

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



BASES TEORICAS PARA REALIZAR LA INVESTIGACION DE LA INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO VOLUMÉTRICO EN SUELOS CON ALTO CONTENIDO EN FINOS EN LA URB. UPAO II ETAPA, ANTE LA PRESENCIA DE ALTAS INTENSIDADES DE LLUVIA EN LA CIUDAD DE TRUJILLO-LA LIBERTAD, 2018

**TRABAJO DE INVESTIGACION PARA
OPTAR EL GRADO DE BACHILLER**

AUTOR:

Juan Carlos Alva Figueroa

TRUJILLO - PERU

2019

I. INDICE

I. INTRODUCCION	5
1.1. Delimitación del problema que motiva el estado del arte	6
1.1.1. Campo Temático	7
1.1.2. Espacio	7
1.1.3. Tiempo	7
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA	7
1.3. Justificación del Tema	7
1.3.1. Realidad Problemática	7
1.3.2. Aspectos diferenciados de justificación	10
1.4. OBJETIVOS	10
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	10
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	11
1.5. PROCEDIMIENTOS METODOLOGIGOS SEGUIDOS	11
1.5.1. Técnica de recolección	11
1.5.2. Instrumentos de recolección	11
1.5.3. Fuentes de Información	11
II. RESULTADOS RESPECTO A LOS ANTECEDENTES ESTADO DEL ARTE O ESTADO DE LA CUESTION	12
2.1. ANTECEDENTES	12
2.1.1. TITULO: “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DE ARCILLAS EN EL SECTOR DE CAMPOALEGRE – CIUDAD DE BARRANQUILLA” ...	12
2.1.2. TITULO: “COMPORTAMIENTO VOLUMÉTRICO DE UN SUELO DE LA FORMACIÓN CAPDEVILA EN CONDICIONES DE SATURACIÓN PARCIAL”	13
2.1.3. TITULO: “COLAPSO POR HUMEDECIMIENTO EN LOS TERRAPLENES DE LA AUTOPISTA PÁZTCUARO-URUAPAN”	14
2.1.4. TITULO: “CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO Y ANÁLISIS DE RIESGOS GEOTÉCNICOS ASOCIADOS A LAS ARCILLAS EXPANSIVAS DE LA CIUDAD DE TUXTLA GUTIÉRREZ”	16

2.1.5.	TITULO: “INVESTIGACIÓN DEL CONGLOMERADO ESPECIAL EN LA CIUDAD DE TACNA”	17
2.1.6.	TITULO: "DETERMINACIÓN DE LA DEFORMACIÓN ELÁSTICA Y EL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN SUELOS EXPANSIVOS MEDIANTE ENSAYOS DE EXPANSIÓN LIBRE Y CONSOLIDACIÓN"	18
2.1.7.	TITULO: “UTILIZACIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELO A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN EL JR. AREQUIPA, PROGRESIVA KM 0+000 - KM 0+100, DISTRITO DE ORCOTUNA, CONCEPCIÓN”	19
2.2.	BASES TEORICAS	20
2.2.1.	Origen y formación de suelos	20
2.2.2.	Clasificación de los suelos	21
2.2.2.1.	Sistema unificado de clasificación de suelo (SUCS)	21
2.2.2.2.	Tamaño de las partículas, según los sistemas de clasificación SUCS	22
III.	CONCLUSION	39
IV.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	40
V.	ANEXOS	44

II. RESUMEN

La presente monografía busca obtener información técnica necesaria para desarrollar las bases teóricas para la investigación influencia en el comportamiento volumétrico en suelos con alto contenido en finos en la Urb. UPAO II etapa, ante la presencia de altas intensidades de lluvia en la ciudad de Trujillo, el cual cuenta con un terreno que está conformado de suelo con alta cantidad de partículas finas (arcillas y limos), ha sido afectada históricamente por temporadas en lapsos indistintos de tiempo con lluvias intensas, provocadas por altas precipitaciones asociadas al cambio climáticas en la ciudad, Como aporte al conocimiento de suelos con alto contenido de finos en la zona, se desarrollado el presente trabajo un programa experimental orientado a evaluar la influencia en el comportamiento volumétrico de los suelos con alto contenido en finos ante la presencia de una lata intensidad de lluvia en la ciudad, mediante ensayos geotécnicos pertinentes como lo son el de expansión libre y potencial de colapso desarrollados por el suelos ante la saturación parcial provocadas por las lluvias en su acumulación y al entrar en contacto directo con las partículas del suelos logrando la saturación parcial del mismo y a su vez provocando un comportamiento anómalo de sus propiedades volumétricas.

La obtención en el proceso de búsqueda de información se realizó tomando en cuenta el Reglamento Nacional de Edificaciones en especial la Norma E-050, se recolectaron datos, utilizando matriz de datos, aplicando fuentes de información primaria, que resulta de suma importancia en la búsqueda del conocimiento necesario para llevar a cabo la investigación en dicho lugar.

PALABRAS CLAVES

- Comportamiento volumétrico
- Suelos con alto contenido de finos
- Altas intensidades de lluvia

III. ABSTRAC

This monograph seeks to obtain the necessary technical information to elaborate the research Influence on the volumetric behavior in soils with a high content of fines in the Urb. UPAO II stage, in the presence of high rainfall intensities in the city of Trujillo, which has a land that is made up of soil with a high quantity of fine particles (clays and silts), has been affected historically by seasons in indistinct periods of time with intense rains, caused by high rainfall associated with climate change in the city, as a contribution to knowledge of soils with a high content of fines in the area, this work was developed an experimental program aimed at evaluating the influence on the volumetric behavior of soils with high fine content in the presence of a can intensity of rain in the city, through pertinent geotechnical tests such as free expansion and co-potential lapse developed by the soils before the partial saturation caused by the rains in their accumulation and when in direct contact with the soil particles achieving partial saturation of the same and in turn causing an anomalous behavior of its volumetric properties.

The obtaining in the information search process was done taking into account the National Building Regulations especially the E-050 Standard, data were collected, using data matrix, applying primary information sources, which is very important in the search of the knowledge necessary to carry out the research in said place.

KEYWORDS

- Volumetric behavior
- Soils with a high content of fines
- High rainfall intensities



I. INTRODUCCION

Es preciso conocer el comportamiento de los suelos parcialmente saturados con vista a prevenir desastres naturales. Gran parte del comportamiento que presenta un suelo parcialmente saturado está relacionado con las deformaciones volumétricas, por tal motivo se han venido desarrollando formulaciones. El estudio del comportamiento geotécnico de los suelos se ha desarrollado considerando que los suelos se encuentran saturados o secos. Sin embargo, existen importantes problemas geotécnicos donde el estudio de la saturación parcial es fundamental. Gran parte de las formaciones geológicas del planeta, está constituidas por suelos parcialmente saturados (Alfaro Soto M. , 2014) y (Ochoa Victoria, 2012). Los suelos parcialmente saturados pueden presentar características o comportamientos particulares, entre los que se encuentran los suelos expansivos, los colapsables y los residuales, que pueden experimentar cambios de volumen en presencia de humedad de origen natural o provocada por el hombre, causando variaciones en la resistencia y la deformación de los mismos, para lo cual es y modelos que intente explicar este fenómeno. En la actualidad ha aumentado la necesidad de profundizar en el conocimiento de los suelos parcialmente saturados, desde un punto de vista experimental, con nuevas tecnologías que permitan un conocimiento más profundo del comportamiento tenso-deformacional de estos suelos. La estimación de la curva de retención y de la curva de compresibilidad del suelo, tiene diversos intereses, pudiéndose emplear para obtener varios parámetros utilizados en la caracterización y permitiendo una mejor comprensión del comportamiento de los suelos parcialmente saturados. El conocimiento de los suelos parcialmente saturados es imprescindible, ya que por la variación de la succión se ve afectado la permeabilidad, la resistencia al cortante, la capacidad de carga,

así como el comportamiento volumétrico en estos suelos. (Jenny, D., J., & A., 2015)

1.1. Delimitación del problema que motiva el estado del arte

El análisis de las bases teórica de la investigación influencia en el comportamiento volumétrico en suelos con alto contenido en finos en la Urb. UPAO II, bien sabemos que Trujillo no es una ciudad que este constantemente sometida a lluvias de alta intensidad, pero por efecto de las contaminaciones ambiental a la que está sometida el mundo, Trujillo no está exenta a sufrir el cambio climático, cada año se observa más presencia de lluvia e incluso cada cierto tiempo es sometida por un fenómeno climático denominado el fenómeno del niño, no es tan descabellado pensar que con forme pasa el tiempo la ciudad estará sometida a cada vez más presencia de lluvias , y si las persona no empiezan a tener en cuenta el impacto que pueden tener las lluvias en lo que es un componente fundamental de toda edificación, como es el suelo estaremos expuestos a sufrir consecuencias de muy grandes magnitudes.

El comportamiento que adoptan los suelos expansivos, como es el caso de los suelos con alto contenido en finos ante la presencia de una alta intensidad de lluvia, causada por la variación del grado de saturación y el contenido de humedad, durante el tiempo de duración de las lluvias en la ciudad. Básicamente el estudio estará enfocado en la variación de una de las propiedades fundamentales de los suelos, como es el cambio de volumen por efecto de la variación del contenido de agua en el suelo.

Actualmente Trujillo y alrededores, aun cuenta con una amplia área de terreno dedicada al cultivo, pero que poco a poco estas están siendo urbanizadas y convirtiéndose en urbanizaciones, centros comerciales, colegios, etc. Estas zonas que originalmente eran zonas dedicadas al cultivo, son terrenos con suelo altamente expansivos debido a la presencia de arcilla, no cabe duda de que con

el tiempo estas serán las zonas más afectadas en caso las lluvias vayan aumentando con el pasar del tiempo.

1.1.1. Campo Temático

- Geotecnia.

1.1.2. Espacio

Urbanización UPAO II etapa.

Distrito : Trujillo

Provincia : Trujillo.

Región : La Libertad

1.1.3. Tiempo

Septiembre y octubre del 2018.

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuál son las bases teóricas que permitirán realizar la investigación influencia en el comportamiento volumétrico en suelos con alto contenido en finos en la urb. UPAO II etapa, ante la presencia de altas intensidades de lluvia en la ciudad de Trujillo - La Libertad 2018?

1.3. Justificación del Tema

1.3.1. Realidad Problemática

Los suelos cohesivos se expanden o contraen con el cambio de humedad. La diferencia entre los suelos comunes y los expansivos radica en que los cambios de volumen en estos últimos llegan a alcanzar niveles que generan daños a las obras construidas sobre ellos. De acuerdo a la estimación realizada por Jones y Holtz (1973), los daños reportados en casas habitación, pisos, banquetas, áreas de almacenamiento, carreteras y calles, entre otras obras, y atribuidos a suelos expansivos ascienden a más de dos mil millones

de dólares anuales, costos que exceden a los causados por inundaciones, huracanes, sismos y tornados. (Agua, 2007)

El cambio volumétrico al que está sometido suelos que tiene un alto contenido en granos finos ya sea limo, arcilla o ambos a la vez, tiene principalmente como problema la expansión del terreno en caso no tenga cambios significativos constantemente y el colapso del terreno en caso este sometido constantemente a cambios significativos, esta variación de contenido de agua que tiene como causal en este caso las intensas lluvias, puede ser un enemigo silencioso para las edificaciones construidas en terreno con suelos con características expansivas.

Si el estado de tensiones es tal que la tensión a la que está sometido el suelo iguala o supera la llamada tensión de hinchamiento, la presencia de agua en el medio no induce una variación de volumen, aunque conlleva una modificación en la situación de tensiones del suelo respecto los materiales o estructuras con que está en relación. (Joan, 2013)

En caso el terreno este sometida al fenómeno de la expansión, la estructura estaría sometida a un hinchamiento de una porción del terreno debido a que la variación de contenido de agua por lluvias no es uniforme, debido a que no todo el terreno está expuesto directamente a lluvias y por lo general estas suelen filtrarse por el perímetro del terreno debido a al agua que discurre por las paredes con dirección al suelo, por lo cual estas porciones del terreno están expuesta a sufrir las consecuencias de expansión del terreno.

Composición mineralógica con presencia de elementos solubles en agua: el acceso de agua a la estructura del material supondrá un proceso de disolución de parte de la estructura, colapsando el resto para reordenarse hasta alcanzar un grado de empaquetado

conforme al estado de tensiones en que se encuentre el terreno. Se han descrito riesgos y patologías asociadas a procesos de colapso inducidos por disolución en formaciones que alternan arcillas y yesos. (Joan, 2013)

En el caso el terreno este expuesto constantemente a cambios de cargas constantemente, este terreno estará expuesto al fenómeno de colapso, debido a los constantes cambios de carga esta presentará un desgaste al terreno que ata que esta seda provocando un colapso del terreno un agujero o grietas en las losas que estén en contacto directo con el suelo parcialmente saturado por las lluvias.

Gran parte del comportamiento que presenta un suelo parcialmente saturado está relacionado con las deformaciones volumétricas, por tal motivo se han venido desarrollando formulaciones y modelos que intente explicar este fenómeno. En la actualidad ha aumentado la necesidad de profundizar en el conocimiento de los suelos parcialmente saturados, desde un punto de vista experimental, con nuevas tecnologías que permitan un conocimiento más profundo del comportamiento tenso- deformacional de estos suelos. La estimación de la curva de retención y de la curva de compresibilidad del suelo, tiene diversos intereses, pudiéndose emplear para obtener varios parámetros utilizados en la caracterización y permitiendo una mejor comprensión del comportamiento de los suelos parcialmente saturados. El conocimiento de los suelos parcialmente saturados es imprescindible, ya que por la variación de la succión se ve afectado la permeabilidad, la resistencia al cortante, la capacidad de carga, así como el comportamiento volumétrico en estos suelos. (Jenny, D., J., & A., 2015)

1.3.2. Aspectos diferenciados de justificación

- La búsqueda de información general, permitirá establecer un estudio de cómo se comporta volumétricamente el suelo con alto contenido de finos frente a las lluvias intensas, es decir el suelo cambia de tamaño es decir se expande o reduce frente a fuerte lluvias ocasionando que esté colapse.
- Asimismo, las bases teóricas, buscan apertura a nuevas soluciones al problema de colapsamiento de suelos debido a cambios volumétricos que estos puedan tener a consecuencia del interperismo
- Los alcances de referencias técnicas permitirán realizar un análisis que incidan en aspectos concluyentes en la recopilación de información, cómo la optimización, relación y secuencias de la información obtenida.
- Desde la perspectiva de otorgar soluciones basadas en la obtención de información valorativa, se pretende demostrar que la búsqueda de información geotécnica corresponde al sustento que generan soluciones técnicas y normativas.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Redactar bases teóricas para realizar la investigación de la Influencia en el comportamiento volumétrico en suelos con alto contenido en finos en la Urb. UPAO II etapa, ante la presencia de altas intensidades de lluvia en la ciudad de Trujillo-La Libertad, 2018

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Definir información el origen y formación de los suelos y explica la clasificación de suelos.
- Revisar la teoría acerca del comportamiento volumétrico de los suelos.
- Identificar la teoría acerca de la interacción química y física de los suelos.
- Investigar acerca del comportamiento deformacional de los suelos no saturados.
- Investigar acerca del mecanismo de colapso e inchamiento de los suelos.

1.5. PROCEDIMIENTOS METODOLIGOS SEGUIDOS

1.5.1. Técnica de recolección

- Revisión documental y análisis al contenido de la búsqueda de información, clasificación y selección de información de Bases Teóricas, con la consiguiente toma de lectura de las condiciones, procesos y consecuencias observables, servirán de aporte importante a una solución al problema detectado.

1.5.2. Instrumentos de recolección

Representa el modo y forma que utiliza el investigador para recolectar la información adecuada para su tema, utilizando:

- Ver Anexo 01°, Anexo N° 02.

1.5.3. Fuentes de Información

Corresponde a los instrumentos diferenciados para la toma de conocimientos, búsqueda y acceso a información necesaria.

- **Fuente de datos primaria:**

- Norma E.050 Suelos y Cimentaciones.
- Investigaciones de artículos científicos en revistas indexadas acerca del comportamiento volumétrico de los suelos.
- Tesis acerca del comportamiento volumétrico de los suelos con alto contenido de finos.

II. RESULTADOS RESPECTO A LOS ANTECEDENTES ESTADO DEL ARTE O ESTADO DE LA CUESTION

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. TITULO: “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DE ARCILLAS EN EL SECTOR DE CAMPOALEGRE – CIUDAD DE BARRANQUILLA”

(Rodríguez Castiblanco, 2014) El objetivo principal de esta investigación fue analizar el comportamiento geomecánico del material arcilloso aflorante en las laderas occidentales de Barranquilla, a partir de su caracterización física, microestructural y geotécnica, en conjunto con la consideración de los factores geoambientales presentes en la zona de estudio, Las características geotécnicas de los materiales en condiciones de humedecimiento – saturación (compresibilidad, expansión o colapso) fueron analizadas mediante ensayos en celda edométrica con ciclos de carga y descarga, en especímenes de 50 mm de diámetro y 20 mm de altura, En términos generales se puede observar una relación clara ente el esfuerzo vertical en campo y la presión de expansión independiente de la trayectoria aplicada. El potencial de expansión está controlado en todo el perfil litológico por el esfuerzo vertical y da un indicativo de la influencia de la historia de esfuerzos en la deformación

volumétrica. En términos de expansión libre no se encuentran relaciones evidentes con las condiciones iniciales del material, El potencial de expansión / colapso bajo carga no depende exclusivamente de la carga vertical aplicada antes de la saturación, sino más bien de las condiciones de fábrica y succión inicial del material.

Esta investigación aporta una noción clara en el aspecto teórico-práctico del comportamiento geomecánico (compresibilidad, expansión o colapso) que se presenta ante la presencia de muestras parcialmente saturadas, servirá como base para poder analizar mejor el comportamiento de los suelos con alto contenido en finos ante la presencia de intensas lluvias ya que por efecto de las mismas estas causaran efectos en las propiedades de la muestra.

2.1.2. TITULO: “COMPORTAMIENTO VOLUMÉTRICO DE UN SUELO DE LA FORMACIÓN CAPDEVILA EN CONDICIONES DE SATURACIÓN PARCIAL”

(García Tristán, Cobelo Cristiá, Quevedo Sotolongo, & García Fernández, 2015) El objetivo de esta investigación es simular la curva de compresibilidad (e vs σ) en condiciones de saturación parcial del suelo de la formación Capdevila partiendo de conocer los valores experimentales, para obtener la simulación de la curva de compresibilidad del suelo, esta se realiza a partir de conocer la curva de compresibilidad (e vs σ) pero para el suelo saturado y la curva de retención o curva característica del suelo, Para la obtención de la curva de compresibilidad (e vs σ) en condiciones de saturación parcial de manera experimental del suelo objeto de estudio, se emplea un edómetro de succión controlada. El cambio de volumen global de una muestra debe ser igual a la suma de los cambios parciales de volumen de cada fase, cumpliéndose el principio de

continuidad. Como las partículas sólidas y el agua son fundamentalmente incompresibles, los cambios globales de volumen se deben al agua que entra o sale de la muestra de suelo, En el suelo de la formación Capdevila a medida que disminuye la relación de vacíos, este experimenta un aumento, tanto del valor en el colapso, como de la succión en el suelo, lo que produce un aumento en el valor de la relación de vacío del suelo ensayado, El modelo de Rojas y Alanís simula la curva de compresibilidad del suelo y el colapso de las muestras de suelo de la formación Capdevila de manera aceptada, aunque para la muestra ensayada con una succión de 100 kPa el modelo simuló un mayor colapso que el que experimentó la muestra durante el ensayo de laboratorio, lo cual debe principalmente al realizar la suposición de que el parámetro χ se hace igual al grado de saturación (S_r) y se introduce un error, porque el parámetro χ no es constante, sino que depende del grado de saturación, tipo de suelo, y la histéresis según las trayectorias que haya seguido el suelo, variando el comportamiento obtenido durante la simulación de la curva de compresibilidad.

Esta investigación aporta las variaciones que sufre el suelo, en cuanto a su deformación en función de la cantidad de vacíos, bajo una variación de esfuerzos, entre suelos saturados y parcialmente saturados evaluando la tendencia al colapso del material. Esto servirá para base para describir el comportamiento en asentamientos diferenciales en suelos parcialmente saturados.

2.1.3. TITULO: “COLAPSO POR HUMEDECIMIENTO EN LOS TERRAPLENES DE LA AUTOPISTA PÁZTCUARO-URUAPAN”

(Chávez Negrete, Alarcón Ibarra, Espinosa Arreola, & Arreygue Rocha, 2016) Estudiar el comportamiento mecánico de un limo

compactado característico de la región nororiente del estado de Michoacán, para explicar las deformaciones en algunos de los terraplenes de la autopista Pátzcuaro-Uruapan, el ensayo para determinar el potencial de colapso que tiene el suelo, sometiendo la muestra al colapso por humedecimiento; los ensayos se realizaron en un equipo convencional de consolidación, con brazo de palanca, pesas para la aplicación de esfuerzo y sin control de succión. En los ensayos se procuró mantener constante el contenido de agua, antes de la saturación, no permitiendo la salida del agua por los discos porosos; este es un tipo especial de ensayo en suelos parcialmente saturados, El potencial de colapso (ASTM D 5333-03) que se obtuvo del ensayo P_10 fue de 2.9% y para el ensayo P_8 fue de 1%. La normativa mexicana no marca restricciones en cuanto el colapso por humedecimiento, por otro lado, la normativa Española (PG-3, 2002) considera que los suelos colapsables son aquellos que sufren una deformación superior a 1% cuando se humedecen, compactándolos a la densidad máxima del ensayo Proctor normal; desde este punto de vista, el suelo en estudio no es colapsable, ya que a 93% de grado de compactación colapsa 1%, De acuerdo con la Normativa Española el suelo no es colapsable, si el suelo se compactase a 93%, pero dadas las condiciones de compactación de la normativa Mexicana (90%) el suelo es colapsable. Por tanto, se concluye que la normativa mexicana de compactación de terraplenes considera un grado de compactación bajo que favorece el colapso por humedecimiento para este tipo de suelo.

Este estudio aporta un análisis del comportamiento de suelos finos como son suelo con contenido de limos compactados, analizados desde es el punto de vista de que este material este sometido a lluvias lo que hace que el material este parcialmente saturado y por lo cual desarrollo un cierto porcentaje de potencial de colapso, esto servirá para analizar el comportamiento en un material con características

semejantes a la muestra en nuestra investigación, principalmente para el análisis del potencial de colapso en muestras con alto contenido en finos.

2.1.4. TITULO: “CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO Y ANÁLISIS DE RIESGOS GEOTÉCNICOS ASOCIADOS A LAS ARCILLAS EXPANSIVAS DE LA CIUDAD DE TUXTLA GUTIÉRREZ”

(Ordóñez Ruiz, Auvinet Guichard, & Juárez Camarena, 2014)

Ampliar el conocimiento de las características del subsuelo de la ciudad y en particular de las arcillas expansivas de la zona geotécnica “A”, se elaboró un nuevo programa de investigación experimental de campo y laboratorio, Se aplicaron los métodos indirectos para la definición del potencial de expansión de las arcillas y con los métodos directos, se determinó la presión de expansión para diferentes contenidos de agua iniciales en los especímenes ensayados, En el corte CX-2, en los perfiles que registran altos contenidos de agua $w > 28\%$, las expansiones varían de 1.5 a 2.5% y para contenidos de agua $w < 22\%$, la variación de $E_{rv} \%$, es de 5 a 7.5%. En el perfil CV-1, existen continuidad en los perfiles de contenido de agua y en el estrato superior la variación de la expansión unitaria se registran valores en promedio de 5 a 7.5%. para fines de caracterización geotécnicas, estos parámetros de expansión corresponden a un potencial de expansión medio a muy alto, Se realizó el análisis geoestadístico del contenido de agua y expansión. El análisis se ejecutó para las condiciones de estiaje, porque es la condición más crítica para definir el potencial de expansión de los estratos de arcilla. Mediante el método del kriging de definió la variación espacial de las variables geotécnicas contenido de agua (w , %) y expansión (E_{rv} , %). Los mapas de contornos y de riesgos geotécnicos obtenidos indican que para las profundidades de 0.25 a

3 m predomina el riesgo de medio a alto y en el mapa de 5 m predomina el riesgo bajo a medio.

Esta investigación aporta un enfoque diferente, pero con base teórica similar a nuestra investigación, enfoque que se basa en el potencial de colapso y la expansión de la muestra, con respecto a la profundidad del estrato de la muestra y los riesgos geológicos a gran escala, pero que servirá para tener un enfoque a gran escala acerca de nuestra investigación y analizar la relación entre el contenido de agua, el potencial de colapso y la expansión de la muestra en condiciones parcialmente saturadas.

2.1.5. TITULO: “INVESTIGACIÓN DEL CONGLOMERADO ESPECIAL EN LA CIUDAD DE TACNA”

(Condori Quispe, 2012) Evaluar la susceptibilidad al colapso y de cuantificación de su magnitud en el laboratorio con muestras inalteradas o compactadas de Los terrenos de las Pampas de Viñani-Tacna , El método directo de evaluación de la susceptibilidad al colapso y de cuantificación de su magnitud son, las pruebas en el laboratorio con muestras inalteradas o compactadas (especialmente en los finos) y las pruebas de carga in situ ya sea a escala natural o escala reducida (especialmente en suelos gruesos) la magnitud del colapso depende de la magnitud de los esfuerzos aplicados y del grado de saturación, Las muestras que fue ensayada con la humedad natural de 0.46% colapsa a un esfuerzo de 14.83kg/cm². La deformación unitaria respectiva es 3.15%, que corresponde sólo a las propiedades elásticas pudiéndose comprobar que es relativamente baja, De la investigación del conglomerado especial se concluye que se trata de un conglomerado colapsable puesto que reúne las características para su identificación como son bajo contenido de agua, la estructura no es macro porosa porque la relación de vacíos

es baja, la estructura no está mal acomodada y es de naturaleza cementada por sales.

Esta investigación aporta un estudio detallado en función a la propiedad del potencial de colapso de una muestra que básicamente determina para que esfuerzo con respecto a una húmeda la muestra desarrolla un potencial de colapso suficientemente para ser considerada como un suelo colapsable, esto nos ayuda tener un mejor y más amplio conocimiento acerca del potencial de colapso en muestras una gran cantidad de finos, sometidos a condiciones de suelos parcialmente saturados.

2.1.6. TITULO: "DETERMINACIÓN DE LA DEFORMACIÓN ELÁSTICA Y EL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN SUELOS EXPANSIVOS MEDIANTE ENSAYOS DE EXPANSIÓN LIBRE Y CONSOLIDACIÓN"

(Rosales Asto, 2014) Determinar la deformación elástica y el módulo de elasticidad en suelos expansivos mediante ensayos de expansión libre y consolidación, El ensayo de expansión libre: Este ensayo se realizó en muestras inalteradas, tomando en cuenta a la Norma Técnica Peruana NTP 339.170: Método de ensayo normalizado para la determinación de hinchamiento unidimensional o potencial. de asentamiento de suelos cohesivos. El ensayo se realizó con la finalidad de obtener suelos totalmente expandidos y estables para evitar variaciones en su comportamiento esfuerzo-deformación, Los ensayos de expansión libre sirvieron para generar la máxima expansión y tener suelos totalmente estables ya que las muestras proceden de zonas con precipitaciones altas, y los suelos en estado natural han sufrido procesos de expansión previos, La expansión tiene un comportamiento uniforme en todas las muestras analizadas , Se validaron las hipótesis planteadas las cuales nos

permitió obtener el valor del Módulo de Elasticidad en arcillas expansivas, para ello fue necesario tener suelos totalmente estables el cual se obtuvo mediante el ensayo de expansión libre; considerando que la deformación es unidimensional y en dirección de la carga, se realizó el ensayo de consolidación determinando el comportamiento elastoplástico (Modelo de Saint Venant) y con el rebote elástico se define el rango elástico, al aplicar ciclos de carga y descarga con una carga específica en la curva de descarga del ensayo de consolidación hasta obtener una histéresis equivalente al rango elástico.

Este estudio aporta el análisis del comportamiento que sufre suelos expansivos parcialmente saturados mediante el ensayo de expansión libre relacionándola de forma directa con los resultados del ensayo de consolidación, lo cual servirá como base para un mejor análisis y descripción de los resultados en nuestra investigación en cuanto a expansión libre se refiere y al comportamiento de la misma.

2.1.7. TITULO: “UTILIZACIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELO A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN EL JR. AREQUIPA, PROGRESIVA KM 0+000 - KM 0+100, DISTRITO DE ORCOTUNA, CONCEPCIÓN”

(Quispe Condori, 2016) Analizar las propiedades físicas y mecánicas que influyen en la capacidad portante del suelo a nivel de la subrasante del Jr. Arequipa de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 del distrito de Orcotuna – Concepción, determinar las propiedades físico, mecánicas y químicas de las muestras, se determinaron mediante los procedimientos establecidos en el manual de ensayos de materiales para carreteras del MTC (EM – 2000), aprobado por R.D.N° 028- 2001-mtc/15.17 del 16-01-2001, Los especímenes son

saturados por 96 horas, con una sobrecarga igual peso del pavimento que se utilizará en el campo pero en ningún caso será menor que 4.50 k. Es necesario durante este periodo tomar registros de expansión cada 24 horas y al final de la saturación tomar el porcentaje de expansión, El efecto de las bolsas de polietileno fundido incremento el CBR de suelo arcilloso con una dosificación de 6% del peso seco de suelo arcilloso y también redujo porcentualmente la expansión en un 36.85%, El CBR del suelo arcilloso es 4.15% al 95% de la máxima densidad seca y al adicionar bolsas de polietileno fundido al 6% del peso seco del suelo, con dimensiones amorfas pasante el tamiz 3/4" y retenido 3/8", incrementó el CBR (California Bearing Ratio) a 7.98% al 95% de la máxima densidad seca debido a que las bolsas de polietileno fundido en forma de grumos presenta propiedades de flexo compresión y también redujo porcentualmente la expansión 36.85%.

Esta investigación aporta desde un punto de vista distinto, que las propiedades en muestras de suelos arcillosos que, al agregarle ciertos porcentajes de bolsas de polietileno en función a su peso seco, modifica algunas de sus propiedades como el comportamiento de su expansión al estar esta muestra sometida a una condicione parcialmente saturada, aportando así un análisis del comportamiento de la propiedad de la expansión en una muestra compactada y alterada.

2.2. BASES TEORICAS

2.2.1. Origen y formación de suelos:

El origen de los tiene como base fundamental las tocas y los cambios de la misma debido a las consecuencias de los fenómenos físicos, físico-químicos y biológico a los que está constantemente sometido (Francisco Javier, 2011) afirma que: "Los suelos son producidos por el interperismo y la erosión de las rocas, los cuales pueden ser residuales o transportados, los primeros, son aquellos que se localizan junto a la roca que le dio origen

y los transportados, se consideran aquellos que son localizados lejos de las rocas que le dan origen, siendo el medio de transporte: el agua, el viento, los glaciares, los animales o la gravedad. Por consecuencia son agregados pétreos que tienen una composición mineral idéntica a la roca que le dio origen, con la diferencia de que los suelos son partículas con un tamaño máximo de tres pulgadas (7.5 cm). Las partículas con tamaño mayor se consideran fragmentos de roca” (P.07). como característica determinante para diferir los fragmentos de rocas por sobre los suelos, este tiene tamaño máximo y mínimo para poder definirse como suelos o rocas que se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 01.

Identificación entre suelo y roca según su tamaño

TAMAÑO	DENOMINACIÓN
<i>Mayores de 2.0 mts.</i>	<i>Macizo rocoso</i>
<i>De 70.0 cm a 2.0 mts.</i>	<i>Fragmentos grandes de roca.</i>
<i>De 20.0 cm a 70.0 cm</i>	<i>Fragmentos medianos de roca</i>
<i>De 3” a 20.0 cm.</i>	<i>Fragmentos chicos de roca</i>
<i>No. 4 a 3”</i>	<i>Suelos gruesos (Grava).</i>
<i>No. 200 a No.4</i>	<i>Suelos gruesos (Arenas)</i>
<i>Pasa la malla No. 200</i>	<i>Suelos finos</i>

2.2.2. Clasificación de los suelos:

2.2.2.1. Sistema unificado de clasificación de suelo (SUCS)

El sistema de clasificación unificado USCS (Unified Soil Classification System), designación ASTM D-2487, originalmente fue desarrollado A. Casagrande (1948) para la construcción de aeródromos durante la segunda guerra mundial Este sistema de clasificación fue posteriormente modificado en 1952 por el mismo autor y el cuerpo de ingenieros de la armada de los Estados Unidos quienes asieron que este sistema sea más aplicable a los propósitos ingenieriles, es decir que no sean solo aplicables al campo de la aviación.

	Tamaño mínimo (mm)	Tamaño máximo (mm)
Bloques	300	-
Bolos	75	300
Grava	4.76	75
Arena	0.075	4.76
Limo	0.002	0.075
Arcilla	-	0.002
	Tamaño mínimo (mm)	Tamaño máximo (mm)
Bloques	300	-
Bolos	75	300
Grava	4.76	75
Arena	0.075	4.76
Limo	0.002	0.075
Arcilla	-	0.002

Tabla 01: Clasificación según su tamaño de partículas

2.2.2.2. Tamaño de las partículas, según los sistemas de clasificación SUCS

Parte de la granulometría realizada, hasta el pasa No. 200 (Granulometría por tamizado).

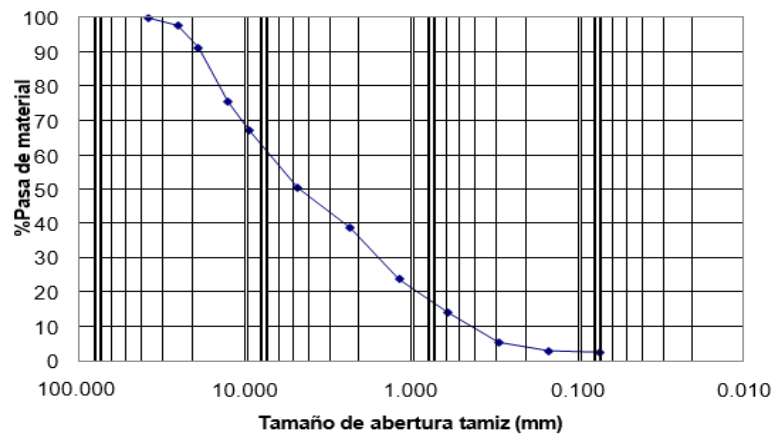
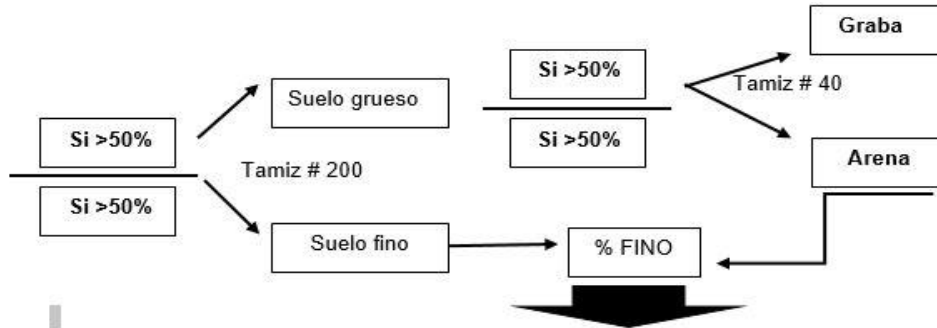


Figura 1. Curva granulométrica

Fuente: Cauca. Lucio Gerardo, Cruz Velasco (2014), Mecánica de suelos I (Geotecnia)

a) Clasificación de Suelos (SUCS)



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	

- Carta de plasticidad

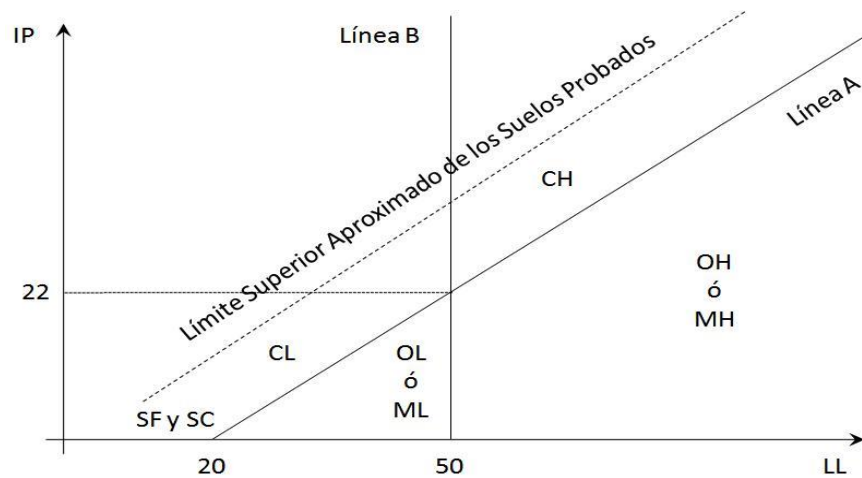


Figura 3. Carta de plasticidad

Fuente: Arthur, Casagrande (1942), Sistema de clasificación de aeropuerto.

Línea A	$IP = 0,73(LL - 20)$
Línea B	$LL = 50$
Línea U	$OP = 0,9(LL - 8)$

Suelos finos:

Los suelos son una constitución por partículas minúsculas de fragmentos de rocas. De acuerdo con, de acuerdo al sistema de clasificación unificado estas partículas tienen un tamaño inferior a 0.075 mm (a veces 0.060 dependiendo del tipo de clasificación), que corresponden a la categoría del limo y la arcilla, por lo que toda fracción de suelo que pasa el tamiz Nr. 200 es considerado como suelo fino (pasante %50) (SUCS, 1952).

a. Clasificación de suelos finos (SUCS):

El sistema lo clasifica formando grupos y dándole un prefijo en letras mayúsculas que son las iniciales de los nombres ingleses de los suelos más típicos de ese grupo

Tabla 02: sistema lo clasifica formando grupos

Tipo de suelo	Prefijo
Limos inorgánicos	M
Arcillas inorgánicas	C
Limos y arcillas orgánicas	O

Los grupos se dividen teniendo como base un rango de su límite líquido. Si estos son menores a 50%, son suelos son baja o medianamente en susceptibles a la compresibilidad, se le denomina con un símbolo L (low compressibility) .si su límite líquido es mayor a 50% entonces eta tiene una alta susceptibilidad ala compresibilidad se le denomina con un símbolo H (high compressibility).

Tabla 03: sistema lo clasifica formando sub-grupos

Sub Grupo	Prefijo
Limite Liquido Alto(>50%)	H
Limite Liquido Alto(<50%)	L

Los suelos con características exageradamente compresibles, tiene un grupo aislado que se identifica con las letras en mayúsculas PT (del inglés peat: turba)

Grupo CL: está determinada por estar en la parte superior de la línea A de la carta de plasticidad, que es definido por $LL < 50\%$ e $IP > 7\%$

Grupo CH: está determinada por estar en la parte superior de la línea A de la carta de plasticidad, que es definido por $LL > 50\%$.

Dónde: LL: limite líquido y IP: índice de plasticidad

Grupo ML: está determinada por estar en la parte inferior de la línea A de la carta de plasticidad, que es definido por $LL < 50\%$. Y una porción sobre la línea A con un $IP < 4$

Grupo MH: está determinada por estar en la parte inferior de la línea A de la carta de plasticidad, que es definido por $LL > 50\%$.

En estos grupos se incluyen los limos típicos inorgánicos y limos arcillosos como:

Limos inorgánicos y polvo de roca, con $LL < 30\%$, están incluidos el grupo ML

Los depósitos eólicos, del tipo loess, con $25\% < LL < 35\%$ usualmente, están incluidos en alguno de estos grupos

Los suelos finos que son denominados CL-ML son los suelos que están incluidos en las zonas por encima de la línea A y con $4\% < IP < 7\%$.

Grupo OL y OH: comparten lugares junto con los grupos ML y MH respectivamente, pero los suelos orgánicos siempre están las zonas aproximadas a la línea A, pero el hecho de tener partículas orgánicas coloidales, aunque de forma muy escasa sea el caso, induce a que el límite

liquido(LL) de una arcilla aumente sin embargo el limite plástico no lo hace de forma apreciables, esto provoca que el suelo se dirija hacia la derecha de la plasticidad, colocándose a una mayor distancia de la línea A.

Grupo PT: el límite líquido de este tipo de suelo pueden resultar entre 300% y 500%, colocándose en la parte inferior de la línea A; el índice de plasticidad generalmente esta entre 100% y 200%

Tabla 04: sistema lo clasifica se suelos finos

FINOS ($\geq 50\%$ pasa 0.08 mm)			
Tipo de Suelo	Símbolo	Lim. Liq. w _L	Índice de Plasticidad * I _P
limos inorgánicos	ML	< 50	< 0.73 (w _L - 20) ó < 4
	MH	> 50	< 0.73 (w _L - 20)
arcillas inorgánicas	CL	< 50	> 0.73 (w _L - 20) y > 7
	CH	> 50	> 0.73 (w _L - 20)
limos y arcillas orgánicos	OL	< 50	** w _L seco al horno ≤ 75 % de w _L seco al aire
	OH	> 50	
turba	P _t	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente.	
Si I _P \cong 0.73 (w _L - 20) ó si IP entre 4 y 7 e I _P > 0.73 (w _L - 20), usar símbolo doble: CL-ML, CH-OH			
** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente w _L seco al horno			
En casos dudosos favorecer clasificación más plástica Ej: CH-MH en vez de CL-ML. Si w _L = 50; CL-CH ó ML-MH			

Suelos finos parcialmente saturados:

Las propiedades mecánicas de los suelos finos como en general de cualquier tipo de suelos está sujeta a la interacción de las 3 fases físicas la sólida, líquida y la gaseosa.

(Colmenares-2002 & Citado en Rodríguez Castiblanco, 2014) afirmo que “La fase líquida se refiere al fluido que rellena en parte o totalmente los espacios (poros) existentes entre las partículas sólidas y puede variar en composición química de acuerdo a las características geológicas y ambientales en que se localizan los materiales. Por último, la fase gaseosa ocupa la parte de los poros que no están llenos de líquido y su composición

también puede variar en cortos intervalos de tiempo en función de las características geológicas y ambientales “

La mecánica de suelos clásica se basa considerando el suelo en 2 estados límites cuando este está completamente seco o totalmente saturado (Carnero Guzmán & Carnero Carnero, 2015) afirman que “La mecánica de suelos tradicional, tal como la concibió Karl Terzaghi en los años 30, se desarrolló sobre la hipótesis de que el suelo se encuentra en uno de los siguientes casos límite: completamente seco o completamente saturado (los poros del suelo se encuentran rellenos de un único fluido: aire, agua u otro). A través de esta hipótesis, una enorme simplificación fue conseguida para el estudio teórico y experimental del comportamiento del suelo. Sin embargo, un suelo totalmente seco o saturado rara vez se encuentra en la realidad, empero, dos fluidos suelen dividir los vacíos existentes en la estructura del suelo “(P.02).

Los suelos normalmente en la superficie están compuestos en su estado natural por 3 fases considerando que es un material poroso (Cahuape Casaux, Garibay, & Angelone, 2006) afirmaron que “Los suelos y rocas no son los sólidos ideales, si no que forman sistema de 2 o 3 fases: partículas sólidas y gases, partículas sólidas y líquidas, o bien, partículas sólidas, gas y líquidas. El líquido normalmente es agua y el gas se manifiesta a través de vapor de agua por lo tanto se habla de un medio “poroso”. A este medio se le caracteriza a través de su “porosidad” y a su vez esta propiedad condiciona la permeabilidad del medio o del material en estudio” (P. 03). la porosidad de cada suelo conlleva a darle una permeabilidad variable según el estado en que se encuentra o al medio al que está sometido.

Los suelos permeables tienden a estar casi siempre relacionados a el tamaño de la partículas de la misma (Franch, 2013) afirma que “Como regla general podemos considerar que a menor tamaño de grano, menor permeabilidad, y para una granulometría semejante (arenas, por ejemplo) a mejor gradación, mayor permeabilidad. En cuanto al quimismo, y para el caso de arcillas y limos, la presencia de ciertos cationes (Sodio, Potasio) es un factor que disminuye la permeabilidad en relación a otros (Barrera Bucio & Garnica Anguas, INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS EN VÍAS TERRESTRES , 2002)” (P.01). según el tamaño podemos tener un rango de valores de permeabilidad según la siguiente tabla 05.

Tabla 05: Valores orientativos del coeficiente de permeabilidad

Tipo de suelo	k_z (m/s)
Grava limpia	$> 10^{-2}$
Arena limpia y mezcla de grava y arena limpia	$10^{-2} - 10^{-5}$
Arena fina, limo, mezclas de arenas, limos y arcillas	$10^{-5} - 10^{-9}$
Arcilla	$< 10^{-9}$

Alguna propiedad y sus comportamientos están sujetas a las partículas por las cuales está constituida el suelo. (Carnero Guzmán & Carnero Carnero, 2015). Afirmaron que “Propiedades como la resistencia, permeabilidad, deformación, capacidad de retención de agua y reacciones químicas de los materiales térreos, están gobernadas principalmente por su composición y las características físicas de las partículas que los componen. La proporción relativa de tamaños de partículas tipo grava, arena, limo o arcilla, definen la textura del suelo o roca. Los patrones en que tales partículas se encuentran arregladas o dispuestas definen la fábrica o estructura del suelo”

La clasificación de los suelos basada también teniendo en cuenta el tamaño de las partículas que componen el material del suelo, por el hecho de que se puede predecir el comportamiento. Afirman que “Los términos arcilla, limo, arena y grava son usados para indicar el tamaño de las partículas de la fase sólida del suelo denotado por su diámetro efectivo, o también para referirse a la textura de la fracción predominante que determina su comportamiento. El rango de tamaños en las partículas sólidas de un material térreo está controlado en gran parte por su composición mineralógica”. Las partículas que conforma los suelos finos por lo general son minerales. (Chávez Negrete, Alarcón Ibarra, Espinosa Arreola, & Arreygue Rocha, 2016) encontró que “Las partículas de limo y arena están compuestas generalmente de granos de cuarzo, dado que este es el mineral más abundante y resistente a la meteorización en la superficie terrestre. Las arcillas por su parte, han sido clasificadas en muchas especies minerales cada una con una estructura cristalina y comportamiento distintivos”. Las partículas de minerales en los suelos finos son componentes.

Comportamiento de los suelos

Interacción química

Los espacios que quedan entre las partículas de un suelo, se denominan vacíos, huecos, poros, o intersticios, estos suelen estar ocupados por aire o por agua (con o sin materiales disueltos), así pues, el suelo es un sistema formado por una fase mineral, denominada esqueleto mineral, más una fase fluida o fluido intersticial. Dicho fluido influye al deslizamiento entre dos partículas, según la naturaleza química de los minerales que formen las partículas del suelo. En partículas muy pequeñas al aplicar una carga se juntan las partículas por la disminución de la fase intersticial, encontrando una nueva causa que influye en la deformación total y a esta interacción entre fases, se le denomina interacción química. (Olguin Coca, 2011).

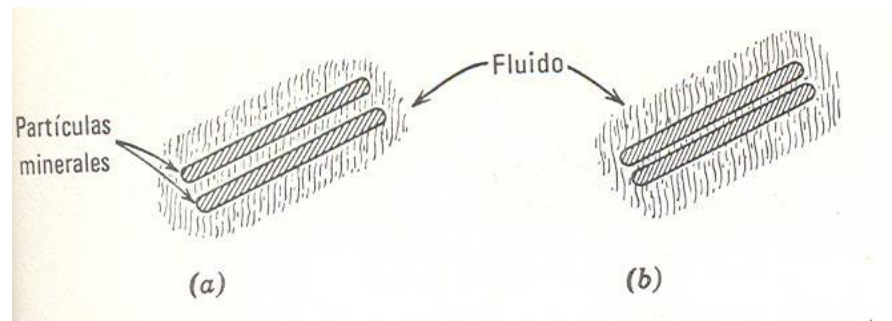


Figura 4. Partículas de líquido rodeando partículas de suelo
Fuente: Carr. Pachuca. Francisco Javier (2011), Mecanica de Suelos I

Interacción física

Volvamos al recipiente con suelo, pero ahora sus espacios están ocupados totalmente por agua, es lo que se denomina un suelo saturado. En primer lugar, supongamos que la presión del agua es hidrostática, es decir que la presión en los poros en cualquier punto, es igual al peso específico del agua, por la profundidad del punto considerado bajo la superficie del agua, en este caso, no habrá circulación o flujo del agua. (Olguin Coca, 2011)

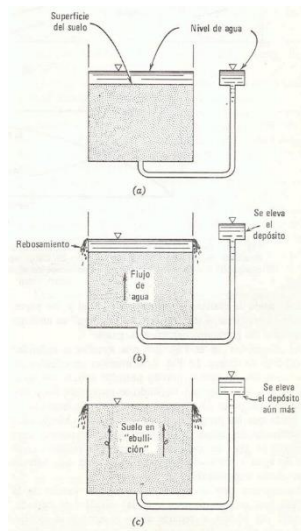


Figura 5. Interacción física, entre las fases mineral e intersticial, a). hidrostático, el agua no circula, b). Pequeño flujo de agua, c). sifonamiento o ebullición.

Fuente: Carr. Pachuca. Francisco Javier (2011), Mecanica de Suelos I

Suponiendo ahora, que aumenta la presión del agua, mientras el nivel del recipiente se mantiene constante por medio de un rebosadero, en este caso

existirá un flujo constante de agua y el caudal del líquido que fluya, estará en función de la sobrepresión aplicada al fondo del recipiente, generando una propiedad en el suelo denominada como permeabilidad. (Olguin Coca, 2011)

Si la sub-presión del agua aumenta, se alcanzará una presión para la cual la arena hierve bajo el flujo ascensional del agua, se dice que ha alcanzado el estado de ebullición o sifonamiento, evidentemente ha existido una interacción física entre el esqueleto mineral y el agua intersticial. (Olguin Coca, 2011)

El agua puede circular a través del suelo, ejerciendo un efecto sobre el esqueleto mineral que modifica la magnitud de las fuerzas en los puntos de contacto entre partículas e influye sobre la resistencia del suelo a la compresión y al esfuerzo cortante. (Olguin Coca, 2011).

Comportamiento volumétrico

Se refiere al cambio de volumen del suelo como son la compactación y expansión de suelos.

Algunos suelos pueden presentar un comportamiento expansivo o colapsable, o hasta combinar los dos fenómenos en un mismo proceso de humedecimiento si las tensiones exteriores son suficientemente bajas o altas. Las deformaciones consideradas son globales del suelo, que concluyen tanto las componentes recuperables como irre recuperables. Alonso et al. (1987) analizan las deformaciones volumétricas de los suelos colapsables y expansivos (Barrera Bucio & Garnica Anguas, INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS EN VÍAS TERRESTRES , 2002).

La carga aplicada controla, en gran medida, la cantidad de hinchamiento de los suelos cuando los sometemos a una disminución en la succión. Cuanto mayor es la carga aplicada, menor es el hinchamiento. En los suelos expansivos, los procesos cíclicos de humedecimiento y secado provocan una expansión irre recuperable (plástica) en el primer humedecimiento y a partir de él, el comportamiento es prácticamente elástico. (Barrera Bucio & Garnica Anguas, INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS EN VÍAS TERRESTRES , 2002)

La mayoría de los suelos pueden hinchar o colapsar dependiendo de la carga aplicada, cuando se disminuye la succión. Para cargas elevadas el suelo colapsa, pero hincha con cargas bajas. Sin embargo, no es sencillo determinar el valor de la carga a partir del cual el suelo hincha o colapsa, dado que este comportamiento depende del valor de la succión. Es decir, un suelo que inicialmente hincha al disminuir la succión, puede llegar a un valor de la succión para el cual empiece a colapsar, aunque el resultado global sea un hinchamiento (Fig. 2.10). En los suelos compactados, estos

fenómenos están relacionados con el hecho de que aquellos que se compactan del lado seco del óptimo presentan una estructura de agregados. Inicialmente se produce un hinchamiento por el humedecimiento, pero la resistencia de los contactos entre los agregados disminuye con la succión de modo que al llegar a un valor crítico (que depende de la carga de forma inversa) la estructura colapsa. (Barrera Bucio & Garnica Anguas, INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS EN VÍAS TERRESTRES , 2002)

Los suelos con una estructura abierta experimentan un colapso cuando se disminuye la succión. A medida que se incrementa la carga aplicada, el colapso producido al saturar un suelo, aumenta hasta llegar a un valor máximo, después del cual el colapso disminuye (Fig. 2.11). El valor de la carga para la cual se produce el colapso máximo depende, entre otros factores, del tipo de suelo, la humedad inicial y la densidad seca inicial. (Barrera Bucio & Garnica Anguas, INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS EN VÍAS TERRESTRES , 2002).

Comportamiento deformacional de los suelos no saturados

Fenómeno de colapso

En los suelos parcialmente saturados con una estructura abierta, al aumentar el grado de saturación debido a cambios ambientales o de otro tipo, pueden producir reducciones volumétricas irreversibles sin que varíen las sollicitaciones externas del suelo; es decir, sin aumento de la carga aplicada; este fenómeno se conoce con el nombre de colapso. (Barrera Bucio & Garnica Anguas, INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS EN VÍAS TERRESTRES , 2002)

Según (Barrera Bucio & Garnica Anguas, INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS EN VÍAS TERRESTRES , 2002) El colapso es uno de los fenómenos más característicos de los suelos parcialmente saturados y ha sido estudiado por numerosos autores, entre los que se pueden citar Dudley (1970), Jiménez Salas et al., (1973), Maswoswe (1985), entre otros, que exponen las características que debe tener un suelo para que en él ocurra un colapso:

Estructura abierta, no saturada, tipo panal de abeja, capaz de reducir significativamente su volumen a expensas de una disminución del volumen de poros.

Un estado exterior de carga suficientemente grande como para generar una condición metaestable para la succión aplicada.

La existencia de enlaces entre partículas, que se debiliten en presencia del agua.

Según (Jiménez Salas & Justo, 1975) “algunos materiales arcillosos de baja y mediana plasticidad presentan un comportamiento combinado de hinchamiento y colapso cuando se los satura. El cambio neto de volumen que experimenta un suelo arcilloso cuando se pone en contacto con el agua

es la suma de dos términos, por un lado, el hinchamiento que se produce al relajar las tensiones netas entre partículas y por otro el colapso que ocurre al fallar las uniones entre grandes partículas. La deformación que se atribuye al hinchamiento puede ser elástica no así la que corresponde al colapso. Esta última implica un reordenamiento de la estructura y es irreversible”.

Un mismo suelo puede sufrir hinchamientos o colapso, o ningún cambio de volumen de acuerdo con la densidad seca, la humedad, y la presión aplicada en el momento en el que se lo inunda, como señalan Jennings y Kenight (1975), según estos autores, hay un cruce en las curvas obtenidas en los ensayos realizados en un doble edómetro , que separa la zona de hinchamientos probables, de la zona de colapsos probables (Barrera Bucio & Garnica Anguas, INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS EN VÍAS TERRESTRES , 2002).

Mecanismo de colapso

Según (Barrera Bucio & Garnica Anguas, INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS EN VÍAS TERRESTRES , 2002) encontró que Un suelo que tiene tendencia a colapsar, en general es estable mientras el grado de saturación es inferior a un cierto límite, a partir del cual la llegada del agua puede debilitar suficientemente los enlaces existentes como para que se produzcan deslizamientos tangenciales en los contactos entre partículas. Los enlaces entre las partículas del suelo pueden ser de varios tipos:

Enlace capilar que se presenta fundamentalmente en el caso de limos y arenas. Los meniscos que se forman en la interface (aire-agua-partículas sólidas), generan fuerzas normales que aumentan las tensiones entre dichas partículas, rigidizando el conjunto. En el caso de las arcillas este fenómeno no es tan claro a nivel de partículas, aunque es probable que ocurra a nivel de agrupaciones más grandes de las mismas. En cualquier caso, si el grado de saturación crece por aumento de la humedad o por reducción del índice de vacíos, estos enlaces desaparecen con lo que el conjunto se debilita pudiendo llegar al colapso si la presión exterior aplicada es suficientemente grande.

Enlaces con puentes de partículas arcillosas que unen entre sí partículas mayores de limo, arena o arcilla. Las partículas de arcilla que forman los puentes pueden ser de origen diferente, pueden haber sido transportadas por el agua, o estar allí desde la formación del suelo, o ser autogenéticas por acción del agua intersticial sobre los feldspatos existentes. Estos puentes de arcillas pueden desaparecer o cambiar su estructura con la llegada del agua.

Enlaces por cementación formados por el arrastre de sales, generalmente calcáreas, que precipitan en los huecos que dejan las partículas de arena. Si posteriormente estos suelos son sometidos a un lavado permanente, las sales pueden disolverse desapareciendo los ensalces y causando así una reordenación de la estructura.

En todos los enlaces descritos la llegada del agua causa el mismo efecto: reducción de la resistencia al corte en los contactos entre partículas sólidas. Si esta resistencia cae por debajo del esfuerzo impuesto por las cargas exteriores aplicadas se produce el colapso que conduce a una nueva estructura capaz de resistir el nuevo estado de tensiones. Una vez que ha ocurrido el colapso la nueva estructura del suelo es estable y es incapaz de sufrir nuevo colapso a menos que cambie el estado tensional existente y/o el grado de saturación. Los Ensayos de Booth (1975), Yudhbir (1982) y Maswoswe (1985) muestran que el colapso alcanza un máximo a partir del cual disminuye. El tipo de suelo y de estructura que se tiene en el suelo condiciona la magnitud del máximo de colapso y la presión para la que se produce. (Barrera Bucio & Garnica Anguas, INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS EN VÍAS TERRESTRES , 2002).

Fenómeno de hinchamiento

Determinados suelos (expansivos) sufren fenómenos de hinchamiento de magnitud considerable al aumentar su humedad. Aunque en general hinchamiento es cualquier disminución de deformación volumétrica, como por ejemplo la producida al reducir la tensión esférica, en este caso se refiere expresamente a este aumento de volumen provocado en el proceso de humedecimiento manteniendo constante el estado tensional exterior. (Barrera Bucio & Garnica Anguas, INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS EN VÍAS TERRESTRES , 2002)

El proceso de hinchamiento se produce cuando un suelo no saturado se humedece adsorbiendo agua entre sus partículas y aumentando de volumen. Este aumento de volumen tiene una componente debida a la relajación de las tensiones intergranulares al aumentar el grado de saturación. De hecho, se pueden cambiar estos dos fenómenos, absorción de agua y relajación tensional, con un posible colapso, dependiendo de la estructura del suelo (densidad seca, presión exterior, etc.). En general, el hinchamiento está asociado a terrenos arcillosos plásticos con densidades secas altas y presiones exteriores bajas, contrariamente a lo habitual en procesos de colapso. (Barrera Bucio & Garnica Anguas, INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS EN VÍAS TERRESTRES , 2002)

Los suelos no saturados que contienen minerales arcillosos como la illita, la caolinita y la montmorillonita tienen tendencia a hinchar cuando se

ponen en contacto con el agua. Lambe y Whitman (1959) se han referido exhaustivamente a estos minerales y consideran que el potencial de hinchamiento de los minerales arcillosos expansivos depende de los siguientes factores: estructura de los cristales; estructura del grupo de cristales y la capacidad de intercambio catiónico. (Barrera Bucio & Garnica Anguas, INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS EN VÍAS TERRESTRES , 2002)

Los mecanismos que producen el hinchamiento están relacionados con las propiedades y características de las partículas arcillosas. Son fundamentales las cargas eléctricas netas existentes en estas partículas provocadas, sobre todo, por sustituciones isomorfas, y la consecuente formación de la capa doble difusa conteniendo cationes y moléculas de agua. (Barrera Bucio & Garnica Anguas, INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS EN VÍAS TERRESTRES , 2002)

(Burton, Sheng, & Airey, 2014) resume en tres los mecanismos microestructurales fundamentales que producen el hinchamiento

Hidratación de las partículas de arcilla: las partículas de arcilla, con cargas negativas, se rodean de moléculas de agua que a su vez atraen a otras moléculas de agua al quedar desbalanceada su carga eléctrica. El equilibrio eléctrico puede ser satisfecho también por cationes, formándose así cadenas de partículas-agua-cación-agua-partícula. En resumen, la partícula de arcilla se hidrata y aumenta de volumen.

Hidratación de cationes: Los cationes adsorbidos en la capa doble difusa se rodean de moléculas de agua produciendo el consiguiente aumento de volumen.

Repulsión osmótica: la concentración de cationes en la capa doble difusa decrece al alejarse de la partícula arcillosa, lo cual puede provocar una migración de las moléculas de agua hacia el interior por ósmosis si se pone en contacto con agua pura o con agua con una concentración más baja de cationes. El resultado es un aumento de volumen.

Factores que afectan al hinchamiento

El proceso de hinchamiento de un terreno viene afectado por una serie de factores que condicionan su evolución y magnitud. (Ordóñez Ruiz, Auvinet Guichard, & Juárez Camarena, 2014) resume estos factores en los siguientes:

Tipo de minerales y cantidad de los mismos: cuanto más expansivos sean los minerales presentes en el suelo mayor será el hinchamiento que se producirá cuando el suelo se inunde. – **Densidad:** para el mismo suelo con

la misma humedad inicial, el hinchamiento será mayor cuanto mayor sea la densidad seca del mismo. Este fenómeno se puede observar también en los ensayos realizados por Cox (1978) sobre una limonita con un 27 % de arcilla que fue sometida a diversas presiones e inundada posteriormente. Estado de tensiones: la magnitud del hinchamiento es tanto menor cuanto mayor es la presión aplicada al suelo pudiendo llegar a anularlo por completo.

Estructura del suelo: los suelos que han experimentado cementaciones tienen menor tendencia a hinchar. señalan que las estructuras floculadas tienen mayor tendencia a hinchar que las dispersas, en cambio la retracción es mucho menor para las primeras.

Tiempo: dado que los suelos arcillosos expansivos son muy poco permeables, el proceso de absorción de agua de los mismos puede durar semanas, incluso años dependiendo de las condiciones de infiltración y del espesor del estrato.

Fluidos intersticiales: la presencia de sales disueltas en el agua que ocupan los poros del suelo influye en los fenómenos de formación de la capa doble. Una elevada concentración de sales y un pH alto favorecen la disociación de éstas y por lo tanto aumenta la cantidad de cationes presentes en el agua libre. Esto hace que se produzca una menor adsorción de cationes y que por lo tanto el hinchamiento sea menor.

Humedad: a igualdad de otros factores la humedad del suelo influye también en la magnitud del hinchamiento. Cuanto menor es la humedad mayor es la expansividad potencial por cuanto el suelo es capaz de adsorber mayor cantidad de agua.

De acuerdo con los factores indicados, en un proceso de compactación la expansividad del suelo estará directamente relacionada con el método utilizado, la energía de compactación o la humedad inicial.

Lluvia

La lluvia (del lat. pluvĭa) es un fenómeno atmosférico de tipo acuático que se inicia con la condensación del vapor de agua contenido en las nubes. Según la definición oficial de la Organización Meteorológica Mundial, la lluvia es la precipitación de partículas líquidas de agua, de diámetro mayor de 0,5 mm o de gotas menores, pero muy dispersas. Si no alcanza la superficie terrestre, no sería lluvia sino virga y si el diámetro es menor sería llovizna. La lluvia se mide en milímetros al año, menos de 200 son pocas, entre 200 y 500 son escasas, entre 500 y 1.000 son normales, entre 1.000 y 2.000 son abundantes y más de 2.000 son muchas. La lluvia

depende de tres factores: la presión atmosférica, la temperatura y, especialmente, la humedad atmosférica. (Lobios, 2013).

Origen de la lluvia

Según (Lobios, 2013) La lluvia puede originarse en diferentes tipos de nubes, generalmente nimbostratus y cumulonimbus, así como en diferentes sistemas organizados de células convectivas: la persistencia de una lluvia abundante requiere que las capas de nubes se renueven continuamente por un movimiento de ascenso de las más inferiores que las sitúe en condiciones propicias para que se produzca la lluvia. Únicamente así se explica que algunas estaciones meteorológicas, como las de Baguio (en la isla de Luzón, en las Filipinas), haya podido recibir 2.239 mm, de lluvia en cuatro días sucesivos. Todo volumen de aire que se eleva se dilata y, por consiguiente, se enfría. La ascensión de las masas de aire puede estar ligada a diversas causas, que dan lugar a diversos tipos de lluvia:

Lluvias de convección: Al calentarse las capas bajas que están en contacto con la superficie terrestre, el aire se hace más ligero, se expande, pesa menos y sube. Al subir se enfría y se produce la precipitación. Es característico de las latitudes cálidas y de las tormentas de verano de la zona templada.

Lluvias orográficas: Se producen cuando una masa de aire húmeda choca con un relieve montañoso y al chocar asciende por la ladera orientada al viento (barlovento); en la ladera opuesta a sotavento no se producen precipitaciones, porque el aire desciende calentándose y se hace más seco.

Lluvias frontales o ciclónicas: Se produce en las latitudes templadas al entrar en contacto dos masas de aire de características térmicas distintas, como las provocadas por el frente polar (zona de contacto entre las masas de aire polares (frías) y tropicales (cálidas), Aparece acompañado de borrascas que son las causantes del tiempo inestable y lluvioso.

Frente frío

Frente cálido

Frente ocluido

Clasificación según su intensidad

Oficialmente, la lluvia se adjetiviza respecto a la cantidad de precipitación por hora (Tabla 1). Uno de los términos más empleados en los medios de comunicación es la lluvia torrencial, que comúnmente se asocia a los torrentes y por lo tanto a fenómenos como las inundaciones repentinas, deslaves y otros con daños materiales. (Lobios, 2013).

Tabla 06: Clasificación de la precipitación según la intensidad

Tabla correspondencia intensidad de precipitación		
Color	Intens. (mm/h)*	Tipo de precipitación
Red	mayor a 250	Granizo de gran tamaño
Orange	mayor a 250	Torrencial y granizo
Yellow-Orange	100 a 250	Torrencial y prob. granizo
Yellow	40 a 100	Lluvia muy fuerte a torrencial
Light Green	16 a 40	Lluvia fuerte
Green	6'5 a 16	Lluvia moderada
Dark Green	2'5 a 6'5	Lluvia ligera
Cyan	1 a 2'5	Lluvia débil
Blue	0'4 a 1	Lluvia muy débil
Dark Blue	0'1 a 0'4	Traza de precipitación

* 1 mm de precipitación es equivalente a 1 (l/m²)

Medición de la lluvia

La precipitación se mide en milímetros de agua, o litros caídos por unidad de superficie (m²), es decir, la altura de la lámina de agua recogida en una superficie plana es medida en mm o l/m². Nótese que 1 milímetro de agua de lluvia equivale a 1 L de agua por m². (Lobios, 2013)

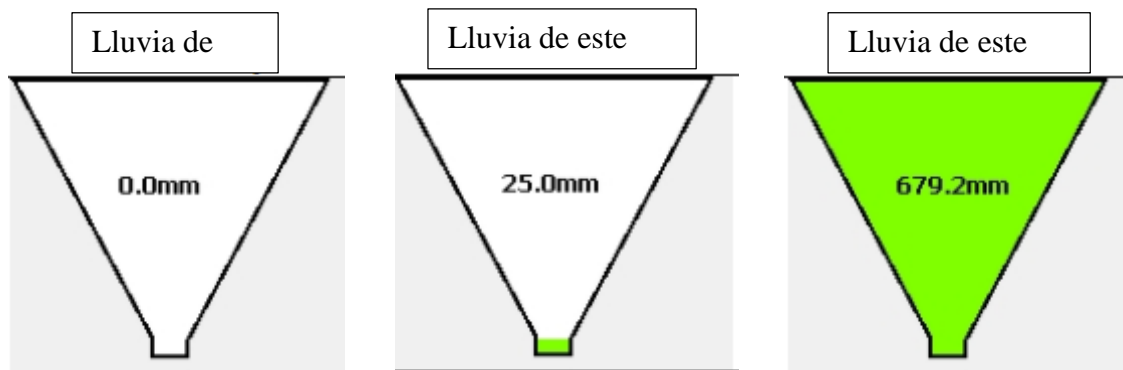


Figura 6. Medición por acumulación de lluvias

Fuente: Mateo Lobios (2013), Lluvia

Según (Lobios, 2013) La cantidad de lluvia que cae en un lugar se mide por los pluviómetros. La medición se expresa en milímetros de agua y equivale al agua que se acumularía en una superficie horizontal e



impermeable durante el tiempo que dure la precipitación o sólo en una parte del periodo de la misma.

Pluviómetro manual: es un indicador simple de la lluvia caída, consiste en un recipiente especial cilíndrico, por lo general de plástico, con una escala graduada en donde todas las marcas están a igual distancia entre sí. La altura del agua que llena la jarra es equivalente a la precipitación y se mide en mm.

Pluviómetros totalizadores: se componen de un embudo o triángulo invertido, que mejora la precisión y recoge el agua en un recipiente graduado. A diferencia del anterior, cuanto más hacia abajo están, las marcas de los milímetros se van separando entre sí cada vez más, esto compensa el estrechamiento del recipiente. El mismo tiene esa forma para dar más precisión en lluvias de poco volumen y facilitar su lectura. El instrumento se coloca a una determinada altura del suelo y un operador registra cada 12 horas el agua caída. Con este tipo de instrumento no se pueden definir las horas aproximadas en que llovió.

Pluviógrafo de sifón: consta de un tambor giratorio que, rota con velocidad constante, este tambor arrastra un papel graduado, en la abscisa se tiene el tiempo y en la ordenada la altura de la precipitación pluvial, que se registra por una pluma que se mueve verticalmente, accionada por un flotador, marcando en el papel la altura de la lluvia.

Pluviógrafo de doble cubeta basculante: el embudo conduce el agua colectada a una pequeña cubeta triangular doble, de metal o plástico, con una bisagra en su punto medio. Es un sistema cuyo equilibrio varía en función de la cantidad de agua en las cubetas. La inversión se produce generalmente a 0,2 mm de precipitación, así que cada vez que caen 0,2 mm de lluvia la báscula oscila, vaciando la cubeta llena, mientras comienza a llenarse la otra.

III. CONCLUSION

- Se redactaron las bases teóricas de la investigación acerca de la Influencia en el comportamiento volumétrico en suelos con alto contenido de finos en la Urb. UPAO II etapa, ante la presencia de altas intensidades de lluvia encontrando la información necesaria para realizar la tesis.
- Se definió la información acerca del origen y formación de los suelos y se logro redactar la información acerca de la clasificación de suelos.
- Se reviso la teoría acerca de los cambios volumétricos a la cual se encuentra el suelo frente a la acción del interperismo.
- Se identifico la teoría necesaria acerca de la interacción química y física de los suelos.
- Se investigó el comportamiento deformacional de los suelos no saturados.
- Se investigó acerca del mecanismo de colpaso e inchamiento de los suelos saturados.

IV. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

Agua, C. N. (2007). www.cna.gob.mx . Obtenido de Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.:
<ftp://ftp.conagua.gob.mx/Mapas/libros%20pdf%202007/Geotecnia%20en%20Suelos%20Inestables.pdf>

Alfaro Soto, M. (2014). Geotecnia en suelos no saturados. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias, www.accefyn.org.co.

Alfaro Soto, M. A. (2014). Deformaciones volumétricas con y sin colapso de algunos suelos no saturados. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias, 355-362.

Barrera Bucio, M., & Garnica Anguas, P. (2002). INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS EN VÍAS TERRESTRES . Mexico: SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES; INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE .

Burton, G. J., Sheng, D., & Airey, D. (Abril de 2014). Experimental study on volumetric behaviour of Maryland clay and the role of degree of saturation. Canadian Geotechnical Journal, págs. 1449-1455.

Cahuape Casaux, M., Garibay, M., & Angelone, S. (Septiembre de 2006). Permeabilidad De Suelos. Permeabilidad De Suelos. Rosario, Santa Fe, Argentina.

Carnero Guzmán, G., & Carnero Carnero, E. (2015). Técnica constructiva de terraplenes húmedos y su aplicación en la. Rev. Investig. Altoandin., 1.

Chávez Negrete, C., Alarcón Ibarra, J., Espinosa Arreola, J. d., & Arreygue Rocha, J. E. (2016). Colapso por humedecimiento en los terraplenes de la

autopista. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, Sistema de Información Científica Redalyc.

Chávez, J. A., López, R., Kopecky, L., & Landaverde, J. (2013). Soil-Water retention curve and beginning of monitoring in Tierra Blanca Joven (TBJ). *Revista Geologica de America Central*, 83-99.

Colmenares-2002, & Citado en Rodríguez Castiblanco, R. C. (2014). Evaluación del Comportamiento Geomecánico de Arcillas en el Sector de Campoalegre – Ciudad de Barranquilla. Barranquilla, Colombia.

Condori Quispe, B. M. (2012). INVESTIGACIÓN DEL CONGLOMERADO ESPECIAL EN LA CIUDAD DE TACNA. PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA. LIMA, PERU.

Espinoza Morocho, Á. O. (2015). Caracterización de arcillas expansivas en el sector Salapa. SALAPA, ECUADOR.

Fernandez Sixto, E. A. (1998). INVESTIGACIÓN DEL CONGLOMERADO COLAPSABLE DE LA CANO-VITOR AREQUIPA. Lima - Peru.

Franch, J. (2013). Permeabilidad de los suelos: concepto y determinación (“in situ” y en laboratorio). *GEOSUPPORT*, 1.

Francisco Javier, O. C. (Agosto de 2011). *Mecanica de Suelos 1. Mecanica de Suelos 1*. Pachuca de Soto, Mexico.

García Tristán, J., Cobelo Cristiá, W. D., Quevedo Sotolongo, G. J., & García Fernández, C. A. (2015). Comportamiento volumétrico de un suelo de la formación Capdevila en condiciones de saturación parcial. Resultados de la búsqueda RCI.

Jenny, G. T., D., C. C., J., Q. S., & A., G. F. (2015). Comportamiento volumétrico de un suelo de la formación Capdevila en condiciones de saturación parcial. *Revista Cubana de Ingeniería (RCI)*.

Joan, F. (13 de MAYO de 2013). GEOSUPPORT. Obtenido de estudios geotécnicos en los ámbitos de la edificación y la ingeniería civil. *Ingeniería geológica*: <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/suelos-expansivos-colapsables/>

Lobios, M. (2013). www.meteolobios.es. Obtenido de www.meteolobios.es: <http://www.meteolobios.es/lluvia.htm>

Obando Garcia, M. D. (7 de junio de 2015). PATOLOGIA DE LOS PAVIMENTOS EN LA CIUDAD DE TRUJILLO PATOLOGÍA DE LOS PAVIMENTOS EN LA CIUDAD TRUJILLO. Trujillo, La Libertad, Trujillo.

Ochoa Victoria, M. (2012). Suelos parcialmente saturados, de la investigación de la cátedra universitaria. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, www.revista.unal.edu.co.

Olguin Coca, F. J. (Agosto de 2011). *Mecánica de Suelos I*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca de Soto, Hidalgo, Mexico: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Ordóñez Ruiz, J., Auvinet Guichard, G., & Juárez Camarena, M. (2014). Caracterización del subsuelo y análisis de riesgos geotécnicos asociados a las arcillas expansivas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. *Ingeniería Investigación y Tecnología*.

Quispe Condori, B. M. (2016). UTILIZACIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELO A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN EL JR. AREQUIPA, PROGRESIVA KM 0+000 - KM 0+100, DISTRITO DE ORCOTUNA, CONCEPCIÓN. PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL . HUANCAYO, PERU.



Redolfi, E. R. (2007). SUELOS COLAPSABLES . SUELOS COLAPSABLES . CORDOBA, ARGENTINA : UNIVESIDAD NACIONAL DE CORDOBA – ARGENTINA.

Rodríguez Castiblanco, E. A. (2014). Evaluación del Comportamiento Geomecánico de Arcillas en el Sector de Campoalegre – Ciudad de Barranquilla. Bogotá, Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

ANEXO N° 2

MATRIZ DE DATOS

Items	TEMA	AUTOR	FUENTE
1	Manual de agua potable, saneamiento y Alcantarillado.	Comisión Nacional del Agua- México	ftp://ftp.conagua.gob.mx/Mapas/libros%20pdf%202007/Geotecnia%20en%20Suelos%20Inestables.pdf
2	Geotecnia en suelos no saturados	Alfaro Soto, M. (2014).	www.accefyn.org.co .
3	Deformaciones volumétricas con y sin colapso de algunos suelos no saturados	Alfaro Soto, M. (2014).	http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Ingenieria/Vol-6/2-2015/01_rci_02_2015.pdf



4	Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres. México: secretaría de comunicaciones y transportes; Instituto Mexicano del Transporte	Barrera Bucio, M., & Garnica Anguas, P. (2002).	https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt198.pdf
5	Permeabilidad De Suelos. Permeabilidad De Suelos.	Cahuape Casaux, M., Garibay, M., & Angelone, S. (Septiembre de 2006).	https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf
6	Evaluación del Comportamiento Geomecánica de Arcillas en el Sector de Campoalegre	Rodríguez Castiblanco, E. A. (2014)	http://www.bdigital.unal.edu.co/46799/1/299993.2014.pdf
7	Suelos Colapsables	Redolfi, E. R. (2007).	www.docentes.unal.edu.co/aepazgon/docs/Suelos%20Colapsables.pdf
8	Estudios Geotécnicos en los ámbitos de la Edificación y la Ingeniería Civil	Joan, F. (13 de MAYO de 2013).	http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/suelos-expansivos-colapsables/