

EFFECTOS DE LA ESTRUCTURA EN LAS PROPIEDADES ÍNDICE DE UN SUELO RESIDUAL DERIVADO DE CENIZA VOLCÁNICA.

J. C. TORRES ^{a,1}, L. VIVEROS ^a

^{a,1} *Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C., Colombia.*

^a *Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C., Colombia.*

RESUMEN

Los suelos residuales derivados de ceniza volcánica se encuentran en zonas aledañas a los volcanes en áreas pobladas y sitios donde se desarrollan a diario importantes proyectos de Ingeniería en Colombia, por ejemplo, este tipo de suelos está presente en las zonas donde se asientan los municipios de Manizales, Armenia, Popayán e Ipiales. Los suelos residuales son materiales cementados, por lo tanto poseen una estructura interna, que genera propiedades y comportamiento atípicos, que en las últimas décadas no han sido abordados completamente. Con el objeto de conocer en detalle los cambios generados en éste tipo de materiales por las condiciones impuestas durante el secado y el remoldeo, se generó éste estudio que tuvo como primer objetivo recopilar el estado del conocimiento acerca de los suelos residuales derivados de cenizas volcánicas y en segunda medida, desarrollar un programa experimental con suelos muestreados en las zonas de Armenia (Quindio) y Palestina (Caldas) en Colombia, para reconocer los cambios que se pueden presentar en sus propiedades índice. Los resultados muestran que el material ensayado contiene el mineral arcilloso denominado “alófana” y sus propiedades índice como límites de consistencia, índice de plasticidad y granulometría varían de acuerdo a las condiciones de pre-tratamiento definido en las normas ASTM e INVIAS.

Palabras clave: Suelos residuales, propiedades índice, estructura, cenizas volcánicas, meteorización.

INTRODUCCIÓN

La mecánica de suelos clásica, se basa en estudios para suelos sedimentarios y tiene en cuenta de manera general la influencia de la composición química y mineralógica en el comportamiento mecánico de los suelos; y cómo éstas pueden afectar el comportamiento mecánico de los suelos residuales. Este tipo de suelos generalmente son materiales cementados, por lo tanto poseen una estructura interna, que genera propiedades atípicas durante la ejecución de ensayos de caracterización física. Estas propiedades pueden ser alteradas por cambios causados por las condiciones impuestas durante el secado y el remoldeo en los procedimientos de los ensayos. Wesley (2002), afirma que estos

procesos degeneran o dañan la estructura del suelo. Es probable que los suelos residuales se estén caracterizando de forma equivocada, ya que para este proceso no se tienen en cuenta las condiciones iniciales del material (suelo estructurado) al usar una metodología creada para suelos sedimentarios. Esto implica que la clasificación del suelo y el análisis de su comportamiento mecánico se apartan de la verdadera naturaleza del material.

En Colombia, los suelos residuales derivados de ceniza volcánica se encuentran en su mayoría, en zonas aledañas a los volcanes, muchas de estas zonas pobladas; por ejemplo, en los municipios de Manizales, Armenia, Popayán e Ipiales. Los materiales de estudio provienen de los municipios de Armenia (Quindio) y Palestina (Caldas).

Con la revisión del estado del conocimiento y mediante un programa experimental básico en el laboratorio de geotecnia de la universidad Santo Tomás, se evaluó si los procedimientos de caracterización física básica de suelos residuales son acordes a la naturaleza de los mismos. El programa experimental incluyó ensayos de caracterización física tales como: Contenido de agua, límites de Consistencia y granulometría. Se realizó el estudio de la influencia de la estructura en las propiedades índice de los suelos residuales evaluados.

Con los resultados de la caracterización física, se estudió el cambio en la medición de las propiedades índice y se infiere algunas implicaciones en el comportamiento mecánico del material. Con los estudios de otros autores se contextualizarán los obtenidos en este programa experimental.

Este tipo de materiales por su comportamiento atípico requieren que los procedimientos para el estudio de sus características sean especiales. Moon *et al.* (2016), informaron de la gran cantidad de deslizamientos presentados en la bahía de Plenty, encontrando un comportamiento inusual al compactar el material y usarlo en las diferentes obras. Los autores definen este comportamiento mediante el término de “sensibilidad” y lo explican como la pérdida de resistencia a causa del remoldeo.

Otro de los casos relevantes en el estudio de este tipo de materiales fue encontrado por Polimon *et al.* (1976), en Tulcán, capital de la provincia de Carchi en Ecuador y surge por la necesidad de construir una presa; encontrando éste tipo de suelos con características inusuales. Los autores usaron dos tipos de materiales de la parte superficial del perfil de meteorización: La superior con cenizas volcánicas blandas y bastante meteorizadas; y la inferior con cenizas más compactas y menos meteorizadas.

La Figura 1 presenta la localización de algunos lugares en el mundo donde se encuentran suelos derivados de ceniza volcánica.

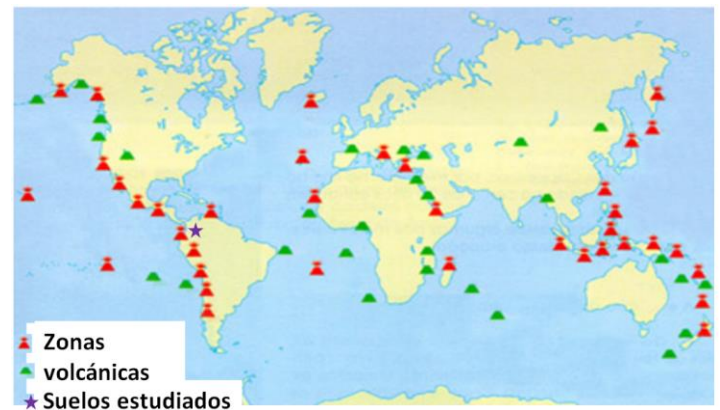


Figura 1. Localización de suelos residuales en zonas de reciente actividad volcánica y localización de materiales de estudio. Adaptada de la web.

1. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

En la historia de la ingeniería civil se han presentado retos y contratiempos con respecto al desarrollo de las diferentes áreas del conocimiento, pero una de las más inciertas en cuanto a su diseño y estudio es la geotecnia, ya que esta se basa en el estudio del material teniendo en cuenta su composición y comportamiento, bien sea suelo o roca. Uno de los grandes desafíos al estudiar estos materiales es que no son homogéneos, esto se debe a que su composición y estructura pueden variar por diversos factores como son: Génesis, localización, el clima, la altura sobre nivel del mar, la temperatura, entre otros; dando paso a dos procesos fundamentales como lo son, la erosión y la meteorización.

Mediante estos procesos fundamentales se generan los diferentes tipos de suelos, los cuales de acuerdo a su génesis pueden ser suelos residuales y suelos transportados. El término suelo en ingeniería se refiere a todo tipo de material suelto o no consolidado que se encuentra en la superficie y que es relativamente fácil de separar (Terzagui y Peck, 1967) en (Harwant y Bujang, 2004). El proceso de formación del suelo inicia con la rotura y desintegración de rocas y minerales en la superficie, proceso llamado meteorización, es así como se genera el perfil del suelo, en el cual la roca madre ocupa la parte más profunda y alejada de la superficie y el suelo la parte más superficial. Cuando el suelo ha sufrido algún tipo de transporte (erosión), se forman depósitos de materiales transportados que de acuerdo al agente

transportador se pueden denominar suelos aluviales, coluviales, eólicos, lacustres, glaciales; y cuando el suelo permanece en el sitio, se le conoce como suelo residual. Gonzales de Vallejo *et al*, (2004).

1.1 CONCEPTO DE SUELOS RESIDUALES

De acuerdo con McCarthy (1993) en Harwant y Bujang, (2004), los suelos residuales provienen de fragmentos de roca y acumulación de materia orgánica remanente del lugar donde estos se forman. En la literatura no se ha generalizado una definición para los suelos residuales y aún se tiene la duda en qué se diferencia un suelo residual y un suelo tropical, por lo tanto se presentaran dos de las diferentes definiciones existentes, que se acerquen al tipo de suelo encontrado en Colombia:

-a. El instituto de trabajos públicos de Malasia (1996) en Harwant y Bujang, (2004), define el suelo residual como un material el cual ha estado formándose en el sitio, gracias a la descomposición del material parental y el cual no ha sido transportado una distancia significativa, y definen el suelo tropical como un material formado en zona tropical bajo condiciones de intemperie (meteorización).

-b. Brand & Phillipson (1985) en Harwant y Bujang, (2004), definen este tipo de suelos como materiales formados bajo condiciones de intemperie (meteorización) en el lugar, pero con la roca original, con su textura completamente destruida. Este término es usado en una condición de intemperie (meteorización) que incluye grandes partes de roca o esta misma completamente descompuesta.

1.2 GENESIS DE LOS SUELOS RESIDUALES

Cuando en los suelos residuales la alteración del material parental proviene de procesos químicos y físicos; y que generalmente están expuestos en las capas o perfiles superiores del terreno, se asocian con los climas tropicales húmedos dando razón de que en estos lugares el fenómeno de meteorización es más intenso, sin embargo estas características pueden presentarse en zonas no tropicales pero en menor proporción. Si se expone sobre la formación de los suelos residuales lateríticos, ésta se realiza

por medio de un proceso de meteorización química generalizada en la que la sílice y las bases son removidas del material parental por medio por medio del proceso de lixiviación, produciendo aumento en la cantidad de hierro y aluminio. Bajo los perfiles de este tipo de suelo pueden encontrarse perfiles de suelo saprolítico o rocas con alta meteorización (Wesley, 2002).

1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS RESIDUALES DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS

Las características más relevantes que se encuentran en la literatura técnica sobre el suelo derivado de ceniza volcánica a nivel mundial, se describen a continuación:

- De acuerdo al grado de meteorización del material parental, uno de los minerales presentes en estos suelos es la alófana, que proviene de la andolización del suelo. La característica básica de la alófana es que carece de estructura cristalina identificable, no encontrándose picos en el análisis de difracción de rayos X, es decir son amorfos. Malagón y Pulido (1991). Las alófanas son definidas como aluminosilicatos hidratados no cristalinos de acuerdo con Wada (1987).

- Los suelos pertenecen a una clase denominada “Alofánicos”, que incluye a los suelos derivados de la meteorización de piroclastos (Maeda *et al*. 1977). También fueron nombrados “Suelos Ando” por Thorp y Smith (1949) en Swindale (1969), el termino lo adopta Maeda *et al*. (1977), y lo ajustan como termino general para “los suelos de ceniza volcánica”. En el sistema de clasificación de suelos de los Estados Unidos se les denomina “Andepts” y también se les conoce como “Andosoles” en el mapa de suelo de la FAO/UNESCO del proyecto mundial (Swindale, 1969). Estos términos también fueron incluidos en Maeda *et al*. (1977).

- Los colores del subsuelo van desde pardo – amarillo a pardo – rojizo, según descripción edafológica dada por Swindale (1969).

- El suelo es muy poroso, de bajo peso unitario y alta capacidad de retención de agua.

- Poseen alta porosidad total y distribución de tamaños de poros muy amplia, lo cual genera un intervalo amplio de poros. Moldrup *et al.* (2003) en García (2003).

- Buena capacidad de drenaje.

- Los suelos que contienen alófana, presentan propiedades plásticas diferentes con respecto a otros suelos naturales. El límite líquido de un suelo compuesto por alófana y haloisita puede cambiar en condiciones de secado previo al ensayo. Según Mitchel (1993), la alófana no tiene una composición o forma definida y exhibe una gran variedad de propiedades físicas.

1.4 EVOLUCIÓN DE LOS MINERALES EN SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS.

Con el paso del tiempo y de acuerdo a las condiciones medioambientales del sitio en donde se depositan, los constituyentes amorfos de los andosoles, tienden a transformarse en minerales cristalinos. La secuencia de formación - transformación es respuesta a los factores formadores del suelo y va acompañada por variaciones profundas en sus propiedades, comportamiento y tipología. La secuencia de transformación se estudió originalmente en Nueva Zelanda y fue confirmada posteriormente en muchos países, simplifica la formación y transformación de minerales amorfos en minerales cristalinos como función de la edad de los depósitos e intensidad de la meteorización (Besoain y Gonzales, 1977). Bajo condiciones de contenido de agua adecuado y buen drenaje, algunos de los componentes de las cenizas volcánicas (vidrio volcánico, feldespatos), se alteran en el tiempo originando una serie mineralógica característica, cuyos principales componentes se muestran en la Figura 2.

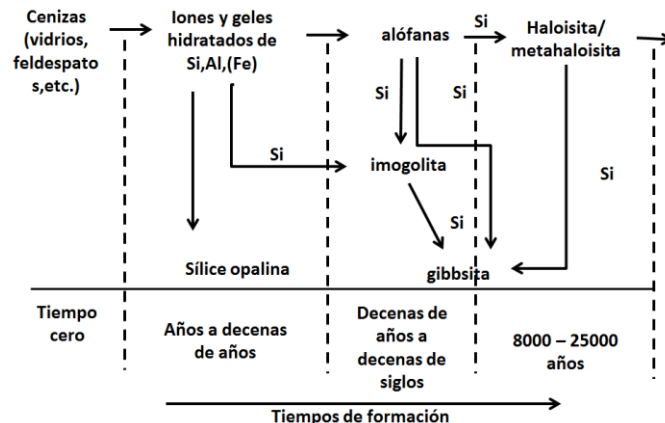


Figura 2. Evolución de los minerales en suelos derivados de cenizas volcánicas. Modificada de Besoain y González (1977).

De acuerdo al tiempo de transformación en la secuencia mostrada anteriormente, en los suelos derivados de cenizas volcánicas se pueden encontrar dos tipos de minerales principales: alófana y haloisita; y es común encontrarlos de manera conjunta en suelos jóvenes con buenas condiciones de drenaje.

1.5 MINERALOGIA DE UN SUELO RESIDUAL DERIVADO DE CENIZAS VOLCANICAS.

Viana da Fonseca (2003), reporta que en áreas tropicales con altas temperaturas, el gradiente de temperatura es el responsable de cambios químicos y mineralógicos en el material y en zonas templadas los responsables de dichos cambios son el flujo de agua subterráneo y subsuperficial.

Moon *et al.* (2017), en su investigación explica que la haloisita es el producto de la evolución de vidrio volcánico (feldespatos plagioclasticos) en un ambiente con altos contenidos de sílice en los poros de agua y es producto de alteración en un ambiente de poco drenaje. Otras de las condiciones mencionadas por el autor son: Que en las zonas tropicales, se presenta la cementación por concentración de sesquióxidos y procesos de re-cristalización. Éstas son muy raras y se presentan como consecuencia de la falta de factores térmicos sin presencia de suelo residual maduro.

1.6 ESTRUCTURA DE UN SUELO RESIDUAL DERIVADO DE CENIZAS VOLCANICAS.

En los suelos residuales se presentan cambios y transformaciones en los minerales, forma, fábrica, porosidad y tamaño de las partículas debido a las alteraciones físicas y químicas que se dan en los depósitos de ceniza volcánica. (Lizcano *et al*, 2006). Los suelos residuales derivados de ceniza volcánica al sufrir dichos cambios y transformaciones generan una estructura, la cual le aporta características y comportamiento distintos al de los suelos sedimentarios.

Wesley (2002), sugiere que con el paso del tiempo se genera una secuencia de meteorización en las arcillas derivadas de ceniza volcánica, como la que se muestra en la Figura 3.

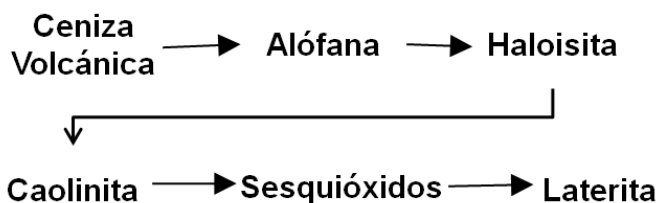


Figura 3. Proceso de meteorización para un suelo derivado de ceniza volcánica. Adaptado de Wesley (2002).

De acuerdo al mismo autor el proceso de alteración es esencialmente una conversión química y lixiviación de sílice a causa de la filtración de agua. Esto hace que se aumente la concentración de hierro y aluminio en forma de sesquióxidos, es decir la forma hidratada de óxido de hierro y aluminio (geothita y gibbsita), quienes tienden a actuar como cementantes que dan lugar a la formación de elementos duros que componen la laterita. Viana da Fonseca (2003), comenta que el “fenómeno” de lixiviación genera una nueva agrupación o formación para la microestructura y la macroestructura del material, dando paso a la generación de una nueva fábrica.

Gonzales y Jiménez (1981) en Suarez (1998), infieren que la meteorización de cenizas volcánicas da como resultado la formación de Montmorillonitas, Haloisitas, óxidos de hierro y aluminio en las etapas iniciales de la meteorización y finalmente se pueden formar Caolinitas, Esmeclitas y Gibsitas. Builes *et al*. (2009) comenta

que el material de ceniza volcánica tiene un proceso más rápido de meteorización que el material derivado de piroclastos, esta característica también es descrita por Gonzales de Vallejo *et al*. (1981).

Según Malagón y Pulido. (1995) en Naranjo (2016), reporta que cuando la descomposición de cenizas volcánicas es en el sitio, se producen los suelos alofánicos que en la clasificación de los suelo FAO pertenecen al grupo de los andosoles. Los mismos autores plantean que los suelos andosoles se caracterizan por presentar densidades bajas, alta porosidad, alta capacidad de retención de agua y alta dificultad para su dispersión, generando incertidumbre en el conocimiento de su granulometría. Este tipo de suelos se contraen de forma irreversible por el secado al aire y cambian definitivamente varias de sus propiedades, entre ellas su capacidad de retención de agua, su capacidad de intercambio catiónico, y la agregación. Moon *et al*. 2017, reitera esta idea, explicando que cuando el material por alguna razón se deshidrata, éste se contrae, pero lo curioso es que este material no tiene la capacidad de hidratarse nuevamente haciendo que la contracción presentada en la microestructura sea irreversible.

Wesley (2010) plantea una estructura idealizada de la alófana, la cual podría representarse por esferas huecas, que enlazadas ordenadamente conforman micro-agregados, los cuales a su vez se enlazan débilmente formando agregados. Estos se pueden unir por medio de puentes de imogolita y/o haloisita. El alto contenido de agua en este tipo de material puede asociarse a la estructura anteriormente mencionada. En la Figura 4 se muestra la estructura idealizada con algunos componentes del suelo residual derivado de ceniza volcánica, conformado por esferas de alófana e hilos de imogolita y/o haloisita.

Se infiere que este tipo de estructura genera una acumulación de agua de forma interna tanto en las esferas de alófana como en los enlaces de imogolita y/o haloisita, que durante el proceso de remoldeo, varía las propiedades físicas del material, entre ellas la plasticidad. (Naranjo, 2016).

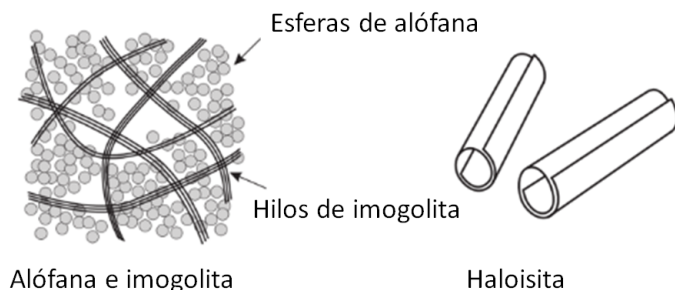


Figura 4. Idealización del esquema de la estructura de la alófana. Adaptado de Wesley (2010).

Moon *et al.* (2017), está de acuerdo con lo expuesto por Wesley (2010) quien plantea que las partículas de haloisita son en forma de tubos de diferentes tamaños y dentro de la configuración de estas partículas, existe la presencia de agua la cual genera disminución en la resistencia de la estructura. Esta formación tubular también puede presentarse en forma esférica por lo cual permitiría un colapso más rápido. (Smalley *et al* 1980). Este autor también tiene la teoría de que la haloisita puede tener forma de casquete esferoidal (Tipo hongo) que produce interacciones débiles de rango corto (que se rompen a pequeñas deformaciones), estas interacciones débiles se encuentran entre las superficies de arcilla sobre esferoides incompletos, los enlaces o uniones débiles permiten la disociación de agregados de arcilla durante la falla, lo cual lleva al ablandamiento por deformación, al romperse estos enlaces débiles de la “microestructura”. La estructura de la haloisita es similar a la de la kaolinita pero la haloisita contiene una capa intermedia de agua.

2. PROPIEDADES ÍNDICE

2.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA

De acuerdo con Patiño *et al* (2014) en este tipo de suelos el valor de la gravedad específica y la relación de vacíos aumenta, debido al proceso de secado que se puede presentar en el material por diversos factores. En el estudio de este autor el secado se generó a grandes temperaturas por un incendio forestal, el cual es aproximadamente de 1000°C. Es probable que en los materiales de éste estudio se encuentren minerales arcillosos tipo alófana, que cambien las características típicas en los suelos durante los procesos de secado y

remoldeo, tales como: Plasticidad, porosidad, tamaño y distribución de partículas, densidad, gravedad específica y relación de vacíos. Moon. *et al.* (2017) comentan que los límites líquido y plástico son relativamente altos y el índice de plasticidad es bajo. Teniendo en cuenta que la estructura puede tener una gran influencia en este comportamiento plástico por el alto contenido de agua, que se encuentra presente dentro y entre las partículas.

Hermosilla (2010) reporta que la zona climática de Chile que posee la capacidad de alterar los depósitos de cenizas volcánicas se encuentra en ambientes húmedos. La zona semiárida no es capaz de alterar las cenizas lo suficiente como para llegar a formar partículas alofónicas. Paredes (2005) en Hermosilla (2010), reporta que los suelos en Chile, son del tipo haloisitas. Dentro de este rango de tiempo solo se encontrarían los suelos trumaos y los ñadis. Se estima que el tiempo aproximado de vida de las partículas de alófana e imogolita es de 25.000 años, pasado este tiempo la arcilla alofanica da paso a partículas de arcilla cristalinas.

Hermosilla (2010) comenta que un aspecto importante en los suelos volcánicos es conocer su edad, ya que es un argumento genético relevante, el autor informa que de acuerdo a los contenidos de arcilla, el estado de alteración de las arenas (feldespatos, vidrios, inosilicatos), el contenido de óxidos de hierro y su baja cristalinidad, se `podría presumir la edad del material en estudio, y presume que su material de estudio es un suelo joven cuya edad no supera, probablemente, los 1.500 a 3.000 años.

2.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y MINERALOGICA

La presencia de fósforo en los suelos andosoles limita la posibilidad de coprecipitación de aluminio con sílice (La coprecipitación es el proceso por el cual una especie que normalmente es soluble se separa de la disolución durante la formación de un precipitado.), este proceso en la ceniza volcánica conduce a la baja formación de alófana. (Wada, 1985; Inoue y Higashi, 1988; Benavides y Gonzáles, 1988; Zehetner *et al.*, 2003).

Los autores describen que la acumulación de humus es mayor en suelos volcánicos localizados en altitudes mayores a 2500 msnm. Espinosa (2004) comenta que esto también indicaría cuales minerales arcillosos se formarían a partir de la ceniza volcánica en determinadas condiciones y la intensidad de la fijación de fósforo. Aparentemente los suelos alofánicos tienden a fijar menos concentración de este elemento.

Wallace (1973) comenta que la sensibilidad del material podría no estar relacionada con la mineralogía o las propiedades de hinchamiento o expansión.

Arthurs *et al.* (2009), presentan en su estudio los patrones encontrados de los ensayos de difracción de rayos X, los cuales son dominados por minerales del grupo Caolín, especialmente halosita y caolinita de allí que existe la posibilidad de que la alófana esté presente en esas muestras. Como la alófana es amorfa a los resultados del ensayo de difracción de rayos X, podría no ser identificada por este método. Este puede ser un buen indicador para estimar la cantidad aproximada de alófana en un material.

3. MATERIAL DE ESTUDIO

El material de estudio proviene de las inmediaciones del aeropuerto del Café, ubicado en el municipio de Palestina (Caldas – Colombia) y material extraído en las inmediaciones del municipio de Armenia (Quindío). El suelo se extrajo a una profundidad de 0,9m, en muestras de bloque, los cuales fueron empacados y marcados cuidando que se conservaran las propiedades naturales. Este material fue transportado al laboratorio de geotecnia de la Universidad Santo Tomás para la ejecución de pruebas de laboratorio.

3.1 PRUEBAS DE LABORATORIO

Autores como (Lizcano y Herrera, 2006), Wesley (2002), Frost (1967) informan sobre los diferentes cambios que presentan los suelos residuales durante los procesos de secado y remoldeo. Wallace (1973) revisó el efecto del secado en las muestras y comenta que sin excepción estos suelos pierden su plasticidad al momento de secarse bien sea al aire o al horno y no la recuperan al ser remojados. Como estos cambios son de gran importancia en esta investigación, se tuvo un especial cuidado y protocolo para la realización de cada uno de los ensayos de caracterización física. Para estudiar los cambios durante el proceso de secado, los ensayos se realizaron teniendo en cuenta esta variable. Para los cambios presentados durante el proceso de remoldeo de la muestra, se ejecutaron ensayos teniendo en cuenta las recomendaciones de la norma ASTM e INVIAS y un protocolo de amasado (fuerza impuesta en la muestra), el cual se presenta en este documento.

Las pruebas iniciales ejecutadas en los materiales de estudio fueron, contenido de agua natural, gravedad específica y densidad total, para calcular el peso unitario total. Las pruebas índice que revelarían las características de plasticidad de los materiales y el tamaño - distribución de partículas de los suelos estudiados, fueron ejecutadas bajo diferentes condiciones, ya que de acuerdo en lo encontrado en la literatura técnica el comportamiento del material se vería afectado por las condiciones de pre-tratamiento de material (secado y remoldeo). La Tabla 1, muestra los resultados de las pruebas básicas de los materiales en estudio.

Descripción Muestra	Gravedad	Cont. agua	Peso unitario
	Específica Gs	natural (%)	Total, γ_t kN/m ³
Palestina MN1	2,62	60,75	15,27
Palestina MN2	2,63	57,81	15,88
Armenia MN1	2,82	61,6	13,92
Armenia MN2	2,79	70,3	13,34
Armenia MN3	2,70	58,6	13,43

Tabla 1. Características de los materiales de estudio.

3.1.1 LÍMITES DE CONSISTENCIA

Para llevar a cabo los ensayos de límites de consistencia se procedió con dos metodologías diferentes, la primera exponiendo los materiales a un secado previo en el horno a una temperatura de 50°C y la segunda realizando los ensayos a partir del contenido de agua natural del material. Los demás aspectos puntuales del ensayo son los definidos en las normas INVIAS 2013 y ASTM D4318-17e1 "Métodos estándar para límite líquido, Límite plástico e índice de plasticidad de suelos". Para la elaboración de estos ensayos se decidió hacer una división de 2 tipos de protocolo A y B, haciendo un cambio en la temperatura de acuerdo a lo mencionado por:

1. Se secó el material por 24 horas a una temperatura constante de 50°C, y luego se siguieron las demás especificaciones dadas en las normas I.N.V.E 125-13, I.N.V.E 126-13 y ASTM D4318-17e1.
2. Se usó el material con el contenido de agua natural, y luego se siguieron las especificaciones dadas por la normas INV E125-13, I.N.V.E 126-13 y ASTM D4318-17e1.

3.1.2 TAMAÑO Y DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS

El análisis del tamaño y distribución de granos se llevó a cabo siguiendo la normatividad vigente para dichos ensayos, entre ellos ASTM D422-63 (2007) e2 y normas INVIAS 2013, usando el método de tamizado para las partículas de tamaño mayor a 75 micrómetros y el proceso de sedimentación y lectura con hidrómetro para las partículas de tamaño menor. Para la elaboración de estos ensayos se decidió hacer el proceso por medio de dos tipos de protocolos, denominados A y B:

- A. Se usó el material con el contenido de agua natural **sin daño**, desagregándolo, haciendo uso de un macerado manual (usando solo la fuerza impuesta por la fricción entre los dedos) durante 10 minutos, luego el material fue secado durante 24 horas a una temperatura

aproximada de 50°C, para luego realizar el proceso de tamizado.

- B. Se secó previamente el material **con daño** por 24 horas a una temperatura aproximada de 100°C, posteriormente el material fue desagregado, haciendo uso de un macerado manual (usando solo la fuerza impuesta por la fricción entre los dedos) durante 10 minutos, para luego realizar el proceso de tamizado.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de las pruebas de laboratorio muestran que el material es susceptible a los procesos de secado y remoldeo. La Figura 5, presentan los datos encontrados para los límites líquidos e índices de plasticidad en suelos estudiados por diferentes autores en suelos de Indonesia (Wesley, 2002), suelos de Nueva Guinea (Moore y Styles, 1988) y Suelos de Japón (Suzuki y Kitazono, 1998) y también se representan los resultados de este estudio. Todos estos datos fueron evaluados en pruebas en el material sin secado previo por los diferentes autores. En este estudio los materiales fueron probados a partir del contenido de agua natural y en otra condición mediante el secado en horno a 50°C durante 24 horas. Se evidencia que con el secado, en algunos casos los resultados muestran disminución en los valores de la plasticidad y en otros, el material ya no presenta plasticidad; así mismo lo reportan los diferentes autores para sus respectivos materiales.

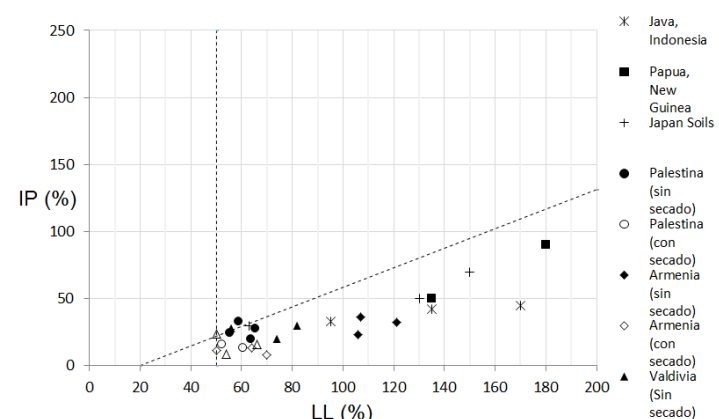


Figura 5. Límites de Consistencia para suelos derivados de ceniza volcánica

En las Figuras 6a y 6b, se muestra, el comportamiento de la curva de tamaños y distribución de partículas, en esta representación se puede observar que el material cambia su gradación con el proceso de secado previo, mostrando mayor representación de tamaños tipo limo y arena fina. Lo anterior, concuerda con la condición verificada en el estudio de la plasticidad donde algunos de los ensayos mostraron (materiales no plásticos) después del secado en horno a 50°C y por supuesto el remoldeo que se presenta durante el pre-tratamiento. Se evidencia el cambio de la curva granulométrica entre los tamaños 0.002mm y 0.1mm. Se infiere que este comportamiento éste definido por el daño que se produce en la cementación y en los minerales arcillosos alofánicos que se encuentran en el suelo.

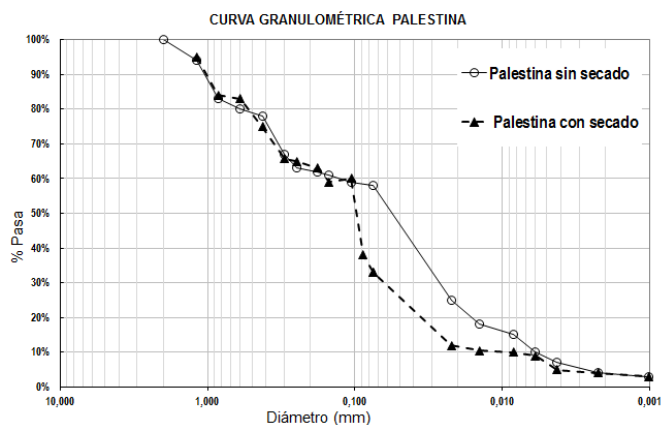


Figura 6a, Tamaño y distribución de partículas material de estudio - Palestina.

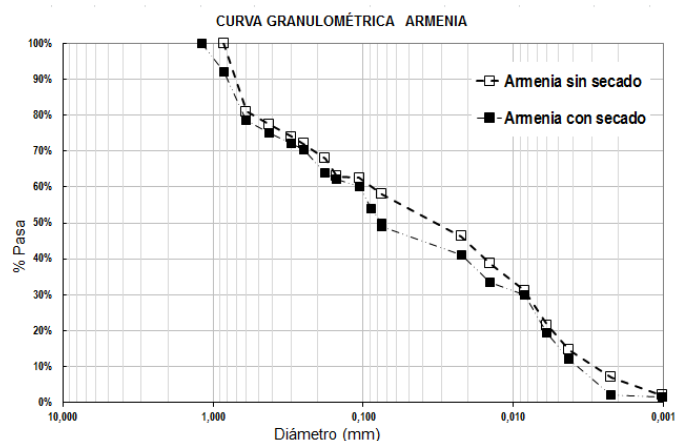


Figura 6b, Tamaño y distribución de partículas material de estudio - Armenia.

La difracción de rayos X (DRX) es una de las técnicas más poderosas para el análisis cualitativo

y cuantitativo de fases sólidas cristalinas, tanto orgánicas como inorgánicas, en muestras de polvo, capas finas o cristales de una amplia gama de materiales (minerales, rocas, sedimentos, suelos, partículas atmosféricas, etc.) El procedimiento más usado para tratar muestras de suelo con alto contenido de finos es el de Agregados Orientados (Wilson, 1987) debido a que evita la ocurrencia del traslape de picos que puedan ocultar determinados materiales en los difractogramas. La preparación de la muestra se realiza con un primer paso que es homogenizar la muestra tamizándola vía húmeda por la malla No. 230 (57 micras) y posteriormente secando el material seco en el horno a 60 °C. Luego, la muestra se disgrega o muele cuidadosamente por medio de morteros manuales o mecánicos, evitando falsear el tamaño de grano del material. Con la muestra disgregada, se extrae una fracción de aproximadamente 3 gramos para realizar el análisis mediante difracción de Rayos-X con la técnica llamada "Polvo Total Seco".

En las Figuras 7a y 7b se muestra los difractogramas que se encuentran como resultado de los datos de los ensayos en los materiales de estudio. Los resultados muestran un pico muy pronunciado en el valor de 2θ igual a 28° , este pico indica la presencia de cuarzo (Q) en la muestra. El difractograma muestra una banda ancha en el rango (2θ) menor de 20, que estaría indicando la presencia de aluminosilicatos hidratados amorfos (alófanos) con una estructura no cristalina, de acuerdo con los trabajos y revisiones de Mitchell et al., (1964); Besoain y Gonzales, (1974); Wada, (1977). El pico que se encuentra en 2θ igual a 52° , sería indicador de la presencia de hierro como Hematites, lo que es evidente en la estructura del suelo natural, con la presencia de los óxidos de hierro actuando como material cementante.

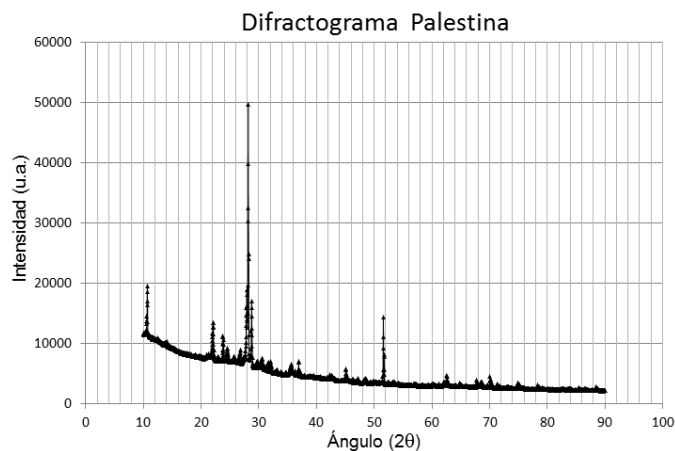


Figura 7a. Resultados prueba difracción de rayos X – Palestina.

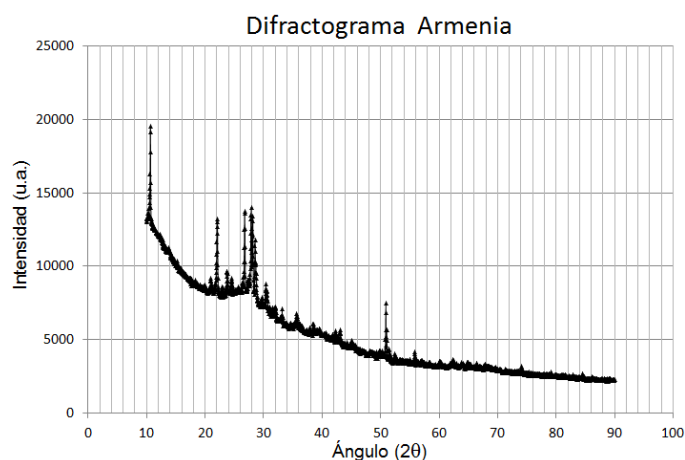


Figura 7b. Resultados prueba difracción de rayos X- Armenia.

5. CONCLUSIONES

Particularmente la determinación de los límites de Consistencia y la distribución de tamaños de partículas, son influenciadas por la cementación y el contenido de agua estructural que está presente dentro y alrededor de las partículas de suelo, cuando el suelo es pre-tratado mediante el secado, mezcla o remoldeo. Claramente la estructura del material estaría compuesta por partículas del tamaño arena y limo que estarían cementadas con óxido de hierro y entre ellas se alojarían minerales arcillosos como la alófana con una apariencia de gel que podrían aportar en la cementación.

De acuerdo con los autores revisados y teniendo en cuenta los resultados experimentales en las pruebas realizadas, el proceso de medición del tamaño y distribución de partículas tiene alta

incertidumbre debido a que las partículas muy finas presentes en los materiales derivados de ceniza volcánica tienden a flocularse durante el proceso de sedimentación. Otro aspecto importante es la desestructuración del material durante el pre-tratamiento del mismo, ya que se presenta diferencias marcadas en las curvas granulométricas del material secado previamente y en el que no se llevó a cabo éste proceso.

Los métodos usados de manera estándar para el pre-tratamiento y tratamiento de los suelos derivados de ceniza volcánica afectan los resultados de las propiedades índice, por lo cual es necesario que se implementen métodos de prueba que tengan en cuenta las condiciones particulares de presencia del mineral arcillosos denominado alófana y la presencia de la cementación en la estructura del material.

La estructura del material se destruye durante los procesos de secado y remoldeo. La desestructuración ocurre en dos aspectos: La degradación de los agentes cementantes permite que el tamaño y distribución de partículas se altere para las diferentes condiciones (secado y remoldeo); por otra parte la liberación de agua intraparticular durante el remoldeo, podría causar el cambio en la química del material (capacidad de intercambio catiónico y/o fuerzas interparticulares debidas a la composición química) , convirtiendo los materiales que en su condición natural presentan plasticidad, en materiales no plásticos (con características de limo y arena fina).

REFERENCIAS

- Arthurs, M., Wilson, C., Prebble, W., Geroge, J. 2009. Sensitivite in volcanics silts in North Island, New Zeland.
- ASTM D422-63(2007)e2. American Society for Testing and Materials. 2018
- ASTM D4318-17e1. American Society for Testing and Materials. 2018
- Besoain, E. y González, S. 1977. Mineralogía, génesis y clasificación de suelos derivados de las cenizas volcánicas de la región centro-sur de Chile. DIPROREN – SAG. Universidad Católica de Chile.

Builes, M., Gómez, D., Millan, A. 2009. Inherent anisotropy in allophane clay in Colombia. Proceedings of the 17th International conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. M. Hamza et al. (Eds.). doi:10.3233/978-1-60750-031-5-193- IOS Press.

Espinosa J. 2004, Suelos Volcánicos, Dinámica del Fósforo y Producción de Papa. Memorias del XVI Congreso latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Cartagena, Colombia.

Frost, R.J. 1967, Importance of correct pre-testing preparation of some tropical soils. Proc. First Southeast Asian Regional Conf. on Soil Engineering, Bangkok: 44-53.

García, J. C. 2003. Efectos de los cambios de humedad en la resistencia de un suelo parcialmente saturado derivado de ceniza volcánica. Tesis para optar al título de Magister en geotecnia. Universidad Nacional de Colombia.

Gonzales de Vallejo 1981. Engineering geology of the tropical volcanic soils of La Laguna, Tenerife.

Gonzales de Vallejo. 2004. Ingeniería geológica.

Harwant, S., y Bujang, B. 2004. Origing, formation and ocurrence of tropical residual soils. Tropical residual soils engineering, Huat, See-sew and Ali (eds), Taylor and francis Group, London, ISBN 90 5809 660 2.

Hermosilla, M. A. 2010. Antecedentes de alofán y otros minerales en suelos derivados de cenizas volcánicas del sur de Chile.

Herrera, M. 2006. Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Tesis para optar al título de Doctor en ingeniería. Universidad de los Andes.

INVIAS. Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos. INVE – 123 – 2013.

INVIAS. Limite líquido. INVE – 125 – 2013.

INVIAS. Limite plástico e índice de plasticidad. INVE – 126 – 2013.

Lizcano, A., Herrera, M. C., y Santamarina J.C. 2006. Suelos derivados de cenizas volcánicas en

Colombia. Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 6(2) 167.

Maeda, T., Takenaka, H. y Warkentin, B. P. 1977. Physical properties of allophane soils. In. Advances in Agronomy. N. C. Brady (Ed.) Academic Press, NY, 229-264.

Malagón, D. y Pulido, C. 1991. Suelos de Colombia. Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Mitchell, B. D., Farmer, V. C. and McHardy. W. J. 1964. Amorphous inorganic materials in soils. Adv. Agrom. 327 – 383.

Mitchell, J. K. 1993. Fundamentals of Soil Behavior. 2nd Edition, Wile Mark Zuckerberg, New York. EUA.

Moon, V.G., Lowe, D.J., Cunningham, M.J., Wyatt, J., Churchman, G.J., de Lange, W.P., Mörz, T., Kreiter, S., Kluger, M.O., Jorat, M.E. 2016. Sensitive pyroclastic-derived halloysitic soils in northern New Zealand: interplay of microstructure, minerals, and geomechanics. In: Rotonda, T., Cecconi, M., Silvestri, F., Tommasi, P., eds. Volcanic Rocks and Soils. Proceedings of the International Workshop on Volcanic Rocks and Soils, Lacco Ameno, Ischia Island, Italy, 24-25 September, 2015. Taylor and Francis Group, London. pp. 3-21.

Moon, V.G., Mills, P.R., Kluger, M.O., Lowe, D.J., Churchman, G.J., De Lange, W.P. Hepp, D.A., Kreiter, S., Morz, T. 2017. Sensitive pyroclastic soils in the Bay of Plenty, New Zealand: microstructure to failure mechanisms. Sensitive pyroclastic soils in the Bay of Plenty, New Zealand: microstructure to failure mechanisms Proc. 20th NZGS Geotechnical Symposium. Eds. GJ Alexander & CY Chin, Napier.

Naranjo, C. 2016. Comportamiento Volumétrico de suelos compactados derivados de ceniza volcánica. Tesis para optar al título de Magíster en ingeniería - Geotecnia. Universidad Nacional de Colombia.

Patiño, J., Alvarez, C., Valencia, G., Echeverry, O. 2014. Efecto de la temperatura en algunas propiedades geotécnicas de un suelo tropical. XIV

Congreso Colombiano de Geotecnia y IV Congreso Suramericano de Ingenieros Jóvenes Geotécnicos. Bogotá.

Polimón, J. Sansegundo, F. Marín, J. 1976. Las cenizas volcánicas de Montufar. Revista de Obras Públicas. Vol.1. 12 – 25. Quito. Ecuador.

Swindale, L. 1969. Chemical properties of allophane from Hawaiian and Japanese soils. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Costa Rica.

Viana da Fonseca. A. Characterising and deriving engineering properties of a saprolitic soil from granite, inn Porto. 2003.

Wada, K. 1977. Allophane and Imogolite. In Minerals in soil enviroments. Soil Sci. Society

of America. Inc. Madison 603 – 638.

Wada, K., 1985. The distinctive properties of Andosols. Soil Science., No. 2, 173-229.

Wada, K. 1987. Minerals formed and mineral formation from volcanic ash by weathering . Chemical Geology, 60: 17 – 28.

Wallace. K. 1973. Structural behaviour of residual soils of the continually wet Highlands of Papua Nwe Guinea.

Wesley. L.D. 2002. Geotechnical characterization and behavior of allophane clays.