barrio Patriotas(DST1), la doble calzada(DST2) y el barrio el Curubal (DST3) que son los depósitos reconocidos donde se presentan arcillas diatomeicas en la ciudad, con una extensión que van desde los 4,9 hasta 60,6 ha, y con espesores máximos de entre 5 y 8 m, las cuales son producto de acumulaciones de algas y animales prehistóricos, esta arcilla se dice presenta desventajas bastante notables con respecto a las demás arcillas, por tanto es importante tener una caracterización geotécnica del material y sus variaciones para evitar los posibles comportamientos desfavorables cuando se le someta a la acción de cargas, por tanto se realizó una identificación del depósito ubicado en el barrio patriotas de la ciudad de Tunja, del Departamento de Boyacá, y así poder identificar el comportamiento del tipo de suelo allá encontrado.



## 5. MARCOS DE REFERENCIA

### 5.1 MARCO CONCEPTUAL

Resulta importante comprender las características morfológicas y de especie de las diatomeas para poder enmarcar el comportamiento en los depósitos en los cuales se encuentran, también se debe comprender su comportamiento a distintos fenómenos que se pueden presentar, esto por medio de sus propiedades geomecánicas y demás características, las cuales se pueden estudiar mediante ensayos previamente establecidos, por tanto a continuación se presentaran conceptos importantes para la investigación:

**Arcillas Diatomeas:** son algas fotosintéticas con un esqueleto de síliceo denominado frustula y son encontradas en casi todos los ambientes acuáticos incluyendo agua dulce, salada, suelos, de hecho en cualquier entorno húmedo.

**Caracterización geotécnica:** Es la determinación de la composición y las propiedades físicomecánicas, hídricas y químicas de un material terreo.

**Ensayos de Caracterización:** Son prácticas de laboratorio usadas para determinar la composición de un material, entre ellas se encuentran: Relaciones gravimétricas, Límites de consistencia, Gravedad específica, tamizado, coeficientes de permeabilidad, densidad y peso unitario.

**Ensayos mecánicos:** son estudios realizados mediante equipos especializados para determinar el comportamiento esfuerzo-deformación de un material bajo condiciones de carga

**Resistencia al corte:** Propiedad de un material que permite conocer la magnitud de los parámetros que se oponen a su falla y resistir el desplazamiento entre las partículas del mismo al ser sometido a una fuerza externa. También llamada resistencia al cizallamiento.

**La humedad natural:** es una relación gravimétrica definida como la relación existente entre el peso del agua y el peso de los sólidos en un volumen dado de suelo.

**La densidad aparente:** se define como el peso seco del suelo por unidad de volumen y se expresa en unidades de peso/volumen. La densidad aparente es un indicador de la compactación y/o composición del material y por consecuencia el estado del suelo.

**Gravedad específica:** es la relación entre la masa de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y la masa del mismo volumen de agua destilada y libre de gas, a la misma temperatura.

**Límites de consistencia:** Se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir cuatro estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco, al agregársele agua poco a poco, va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico y finalmente líquido, los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg o límites de consistencia.

**Deformabilidad:** Capacidad de los materiales de sufrir deformaciones sin llegar a romperse y provocar su desprendimiento.

## 5.2 ESTADO DEL ARTE

La investigación del comportamiento geotécnico de las diatomeas en el área de la ingeniería civil no se encuentra muy avanzada y a la fecha se han desarrollado algunas investigaciones que pretenden evaluar la respuesta mecánica y el cambio del comportamiento bajo diferentes contenidos de arcilla, un aporte representativo por parte de los autores citados a continuación, se resume en lo siguiente:

1. Harben expresa que los depósitos de tierra Diatomácea están ubicados en depósitos marinos y lacustres de las eras del Mioceno y Plioceno a lo largo del mundo.<sup>1</sup>
2. Para Day, algunos estudios realizados en Sudáfrica muestran un alto contenido de Agua y baja Densidad seca.<sup>2</sup>
3. Tateishi presenta Estudios realizados en Japón que indican que suelos con presencia de Diatomeas no solo tienen alto contenido de agua sino que también alta resistencia y módulo elástico.<sup>3</sup>
4. Citando a Tanaka, Shiwakoti, Locat, Palomino y Rajasekaran, [9] expone que muchas investigaciones sugieren que la presencia de Diatomeas incrementan el límite líquido y límite plástico en suelos sedimentarios, el índice de plasticidad, la resistencia al corte y el ángulo de fricción interna, la compresibilidad, y la conductividad Hidráulica y disminuye el límite de contracción (Tanaka y Locat 1999) (Shiwakoti 2002)(Palomino 2011) (Rajasekaran 2006).<sup>4</sup>
5. Hu y Wen, avanzaron en otros estudio sobre suelo diatomáceo (contenido 75%) de la provincia de LInqu de Shangdong en china que revelaron la resistencia de diferentes criterios bajo condiciones de inundación, sin embargo, cuando los suelos tienen alto contenido de material expansivo arcilloso, el comportamiento mecánico de la tierra diatomácea se ve afectado por este último<sup>5</sup>.

En los últimos años el estudio de los materiales con propiedades especiales como la diatomita se ha intensificado debido a las fallas en los suelos conformados por estos y por los diferentes usos industriales que se les pueden dar, las arcillas diatomeicas han sido expuestas a distintos análisis para comprender ampliamente

---

<sup>1</sup> X.H. Cheng, D.J.M Ngan Tillard, E.J. Den Haan, "The causes of the high friction angle of Dutch organic soils". Engineering geology. Vol 93. p 31. 2007.

<sup>2</sup> Ibid., p. 32

<sup>3</sup> Ibid., p. 33

<sup>4</sup> Ibid., p. 34

<sup>5</sup> Ibid., p. 44

sus características y su comportamiento bajo esfuerzos; los proyectos y trabajos se pueden resumir así:

- Descripción química y mineralógica de las diatomitas por medio de: espectrometría por fluorescencia de rayos X, microscopía petrográfica, difracción de rayos X, micro sonda electrónica de barrido y de transmisión; se concluyó que en Tunja la especie predominante en el depósito es la *Aulacoseira granulata*, diatomea de forma cilíndrica, con longitudes entre 10 y 24 $\mu$ m. La mineralogía está en concordancia con los análisis químicos, que muestran concentraciones de sílice en promedio del 75%, seguido de alúmina con un 20% y de hierro y potasio con un 5%<sup>6</sup>.
- De acuerdo a la distribución de los depósitos, es posible ordenar cronológicamente los procesos morfogenéticos y reconstruir en parte la situación paleohidrográfica de la región comprendida entre Tunja y Sogamoso; los depósitos típicos lacustres, con intercalaciones de diatomitas, presentes entre Rio de Piedras y Tunja (Formación Tunja), existentes en la Sabana de Bogotá y que fueron datadas como Pleistoceno Superior<sup>7</sup>.

Así por ejemplo, la referencia [8] desarrolló una investigación sobre la resistencia al corte en mezclas artificiales de diatomita (d) – caolinita (k) utilizando el equipo de corte directo simple, en condiciones no drenadas. Lo anterior con el fin de conocer la influencia del contenido de diatomita en las propiedades de resistencia de dichas mezclas. Dicha fuente elaboró cinco dosificaciones: (0%d – 100%k), (20%d – 80%k), (40%d - 60%k), (60%d – 40%k) y (100%d- 0%k), todas las mezclas se prepararon en proporciones de peso seco. La diatomita y la caolinita que se usaron en esta investigación son materiales comercialmente disponibles en México.

Según J. A. Díaz, el comportamiento de las curvas esfuerzo-deformación depende de la dosificación de diatomeas. Con base en los resultados de esta investigación se explican algunas de las propiedades en el suelo volcánico lacustre de la ciudad de México. Las trayectorias de esfuerzo para los ensayos en corte simple se presentan a continuación.

Es destacable la relación entre el ángulo de fricción interna,  $\phi$  y el contenido de diatomita para ambas condiciones de relación de sobre consolidación. Los aumentos de  $\phi$  para un incremento en el contenido de diatomita menor al 20% son pequeños, (2.3%; OCR = 1 y 2% para OCR = 2); sin embargo, para contenidos de

---

<sup>6</sup> Manosalva S, y Naranjo W. (2009), *Diatomitas: Geología, caracterización y potencial industrial*, Boyacá, Colombia, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2009.

<sup>7</sup> Reyes, I. (1990): Observaciones sobre el cuaternario del altiplano Tunja-Sogamoso. *Revista geología colombiana*. Vol. 17.

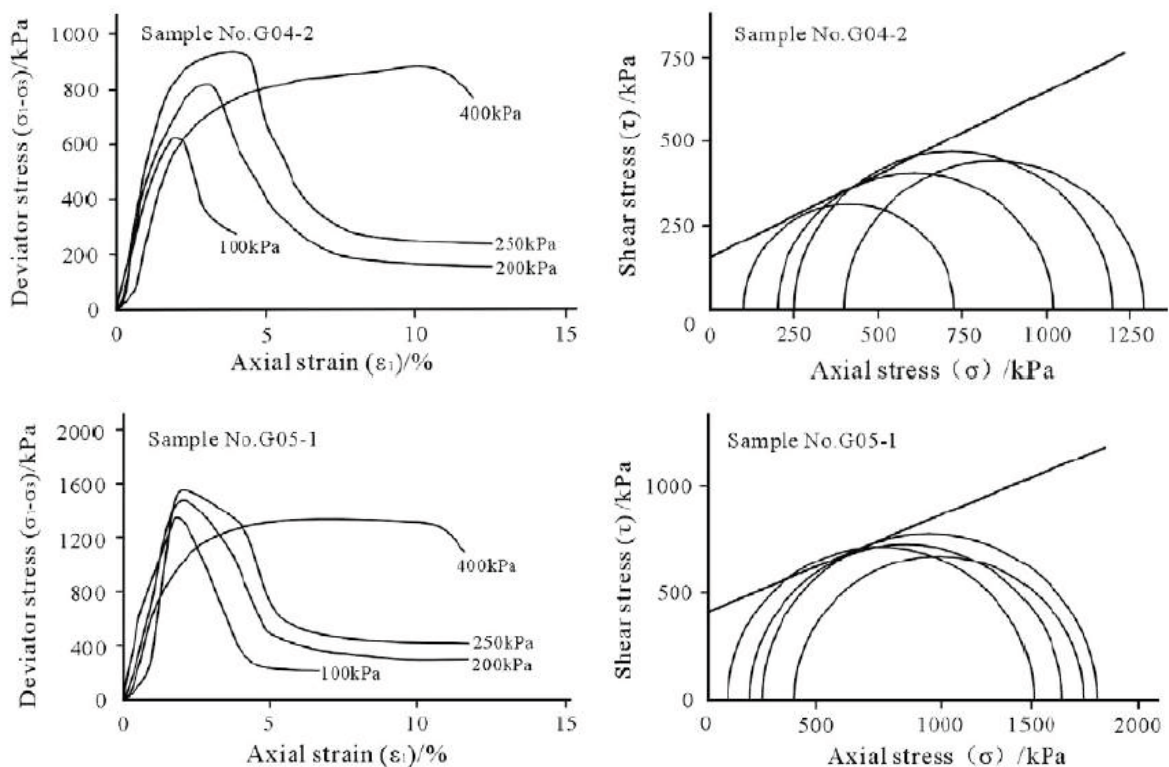
<sup>8</sup> J. A. Díaz. “Comportamiento monotónico de suelos diatomaceos”. *Revista Investigación de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*. Vol 12. no 1. pp 27-34. 2011.

diatomita superiores (40% y 60%), el incremento es considerable (25.3% Y 41%, respectivamente) para OCR = 1 y (33% y 45%, respectivamente) para OCR = 2 [8].

Por otra parte [9], ha investigado un tipo de arcilla diatomácea de la formación Mangbang del pleistoceno, que ha sido encontrada en los proyectos viales en la región Tengchong de la provincia Yunnan al sur oeste de china. Esta ha sido caracterizada por diversos métodos, como análisis granulométricos, análisis químicos, difracción de rayos x y análisis por microscopio electrónico, ensayos de contracción y corte, compresión uniaxial e inconfiada, triaxial y corte directo.

Estos resultados revelan que la arcilla diatomácea de Tengchong es un suelo o roca inusual la cual tiene características de ambos tipos, suelo arcilloso expansivo ó roca arcillosa suave.

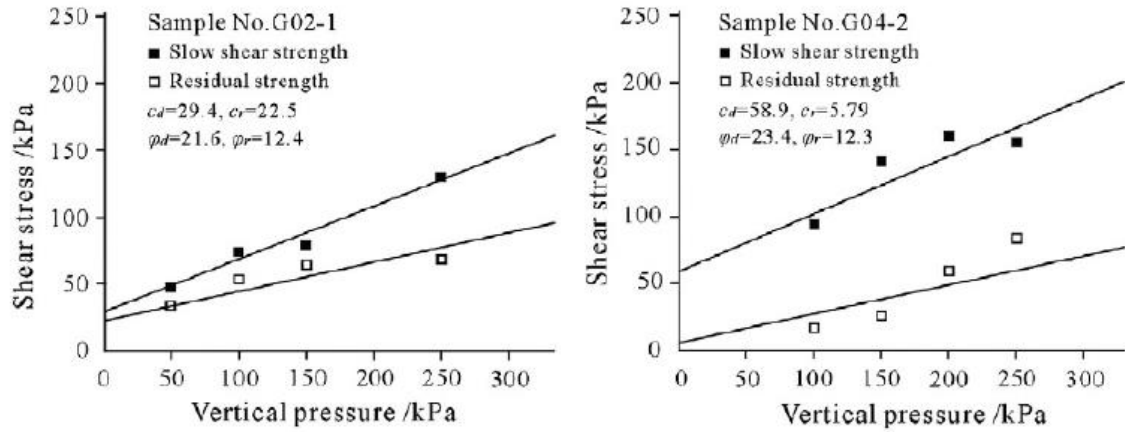
Y. Zhang et al. / Engineering Geology 167 (2013) 95–104



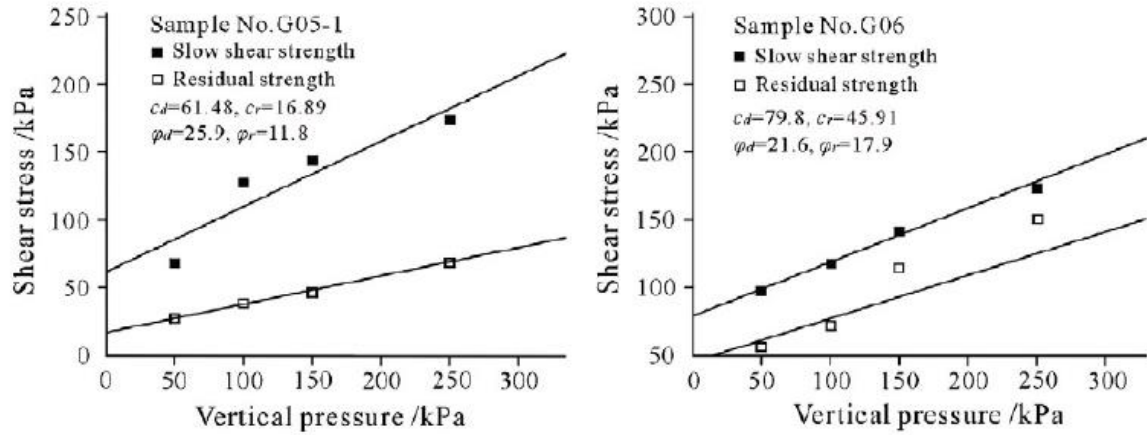
**Figura 1** curvas ensayo Triaxiales CD, Tierra Diatomacea arcillosa de tengchong.

<sup>9</sup> Y. Zhang, C. Guo, X Yao, “Engineering geological characterization of clayey diatomaceous earth deposits encountered in highway projects in the Tengchong region Yunnan, China”. Engineering Geology. Vol 167. pp 95-104. 2013.

**Figura 2.** Curvas Ensayos Triaxiales CD, Tierra Diatomacea Arcillosa de Tengchong [9].



**Figura 2** Envoltentes de resistencia, Ensayo de corte, Tierra Diatomacea arcillosa de Tengchong. FUENTE: Zuluaga D. y Slebi C. caracterizacion de suelo diatomaceo y respuesta a consolidacion unidimensional, 2016.



**Figura 3.** Envoltentes de resistencia, Ensayo de corte, Tierra Diatomacea Arcillosa de Tengchong [9]

**Figura 3** Envoltentes de resistencia, Ensayo de corte, Tierra Diatomacea arcillosa de Tengchong. FUENTE: Zuluaga D. y Slebi C. caracterizacion de suelo diatomaceo y respuesta a consolidacion unidimensional, 2016.

según Y. Zhang, C. Guo, X Yao y X.H. Cheng, D.J.M Ngan Tillard, E.J. Den Haan deducen que las diatomeas al interior del suelo mejoran la conexión entre microestructuras y a su vez las propiedades mecánicas de la tierra diatomácea. Debido a la cantidad significativa de materiales expansivos, la tierra diatomácea de Tengchong se define como una roca suave expansiva y es propensa a problemas de ingeniería y riesgos geológicos.

Complementario a lo enunciado, según A. M. Palomino, S. Kim, A. Summit, D. Fratta revela que suelos naturales que contienen diatomeas tienden a presentar alta

compresibilidad, baja resistencia al corte y dificultad de compactación, por efecto de la alta absorción de agua, límite líquido y ángulo de fricción<sup>[10]</sup>.

---

<sup>10</sup> A. M. Palomino, S. Kim, A. Summit, D. Fratta, "Impact of diatoms on fabric and chemical stability of diatom – kaolin mixtures". Applied Clay Science. Vol 51. pp 287-294. 2011.

### 5.3 MARCO TEÓRICO

La diatomita es una “roca” silíceas, sedimentaria, constituida por diatomeas; de color blanco crema, suave al tacto, con una apariencia similar a la tiza, químicamente inerte en la mayoría de químicos y gases, porosa, con alta capacidad absorbente y baja densidad aparente, lo que le permite flotar en el agua cuando no está saturada<sup>11</sup>. Las aportaciones sobre el comportamiento de suelos diatomáceos refiere las características únicas de los microfósiles como su alta porosidad esquelética, rugosidad superficial, variada y compleja geometría, así como su importante capacidad de retención de agua dentro de su estructura, contribuyen en el complicado comportamiento de los suelos que los contienen para la realización de obras civiles sobre este.

Existe un gran número de depósitos lacustres y marinos en el mundo que contienen microfósiles de origen silíceo o calcáreo en su composición. En particular, los sedimentos formados por los esqueletos de algas microscópicas de tipo diatomea, dan origen a la formación de suelos diatomáceos y diatomita; la localización de estos depósitos está vinculada con ambientes influenciados por actividad tectónica o volcánica, los cuales son ricos en sílice soluble y otros nutrientes necesarios para el desarrollo de diatomeas<sup>12</sup>.

Uno de los suelos naturales con microfósiles más estudiados, desde el punto de vista geotécnico, es el suelo de la Ciudad de México. Los primeros antecedentes de su mineralogía y características geotécnicas fueron presentados por Zeevaert (1949), Marsal y Mazari (1959) y Lo (1962).

Mesri et al. (1975) estudiaron la compresibilidad del suelo de la Ciudad de México y dentro de su análisis composicional determinaron que está constituido de 5% a 10% de partículas tamaño arena, de las cuales, la mayoría son oolitos calcáreos (el resto de esta fracción es un conjunto de minerales pesados); del 55% al 65% está compuesto por microfósiles silíceos de tamaño limo, la mayor parte diatomeas; del 20% al 30% está compuesta por partículas tamaño arcilla, de las cuales un estimado de 10% son Esmeclita y el resto es sílice biogénica o volcánica; el restante 5 a 10% es materia orgánica.<sup>13</sup>

En esta investigación se buscó realizar la caracterización de depósitos ubicados en la ciudad de Tunja, ya que no se tiene claro el comportamiento Geotécnico de este material presente en esta zona, y así verificar su comportamiento ante cargas aplicadas. Ya que según la literatura tiene alta plasticidad y al mismo tiempo, un alto

---

<sup>11</sup> Manosalva S, y Naranjo W. (2009), Diatomitas: Geología, caracterización y potencial industrial, Boyacá, Colombia, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2009.

<sup>12</sup> Lopez J(2009), comportamiento cíclico de suelos diatomáceos, Universidad Nacional Autónoma de México

<sup>13</sup> Ibid., p. 56.



ángulo de fricción interna en comparación con otros suelos cuyo ángulo de fricción decrece cuando el índice de plasticidad se incrementa.

## 6. DISEÑO METODOLÓGICO

### 6.1 METODOLOGÍA

Los pasos de la metodología desarrollada en el proyecto son:

- Recopilación y análisis de la información
- Reconocimiento geológico
- Exploración e investigación en campo
- Caracterización geotécnica en campo y laboratorio
- Análisis de los resultados obtenidos
- Conclusiones y recomendaciones
  
- **Recopilación y análisis de la información**

La recolección de datos se refiere al uso de una gran diversidad de técnicas y herramientas que serán utilizadas para el avance de la investigación; entre las técnicas que se utilizarán está la bibliografía de investigaciones realizadas que tienen que ver con la investigación efectuada.

- **Reconocimiento geológico**

El reconocimiento geológico se desarrolló tras el estudio de toda la información previa disponible y de una visita general de la zona que permita identificar el estado y el comportamiento de obras existentes y examinar los cortes existentes en el terreno como zanjas, trincheras, excavaciones, pozos, etc.

- **Exploración e investigación en campo y laboratorio**

Debido a las características especiales de los depósitos y de este tipo de material, se realizarán al menos dos perforaciones de 5 m, dos de 3 m y 2 apiques, a estas muestras tomadas de las realizara una caracterización visual.

Se tomarán muestras en taludes que contengan el tipo de material a estudiar, así mismo se efectuarán ensayos de caracterización física como se muestran a continuación:

**Tabla 1** ensayos de caracterización básicos a realizar

ENSAYOS	CANTIDAD
RELACIONES GRAVIMETRICAS Y VOLUMETRICAS	10
GRAVEDAD ESPECIFICA	6
GRANULOMETRIA	5
HUMEDAD NATURAL	10
LIMITES DE CONSISTENCIA	8
PERMEABILIDAD CARGA VARIABLE	4
DENSIDAD MAXIMA Y MINIMA	3

Fuente. Propia

Los cuales se realizaran por perforación realizada para las de 3 m y a una perforación de 5m.

Para los ensayos mecánicos que nos ayudaran a saber la deformabilidad del suelo y otras características importantes se realizara consolidación unidimensional y compresión inconfiada como se muestra a continuación:

**Tabla 2** ensayos de caracterización mecánicos a realizar

CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL LENTA	CANTIDAD
En condiciones naturales	3
COMPRESION INCONFINADA	CANTIDAD
En condiciones naturales	3
CORTE DIRECTO	CANTIDAD
En condiciones naturales	3

Fuente. Propia

Estas también se realizaran para perforaciones de 5m.

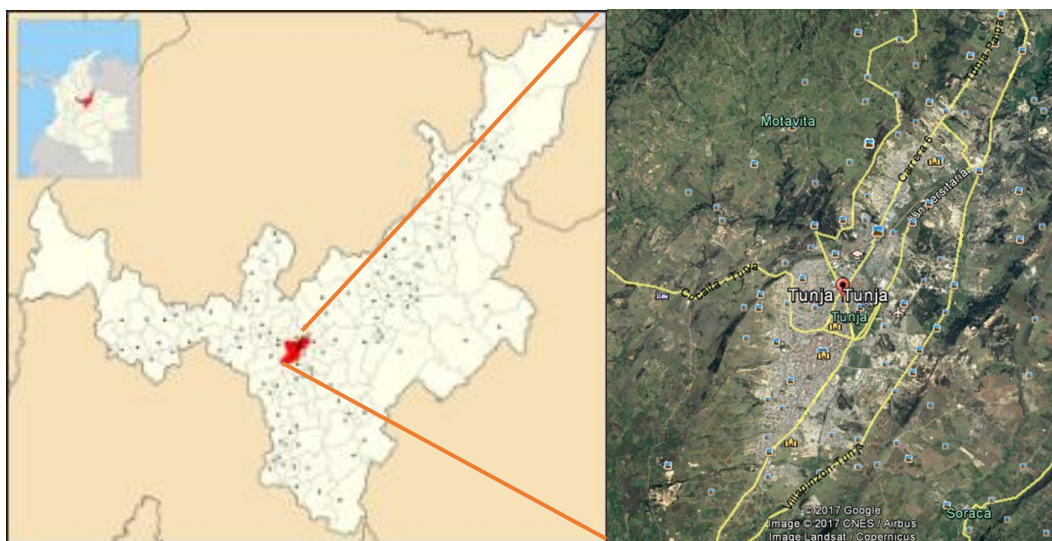
Para la visita en campo se tendrá en cuenta la descripción visual y táctil teniendo presente la norma INVIAS E 102 para caracterización de muestras in situ.

Se realizara un análisis de los resultados obtenidos mediante los ensayos geotécnicos, y aparte el análisis de la deformabilidad del suelo en condiciones.

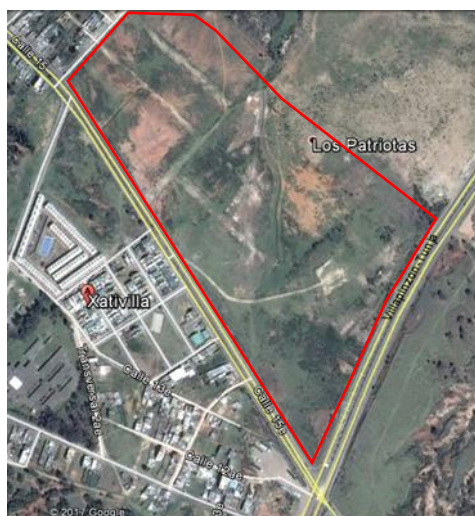
## 7. GENERALIDADES

### 7.1 LOCALIZACION

La zona de estudio está ubicada al suroriente de la ciudad de Tunja, en el flanco oriental del sinclinal buzante de Tunja, barrió patriotas, a  $05^{\circ} 31'19.46''$  de la latitud norte y  $73^{\circ}21'07.73''$  de longitud, oeste del meridiano Greenwich.



**Figura 4** Localización general del Municipio de Tunja y zona de estudio. **Fuente.** google earth



**Figura 5** Localización general de la zona de estudio. **Fuente.** google earth

Tunja, Es la capital del departamento de Boyacá, situado sobre la cordillera oriental de los Andes a 130 km al noreste de Bogotá. En cuanto a la economía según el DANE, el desarrollo reciente de infraestructura y de la industria de la construcción han contribuido a un aumento del PIB de 4.0% en 2014. La extensión territorial del municipio de Tunja es de 121,4 km<sup>2</sup> de los cuales el 87% corresponde al área rural y el 13% al área urbana.<sup>14</sup>

La Ciudad de Tunja se encuentra localizada en el Valle del Alto Chicamocha en la región del Altiplano Cundiboyacense, sobre la Cordillera Oriental de los Andes en el centro del país. Existen tres zonas orográficas dentro de la zona urbana: La planicie a 2650 metros sobre el nivel del mar, la meseta hacia el centro y sur de la ciudad a 2770 msnm, donde se encuentra el Centro Histórico y las Colinas donde alcanza los 2900 metros en los barrios de la zona occidental. En la zona rural, la altura sobre el nivel del mar oscila entre 2.400 msnm en el extremo suroccidental hasta los 3.250 msnm en límites con los municipios de Cucaita y Samacá. La altura promedio es de 2720 msnm lo que la hace la capital más alta de Colombia y una de las quince ciudades más altas del mundo

Las principales vías terrestres de acceso son la Troncal BTS (Briceño-Tunja-Sogamoso) y la A62 que conduce hacia la ciudad de Bucaramanga, ambas pertenecientes a la vía Panamericana. En el perímetro urbano se encuentra la Troncal Central del Norte que comunica la zona urbana con las ciudades de Duitama y Sogamoso; la Avenida Oriental con acceso a la Terminal de Transporte; las carreras 10 y 12 que atraviesan el centro histórico; y la avenida T19-Avenida Colón (acceso hacia las ciudades del occidente del departamento como Chiquinquirá) confluyen en el Monumento a la Raza.

## **7.2 DESCRIPCCION DE LA ZONA DE ESTUDIO**

El sitio de estudio se caracteriza por presentar condiciones topográficas un poco variables, pero no abruptas; en esta zona se encuentra un depósito de diatomitas, que no ocupan todo el terreno, el terreno estudiado tiene una extensión de 1250 m<sup>2</sup>, donde se definen para su estudio la división en 5 zonas como se muestra a continuación, de las cuales 400 m<sup>2</sup> corresponden aproximadamente al lugar con contenido de diatomita:

---

<sup>14</sup> «Resultados y proyecciones (2005-2020) del censo 2005». DANE. Consultado el 12 de enero de 2017.

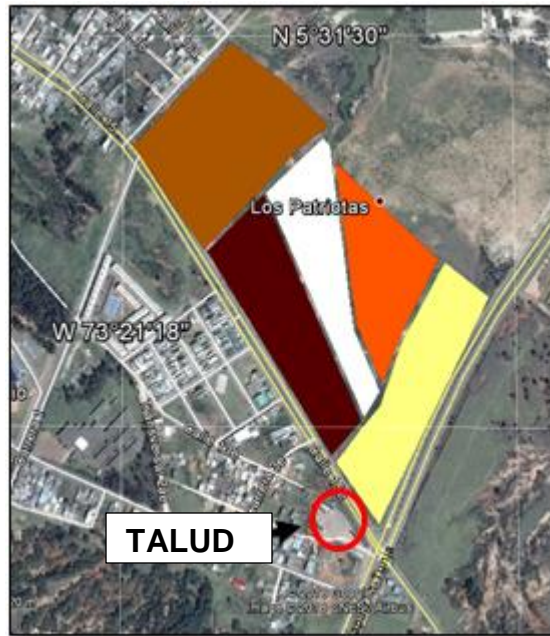


Figura 6 Zonificación escogida para la ubicación de sondeos. Fuente. google earth



Figura 7 Ubicación de sondeos zona de estudio. Fuente. google earth

La definición de la ubicación de los sondeos se obtuvo por el color que se apreciaba en superficie como se observa en la figura 6, realizando un número de 5 sondeos y 2 apiques.

El sitio de estudio se caracteriza por presentar pendiente suave, con inclinaciones entre las capas de diatomitas exhiben una pseudoestratificación; en esta zona el suelo con contenido de diatomitas no ocupa toda la extensión de la zona de estudio, esta presenta una extensión de 1250 m<sup>2</sup>; en el depósito de diatomita identificado gracias a los sondeos 3, 4 y apique 2 con un área de más o menos la cuarta parte del área de estudio; lo cual indica la variación lateral de las capas de diatomitas en el depósito. Estas poseen color en condiciones húmedas de color amarillo **HUE 5.0 Y-8/4** y en condiciones secas **HUE 7.5Y-8/3(amarrillo pálido)**.

De estos sondeos se obtuvieron muestras alteradas e inalteradas hasta profundidades de 4.50 m para el sondeo 4, 4.50 m para el sondeo 3 y 1.50 m para el apique 2; este depósito (Qd) se ha cartografiado como una unidad arcillosa con tierra de diatomeas que no se encuentra uniforme en la zona, si no por intercalaciones, es datado del pleistoceno superior, conformado por una sucesión de arcillas plásticas, grisáceas y blancuzcas, que yacen discordantemente sobre la formación Tilata y sobre las formaciones Bogotá, Cacho y Guaduas. (IGAC)

## 8. DESARROLLO DEL ESTUDIO

A continuación se describen las propiedades del suelo que conllevaron a la selección del tipo de exploración, la cantidad de exploraciones necesarias y la distribución de las mismas para describir correctamente el depósito dando prioridad a las zonas que presentan mayor cantidad de arcillas diatomáceas, además se describen los posibles materiales a encontrarse en el depósito y los posibles comportamientos que pueden llegar a presentar, ante las condiciones del sitio con la aplicación de cargas.

### 8.1 FISIOGRAFIA Y CLIMA

La Ciudad de Tunja se encuentra localizada en el Valle del Alto Chicamocha en la región del Altiplano Cundiboyacense, sobre la Cordillera Oriental de los Andes en el centro del país. Existen tres zonas orográficas dentro de la zona urbana: La planicie a más de 2800 metros sobre el nivel del mar, la meseta hacia el centro y sur de la ciudad donde se encuentra el Centro Histórico y las Colinas donde alcanza los 3000 metros en los barrios de la zona occidental. La altura promedio es de 2820 msnm. Su temperatura promedio es de 13°C, cuyo clima para la zona de estudio corresponde a frío.



**Figura 8** Fisiografía y clima – Zona de estudio. **Fuente.** POT

### USO DEL SUELO

La zona del estudio es un lote baldío ubicado en las afueras de la ciudad de Tunja al flanco oriental entre la vía circunvalar de Bogotá-Sogamoso y el barrio Los Patriotas de la ciudad de Tunja, el lote está dividido en dos partes, la parte norte pertenece a German Torres y la parte sur pertenece al estado y actualmente se



encuentra en un proceso de invasión, por el occidente limita con las casas del barrio los Patriotas y por el sur con el barrio San Antonio.



**Figura 9** Localización general del Municipio de Tunja y zona de estudio. Fuente. POT

## **8.2 DESCRIPCIÓN GEOLOGICA**

Las condiciones geológicas del sitio de estudio se enmarcan básicamente en la caracterización de la Formación Bogotá y Tilatá, obedeciendo a su localización geográfica y demás características que constituyen su disposición y comportamiento. Sin embargo, se referencia las demás formaciones adyacentes al área de estudio con el fin de puntualizar adecuadamente las condiciones geológicas presentes en el lugar.

### **8.2.1 FORMACIÓN CONEJO (Kscn)**

Sucesión sobre la vía Oicatá – Chivatá bordeando el alto del conejo. Esta formación fue datada entre el Cenomaniano Superior, Turoniano y Coniaciano inferior por la presencia de fauna típica de ambiente de sedimentación marino. La formación presenta un espesor aproximado de 273 m formado por bancos de areniscas

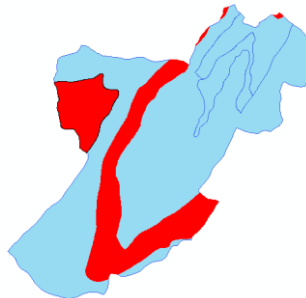
intercaladas con niveles de lutitas gris oscuro a amarillento; en su parte superior, presenta esporádicos estratos de caliza. Regionalmente la formación conejo se encuentra aflorando en el Puente de Boyacá, abarcando los dos flancos del anticlinal del mismo nombre y hacia el flanco oriental del sinclinal de Tunja sobre el municipio de Oicatá (Ingeominas, 1981).

### **8.2.2 GRUPO GUADALUPE (Kg)**

Data de edad Coniciano-Maestrichtiano, este grupo está compuesto por las formaciones Plaeners, Labor y Tierna. La formación Plaeners presenta un espesor aproximado de 110 m de porcelanitas, chert y esporádicas fosforitas, con una parte intermedia de arcillas y areniscas, con presencia de foraminíferos, vértebras y escamas de peces. Se observa en el sector de Soracá y sobre la vía Tunja - Villa de Leiva (Alcaldía Mayor de Tunja y Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 1999).

La formación Labor y Tierna en el sector de Soracá se encuentran conformada por unos 117 m inferiores de lutitas grises oscuras con pequeñas intercalaciones de arenisca y por 50 m superiores de arenisca. El grupo Guadalupe es de origen marino como lo indica la presencia de la fauna típica en toda la sección. Esta formación es componente base del sinclinal de Tunja. (Alcaldía Mayor de Tunja y UPTC, 1999).

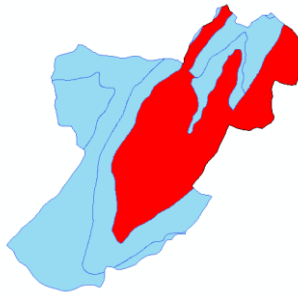
### **8.2.4 FORMACIÓN GUADUAS (TKg)**



**Figura 10** Localización general del Municipio de Tunja y zona de estudio. Fuente. **POT**

Se encuentra en forma concordante sobre la formación Guadalupe y está compuesta en su mayoría por arcillolitas carbonáceas, areniscas y arcillolitas abigarradas, con la presencia de mantos de carbón de diferentes espesores que son económicamente explotables. Su espesor presenta variaciones considerables a lo largo de la región, en algunos sectores de la cuenca presenta 1200 m de espesor como en Samacá y en sectores como Tunja difícilmente alcanza los 600 m. (Alcaldía Mayor de Tunja y Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 1999).

## 8.2.5 FORMACIÓN BOGOTA (Tb)



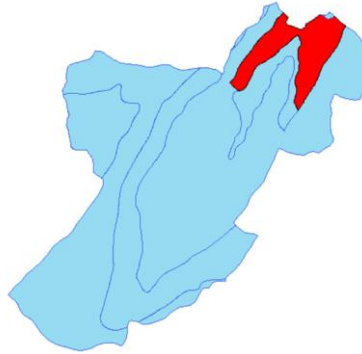
**Figura 11** Localización general del Municipio de Tunja y zona de estudio. Fuente. POT

Esta formación se compone de una sucesión monótona de arcillolitas abigarradas de colores gris, violeta y rojo en forma de bancos, separados por niveles de areniscas arcillosas blancas a amarillas. Aflora en ambos flancos del sinclinal de Tunja y Ventaquemada y también en algunas zonas del anticlinal de Puente de Boyacá. Según Van Der Hammen (1958), ha sido datada del paleoceno superior y eoceno inferior, presenta concordancia con las areniscas de la formación Cacho y hacia el techo yace en discordancia con la formación Tilatá. En la zona de estudio afloran en un área bastante extensa rocas de esta formación distribuyéndose ampliamente en ambos flancos de la estructura, constituyendo una de las unidades sobre la cual se han desarrollado profundas y extensas cárcavas. Esta formación se divide en cuatro conjuntos litológicos de los cuales el cuarto o superior es el que no aflora en toda su potencia. El conjunto inferior se compone en su parte basal, de areniscas arcillosas varicoloreadas, sobre las que yacen unas areniscas compactas y cuarzosas de grano fino; presenta ocasionales alternancias de arcillolitas grises. Sobre las anteriores, se encuentran unas arcillolitas grises y amarillas con un banco de arenisca gris blancuzco de grano grueso y matriz caolinítica, friable, la cual se encuentra hacia el techo en contacto con una arenisca gris clara de grano fino y matriz caolinítica. Suprayaciendo se presentan unas arcillolitas grises con delgadas alternancias de areniscas amarillentas. Seguidamente, se presenta un banco de 8 m de espesor constituido por una arenisca de color gris de grano fino, cuarzosa, con muscovita y biotita dispuestas en formas de lentes, lo cual le imprime un bandeamiento oscuro no continuo. Reposando sobre estas se observan unas arcillolitas amarillas y habanas con alternancias de limolitas amarillas. La parte más superior de este conjunto la conforman unas areniscas grises de grano fino de 12 m de espesor constituidas por ortoclasa, cuarzo y biotita.

El espesor aproximado de este conjunto es de 130 m. El conjunto medio en el área se encuentra totalmente cubierto por depósitos coluviales y fluviolacustres. En el conjunto superior constituido en su gran mayoría por arcillolitas rojizas y grises, se observa hacia la base, una arenisca gris rojiza con manchas verdosas, de grano

fino, alto contenido de óxidos y compacta, sobre esta reposan unas arcillolitas rojas con ocasionales alternancias de arcillolitas amarillas y blancas. Hacia la parte media se observa una arenisca amarilla rojiza de grano fino a muy fino. El espesor medio de este conjunto es de 117 m. Esta unidad es la que conforma el sustrato rocoso en la zona de estudio.

#### 8.2.6 FORMACIÓN TILATÁ (TQt):



**Figura 12** Localización general del Municipio de Tunja y zona de estudio. Fuente. POT

Conjunto de arcillas intercaladas con arenas y gravas de origen fluvial y lacustre cuya sección tipo se encuentra entre la vía Tunja - Duitama. En el Municipio de Chivatá reposa discordante sobre las formaciones Conejo y Plaeners y se observan amplios sectores de la vereda Ricaya en donde afloran materiales de esta formación constituidos predominantemente por arcillas abigarradas intercaladas con delgados niveles de arena, que le dan al sector una morfología suave. Actualmente los materiales arcillosos están siendo aprovechados para la elaboración de ladrillos y tejas. La edad de la formación fue establecida como Plioceno-pleistoceno.

La unidad se compone predominantemente de niveles arenosos en capas medias a gruesas, intercaladas con limolitas y arcillolitas abigarradas. Las arenas son cuarzosas, bien seleccionadas, muy friables y de grano que varía de grueso a fino, redondeado a subredondeado. Son comunes los óxidos de hierro tanto en los niveles duros como blandos. Se presentan capas de lignito, explotados en la zona como carbón de regular calidad. La cartografía de la Formación Tilatá se hace en el sentido de Renzoni & Rosas (1983), incluyendo las gravas o niveles de conglomerados con matriz arenolimososa y líticos de areniscas, chert y cuarzo que conforman lomas redondeadas en la zona y que según Reyes (2001) hacen parte de una unidad más antigua. Renzoni (1981) calcula un espesor en el área de 150 m y reporta una edad del Plioceno a Pleistoceno calculada por Van Der Hammen a partir de palinología de muestras de lignitos. Esta Formación yace discordantemente sobre unidades preexistentes.

### **8.2.7 DEPÓSITOS COLUVIALES (Qc)**

En la zona de estudio se localizan especialmente hacia la parte baja y media del flanco occidental de la estructura, cerca de los barrios Muisca y Asís, cubriendo buena parte de las laderas, estos depósitos se formaron a partir de los bloques de areniscas desprendidos de los niveles de roca competente (formación Cacho y algunos niveles de la formación Bogotá principalmente) y el material removido de las formaciones no competentes (partes de la formación Bogotá).

### **8.2.8 DEPÓSITO LACUSTRE (Qd)**

Se trata de una unidad arcillosa con tierra de diatomeas. Según Reyes (1990) son depósitos típicos lacustres con intercalaciones de diatomitas, tal como se presentan en Tunja, y pueden ser contemporáneos con capas similares existentes en la Sabana de Bogotá, datados del Pleistoceno superior. En la zona de estudio esta unidad se encuentra localizada en el sector sur oriental, en ambos costados del flanco oriental de la estructura presente. Está constituida por una sucesión de arcillas plásticas, grisáceas y blancuzcas. Yace discordantemente sobre la formación Tilatá y sobre las formaciones Bogotá, Cacho y Guaduas. La zona de estudio se localiza sobre materiales de este depósito.

### **8.2.9 DEPÓSITO FLUVIO-LACUSTRE (Qac)**

Se encuentra formando los valles de los ríos Chulo y La Cascada. Son depósitos no consolidados y su composición varía lateralmente, así como la granulometría de sus elementos, situación que refleja la frecuente variación de la intensidad de las corrientes hídricas que los depositaron. Sobre el eje del sinclinal su espesor alcanza unos 37 m; los materiales que lo componen están constituidos por intercalaciones de arena y arcilla de color carmelita y con oxidaciones rojizas, lo que sugiere la alternancia de episodios lacustres y fluviales en su formación.

Estos depósitos reposan discordantemente sobre la formación Tilatá ocupando los paleocauces definidos por el relieve post-erosivo, esto significa que la fase fluvio-lacustre es netamente posterior a la sedimentación de la formación Tilatá, es decir del pleistoceno superior.

### **8.2.10 DEPÓSITO ALUVIAL (Qal)**

Hacia el flanco occidental del sinclinal, en el sector noroccidental de la ciudad se localiza un cono aluvial que forma el valle de la quebrada La Vega, la cual sirvió como medio de transporte. Está constituido por grava, gránulos de arenisca blanca de grano fino con una matriz arcillosa, chert, arcilla amarilla, arena arcillosa de grano fino a medio, fragmentos de arena roja y amarilla; sobre la parte más superior presenta una intercalación de limos, arcillas y arenas.

El material ubicado sobre los márgenes del lecho del río la Vega en el sector de Puente Restrepo, al occidente del barrio La María, se halla re TRABAJADO, es por esta razón que su orientación no es representativa de las paleocorrientes. Este conjunto tiene un espesor variable, alcanzando los 83 m en la parte más profunda hasta ahora conocida, determinados en diferentes perforaciones de pozos para agua realizados en la ciudad.



**Figura 13** Deposito aluvial Zona de Estudio. Tomado del IGAC. **Fuente.** POT

### **8.2.11 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA**

Las condiciones generales de la zona, se trabajan a escala regional y a escala local, proceso que inicia con el análisis de la información preliminar del Servicio Geológico Colombiano del sitio a escala regional que incluye el área de estudio, esta condición general es importante y tiene incidencia en la ocurrencia de los fenómenos naturales que se puedan llegar a presentar en la zona y que ya han sido previamente valorados en los panoramas de riesgo del municipio, procesos que tienen una alta influencia en el uso de los suelos. Para la parte local se utiliza los estudios geológicos del EOT, donde se detalla los tipo de materiales en el sitio y las condiciones actuales, además de esto, la condición geológica, permite establecer de forma preliminar, que tan susceptible es el sitio ante la presencia de un evento

sísmico, lo cual es de gran importancia, puesto que la el municipio de Paipa, se encuentra en una zona de amenaza sísmica alta.

### 8.2.12 Geología Regional

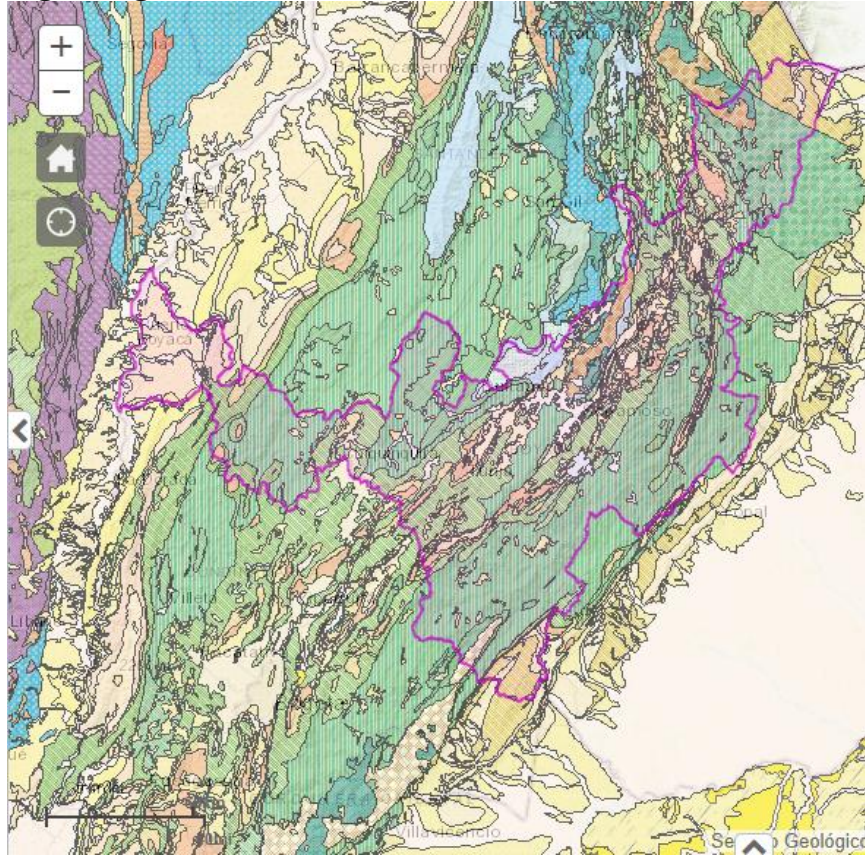


Figura 14 Geología regional de Tunja, Zona de Estudio. Fuente. IGAC

### 8.2.13 Geología local

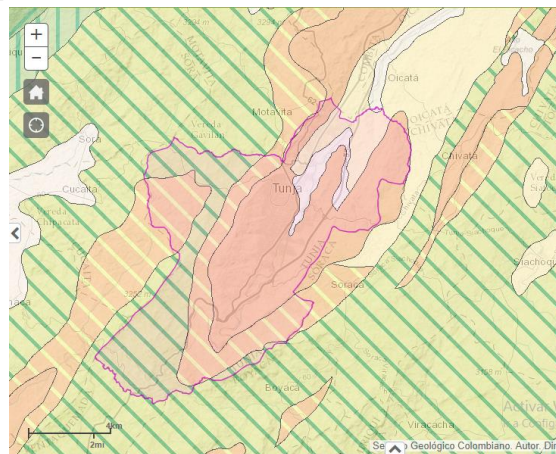


Figura 15 Geología local de Tunja, Zona de Estudio. Fuente. IGAC

Escala 1:150.000

Obtenido del mapa geológico de Colombia del servicio geológico colombiano

### Tectónica y geología estructural

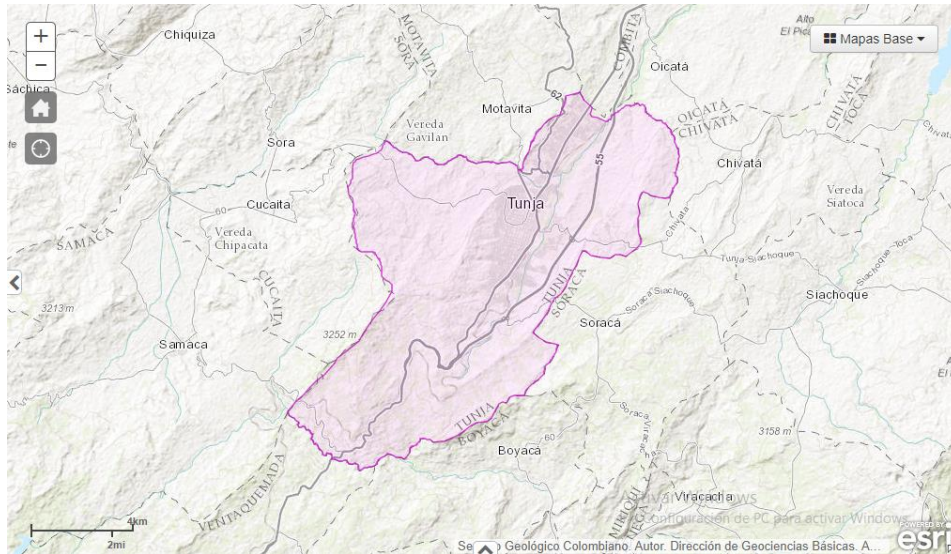
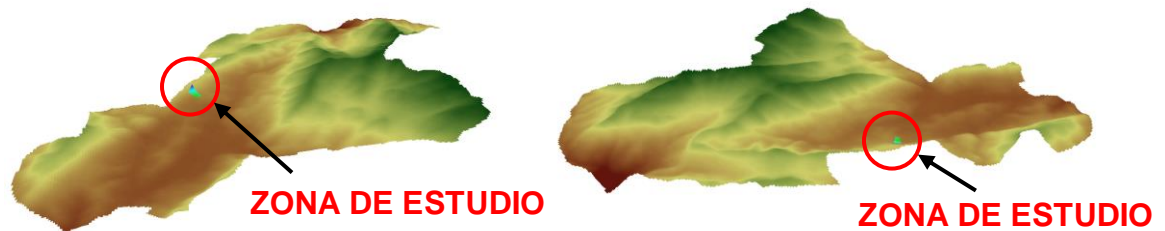


Figura 16 Mapa Hidrográfico municipio de Tunja, Zona de Estudio. Fuente. IGAC

### 8.3 TOPOGRAFÍA

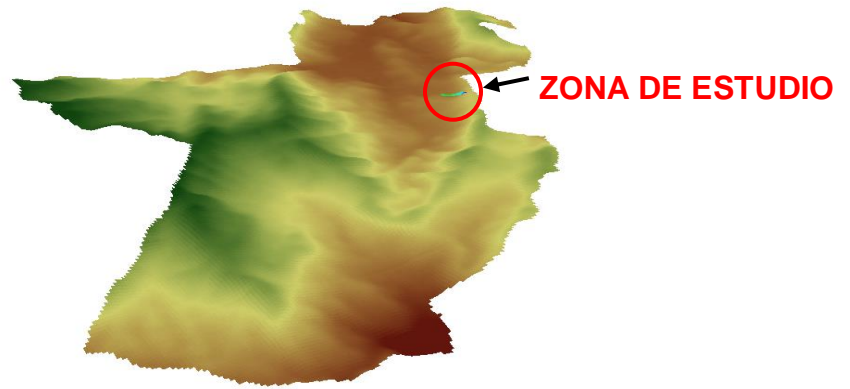
La Ciudad de Tunja se encuentra localizada en el Valle del Alto Chicamocha en la región del Altiplano Cundiboyacense, sobre la Cordillera Oriental de los Andes en el centro del país. Existen tres zonas orográficas dentro de la zona urbana: La planicie a 2650 metros sobre el nivel del mar, la meseta hacia el centro y sur de la ciudad a 2770 msnm, donde se encuentra el Centro Histórico y las Colinas donde alcanza los 2900 metros en los barrios de la zona occidental.

#### 8.3.1 Topografía Regional



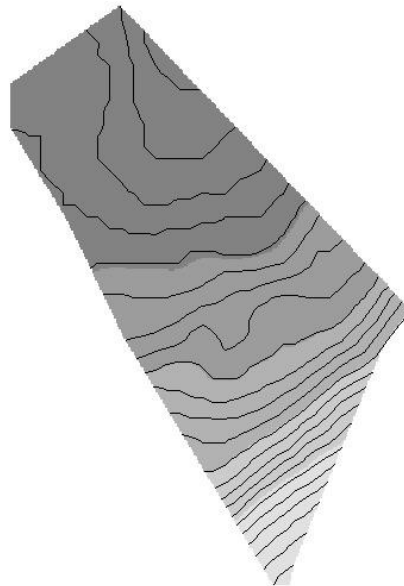


**Figura 17** Topografía Regional, Zona de Estudio, vista desde el norte y oriente respectivamente.



**Figura 18** Topografía Regional vista sur, Zona de Estudio.  
**Fuente.** Propia

### 8.3.2 Topografía local



**Figura 19** Topografía local, Zona de Estudio. **Fuente.** Propia

La topografía de la zona de estudio tiene una ligera inclinación como se observa en la **figura 19**, identificando que el sondeo 1 se encuentra en la parte más alta de la zona de estudio y en la parte baja se encuentra el sondeo 5.

## 8.4 HIDROGRAFÍA

El principal recurso hídrico de la ciudad es la Represa de Teatinos, que abastece en su totalidad el área urbana, el cual se apoya en un inmenso acuífero subterráneo que se ubica bajo toda el área rural y urbana. Igualmente cuenta con tres ríos y numerosas quebradas atraviesan su territorio:

**Río Jordán:** Nace en la zona rural del sur y hace parte de la cuenta alta del río Chicamocha. Desemboca en el embalse La Playa del municipio de Tuta. Atraviesa la ciudad de sur a norte. Se encuentra canalizado en varias franjas del sur y oriente de la zona urbana.

**Río Teatinos:** Nace en la represa de Teatinos y atraviesa el Puente de Boyacá. Su curso continúa hacia el municipio de Boyacá donde toma su nombre. Actualmente presenta bajos índices de contaminación en su curso alto y bordea numerosas áreas forestales de bosque virgen.

**Río La Vega:** También llamado Río Farfacá. Nace en el municipio de Motavita y atraviesa el Campus Central de la UPTC. Luego de estar altamente contaminado, ha sufrido un importante proceso de descontaminación y recuperación del ecosistema acuático en la última década. Desemboca en el río Jordán a la Altura del Barrio Las Quintas

**Río La Cascada:** Nace entre la vereda de Pirgua y el municipio de Soracá, para luego bajar al valle de Tunja y desembocar en el río Jordán.

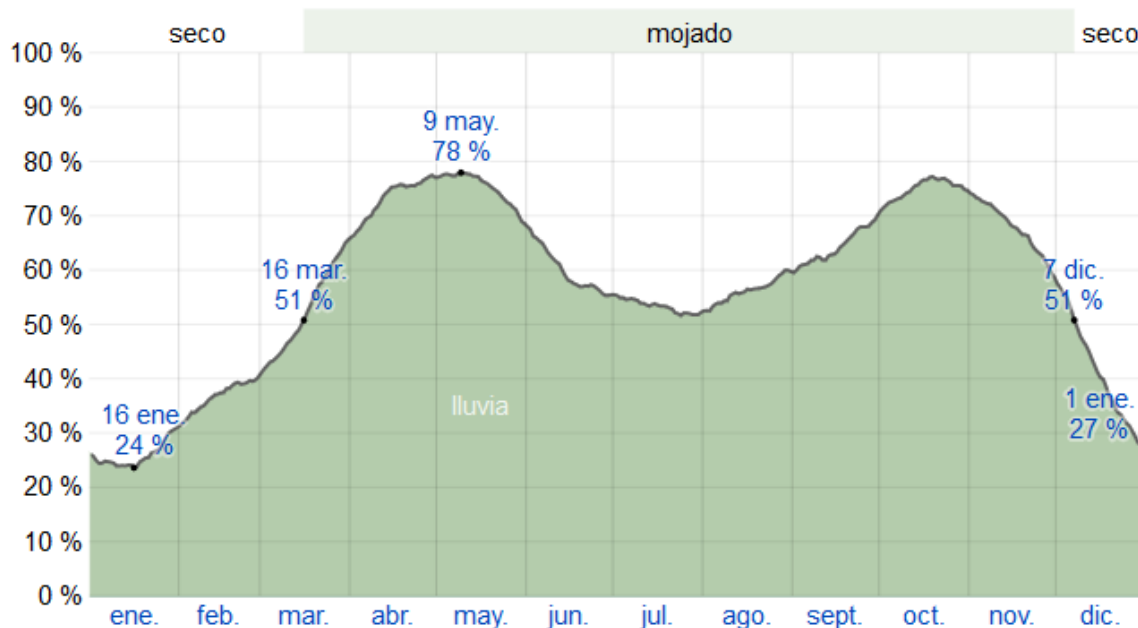


**Figura 20** Mapa Hidrográfico municipio de Tunja, Zona de Estudio. **Fuente.** IGAC

## 8.5 PRECIPITACIÓN Y CLIMA

El clima en Tunja es frío. Incluso en el mes más seco hay mucha lluvia. De acuerdo con Köppen y Geiger el clima se clasifica como Cfb(figura 21). La temperatura media anual en Tunja se encuentra a 12.8 °C. Hay alrededor de precipitaciones de 917 mm.

En Tunja, los veranos son largos y frescos; los inviernos son cortos, fríos y mojados y está nublado durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 5 °C a 17 °C y rara vez baja a menos de 1 °C o sube a más de 20 °C.

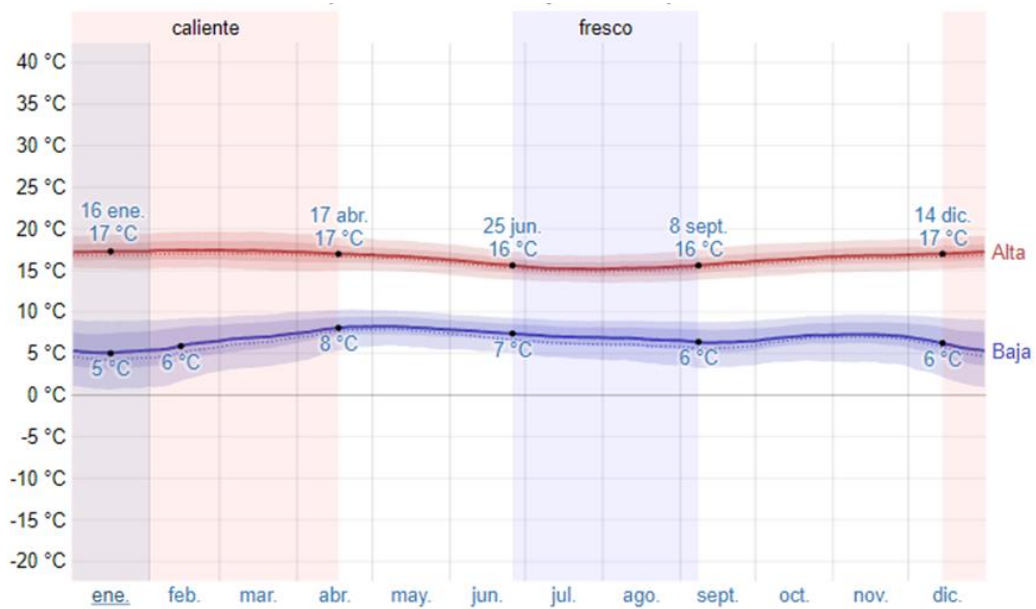


*El porcentaje de días en los que se observan diferentes tipos de precipitación, excluidas las cantidades ínfimas: solo lluvia, solo nieve, mezcla (llovió y nevó el mismo día).*

**Figura 21** Probabilidad diaria de precipitación. **Fuente.** IGAC

La temporada templada dura 4,1 meses, del 14 de diciembre al 17 de abril, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 17 °C. El día más caluroso del año es el 13 de febrero, con una temperatura máxima promedio de 17 °C y una temperatura mínima promedio de 6 °C.

La temporada fresca dura 2,4 meses, del 25 de junio al 8 de septiembre, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 16 °C. El día más frío del año es el 16 de enero, con una temperatura mínima promedio de 5 °C y máxima promedio de 17 °C(figura 22).

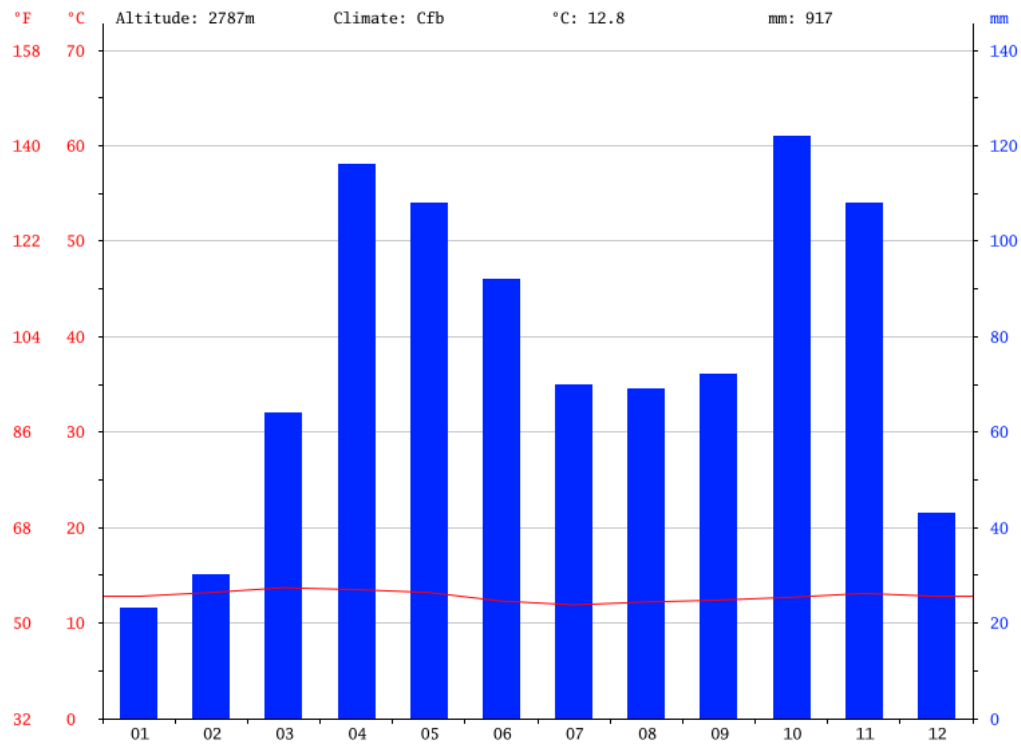


La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diaria con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas

**Figura 22** Temperatura máxima y mínima promedio. **Fuente.** IGAC

Los datos anteriores se analizó así: Para cada hora entre 8:00 y 21:00 del día en el período de análisis (1980 a 2016), se calculan las puntuaciones independientes de temperatura percibida, nubosidad y precipitación total. Esas puntuaciones se combinan en una sola puntuación compuesta por hora, que luego se agregan por día y se promedian todos los años del periodo de análisis y se suavizan.

## 8.6 CLIMOGRAMA TUNJA



**Figura 23** Climograma de Tunja. Fuente. IGAC

El mes más seco es enero, con 23 mm de lluvia. La mayor parte de la precipitación cae en octubre, promediando 122 mm; los sondeos en esta investigación se realizaron en el mes de febrero por tanto se ha de tener en cuenta que es de los meses más secos.

## 9. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

La investigación del subsuelo de la zona de estudio involucró el reconocimiento geológico de la misma, se realizaron 5 sondeos y 2 apiques, donde se tomaron muestras alteradas e inalteradas; además de realizar la descripción visual de todas las muestras obtenidas, también se dará a conocer los ensayos realizados en laboratorio con el fin de establecer parámetros físicos y mecánicos representativos del perfil del suelo.

### 9.1 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA.

Para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que constituyen el perfil del subsuelo en el sitio de estudio, se realizó reconocimiento visual en campo y labores de exploración manual, determinando las propiedades físicas de los materiales explorados. Las capas del material del subsuelo extraído se tomaron a partir de muestras alteradas e inalteradas mediante perforación manual y confinadas en tubo Shelby, estas se almacenan cuidadosamente para el traslado y posterior identificación en laboratorio mediante la ejecución de ensayos geotécnicos.

El proceso de investigación del subsuelo se concentró en el área de estudio, para lo cual se efectuaron 5 sondeos mediante perforación manual a una profundidad máxima de investigación de 4.50 m, lo cual se puede observar desde la **figura 24** hasta la **figura 30**.

#### PANORÁMICA DE LA ZONA



**Figura 24** Panorámica, Zona de Estudio. **Fuente.** Propia



**Figura 25** Panorámica, Zona de Estudio. **Fuente.** Propia



**Figura 26** Panorámica, Zona de Estudio. **Fuente.** Propia

## SONDEOS

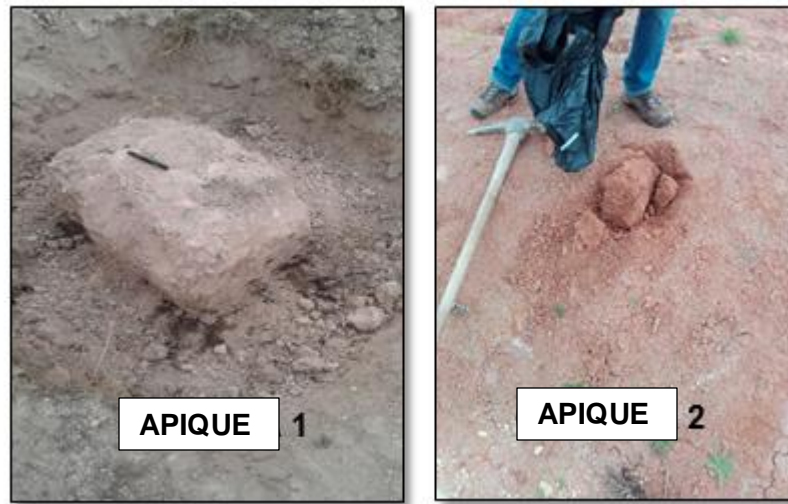


Figura 27 sondeo 1,2 y 3, Zona de Estudio. Fuente. Propia



Figura 28 Sondeo 4 Y 5, Zona de Estudio. Fuente. Propia





**Figura 29** Apique 1 y 2, Zona de Estudio. **Fuente.** Propia



**Figura 30** Apique 2, Zona de Estudio. **Fuente.** Propia



**Figura 31** Talud con contenido de diatomitas, Zona de Estudio. **Fuente.** Propia

En la tabla 3 se da un registro de las coordenadas Geográficas, niveles de agua y profundidades de las perforaciones llevadas a cabo en el área estudiada. En el ANEXO B se presentan los registros de la exploración realizada en el área de estudio

**Tabla 3** Localización de perforaciones, realizadas en el la zona de estudio

PERFORACIÓN/ CALICATA	LOCALIZACIÓN		PROFUNDIDAD (m)	TIPO	NIVEL DE AGUA (m)
	NORTE	OESTE			
S-1	5°31'14.34"N	73°21'5.72"O	4.2	Manual	-
S-2	5°31'18.85"N	73°21'5.93"O	2.8	Manual	-
S-3	5°31'17.41"N	73°21'10.65"O	4.5	Manual	-
S-4	5°31'19.66"N	73°21'8.86"O	4.5	Manual	-
S-5	5°31'26.14"N	73°21'13.66"O	4.8	Manual	-
Apique 1	5°31'20.21"N	73°21'9.76"O	1.5	Manual	-
Apique 2	5°31'22.77"N	73°21'14.03"O	1.5	Manual	-
Talud	5°31'9.42"N	73°21'8.94"O	1.5	Manual	-

**Fuente.** Propia



**Figura 32** ubicación de los sondeos y calicatas, Zona de Estudio, barrio patriotas Tunja. **Fuente.** Google Earth.

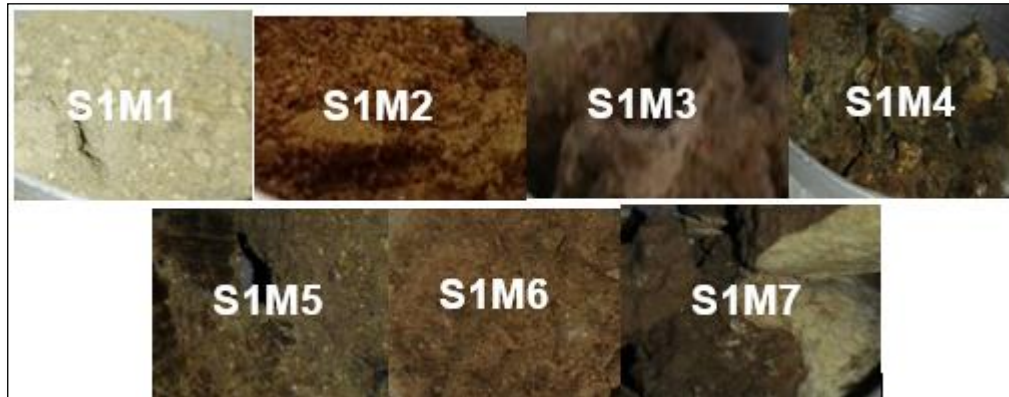
A continuación, se presentan los registros fotográficos tomados en campo, así como los materiales encontrados en el perfil litológico del terreno mediante la exploración geotécnica en los respectivos sondeos.

#### **SONDEO MANUAL N° 1**

En la **Figura 33** , se observan muestras del Sondeo Manual N° 1; la secuencia estratigráfica de éste comienza con material conformado por una Capa relleno color amarillo palido (HUE 2.5GY-7/4) compuesto principalmente por recebo y arenas, de tamaño de grano medio y forma subredondeada, consistencia firme, plasticidad baja y humedad media hasta una profundidad de 0.80 m. En seguida se encuentra materia orgánica combinada con relleno y arcilla de color marrón (HUE 7.5YR 2/4) de consistencia firme, plasticidad media a baja y estado ligeramente húmedo, hasta una profundidad de 2.20 m. Finalmente, se encuentra un material de relleno combinado con materia orgánica de color marrón oscuro (HUE 2.5Y-3/4) de consistencia firme, plasticidad baja y estado ligeramente húmedo, hasta una profundidad de 4.20 m. No se evidencio presencia de nivel freático en las

perforaciones

realizadas.



**Figura 33** Muestras Sondeo 1, Zona de Estudio. **Fuente.** Propia

### SONDEO MANUAL N° 2

En la **Figura 34**, se observan muestras del Sondeo Manual N° 2; la secuencia estratigráfica de éste comienza con material conformado por arena arcillosa de color oro azteca (brillante) (HUE 2.5Y-6/6) compuesto principalmente por arena, de tamaño de grano medio y forma subredondeada, consistencia firme, No plástico y humedad media hasta una profundidad de 1.60 m. En seguida se encuentra una arcilla de color marrón rojizo (HUE 2.5 YR-2/6) de consistencia firme, plasticidad baja y estado ligeramente húmedo, hasta una profundidad de 2.10 m. Finalmente, se encuentra un material arcillo arenoso de color amarillo oliva (HUE 7.5Y-6/4) de consistencia firme, plasticidad baja y estado ligeramente húmedo, hasta una profundidad de 2.8 m. No se evidencia presencia de nivel freático en las perforaciones realizadas.

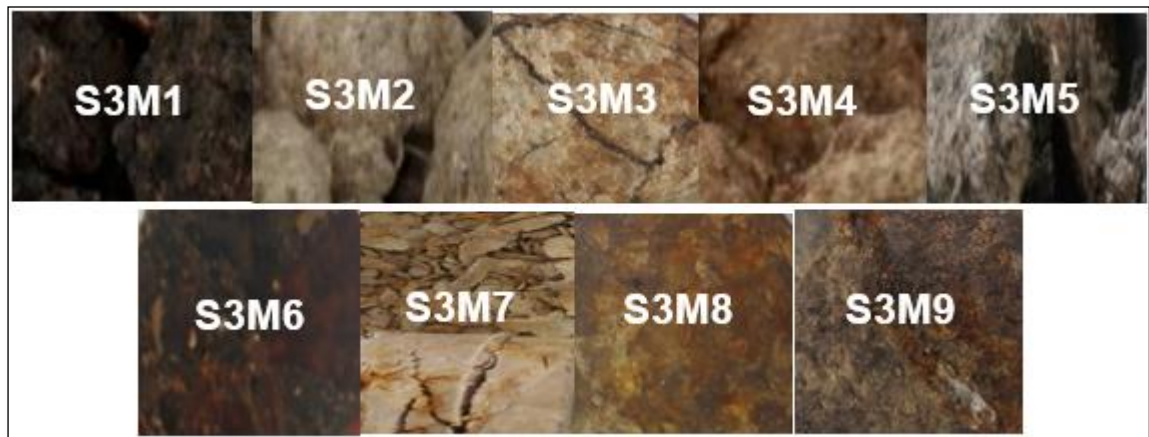


**Figura 34** muestras sondeo 2, Zona de Estudio. **Fuente.** Propia

### SONDEO MANUAL N° 3

En la **Figura 35**, se observan muestras del Sondeo Manual N° 3, La secuencia comienza con un material conformado por materia orgánica color café (HUE 7.5Y-1/2), compuesto principalmente por arcillas y limos de consistencia blanda con

espesor de 0.30m. En seguida se encuentra el material diatomeico en combinación con parte del material sobreyacente, esta capa es de color blancuzco (HUE 5.0Y-5/2), consistencia blanda, y su espesor llega hasta una profundidad de 1.0 m; luego se presenta material diatomeico en combinación con una arcilla café oscura (HUE 2.5YR-2/6) haciendo que la diatomita no este “pura”, esta va hasta una profundidad de 3.20 m. Y por último se presenta una arcilla café oscuro (HUE .5Y-6/4) con vetas de color naranja y con frecuentes cambios de tonalidades a café claro (HUE 5.0Y-5/2) de consistencia firme.



**Figura 35** muestras sondeo 3, Zona de Estudio. **Fuente.** Propia

#### **SONDEO MANUAL N° 4**

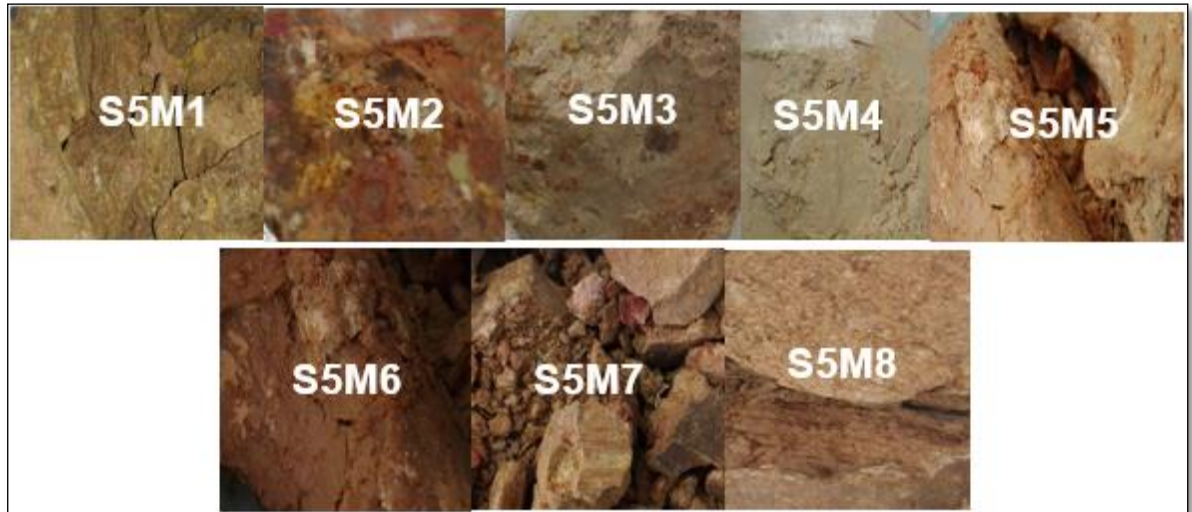
En la **Figura 36**, se observan muestras del Sondeo Manual N° 4, En este sondeo se encontró un mayor contenido de arcillas con diatomitas, aflorando una capa de tierra de diatomitas no muy contaminada de espesor de 0.20 m de color blanco (HUE 7.5Y-6/2), luego pasando a una capa de arcilla limosa de tono café (HUE 10.0 YR-3/2; HUE 7.5-5/2), con incorporación de diatomita hasta una profundidad de 1.20 m; luego subyace una arcilla diatomeica de color amarillendo rosáceo (HUE 5.0 Y-7/4; HUE 7.5-7/2) de consistencia blanda con humedad media aparente a la vista hasta una profundidad de 3.70 m y por último se presenta una aglomeración de arcillas con diatomitas en combinación con limos y arcillas color grisáceo (HUE 2.5Y-5/4) de consistencia muy blanda hasta una profundidad de 4.50 m.



**Figura 36** muestras sondeo 4, Zona de Estudio. **Fuente.** Propia

### **SONDEO MANUAL N° 5**

En la **Figura 37**, se observan muestras del Sondeo Manual N° 5; la secuencia estratigráfica de éste comienza con material conformado por limo rojizo (HUE 5YR-4/6), de tamaño de grano medio y forma subredondeada, consistencia firme, No plástico y humedad media hasta una profundidad de 0.60 m. En seguida se encuentra una arcilla de color gris amarillento (HUE 2.5 Y-7/2) de consistencia firme, plasticidad baja y estado ligeramente húmedo, hasta una profundidad de 2.50 m. Finalmente, se encuentra un material arcillo arenoso de color gris rojizo (HUE 2.5-6/4) de consistencia firme, plasticidad baja y estado ligeramente húmedo, hasta una profundidad de 4.8 m. No se evidencia presencia de nivel freático en las perforaciones realizadas.



**Figura 37** Muestras sondeo 5, Zona de Estudio. **Fuente.** Propia

#### **APIQUE MANUAL N°1**



**Figura 38** Apique 1, Zona de Estudio. **Fuente.** Propia

Se realizo un apique de dimensiones de 50X50 hasta una profundidad de 1.50 m, en la zona donde se identifico el suelo tenia contenido de diatomita, esta muestra es de color blanco (HUE 7.5Y-6/2) , de grano fino, consistencia blanda, peso bajo y relativamente seco.

#### **APIQUE MANUAL N°2**



**Figura 39** Apique 2, Zona de Estudio. **Fuente.** Propia

Este apique se realizó en la ubicación con coordenadas  $5^{\circ}31'22.77''N$  y  $73^{\circ}21'14.03''$  o donde se encontró un limo rojizo con presencia de raíces y arcillas grisáceas esta se realizó de unas dimensiones de 50X50 a una profundidad de 1.50 metros de color marrón rojizo (HUE 5YR-4/6) de consistencia firme, plasticidad baja y estado ligeramente húmedo y tamaño de grano medio.

## TALUD



**Figura 40** Talud, Zona de Estudio. **Fuente.** Propia



Se Tomo muestras de un talud con una profundidad de 1.50 m, en este se identifico que el suelo contenia diatomita, las muestras obtenidas son de color blanco (HUE 7.5Y-6/2), de grano fino, consistencia blanda, peso bajo y relativamente seco.

## **9.2 ENSAYOS DE LABORATORIO**

Una vez realizada la exploración en la zona de estudio, se procedió a la identificación y selección de las muestras obtenidas, efectuando diferentes ensayos en el laboratorio sobre un número representativo de ellas. Dentro de los ensayos realizados se consideraron: Humedad natural, compresión inconfiada, relaciones gravimétricas y volumetricas, límites de consistencia, granulometría por hidrómetro, densidad máxima y mínima, gravedad específica, conductividad hidraulica carga variable, consolidación unidimensional y corte directo; además de los ensayos físico-químicos como Difracción de rayos x (DRX), Microscopia electrónica de barrido (MEB), Fluorescencia, Ph, porcentaje de materia orgánica, fosforo disponible, absorción atómica de calcio, magnesio, potasio, sodio. En la **(Tabla 4)** se presenta para cada sondeo el número de ensayos efectuados en relación de la normatividad que rige cada uno de los ensayos considerados.

**Tabla 4** Ensayos de caracterización geomecánica realizados sobre las muestras.

ENSAYO	NORMA	SONDEO/ CANTIDAD							TOTAL
		S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	C1	C2	
Humedad Natural	INV E- 122-13	10	10	10	10	10	1	1	52
Compresión Inconfinada	INV E- 152-13	3	3	3	3	3	-	-	15
Relaciones volumetricas y gravimetricas		10	10	10	10	10	-	-	50
Límites de Consistencia	INV E-125-13, INV E-126-13, INV E-127-13	8	8	8	10	8	-	-	42
Granulometría (Hidrómetro)	INV E-124-13	5	5	5	5	5	1	1	27
Densidad Mínima Y Máxima	INV E 136-13	-	3	-	-	-	3	3	9
Gravedad Especifica	INV E-128-13	6	6	6	6	6	-	-	30
Permeabilidad Carga Variable		4	4	4	4	4	-	-	20
Consolidación Unidimensional	INV E-151-13	2	3	4	7	4	-	-	20
Corte Directo	INV E – 154 - 07	3	3	3	5	3	-	-	20
Difracción de rayos X (DRX)		-	-	-	2	-	-	-	2
Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)		-	-	-	4	-	-	-	4
Fluorescencia		-	-	-	1	-	-	-	1
PH		-	-	-	1	-	-	-	1
Absorción Atómica Ca, Mg, K, Na		-	-	-	1	-	-	-	1
Materia Orgánica		-	-	-	1	-	-	-	1
Fosforo Disponible		-	-	-	1	-	-	-	1
Pinhole		-	-	-	3	-	-	-	3
TOTAL		51	55	53	74	53	5	5	296

Fuente. Propia

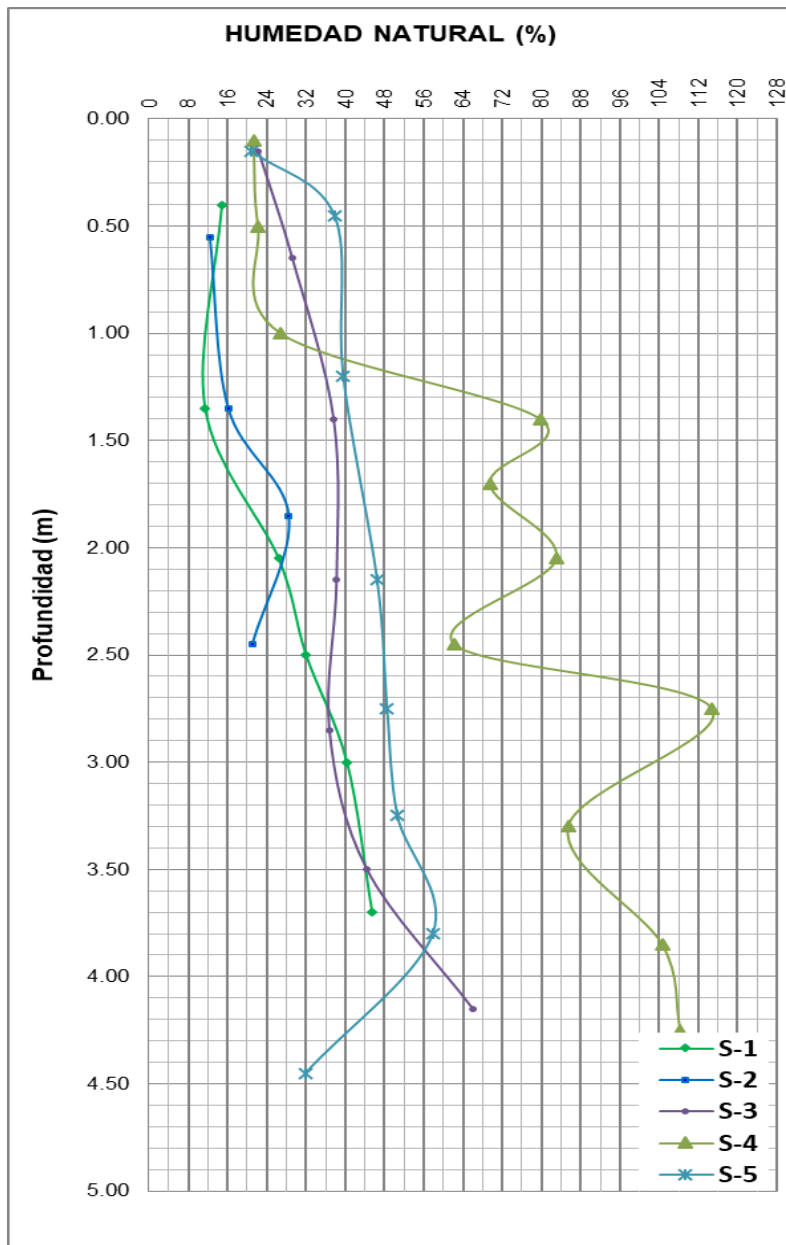
## **10. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO**

Los ensayos de laboratorio son un conjunto de procesos que permiten el reconocimiento del terreno a través de la interpretación de los resultados obtenidos; a partir de dichos resultados, se caracterizan los diversos materiales que componen el subsuelo presente en la zona de estudio, partiendo del conocimiento del área del proyecto, los factores geológicos y topográficos establecidos en el sitio de interés. Inicialmente se partió de un reconocimiento del área para seleccionar los puntos donde se realizarían los sondeos en la toma de muestras inalteradas con el fin de establecer las características físicas, mecánicas, mineralógicas y químicas de los materiales encontrados en especial de los que tienen contenido de diatomita.

### **2.3 PRUEBAS DE CARACTERIZACION**

#### **Humedad Natural**

Este ensayo tiene por finalidad, determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo, estableciendo la proporción en peso de agua presente en el suelo, siendo una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este (especialmente en aquellos de textura más fina), como por ejemplo cambios de volumen, cohesión y estabilidad mecánica. Los resultados y la variación de humedad por sondeos se muestran a continuación:



**Gráfica 1** Humedad natural de los Sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5.

**Fuente.** Propia

En la **Tabla 5**, se indica un resumen donde se observan las humedades máximas, mínimas y promedio encontrados para cada perfil del subsuelo en función de los sondeos realizados.

**Tabla 5** Resultados Humedad Natural.

<b>HUMEDAD NATURAL</b>			
<b>Sondeo</b>	<b>Valor Máximo (%)</b>	<b>Valor Mínimo (%)</b>	<b>Valor promedio (%)</b>
S-1	45.49	11.45	26.14
S-2	28.49	12.40	27.58
S-3	66.01	22.31	36.25
S-4	114.75	21.30	43.41
S-5	57.82	20.94	47.58

**Fuente.** Propia

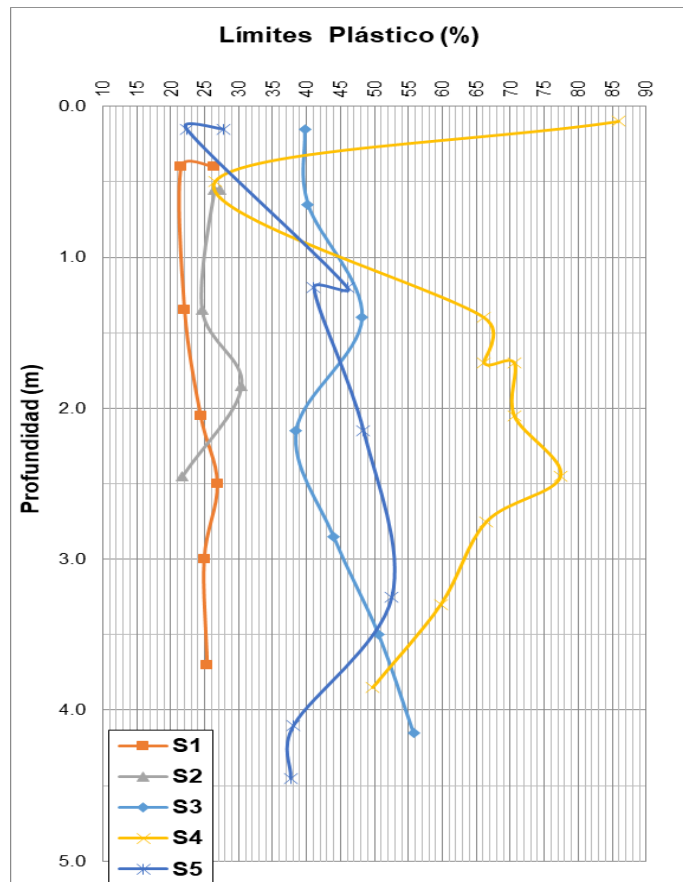
Se reportan los resultados de las pruebas realizadas en cada una de las capas del perfil del subsuelo, ello con el fin de comparar con las muestras que son arcilla con las muestras con contenido de diatomitas. Como se observa en la tabla 1, las muestras del sondeo 3 y 4 tienen un mayor valor de humedad promedio en comparación con el sondeo 1 y 2, a pesar que el sondeo 5 es el que tiene un valor mayor de humedad en promedio que la de los otros sondeos; de destacar, que aunque no se encontró nivel freático, las muestras del sondeo 4 reportaban humedades de más del 100%, ello debido a la estructura porosa de las arcillas con alto contenido de diatomeas. Los suelos con una proporción importante de microfósiles pueden atrapar cantidades importantes de agua en sus espacios intra-esqueléticos modificando sus propiedades índice como el límite plástico y el líquido. Sin embargo, el agua en las porosidades esqueléticas e intra-esqueléticas son retenidas por succión y sólo el agua presente en los poros intra-agregados están en contacto con los minerales arcillosos y por lo tanto son los que influyen directamente las propiedades índice.

### **Límites de Consistencia**

Los límites de consistencia permiten caracterizar el comportamiento de suelos que poseen una matriz netamente fina, estos límites indican el comportamiento del suelo en función del contenido de humedad que presentan.

A continuación, se muestran la tabla resumen con los valores de los límites Líquido (LL), Plástico (LP), y el índice de plasticidad de (IP), límite de contracción para los sondeos realizados:

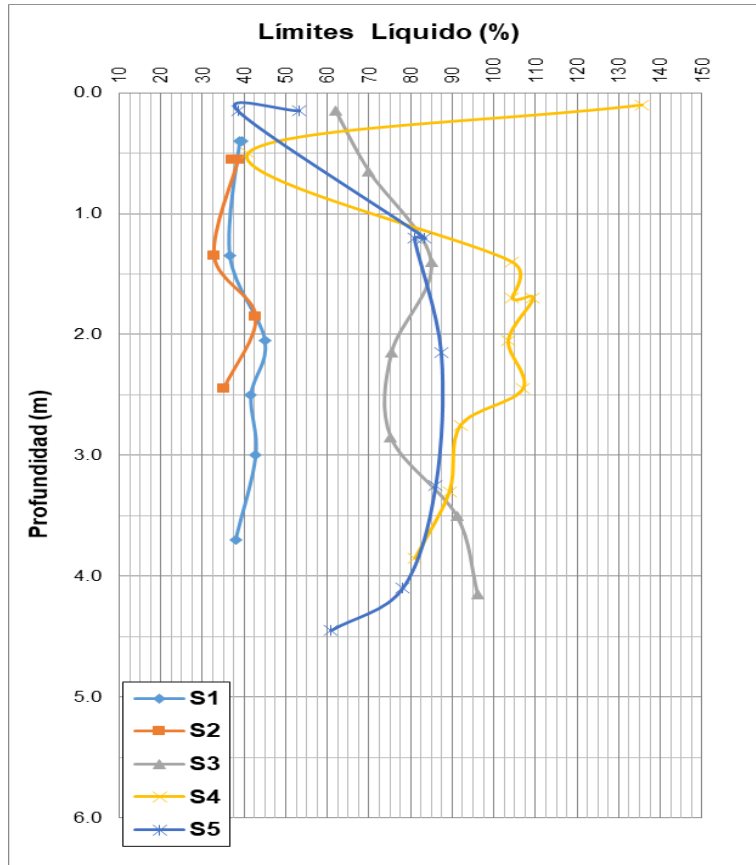
#### **Límite plástico**



**Gráfica 2** Limite plastico S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5.

**Fuente.** Propia

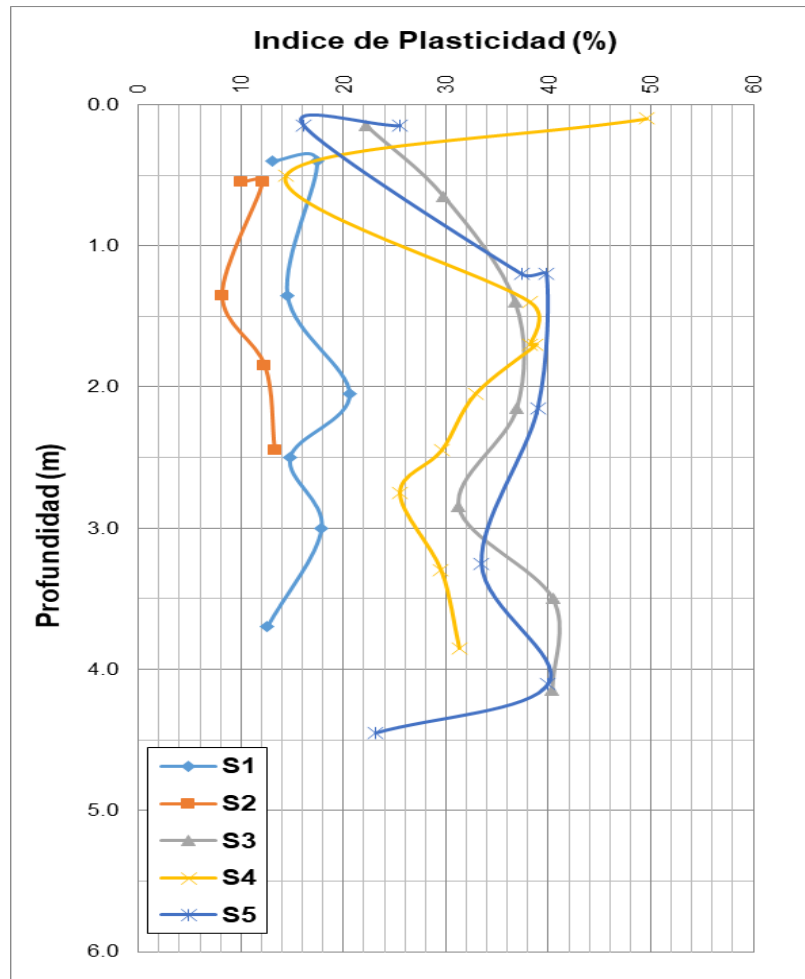
✚ Límite líquido:



Gráfica 3 Límites Líquidos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5.

Fuente. Propia

✚ Índice de plasticidad



Gráfica 4 Índices de plasticidad S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5.

Fuente. Propia

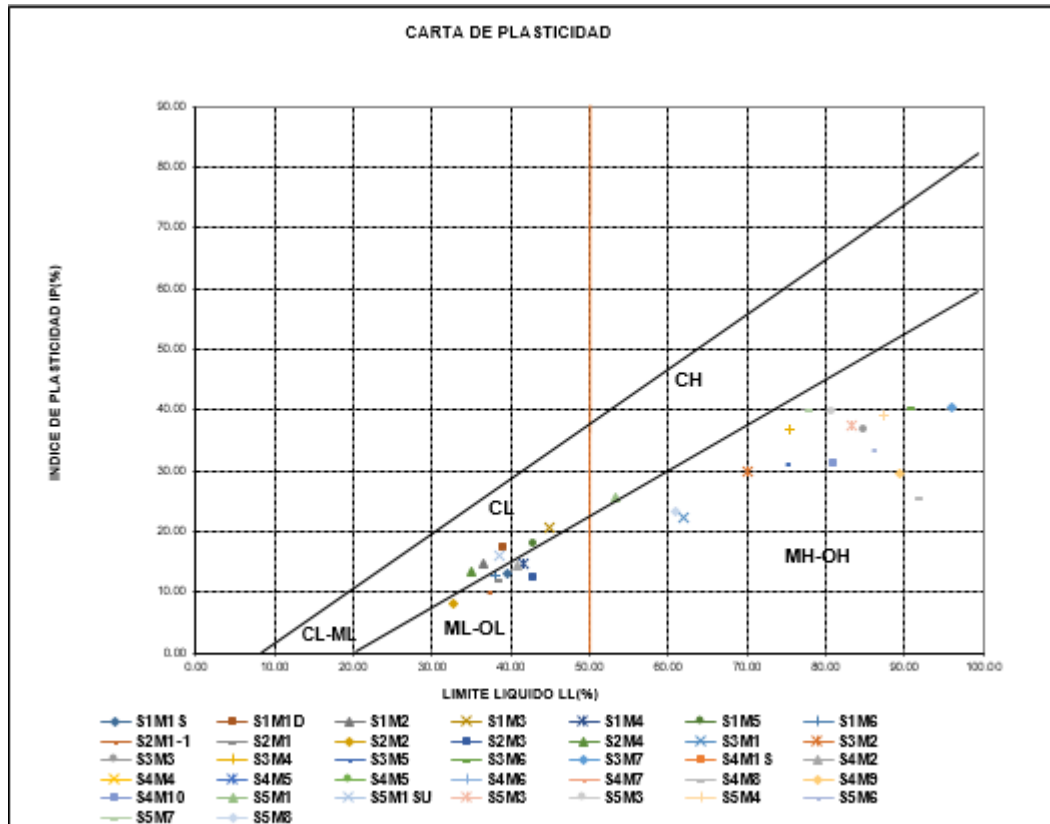
Tabla 6 Resumen de Límites de Atterberg para las muestras obtenidas de los sondeos.

Límites de Atterberg						
SONDEO	Límite Líquido (%)		Límite Plástico (%)		Índice de Plasticidad (%)	
	Máy.	Mín	Máy.	Mín	Máy.	Mín
S1	45.00	36.57	26.86	21.53	20.60	12.56
S2	42.77	32.79	30.42	21.75	13.30	8.16
S3	96.11	61.98	55.73	38.46	40.43	22.24
S4	135.53	40.93	85.93	38.46	49.60	14.43
S5	87.34	38.49	52.56	26.50	40.00	16.15

Fuente. Propia.



A continuación se presenta la gráfica donde se ubican los resultados de clasificación sobre las muestras ensayadas en la carta de plasticidad para los sondeos realizados en la zona.



**Gráfica 5** Resultados carta de plasticidad para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. **Fuente.** Propia.

**Tabla 7** Resultados de consistencia del suelo

Sondeo	Prof. (m)	LL	LP	IP	Consistencia
S1M1S	0.4	39.47	26.40	13.08	Semisólido
S1M1D	0.4	38.95	21.53	17.42	Semisólido
S1M2	1.35	36.57	22.03	14.54	Plástico
S1M3	2.05	45.00	24.40	20.60	Plástico
S1M4	2.5	41.66	26.86	14.81	Plástico
S1M5	3	42.78	24.91	17.87	Semilíquido
S1M6	3.7	37.93	25.37	12.56	Semisólido
S2M1-1	0.55	37.27	27.19	10.08	Semisólido
S2M1	0.55	38.55	26.46	12.09	Plástico
S2M2	1.35	32.79	24.62	8.16	Semisólido
S2M3	1.85	42.77	30.42	12.34	Semisólido

S2M4	2.45	35.05	21.75	13.30	Plástico
S3M1	0.15	61.98	39.74	22.24	Semisólido
S3M2	0.65	70.00	40.21	29.79	Semisólido
S3M3	1.4	84.94	48.17	36.76	Semisólidos
S3M4	2.15	75.39	38.46	36.93	Plástico
S3M5	2.85	75.23	43.97	31.26	Plástico
S3M6	3.5	91.06	50.62	40.43	Semisólidos
S3M7	4.15	96.11	55.73	40.38	Semisólido
S4M1S	0.1	135.53	85.93	49.60	Semisólido
S4M2	0.5	40.93	26.49	14.43	Semilíquido
S4M4	1.4	104.39	66.15	38.23	Plástico
S4M5	1.7	104.39	66.15	38.23	Plástico
S4M5	1.7	109.39	70.57	38.81	Semisólido
S4M6	2.05	103.44	70.57	32.86	Semilíquido
S4M7	2.45	106.94	77.37	29.56	Plástico
S4M8	2.75	92.00	66.48	25.51	Semilíquido
S4M9	3.3	89.30	59.75	29.54	Semilíquido
S4M10	3.85	81.05	49.74	31.30	Semisólido
MT-M1	1.5	64.47	34.55	29.92	Semisólido
MT-M3	1.5	65.55	34.30	31.35	Semisólido
S5M1	0.15	53.26	27.74	25.52	Plástico
S5M1SU	0.15	38.48	22.33	16.15	Semilíquido
S5M3	1.2	83.39	45.99	37.39	Plástico
S5M3	1.2	80.88	41.07	39.81	Plástico
S5M4	2.15	87.34	48.38	38.95	Plástico
S5M6	3.25	86.03	52.56	33.46	Plástico
S5M7	4.1	78.08	38.08	40.00	semisólido

Fuente. Propia.

En cuanto a la tabla anterior se puede observar que la consistencia que tiene el suelo del depósito estudiado con contenido de diatomitas es en su gran mayoría semilíquido a plástico, mientras que en los otros tipos de suelos que no contienen gran contenido de diatomitas su consistencia es de semisólido a plástico.

Los resultados mostrados en la figura 6, revelan que el tipo de suelo ensayado del sondeo 3, 4 y 5, según la clasificación USCS es MH lo que indica que es un limo de alta plasticidad, este material diatoméico tiene un índice de plasticidad variable entre 14.43 y 49.60%; un límite líquido entre 40.93 y 135.53% y con un límite de contracción entre 15.18 y 100.56%, con índices de consistencia variables entre consistencia muy blanda a consistencia dura según la clasificación visual y manual de la I.N.V.E-102. Comparando estos resultados con los del sondeo 1 y 2 los cuales

según la clasificación USCS son CH y ML, Lo cual indica que tienen contenidos de arcillas de alta y baja plasticidad al igual que limos de baja plasticidad como se muestra a continuación:

**Tabla 8** Valores de los límites líquidos, límite plástico, índice de plasticidad y clasificación USCS.

Sondeo/Muestra	Profundidad (m)	Límite Líquido LL (%)	Límite Plástico LP (%)	Índice Plasticidad IP(%)	Clasificación USCS
S1M1S	0.40	39.47	26.40	13.08	ML
S1M1D	0.40	38.95	21.53	17.42	CL
S1M2	1.35	36.57	22.03	14.54	CL
S1M3	2.05	45.00	24.40	20.60	CL
S1M4	2.50	41.66	26.86	14.81	ML
S1M5	3.00	42.78	24.91	17.87	CL
S1M6	3.70	37.93	25.37	12.56	ML
S2M1-1	0.55	37.27	27.19	10.08	ML
S2M1	0.55	38.55	26.46	12.09	ML
S2M2	1.35	32.79	24.62	8.16	ML
S2M3	1.85	42.77	30.42	12.34	ML
S2M4	2.45	35.05	21.75	13.30	CL
S3M1	0.15	61.98	39.74	22.24	MH
S3M2	0.65	70.00	40.21	29.79	MH
S3M3	1.40	84.94	48.17	36.76	MH
S3M4	2.15	75.39	38.46	36.93	MH
S3M5	2.85	75.23	43.97	31.26	MH
S3M6	3.50	91.06	50.62	40.43	MH
S3M7	4.15	96.11	55.73	40.38	MH
S4M1S	0.10	135.53	85.93	49.60	MH
S4M2	0.5	40.93	26.50	14.43	ML
S4M4	1.40	104.39	66.16	38.23	MH
S4M5	1.70	104.39	66.16	38.23	MH
S4M5	1.70	109.39	70.58	38.81	MH
S4M6	2.05	103.45	70.58	32.87	MH
S4M7	2.45	106.94	77.38	29.57	MH
S4M8	2.75	92.00	66.49	25.51	MH
S4M9	3.30	89.30	59.76	29.55	MH
S4M10	3.85	81.05	49.74	31.31	MH
MT-M1	1.5	64.47	34.55	29.92	MH
MT-M3	1.5	65.55	34.30	31.35	MH
S5M1	0.15	53.27	27.75	25.52	CH
S5M1SU	0.15	38.49	22.33	16.15	CL
S5M3	1.20	83.39	46.00	37.40	MH
S5M3	1.2	80.89	41.07	39.82	MH

S5M4	2.15	87.34	48.39	38.96	MH
S5M6	3.25	86.03	52.56	33.47	MH
S5M7	4.10	78.09	38.09	40.00	MH
S5M8	4.45	60.85	37.67	23.18	MH

Fuente. Propia

### Potencial de Expansión

Con base a la norma I.N.V. E – 132 – 13 y ensayos de identificación permiten una aproximación cualitativa al potencial expansivo del suelo. El termino suelos expansivos, implica no solamente la tendencia a aumentar de volumen cuando aumenta el contenido del agua, sino también la disminución de volumen o contracción si el agua se pierde, pero debe tenerse presente que la contracción es simplemente el proceso inverso.

De una manera general, el potencial expansivo de un suelo se relaciona con su índice de plasticidad. En la Tabla 9 se indican varios grados de capacidad expansiva y los intervalos correspondientes del índice de plasticidad.

**Tabla 9** Potencial expansivo de los Suelos

Grado de Expansión	LL	IP	$\tau_{nat}^{1st}$ (KPa)
Elevado	> 60	> 35	> 383
Marginal	50-60	25-35	144 - 383
Bajo	< 50	< 25	< 144

Fuente. INV E 132-13

**Tabla 10** resultados de potencial de expansión según la norma INV E 132-13

Sondeo	Prof. (m)	LL	LP	IP	w (humedad)	Potencial Expansivo
S1M1S	0.4	39.473	26.396	13.077	14.870	Medio
S1M1D	0.4	38.947	21.527	17.420	14.870	Bajo
S1M2	1.35	36.570	22.032	14.538	11.450	Bajo
S1M3	2.05	45.003	24.402	20.601	26.430	Medio
S1M4	2.5	41.663	26.858	14.805	32.030	Medio
S1M5	3	42.782	24.913	17.869	40.350	Medio
S1M6	3.7	37.926	25.368	12.559	45.490	Medio
S2M1-1	0.55	37.270	27.190	10.080	12.400	Medio
S2M1	0.55	38.551	26.459	12.092	12.400	Medio
S2M2	1.35	32.786	24.621	8.165	16.160	Bajo

S2M3	1.85	42.767	30.423	12.345	28.490	Medio
S2M4	2.45	35.051	21.751	13.300	21.000	Bajo
S3M3	1.4	84.936	48.175	36.762	37.650	muy alto
S3M4	2.15	75.391	38.462	36.929	38.230	Medio
S3M5	2.85	75.226	43.966	31.260	36.760	Medio
S3M6	3.5	91.056	50.621	40.435	44.420	Medio
S3M7	4.15	96.111	55.734	40.377	66.010	muy alto
S4M1S	0.1	135.532	85.932	49.600	21.300	muy alto
S4M2	0.5	40.932	26.499	14.433	22.180	Bajo
S4M4	1.4	104.394	66.160	38.234	79.750	muy alto
S4M5	1.7	104.394	66.160	38.234	69.450	muy alto
S4M5	1.7	109.390	70.576	38.815	69.450	muy alto
S4M6	2.05	103.447	70.579	32.868	83.030	Medio
S4M7	2.45	106.943	77.377	29.566	62.240	Medio
S4M8	2.75	92.000	66.487	25.513	114.750	Medio
S5M1	0.15	53.268	27.747	25.522	20.940	Bajo
S5M1SU	0.15	38.487	22.333	16.154	20.940	Bajo
S5M3	1.2	83.394	45.995	37.399	39.590	muy alto
S5M3	1.2	80.889	41.071	39.818	39.590	muy alto
S5M4	2.15	87.343	48.385	38.958	46.490	Medio
S5M6	3.25	86.030	52.564	33.467	50.630	Medio
S5M7	4.1	78.089	38.088	40.001	57.820	Medio
S5M8	4.45	60.846	37.669	23.176	31.840	Alto

Fuente. Propia

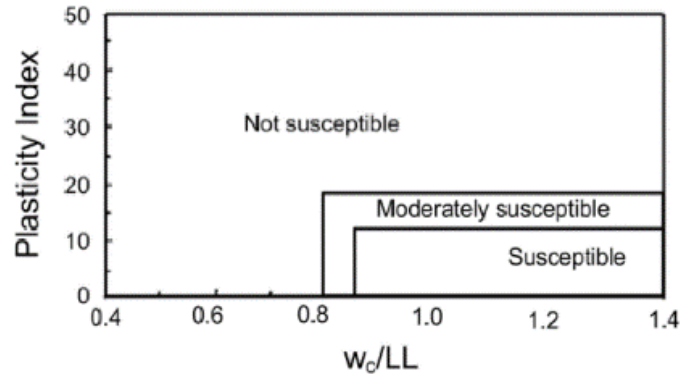
Este fenómeno depende principalmente del contenido mineralógico de las arcillas presentes en la matriz. El suelo estudiado con contenido de diatomitas presenta un potencial de expansión muy alto, para los suelos con menor grado de diatomita o con ningún contenido de esta, posee un potencial de expansión bajo a medio, cabe resaltar que esto depende como se dijo anteriormente del contenido mineralógico, por tanto realizando la difracción de rayos x (DRX), y teniendo en cuenta que los minerales encontrados en el depósito de diatomita estudiado no son minerales que tiendan a expandirse. Sin embargo debido a que los valores obtenidos para límite líquido e índice de plasticidad corresponden a este grado de expansión.

### **Ablandamiento Cíclico.**

Debido a que el material del sitio, presenta contenidos de material fino, principalmente de tipo arcilla es necesario determinar el ablandamiento cíclico a estos materiales finos para determinar que comportamiento pueden llegar a

experimentar estos materiales ante ascensos drásticos del nivel freático, o saturación total del material, debido a altas precipitaciones y que ante esta condición se presenta un evento sísmico. Este parámetro se determinó mediante el criterio de Bray y Sancio (2006) el cual se presenta en la siguiente figura:

**Figura 41** Susceptibilidad a la licuación de suelos finos.



Fuente. BRAY J.D. y SANCIO R.B.(2006)

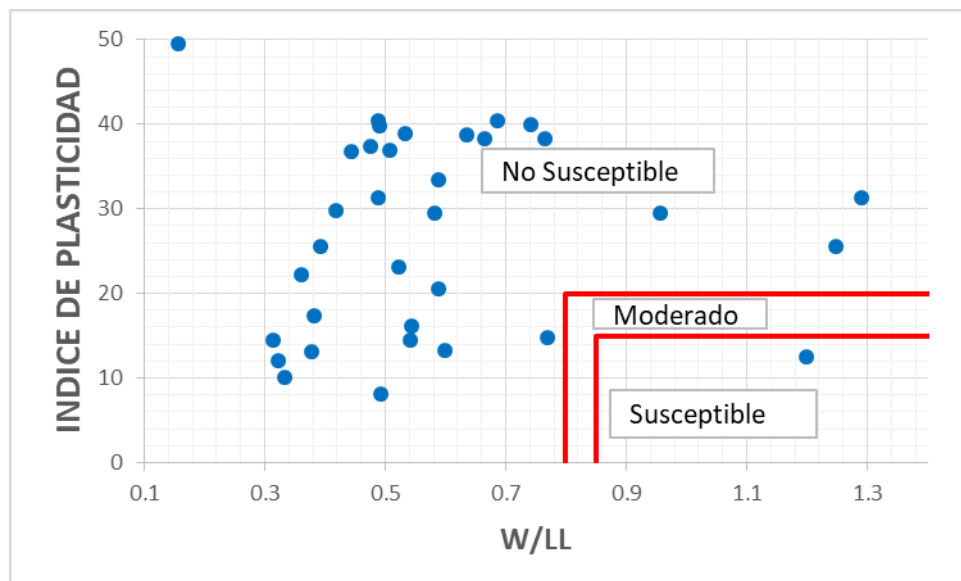
**Tabla 11** Potencial de ablandamiento Cíclico de materiales finos.

Sondeo	w humedad	LL	LP	IP	w /LL	Ablandamiento cíclico
S1M1S	14.870	39.473	26.396	13.077	0.377	No Susceptible
S1M1D	14.870	38.947	21.527	17.420	0.382	No Susceptible
S1M2	11.450	36.570	22.032	14.538	0.313	No Susceptible
S1M3	26.430	45.003	24.402	20.601	0.587	No Susceptible
S1M4	32.030	41.663	26.858	14.805	0.769	No Susceptible
S1M5	40.350	42.782	24.913	17.869	0.943	Moderado
S1M6	45.490	37.926	25.368	12.559	1.199	Susceptible
S2M1-1	12.400	37.270	27.190	10.080	0.333	No Susceptible
S2M1	12.400	38.551	26.459	12.092	0.322	No Susceptible
S2M2	16.160	32.786	24.621	8.165	0.493	No Susceptible
S2M4	21.000	35.051	21.751	13.300	0.599	No Susceptible
S3M1	22.310	61.976	39.736	22.241	0.360	No Susceptible
S3M2	29.310	70.000	40.214	29.786	0.419	No Susceptible
S3M3	37.650	84.936	48.175	36.762	0.443	No Susceptible
S3M4	38.230	75.391	38.462	36.929	0.507	No Susceptible
S3M5	36.760	75.226	43.966	31.260	0.489	No Susceptible
S3M6	44.420	91.056	50.621	40.435	0.488	No Susceptible
S3M7	66.010	96.111	55.734	40.377	0.687	No Susceptible
S4M1S	21.300	135.532	85.932	49.600	0.157	No Susceptible
S4M2	22.180	40.932	26.499	14.433	0.542	No Susceptible

S4M4	79.750	104.394	66.160	38.234	0.764	No Susceptible
S4M5	69.450	104.394	66.160	38.234	0.665	No Susceptible
S4M5	69.450	109.390	70.576	38.815	0.635	No Susceptible
S4M6	83.030	103.447	70.579	32.868	0.803	No Susceptible
S4M7	62.240	106.943	77.377	29.566	0.582	No Susceptible
S4M8	114.750	92.000	66.487	25.513	1.247	No Susceptible
S4M9	85.440	89.302	59.756	29.546	0.957	No Susceptible
S4M10	104.600	81.051	49.741	31.310	1.291	No Susceptible
S5M1	20.940	53.268	27.747	25.522	0.393	No Susceptible
S5M1SU	20.940	38.487	22.333	16.154	0.544	No Susceptible
S5M3	39.590	83.394	45.995	37.399	0.475	No Susceptible
S5M3	39.590	80.889	41.071	39.818	0.489	No Susceptible
S5M4	46.490	87.343	48.385	38.958	0.532	No Susceptible
S5M6	50.630	86.030	52.564	33.467	0.589	No Susceptible
S5M7	57.820	78.089	38.088	40.001	0.740	No Susceptible
S5M8	31.840	60.846	37.669	23.176	0.523	No Susceptible

Fuente. Propia

**Gráfica 6** Potencial de Ablandamiento Cíclico de suelos finos según BRAY J.D. y SANCIO R.B.(2006)



Fuente. Propia

Como se observa en la **tabla 11** y en la **Gráfica 6** los materiales finos de la zona de estudio presentan susceptibilidad al ablandamiento cíclico de “no susceptible” esto se debe principalmente a las características geologo-geotecnicas de la zona de estudio.

## Relaciones Gravimétricas y Volumétricas

En el suelo se distinguen tres fases constituyentes: la sólida, líquida y la gaseosa; la relación entre estas permite avanzar sobre el análisis de la distribución de las partículas por tamaños y sobre el comportamiento del conjunto. A continuación se muestran los resultados de los diferentes parámetros que cualifican los suelos ensayados:

**Tabla 12** Potencial de ablandamiento Cíclico de materiales finos.

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)		Prof. Prom(m)	Peso Unitario Total(g/cm <sup>2</sup> )	Peso Unitario Seco	e	n (%)	S (%)	γ <sub>sat</sub> g/cm <sup>3</sup>
S1	M1-1	0,0	0,8	0,4	1,75	1,59	0,58	0,37	43,33	1,96
S1	M1-2	0,0	0,8	0,4	1,71	1,42	0,77	0,44	67,10	1,86
S1	M2-1	0,8	1,9	1,35	1,61	1,22	1,10	0,52	73,58	1,74
S1	M2-2	0,8	1,9	1,35	1,52	1,40	0,84	0,46	25,11	1,85
S1	M4 ARRI	2,2	2,8	2,5	1,81	1,33	0,96	0,49	98,14	1,82
S1	M4 ABA	2,2	2,8	2,5	1,89	1,56	0,68	0,40	82,86	1,96
S1	M5ARRI	2,8	3,2	3	2,04	1,85	0,40	0,28	67,09	2,13
S1	M5 ABA	2,8	3,2	3	2,01	1,65	0,56	0,36	100,00	1,2
S1	M6 ARRI	3,2	4,2	3,7	1,82	1,52	0,61	0,38	81,60	1,89
S1	M6ABA	3,2	4,2	3,7	1,3	1,27	0,92	0,48	100,00	1,2
S2	M1-1	0,0	1,1	0,55	2,06	1,83	0,45	0,31	73,46	2,14
S2	M1-2	0,0	1,1	0,55	1,24	1,05	1,53	0,61	32,00	1,65
S2	M2ARRIB	1,1	1,6	1,35	1,73	1,52	0,69	0,41	53,21	1,92
S2	M2 ABA	1,1	1,6	1,35	1,86	1,56	0,64	0,39	76,37	1,95
S2	M3ARRI	1,6	2,1	1,85	2,00	1,71	0,50	0,34	86,22	2,04
S2	M3ABA	1,6	2,1	1,85	1,57	1,12	1,30	0,57	81,13	1,68
S2	M4ARR	2,1	2,8	2,45	2,05	1,78	0,38	0,27	100,00	2,05
S2	M4ABA	2,1	2,8	2,45	1,47	1,29	0,89	0,47	37,69	1,76
S3	M1	0,0	0,3	0,15	1,90	1,67	0,49	0,33	69,50	2,00
S3	M2	0,3	1,0	0,65	1,66	1,40	0,71	0,41	64,86	1,81
S3	M3	1,0	1,8	1,4	1,58	1,14	1,11	0,53	86,17	1,66
S3	M4	1,8	2,5	2,15	1,55	1,13	1,13	0,53	79,84	1,66
S3	M4-2	1,8	2,5	2,15	1,73	1,28	0,88	0,47	95,88	1,75
S3	M5	2,5	3,2	2,85	1,70	1,36	0,72	0,42	81,91	1,78
S3	M6ARRI	3,2	3,8	3,5	1,66	1,28	0,92	0,48	79,93	1,76
S3	M7ABA	3,8	4,5	4,15	1,44	0,91	1,72	0,63	85,40	1,54



S4	M1	0,0	0,2	0,1	1,74	1,42	0,71	0,41	78,95	1,83
S4	M1CAL	0,0	0,2	0,1	1,77	1,35	0,79	0,44	95,88	1,79
S4	M2	0,2	0,8	0,5	1,81	1,52	0,67	0,40	72,74	1,92
S4	M3	0,8	1,2	1	1,50	1,11	1,06	0,52	75,57	1,62
S4	M4	1,2	1,6	1,4	1,47	0,89	1,60	0,62	95,19	1,50
S4	M5	1,6	1,8	1,7	1,34	0,70	2,34	0,70	90,94	1,40
S4	M6	1,8	2,3	2,05	1,34	0,69	2,44	0,71	93,04	1,39
S4	M7	2,3	2,6	2,45	1,43	0,79	2,00	0,67	97,05	1,45
S4	M9	2,9	3,7	3,3	1,47	0,89	1,70	0,63	93,03	1,51
S5	M1	0,0	0,3	0,15	1,92	1,63	0,61	0,38	93,02	2,01
S5	M2	0,3	0,6	0,45	1,98	1,64	0,60	0,38	93,02	2,01
S5	M3	0,6	1,8	1,2	1,74	1,26	1,10	0,52	91,34	1,78
S5	M4	1,8	2,5	2,15	1,71	1,24	1,11	0,53	91,60	1,76
S5	M6	3,0	3,5	3,25	1,61	1,08	1,47	0,60	89,31	1,67
S5	M7	3,5	4,1	3,8	1,96	1,58	0,66	0,40	95,52	1,98
S5	M8	4,1	4,8	4,45	1,5	1,73	0,53	0,34	100,00	1,6

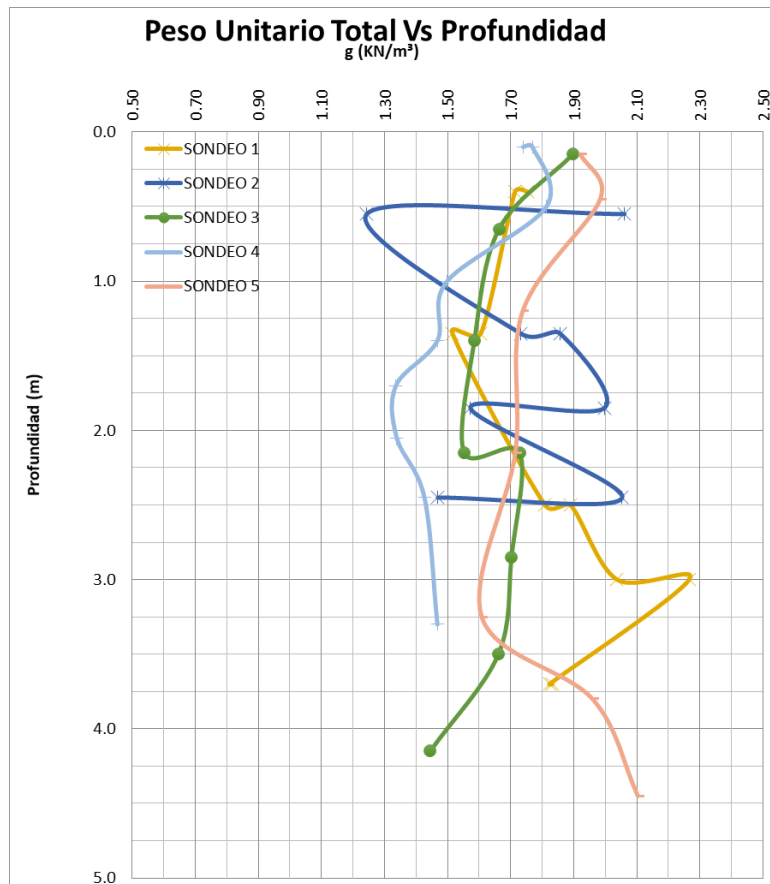
Fuente. Propia,

La tabla 13, muestra el resumen de los resultados de peso unitario total, estos valores dependen entre otros del grado de saturación como se muestra en la gráfica 7.

**Tabla 13 Resultados peso unitario Total.**

SONDEO	Peso Unitario Total (KN/m <sup>3</sup> )		
	Máx.	Min.	Promedio
S1	2.27	1.52	1.82
S2	2.06	1.24	1.75
S3	1.90	1.44	1.65
S4	1.81	1.34	1.54
S5	2.10	1.61	1.85

Fuente. Propia

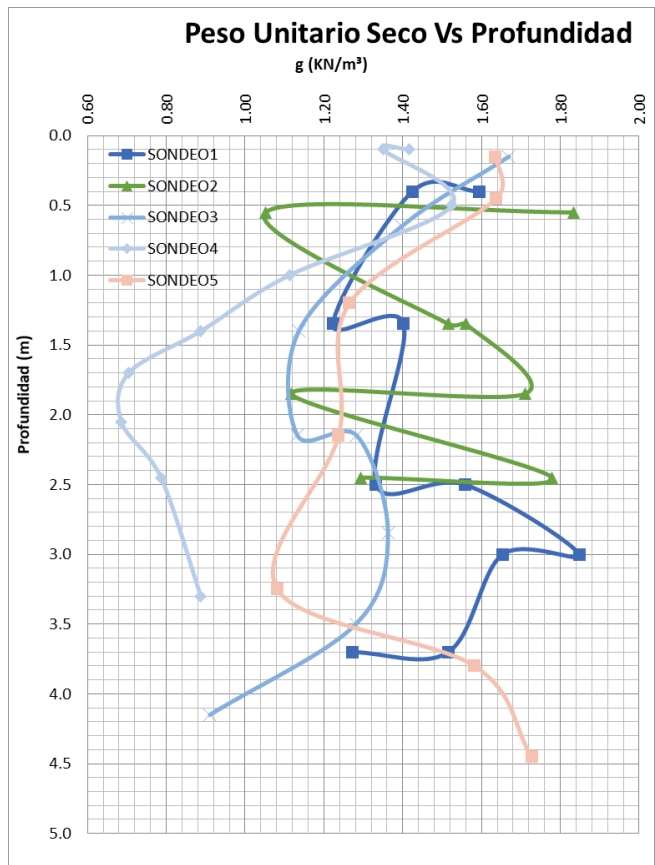


**Gráfica 7** Resultados peso unitario total para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. **Fuente.** Propia

Los valores obtenidos de peso unitario total para el suelo diatomáceo son en general de bajo valor, debido a la estructura particular que tienen las diatomitas, ya que su peso es bajo estando en estado semi-humedo.

**Tabla 14** Resultados peso unitario Seco.

SONDEO	Peso Unitario Seco (KN/m³)		
	Máx.	Min.	Promedio
S1	1.85	1.22	1.48
S2	1.83	1.05	1.48
S3	1.67	0.91	1.27
S4	1.52	0.69	1.04
S5	1.73	1.08	1.45
<b>Fuente.</b> Propia			

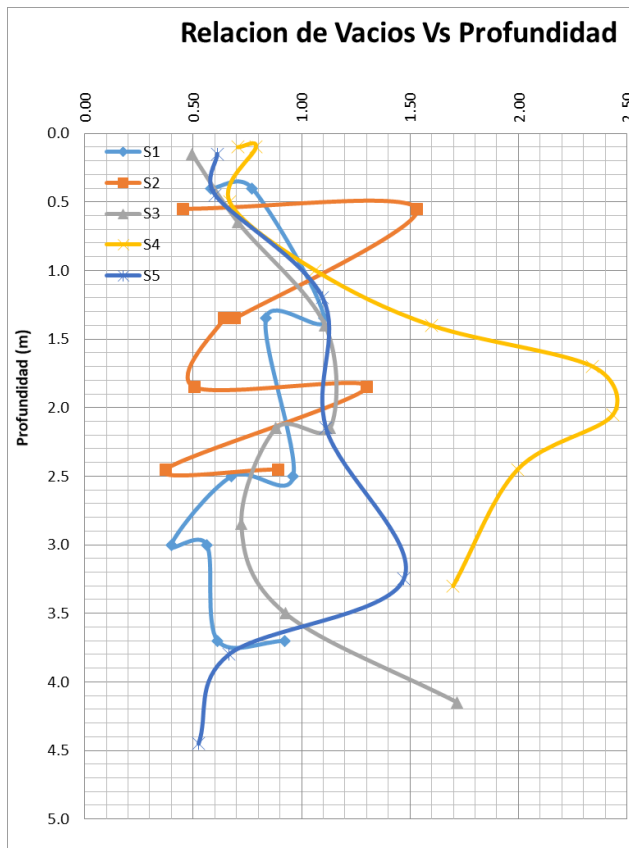


**Gráfica 8** Resultados peso unitario seco para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. Fuente. Propia

**Tabla 15** Resultados relación de vacíos.

SONDEO	Relación de Vacíos		
	Máx.	Min.	Promedio
S1	1.10	0.40	0.74
S2	1.53	0.38	0.80
S3	1.72	0.49	0.96
S4	2.44	0.67	1.48
S5	1.47	0.53	0.87

Fuente. Propia

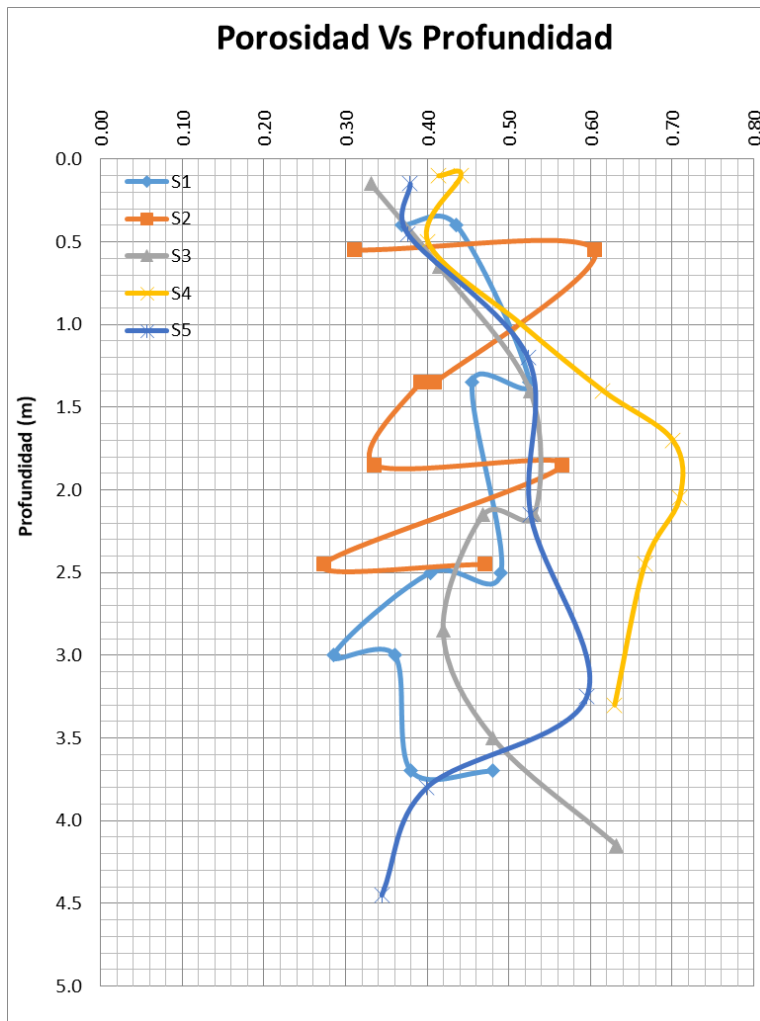


**Gráfica 9** Resultados relación de vacíos para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. **Fuente.** Propia

La relación de vacíos para el suelo con contenido de diatomita está en un rango de 0.67 a 2.44 lo cual nos indica que el volumen de espacios vacíos con relación al volumen de partículas sólidas es medianamente alto en comparación con los resultados de los otros materiales, esto explicable por la estructura porosa de las diatomeas.

**Tabla 16** Resultados Porosidad.

SONDEO	Porosidad		
	Máx.	Min.	Promedio
S1	0.52	0.28	0.42
S2	0.61	0.27	0.42
S3	0.63	0.33	0.48
S4	0.71	0.40	0.57
S5	0.60	0.34	0.45



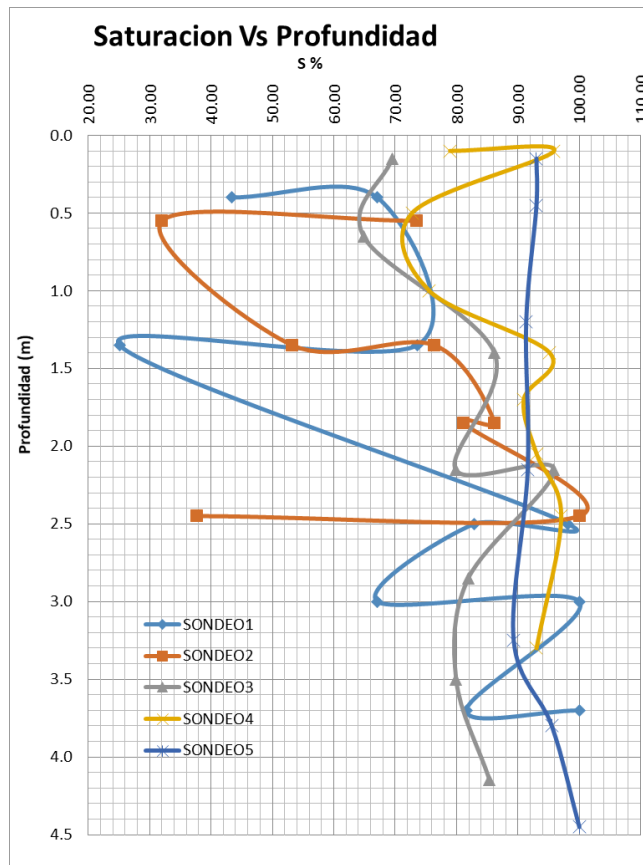
**Gráfica 10** Resultados de porosidad para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. **Fuente.** Propia

La porosidad es la probabilidad de encontrar vacíos en el volumen total de suelo, y como se observan los resultados, el porcentaje de encontrar vacíos en el suelo diatomeico es alto con valores encontrados de 40% a 71%.

**Tabla 17** Resultados saturación.

SONDEO	Saturación		
	Máx.	Min.	Promedio
S1	100,00	25,11	73,88
S2	100,00	0,53	60,93
S3	95,88	64,86	80,44
S4	97,05	72,74	88,04
S5	100,00	89,31	93,40

**Fuente.** Propia



**Gráfica 11** Resultados saturación para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. **Fuente.** Propia

El grado de saturación es la proporción en que los espacios vacíos de un suelo contienen fluido, y como podemos ver en la **tabla 17**, los valores de saturación del suelo con diatomita tienen una denominación de altamente saturado; en cuanto a la denominación de los otros sondeos se encuentran entre altamente saturado y muy húmedo.

En las muestras ensayadas se evidencia una relación de vacíos alta, en especial en las muestras que contienen diatomita, esto se debe a su estructura ya que se compone de frustulas huecas que corresponden al esqueleto de las algas, esta alta "porosidad" genera su peso característico, en general las arcillas del depósito presentan un peso específico bajo, pero las diatomitas muestran un peso seco menor a uno "1" lo que implica que este suelo con un impermeabilizante como lo es la parafina, flota en el agua, pero su peso unitario húmedo no es tan bajo debido a la cantidad de agua que absorbe, esta capacidad de absorción se debe a que las frustulas se llenan de agua llenando por completo sus poros sin sufrir cambio en su volumen.

## Granulometria (Hidrometro)

Este ensayo se encuentra basado en el principio de sedimentación de granos de suelo en agua, cuando un espécimen de suelos se sedimenta en agua, las partículas se asientan a diferentes velocidades, dependiendo de sus formas, tamaños y pesos.

**Tabla 18** Resumen Resultados granulometría por hidrómetro.

SONDEO/MUESTRA	% mas fino que 0,002mm
S1 M1	42.57%
S1 M2	34.00%
S1 M4 arriba	22.17%
S1 M4 abajo	41.75%
S1 M5	39.70%
S2 M1	44.66%
S2 M2	30.59%
S2 M3	38.29%
S2 M4 arriba	37.76%
S2 M4 abajo	51.92%
S3 M1	6.34%
S3 M2	52.79%
S3 M4	60.58%
S3 M6	30.04%
S3 M7	21.88%
S4 M1	15.77%
S4 M2	12.53%
S4 M8	20.72%
S4 M9	24.07%
S4 M10	8.59%
S5 M1	34.25%
S5 M3	51.87%
S5 M4	31.59%
S5 M6	41.48%
S5 M7	53.51%
S5 M8	49.99%

Fuente. Propia

Según los resultados obtenidos se tiene que los porcentajes más fino que el tamaño de grano de 0.002 mm de los sondeos 3 y 4, están entre 6.34 hasta 60.8% para el sondeo 3, y de 8.59 hasta 24.07%. La granulometría de un material nos brinda

información sobre su permeabilidad, composición, gradación y tamaños máximos y mínimos de un suelo, en este caso tenemos de tamaños pequeños entre 0,052 y 0,001, esto nos indica que el suelo presenta limos y arcillas, para el caso de los sondeos 3 y 4 tenemos arcillas de tamaño 0,003-0,047, esto corresponde a las arcillas diatomeicas

### **Masa Unitaria Máxima y Mínima Para el Cálculo de Densidad Relativa**

La densidad relativa se define en suelos que permiten drenaje libre o que son no cohesivos para calificar el grado de compactación de un determinado arreglo de suelo. Es la relación expresada en porcentaje, entre la diferencia de relación de vacíos máxima del suelo con la relación de vacíos característica del suelo en el estado en que se desea encontrar la  $D_r$  y la diferencia entre la relación de vacíos máxima con la relación de vacíos mínima. Como se observa en la norma este tipo de ensayo se realiza para suelos arenosos que pasan en su totalidad por el tamiz 4.75 mm (N° 4) y que no contengan más de un 10% del materia que pase por el tamiz 0.075mm (N°200); para este ensayo se tomó muestra superficial ya que se identifico era en algunos sondeos la de tamaño de grano más grande, cabe resaltar que para el sondeo 4 donde el material diatomeico está en la superficie se realizó el ensayo pero se debe aclarar que más del 10 % pasa por el tamiz 200. Los resultados obtenidos en este ensayo son para el sondeo 1 densidades relativas naturales de 24.96 a 29.02%, para el sondeo 2 de 33.15 a 34.44%, para el sondeo 3 de 44 a 30.2%, para el sondeo 4 de 29.02 a 29.57% y para el sondeo 5 de 30.51 a 30.92%; sin embargo se recalca a que los resultados obtenidos no son confiables debido a lo establecido en la norma y a que la mayoría de los materiales encontrados en la zona de estudios son limos.

### **Gravedad Específica**

Es la relación del peso unitario de un cuerpo referida a la densidad del agua en condiciones de laboratorio. Lo obtenido del parámetro de gravedad especifica del suelo con contenido de diatomita, indican valores un poco más reducidos en comparación con otros suelos y se encuentra en un intervalo entre 2.32 y 2.57, lo que nos indica en cierta medida la “pureza” y o “contaminación”, ya que se esperaba un valor menor a los obtenidos.

**Tabla 19** Resultados de Gravedad Específica

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)		PROF PROM (m)	$G_s$
S1	M1	0	0.8	0.4	2.55
S1	M2	0.8	1.9	1.35	2.60
S1	M3	1.9	2.2	2.05	2.58
S1	M4	2.2	2.8	2.5	2.64



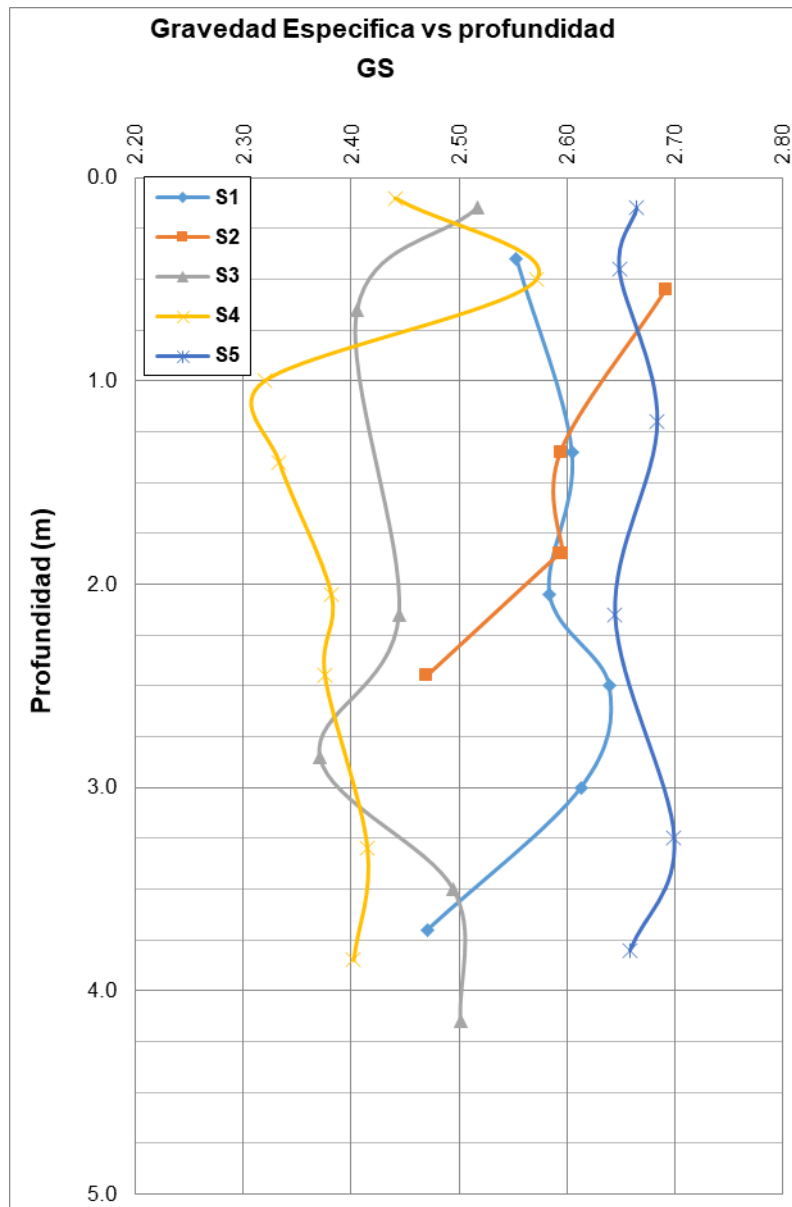
S1	M5	2.8	3.2	3	2.61
S1	M6	3.2	4.2	3.7	2.47
S2	M1	0	1.1	0.55	2.69
S2	M2	1.1	1.6	1.35	2.59
S2	M3	1.6	2.1	1.85	2.60
S2	M3	1.6	2.1	1.85	2.59
S2	M4	2.1	2.8	2.45	2.47
S2	M1	0	1.1	0.55	2.66
S3	M1	0	0.3	0.15	2.52
S3	M2	0.3	1	0.65	2.41
S3	M4	1.8	2.5	2.15	2.44
S3	M5	2.5	3.2	2.85	2.37
S3	M6	3.2	3.8	3.5	2.49
S3	M7	3.8	4.5	4.15	2.50
S4	M1	0	0.2	0.1	2.44
S4	M2	0.2	0.8	0.5	2.57
S4	M3	0.8	1.2	1	2.32
S4	M4	1.2	1.6	1.4	2.33
S4	M6	1.8	2.3	2.05	2.38
S4	M7	2.3	2.6	2.45	2.38
S4	M9	2.9	3.7	3.3	2.42
S4	M10	3.7	4	3.85	2.40
S5	M1	0	0.3	0.15	2.66
S5	M2	0.3	0.6	0.45	2.65
S5	M3	0.6	1.8	1.2	2.68
S5	M4	1.8	2.5	2.15	2.64
S5	M6	3	3.5	3.25	2.70
S5	M7	3.5	4.1	3.8	2.66

Fuente. Propia

**Tabla 20** Resumen resultados de gravedad específica

SONDEO	GRAVEDAD ESPECIFICA		
	Máx.	Min.	Promedio
S1	2.64	2.47	2.58
S2	2.69	2.47	2.60
S3	2.52	2.37	2.46
S4	2.57	2.32	2.40
S5	2.70	2.64	2.67

Fuente. Propia



**Gráfica 12** Resultados gravedad específica para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. **Fuente.** Propia

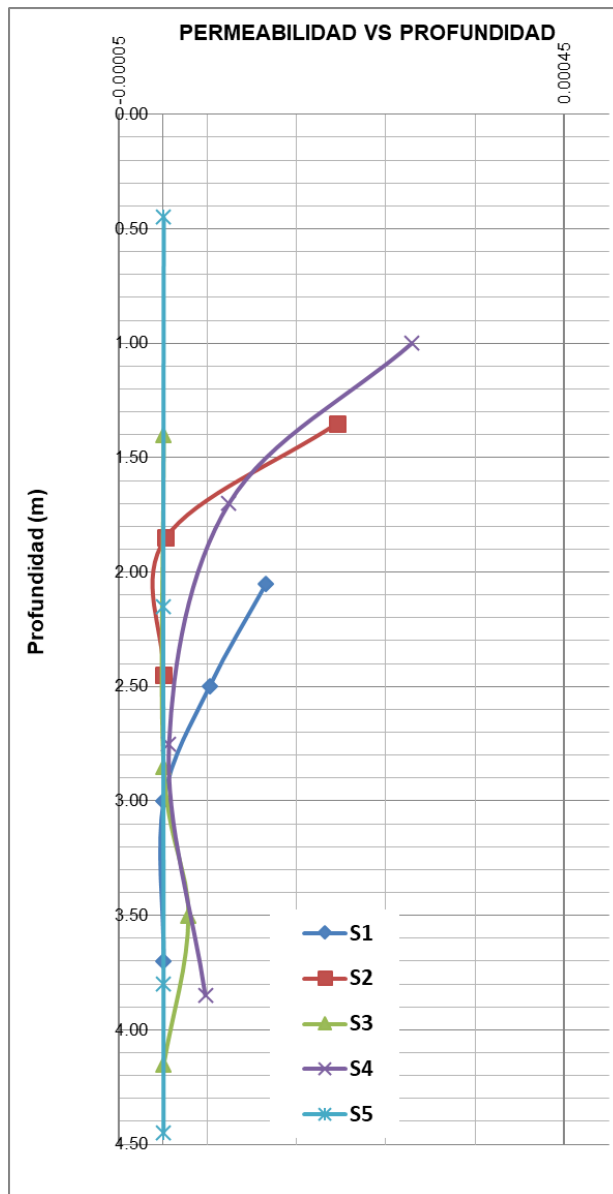
### Conductividad hidráulica

Con la prueba de carga variable, se determinó el coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica de los suelos finos del perfil, encontrándose que para estos suelos el potencial de flujo de agua que se movilice a través de sus espacios intersticiales es demasiado bajo.

**Tabla 21.** Resumen Resultados Conductividad Hidráulica o permeabilidad, (carga variable).

SONDEO/MUESTRA	PROFUNDIDAD(m)		PERMEABILIDAD K (cm/s)	GRADO DE PERMEABILIDAD
S1M3	1.90	2.20	1.15E-04	Baja
S1M4	2.20	2.80	5.18262E-05	Muy baja
S1M5	2.80	3.20	2.82E-07	Muy Baja
S1M6	3.20	4.20	5.67E-07	Muy baja
S2M2	1.1	1.6	0.000195136	Baja
S2M3	1.6	2.1	2.74606E-06	Muy Baja
S2M4	2.1	2.8	2.42804E-07	Muy baja
S3M3	1	1.8	3.882E-07	Muy Baja
S3M5	2.5	3.2	4.32571E-07	Muy baja
S3M6	3.2	3.8	2.8217E-05	Muy Baja
S3M7	3.8	4.5	5.83469E-07	Muy baja
S4M3	0.8	1.2	0.000279162	Baja
S4M5	1.6	1.8	7.37238E-05	Muy baja
S4M8	2.6	2.9	6.41505E-06	Muy Baja
S4M10	3.7	4	4.71688E-05	Muy Baja
S5M2	0.3	0.6	5.62608E-07	Muy Baja
S5M4	1.8	2.5	7.7237E-08	Practicamente impermeable
S5M7	3.5	4.1	3.10257E-07	Muy baja
S5M8	4.1	4.8	2.90322E-07	Muy baja

Fuente. Propia



**Gráfica 13** Resultados de permeabilidad vs profundidad para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. **Fuente.** Propia

La permeabilidad o conductividad hidráulica del suelo depende de su microestructura, como se observa en la tabla 21 los resultados de las pruebas de permeabilidad para los suelos con contenido de diatomitas; tienen valores que oscilan entre  $4E-07$  y  $2.81E-05$  cm/s lo cual corresponde con un grado de permeabilidad muy bajo; estos valores son similares a otros materiales presentes en los perfiles de los sondeos realizados. Y en general la zona de estudio estudiada tiene un grado de permeabilidad muy bajo a prácticamente impermeable.

## 2.4 PRUEBAS DE CARACTERIZACION MECÁNICA

### Compresión Inconfinada

La prueba consiste en tomar una muestra cilíndrica de suelo aplicando carga vertical axialmente. La carga dividida entre el área de sección circular del cilindro se conoce como esfuerzo, el valor del esfuerzo a la falla se le conoce como resistencia a la compresión inconfinada; ésta para clasificar la consistencia del suelo en un rango de muy blanda firme a dura de acuerdo con el valor obtenido. A continuación, se presenta la relación de la resistencia máxima en función de la profundidad de los sondeos.

**Tabla 22** Clasificación del suelo por consistencia I.N.V. E – 152

Consistencia del Suelo	Resistencia a la Compresión Inconfinada	
	Kg/cm <sup>2</sup>	(kPa)
Muy blanda	< 0.25	( < 25)
Blanda	0.25-0.50	( 25 - 50)
Mediana	0.50-1.00	( 50 - 100)
Firme	1.00-2.00	(100 - 200)
Muy firme	2.00-4.00	(200 - 400)
Dura	>4.00	(> 400 )

Fuente. I.N.V. E – 152

**Tabla 23** Resumen de Características Físico - Mecánicas de los Sondeos.

Muestra	Profundidad Prom(m)	Humedad (%)	Peso Unitario Seco (KN/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario (KN/m <sup>3</sup> )	qu (KN/m <sup>2</sup> )	cu (KN/m <sup>2</sup> )	E (KN/m <sup>2</sup> )
S1M4Arriba	2.35	35.09	1.19	1.19	5.93	2.96	205.87
S1M4Abajo	2.65	18.02	1.48	1.75	5.05	2.52	227.94
S1M5	3	12.75	1.66	1.87	6.75	3.38	176.80
S2M2	1.35	13.13	2.35	2.65	5.94	2.97	139.29
S2M3	1.85	17.27	1.63	1.91	10.75	5.38	192.30
S2M4	2.45	17.34	2.20	2.58	6.68	3.34	159.32
S3M3	1.4	30.65	1.08	1.41	3.58	1.79	84.13
S3M5	2.85	26.81	1.23	1.55	3.65	1.82	89.27
S3M7	4.15	50.17	0.99	1.49	3.88	1.94	90.65
S4M5	1.7	96.97	0.61	1.20	3.63	1.82	98.02
S4M7	2.45	85.68	0.74	1.38	3.51	1.76	80.58
S4M10	3.85	63.57	0.98	1.60	2.58	1.29	67.59
S5M3	1.2	12.32	2.33	2.62	5.03	2.52	46.12
S5M5	2.75	23.59	2.30	2.84	5.21	2.60	64.83
S5M7	3.8	25.34	1.37	1.72	3.62	1.81	35.52

Fuente. Propia

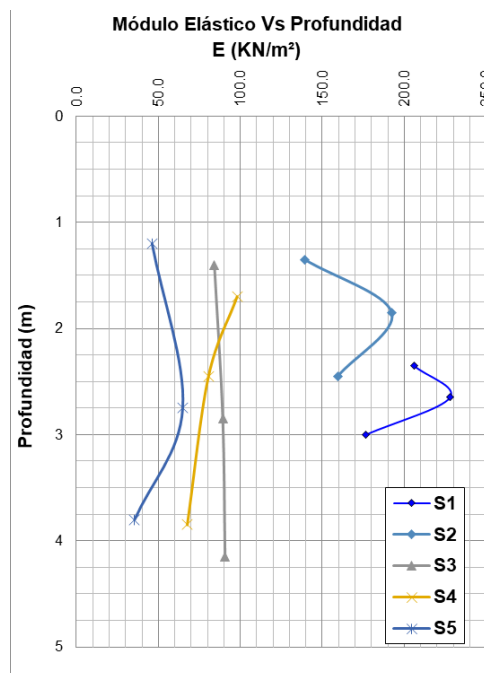
En la **tabla 24**, se indican los valores máximos y mínimos de resistencia máxima ( $q_u$ ), cohesión no drenada ( $c_u$ ) y módulo de elasticidad ( $E$ ), encontrados para cada perfil del subsuelo en función de los sondeos realizados.

**Tabla 24** Resultados valores máximo y mínimo por sondeo

Sondeo	Humedad (%)		Peso Unitario (KN/m <sup>3</sup> )		$q_u$ (KN/m <sup>2</sup> )		$c_u$ (KN/m <sup>2</sup> )		E (KN/m <sup>2</sup> )	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
S1	12.75	12.75	1.87	1.87	6.75	6.75	3.38	3.38	176.80	176.80
S2	17.34	13.13	2.65	1.91	10.75	5.94	5.38	2.97	192.30	139.29
S3	50.17	26.81	1.55	1.41	3.88	3.58	1.94	1.79	90.65	84.13
S4	96.97	63.57	1.60	1.20	3.63	2.58	1.82	1.29	98.02	67.59
S5	25.34	12.32	2.84	1.72	5.21	3.62	2.60	1.81	64.83	35.52

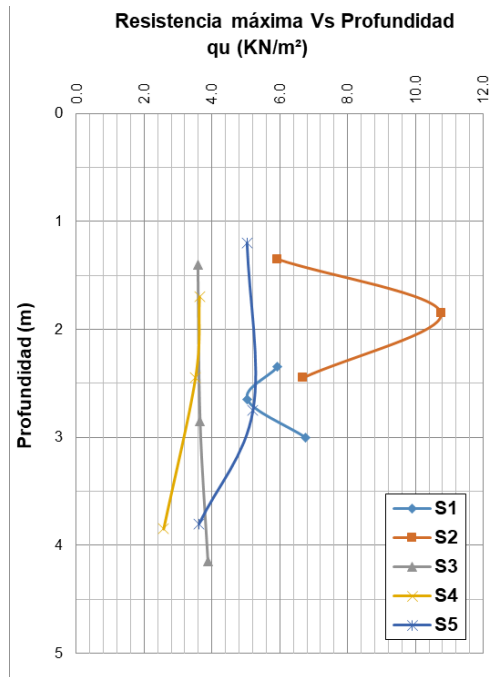
Fuente. Propia

La variación del módulo de elasticidad en función de la profundidad para los sondeos.



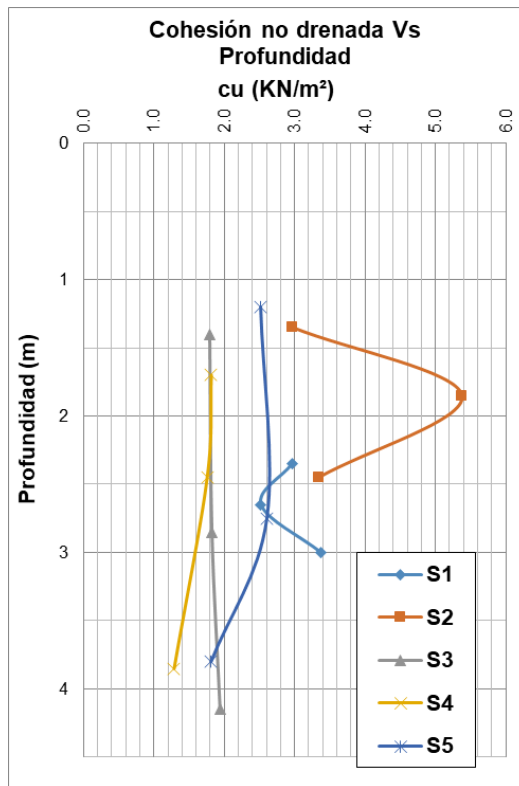
**Gráfica 14.** Resultados módulo de elasticidad para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. Fuente. Propia

A continuación, se presenta la relación de la resistencia máxima en función de la profundidad de los sondeos.



**Gráfica 15** Resultados resistencia máxima para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, y S-5. **Fuente.** Propia

Paralelamente se indica la relación de la cohesión no drenada en función de la profundidad de las muestras.



**Gráfica 16** Resultados cohesión no drenada para los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, Y S-5. **Fuente.** Propia

Este ensayo nos brinda el valor de la carga última soportada por un suelo, esto nos ayudara a obtener la resistencia del mismo, para este caso, basándonos en los resultados obtenidos y en la tabla 22 de Terzaghi y Peck (1955), podemos decir que en general las arcillas son de consistencia muy firme, mientras que las diatomitas son de consistencia muy blanda. Para los suelos con diatomitas se tiene que el mínimo esfuerzo compresivo necesario para romperla esta entre un rango de valores de  $2.58 \text{ KN/M}^2$  a  $3.63 \text{ KN/M}^2$ , un  $C_u$  entre  $1.29 \text{ KN/M}^2$  y  $1.82 \text{ KN/M}^2$  y un módulo de elasticidad entre  $67.59 \text{ KN/M}^2$  y  $98.02 \text{ KN/m}^2$ , lo que se explica por su estructura porosa.

### Corte Directo

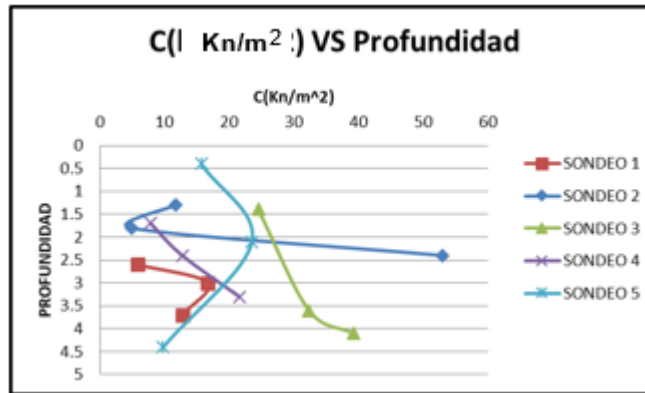
El ensayo de corte directo da parámetros que nos permiten medir la resistencia del suelo, como podemos observar la relación entre la profundidad y los parámetros de resistencia ( $C$  y  $\phi$ ) es directamente proporcional.



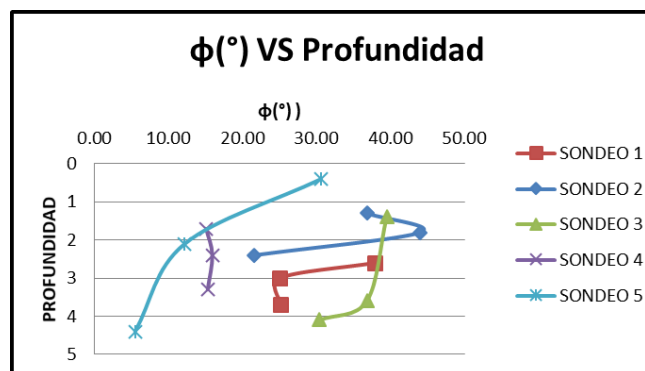
**Tabla 25.** Resumen Resultados de corte directo.

SONDEO/MUESTRA	C (kn/m <sup>2</sup> )	φ (°)	PROFUNDIDAD
S1M4	5.83	37.85	2.6
S1M5	16.67	25.03	3
S1M6	12.74	25.13	3.7
S2M2	11.76	36.86	1.3
S2M3	4.9	44.02	1.8
S2M4	52.95	21.53	2.4
S3M3	24.51	39.48	1.4
S3M6	32.36	36.81	3.6
S3M7	39.22	30.43	4.1
S4M5	7.84	15.09	1.7
S4M7	12.74	15.92	2.4
S4M9	21.57	15.29	3.3
MT-M1	33.46	19.46	1.5
MT-M2	47.2	22.69	1.5
S5M2	15.69	30.62	0.4
S5M4	23.53	12.18	2.1
S5M8	9.8	5.48	4.4

Fuente. Propia



**Gráfica 17.** Cohesión vs profundidad. Fuente. Propia



**Gráfica 18.** Ángulo de fricción interna vs profundidad. Fuente. Propia

Enfocándonos en las arcillas diatomeicas, se practicó el este ensayo en condiciones consolidadas no drenadas, usando una velocidad suficientemente rápida para asegurar de que no hay disipación del esfuerzo de presión intersticial que se produce durante el corte; el material del sondeo No 4 es el que menos resistencia ofrece, el material de este sondeo es el que tiene mayor contenido de diatomitas, mientras que el sondeo No 3 es el que tiene mayor cohesión y más ángulo de fricción, esto nos ratifica que en grandes cantidades, las arcillas diatomeicas no ofrecen buena resistencia además que por su peso tan bajo se tienen unos esfuerzos geostáticos o confinantes muy bajos en comparación con los otros materiales del perfil.

### **Consolidación Unidimensional**

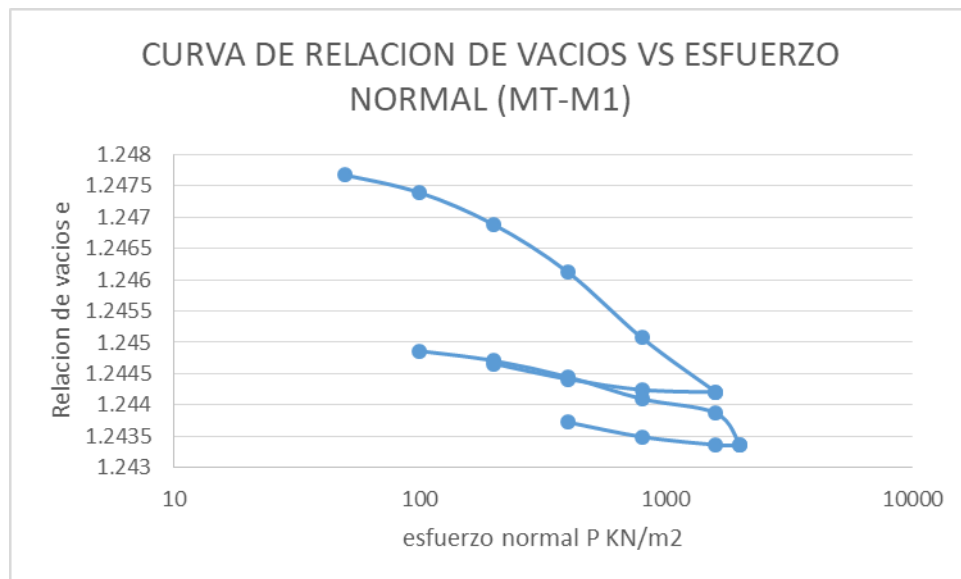
Con el fin de conocer parametros de deformabilidad del material en estudio, es preciso conocer el comportamiento de consolidación, por lo que es necesario determinar no solo el tiempo en el cual se produce la consolidación sino también la magnitud de las deformaciones por aplicaciones de cargas. Para esto se realizó la prueba de consolidación, la cual consiste en someter a un esfuerzo de compresión axial a una muestra inalterada del suelo en estudio. La muestra debe ser inalterada debido a que la consolidación depende de la estructura del suelo. A continuación, se describen los resultados obtenidos del cálculo de la consolidación unidimensional de suelos y el cálculo del esfuerzo de pre consolidación siguiendo la metodología de Casagrande.

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD(m)	INDICE DE COMPRESION (Cc)	INDICE DE RECOMPRESION (Cr)	Pc(kg/cm <sup>2</sup> )	Po(kg/cm <sup>2</sup> )	Y (T/m <sup>3</sup> )	RSC	OBSERVACION
1	5	2.8	0.193	0.031	0.99	0.50	1.77	2.00	Normalmente consolidado
1	6	4.2	0.689	0.240	1.00	0.52	1.24	1.94	Normalmente consolidado
2	3	2.1	0.114	0.010	1.90	0.41	1.96	4.61	Fuertemente sobre consolidado
2	4	2.6	0.151	0.020	1.90	0.52	1.99	3.67	Sobre consolidado
3	3	1.4	0.143	0.059	2.00	0.24	1.72	8.40	Fuertemente sobre consolidado
3	5	2.8	0.181	0.057	1.80	0.47	1.69	3.79	Sobre consolidado
3	6	3.6	0.163	0.044	1.10	0.56	1.56	1.93	Normalmente consolidado
3	6	3.2	0.127	0.068	1.80	0.50	1.58	3.57	Sobre consolidado
4	3	1	0.101	0.042	1.80	0.10	1.01	17.41	Fuertemente sobre consolidado
4	8	2.75	0.142	0.083	1.03	0.33	1.21	3.11	Sobre consolidado
4	10	3.85	0.175	0.047	1.10	0.54	1.41	1.99	Normalmente consolidado
4	1	1.5	0.801	0.171	3.00	0.12	1.03	2.11	Normalmente consolidado
4	1	1.5	0.342	0.205	2.90	0.15	0.98	2.01	Normalmente consolidado
MT	M1	1.5	0.001	0.0000282	0.000245	0.0997	-	2.46	Normalmente consolidado
MT	M2	1.5	0.003	0.0001	0.000248	0.0632	-	3.93	Sobre consolidado
MT	M3	1.5	0.003	0.0001	0.000310	0.0744	-	4.169	Fuertemente sobre consolidado
5	2	0.6	0.134	0.026	0.32	0.12	2.03	2.63	Ligeramente sobre consolidado
5	4	2.1	0.257	0.120	1.90	0.36	1.73	5.24	Fuertemente sobre consolidado
5	7	3.7	0.588	0.100	1.40	0.60	1.62	2.33	Ligeramente sobre consolidado
5	7	3.5	0.310	0.119	2.00	0.64	1.82	3.13	Sobre consolidado

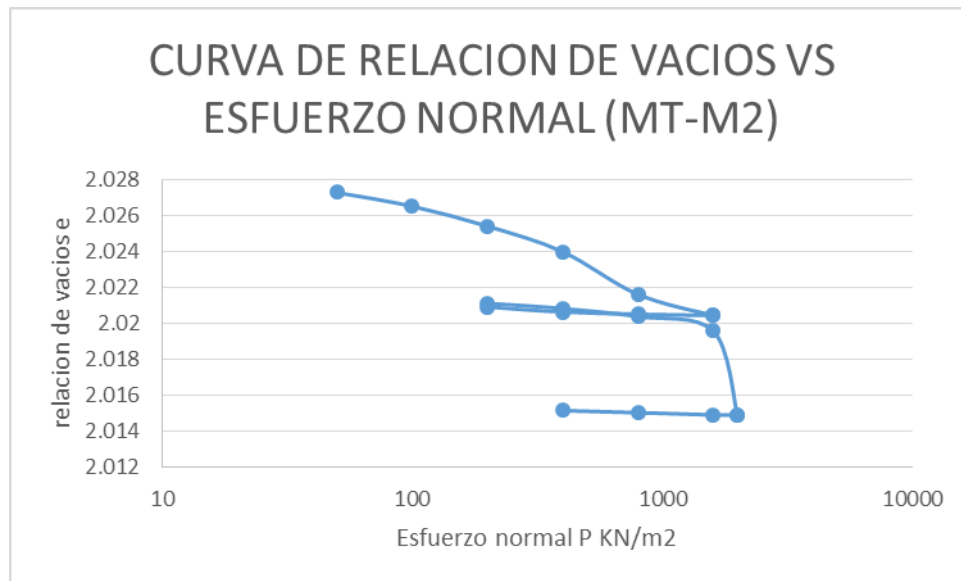
**Tabla 26.** Resultado de consolidación Unidimensional. **Fuente.** Propia.

En cuanto a los resultados particulares del sondeo 4 se puede observar que la relación de vacíos esta un intervalo de 1.307 a 4.177, esto dependiendo de la profundidad de la muestra y de la pureza que esta tenga, ya que como se ha mencionado anteriormente la diatomita que se presenta en la zona de estudio no es homogénea; en cuanto a su relación de sobreconsolidacion se puede observar que es un suelo con variaciones entre normalmente consolidado a fuertemente sobreconsolidado estos debido también a la profundidad de la muestra y a la cantidad de material diatomeico que esta posee.

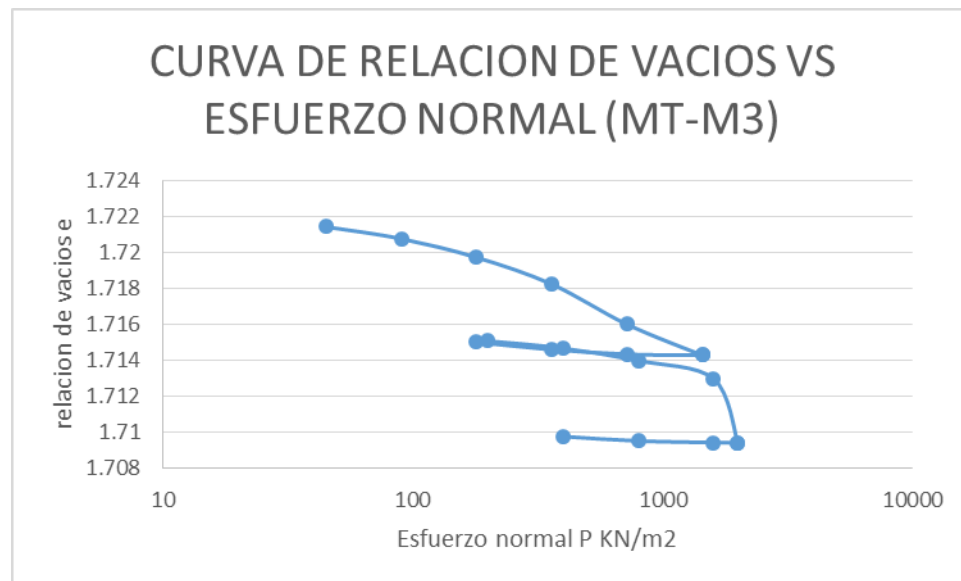
Se tomó muestra de un talud de corte cerca de la zona de estudio al cual con las muestras obtenidas se realizaron otros ensayos como consolidaciones con dos ciclos de carga y descarga con lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:



**Gráfica 19.** Curva de relación de vacíos vs esfuerzo normal MT-M1. **Fuente.** Propia



**Gráfica 20.** Curva de relación de vacíos vs esfuerzo normal MT-M2. **Fuente.** Propia



**Gráfica 21.** Curva de relación de vacíos vs esfuerzo normal MT-M3. **Fuente.** Propia

De las cuales se puede apreciar un comportamiento similar con una relación de vacíos que oscila entre 1.2 y 2.5. La presencia de microfósiles tiene una influencia significativa en las propiedades mecánicas de los suelos, particularmente en la compresibilidad. La cual también está en función del tipo de estructura intra-esquelética del suelo, el agua de estos intersticios entra en contacto con los poros inter-agregado hasta que presentan rotura (porosidad no conectiva), por otro lado en los microfósiles diatomáceos, la porosidad intra-esquelética está siempre conectada con los otros poros en el sedimento (porosidad conectiva). Estos tipos

de porosidad afectan de manera diferente el comportamiento del suelo durante su consolidación.

## **PINHOLE**

Para realizar una caracterización de los suelos y su dispersividad, se ejecuta el ensayo Pinhole bajo la norma ASTM D4647. Este ensayo mide de forma cuantitativa la dispersividad en suelos arcillosos compactados o también puede utilizarse con muestras inalteradas, siguiendo las indicaciones respectivas. El procedimiento se basa en hacer fluir agua destilada a través de un orificio de 1 mm sobre el eje longitudinal de una muestra de arcilla, observando la turbidez a la salida del flujo y clasificar el suelo de acuerdo con la nube de partículas disueltas por la acción de arrastre del agua, y el aumento en el tamaño del agujero por el cual se hizo fluir. Clasificación. El desarrollo de esta prueba proporciona las bases para la clasificación del suelo dentro de la categoría de dispersivo acorde a los siguientes criterios.

**Método A.** D1 – D2 Arcilla dispersiva que fallan rápidamente bajo una carga hidráulica de 50mm; ND4 – Nd3 Arcilla con características bajas o moderadas de dispersión, con cargas hidráulicas entre 50 mm y 180 mm.; ND1 – ND2 Arcilla no dispersiva con baja erosión, cargas hidráulicas entre 180 mm y 1020 mm

**Método B.** Arcilla dispersiva que se erosiona rápidamente con una carga hidráulica de 50 mm de altura; SD – Arcilla ligeramente dispersiva que se erosiona con una carga hidráulica de 180 mm de presión; ND – Arcilla no dispersiva bajo carga hidráulica de 380 mm de presión.

**Método C.** D2 Arcilla dispersiva que se erosiona rápidamente con carga hidráulica de 50 mm de presión; ND4 – ND3 Arcilla dispersiva que se erosionan ligeramente con cargas hidráulicas entre 50 mm 180 mm y 380 mm de presión; ND2 – ND1 Arcilla no dispersiva

Para lo cual se aplicó el método A en muestras inalteradas, El ensayo de Pinhole fue desarrollado por Sherard (1976) para medir directamente la capacidad de dispersión de un suelo de grano fino compactado, por el cual se hace fluir agua a través de un pequeño agujero hecho en la muestra de suelo, donde se simula el flujo de agua a través de una grieta u otro canal de fuga en el núcleo impermeable de una presa u otra estructura. Este ensayo mide de forma cuantitativa la dispersividad en suelos arcillosos compactados o también puede utilizarse con muestras inalteradas, siguiendo las indicaciones respectivas.

En ensayo de Pinhole se aplica para evaluar si una muestra de suelo inalterado o remoldeado experimenta dispersión, para ello, se hace circular agua a través de un orificio pequeño practicado a la muestra de suelo. Este flujo de agua simula la infiltración del agua en el suelo al cual puede estar sometido en la naturaleza a

través de poros, orificios, grietas, canales, que pueden existir en terraplenes o en el corazón de presas. El orificio por el cual se hace circular el agua es de 1.0 mm de diámetro, practicado a un espécimen cilíndrico de suelo de 25.0 mm de longitud por 35.0 mm de diámetro. El líquido que se hace circular a través de este orificio es agua destilada con una carga hidráulica de 50, 180 y 380 mm, en donde se registra la velocidad alcanzada durante la infiltración que puede ser de 30 a 60 cm/seg, así como la turbidez que experimente el agua, de acuerdo con Sherard et. al. 1976<sup>15</sup>. Para desarrollar este ensayo se recomienda contar con muestras de suelo, preferentemente con su contenido de agua natural, debido a que la pérdida de esta puede modificar los resultados en algunos tipos de suelos y que no contengan partículas superiores a 2 mm, de ser necesario se recomienda removerlas, Es importante que la prueba sea hecha en suelos con contenido natural de agua, porque el secado puede afectar las características dispersivas de algunos suelos. Si el material contiene partículas de arena gruesa o grava, deberán ser eliminados mediante un tamiz de 2 mm (N°10).

El contenido natural de agua debe ser determinado y se debe alcanzar la cantidad de humedad de compactación mediante la adición de la cantidad requerida de agua (o con un secado gradual al aire, si es demasiado húmedo). Toda el agua añadida deberá ser agua destilada. Pese a que el ensayo de Pinhole es considerado como el más fiable, por ser una prueba física directa, se han observado dos limitaciones: Muestras inalteradas de suelo de alta sensibilidad que pueden ser clasificadas como dispersivas, mientras que en la naturaleza el suelo puede ser resistente a la erosión. Aparentemente, la estructura natural del suelo es destruida por el taladro de pinhole en la muestra inalterada, produciendo una reacción análoga a la dispersión.

Suelos con alto contenido de sodio (más del 80%) y un bajo total de sólidos disueltos (< 0.4 mEq/L) en los suelos con agua, pueden no presentar dispersividad, mientras que en el campo el suelo puede ser totalmente dispersivo. Esto puede ocurrir por un decrecimiento en la concentración del gradiente entre los poros con agua del suelo y el flujo erosivo, proyectando así resultados con una decadencia en la tasa de dispersión.

A continuación se presentan los resultados obtenidos del material obtenido de un talud con contenido de diatomita ubicado cerca de la zona donde se realizaron los sondeos del estudio:

---

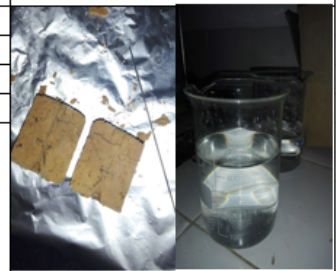
<sup>15</sup> Gustavo GALLEGO, Milka Elena ESCALERA, José Manuel ROMO, Enrique MALDONADO, Eduardo ROJAS. Problemas ocasionados por los suelos dispersivos en las estructuras de suelo. Sociedad de Ingeniería Geotécnica. México, 2014. p 3



**Figura 42** Talud de corte con exposición de capas con contenido de Diatomita. **Fuente.** Propia


A continuación se muestran los resultados obtenidos:

MUESTRA N°	Muestra 1									
PROCEDENCIA	terraplen ubicado en el barrio patriotas									
PROYECTO	caracterización geotecnica deposito de diatomitas ubicado en el barrio patriotas, Tunja									
cabeza de presión (mm)	caudal			grado de turbidez						observaciones
	cm <sup>3</sup>	s	caudal(cm <sup>3</sup> /s)	muy oscura	oscura	moderadamente	ligeramente oscura	apenas visible	completamente	
50	100	120	0.83							X
180	236	240	0.98							X
380	413	256	1.61							X
1020	819	300	2.73							X
<b>RESULTADOS</b>	se clasifica como ND1									




**Tabla 27.** Resultado de PINHOLE MT-M1  
**Fuente.** Propia.



MUESTRA N°	Muestra 2										
PROCEDENCIA	terraplen ubicado en el barrio patriotas										
PROYECTO	caracterizacion geotecnica deposito de diatomitas ubicado en el barrio patriotas, Tunja										
cabeza de presion (mm)	caudal			grado de turbidez						observaciones	
	cm3	s	caudal(cm3/s)	muy oscura	oscura	moderadamente	ligeramente oscura	apenas visible	completamente		completamente claro desde arriba
50	240	220	1.09							X	
180	274	250	1.1							X	
380	617	300	1.62							X	
1020	1230	300	4.1							X	
RESULTADOS	se clasifica como ND1										

**Tabla 28.** Resultado de PINHOLE MT-M2  
Fuente. Propia.

MUESTRA N°	Muestra 3										
PROCEDENCIA	terraplen ubicado en el barrio patriotas										
PROYECTO	caracterizacion geotecnica deposito de diatomitas ubicado en el barrio patriotas, Tunja										
cabeza de presion (mm)	caudal			grado de turbidez						observaciones	
	cm3	s	caudal (cm3/s)	muy oscura	oscura	moderadamente	ligeramente oscura	apenas visible	completamente		completamente claro desde arriba
50	214	410	0.52							X	
180	280	250	1.12							X	
380	710	300	2.36							X	
1020	1100	300	3.66							X	
RESULTADOS	se clasifica como ND1										

**Tabla 29.** Resultado de PINHOLE MT-M3  
Fuente. Propia.

Según los resultados obtenidos del ensayo de pinhole el suelo se clasifica como ND1 el cual indica que este no es dispersivo, dado que en los resultados el color del agua al final del ensayo fue cristalino y el agujero al final del ensayo no presento erosión, por tanto el suelo es no dispersivo: erosión no coloidal bajo cargas dadas por la norma.

## 11. PRUEBAS MINERALOGICAS y QUIMICAS

### 11.1 Microscopia electrónica de barrido MEB

La microscopia electrónica de barrido se utilizó para la determinación de: Morfoespecies, tamaño de las frustulas y diámetro de las areolas (poros) de las diatomeas, así como la identificación de minerales asociados. A través de la microsonda electrónica (EDX) se realizaron análisis químicos puntuales.

**Taxonomía:** Se realizó una identificación de las principales familias de diatomeas fósiles halladas en el depósito en estudio. La especie más abundante es la *Aulacoseira granulata* (figura 43) con el propósito de obtener una caracterización taxonómica preliminar y realizar mediciones geométricas de manto, valvas y en especial de las areolas, parámetros importantes para conocer la porosidad de las especies existentes en dicho depósito.

*Aulacoseira granulata* (figura 43), las frustulas son cilíndricas, están unidas formando cadenas rectas y largas (figura 43), poseen valvas circulares. La unión entre valvas vecinas se da mediante espinas que se encuentran en el borde, las espinas están ensanchadas en la base y se incrustan en la valva adyacente. Existen espinas largas las cuales se acoplan en surcos longitudinales que se encuentran entre las líneas de las areolas del manto de la diatomea vecina. Las areolas del manto están dispuestas en hileras diagonales. El diámetro de las areolas es de 506.0 nm. la longitud de la frustula es de 21.38  $\mu\text{m}$ , y su ancho es de 9.438  $\mu\text{m}$

Esta especie, crece en sustrato lodoso, sobre y alrededor de vegetación acuática sumergida. Vive en lagos, estanques y ríos, en ambientes de agua dulce, con concentraciones de sal muy restringido. El Ph se sitúa entre 6.3 y 9, en ambientes con alta concentración de nutrientes (eutrófica) y temperaturas entre 15 y 30 °C (OLIVA *et al.* 2005). En general la *Aulacoseira granulata* tiene una distribución muy amplia. En Colombia se encuentran en lagos relativamente someros. En el microscopio de transmisión mediante EDX se determinó que las frustulas de diatomeas están compuestas por sílice, en concentraciones mayores al 98% con trazas de aluminio, la presencia de este último elemento en las otras muestras analizadas por MEB, indica una clara asociación a minerales arcillosos.

A continuación se muestran los resultados del EDX para las muestras a las que se les realizó la microscopia electrónica de barrido:

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD(m)	C %	O %	Al %	Si %	K %
4	1	0.0- 1.5	18.96	52.07	4.67	23.75	0.55
4	7	2.3-2.6	42.89	47.47	1.64	7.99	-
4	10	3.7-4.0	27.69	48.28	2.85	21.18	-
4	1	0.0-0.3	47.47	45.41	1.01	6.01	-

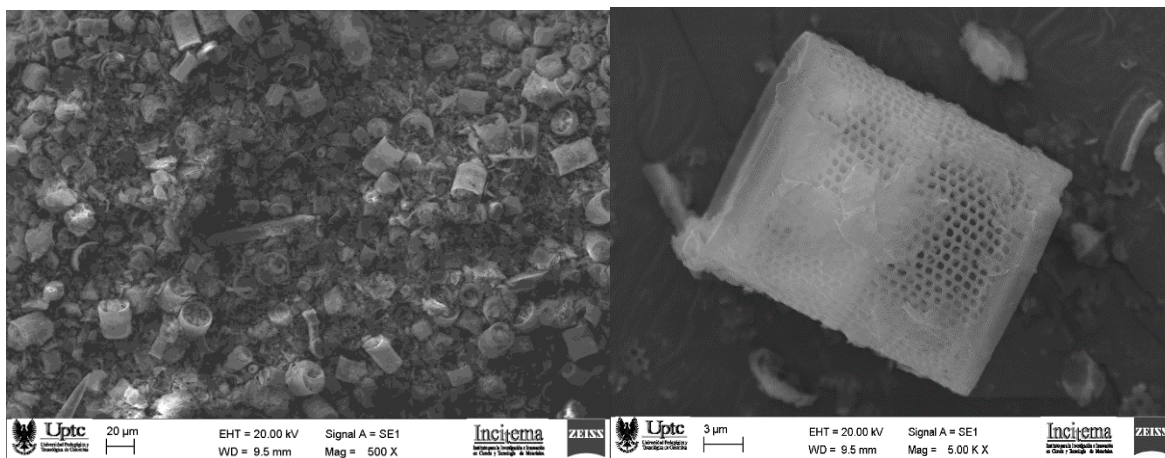
**Tabla 30.** Resultados EDX. **Fuente.** Propia

De las imágenes obtenidas en el MEB se mostrara una clasificación de las especies de diatomitas encontradas en la zona de estudio.

**Tabla 31.** Clasificación especies de diatomitas encontradas.

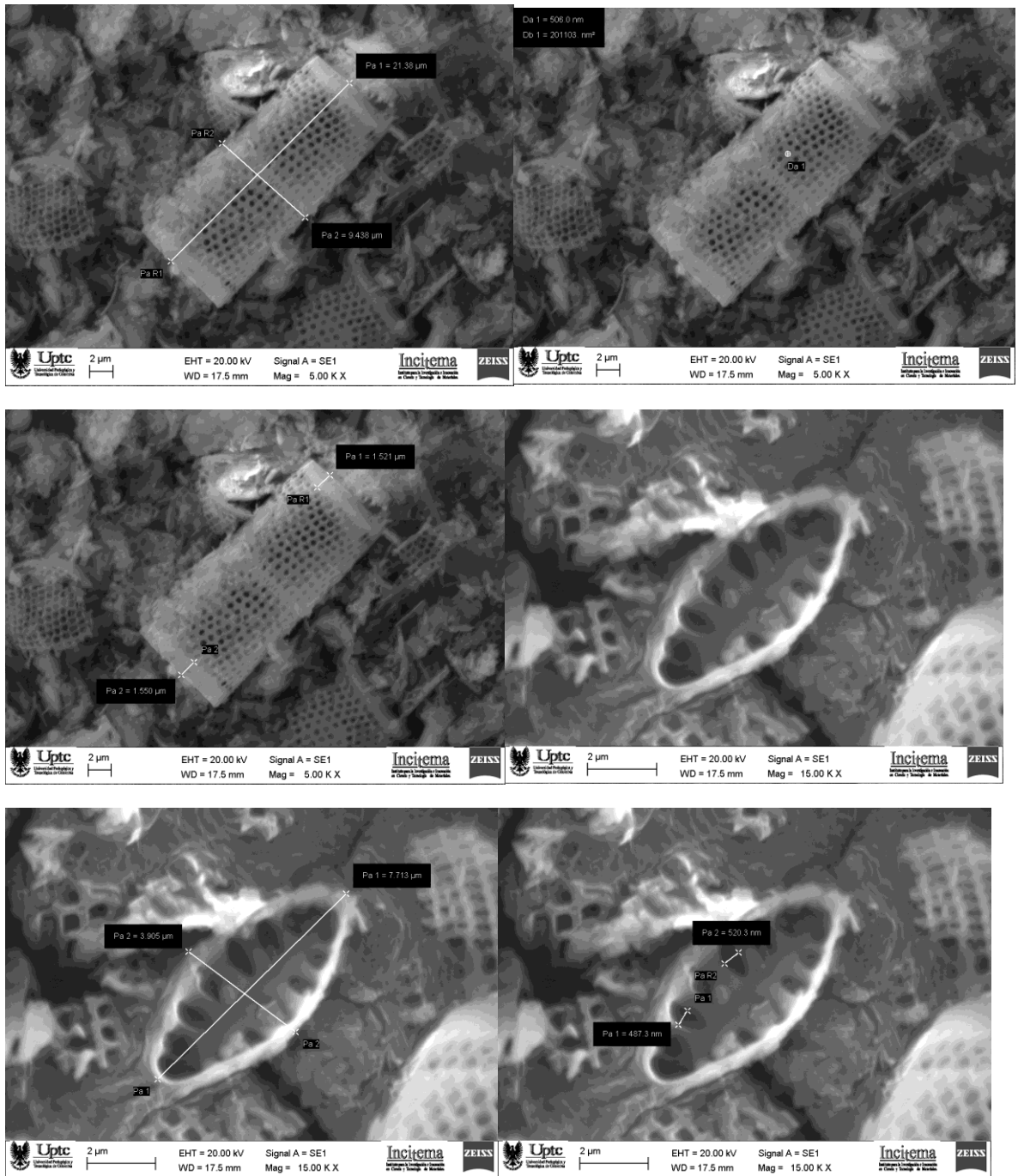
CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIES
COSCINODISPHYCEAE: Diatomeas céntricas.	AULACOSEIRALES (CENTRALES)	AULACOSEIRACEAE	<i>Aulacoseira</i> . Thwaites, 1848	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen
FRAGILARIOPHYCEAE: Diatomeas pennadas sin rafe	FRAGILARIALES	FRAGILARIACEAE	<i>Staurosirella</i> Williams & Round 1987	<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) (=Fragilaria pinnata). <i>Staurosirella leptostauron</i> (Ehrenberg)
BACILLARIOPHYCEAE: Diatomeas pennadas con rafe	NAVICULALES	PINNULARIACEAE	<i>Pinnularia</i> . Ehrenberg, 1843.	<i>Pinnularia cf. major</i> (Nitzsch) Enrenberg
		NAVICULACEAE	<i>Navicula</i> . Bory de St. Vincent, 1822.	<i>Navicula radiosa</i>
	CYMBELLALES	CYMBELLACEAE	<i>Cymbella</i> . Agardh, 1830.	<i>Cymbella naviculiformis</i> (Averswald) Cleve
		GOMPHONEMA	<i>Gomphonema</i> Ehrenberg nom. Cons. Agardh, 1832	<i>Gomphonema</i> sp.
	BACILLARIALLES	BACILLARIA	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia</i> sp.
	ACHNANTHALES	ACHNANTHACEAE	<i>Achnanthes</i> Bory de St. Vincent, 1822.	<i>Achnanthes</i> sp.

Fuente. Naranjo-Merchán, W., Gaviria-Melo, S., Manosalva-Sánchez, S. (2007): Mineralogía y Geoquímica de Diatomitas (Boyacá, Colombia). - GEOLOGÍA COLOMBIANA, 32, pp. 77-88, 12 Figs., Bogotá.

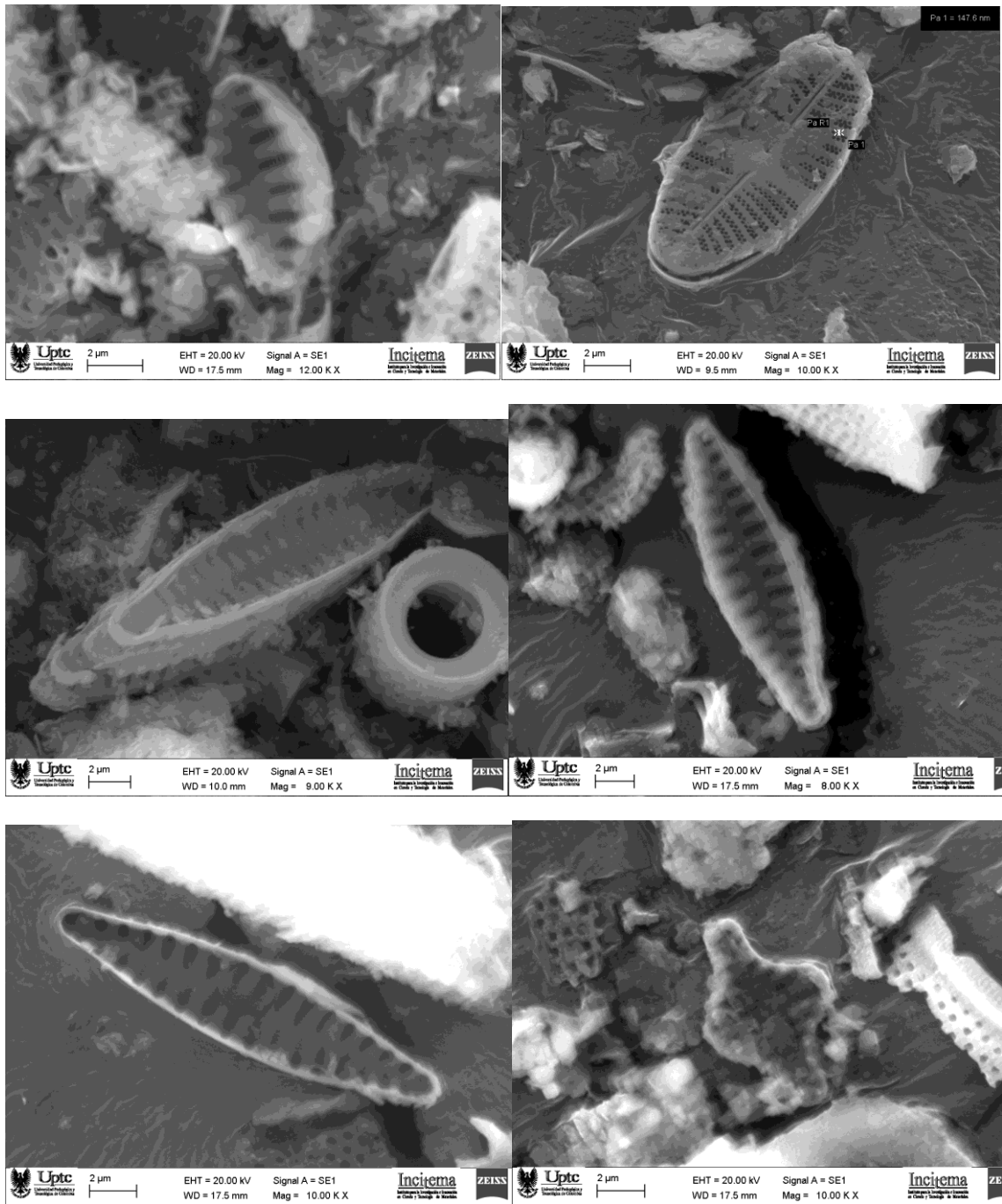


**Figura 43** Foto general y foto de la aulacoseira granulata obtenida de las muestras estudiadas.

**Fuente.** Resultados obtenidos del MEB



**Figura 44** Especies de diatomitas encontradas en las muestras estudiadas con sus dimensiones.  
**Fuente.** Resultados obtenidos del MEB



**Figura 45** Especies de diatomitas encontradas en las muestras estudiadas.  
**Fuente.** Resultados obtenidos del MEB

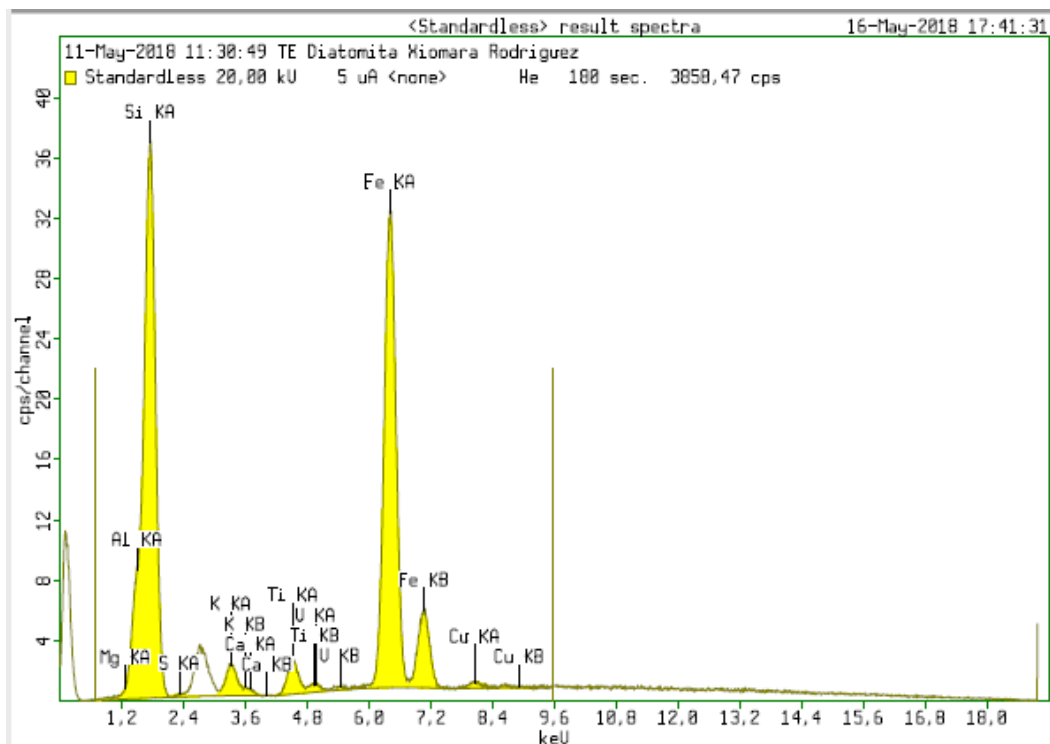


**Figura 46** Especies de diatomitas encontradas en las muestras estudiadas.  
**Fuente.** Resultados obtenidos del MEB

## 11.2 Fluorescencia de rayos X (FRX)

A partir del análisis químico se determinó que los elementos mayores son: Sílice, alúmina, hierro y magnesio (>1%). Como elementos menores (entre 0.1 y 1%) están: Titanio, Potasio, y calcio figura. Y como elementos traza (< 0.1%) están: V, y Cu.

Se analizó una muestra del sondeo 4 a una profundidad de 3.7m a 4 m se obtuvo que la sílice es el elemento más abundante, en promedio se encuentra en un 70 %, seguido del aluminio 18.6 %, hierro 5.79%, magnesio 2.0%, Titanio 0.73%, potasio 0.21%, y calcio 0.12%.



**Gráfica 22** Resultados FRX

**Tabla 32** resultados FRX

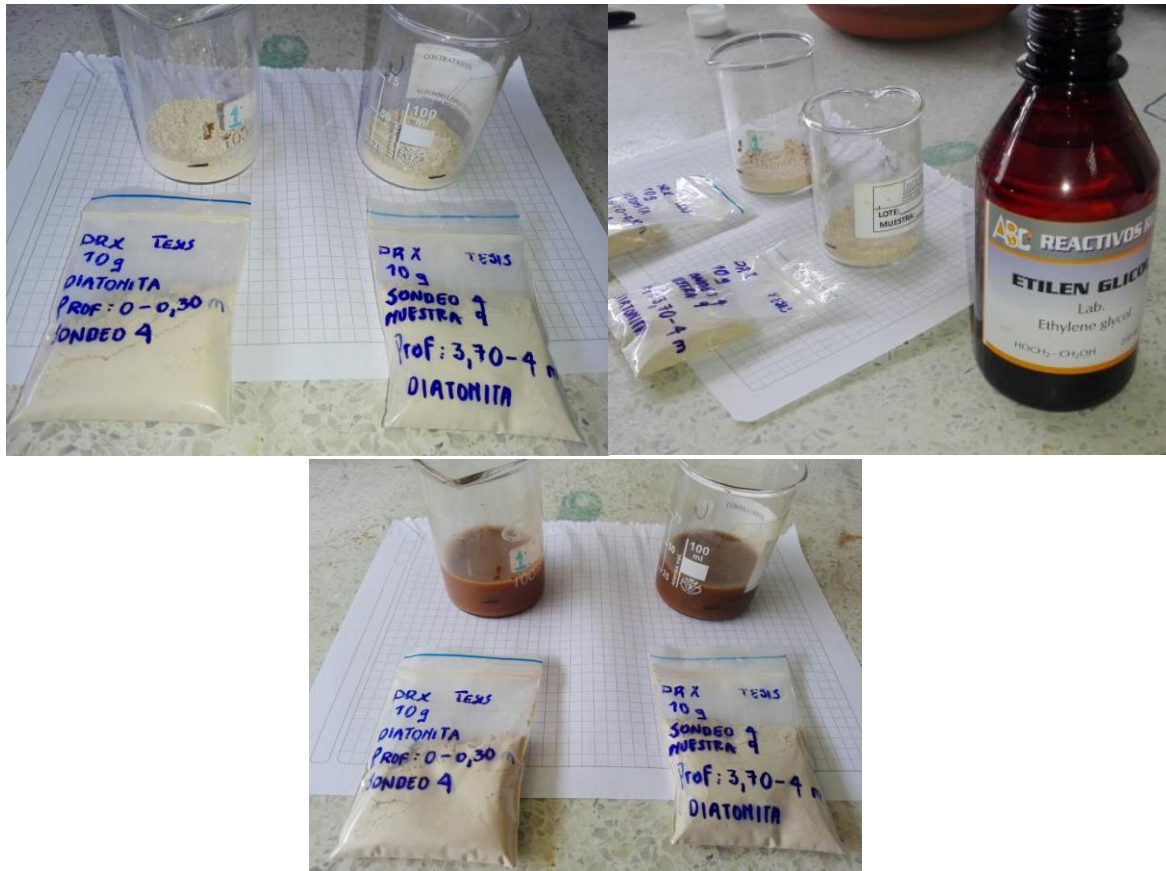
COMPONENTE	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	V	Fe	Cu
CONCENTRACION %	2.0	18.6	70.8	0.21	0.12	0.73	0.066	5.79	0.03

**Fuente.** Resultados obtenidos del FRX

Comparando el rango de la composición química del depósito de diatomitas en el barrio patriotas de Tunja, se determinó que la diatomita analizada presenta una composición, que encuadra dentro de los rangos de composición de otros yacimientos.



### 11.3 Difracción de Rayos X DRX



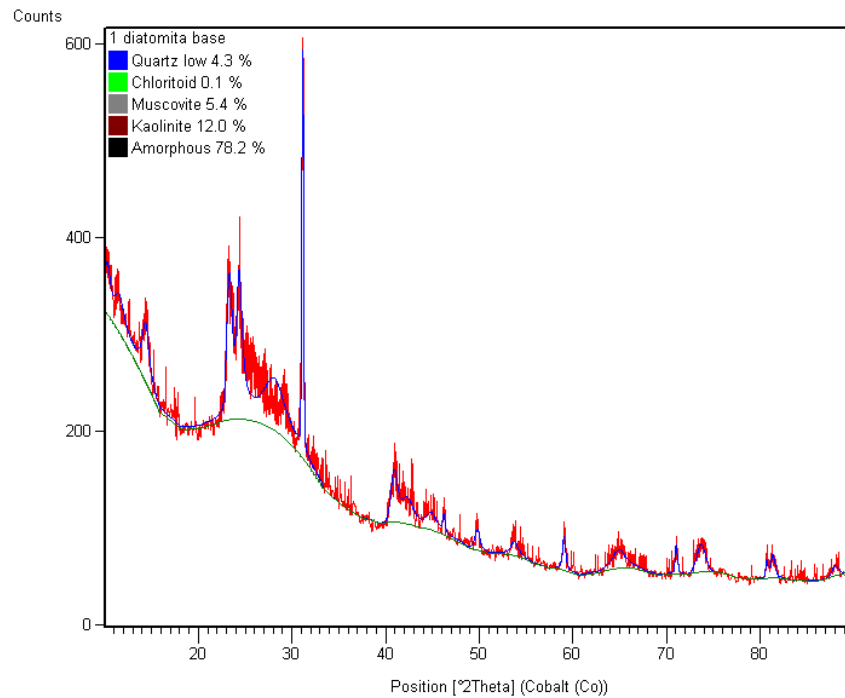
**Figura 47** Preparación de muestra para el ensayo de DRX.

**Fuente.** Propia

Las muestras analizadas con contenido de diatomita son químicamente y mineralógicamente no homogéneas, con rangos estrechos en la variación porcentual de elementos y minerales. De los datos de las perforaciones, se tiene que la sílice es el elemento más abundante, compuesto esencial de las frustulas de diatomeas, cuarzo y minerales arcillosos. El aluminio, potasio y magnesio que son elementos marcadores de la caolinita, clorita y moscovita. El hierro se encuentra principalmente como moscovita.

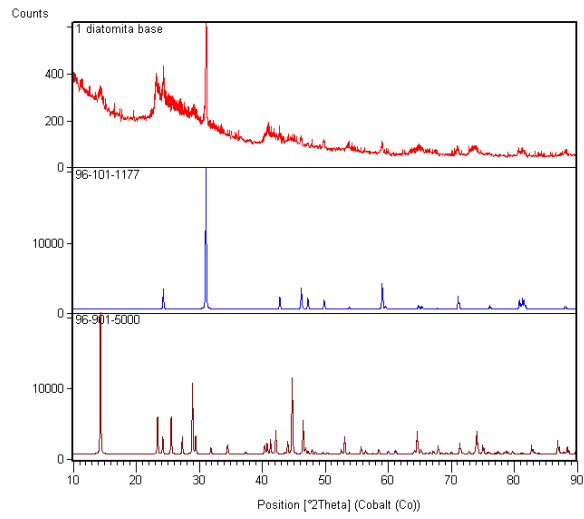
Las muestras para el análisis fueron del sondeo 4, muestra 1 y 9 a profundidades de 0.0 -0.30 m y de 3.7 a 4.0 m respectivamente, para el análisis de difracción de rayos X se realizaron distintos montajes ya que el contenido de mineralógico de este tipo de suelo es complejo de identificar por tanto se realizó: muestra en polvo para la identificación de todos los minerales presentes (muestra base), sin previo ordenamiento de los planos cristalográficos; muestras calcinadas a una temperatura de 500 °C , muestra preparada con solución de etilenglicol y secada a una temperatura de 80 °C y muestra base mezclada con alúmina. De lo cual se obtuvo los siguientes resultados:

### MUESTRA DE 0.0-0.30

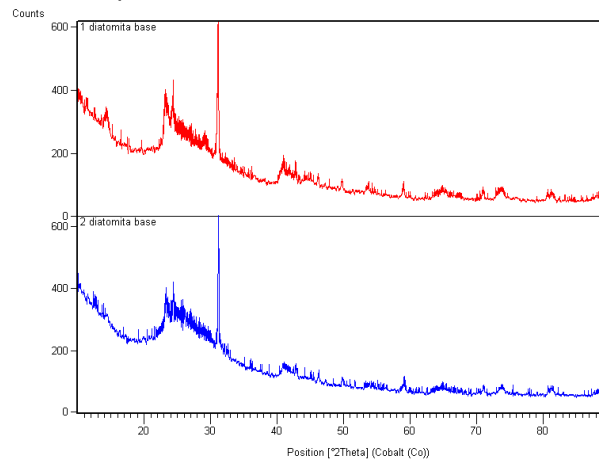


No.	Visible	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	Scale ...	Display Color	Quality	Subfiles	Crystal System
1	<input type="checkbox"/>	96-101-1177	Quartz low	Si6.00 O6.00	14	0.820	Blue	=	User I...	Hexagonal
2	<input type="checkbox"/>	96-900-5443	Chloritoid	Al3.98 Fe1.04 Mg0.97 Si2.00 O14.00	7	0.131	Lime	=	User I...	Anorthic
3	<input type="checkbox"/>	96-900-6329	Muscovite	K2.40 Na1.48 Al11.20 Ti0.08 Fe0.40 Mg0.16 Si12.16 O48.00	10	0.263	Gray	=	User I...	Monoclinic
4	<input type="checkbox"/>	96-901-5000	Kaolinite	Al8.00 Si8.00 O36.00	Unm...	0.376	Mar...	=	User I...	Monoclinic

**Figura 48** Resultados DRX muestra de 0.0 a 0.30 m. **Fuente.** Resultados ensayo de DRX

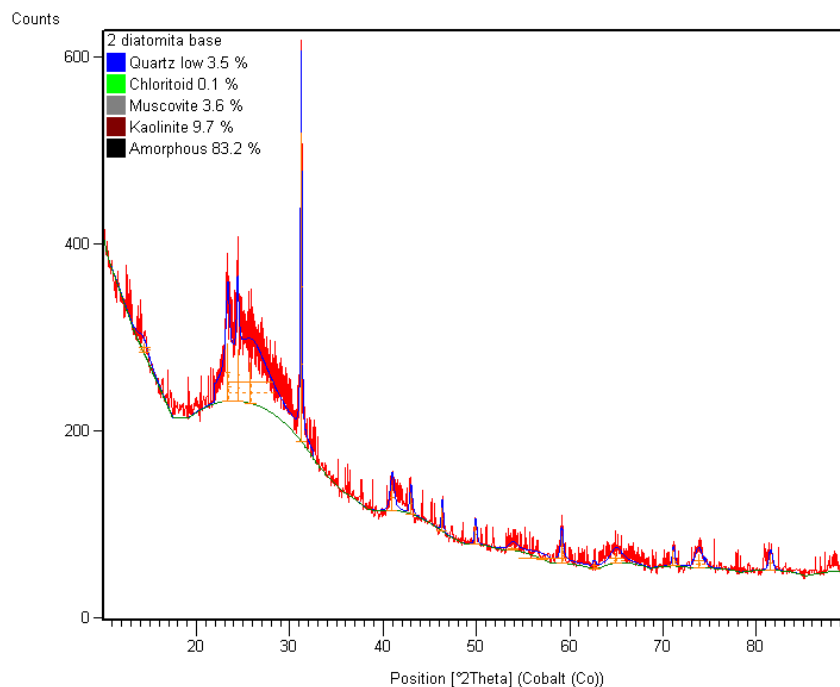


**Figura 49** Resultados DRX para la diatomita base 1. **Fuente.** Resultados ensayo de DRX



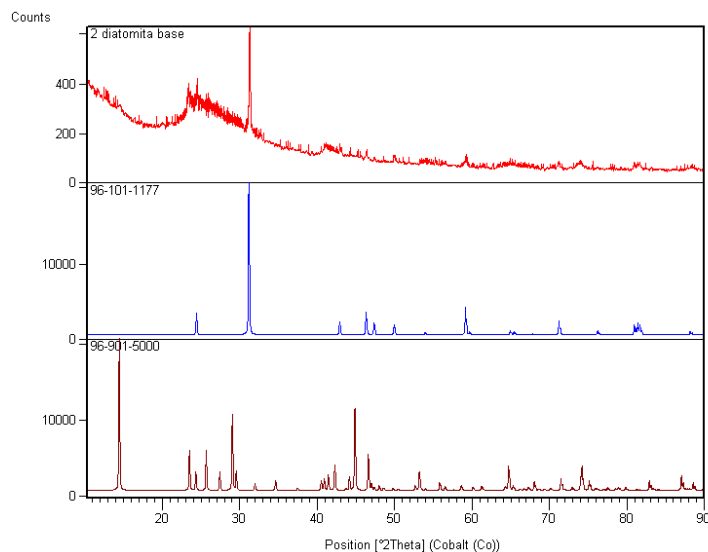
**Figura 50** Resultados DRX de comparación entre la diatomita base 1 y 2. **Fuente.** Resultados ensayo de DRX

## MUESTRA 2 DE 3.7-4.0



No.	Visible	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	Scale ...	Display Color	Quality	Subfiles	Crystal System
1	<input type="checkbox"/>	96-101-1177	Quartz low	Si6.00 O6.00	28	0.305	Blue	=	User I...	Hexagonal
2	<input type="checkbox"/>	96-900-5443	Chloritoid	Al3.98 Fe1.04 Mg0.97 Si2.00 O14.00	12	0.034	Lime	=	User I...	Anorthic
3	<input type="checkbox"/>	96-900-6329	Muscovite	K2.40 Na1.48 Al11.20 Ti0.08 Fe0.40 Mg0.16 Si12.16 O48.00	12	0.096	Gray	=	User I...	Monoclinic
4	<input type="checkbox"/>	96-901-5000	Kaolinite	Al8.00 Si8.00 O36.00	Unm...	0.078	Mar...	=	User I...	Monoclinic

**Figura 51** Resultados DRX muestra de 3.7 a 4.0 m. **Fuente.** Resultados ensayo de DRX



**Figura 52** Resultados DRX para la diatomita base 2. **Fuente.** Resultados ensayo de DRX

A continuación se muestra la tabla con los porcentajes de contenido de los materiales encontrados a las muestras estudiadas:

**Tabla 33** resultados DRX

	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>
<b>PROFUNDIDAD</b>	0.0m-0.30m	3.7m-4.0m
<b>CUARZO</b>	4.3%	3.5%
<b>CLORITA</b>	0.1%	0.1%
<b>MOSCOVITA</b>	5.4%	3.6%
<b>CAOLINITA</b>	12.0%	9.7%
<b>MATERIAL AMORFO</b>	78.2%	83.2%

**Fuente.** Propia

Algunas de las características de los minerales encontrados se encuentran a continuación:

**Cuarzo:** Después de los feldespatos el cuarzo es el mineral más abundante de la corteza terrestre, cristaliza en dos sistemas cristalinos dependiendo de la temperatura: por encima de los 573°C en el sistema hexagonal - por ejemplo con la forma típica de bipirámides hexagonales. El silicio es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre y junto con el oxígeno forman el grupo más numeroso de minerales. Por su estructura interna, los minerales de silicio se dividen en dos grupos: los cristalinos, como el cuarzo; y los amorfos, como el ópalo

**Caolinita:** Es una arcilla blanca muy pura que se utiliza para la fabricación de porcelanas y de aprestos para almidonar. También es utilizada en ciertos medicamentos y como agente adsorbente. Cuando la materia no es muy pura, se utiliza en fabricación de papel. Conserva su color blanco durante la cocción. Su fórmula es  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  ó  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  (disilicato aluminico dihidratado), Es silicato de aluminio hidratado formado por la descomposición de feldespato y otros silicatos de aluminio. Esta descomposición se debe a los efectos prolongados de la erosión. La formación del caolín se debe a la descomposición del feldespato por la acción del agua y del dióxido de carbono. Está formado por pequeñas capas hexagonales de superficie plana. En su estructura cristalina se distinguen dos láminas, una formada por tetraedros, en cuyos vértices se situarían los átomos de oxígeno y el centro estaría ocupado por el átomo de silicio, y otra formada por octaedros, en cuyos vértices se situarían los átomos del grupo hidróxido y el oxígeno, y en el centro el átomo de aluminio. Este tipo de arcilla es utilizada de forma calcinada, en temperaturas entre 500°C e 900°C para producir metacaolín.

**Clorita:** El termino clorita hace referencia a un grupo de filosilicatos con propiedades similares a las micas. La mayoría de ellos se distinguen por su coloración verde y existe un gran número de nombres para las distintas variedades de cloritas dependiendo de su composición química. La clorita más común es el clinocloro  $(Mg, Fe^{2+})_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$ , otra es la chamosita

$(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}^{10}(\text{OH}, \text{O})_8$ . Es un mineral primario y extendido en rocas de metamorfismo regional de grado medio y bajo. En rocas ígneas es generalmente secundario y se forma por alteración hidrotermal a partir de piroxenos, anfíboles y biotitas. Son comunes en rocas arcillosas. En rocas pelíticas se encuentra asociada a biotita, granate, estaurolita, andalucita, moscovita, cloritoides y cordierita. Es un constituyente común de suelos y de la fracción arcillosa de las rocas sedimentarias.

Moscovita: es un mineral del grupo de los silicatos, subgrupo filosilicatos y dentro de ellos pertenece a las micas aluminicas. Químicamente es un aluminosilicato de potasio y aluminio, que puede llevar magnesio, cromo y una gran variedad de otros elementos en sus numerosas variedades.

Es la especie más común del grupo de las micas, es conocida como mica blanca o mica potásica por el color plateado y su brillo nacarado. Presenta un hábito laminar, en cristales tabulares de contorno hexagonal o en láminas flexibles y elásticas.

#### 11.4 Potencial de Dispersividad

La dispersividad es la propiedad de un suelo a “diluirse” fácilmente con una corriente de agua, al entrar en contacto la superficie de suelo con el agua se presenta un fenómeno de “erosión” que va socavando hasta el punto de formar túneles en el suelo, esto se presenta ya que la arcilla dispersiva tiene un alto contenido de cationes de sodio que son “arrancados” por el agua, específicamente por la electronegatividad del oxígeno, esto va creando oquedades que van formando pequeños conductos que van creciendo a través del tiempo especialmente si el agua de la corriente tiene bajas cantidades de sales, el agua remanente es turbia, para este caso se decidió hacer la caracterización de la dispersividad del suelo mediante un ensayo químico ya que nos dará resultados precisos y confiables, químicamente se tienen 3 parámetros que nos definen que tan dispersivo es un suelo, el primero es el porcentaje de sodio intercambiable (ESP, por sus siglas en inglés) se define como:

$$ESP = \frac{Na}{CEC} * 100$$

No. Muestra	No. Laboratorio	Prof. cm	%			Clase Textural	pH
			A	L	Ar		
1	749	0-10	27	18	55	Arcilloso	4,08

% M.O.	P(ppm)	meq. 100 g de suelo - cmol <sup>+</sup> .Kg <sup>-1</sup>						
	Bray II	Al	Al <sup>+3</sup>	Ca	Mg	K	Na	CICE
0,45	5,46	4,80	4,20	3,56	3,08	0,24	1,20	12,88
5-10 Frio 3-5 Medio 2-4 Caliente	20-40			3-6	1,5-2,5	0,2-0,4	0-1	10-20

ppm						%		CE.
S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Al <sup>+3</sup>	Na	dS.m <sup>-1</sup>
						32,61	9,32	2,05
8-12	50-100	20-50	2-4	3-6	0,3-0,6	<15	<7	0-2

N° MUESTRA	Relaciones Catiónicas (meq/100g - cmol <sup>+</sup> .Kg <sup>-1</sup> )				
	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	K/Mg	(Ca+Mg/K)
749	1,16	14,83	12,83	0,08	27,67
VALORES DE REFERENCIA	3 - 5	12 - 18	6 - 8	0,2-0,3	12-20

**Figura 53** Resultados caracterización laboratorio de agronomía uptc. **Fuente.** Resultados laboratorio agronomía

Reemplazando tenemos:

$$ESP = \frac{1,2}{12,88} * 100$$

$$ESP = 9,32\%$$

**Figura 54** Grado de Dispersividad

ESP (%)	Grado de Dispersividad
< 7	No Dispersiva
7 a 10	Intermedia
> 10	Dispersiva

Tomado de: Knodel, P. C., "Characteristics and Problems of Dispersive Clay Soils", Report N° R-91-09, Bureau of Reclamations, Denver Office, Research al Laboratory Service Division Materials Engineering Branch, U.S., October 1991.

Teniendo en cuenta la figura 54 de clasificación podemos decir que la dispersividad de la diatomita del barrio Patriotas de la ciudad de Tunja es intermedia, muy cercana al límite de material dispersivo, según su porcentaje de sodio intercambiable.

El segundo parámetro químico que nos ayuda a evaluar la dispersividad es el índice de absorción de sodio (SAR, por sus siglas en inglés), se define así:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca+Mg)}{2}}}$$

Reemplazando según los resultados de la figura 50 tenemos:

$$SAR = \frac{1,2}{\sqrt{\frac{(0,356+0,308)}{2}}}$$

$$SAR = 2,08$$

Según el parámetro SAR se dice que un suelo es dispersivo si su  $SAR > 2$ , en este caso tendríamos un suelo dispersivo según este parámetro, pero debemos tener en cuenta que este método no es aplicable si no existen suficientes cationes libres en el agua de los poros, lo cual puede ocurrir en las arcillas dispersivas cuyos cationes de sodio están adheridos a la doble capa de difusión de las partículas. Esto limita enormemente la utilización del parámetro SAR.

Por ultimo tenemos el parámetro más utilizado que es el porcentaje de sodio definido así:

$$\text{porcentaje de Sodio} = \frac{Na}{TDS} * 100$$

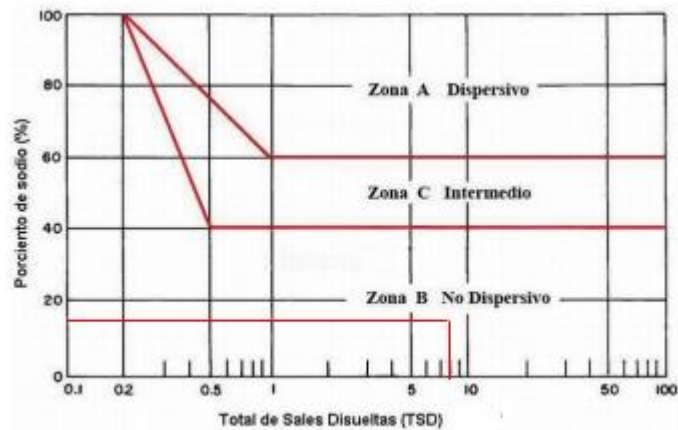
Reemplazando tenemos:

$$\text{porcentaje de Sodio} = \frac{1,2}{8,08} * 100$$

$$\text{porcentaje de Sodio} = 14,85\%$$



Teniendo en cuenta que TDS (Total Dissolved Salts)= Na + Ca + Mg + K, cuyos valores son: 1,2; 3,56; 3,08 y 0,24 respectivamente.



**Figura 55** Porcentaje de sodio vs total de sales disueltas. Tomado de: Paul C. Knodel. (1991). Characteristics and Problems of Dispersive Clay Soils. United States Department of the Interior. Bureau of Reclamation.

Basándonos en la gráfica anterior se puede afirmar que la diatomita del barrio Patriotas de la ciudad de Tunja no es dispersiva en este análisis según el parámetro de porcentaje de sodio, debido a la confiabilidad de este último parámetro los resultados se basaran en el para definir la dispersividad de la arcilla, este resultado se corrobora con la apariencia en campo ya que no se pueden ver tubificaciones o “surcos” en el material pertinente.

### 11.5 Ph del suelo

Mide la actividad de los H<sup>+</sup> libres en la solución del suelo (acidez actual) y de los H<sup>+</sup> fijados sobre el complejo de cambio (acidez potencial). La acidez total del suelo es la suma de las dos, porque cuando se produce la neutralización de los H<sup>+</sup> libres se van liberando H<sup>+</sup> retenidos, que van pasando a la solución del suelo.

El pH puede variar desde 0 a 14 y de acuerdo con esta escala los suelos se clasifican en:

- Suelos ácidos .....pH inferior a 6,5
- Suelos neutros.....pH entre 6,6 y 7,5
- Suelos básicos.....pH superior a 7,5

Los suelos tienen tendencia a acidificarse. Primero se descalcifican, ya que el calcio es absorbido por los cultivos o desplazado del complejo de cambio por otros cationes y emigra a capas más profundas con el agua de lluvia o riego. Después, lo

normal, es que los iones H<sup>+</sup> ocupen los huecos que dejan el Ca<sup>2+</sup> y el Mg<sup>2+</sup> en el complejo. Los abonos nitrogenados, en su mayoría, ejercen una acción acidificante sobre el suelo. También acidifican el suelo los ácidos orgánicos excretados por las raíces de las plantas.

No. Muestra	No. Laboratorio	Prof. cm	%			Clase Textural	pH
			A	L	Ar		
1	749	0-10	27	18	55	Arcilloso	4,08

**Figura 56** Resultados caracterización laboratorio de agronomía upc. **Fuente.** Resultados laboratorio agronomía

El valor obtenido de Ph para el suelo estudiado fue de 4.08 lo que indica que el suelo es extremadamente ácido, esto posiblemente debido al alto contenido de sílice que conforman este tipo de material.

## 12. CONCLUSIONES

Se caracterizó el comportamiento geotécnico de arcillas con diatomeas por medio de ensayos mecánicos y de clasificación, del depósito presente en el barrio patriotas ubicado en la ciudad de Tunja departamento de Boyacá, obteniendo los siguientes resultados:

Se describió las propiedades geotecnicas de un suelo conformado por material diatomeico por medio de caracterización visual, táctil y ensayos de laboratorio obteniendo que El sitio donde se realizó el estudio tiene unas condiciones topográficas variables, su extensión es de 1250m<sup>2</sup>, y cabe aclarar que el suelo con contenido de diatomita se estima en una cuarta parte de este valor, se realizaron 5 sondeos y 2 apiques, de los cuales 2 sondeos y un apique ubicados en la zona con contenido de diatomita; estas poseen color en condiciones húmedas HUE 5.0 Y-6/4 y en condiciones secas HUE 7.5 Y-7/2. De estos sondeos se obtuvieron muestras alteradas e inalteradas hasta profundidades de 4.50 m, 4.50 m y 1.50 m respectivamente; este depósito (Qd) se ha cartografiado como una unidad arcillosa de tierras diatomeas que no se encuentran uniforme en la zona, si no por intercalaciones, es datado del pleistoceno superior, conformado por una sucesión de arcillas plásticas, grisáceas y blancuzcas, que yacen discordantes sobre la formación Tilata y sobre las formaciones Bogota, Cacho y Guaduas.

Los sondeos con presencia de diatomita tiene las siguientes características: SONDEO 3, La secuencia comienza con un material conformado por materia orgánica color café (7.5Y-1/2), compuesto principalmente por arcillas y limos de consistencia blanda con espesor de 0,30m. En seguida se encuentra el material diatomeico en combinación con parte del material sobreyacente, esta capa es de color blancuzco (5.0Y-5/2), consistencia blanda, y su espesor llego hasta una profundidad de 1.0 m; luego se presenta material diatomeico en combinación con una arcilla café oscura (2.5YR-2/6) haciendo que la diatomita no este “pura”, esta va hasta una profundidad de 3.20 m. y por último se presenta una arcilla café oscuro (7.5Y-6/4) con vetas de color naranja y con frecuentes cambios de tonalidades a café claro (5.0Y-5/2) de consistencia firme. Y del SONDEO 4 capa de tierra de diatomitas no muy contaminada de espesor de 0,2m de color blanco (5.0Y-5/2), luego pasando a una capa de arcilla limosa de tono café (2.5GY2/2) con incorporación de diatomita hasta una profundidad de 1.20 m; luego subyace una arcilla diatomeica de consistencia blanda con humedad media aparente a la vista hasta una profundidad de 3.70 m y por último se presenta una aglomeración de arcillas con diatomitas en combinación con limos y arcillas (5.0Y-6/4) de consistencia muy blanda. Aparte de esto en el sondeo 5 se encontro algo de diatomitas pero su cantidad no es predominante en este sondeo.

- Las humedades naturales de los depósitos con contenidos de diatomita son relativamente más altas que las obtenidas en los demás sondeos, recalcando

que algunos de los resultados (sondeo 4, con los contenidos de diatomita más altos) tiene valores de humedad natural mayor a 100% lo que nos puede indicar que al nivel con estos valores las diatomeas guardan una humedad considerable debido a su estructura, aunque eso a simple vista no fue visible.

- Los límites de atterberg realizados a todos los sondeos nos indican el comportamiento de suelos que poseen una matriz netamente fina, estos límites indican su comportamiento en función del contenido de humedad que presentan, del sondeo 4 (con mayor contenido de diatomita) se obtuvo valores de límite líquido en un rango de 40.93% a 135.53%; el límite plástico con valores entre 38.46 y 85.93%, y el índice de plasticidad con valores entre 14.43 y 49.60%. Del sondeo 3 se aprecia valores de límite líquido en un rango de 61.98% a 96.11%; el límite plástico con valores entre 38.46 y 55.73%, y el índice de plasticidad con valores entre 22.24 y 40.43. Estos valores nos dan indicadores de la consistencia del suelo estudiado para el caso de los sondeos con contenidos de diatomita los rangos de consistencia se encuentran entre plástico a semilíquido. Según la clasificación USCS se tiene MH que es un limo de alta plasticidad. La gran capacidad de los microfósiles diatomáceos para retener agua intra-esquelética es la causa del aumento en los límites líquido y plástico al incrementarse el contenido de diatomita en un suelo, este comportamiento no se presenta cuando se agrega un material granular (arena) a una arcilla.
- según los resultados de límites se procedió con estos a calcular el potencial de expansión que permite mediante una aproximación cualitativa, la expansión no implica solamente la tendencia a aumentar de volumen cuando aumenta el contenido del agua, sino también la disminución de volumen, según los resultados obtenidos se indica que el suelo con contenido de diatomita tiene un potencial de expansión medio a muy alto, según los resultados y el procedimiento usado de límites de atterberg, pero cabe aclarar que según los resultados de Difracción de rayos X el suelo analizado no es expansivo, debido al contenido y cantidad que tiene de minerales encontrados.
- También se realizó el análisis de las muestras obtenidas para el ablandamiento cíclico, el cual se presenta y determina para materiales finos y nos indica el comportamiento que pueden llegar a experimentar estos materiales ante ascensos drásticos del nivel freático y que ante esta condición se presente un evento sísmico los resultados obtenidos nos dicen que el suelo con contenido de diatomita no es susceptible al ablandamiento cíclico.
- Según las pruebas para estimación de relaciones gravimétricas y volumétricas el suelo estudiado con contenidos de diatomita tiene valores de peso unitario total de entre 1.34 KN/m<sup>3</sup> y 1.90 KN/m<sup>3</sup>, para el peso unitario seco valor entre 0.69 KN/m<sup>3</sup> y 1.67 KN/m<sup>3</sup>, una relación de vacíos entre 0.67 a 2.44 para los suelos con mayor contenido de diatomita; la porosidad en un rango de 40% a 71 %.

- La permeabilidad del suelo depende de su microestructura, para los sondeos con contenido de diatomita se tienen valores de permeabilidad que oscilan entre  $4 \cdot 10^{-7}$  cm/s y  $2.81 \cdot 10^{-5}$  cm/s con un grado de permeabilidad bajo a muy bajo.
- En cuanto a el ensayo de corte directo en condiciones consolidadas no drenadas, se puede decir que el sondeo No 4 es en el que menos resistencia se obtuvo, este sondeo es el que tiene mayor contenido de diatomitas, mientras que el sondeo No 3 es el que tiene mayor cohesión y más ángulo de fricción, esto nos ratifica que las arcillas diatomeicas estudiadas no ofrecen buena resistencia además que por su peso tan bajo se tienen unos esfuerzos geostáticos o de confinamiento muy bajos en comparación con los demás sondeos.
- En cuanto a los resultados de consolidación unidimensional particulares del sondeo 4 se puede observar que la relación de vacíos está en un intervalo de 1.307 a 4.177, esto dependiendo de la profundidad de la muestra y de la pureza que esta tenga, ya que como se ha mencionado anteriormente la diatomita que se presenta en la zona de estudio no es homogénea; y con asentamientos hasta de un valor de 4.60 mm; y en cuanto a su relación de sobreconsolidación se puede observar que es un suelo con variaciones entre normalmente consolidado a fuertemente sobreconsolidado estos debido también a la profundidad de la muestra y a la cantidad de materia diatomeico que esta posee.
- Se realizó una identificación de las principales familias de diatomeas fósiles halladas en el depósito del barrio patriotas ubicado en la ciudad de Tunja. La especie más abundante es la aulacoseira granulata, las frustulas son cilíndricas, están unidas formando cadenas rectas y largas y poseen valvas circulares. La unión entre valvas vecinas se da mediante espinas que se encuentran en el borde, las espinas están ensanchadas en la base y se incrustan en la valva adyacente.
- A partir del análisis químico se determinó que los elementos mayores son: Sílice, alúmina, hierro y magnesio (>1%). Como elementos menores (entre 0.1 y 1%) están: Titanio, Potasio, y calcio tabla 35. Y como elementos traza (< 0.1%) están: V, Y Cu. Se analizó una muestra del sondeo 4 a una profundidad de 3.7 a 4 m se obtuvo que la sílice es el elemento más abundante, en promedio se encuentra en un 70 %, seguido del aluminio 18.6 %, hierro 5.79%, magnesio 2.0%, Titanio 0.73%, potasio 0.21%, y calcio 0.12%.
- Las muestras analizadas con contenido de diatomita son química y mineralógicamente no homogéneas, con rangos cambiantes en la variación porcentual de elementos y minerales. De los datos de las perforaciones, se tiene que la sílice es el elemento más abundante, compuesto esencial de las frustulas

de diatomeas, cuarzo y minerales arcillosos. El aluminio, potasio y magnesio que son elementos marcadores de la caolinita, clorita y moscovita. El hierro se encuentra principalmente como moscovita.

- El valor obtenido de Ph para el suelo estudiado fue de 4.08 lo que indica que el suelo es extremadamente ácido, esto posiblemente debido al alto contenido de sílice que conforman este tipo de material.
- Según los análisis de dispersividad aplicando métodos químicos como ESP Y SAR, indican que el suelo de diatomitas estudiado no es de carácter dispersivo, lo cual se ratificó con el ensayo de pinhole el cual dio según la norma una clasificación de ND1 que indica suelos no dispersivos.

### **13. RECOMENDACIONES**

Dentro del proyecto se abarcaron distintos temas, teniendo en cuenta esto se desea que haya una mejora continua del mismo; por lo tanto se recomienda a futuros estudiantes que tengan interés en el proyecto, la complementación de estos resultados con los de otros depósitos que contengan diatomita y así comparar las variaciones de un depósito a otro.

Se recomienda tener en cuenta la fase de reproducción en la cual se encontraban las diatomeas al momento de fosilizarse esto se sabe por el tamaño de referencia de las diatomitas encontradas en la zona de estudio.

## 14. REFERENCIAS

- Manosalva S, y Naranjo W. (2009), Diatomitas: Geología, caracterización y potencial industrial, Boyacá, Colombia, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2009.
- Farelo, E. y Parra, G. (2004): Estudio de la neotectónica y su influencia en el corredor industrial de Boyacá, Tesis de grado, Ingeniería geológica, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2004
- Flórez, M. y Lozano, G. (1999): Silicofósiles alto andinos, Universidad Nacional de Colombia, Colciencias-BID.
- Gobernación de Boyacá, Secretaría de minas (1997): Inventario geológico minero del departament, pp. 558.
- Ingeominas (1999): Proyecto inventario minero nacional departamento de Boyacá, pp. 224.
- Reyes, I. (1990): Observaciones sobre el cuaternario del altiplano Tunja-Sogamoso. Revista geología colombiana. Vol. 17, pp. 151-157.
- Riezebos, P.A. y Zimmerle, W. (1989): Biosileous components and their frequency variations in some quaternary ash layers from the eastern cordillera S.A., Geología Norandina, N° 11, pp. 41-48.
- CEPEDA, H. (1978): Diatomitas. Recursos Minerales de Colombia. Publicaciones Especiales del Ingeominas. Bogotá, pp. 173 – 177.
- FLOREZ, M & LOZANO, G. (1999): Silicofósiles altoandinos. Universidad Nacional de Colombia – COLCIENCIAS - BID.
- HERNANDEZ, G & OSORIO, O. (1990): Geología, análisis petrográfico y químico de las rocas volcanicas del suroccidente de Paipa (Boyacá, Colombia). Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. 100 pgs.
- LORENZ, W. & GWOSDZ, W. (2004): Manual para la evaluación geológica – técnica de recursos minerales de construcción. Hannover, Alemania.
- OLIVA, M. (2005): Caracterización diatomológica en tres cuerpos de agua de los humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca, Estado de Mexico, en: Hidrobiológica, volumen 15. México.
- PARDO, N., JARAMILLO, J.M. & CEPEDA, H. (2005): The Paipa Volcano, Eastern Cordillera of Colombia, South America (part II): Petrography and major elements petrology. Earth Sciences Research Journal. Vol. 9. No. 2, pp. 148-164.
- SPINIELLO, P. (1996): Las diatomeas marino-costeras de Venezuela. Caribbean Journal of Science. Vol. 32, No. 4, pp. 331-347.
- THOREZ, J. (2003): Seminario- Taller, “Practical XRD análisis of clay minerals”.
- WALLACE, A. (2006): Freshwater diatomite deposits in the wester United Stated. USGS.



**ANEXO A.  
Perfil De  
Caracterización  
Visual Según norma  
INV102-13**

# **ANEXO B.**

## **Resultados Pruebas de Laboratorio**