

**Estado del Arte sobre los Cambios Volumétricos en Suelos Expansivos y
su Potencial de Colapso**

Autores:

Carlos Mario Andrade Cadena

Daniel Andrés Meléndez Sánchez

Luz Marina Torrado G.

Escuela de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Civil

Universidad Pontificia Bolivariana

2020

**Estado del Arte sobre los Cambios volumétricos en Suelos Expansivos y
su Potencial de Colapso**

Autores:

Carlos Mario Andrade Cadena

Daniel Andrés Meléndez Sánchez

Director:

Luz Marina Torrado Gómez

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil.

Escuela de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Civil

Universidad Pontificia Bolivariana

2020

Dedicatoria

Este logro lo dedicamos a nuestros padres quienes con mucho esfuerzo han hecho esta realidad, por habernos forjado y llevado de la mano todo este tiempo y por el gran apoyo incondicional que nos han brindado durante la carrera universitaria.

Agradecimientos

Principalmente damos gracias a Dios, a nuestros padres, docentes, directivos y todas las personas que hicieron parte de esta etapa académica brindándonos la oportunidad y las herramientas para alcanzar nuestras metas y abrir nuevos horizontes.

Agradecemos especialmente a la ingeniería Luz Marina Torrado Gómez por sus valiosos aportes al desarrollo de este proyecto.

Agradecemos a todas y cada una de las personas que nos apoyaron incondicionalmente y nos permitieron alcanzar uno de nuestros principales logros; esperamos contribuir con los conocimientos adquiridos a nuestra sociedad llevando nuestra profesión y nombre en alto.

Lista de Contenido

	Pág.
Resumen	10
.....	10
Abstract	11
Introducción	12
1. Objetivos.....	14
1.1. Objetivo General	14
1.2. Objetivos Específicos.....	14
2. Marco Teórico.....	15
2.1. Los suelos.....	15
2.2. Plasticidad de los suelos.....	16
2.3. Clasificación de los suelos	17
2.4. Suelos Colapsables	20
3. Metodología.....	22
3.1. Tipo de investigación	22
3.2. Criterios de clasificación	22
3.3. Selección de la información	23
4. Resultados.....	24

5.	Análisis de resultados.....	34
6.	Conclusiones	42
7.	Recomendaciones.....	44
	Bibliografía.....	46

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Granulometría por tamizado de los suelos finos	19
Tabla 2. Listado de documentos de trabajo de grado y artículos científicos	24
Tabla 3. Listado de ensayos de laboratorio utilizados en los documentos investigados.....	35

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1. Clasificación de Suelos (SUCS)	18
--	----

Lista de Gráficas

Gráfica 1. Clasificación SUCS de los suelos en los documentos investigados ..	36
Gráfica 2. Índices de colapso respecto al tipo de suelo basados en la norma INV E 157 de Invias.....	37
Gráfica 3. Límites líquidos respecto al tipo de suelo usado en los documentos investigados	38

Resumen

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Estado del Arte sobre los Cambios Volumétricos en Suelos Expansivos y su Potencial de Colapso

AUTOR(ES): Carlos Mario Andrade Cadena
Daniel Andres Melendez Sanchez

PROGRAMA:

DIRECTOR(A): Luz Marina Torrado Gomez

RESUMEN

La presente investigación tiene como propósito exaltar la importancia en la determinar el potencial de colapso que presentan los suelos expansivos al momento de ejecutar un proyecto o una obra civil; el objetivo principal fue revisar o buscar los diversos enfoques que se han presentado al transcurso de los años respecto a los cambios volumétricos de suelos expansivos y su potencial de colapso, por lo tanto a partir de una metodología de investigación de tipo documental con enfoque mixto, se llevó a cabo el desarrollo del estado del arte sobre los cambios volumétricos en suelos expansivos y su potencial de colapso. La información recolectada a partir de diferentes trabajos de grado y artículos científicos permitieron conocer los enfoques que se tienen de los suelos expansivos y su potencial de colapso. Como resultado de esta investigación, se determinó que el método de Lambe es el más utilizado para reducir el impacto de los suelos expansivos, por otro lado, las investigaciones acerca de lo que se ha estudiado del potencial de colapso y suelos expansivos no son en todo confiable, ya que se han considerado que los suelos con elevados límites de plasticidad son expansivos, sin tener en cuenta otros factores y teorías adversas que demuestran el contrario.

PALABRAS CLAVE:

Cambios volumétricos, Impacto de suelos, Potencial de colapso, Suelos expansivos.

Abstract

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: State of the Art on Volumetric Changes in Expansive Soils and their Collapse Potential

AUTHOR(S): Carlos Mario Andrade Cadena
Daniel Andres Melendez Sanchez

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Luz Marina Torrado Gomez

ABSTRACT

The purpose of this research is to highlight the importance of determining the collapse potential of expansive soils when executing a project or civil works; The main objective was to review or search the various approaches that have been presented over the years regarding the volumetric changes of expansive soils and their potential for collapse, therefore based on a documentary-type research methodology with a mixed approach. the development of the state of the art on the volumetric changes in expansive soils and their collapse potential was carried out. The information collected from different degree works and scientific articles allowed us to know the approaches that we have of expansive soils and their potential for collapse. As a result of this research, it was determined that the Lambe method is the most widely used to reduce the impact of expansive soils, on the other hand, the investigations about what has been studied about the potential for collapse and expansive soils are not at all reliable, since soils with high limits of plasticity have been considered expansive, without taking into account other factors and adverse theories that demonstrate the contrary.

KEYWORDS:

Volumetric changes, Soil impact, Collapse potential, Expansive soils.

Introducción

De acuerdo con algunas afirmaciones realizadas por diferentes autores en los últimos años, los suelos expansivos son aquellos que tienen contacto con el agua y se ven afectados por una variación en su volumen, por lo general este tipo de suelos tiende a colapsar, y de acuerdo con la estructura de estos suelos predomina el material limoso y la arcilla, donde comúnmente producen una inestabilidad y conlleva a un colapso.

Con el presente documento, se busca una profundización en el comportamiento y los cambios volumétricos en suelos expansivos y su potencial de colapso, en materia de infraestructura, con el fin de mitigar los errores que no han permitido llevar a buen término obras civiles, ya que los suelos que están expuestos al potencial de carga o presentan fallas por deslizamiento deben ser objeto de estudio, principalmente cuando está en juego la vida humana, los capitales materiales y el ambiente (Ventocilla, 2018).

Gran variedad de técnicas y métodos se han utilizado para evaluar los suelos expansivos y su índice de colapso, siendo el uso del consolidómetro, el que comúnmente se utiliza para el empleo de suelos compactos en la construcción de obras civiles, siendo así el estudio sobre los Cambios Volumétricos en Suelos Expansivos y su Potencial de Colapso objeto de numerosos trabajos de investigación, buscando brindar una solución eficaz y certera a los problemas presentados en relación con los factores y fenómenos que influyen en el comportamiento de los suelos.

El presente documento define el objetivo principal de la investigación como: Revisar o buscar los diversos enfoques que se han presentado al transcurso de los años respecto a los cambios volumétricos de suelos expansivos y su potencial de colapso,

mediante una metodología de tipo documental, por el proceso de búsqueda y recolección de información, para su compilación, interpretación y análisis de datos alcanzados por otros investigadores, recopilados en distintas fuentes documentales.

Dentro de los principales resultados se estableció que, para determinar el comportamiento de los suelos expansivos y su potencial de colapso, es necesario identificar los tipos de suelos que pueden colapsar a partir de su entendimiento y de acuerdo con el comportamiento mecánico, físico y químico de los materiales o elementos que lo conforman. A partir de la revisión del estado del conocimiento manifestados por diferentes autores, se encontraron ciertas interpretaciones a favor en el empleo de los suelos compactados para la construcción en obras de ingeniería civil, así como posturas críticas.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Revisar o buscar los diversos enfoques que se han presentado al transcurso de los años respecto a los cambios volumétricos de suelos expansivos y su potencial de colapso.

1.2. Objetivos Específicos

- Realizar una búsqueda sistemática acerca de lo que se ha estudiado del potencial de colapso con el fin de añadir un nuevo enfoque contextualizado a partir de documentos existentes.
- Plantear nuevas interpretaciones y posturas críticas alrededor de lo que concluyeron en los documentos ya propuestos.

2. Marco Teórico

En el marco teórico corresponde al tema relacionado con la teoría de los suelos expansivos y colapsables, su clasificación y la plasticidad de los suelos, basada en la compilación de información de documentos existentes mediante revistas científicas, artículos y demás.

2.1. Los suelos

Los suelos se definen principalmente como un conjunto de materia orgánica descompuesta, contienen minerales que sumados con el gas y el agua llenan los espacios de vacío entre las partículas sólidas. Los ingenieros civiles se encargan de estudiar a detalle las propiedades químicas del suelo ya que se utiliza en gran parte de proyectos debido a que las estructuras se sobreponen o se apoyan en dicho material (Braja, 2009).

Para obtener una comprensión básica del suelo se debe reconocer la proporción del tamaño de partícula de masa del suelo; ya que los tamaños de los fragmentos de suelo varían en un generoso rango, dependiendo del tamaño de partículas que posean se pueden clasificar en gravas, arenas, limos o arcillas (Braja, 2009).

2.2. Plasticidad de los suelos

La plasticidad es una propiedad que tienen los suelos de expandirse o contraerse hasta cierto límite, los suelos después de deformarse pueden volver a su estado original sin romperse; gracias a esto se puede medir el comportamiento del suelo en todo momento. En las arcillas se presenta esta propiedad con diferentes variables; sin embargo, para conocer la plasticidad de un suelo se requiere emplear los límites de Atterberg, quien determinó cuatro estados de consistencia para suelos arcillosos (Villalaz, 2004).

Los límites propuestos por Atterberg son; límite líquido, límite plástico y límite de contracción, con ayuda de estos límites se puede obtener algunas propiedades químicas del suelo que permiten determinar el tipo de suelo que se esté analizando; además, todos estos límites; llamados también límites de consistencia se pueden elaborar con el material de suelo que pase por el tamiz No. 40.

El índice plástico del suelo resulta de los valores obtenidos del límite líquido y del límite plástico; estos valores varían de acuerdo con la cantidad y tipo de arcilla que domina el suelo, pero el índice plástico depende en gran parte del porcentaje de arcilla que contenga el suelo. Existen casos en los que no es posible obtener el límite plástico de un suelo, cuando esto sucede se concluye que el suelo es no plástico, y para estos casos el índice plástico del suelo sería igual a cero.

El índice de plasticidad muestra el rango de humedad mediante el cual los suelos que presentan cohesión contienen las características de un material plástico. (Villalaz, 2004). Existen suelos con bajas o deficientes propiedades mecánicas que pueden

producir el aislamiento entre partículas cementantes, esto hace que el material del suelo pierda su adherencia y presente susceptibilidad al colapso.

2.3. Clasificación de los suelos

La clasificación de suelos consiste básicamente en comparar y agrupar suelos con propiedades similares; por lo tanto, los métodos de clasificación proporcionan una jerga común para indicar en modo conciso las características generales de los suelos.

Dentro de los sistemas de clasificación mundialmente más conocidos se encuentran los siguientes:

- **Sistema de clasificación AASHTO:** Según AASHTO el suelo es clasificado en siete grupos mayores A-1 al A-7, los grupos A-1, A-2 Y A-3 contienen material granular donde el porcentaje iguales o menores al 35% pasan por el tamiz No. 200. Los grupos A-4, A-5, A-6 Y A-7 son suelos que, al tamizar, el 35% pasa por el tamiz No. 200 (Braja, 2009).

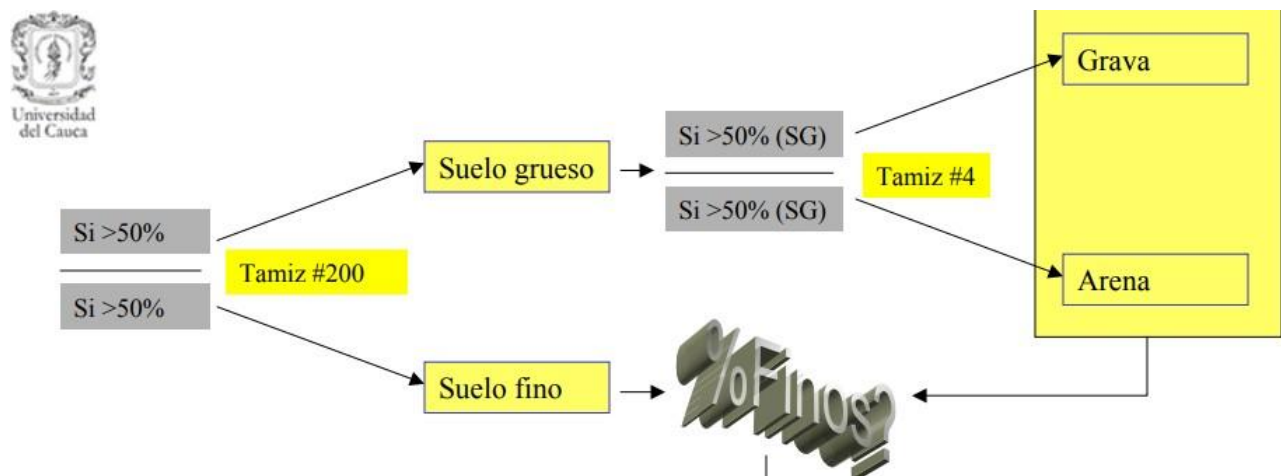
- **Sistema unificado de clasificación de suelos:** El modelo original de este método lo propuso Casagrande en 1942, siendo utilizado por ingenieros del ejército para construir aeropuertos en plena guerra mundial; siendo de gran utilidad en la actualidad al ser utilizados por los ingenieros en todo el mundo. El sistema unificado de clasificación de suelos clasifica los suelos en dos amplias categorías (Braja, 2009).

1. Suelos con granos de gran tamaño que son tipo arenas y grava con menos del 50% pasado el tamiz No. 200.

2. Suelos de grano fino que se pueden clasificar en limo inorgánico, arcilla inorgánica o limos y arcillas orgánicas que son suelos con 50% o más filtración por el tamiz No.200 (Braja, 2009)

La importancia de conocer el comportamiento de los suelos saturados es la de prevenir cualquier tipo colapso que ocasione un desastre natural. Además de la norma anterior para la clasificación de suelos, también se encuentra el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), como se puede visualizar en la figura 1.

Figura 1. Clasificación de Suelos (SUCS)



Fuente. (Cruz, s.f.)

El sistema de clasificación de los suelos se emplea comúnmente en la ingeniería civil, principalmente en la construcción de vías, con el fin de juzgar la calidad de un terreno, basándose en la calidad del suelo y de acuerdo con el índice de Grupo.

Con el fin de hacer una valoración más precisa del suelo, en la tabla 1, se evidencia el método para evaluar los suelos finos de acuerdo con su porcentaje y de la granulometría por tamizado.

Tabla 1. Granulometría por tamizado de los suelos finos

Grupo	Pasa No 200	Clasificación SUCS	Se evalúa
I	<5%	GW	Cu, Cc
		GP	
		SW	
		SP	
II	5% - 12%	GW-GM	Cu, Cc, IP, LL
		GW-GC	
		GP-GM	
		GP-GC	
		SW-SM	
		SW-SC	
		SP-SM	
		SP-SC	
III	12% - 50%	GM	IP, LL
		GC	
		SM	
		SC	
IV	> 50%	ML (OL)	IP, LL
		MH (OH)	
		CL	
		CH	
		CL-ML	

Fuente. (Cruz, s.f.)

En la actualidad se puede obtener de manera cualitativa o cuantitativamente la expansividad de un suelo, basado en la Norma INV E 132-13 de INVIAS, la cual indica el procedimiento a seguir para determinar el potencial de expansión en suelos finos, en especial aquellos que son cohesivos y dependiendo del estado en el que se expanden o se contraen, produciendo cambios volumétricos en los suelos que afectan directamente las bases de una construcción.

Existen materiales como la Bentonita, la cual es un tipo de arcilla constituida por esmécticas que tienen su origen a partir de la transformación y desvitrificación de rocas volcánicas, que de acuerdo al aumentar el porcentaje en su uso el tamaño de las

partículas se reducen, el límite líquido aumenta al igual que el índice de plasticidad, pero su límite plástico disminuye (Pérez & Orjuela, 2018)

2.4. Suelos Colapsables

El colapso es un fenómeno que se manifiesta en suelos no saturados con presencia de grandes vacíos y una estructura débil, este fenómeno es provocado por el incremento en grado de humedad y por la pérdida de la capacidad portante del suelo, causando el ablandamiento y la remoción de las ligaduras que mantienen unidas las partículas, ocasionando su colapso hacia los poros vacíos, lo que se manifiesta en un cambio imprevisto del volumen del suelo disminuyendo la resistencia al corte del material (Valencia-González, 2015).

El INVIAS define como colapso la disminución de altura que se presenta en un suelo confinado lateralmente y que es sometido a una fuerza vertical constante, al momento de estar completamente saturado lo que causa la separación de sus partículas cementantes.

Los suelos que presentan susceptibilidad al colapso pueden experimentar imperfecciones verticales de poco tamaño por causa de esfuerzos verticales de gran importancia mientras poseen un bajo contenido de humedad; pero, pueden tener asentamientos poco después de estar saturados, sin un incremento en el esfuerzo vertical.

Los suelos pueden presentar un colapso sin presentar esfuerzos verticales de gran magnitud (INVIAS, 2013); además las características de estos suelos son:

- Poseen una estructura macro porosa, con una cantidad de espacio considerable entre sus partículas de tamaño grande y muy grandes.
- Poseen una granulometría destacadamente fina, con predominio de porciones de limos y de arcilla; siendo el tamaño de las partículas generalmente escaso y distribuido, con las partículas más grandes raramente meteorizados. Generalmente, la cantidad de la porción de arcilla es prácticamente escasa, pero, esta tiene un dominio importante sobre el comportamiento mecánico de la estructura entre partículas de suelo.
- Son estructuras con deformidades, es decir, contienen partículas de grandes tamaños separadas por espacios muy abiertos, entrelazadas por acumulaciones de material arcilloso dominante. Existen muchos casos en los que ciertas uniones arcillosas contienen cristales de sales solubles. (Rodolfi, 2007).

3. Metodología

3.1. Tipo de investigación

La metodología que se implementó en este proyecto es tipo documental ya que el proceso está encaminado en la búsqueda, compilación, interpretación y análisis de datos alcanzados por otros investigadores, recopilados en distintas fuentes documentales, así como virtuales e impresas. Ya que el propósito de esta investigación es un estado del arte se vuelve fundamental hacer una recopilación de datos, organizar por categorías para así sistematizar u organizar mejor la información, todo esto para crear un nuevo enfoque contextualizado, crítico y elocuente para así formalizar y ayudar en el proceso cognitivo de la investigación.

3.2. Criterios de clasificación

Para la clasificación se tuvo en cuenta la siguiente información:

- Documentos difundidos entre los años 2007 y 2019
- Documentos con acceso gratuito
- Documentos publicados provenientes de artículos científicos, libros, tesis

de grado, monografías, normas y guías.

3.3. Selección de la información

Se realizó una búsqueda sistemática de la información en bases de datos virtuales y repositorios digitales de diferentes universidades, la información principal se obtiene de trabajos de grado y artículos científicos. Se utilizaron palabras clave como: suelos colapsables, potencial de colapso, suelos expansivos, arcillas expansivas.

Bases de datos consultadas:

- Fuente Académica Premier
- Repositorio digital de la Universidad de los Andes
- Repositorio digital de la Escuela de Ingenieros
- Repositorio digital de la Universidad Javeriana
- Repositorio digital de la UPB
- Repositorio digital de la Universidad Nacional
- Google Académico

4. Resultados

Teniendo en cuenta el procedimiento descrito en la metodología y con los parámetros de selección definidos, se obtiene un listado de documentos, tras una revisión y lectura detallada del resumen de cada uno, se incluyen solamente ocho documentos en total que provienen de trabajos de grado y artículos científicos de mayor relevancia.

Tabla 2. Listado de documentos de trabajo de grado y artículos científicos

Titulo	Autor	Tipo de Suelo	Metodología	Resultados
Evaluación por diferentes métodos del potencial de colapso de algunos suelos residuales en los Valles de Aburrá y San Nicolás	Valencia Y, Yepes J, Echeverri O	Suelos residuales	La zona de estudio pertenece a los valles de Aburrá y San Nicolás, los cuales se localizan sobre la Cordillera Central de los Andes en el departamento de Antioquia. De acuerdo con la altitud, longitud y latitud, se recolectaron un total de 10 muestras inalteradas en diferentes puntos de ambos Valles, ocho de las muestras provenían de suelos residuales de anfibolitas y tres provienen de suelos residuales del Batolito Antioqueño. Los ensayos fueron realizados de acuerdo con la norma ASTM D2216-10 para determinar la humedad natural, ASTM D854-14 para gravedad específica y ASTM D422-07 para los límites de consistencia.	Los resultados obtenidos dejan en evidencia que el método propuesto por Handy no parece ser el más confiable para determinar el potencial de colapso de los suelos residuales estudiados, ya que en ninguno de los casos valora que los suelos puedan colapsar.
Revisión teórica de evaluación del potencial de colapso en las dunitas de Medellín	Rodríguez O, Salgado E, Gallo A, Venegas E	Suelos residuales	Revisión documental a partir de las metodologías de Barden L. Madedor A. (1969), Zur y Wiseman (1973), Moll L. (1975) y Lisandro A. Capdevila (2006).	Los criterios identificados son oportunos y eficaces para obtener el grado de colapsabilidad del suelo en la dunita de Medellín teniendo en cuenta las normas y requisitos a la hora de tomar las muestras en sitio y ejecutar los ensayos de laboratorio.

Determinación del tipo de suelo y potencial de colapso del suelo del puesto de salud Intiorko distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna.	Flores A	Arena Limosa	Investigación experimental, mediante la ejecución de ensayos del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos e in situ; se llevó a cabo ensayos estándares y especiales, así como ensayos in situ de carga en placa sin colapso en el área de estudio. Con la finalidad de conocer los parámetros físicos del suelo bajo estudio, se ejecutan ensayos estándares con la medición de Densidad in situ, Contenido de humedad, Granulometría, Límites de Atterberg	Se clasifica el suelo como Arena Limosa, el cual contiene un límite líquido menor a 30%, no presenta límite plástico, contenido de humedad menor al 5%, densidad relativa menor al 40%, gravedad específica de los sólidos alrededor de 2.60 gr/cm ³ .
Caracterización del subsuelo y análisis de los riesgos geotécnicos asociados a las arcillas expansivas	Ordoñez J, Auvinet G, Juárez M	Suelos residuales arcillosos	Metodología experimental, a partir de los métodos indirectos y directos, para identificar, clasificar y determinar el potencial y la presión de expansión de las arcillas. Con el fin de determinar la variación espacial del contenido de agua y del potencial de expansión, se aplicó la geoestadística como herramienta matemática.	Mediante los ensayos de laboratorio ejecutados se encontró que, las arcillas expansivas registran un potencial de expansión: de medio a muy alto y que para las muestras inalteradas que fueron ensayadas en el consolidómetro en tres modalidades indica que en una temporada de sequía-lluvia el riesgo de colapso del suelo es de medio a muy alto.
Potencial de Colapso de Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de la Zona de Expansión Urbana de Pereira	Cárdenas y Gutiérrez	Derivados de Cenizas Volcánicas	Tipo exploratorio y descriptivo, busca especificar las propiedades y características, es decir únicamente se pretende recoger información de manera independiente sobre los conceptos poco estudiados del colapso.	Los suelos objeto de estudio, no son suelos colapsables, debido que este tipo de suelos no van a tener deformaciones significativas o cambios de volumen en los proyectos constructivos, debido a que los suelos objeto de estudio, no han tenido presiones o esfuerzos verticales significativos, que los induzcan a la consolidación a lo largo de la historia, por lo que en teoría se pueden considerar como suelos no

consolidados, pero para efectos de la investigación se tomaron como suelos normalmente consolidados.

<p>Caracterización del Tipo de Suelo y Problemas Especiales de Cimentación de Edificaciones en la Asociación Agropecuaria Apaza – 2018</p>	<p>Flores, Mamani y Apaza</p>	<p>Arena limosa con finos no plásticos y ceniza volcánica.</p>	<p>Para este artículo de investigación se encontró en la metodología que, se realizaron diferentes ensayos tales como, granulometría, densidad in-situ, límite líquido, límite plástico, contenido de humedad para determinar los parámetros físicos del suelo, esto para realizar la clasificación SUCS del suelo arrojando un tipo de suelo SM conformado por arena limosa con finos no plásticos y ceniza volcánica. Para determinar el potencial de colapso de este suelo utilizaron un consolidómetro con el fin de saturar la muestra para inducir el potencial de colapso.</p>	<p>Se realizaron dos ensayos de potencial de colapso para dos muestras diferentes, para la primera muestra arroja un valor de potencial de colapso de 0.51%, esto indica para la norma técnica E.050 de Perú que el suelo no es susceptible al colapso. Por otra parte, el resultado de la segunda muestra arroja un valor de potencial de colapso de 1.89% lo que indica que el suelo presenta un colapso moderado.</p>
<p>Comportamiento Volumétrico de un Suelo no Saturado Derivado de Cenizas Volcánicas del Departamento del Cauca, Colombia</p>	<p>Latorre</p>	<p>Residual derivado de cenizas volcánicas</p>	<p>En este trabajo de investigación se determinaron los parámetros físicos del suelo utilizando ensayos de laboratorio regidos por el INVIAS tales como, su contenido de agua natural, gravedad específica, distribución de tamaños de partículas, peso unitario inalterado y límites de Atterberg. Se determinó el potencial de colapso usando ensayos edométricos y el ensayo de consolidación unidimensional</p>	<p>Se encontró que la muestra de suelo en condición saturada presenta una relación de vacíos de 3.85 que alcanza un valor mínimo de 2.20 obteniendo un esfuerzo efectivo vertical de 1573 kPa por tanto no se vio un hinchamiento o colapso en el mismo, a diferencia de la muestra parcialmente saturada que con una relación de vacíos de 3.85 que alcanza un mínimo de 2.99 y un esfuerzo vertical de 991 kPa se vio una reducción considerable en su volumen conllevando a un colapso.</p>

Determinación del potencial expansivo de los suelos del Noroeste de Jaén y análisis de sus problemas geotécnicos	Sandoval	Arcillas limosas	Se revisaron los parámetros físicos del suelo mediante análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico y se clasificó mediante la carta de plasticidad de Casagrande. Para evaluar el potencial de colapso del suelo se usaron ensayos edométricos	Para las muestras obtenidas en esta investigación se determinó que no son susceptibles al colapso ya que contienen presiones de preconsolidación entre 200 y 500 kPa lo que indica que el comportamiento mecánico del suelo es moderadamente rígido.
--	----------	------------------	---	--

Fuente. Elaboración Propia.

La ingeniería civil se encarga de la dirección, planeación, construcción y mantenimiento en obras de infraestructura y vías realizadas, donde toda obra que se realice deberá ser apoyada o desplantada en un suelo; por lo tanto de acuerdo con el tipo de cimentación que se utilice y según el tipo de suelo, existe la necesidad de realizar una evaluación teniendo en cuenta los factores que pueden influir en la construcción de una obra civil como: los asentamientos permisibles de la estructura, la magnitud, la distribución de las cargas de acuerdo con la configuración estructural, la presencia del nivel de aguas freáticas (NAF), la zona de amenaza sísmica en la que se va a realizar la obra, entre muchos otros factores (Cárdenas & Gutiérrez, 2018).

En los documentos escogidos se evidencia la necesidad de conocer los parámetros físicos y químicos del suelo para poder determinar el potencial de colapso de un suelo, estos presentan similitudes en el uso de laboratorios de ingeniería civil para conocer las características físicas del suelo, principalmente realizaron ensayos como; límite líquido, límite plástico, granulometría y contenido de humedad. Tomando en cuenta los valores que arrojaban estos ensayos para los suelos, se determinaba con la clasificación SUCS; qué tipo de suelo era, para así realizar ensayos de consolidación y

usar el aparato de Lambe para obtener la expansión máxima del suelo y consecutivamente predecir de forma anticipada los cambios volumétricos que presenta un suelo.

Por otra parte, algunos autores se enfocaron en los métodos cualitativos que existen en la literatura para llevar a cabo sus estudios. En este caso, usando correlaciones derivadas de las propiedades índice de los materiales buscando determinar el potencial de colapso de los suelos de una forma rápida y eficaz con la que se ahorraría tiempo y dinero a la hora de ejecutar una obra involucrada con el suelo.

Se encontró que, los suelos más susceptibles al colapso son de tipo arcilloso, estos se presentan en zonas de alta humedad causando problemas en la ejecución de una obra civil que deba estar cimentada y apoyada sobre un suelo. Para esto se da a conocer la importancia de llevar a cabo ensayos de laboratorio que permitan estimar el potencial de colapso, teniendo en cuenta este factor tan importante se determina el tipo de cimentación que debe llevar una obra de ingeniería civil.

Uno de los problemas característicos de la ingeniería civil, tiene que ver con la estabilidad del suelo y de taludes, ya que los suelos presentan comportamientos de acuerdo con la composición de la estructura y de los factores extrínsecos e intrínsecos, generando así movimiento de tierras que pueden afectar las estructuras en las obras civiles, generando procesos de remoción en masa, ocasionado por las fallas rotacionales o traslacionales, caídas de rocas y detritos; resaltando de esta forma la importancia de abordar el tema de la estabilidad en suelos expansivos que conlleve a identificar los comportamientos de dichos suelos ante variables geométricas, de nivel freático y sismos (Ardila & Londoño, 2015).

Las deformaciones que se pueden manifestar en los suelos y afectar las estructuras de apoyo que poseen, en la mayoría de los casos sucede por la humedad, debido a la filtración del agua o efectos de obras realizadas por el hombre, que conllevan a incurrir en un colapso, el cual se caracteriza por la contracción de volumen debido al incremento del contenido de humedad y un esfuerzo vertical; adicional, con la variación del clima y el ambiente ecológico, se conforman suelos como: eólicos, aluvionales, coluvionales, residuales, flujos de lodo y terraplenes compactados (Alfaro, 2007). La destrucción de las fuerzas estabilizadoras se origina a partir del humedecimiento, provocando un deslizamiento en la unión de partículas, que causa el relleno de esos vacíos de la estructura del suelo ocasionando su reducción.

De este modo, el comportamiento de los suelos no se debe solo a sus propiedades mecánicas, ya que existen algunos que son estructuralmente inestables, en los que intervienen factores químicos, ambientales, entre otros, ocasionando que el suelo sea colapsable, generando de esta forma externalidades en otras estructuras que se encuentren a su alrededor, afectando de esta forma las obras civiles, debido a un esfuerzo determinado, lo que ocasiona que la masa del suelo disminuya (Cárdenas & Gutiérrez, 2018).

Los suelos al presentar cambios de volumen apreciables en la modificación de determinadas condiciones fisicoquímicas se convierten en suelos expansibles, según Sandoval (2017), pueden presentarse tres causas diferentes que ocasionan este fenómeno:

Estos suelos colapsables presentan minerales arcillosos con una estructura laminar expansiva, con la cual el volumen de agua aumenta considerablemente y conlleva al colapso.

Al presentarse el sulfato sódico (Na_2SO_4), carbonato sódico (Na_2CO_3), y teniendo en cuenta las condiciones de humedad y temperatura, la formación de cristales de mayor tamaño, provocan el hinchamiento del suelo que los alberga.

Al disminuir la temperatura del agua a tal punto de congelación en climas templados, ocasionado por la helada, afecta a profundidades de poco más de un metro como máximo.

Por otra parte, existen los suelos transportados conformados a partir de los agentes de transporte que actúan sobre el suelo original o la roca madre; siendo sus propiedades diferentes a las de los suelos residuales, producto de los cambios en su distribución interna y a factores externos tales como la fuerza de gravedad, el viento, los volcanes, los glaciares, y otros factores variables (Cárdenas & Gutiérrez, 2018).

El suelo posee características granulares las cuales pueden diferenciarse por su tamaño, forma, textura, color, entre otras; la distancia que tienen entre si son conocidas habitualmente como poros o espacios vacíos. Además, se componen de agua y partículas de oxígeno que se encuentra mezclada con el aire dentro de la naturaleza (Escobar & garcia, 2014).

De acuerdo a sus características expansivas, estos deben ser reconocidos oportunamente, para evitar afectaciones en las obras civiles, principalmente en una vía, piso o cimentación, ya que de acuerdo a la evaluación apropiada en su estabilidad, se podrá predecir el carácter expansivo de los suelos; por lo tanto, se han encontrado que

algunas metodologías revisadas para evaluar el potencial de colapso o expansividad de los suelos, se utilizan ensayos y pruebas edométricas para obtener los límites de consistencia (INV E – 132-13).

Detectar un suelo expansivo no es fácil, ya que requiere de ensayos, métodos y técnicas que le permita a un ingeniero identificar el suelo expansivo y estimar su cambio volumétrico en un proyecto de obras civiles.

Existen propiedades físicas que influyen en el cambio volumétrico de un suelo y pueden ser aplicadas en los laboratorios, con el fin de dar solución a la problemática expuesta en el presente documento, estas propiedades se obtienen a partir de ensayos, lo cual logra determinar el valor de la densidad seca, para que de esta forma al tener un gran porcentaje, mayor será la presión de expansión que esta pueda desarrollar en el suelo, ya que en la acumulación de suelos arcillosos por unidad de volumen hay mayor unión entre las partículas que la conforma (Merchan, 2009). Si se presenta alto contenido de humedad en los suelos arcillosos, menor será su resistencia.

Las variaciones en la humedad, ya sean por capacidad o por infiltración, generan que las arcillas expansivas sufran cambios de volumen, cualquier obra ejecutada sobre este tipo de suelo, experimenta deformaciones causadas por la expansión de la arcilla, ocasionando rupturas o grietas y levantamiento del suelo; sin embargo, existen alternativas para reducir el cambio volumétrico, de tal forma que se modifican las características físico-químicas de las arcillas, mediante el Cal, cemento hidráulico, fosfatos, sales de aluminio y recientemente, los polímeros (López, Hernández, Horta, Coronado, & Castaño, 2010); por lo tanto, en el área de la ingeniería de construcción, se producen "productos geosintéticos", fabricados mediante polímeros, que son productos

geotextiles y geomembranas, la cual tiene la función principal de separar, filtrar y drenar, para estabilizar la masa del suelo e impedir el paso de fluidos y partículas de suelo.

Por tal razón, todo suelo como base principal para las construcciones de obras civiles, al tener propiedades físico-químicas, deben cumplir con ciertas características para permitir su estabilidad y resistencia, con el fin de mitigar o evitar el riesgo de que el suelo colapse o exista la presencia de suelos expansivos, debidos a su elevada plasticidad, e inestabilidad de volumen por su contenido de humedad (Sanchez, 2014).

Para poder utilizar los suelos expansivos, se deben realizar mejoramiento de las propiedades mecánicas de los mismos, como, por ejemplo, estabilizarlos con resinas y polímeros, ya que forma una estructura impermeable al agua y aumenta la resistencia mecánica del suelo mejorando su cohesión (López, Hernández, Horta, Coronado, & Castaño, 2010). Estos productos modifican las propiedades de los suelos y evita que las construcciones asentadas sobre estos suelos sufran afectaciones.

Es así como, las variaciones volumétricas de los suelos expansivos, se pueden controlar, pero su trabajo no es fácil, uno de los procedimientos habituales es mediante la adición de productos químicos que saturan su capacidad de intercambio catiónico, como lo es el uso de cal y cemento, obteniendo resultados favorables a largo plazo en su durabilidad y funcionamiento en particular lo que involucra la acción del agua, además de un ahorro de dinero (Sanchez, 2014).

En Colombia, el potencial de colapso está estipulado en la Norma INV-E 157-2013, la cual hace referencia a la magnitud del potencial de colapso y es producido por una cantidad de diferentes procesos de la saturación, la interacción química entre el

líquido saturante y la fracción arcillosa y su clasificación se establece mediante dos grupos descritos a continuación:

Grupo 1: se conforma por limos, arcillas cementadas y rocas de gran porosidad (Cárdenas & Gutiérrez, 2018).

Grupo 2: Se conforma por limos y arcillas con contenido de sulfatos, suelos que, sin el cambio de las condiciones causales de colapso, no presentan variación en la relación esfuerzo – deformación y produce un significativo cambio de volumen debido al incremento de la presión de poros (Cárdenas & Gutiérrez, 2018).

5. Análisis de resultados

El estudio del comportamiento de los suelos expansivos y su potencial de colapso permite identificar los tipos de suelos que pueden colapsar y su entendimiento a partir de la teoría consultada; ya que de acuerdo con el comportamiento mecánico y químico de los materiales o elementos que lo conforman se pueden evitar afectaciones en las obras civiles, producto de la expansibilidad o colapso del suelo.

De acuerdo con lo manifestado por diversos autores, existen ciertas interpretaciones que dan lugar al uso de elementos químicos que mitigan el impacto de expansión de un suelo, siendo favorable para la construcción en obras de ingeniería civil ante la necesidad de seguir sistematizando la información sobre ellos, ya que existen ciertas posturas críticas enfocadas en el comportamiento y diseño de las obras que intervienen en suelos expandibles con riesgo de colapso.

Se realizó un análisis de los resultados de cada documento investigado, arrojando las siguientes comparaciones en donde la enumeración corresponde a los siguientes documentos investigados:

1: Evaluación por diferentes métodos del potencial de colapso en algunos suelos residuales en los valles de Aburrá y San Nicolás.

2: Revisión teórica de evaluación del potencial de colapso en las dunitas de Medellín.

3: Determinación del tipo de suelo y potencial de colapso del puesto de salud Intiorko.

4: Caracterización del subsuelo y análisis de los riesgos geotécnicos asociados a las arcillas expansivas.

5: Potencial de colapso de suelos derivados de cenizas volcánicas de la zona de expansión urbana de Pereira.

6: Caracterización del tipo de suelo y problemas especiales de cimentación de edificaciones en la asociación agropecuaria Apaza.

7: Comportamiento volumétrico de un suelo no saturado derivado de cenizas volcánicas del departamento del Cauca.

8: Determinación del potencial expansivo de los suelos del Noroeste de Jaén y análisis de sus problemas geotécnicos.

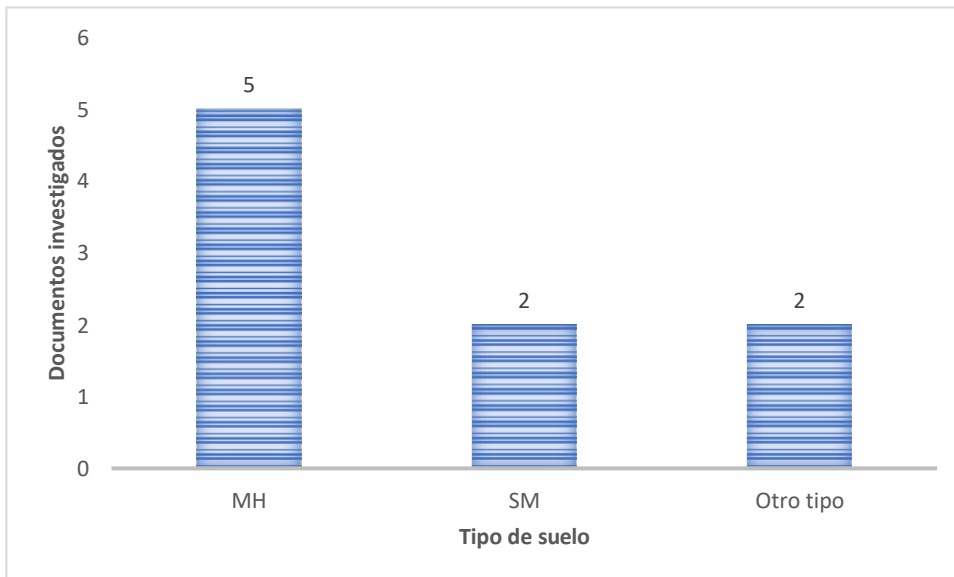
Tabla 3. Listado de ensayos de laboratorio utilizados en los documentos investigados

Trabajos Ensayos	1	2	3	4	5	6	7	8
Límites de Atterberg	x	x	x	x	x	x	x	x
Gravedad específica	x	x			x	x		
Humedad natural	x	x	x		x	x	x	
Índice de plasticidad	x							
Granulometría		x		x	x		x	x
Consolidación		x	x		x	x	x	x
Doble edómetro			x	x				
Permeabilidad		x						
Colapso unidireccional			x					
Colapso In Situ			x					
Densidad específica			x	x				
Simple edómetro			x	x				
Peso unitario				x		x		
Densidad In Situ							x	

Fuente. Elaboración propia.

Se puede apreciar en la tabla la cantidad de ensayos considerables a realizar para determinar las características físicas de un suelo y así mediante el aparato de expansión de Lambe, un edómetro o un consolidómetro, determinar el riesgo de colapso que presenta un suelo. El método más usado es el de la norma INV E 157, que mediante un consolidómetro nos permite obtener el índice de colapso y el potencial de colapso de un suelo y así poder clasificar su grado de severidad.

Gráfica 1. Clasificación SUCS de los suelos en los documentos investigados

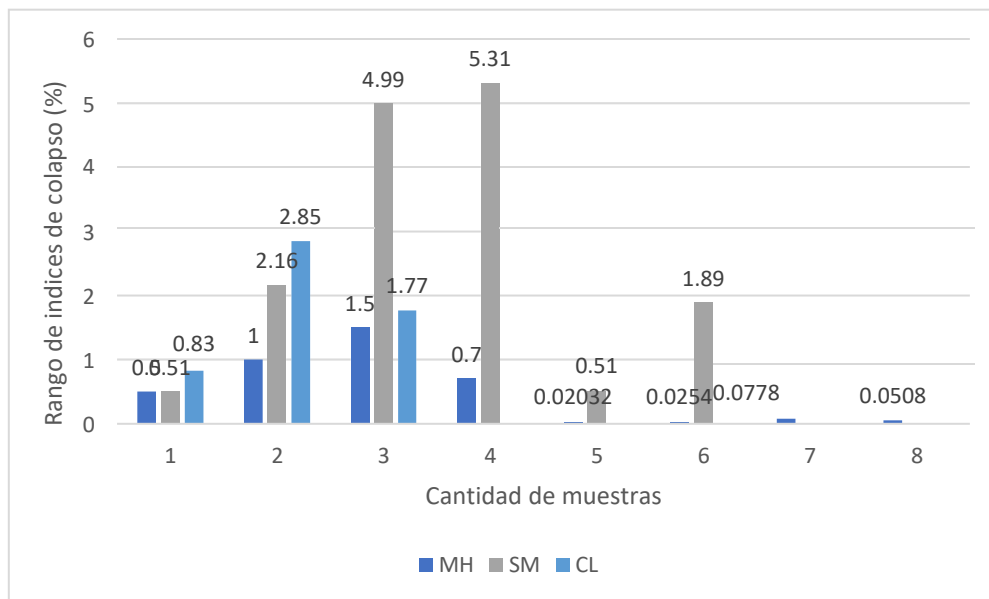


Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la gráfica la mayoría de los suelos investigados en los documentos son de tipo MH que corresponden a ser arcillas limosas. Al comparar los resultados de los documentos investigados que escogieron este tipo de suelo, es notable que todos llegan a la conclusión de que los suelos de tipo MH son susceptible al colapso debido a su gran contenido de humedad y que pueden llegar al colapso sin necesidad de un esfuerzo vertical considerable.

Por otra parte, en dos de los documentos investigados trabajaron con suelos de tipo SM que corresponden a ser arenas limosas, dentro de los resultados encontrados este tipo de suelo no tiende a colapsar puesto que necesita de un esfuerzo vertical realmente considerable para ser susceptible al colapso.

Gráfica 2. Índices de colapso respecto al tipo de suelo basados en la norma INV E 157 de Invias.

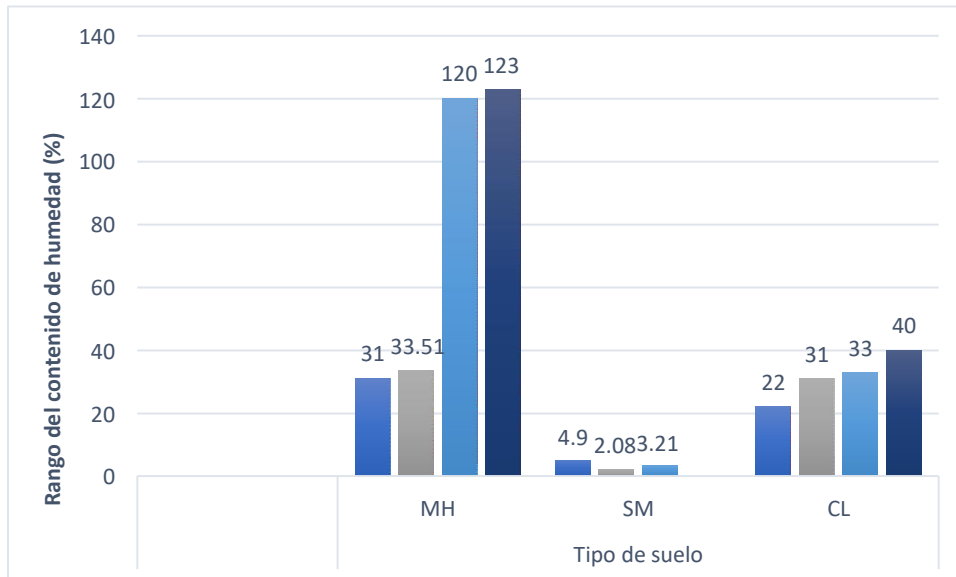


Fuente. Elaboración propia.

En la gráfica se puede apreciar los valores de los diferentes índices de colapso tomados de los resultados de los documentos investigados, estos se comparan con los diferentes tipos de suelo que se encontraron en las investigaciones. A pesar de que en la investigación se plantea que los suelos de tipo MH son los más susceptibles al colapso, se evidencia un alto valor del índice de colapso para un suelo de tipo SM, este suelo pertenece a un documento de investigación que se realizó en Perú, lo que significa que para la norma peruana esa muestra de suelo con un índice de colapso de 5.31% conlleva

a un colapso definitivo, pero basados en la norma invias de nuestro país esto solo significa que el suelo presenta un colapso moderado.

Gráfica 3. Contenidos de humedad respecto al tipo de suelo usado en los documentos investigados



Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la gráfica el contenido de humedad de las muestras analizadas en los documentos investigados tienen un valor considerable, siendo así el suelo de tipo MH el cual presenta los valores más altos, por otra parte es importante resaltar que en los documentos investigados, los suelos de tipo SM presentan un bajo porcentaje del contenido de humedad pero que según la investigación es uno de los más susceptibles al colapso debido a que como se mencionó anteriormente es un suelo que según los resultados de laboratorio este tiende a un colapso definitivo con un índice de colapso de 5.31% y que inclusive puede llegar a 7.7%.

Es así como la inestabilidad de los suelos está directamente relacionada con los cambios volumétricos en el suelo, ya que de acuerdo al grado de expansión tienden a colapsar; sin embargo, esto sucede cuando el grado es muy alto y es posible prevenir o mitigar su impacto, siempre y cuando se realicen predicciones y conjeturas de acuerdo a ensayos y pruebas realizadas en laboratorio sobre un suelo específico, que mediante la técnica o modelo eficientes se pueda predecir la teoría con la práctica.

Por un lado la existencia de un modelo o técnica para evaluar la expansión del suelo está limitada a ciertos tipos de suelos específicos, ya que en Colombia existen diferentes tipos de suelos que sufren afectaciones ambientales producidas por fuertes lluvias en épocas de invierno, que conlleva a que la técnica pueda fallar por los constantes cambios de temperatura; además algunos laboratorios de universidades Colombianas, que hacen estudios, ensayos y pruebas para determinar la expansión y colapso de un suelo, no cuentan con los equipos necesarios o en ocasiones, los equipos ya están obsoletos, lo que dificulta su calibración y a la hora de realizar los ensayos no se cuentan con los datos 100% reales.

Por otra parte, algunas de las posibles causas para que una técnica falle, son las características de los materiales con el que está constituido el suelo en un área determinada, por lo que el ingeniero encargado deberá tomar una decisión de que índice de plasticidad y límite líquido manejar para su efectiva evaluación.

Es importante tener en cuenta que, algunos estudios realizados en los suelos para evitar su colapso tienen que ver con las pérdidas económicas que pueden llegar a suceder; entre el uso de materiales para aislar el problema y el método, cuantificablemente debe ser viable; sin embargo, las pérdidas económicas no se pueden

comparar con la pérdida de una vida humana, por lo que los estudios deberán ser eficientes en un 100% y no en un límite inferior a este.

De acuerdo con lo anterior, al realizar una comparación con las altas pérdidas económicas, siempre prima la vida humana, la cual no tiene costo alguno y en caso de una expansión del suelo en una vía terrestre, se puede ocasionar una pérdida que verdaderamente se tiene que lamentar y que se pudo evitar.

Por un lado, una de las opciones más factibles para evitar los cambios volumétricos, es la de agregar humedad, debido a que la composición del suelo arcilloso es de alta compresibilidad, al mezclarse con un polímero en proporción baja reduce su potencial de expansión de alto a bajo; sin embargo, esta técnica es solo efectiva, si se realiza un control y seguimiento al terreno, realizando las mediciones constantes y revisando los índices de colapso y expansión del suelo.

A nivel nacional, las zonas más afectadas por suelos expansivos, se dan en sitios donde su ubicación geográfica posee variaciones de humedad como lo es la zona del Pacífico, el Amazonas, y parte de los llanos orientales; a diferencia de lugares donde se concentra menor la humedad como los el Caribe, La Guajira y ciertas zonas en Cundinamarca y Boyacá; sin embargo el hecho de poseer menor humedad, no lo exonera a un riesgo de expansión o potencial de colapso en el suelo, ya que existen periodos de alta intensidad de calor y otros donde la intensidad disminuye.

Una vez culminado el proceso de revisión de estado de arte, se evidencia que los estudios existentes en la actualidad no son suficientes para tener una certeza de la expansión que puede incurrir en un suelo, debido a la falta de un análisis más preciso

que puedan determinar las características esenciales para estabilizar el suelo y mediante el método apropiado para tratarlo adecuadamente.

Por otro lado, una de las funciones del ingeniero civil es, identificar los elementos y equipos necesarios, técnicas y métodos eficientes para que, a partir de los ensayos o pruebas en los laboratorios, estimar el cambio volumétrico de un suelo en un proyecto u obra civil, teniendo en cuenta las propiedades físicas, químicas y mecánicas, las variaciones de humedad que incurren en el momento del cambio volumétrico de un suelo y de esta forma establecer una solución óptima.

6. Conclusiones

Se realizó una búsqueda de documentos difundidos entre los años 2007 y 2019 con acceso libre y publicados principalmente de artículos científicos, libros, tesis de grado, monografías, normas y guías de datos virtuales y repositorios digitales de diferentes universidades, logrando de esta forma revisar diversos enfoques que se han presentado al transcurso de los años con relación a los cambios volumétricos de suelos expansivos y su potencial de colapso.

Se encontró que los suelos de tipo MH tienen alta posibilidad de ser susceptibles al colapso y que los suelos de tipo SM a pesar de su bajo contenido de humedad no son propensos a sufrir colapso pero requieren un estudio detallado del suelo para determinar su grado de colapsabilidad ya que se evidenció en uno de los documentos investigados que la muestra de suelo tipo SM tiene un grado de colapso definitivo.

A pesar de que la búsqueda sistemática de información no fue tan compleja, las investigaciones acerca de lo que se ha estudiado del potencial de colapso y suelos expansivos no son en todo confiable, ya que se han considerado que los suelos con elevados límites de plasticidad son expansivos, sin tener en cuenta otros factores y teorías adversas que demuestran lo contrario.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación, el método de consolidómetro es el más usado para mitigar los impactos de los suelos expansivos debido a los parámetros normales para su desarrollo y por su facilidad en el acceso de información basada en la norma INV del 2013 brindando información certera con relación

a los valores de esfuerzo teniendo en cuenta la presión del suelo, siendo útil para la construcción de vías.

Los criterios e interpretaciones expuestas en el presente documento son pertinentes y eficaces para futuras investigaciones, teniendo en cuenta los requisitos de la norma INV E 132 y INV E 157 del 2013, la cual es recomendada por el INVIAS a la hora de intervenir en un proyecto vial.

Como el presente trabajo de grado se basó en el estudio de investigaciones existentes sobre suelos, se cuenta solo con los resultados finales de estos documentos, por tal razón no se puede mostrar ningún resultado adicional o diferente relacionado con el estado del arte sobre los cambios volumétricos en suelos expansivos y su potencial de colapso; objeto del presente trabajo.

Debido a que, en este proyecto de grado en particular, no hubo trabajo de campo ni de laboratorio, no es posible mostrar resultados específicos de tipo estadístico, puesto que se basó única y exclusivamente en la recopilación, estudio y el proceso de la información.

7. Recomendaciones

Se recomienda realizar más de un ensayo o pruebas para la toma de datos en los laboratorios; ya que, aunque exista un proceso o procedimiento válido para la detección de suelos expansivos, no es garantía alguna para mitigar el impacto, puesto que en ocasiones puede ser eficaz y en otras podrán llevar a afectaciones a largo plazo; es decir en el momento que realice el estudio y en un determinado periodo de tiempo el suelo no sufre afectaciones, pero las cimentaciones de la estructura de las obras pueden ir deteriorarse sin que exista el menor riesgo de colapso, al punto de que el grado de saturación o las tensiones que está soportando el suelo, causen un ablandamiento o remoción de ciertas partículas, causando de esta forma un cambio imprevisto en el volumen del suelo.

Es importante que todos los proyectos de construcción que se estén desarrollando en la actualidad intensifiquen la aplicación de estudios y ensayos del potencial de colapso para así evitar consecuencias graves como fallas en las estructuras, en el suelo mismo, creando así estrategias de mitigación para reducir los riesgos que toca enfrentar al construir en dichos suelos.

Los suelos geotécnicamente inestables o suelos colapsables implican grandes riesgos para la sociedad involucrada, por lo tanto, como ingenieros se debe tener en cuenta dicho riesgo y reducirlo, en consecuencia, a dichos suelos requieren un tratamiento especial, ya que poseen algunas de características especiales tales como, alto contenido de humedad y disolución de puentes de unión por inundación. Teniendo en cuenta sus características se tiene que hacer un mejoramiento del suelo ya sea

retirando una gran cantidad del material afectado, mezclarlo con material de mejores condiciones o aplicar algún tipo de compactación para así poder retirar la gran cantidad de vacíos en su interior, en algunos casos se puede construir estructuras que bajen el nivel de colapso como por ejemplo muros de contención o desde las bases utilizando cimentación profunda como pilotes.

Bibliografía

- Ardila, C., & Londoño, N. (2015). *Comportamiento de parámetros geomecánicos en taludes compuestos por suelos expansivos*. Bogotá. D.C.: Universidad la Gran Colombia.
- Braja, M. (2009). *FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTECNICA*. sacramento,california: BROOKS/COLE PUBLISING COMPANY.
- Cárdenas, J., & Gutiérrez, D. (2018). *Potencial de Colapso de Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de la Zona de Expansión Urbana de Pereira*. Pereira: Universidad Libre Seccional Pereira.
- CRESPO VILLALAZ, 2. (s.f.).
- Cruz, L. (s.f.). *Mecánica de Suelos I ESLAGE*. Cauca: Universidad del Cauca.
- Normas y especificaciones INVIAS. (2013).
- Jenny Constanza, J. O. (2018). *ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA EXPANSIVIDAD EN SUELOS BENTONÍTICOS*. Bogotá D.C: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.
- Latorre, A. (2020). *Comportamiento Volumétrico de un Suelo no Saturado Derivado de Cenizas Volcánicas del Departamento del Cauca, Colombia*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Londoño Palacio, O. L., Maldonado Granados, L. F., & Calderón Villafáñez, L. C. (2015). Guía para construir estados de arte . *Iconk*, 17-20.

- López, T., Hernández, J., Horta, J., Coronado, A., & Castaño, V. (2010). Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas. *Revista Iberoamericana de Polímeros, Volumen 11(3)*, 159-168.
- Merchan, S. (2009). *Comportamiento de suelos expansivos en cimentaciones superficiales*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Pérez, J., & Orjuela, J. (2018). *Análisis experimental de la expansividad en suelos Bentónicos*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Reyes, C. E. (2019). Estrategia metodológica para elaborar el estado del arte como un producto de investigación educativa. *Praxis educativa*, 5-10.
- Rodolfi, E. R. (2007). *Suelos Colapsables*. Córdoba.
- Rodríguez, O., Salgado, E., Vanegas, E., & Gallo, A. (2014). Revisión teórica de evaluación del potencial de colapso en las dunitas de Medellín. *Ingeniería Solidaria, vol. 10, n.º 17*. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v10i17.88>, 193-197.
- Ruiz Velásquez, H., & Bernal Moreno, Y. (2014). *Estado del arte de los trabajos de grado realizados en el programa de licenciatura en educación básica con énfasis en humanidades e idiomas de la facultad de ciencias de la educación de la Universidad Libre*. Bogotá D.C: Universidad Libre.
- Sanchez, m. (2014). *Estabilización de suelos expansivos con cal y cemento en el sector Calcical del Cantón Tosagua provincia de Manabí*. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Sandoval, A. (2017). *Determinación del potencial expansivo de los suelos del noroeste de Jaén y análisis de sus problemas geotécnicos*. Jaen, España: Universidad de Jaen.

Valencia-González, Y. &.G.-R. (2015). Evaluación por diferentes métodos del potencial de colapso de algunos suelos residuales en los Valles de Aburrá y San Nicolás.

Boletín de Ciencias de la Tierra.

Ventocilla, P. (2018). *Estudio de las características geotécnicas de los suelos residuales para la estabilidad de taludes en el cerro la campana - ruta al terminal portuario de Puerto Eten.* Pimentel – Perú : Universidad Señor de Sipán.

Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*, 5ª ed, México: Limusa.