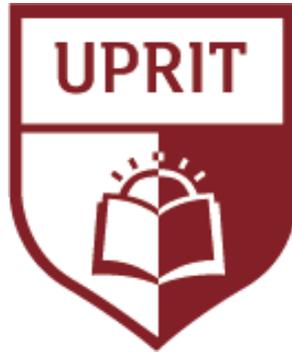


**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**IMPACTO DE LOS ESTABILIZADORES QUIMICOS EN LAS  
PROPIEDADES MECANICAS DE UN SUELO EXPANDIBLE EN LA  
URBANIZACION SANTA MARIA IV ETAPA TRUJILLO 2020**

**TESIS:**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

**Bach. Iván Rivera Chura**

**ASESOR:**

**ING. Josualdo Carlos Villar Quiroz**

**TRUJILLO – PERÚ**

**2020**

## HOJA DE FIRMAS

### IMPACTO DE LOS ESTABILIZADORES QUIMICOS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN SUELO EXPANSIBLE EN LA URBANIZACION SANTA MARIA IV ETAPA - TRUJILLO, 2020.

**Autor:**

Bachiller. Iván Rivera Chura.

---

Ing. Enrique Durand Bazán  
PRESIDENTE

---

Ing. Guido Marín Cubas  
SECRETARIO

---

Ing. Elton Javier Galarreta Malaver  
VOCAL

## DEDICATORIA.

Dedico esta tesis:

A Dios por darme la vida y estar siempre a mi lado en todo momento más difíciles dándome las fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día y seguir adelante.

A mi esposa Dorita por darme su apoyo incesante, incondicional, a mis hijos quienes siempre me han apoyado moralmente y han estado a mi lado; para la culminación de esta tesis.

Iván Rivera Chura.

## **AGRADECIMIENTO.**

A la Universidad Privada De Trujillo, por darnos la oportunidad de mejorar nuestra calidad personal y profesional.

A mis docentes, los Ingenieros que vertieron en mí, sus conocimientos y experiencias sin egoísmos ni limitaciones, y así poder realizarme como futuro Ingeniero Civil

A mi esposa Dorita por apoyarme siempre.

El autor.

---

## ÍNDICE DE CONTENIDOS.

HOJA DE FIRMAS.....	2
I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.2. Formulación del problema.....	18
1.3. Justificación.....	18
1.4. Objetivos.....	20
1.4.2. Objetivos Específicos.....	20
1.5. Antecedentes.....	21
1.6. Bases Teóricas.....	- 30 -
1. RESISTENCIA AL CORTE.....	- 30 -
2. PRESIÓN LATERAL DEL SUELO.....	- 30 -
3. CONSOLIDACIÓN.....	- 30 -
4. CAPACIDAD DE CARGA.....	- 31 -
5. PERMEABILIDAD Y FILTRACIÓN.....	- 31 -
6. ESTABILIDAD DE TALUDES.....	- 31 -
1.7. Definición de términos básicos.....	- 47 -
1.8. Formulación de la hipótesis.....	- 50 -
1.9. Variables.....	- 52 -
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	- 53 -
2.1. Material:.....	- 53 -
2.2. Material de estudio.....	- 54 -
2.2.2. Muestra.....	- 55 -
2.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	- 55 -
2.3.2. Para procesar datos.....	- 56 -
2.4. Operacionalización de variables.....	- 68 -
III. RESULTADOS.....	- 68 -
IV. DISCUSIÓN.....	- 70 -
V. CONCLUSIONES.....	- 72 -
VI. RECOMENDACIONES.....	- 73 -
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	- 74 -

---

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 01 Angulo de friccion interna.....	32
TABLA N° 02 Coeficientes de permeabilidad .....	39
TABLA N° 03 Clases de permeabilidad de los suelos .....	40
TABLA N° 04 grado de potencial expansivo .....	43
TABLA N° 05 Identificacion de suelos expansivos .....	46
TABLA N° 06 Estabilizador quimico de suelos .....	48
TABLA N° 07 Clasificacion de suelos expansivos .....	48
TABLA N° 08 Propiedades mecanicas de suelos.....	49
TABLA N° 09 Estabilizacion de suelos .....	49
TABLA N° 10 Hipotesis general .....	50
TABLA N° 11 Hipotesis especificas .....	51
TABLA N° 12 Definicion de variables .....	52
TABLA N° 13 Clasificacion de variables.....	53
TABLA N° 14 Operacionalizacion de variables.....	68
TABLA N° 15 Propiedades del suelo estabilizado .....	68
TABLA N° 16 Porcentaje de cal adicionada .....	69

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 01 Estructura que dan coesion a los suelos granulares.....	32
FIGURA N° 02 Peso especifico de un suelo .....	34
FIGURA N° 03 Conductividad hidraulica .....	35
FIGURA N° 04 Relacion de vacio de un suelo .....	35
FIGURA N° 05 Estabilizacion quimica de un suelo .....	36
FIGURA N° 06 Relacion coloides indice plastico.....	45
FIGURA N° 07 Relacion actividad frente al porcentaje de arcilla .....	46
FIGURA N° 08 Tecnicas de muestreo.....	55

---

FIGURA N° 09 Prueba de hipotesis .....	57
FIGURA N° 10 Procedimiento experimental.....	58

## ANEXOS

ANEXO N° 01 Distribucion de los suelos expansivos en el mundo .....	76
ANEXO N° 02 Perfil estratigrafico .....	77
ANEXO N° 03 Mapa de microzonificacion del distrito de trujillo .....	78
ANEXO N° 04 Mapa de clasificacion de suelos del distrito de trujillo .....	79
ANEXO N° 05 Distribucion de urbanizaciones del distrito de trujillo.....	80
ANEXO N° 06 Contenido de humedad.....	81
ANEXO N° 07 Analisis granulometrico por tamizado .....	82
ANEXO N° 08 Limite de atterberg.....	83
ANEXO N° 09 Contenido de humedad.....	84
ANEXO N° 10 Analisis granulometrico por tamizado .....	85
ANEXO N° 11 Limites de atterberg .....	86
ANEXO N° 12 Contenido de humedad.....	87
ANEXO N° 13 Analisis granulometrico por tamizado .....	88
ANEXO N° 14 Limites de atterberg .....	89
ANEXO N° 15 Contenido de humedad.....	90
ANEXO N° 16 Fotografias .....	91
ANEXO N° 17 Grado de compactacion .....	93
ANEXO N° 18 Compactacion .....	94
ANEXO N° 19 Expansion .....	94
ANEXO N° 20 Penetracion.....	94

## RESUMEN.

La presente investigación se realizó en la Universidad Nacional de Trujillo, se determinó la influencia del uso de estabilizadores químicos en la mejora de las propiedades mecánicas de los suelos cohesivos de la Urbanización Santa María IV etapa de la ciudad de Trujillo, para la realización de la tesis se utilizó un diseño experimental puro, el muestreo fue no probabilístico por juicio, la recolección de datos se realizó con la técnica de la observación, el instrumento fue la guía de observación, para analizar los datos se empleó la inferencia estadística, el problema es que la baja resistencia que presentan los suelos cohesivos de la urbanización santa maría IV etapa no, los mismos que no permiten que se realicen diseños económicos tanto como en proyecto de edificaciones como de infraestructura vial, los resultados obtenidos dan a conocer que el uso de la Cal como estabilizador químico en porcentajes de 2%, 4% y 6% mejora cuantiosamente las propiedades mecánicas que presenta el suelo, esto se ve evidenciado claramente en nuestros resultados del CBR al 100% con relación a la norma ASTM D- 1883.

## ABSTRACT.

The present investigation was carried out in the National University of Trujillo, the influence of the use of chemical stabilizers in the improvement of the mechanical properties of the cohesive soils of the Urbanization Santa Maria IV stage of the city of Trujillo was determined, for the realization of the thesis used a pure experimental design, the sampling was non-probabilistic by trial, the data collection was performed with the observation technique, the instrument was the observation guide, to analyze the data the statistical inference was used, the problem is that the low resistance of the cohesive soils of the Santa Maria IV urbanization stage does not, the same ones that do not allow economic designs to be made as much as in the construction project or road infrastructure, the results obtained show that the use of the Cal as a chemical stabilizer in percentages of 2%, 4% and 6% greatly improves the mechanical properties This is clearly evidenced in our 100% CBR results in relation to the ASTM D-1883 standard.

## I. INTRODUCCIÓN.

### 1.1. Realidad problemática.

#### GEOTECNIA

**Muchick (2015)** Es la rama de la geología y a su vez, recibe aportes de la ingeniería civil (con la que se entrelaza) que se ocupa de la aplicación de los principios geológicos en la investigación de materiales naturales -como rocas- que forman la corteza terrestre que participan en el diseño, construcción y operación de proyectos de ingeniería civil, como carreteras, ferrocarriles, puentes, presas, oleoductos, acueductos, unidades de vivienda, sitios de confinamiento y edificios en general. El conocimiento exacto de **las propiedades mecánicas del suelo** y las condiciones ambientales y físicas, donde se pretende construir, son el mejor medio de prevención de los desastres naturales que pueden causar graves daños a las obras civiles y los seres humanos que los habitan. Por ello, los ingenieros geotécnicos, además de entender cabalmente los principios de la mecánica y de la hidráulica, necesitan un claro y adecuado dominio de los conceptos fundamentales de la geología y la geofísica. Es de especial importancia conocer las condiciones bajo las cuales determinadas rocas fueron creadas o depositadas, así como su adecuada clasificación, su edad en millones de años, y los posteriores procesos estructurales o diagenéticos (procesos metamórficos, de sustitución, cristalización, plegamientos, fallamientos etc.) que han sufrido. Los ingenieros geotécnicos también investigan el riesgo para los seres humanos, las propiedades y el ambiente de fenómenos naturales o propiciados por la actividad humana tales como deslizamientos de terreno, hundimientos de tierra, flujos de lodo (mudflow) y caída de rocas (procesos de remoción en masa), así como medidas para mitigar este riesgo, como diseños de estructuras de contención (anclajes y muros), control de aguas de infiltración y de escorrentía en el medio geológico (subdrenes, cunetas, filtros)

#### V.D EN EL MUNDO:

Los suelos expansibles son muy estudiados en países donde se presentan frecuentemente ANEXO N° 07 por lo cual se hizo extenso el análisis con fin de

---

saber lidiar con este tipo de suelos y sus efectos perjudiciales para una estructura.

### **En Ecuador:**

**(Lopez Martinez, 2017)** Las **propiedades físico mecánicas de los suelos expansibles** son parámetros fundamentales para el diseño de la cimentación de cualquier estructura, de manera que la misma cumpla parámetros de calidad, servicialidad, y economía. El tipo de cimentación se selecciona de acuerdo a dos parámetros fundamentales: la carga que la estructura transmite al suelo, y al tipo de suelo y su capacidad portante. Los contrapisos por otro lado son elementos estructurales que se asientan y transmiten la carga directamente contra el suelo. En ciertas circunstancias es necesario realizar un mejoramiento de suelo para disminuir la profundidad de la cimentación, o para homogenizar el suelo a lo largo de la misma. En el caso de los contrapisos muchas veces también es necesario hacerlo para disminuir el grosor de la losa de contrapiso y evitar posibles fisuras en la misma durante su uso

### **En Colombia:**

**(Gomez Perez, Guillin Acosta, & Gallardo Amaya, 2016)** En Colombia se realizaron investigaciones acerca de las variaciones de las **propiedades mecánicas de suelos** arcillosos estabilizados con material cementante.

Los suelos que constituyen la subrasante pueden ser cohesivos, granulares o una mezcla de ambos; en el primer caso no se cuenta con una adecuada estructura que permita desarrollar una buena resistencia y una baja deformación, pues se componen de partículas finas y muy pocas partículas gruesas, que no alcanzan a estar en contacto entre sí. Cuando estos suelos incorporan agua en su estructura y son sometidos a la acción de cargas, tendrán un comportamiento inadecuado, representado en poca capacidad portante y apreciables cambios de volumen (Higuera et al., 2012). Las subrasantes de poca resistencia son un problema común en las vías (Tensor, 2015), debido a que presentan fallas que van provocando un deterioro rápido en la estructura del pavimento o cuando este no existe tienen un comportamiento inadecuado por sus condiciones de alta plasticidad y deformabilidad. Un comportamiento adecuado de un suelo con las características expuestas anteriormente requiere la aplicación de diversas

metologías de mejoramiento, entre las que se tienen la compactación, la mezcla con materiales de tipo granular, la incorporación de aditivos químicos, de modo que el suelo adquiriera una mejor resistencia al corte y una menor deformabilidad. En el caso de los aditivos químicos. Estos pueden corresponder a materiales que tengan reacción con el agua incorporada al suelo, como es el caso del cemento y la cal (Raj, 2005). La estabilización permite reducir la plasticidad del suelo de subrasante y mejorar sus condiciones de resistencia y deformabilidad a largo plazo; en el caso de la cal y el cemento este tipo de estabilización le proporciona una resistencia adicional por la acción cementante (Beltrán, 2015), incrementando la funcionalidad de la superficie existente y su aptitud para recibir cargas transmitidas por una estructura de pavimento (Sosa et al., 2010).

### **En España:**

**(Lopez Ruiz, s.f)** En España se realizan varios métodos de mejora geotécnica entre los cuales se encuentra la mejora de las **propiedades mecánicas de los suelos**. Los suelos intrínsecamente resisten, en general, bastante bien a compresión, en su estado natural, confinado, pero mal a la tracción, ya que la mayor parte de su resistencia depende de su rozamiento interno. Este no se moviliza a tracción, pero sí a compresión, si las tensiones las soporta el esqueleto sólido y no el agua intersticial, cuya resistencia al corte es prácticamente nula. En la mayoría de los casos de mejora geotécnica del suelo el objetivo del tratamiento es obtener uno o más de los siguientes cambios, en las propiedades o condiciones del suelo:

1. Aumentar la resistencia mecánica.
2. Reducir la compresibilidad en orden a minimizar los asientos bajo cargas estáticas.
3. Reducir el potencial de licuefacción bajo cargas dinámicas y movimientos sísmicos.
4. Disminuir la permeabilidad.
5. Disminuir la erosionabilidad.
6. Disminuir el potencial de colapso estructural.
7. Disminuir el potencial físico-químico de expansión.

### **En Perú**

**(Gutierrez Montes, 2010)** La estabilización química se refiere al cambio de las **propiedades de suelos expansibles** logrado mediante la adición de cementantes orgánicos, inorgánicos o sustancias químicas especiales. Es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto. La aplicación de un estabilizador químico tiene como objetivo principal transferir al suelo tratado, en un espesor definido, ciertas propiedades tendientes a mejorar sus propiedades de comportamiento ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio.

### **En La Libertad**

**(Gutierrez Montes, 2010)** En la carretera Viru – Zaraqque Tramo Km 0+00 hasta el Km 2+640 ubicado en el Departamento de La Libertad – Provincia de Viru se realizó una estabilización química a un suelo expansible con Bischofita, mejorando sus propiedades mecánicas.

### **Organismo Controlador:**

Ministerio de Transporte y Comunicaciones

MTC E 1109 –2004 NORMA TÉCNICA DE ESTABILIZADORES QUÍMICOS  
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES

Esta Norma Técnica ha sido desarrollada para establecer un procedimiento de verificación en que los estabilizadores químicos cumplan con las características técnicas inherentes a su elaboración, las mismas que han sido previamente definidas por su representante en el ámbito nacional y establecer los métodos de ensayo que se deben utilizar en la evaluación de las propiedades de comportamiento del suelo mejorado.

### **Macro:**

(Carrasco Mejia, 2017) Encontró que:

De acuerdo a los resultados obtenidos se determinó que si es posible dar la estabilización de los suelos arcillosos adicionando cenizas de caña de azúcar ya

---

que mediante los ensayos realizados con las muestras del suelo del tramo de moro a Virahuanca podemos concluir que si mejora sus propiedades. (Pag. 52)

**(Ponce Crispín, 2018)** Encontró que:

Acorde a los resultados obtenidos durante la ejecución del presente proyecto de investigación se llega a concluir que el uso del cloruro de calcio no influye significativamente en la estabilización de suelos arcillosos por el bajo nivel de incremento de CBR obtenido en los ensayos de laboratorio. (Pág. 123)

(Cubas Benavides & Chaves Arroyo, 2016) Encontró que: La ceniza de carbón muestra 2 (CC–M2) son las que mejor reacción obtienen al tratamiento de suelos arenosos y arcillosos por el alto contenido de óxido de silicio (CaO) que están asociados a la producción de cerámicos que poseen porcentajes de formas cementantes y favorecen a la estabilización (Pág. 201)

**(Ballarin Zavala, 2006)** Encuentra que: Se ha descrito los principios físico-químicos de los suelos arcillosos y arenosos. Los suelos arcillosos porque según las especificaciones técnicas de los productos, se sugiere que los suelos a ser tratados presenten un porcentaje de material fino mínimo entre el 12 y 30% para que la reacción química se logre y los suelos arenosos porque al desarrollar el ensayo de granulometría los resultados obtenidos muestran la presencia de arenas en su mayor parte. (Pág. 209)

**(Ugaz Palomino, 2006)** Encontró que: La estabilización de suelos para carreteras ha tenido en estos últimos tiempos una gran acogida por parte del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, al lanzar estudios de diseño en construcción, rehabilitación y mantenimiento de carreteras de tercer orden o caminos rurales. Debido a esto se han venido empleando diversos productos estabilizadores de suelo, importados por lo general; pero sin tener un seguimiento y análisis de la aplicabilidad de ellos en suelos peruanos. El tema de estabilización de suelos, tiene mucho tiempo de haber sido estudiado, pero, aun así, se ha venido realizando de manera muy empírica y primando intereses comerciales, más que los logros técnico-económico de la utilización de alguno de estos productos. (Pág. 237)

---

## Nuestra opinión

Es de nuestra opinión que los estabilizadores estudiados en la presente investigación presentan diversos efectos al ser aplicados en los suelos expansibles, sin embargo, teniendo en cuenta las bajas propiedades mecánicas, su principal problema de expansión de estos suelos y las cantidades de estabilizantes químicos presentes en el mercado, viene a relevancia realizar y comparar los efectos antes mencionados, para poder determinar la mejores características y cambios que se vean reflejados entre las muestras estabilizadas y también con las muestras de suelo inalteradas. Por otro lado, los resultados que se obtendrán podrán servir de base para futuras investigaciones donde se necesite el estudio de los suelos expansibles como punto de partida para llegar a obtener un nuevo conocimiento, pues en todo estudio relacionado con obras civiles es necesario contar un suelo que trabajen de forma eficiente, y en este caso nuestra investigación influiría enormemente en la parte inicial de dichas investigaciones. Nuestro estudio también beneficiara a los futuros proyectos que requieran poder llegar a obtener determinadas propiedades mecánicas de acuerdo a la magnitud que se desee llevar a cabo, pues es sabido que en todo proyecto ya sea de edificaciones o netamente vial debe poseer un suelo que cumpla con todos los requerimientos cumple demasía importancia, pues determinara la resistencia que influirá completamente en la vida útil de estos.

### Empresas:

**(García Huarancca, 2015)** PROVIAS NACIONAL realizo trabajos de estabilización química de suelos a nivel superficial en la carretera Tingo Maria-Pucallpa Sector III: Neshuya-Pucallpa, ubicada desde el puente Neshuya (Km 0+000) hasta la ciudad de Pucallpa (Km 58+769)

**(Enviroseal Lima SAC, 2013)** La empresa ENVIROSEAL LIMA S.A.C realizo trabajos de supresión de polvo y estabilización de suelos de la zona colindante a la pista de aterrizaje del aeropuerto Internacional Lima-Callao donde aplicaron estabilizadores Líquidos para suelos, tales como Enviroseal M10+50, Enviroseal LBS, entre otros.

---

## **MICRO:**

El comportamiento de los materiales expansivos en los daños experimentados por las estructuras no fue identificado por los especialistas de suelos y fundaciones como una de las causas fundamentales, sin embargo, recientemente se comienza a reconocer que muchas de las patologías de las estructuras y las **bajas propiedades mecánicas** de los suelos, que antes eran atribuidas a asentamientos u otros problemas, se debían en realidad a un fenómeno de hinchamiento. El cual ha interesado en forma creciente a los especialistas en suelos y construcciones.

El potencial expansivo de un suelo (presión de hinchamiento y elevación) dependen, como mínimo, de las siguientes variables: el tipo de arcilla, la humedad inicial, el peso específico, la plasticidad, y la fatiga de expansión. (Patrone & Prefumo, s.f.)

**Naturaleza y tipo de arcilla\_**La composición mineralógica de la arcilla (porcentajes de illita, caolinita y montmorillonita) que está compuesto la arcilla resultan fundamentales en cuanto al potencial expansivo del suelo. Los suelos expansivos por excelencia son aquellos que tienen altos porcentajes de montmorillonita. (Patrone & Prefumo, s.f.)

**Humedad inicial\_**El elemento “catalizador” del fenómeno de la expansión, es precisamente, la variación en el contenido de humedad del suelo. Por más montmorillonita que esté compuesta una arcilla, si no hay variación en el contenido de humedad del suelo, no habrá cambios volumétricos. No es necesario que el suelo se sature completamente para que produzca expansión del mismo. Por el contrario, en determinados casos, es suficiente variaciones en el contenido de humedad del suelo de sólo 1 o 2 puntos porcentuales, para causar hinchamientos y producir daños estructurales. El contenido de humedad inicial del suelo controla la magnitud del asentamiento. Arcilla “secas”, con contenido de humedad por debajo del 15 % indican un riesgo de expansión alto, pues fácilmente puede llegar absorber contenidos de humedad de 35 % con los consecuentes daños estructurales. Por el contrario, arcillas cuyo contenido de humedad está por encima del 30 % indica que la mayoría de la expansión ya ha

---

tenido lugar y sólo es esperable algún leve hinchamiento remanente. (Patrone & Prefumo, s.f.)

**Peso específico seco del suelo** Muy relacionado con la humedad inicial, el peso específico seco del suelo es otra variable fundamental en el proceso expansivo del suelo. La densidad seca de una arcilla se ve reflejada en valores altos en los resultados en el ensayo de penetración estándar. Valores de "N" inferiores a 15 indican densidades secas bajas y riesgo expansivo bajo, aumentando significativamente estos a medida que aumenta el valor de "N". (Patrone & Prefumo, s.f.)

**Características plásticas del suelo** Como ya fue explicado anteriormente las propiedades plásticas del suelo juegan un importante papel en el fenómeno expansivo (Patrone & Prefumo, s.f.)

**Potencia del estrato activo** A través de ensayos de laboratorio sobre muestras de un mismo suelo, compactadas al mismo grado densidad y humedad inicial, se ha estudiado el efecto del espesor del estrato en la magnitud total del hinchamiento. Los resultados mostraron que la magnitud del cambio volumétrico experimentado es proporcional al espesor del estrato, mientras que la presión de expansión se mantiene constante. Esto nos estaría indicando que si una estructura es capaz de transmitir una presión uniforme y constante a profundidades importantes debajo de la fundación se podría contrarrestar el fenómeno de cambio volumétrico. Pero como sabemos esto no es posible, ya que, a medida que aumentamos la profundidad, la presión transmitida por la zapata de fundación disminuye y por lo tanto no constituye un método efectivo para el control de la expansión. (Patrone & Prefumo, s.f.)

## **NANO:**

En el Perú y en el mundo se presentan suelos expansibles los cuales se pueden tratar de diferentes maneras, ya sea Estabilización Física, Estabilización mecánicas, Estabilización Fisicoquímica y la Estabilización Química de manera que luego de realizar la estabilización sea factible el uso de este suelo para una edificación o carretera.

Sin embargo, en el presente trabajo se tratará acerca del método químico o de estabilización química y es que debido al elevado uso que se hace con los estabilizadores químicos, principalmente en proyectos viales, se vio adecuado iniciar el estudio de los impactos que estos tienen, ya sea económicos o ambientales, sin embargo, también se quiere reconocer si los estabilizadores químicos presentan algunas diferencias entre sus ventajas técnicas de tal manera que se pueda clasificar estos para su posterior uso de acuerdo a los requerimientos técnicos que puedan presentar los futuros proyectos a realizar en la ciudad de Trujillo para que estos puedan obtener resultados esperados con los recursos económicos que se cuenten y de esta manera maximizar la eficiencia teniendo en cuenta los efectos ambientales que puedan causar de acuerdo a la magnitud de los proyectos.

Nuestra investigación contribuirá en las futuras investigaciones para aquellos tesisistas que necesiten realizar estabilización de suelos expansibles por métodos químicos como punto de partida de su procedimiento a obtención nuevo conocimiento, contando con una clasificación de todos los estabilizadores disponibles a usar en la ciudad de Trujillo con información clara y oportuna de los efectos tanto mecánicos, económicos y ambientales que puedan generar al ser usados y por consiguiente sean utilizados de manera que se puedan hacer investigaciones con una base sólida pues es de vital importancia la estabilización de suelos en la ciudad de Trujillo al realizar proyectos en las distintas ramas de la ingeniería civil.

## **1.2. Formulación del problema.**

¿Cuál es el impacto que genera el uso de estabilizadores químicos en las propiedades mecánicas de los suelos expansivos de la Urbanización Santa María -Trujillo?

## **1.3. Justificación.**

Justificación General

La presente investigación busca en principio estudiar a profundidad los suelos presentes en la urbanización Santa María – Trujillo, principalmente aquellos suelos expansivos donde se requiere estabilización química

oportuna del suelo, pues representa una muestra de los suelos expansibles que se encuentran en Trujillo, con el fin de proporcionar herramientas para mejorar las propiedades mecánicas de los suelos principalmente de la Urbanización Santa María IV Etapa pero que se puede replicar en toda la ciudad de Trujillo pues en la actualidad existe una gran expansión demográfica que requiere que toda aquella edificación y obra vial posea suelos con propiedades mecánicas eficientes, que se obtendrán con soluciones desde la estabilización química de suelos que beneficiara directamente a los pobladores de la Urbanización Santa María IV Etapa de Trujillo y los investigadores que quieran hacer estudios sobre el tema.

### **Justificación Teórica**

La presente investigación tiene como primer fin establecer la relación que existe en los diversos tipos de estabilizadores químicos con los que se tratan los suelos expansibles de la ciudad de Trujillo, de tal manera que se pueda establecer una relación según su rendimiento que nos permita conocer las ventajas que existen entre los estabilizadores químicos en función a su desempeño.

### **Justificación aplicativa**

Estudiar la relación existente entre los estabilizadores químicos usados en la estabilización química de los suelos expansibles de Trujillo es importante pues tendremos parámetros que nos proporcionaran conocimiento del rendimiento de estos al momento de utilizarlos y poder aplicar el estabilizador químico que cumpla determinadas metas según el desempeño que esperamos y las posibilidades que se presente.

### **Justificación valorativa**

Esta investigación tiene es importante pues permitirá tratar los proyectos en donde se requiera estabilización química de suelos con mayor eficiencia pues podremos tener valores que nos permita comparar tanto el desempeño funcional que puedan tener los diversos estabilizadores químicos como las ventajas de cada uno frente a al impacto económico generado por estos.

## **Justificación académica**

Nuestra investigación permitirá a los futuros tesistas tener conocimiento específico de los estabilizadores químicos al usarlos en los suelos expansibles de Trujillo y el rendimiento que estos tienen de tal manera que proporcione información clara y precisa para que se obtengan desempeños esperados según lo que pueda demandar las futuras investigaciones.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General.**

Determinar el impacto de los estabilizadores químicos en los suelos expansibles de la ciudad de Trujillo.

### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

- Identificar nuestra zona de estudio dentro de la Urbanización Santa María IV Etapa.
- Extraer muestras de suelo de las calicatas para el posterior estudio en el laboratorio.
- Determinar la influencia de la Cal como estabilizador químico en las propiedades mecánicas de los suelos expansibles de la Urbanización Santa María - Trujillo.
- Determinar la influencia del Cemento Porlant Tipo I como estabilizador químico en las propiedades mecánicas de los suelos expansibles de la Urbanización Santa María - Trujillo.
- Determinar la influencia del Cloruro de Sodio como estabilizador químico en las propiedades mecánicas de los suelos expansibles de la Urbanización Santa María - Trujillo.
- Establecer un cuadro comparativo del impacto generado por los estabilizadores químicos utilizados en los suelos expansibles de la Urbanización Santa María - Trujillo.

## 1.5. Antecedentes.

### NACIONALES

#### **“ENSAYOS GEOFÍSICOS PARA EL ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SISMICA DEL DISTRITO DE TRUJILLO”.**

(Consejo departamental de La Libertad, 2015), Dicho trabajo tiene como objetivos determinar los perfiles sísmicos del suelo, las características de propagación de ondas, las profundidades de investigación variables, el conocimiento de las propiedades de las diferentes capas y también de complementar la información de la superficie y el subsuelo.

Para el estudio de Microzonificación Sísmica del Distrito de Trujillo, se realizaron en 2 etapas, las cuales fueron las siguientes: El Estudio Geotécnico del Distrito de Trujillo y El Estudio Geofísico del Distrito de Trujillo, las Pruebas de Campo fueron realizadas mediante calicatas a cielo abierto y los Sondajes se realizaron mediante los Equipos DPL y SPT.

Del estudio se concluyó que la geología del Distrito de Trujillo consiste de afloramientos rocosos (rocas sedimentarias, volcánico sedimentarias y plutónicas) y depósitos sedimentarios (marinos, eólicos, coluvio - aluviales y aluviales), las cuales han sufrido las deformaciones terrestres presentándose estructuras regionales (lineamientos estructurales y diaclasas) que tienen una orientación andina (Noroeste-Sureste).

El programa de exploración geotécnica en las 123 Urbanizaciones que comprende el Distrito de Trujillo, ha consistido en la ejecución de calicatas, ensayos estándar y especiales de laboratorio. La evaluación de toda esta información ha permitido definir cuatro zonas geotécnicas en el Distrito de Trujillo, de acuerdo a las características físicas y mecánicas de los suelos de fundación.

Este estudio de microzonificación aportara datos importantes a tener en cuenta en la ubicación de los tipos de suelos presentes en la ciudad de Trujillo, para que de esta forma nosotros podamos saber en qué zona se encuentra los suelos que estudiaremos, junto con la profundidad y una estratificación que se espera encontrar al momento de hacer la calicata.

## **“CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100”**

(Palomino Teran, 2016), Determinar la capacidad portante (CBR) de un suelo arcilloso con incorporación de 2%,4% y 6% del estabilizador Maxxseal 100. Una vez que el producto se encuentra en el lugar del proyecto se añadirá a un camión cisterna con agua. La relación de los polímeros y agua se estima previamente y se confirma antes que se inicie la aplicación. Básicamente hay dos métodos para aplicar el polímero. Uno de ellos es para una estabilización profunda. El método de estabilización requiere escarificación del suelo a la profundidad requerida de la estabilización. Esto se puede llevar a cabo con una motoniveladora o con un tractor con ripper. Una vez que el suelo ha sido bien escarificado o abierto con discos, se comienza a agregar la mezcla de Maxx-Seal con agua. A medida que el camión cisterna pasa con el mix de Maxx-Seal /agua. Una vez que haya finalizado usted debe tener un suelo humedecido uniforme que está listo para darle forma. Antes de que pasar un rodillo para compactar, se recomienda utilizar la motoniveladora para suavizar el suelo o terreno. No debe de excavar profundamente para no traer suelo no tratado. Si usted ve que el color de la tierra humedecida es desigual, es recomendable humedecer de nuevo según sea necesario en estas secciones. Una vez que esté satisfecho con la uniformidad de la humedad y la forma de la carretera puede comenzar a compactar con un rodillo. Tan pronto como el suelo este compactado se puede abrir el camino al tránsito. El tráfico adicional ayudará a compactar el camino aún más y hacerlo que sea extremadamente sólido. Después que el camino seque durante un tiempo debe de utilizar el camión aljibe para aplicar la última capa de sellado. Así se sellará la superficie y añadirá mejor resistencia a la abrasión. Se determinó que el contenido de humedad promedio de muestra es de 27.6 %. Se puede observar que la densidad aumenta al aumentar la dosificación de Maxxseal 100. Se observó que el límite líquido y el límite plástico aumentan a medida que aumentamos la cantidad del estabilizador maxxseal 100, mientras que el índice de

plasticidad disminuye. Se puede observar que el CBR aumenta al aumentar la dosificación de Maxxseal 100.

La hipótesis planteada en la investigación, ha sido demostrada, generando una relación directamente proporcional, a medida que se incrementa el % del estabilizado Maxxseal 100 en un suelo arcilloso, se incrementa la capacidad portante (CBR).

Este estudio aportará conocimiento de cómo influye la utilización del estabilizador químico Maxxseal 100 en la estabilización de suelos con respecto a los porcentajes utilizados, de manera que se puedan esperar resultados similares o contrastables con los estabilizadores químicos que utilizaremos para realizar el presente trabajo de investigación.

### **“APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CLORURO DE MAGNESIO HEXAHIDRATADO (BISCHOFITA) COMO TRATAMIENTO Y ESTABILIZADOR DE LA CAPA DE RODADURA GRANULAR APLICADO EN EL TRAMO DE LA CARRETERA ESPINAR- TINTA YA MARQUIRI.”**

(Hilario Carlos, 2015) Evaluar experimentalmente las propiedades físicas y/o mecánicas del material afirmado y afirmado con cloruro de magnesio existente en el tramo de la carretera Espinar - Tintaya Marquiri. Todos los ensayos se realizaron siguiendo los procedimientos del Manual de Ensayos de Materiales para Obras Viales (EM 2000) dados para el control de los agregados. El procedimiento de algunos ensayos, especialmente diseñados para suelo-sal, se detalla a continuación. Del ensayo de compresión no confinada, para 1.15, 1.20 y 1.25 gr./cm<sup>3</sup> de densidad de solución salmuera, se ha determinado que la resistencia a los 28 días disminuye 2.59, 4.05, 5.18, respectivamente. Y estos valores de variación indican indirectamente que el cloruro de magnesio no modifica el valor de la capacidad de soporte de este suelo. El porcentaje óptimo de cloruro de magnesio establecido para este suelo es el de 3 %, el cual corresponde a una densidad de solución salmuera de 1.20 gr./cm<sup>3</sup>, valores menores a este porcentaje de cloruro de magnesio nos da una capa de afirmado menos duradera, y valores mayores a este porcentaje nos da una capa de afirmado resbaladiza y peligrosa al tránsito vehicular.

Este estudio aporta conocimiento de cómo influye el estabilizador químico de cloruro de magnesio al utilizarlo en un tramo de carretera, principalmente la relación existente sobre las propiedades mecánicas de acuerdo y los porcentajes utilizados, de esta manera se verifican su poder estabilizador y el porcentaje adecuado a usar de un estabilizante promedio.

### **“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO CAL ESTRUCTURAL EN EL SUELO LIMO ARCILLOSO DEL SECTOR 14 MOLLEPAMPA DE CAJAMARCA, 2015”**

(García Gonzales, 2015) Determinar la resistencia de la subrasante limo arcillosa al incorporar cal estructural en porcentajes de 2%, 4%, 6% y 8%. Se escogió una calle del sector 14 Mollepampa, en esta investigación se opta por muestra por conveniencia seleccionada siendo la calle elegida el Jr. 23 de septiembre del sub-sector 6. Se realizó el levantamiento topográfico para obtener el perfil del terreno en el cual se incorporará el perfil estratigráfico del suelo para una mejor comprensión del estudio incorporando también los estratos de las calicatas 1 y 2 con sus respectivos espesores. En el suelo natural se obtuvo una muestra por debajo de los 40cm que se llevará al laboratorio para obtener su límite líquido y límite plástico en donde los valores obtenidos se verificaron con las condiciones del material a estabilizar que nos brinda el MANUAL DE CARRETERAS – ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN – EG-2013.

Una vez verificados los valores del límite líquido y límite plástico del suelo a estabilizar, se realizó las calicatas respectivas a 1.50m de profundidad donde se obtendrá las muestras para los ensayos de granulometría y límites de Atterberg para clasificar el suelo. Al tener la clasificación se procederá a realizar los ensayos de proctor modificado y CBR del suelo natural. Se realizó los ensayos de límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR, a cada muestra de suelo natural incorporándole porcentajes de cal de 2%, 4%, 6% y 8%. Se comparó los resultados de los ensayos para obtener la respuesta a la hipótesis. Después de haber culminado los

ensayos de laboratorio y procesamiento de datos se realizó este cuadro comparativo de los ensayos realizados al suelo natural y al suelo con cal incorporado a diferentes porcentajes.

La hipótesis de esta investigación es verdadera, el uso de cal estructural en porcentajes de 2%, 4%, 6% y 8% incrementa la resistencia de la subrasante en el suelo limo arcilloso.

Este trabajo aporta conocimiento del funcionamiento de la cal estructural como estabilizador químico de suelos y su influencia frente a sus propiedades mecánicas de acuerdo a los porcentajes utilizados, de manera que complementa lo que se viene indicando de acuerdo a los efectos de la cal y otros estabilizadores ya mencionados.

## **INTERNACIONALES**

### **“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUELOS DE GRANO FINO ESTABILIZADOS CON CAL”**

(Marta Liliana Jiménez González, 2010), La investigación tiene por objeto analizar tres tipos diferentes de suelos arcillosos, extraídos de tres ubicaciones distintas.

Los ensayos de laboratorio realizados a las muestras de suelo evalúan los cambios positivos que la cal ejerce sobre los suelos arcillosos y determinan, de acuerdo con las características propias de cada uno de ellos, el mejoramiento alcanzado. Se realizaron análisis granulométricos, nivel de pH, límites de consistencia, ensayo de compactación, CBR (valor soporte California), resistencia a compresión no confinada y resistencia a tracción indirecta. En todos los casos, salvo el análisis granulométrico, se hicieron pruebas en el suelo natural y en mezclas con 2%, 4% y 6% de cal en relación a su peso seco. Las muestras analizadas observaron resultados positivos en su mejoramiento, disminuyendo su plasticidad y aumentando su resistencia.

Este estudio aportará un análisis a la influencia de la cal como estabilizador y como modificador de las propiedades mecánicas, ya que, al aplicar cal al suelo, este mismo se verá beneficiado con un aumento en

---

su resistencia a la compresión y tracción, siendo de gran ayuda para saber que se cumplen los resultados esperados de los estabilizadores químicos.

### **“VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS COMPRESIBLES ESTABILIZADOS CON MATERIAL CEMENTANTE”**

(Luis Eduardo Gómez Pérez, William Ferney Guillín Acosta, Romel Jesús Gallardo Amaya, 2016), La investigación tiene por objetivo analizar mezclas de suelo con adición de material cementante (cal y cemento) en dosificaciones en peso de 2% a 6% para la cal y de 2% a 16% para el cemento. Posteriormente se prepararon especímenes que se ensayaron con tiempos de curado de 7, 14 y 28 días. Realizando pruebas de límites de plasticidad, corte directo, compresión inconfiada y CBR, para posteriormente comparar con las mismas pruebas realizadas a especímenes obtenidos del suelo en estado natural.

Con relación a los resultados de ensayo obtenidos para el suelo en condición natural, en comparación a los obtenidos para las mezclas de suelo-cementante se obtuvo una reducción en el índice de plasticidad entre 20 y 24%, un aumento significativo en el índice de capacidad de soporte CBR entre 500 y 1300%, aumento en el ángulo de fricción hasta un 160%, y aumento la resistencia a la compresión inconfiada hasta un 1400%

Según lo observado experimentalmente la adición de materiales cementantes como la cal y el cemento, para el caso de suelo analizado, resulta un método efectivo para la estabilización de suelos arcillosos compresibles, lo cual permite que éstos reduzcan su plasticidad y mejoren su comportamiento para ser utilizados como material de soporte. Se evidenció que, aunque en general las propiedades físicas de resistencia y deformación mejoran, el tiempo curado de la mezcla influye de manera diferente para el caso de la cal y del cemento.

Este estudio aportará un análisis sobre la comparación de 2 estabilizadores químicos, siendo una fuente clara de información para la investigación que desarrollaremos, debido a que estos resultados nos servirán de base para contrastarlos con aquellos que obtendremos en el

---

estudio de los suelos estabilizados mientras utilizamos un estabilizante químico más, que es el cloruro de sodio.

### **“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO PARA SU USO EN LAS VÍAS TERRESTRES”**

(Paul Garnica Anguas , Alfonso Pérez Salazar ,José Antonio Gómez López , Edda Yhaaraby Obil Veiza, 2002), En este trabajo se presentan y discuten los principales resultados obtenidos en un estudio experimental, destinado a evaluar la estabilización con cloruro de sodio (NaCl) en suelos arcillosos, encaminados a la aplicación en terracerías de las vías terrestres. Se trabajaron dos suelos particularmente, El Salitre y Jurica, de la Ciudad de Querétaro, ambos con alto potencial de expansión. Se determinó la influencia de la sal en las propiedades físicas y mecánicas, variando los porcentajes de la sal adicionada al suelo.

Las propiedades físicas aquí analizadas son los límites de consistencia y por ende su clasificación dentro del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el Potencial de Hidrógeno (pH), así como las características de compactación de dichos suelos analizados con el ensayo Próctor. Las propiedades mecánicas evaluadas son la resistencia a la compresión y el módulo de resiliencia.

A la luz de los resultados, se tiene que la estabilización de suelos con cloruro de sodio, produce diferentes resultados en los suelos así tratados, llegando incluso a producir propiedades más desfavorables en suelos utilizados en la construcción de vías terrestres. Por lo anterior, es importante realizar análisis previos de la influencia del producto estabilizante, sobre las propiedades de interés del suelo que se quiera mejorar.

Este estudio aportará una tendencia del comportamiento del suelo al momento de tratarlo con el estabilizador de cloruro de sodio, teniendo en cuenta los resultados desfavorables para los suelos tratados y considerarlos para la aplicación que se les hará a los suelos de donde hemos sacado nuestras muestras y compararlos con la muestra inalterada.

---

## **“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE CAL EN LAS VÍAS DE LA COMUNIDAD DE SAN ISIDRO DEL PEGÓN, MUNICIPIO POTOSÍ- RIVAS”**

(Ulloa López, 2015) Estabilizar los suelos cohesivos de las vías en la comunidad San Isidro del Pegón, municipio de Potosí departamento Rivas, con una mezcla de cal hidratada. Se realizó el muestreo de los suelos de la comunidad “San Isidro”, ubicado en el municipio de Potosí, Rivas, mediante la realización de calicatas de un metro cuadrado y con profundidades que varían en 1-2 metros. Las muestras se sometieron a un análisis y así fueron caracterizadas siguiendo los procedimientos descritos en las normas ASTM, revisión anual 2007. Al analizar estas muestras se obtuvo que el suelo que predomina es un A-7-6 que según la normativa AASHTO son suelos con baja capacidad de carga, un alto índice de plasticidad; además de un alto porcentaje de expansión debido al cambio de la humedad. Estos datos de laboratorio se muestran en la tabla 6.13; no obstante, el estrato número 1 de la calicata 4 es un suelo A-6, aunque no posee las mismas características que el suelo descrito anteriormente, no deja de ser un suelo con condiciones no deseables en un proyecto vial. Luego de haber caracterizado y clasificado este suelo, se mezclaron las 5 muestras que correspondía a la clasificación A-7-6, y se determinó su índice de plasticidad; a partir de este punto se propusieron las dosificaciones mostradas en la tabla 6.8. Debido a que eran demasiados ensayos para realizar, se retomaron los porcentajes en los que hubiese mayor cambio siendo estos los de 3, 6, 9, y 12 por ciento. Al determinar las propiedades con estos porcentajes se obtuvo una mejora significativa en cuanto a la plasticidad, densidad de compactación; se aumentó la humedad requerida en este proceso debido a la reacción exotérmica producida entre la cal y la arcilla, se aumentó significativamente la capacidad de soporte del suelo. Aunque no se cumplió con el parámetro de expansión propuesto, se logró un resultado aceptable. De los porcentajes anteriores se determinó que con 9 por ciento de cal se obtenían las mejores condiciones de suelo cumpliendo con la mayor parte de las propiedades propuestas en la tabla 2.2, (ver tabla 7.1). Ciertamente la expansión o hinchamiento es la propiedad con mayor

incidencia en estos suelos, logrando una reducción del 61 por ciento con la adición óptima de cal.

Este trabajo aporta un estudio donde se puede observar cómo influye la utilización de la cal hidratada en la estabilización de suelos de acuerdo a los porcentajes utilizados durante la investigación y sus efectos en sus propiedades mecánicas como la densidad de compactación, plasticidad y la capacidad de carga, siendo de ayuda para nuestra investigación.

### **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE UN MATERIAL ESTABILIZADO CON CAL Y CEMENTO”.**

(Hernandez Dominguez, 2016), Analizar las modificaciones en las propiedades físicas de un suelo arcilloso con aplicación de cal. Se esparció y homogenizo 3% de cal viva y cemento para luego compactarse con medios mecánicos. Se obtuvieron la resistencia a la compresión del suelo y su humedad. El método que se optó a utilizar fue secado con cal viva ya que ayudo a perder contenido de agua, lo que agiliza el secado del material. Las bases estabilizadas con cemento han mostrado ser una alternativa muy importante para la construcción de pavimentos. Su aporte estructural, la variabilidad de materiales en las distintas zonas del país, el clima lluvioso y la presencia de zonas con niveles freáticos favorecen la aplicación de esta tecnología.

Este estudio aportara un análisis adicional para aplicar al resto de estabilizantes a estudiar y sus efectos en el suelo como las desventajas y ventajas que posee cada estabilizador a la hora de ser utilizado, demostrándose al comparar el cambio que tienen las propiedades mecánicas del suelo estabilizado por cada uno de los métodos tratados en el estudio.

## 1.6. Bases Teóricas.

### a. PROPIEDADES MECANICAS

Son propiedades físicas que describen el comportamiento de un material sólido a aplicarle fuerzas de tracción, compresión y torsión. El suelo tiene un conjunto sorprendentemente diverso de propiedades mecánicas. El estudio empírico y teórico de la mecánica de los suelos ha progresado hasta el punto donde los ingenieros del suelo son capaces de considerar una amplia variedad de propiedades mecánicas cuando el diseño de estructuras involucra grandes cantidades de tierra. La mecánica de los suelos tiene aplicaciones en todo, desde grandes proyectos de ingeniería civil hasta el paisajismo del patio trasero. (Geniolandia, 2018)

#### 1. RESISTENCIA AL CORTE

La resistencia al corte se refiere al nivel de fuerzas cortantes que un material puede resistir sin fracturarse. La resistencia al corte se mide en Newton por metro cuadrado. Las fuerzas cortantes son fuerzas que se aplican tangencialmente a lo largo de una cara de la tierra. La resistencia al corte es difícil de medir ya que depende de una amplia variedad de factores, incluyendo la naturaleza del suelo, la historia de la muestra de suelo particular que es medida, y la velocidad a la que las fuerzas de corte se aplican. (Geniolandia, 2018)

#### 2. PRESIÓN LATERAL DEL SUELO

La presión lateral del suelo es la presión que ejerce la tierra horizontalmente. Si tienes una masa cúbica de tierra en un recipiente cúbico, entonces la presión lateral del suelo es la presión ejercida sobre las paredes del recipiente. El empuje lateral se mide en Pascales o Newton por metro cuadrado. (Geniolandia, 2018)

#### 3. CONSOLIDACIÓN

La consolidación es el proceso mediante el cual el volumen del suelo disminuye bajo la aplicación de una carga. La consolidación es causada por las cargas que se aplican al suelo y los granos de suelo

que son empacados juntos más estrechamente como resultado.  
(Geniolandia, 2018)

#### **4. CAPACIDAD DE CARGA**

La capacidad de carga es la capacidad de la tierra en torno a una estructura para soportar las cargas aplicadas. La capacidad de carga se mide en Pascales o Newton por metro cuadrado. (Geniolandia, 2018)

#### **5. PERMEABILIDAD Y FILTRACIÓN**

La permeabilidad se refiere a la facilidad con la cual el fluido puede fluir a través de los poros en el suelo. La permeabilidad se mide en metros cuadrados o Darcy. La filtración se refiere a la tasa a la cual el fluido se mueve a través de una masa de tierra. La filtración se mide en metros por segundo. (Geniolandia, 2018)

#### **6. ESTABILIDAD DE TALUDES**

La estabilidad de taludes se refiere a la resistencia de una pendiente de fallo o colapso. La estabilidad de una pendiente abarca una amplia gama de consideraciones y no tiene una sola unidad universal de medición. (Geniolandia, 2018)

### **b. FACTORES QUE AFECTAN A LAS PROPIEDADES MECANICAS**

#### **1. ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA**

La fricción interna es la resistencia al deslizamiento causado por la fricción que hay entre las superficies de contacto de las partículas y de su densidad. Como los suelos granulares tienen superficies de contacto mayores y sus partículas, especialmente si son angulares, presentan una buena trabazón, tendrán fricciones internas altas. En cambio, los suelos finos las tendrán bajas.

La fricción interna de un suelo, está definida por el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento, a lo largo de un plano, y la fuerza normal "p" aplicada a dicho plano. Los valores de este ángulo llamada "ángulo de fricción interna"  $f$ , varían de prácticamente  $0^\circ$  para arcillas plásticas, cuya consistencia este

próxima a su límite líquido, hasta 45° o más, para gravas y arenas secas, compactas y de partículas angulares. Generalmente, el ángulo  $\phi$  para arenas es alrededor de 30°. (Apuntes de ingeniería civil, 2017)

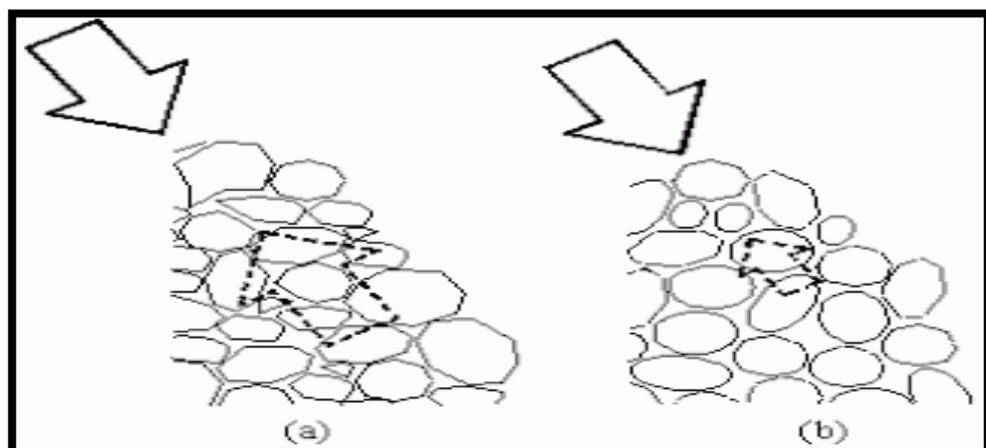
**TABLA N° 01 ANGULO DE FRICCION INTERNA**

Tipo de terreno	w(kg/m <sup>3</sup> )	$\phi(^{\circ})$
Arcilla suave	1440 a 1920	0° a 15°
Arcilla media	1600 a 1920	15° a 30°
Limo seco y suelto	1600 a 1920	27° a 30°
Limo denso	1760 a 1920	30° a 35°
Arena suelta y grava	1600 a 2100	30° a 40°
Arena densa y grava	1920 a 2100	25° a 35°
Arena suelta, seca y bien graduada	1840 a 2100	33° a 35°
Arena densa, seca y bien graduada	1920 a 2100	42° a 46°

## 2. COEFICIENTE DE COHESIÓN

Es la atracción entre partículas, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. Por lo tanto, la cohesión de un suelo variará si cambia su contenido de humedad. La cohesión se mide kg/cm<sup>2</sup>. Los suelos arcillosos tienen cohesión alta de 0,25 kg/cm<sup>2</sup> a 1.5 kg/cm<sup>2</sup>, o más. Los suelos limosos tienen muy poca, y en las arenas la cohesión es prácticamente nula. (Juan Perez Valcarcel, sf)

**FIGURA N°01 ESTRUCTURAS QUE DAN COHESION A LOS SUELOS GRANULARES**



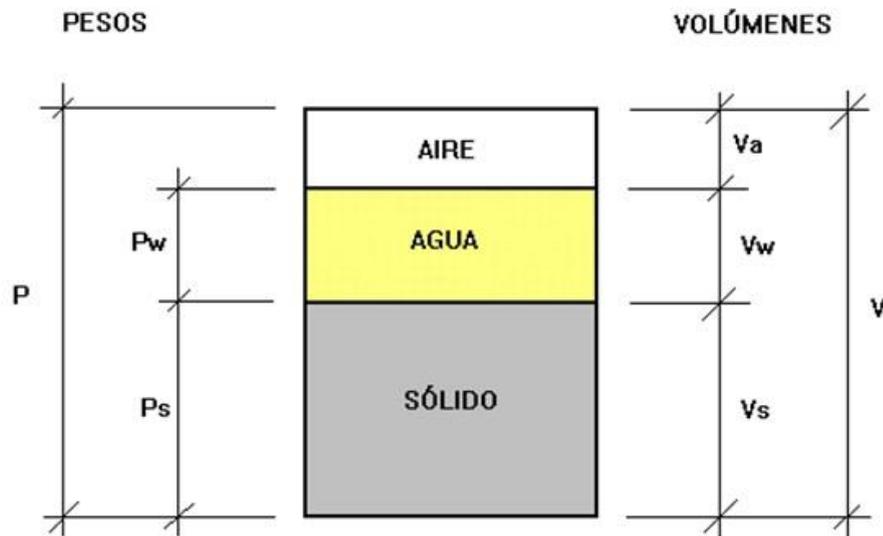
(a) Partículas con textura angular. (b) Partículas con textura redondeada.

Para el caso de suelos compuestos de partículas con forma granular, la trabazón entre partículas origina estructuras granulares simples y la fricción que se origina entre ellas contrarresta el deslizamiento de unas respecto a otras, como se muestra en la Fig. 1a este comportamiento se lo identifica como la cohesión para el caso de suelos granulares, donde el suelo presenta resistencia contra su disgregación ocasionada por un agente externo. El grado de cohesión que presentan los suelos granulares, está en función a la textura de las partículas de forma granular. Las partículas con textura angular (Fig. 1a) logran que el suelo tenga cohesión, mientras que las partículas con textura redondeada (Figura 1. b) no contribuyen a la cohesión del suelo. (Juan Perez Valcarcel, sf)

### 3. PESO ESPECÍFICO

Se entiende como la relación entre el peso y su volumen, es un valor dependiente de la humedad, de los huecos de aire y del peso específico de las partículas sólidas. Para evitar confusiones, las determinaciones de los ensayos de laboratorio facilitan por un lado el “**peso específico seco**” y por otro la humedad. Fijémonos que este término es diferente de la “**densidad del suelo**”, que establece una relación entre la masa y el volumen. También suele utilizarse un valor adimensional denominado, “**peso específico relativo**”, definido como el cociente entre el peso específico del suelo y el peso específico del agua a una temperatura determinada. Los valores típicos de gravedades específicas para los sólidos del suelo son entre 2.65 y 2.72. (Victor Yepes Piqueras, 2008)

**FIGURA N°02 PESO ESPECÍFICO DE UN SUELO**



Peso específico de las partículas sólidas

$$\gamma_s = P_s / V_s$$

Peso específico del agua

$$\gamma_w = P_w / V_w$$

Peso específico aparente del suelo

$$\gamma = P / V$$

Peso específico seco del suelo

$$\gamma_d = P_s / V$$

Humedad o contenido de agua

$$\omega = P_w / P_s$$

Densidad relativa de las partículas sólidas

$$G = \gamma_s / \gamma_w$$

Porosidad

$$n = (V_a + V_w) / V$$

Índice de huecos

$$e = (V_a + V_w) / V_s$$

Huecos de aire

$$n_a = V_a / V$$

Grado de saturación

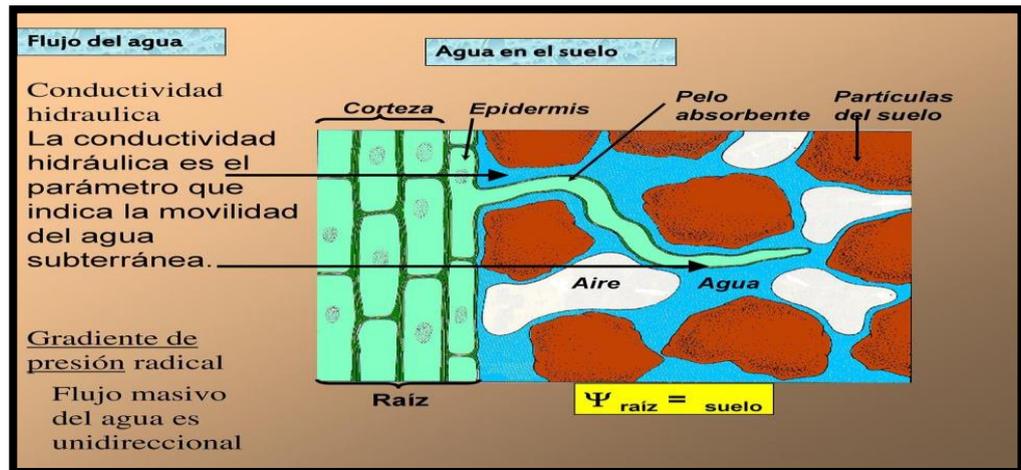
$$S_r = V_w / (V_a + V_w)$$

#### 4. CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA

La conductividad hidráulica representa la mayor o menor facilidad con la que el medio deja pasar el agua a través de él por unidad de área transversal a la dirección del flujo. Tiene las dimensiones de una velocidad (L T<sup>-1</sup>) y modernamente se distinguen dos tipos: la conductividad hidráulica darciana o lineal, KD y la conductividad hidráulica turbulenta, KT.

(f. González Hernández; m. Lópezarias; m.t. Minaya Gallego, 2007)

FIGURA N°03 PESO CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA



## 5. RELACIÓN DE VACÍO

La relación de vacío de un suelo es el volumen de suelo no ocupado por partículas sólidas. Cuanto mayor sea la relación de vacío más suelto es el suelo. El aumento de la proporción de huecos del suelo se realiza por el arado. Los organismos tales como los gusanos y las hormigas crean una cantidad significativa de espacio vacío en un suelo. Cuanto mayor sea la relación de vacío de un suelo más agua puede absorberse fácilmente en él. Los suelos con una alta relación de vacío facilitan a las plantas a que crezcan. (Dante Bosch, 2010)

FIGURA N°04 RELACION DE VACIO DE UN SUELO

$$D_r = \frac{e_{m\acute{a}x} - e}{e_{m\acute{a}x} - e_{m\acute{i}n}} \times 100\%$$

$$= \frac{\gamma_{d\ m\acute{a}x}}{\gamma_d} \times \frac{\gamma_d - \gamma_{d\ m\acute{i}n}}{\gamma_{d\ m\acute{a}x} - \gamma_{d\ m\acute{i}n}} \times 100\% \quad (3.1)$$

donde

- $e_{m\acute{i}n}$  = relación de vacíos del suelo en su estado más compacto.
- $e_{m\acute{a}x}$  = relación de vacíos del suelo en su estado más suelto.
- $e$  = relación de vacíos del suelo *in situ*.
- $\gamma_{d\ m\acute{a}x}$  = peso específico seco del suelo en su estado más compacto.
- $\gamma_{d\ m\acute{i}n}$  = peso específico seco del suelo en su estado más suelto.
- $\gamma_d$  = peso específico seco *in situ*.

### **c. ESTABILIZACION QUIMICA**

La estabilización química consiste en alterar las propiedades del suelo usando un cierto aditivo, el cual mezclado con el suelo, normalmente produce un cambio en las propiedades moleculares superficiales de los granos del suelo y en algunos casos, pega los granos entre sí de modo de producir un incremento en su resistencia. (Hernán de Solminihac T. Gerardo Echeverría G. Guillermo Thenoux Z, 2006)

#### **FIGURA N°05 ESTABILIZACION QUIMICA DE UN SUELO**



### **d. FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIZACION QUIMICA**

#### **1. ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA**

La expansión y contracción de muchos suelos, originados por los cambios de humedad, se pueden presentar en forma rápida. Por tanto, si las expansiones que se desarrollan, debido a un incremento de humedad, no se controlan en algunas formas, estas presiones pueden ocasionar graves deformaciones y rupturas en los pavimentos, en general, en cualquier obra.

Es por ello que resulta necesario detectar los suelos expansivos, su composición y su tratamiento más adecuado.

Actualmente las soluciones para evitar cambios volumétricos en suelos expansivos consisten en: introducir humedad al suelo en forma periódica, aplicar cargas que equilibre la presión de expansión. Otro

medio podría consistir en modificar la arcilla expansiva, transformándola en una masa rígida o granular, cuyas partículas estén lo suficientemente ligada para resistir la presión expansiva interna de la arcilla, lo cual puede lograrse por medios químicos o térmicos. En estos casos, cuando la capa a estabilizar sea de poco espesor, deberá tenerse en cuenta que el suelo subyacente es aun susceptible a expandirse, pero tales movimientos pueden tolerarse, siempre en cuando la capa estabilizada se mueva en forma uniforme (Montejo, 2001).

## 2. RESISTENCIA

La resistencia de los suelos, es en general más baja cuando mayor sea su contenido de humedad. Los suelos arcillosos al secarse, alcanzan grandes resistencias (teniendo inclusive más alta resistencia cuando se calienta a temperaturas muy elevadas, como sucede en la fabricación de tabiques y ladrillos). Existen casos donde la disminución de la humedad puede significar una reducción en la resistencia, pues sean presentado casos de deslizamientos de tierras provocados por arcillas que se secaron y se agrietaron, provocando que el comportamiento del material sea de un suelo friccionante, puede tener menor resistencia que si se considera como cohesivo a humedades mayores. La acción abrasiva del tránsito, por ejemplo, puede hacer que un material cohesivo se pulverice y pierda su cohesión. (Montejo, 2001).

Por otra parte dependiendo de la humedad y energía de compactación se puede lograr diferentes características de resistencia en un suelo arcilloso, ya que un suelo de estos compactado de lado seco en la curva de compactación presenta, con la humedad de compactación un comportamiento relativamente elástico y con una resistencia relativamente alta; mientras que este mismo suelo compactado con una alta humedad, no obstante que su peso volumétrico seco sea alto, presentaría resistencias bajas y comportamiento plástico o viscoso: este efecto se debe , generalmente, a que una alta humedad produce en una arcilla efectos de repulsión entre sus partículas, propiciando

que la cohesión sea menor que en el caso de emplear humedades de compactación bajas. Así mismo se ha visto que en suelos finos, tiene una importancia decisiva la forma de aplicación de la energía de compactación sobre todo cuando se emplean humedades más altas que la óptima; por ejemplo, la energía aplicada por impacto, puede ocasionar que un suelo del lado húmedo presente resistencias del orden de hasta un cuarto de veces menor que la resistencia que, a igualdad de circunstancias, presenta el mismo suelo compactado en forma estática. La explicación de este fenómeno, reside en la diferente estructuración que adoptan las arcillas, al ser compactadas mediante procedimientos de compactación diferentes. Resulta evidente que los procedimientos que sirven para mantener a un suelo, sin que se presente cambios volumétricos, son también adecuados para mantener la resistencia en el suelo, como la adición de agentes que transformen a un suelo fino en una masa rígida o granular (Montejo, 2001).

### **3. PERMEABILIDAD**

No es difícil modificar substancialmente la permeabilidad de formaciones de suelos por métodos tales como la compactación, la inyección, etc. En materiales arcillosos, el uso de floculantes (por ejemplo, polifosfatos) pueden reducir la permeabilidad también significativamente; el uso de floculantes (hidróxido de calcio o yeso) aumenta correspondientemente el valor de la permeabilidad. (Montejo, 2001).

En los suelos la permeabilidad se plantea, en términos generales, en dos problemas básicos, como lo son el relacionado con la disipación de las presiones de poro y el relacionado con el flujo de agua a través del suelo. El tener presiones de poro excesivas puede originar deslizamientos en explanaciones y el flujo de agua puede originar tubificaciones y arrastres. Si se compacta un suelo arcilloso con humedades muy bajas o prácticamente en seco, se obtendrá formalmente una alta permeabilidad en los suelos debido a los grumos que no se disgregan, resistiendo al esfuerzo de compactación y permitiendo con ello que se forme una gran cantidad de vacíos

intersticiales.

Mientras más alta sea la humedad de compactación se producirán menores permeabilidades en el suelo compactado, ya que este tiene mayores oportunidades de deformarse, eliminándose así grandes vacíos (Montejo, 2001).

**TABLA N°02: COEFICIENTES DE PERMEABILIDAD K EN cm/seg**

		100	10	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>
<b>Drenaje</b>		<b>Bueno</b>				<b>Pobre</b>				<b>Practicamente Impermeable</b>			
Tipo de Suelo	Grava Limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava.				Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcillas estratificadas.				Suelos "impermeables", es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición.			
Determinación	Directa de k	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastante exactos.				Suelos "impermeables", modificados por la vegetación o descomposición.							
Determinación	Indirecta de k	Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere mayor experiencia.				Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere mayor experiencia y se obtienen buenos resultados.				Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.			
Determinación	Indirecta de k	Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere mayor experiencia y se obtienen buenos resultados.				Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.				Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.			
Determinación	Indirecta de k	Por cálculo, partiendo de la curva granulométrica. Solo aplicable en el caso de arenas y gravas limpias sin cohesión				Cálculos basados en los ensayos de consolidación. Resultados buenos. Se necesita mucha experiencia.							

**Fuente:** Terzaghi & Peck, 1978.

**TABLA N°03: CLASES DE PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS**

**CLASES DE PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS PARA  
OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL**

CLASES DE PERMEABILIDAD DE LOS SUELOS	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K en m/s)	
	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
PERMEABLE	$2 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-1}$
SEMIPERMEABLE	$1 \times 10^{-11}$	$1 \times 10^{-5}$
IMPERMEABLE	$1 \times 10^{-11}$	$5 \times 10^{-7}$

**Fuente:** Bowles, 1979.

**4. COMPRESIBILIDAD**

Los cambios en volumen o compresibilidad, tienen una importante influencia en las propiedades de los suelos, pues se modifica la permeabilidad, se altera las fuerzas existentes entre las partículas tanto en magnitud como en sentido, lo que tiene una importancia decisiva en la modificación de la resistencia del suelo en el esfuerzo cortante y se provocan desplazamientos. En el caso de arcillas saturadas, si no se presenta el drenaje y se aplican esfuerzos, estos serán tomados por el agua. En el momento en el que se permita el drenaje, los esfuerzos son transmitidos gradualmente al esqueleto o estructura del suelo; este proceso produce una compresión gradual de dicha estructura, fenómeno conocido como consolidación. Ahora bien, la compresibilidad del suelo puede presentar variaciones importantes, dependiendo de algunos factores tales como la relación de la capa aplicada respecto a la que el suelo soportaba anteriormente, tiempo de aplicación de la carga una vez que se ha disipado la presión de poro en exceso de la hidrostática, naturaleza química del líquido intersticial, aunados estos factores a los originados por el muestreo, sensibilidad del suelo y aun la forma de ejecutar las pruebas que se utilizan para estudiar la consolidación. Es un tanto obvio que al remoldar un suelo se modifica su compresibilidad, por lo que esta característica se puede modificar mediante procedimientos de

compactación. Se ha encontrado que la humedad de compactación tiene una gran importancia en la compresibilidad de suelos compactados, pues si se compactan dos especímenes al mismo peso volumétrico pero uno en la rama seca de la curva de peso volumétrico contra humedad y el otro en la rama húmeda, se tendrá que para presiones de consolidación bajas el espécimen compactado de lado húmedo será más compresible debido a que su estructura se encuentra más dispersa, pero para grandes presiones se tienen colapsos y reorientaciones en la estructura del espécimen que se encuentra en el lado seco, lo cual provoca que este sea ahora más compresible. Bajo presiones muy altas, ambas muestras llegan a la misma relación de vacíos ya que se llegan a una orientación similar (Montejo, 2001).

## **5. DURABILIDAD**

Se involucra en este, aquellos factores que se refieren a la resistencia al intemperismo, a la erosión o a la abrasión del tráfico; de esta manera, los problemas de durabilidad en vías terrestres suelen estar muy asociados a suelos situados relativamente cerca de la superficie de rodamiento. En rigor, estos problemas pueden afectar tanto a los suelos naturales como a los estabilizados, si bien en estos últimos los peores comportamientos suelen ser consecuencia de diseños inadecuados, tal como una mala elección de agente del estabilizador o un serio error en su uso. Actualmente, una diferencia importante en los estudios de las estabilizaciones, es la carencia de pruebas adecuadas para estudiar la durabilidad. Las pruebas de intemperismo, a veces no son adecuadas para el estudio de agregados para pavimentos, por no reproducir en forma eficiente el ataque al que están sujetos. En las pruebas con aplicación de efectos cíclicos, no se tiene aún una correlación precisa entre el tráfico y las pruebas a que se somete los especímenes, a efectos de secado y humedecido, que son más bien del orden cualitativo que cuantitativo. La durabilidad es uno de los aspectos más difíciles de cuantificar, y la relación común ha sido la de sobre diseñar, lo que no siempre es lo más adecuado (Montejo, 2001).

### **e. SUELOS EXPANSIVOS**

Se conocen como suelos expansivos aquellos que presentan expansiones o contracciones, ósea cambios de volumen cuando varía su humedad o contenido de agua. Los materiales de arcilla, tienen la capacidad de absorber una gran cantidad de agua y retenerla debido a su estructura, el agua produce el incremento del volumen en el material mencionado anteriormente y también una drástica reducción del volumen cuando el agua que retenía se seca. (Patrone & Prefumo, s.f)

### **f. IDENTIFICACION DE SUELOS EXPANSIVOS**

#### **1. IDENTIFICACIÓN MINERALÓGICA**

Los tres grupos más importantes en que se clasifican los minerales arcillosos son: illita, caolinita y montmorillonita, compuestos por hidroaluminosilicatos. Los ensayos mineralógicos tienden a detectar la presencia de montmorillonita, que es el mineral preponderantemente expansivo. La presencia de cargas eléctricas negativas en la superficie de los minerales arcillosos, así como la capacidad de intercambio catiónico resultan fundamentales para la magnitud de la expansión. Los ensayos de identificación mineralógica resultan muy usados en trabajos de investigación científica, pero resultan poco prácticos y antieconómicos para la práctica usual en ingeniería, dado que se requiere equipamiento y personal especializado. Es por este motivo que no se extiende en su desarrollo. (Patrone & Prefumo, s.f)

#### **2. DETERMINACIÓN DE CIERTAS PROPIEDADES BÁSICAS DE LOS SUELOS**

A través de la medida de ciertas propiedades básicas y sencillas de los suelos se puede determinar el grado del potencial expansivo del suelo. Las propiedades a determinar son: Límite Líquido y Límite Plástico, Límite de contracción, Contenido de coloides, Expansión libre del suelo. Estos métodos tienen la ventaja de su fácil realización y de equipamiento disponible en todos los laboratorios.

La desventaja es que no se cuantifica la expansión, sino que cualitativamente se establecen categorías de grados del potencial expansivo. (Patrone & Prefumo, s.f)

### 2.1. Límite Líquido y Límite Plástico

Investigadores como Seed, Woodward y Lundgren demostraron que las características plásticas de los suelos pueden ser usados como un indicador primario de la características expansivas de las arcillas. Es natural pensar en una relación como la antes mencionada ya que ambas dependen en la cantidad de agua que una arcilla absorbe. La relación entre las características plásticas y el hinchamiento de los suelos puede establecerse como:

**TABLA N°04: GRADO DE POTENCIAL EXPANSIVO**

Grado de Potencial Expansivo	Índice Plástico
Bajo	0 – 15
Medio	10 – 35
Alto	20 – 55
Muy Alto	> 35

**Fuente:** (Patrone & Prefumo, s.f)

Si bien es cierto que todos los suelos altamente expansivos tienen plasticidades altas, no es cierto que los suelos con elevada plasticidad sean necesariamente expansivos.

### 2.2. Contenido de Coloides

Dentro de los materiales que tiene un tamaño inferior a 74 micras están los limos y las arcillas. Desde el punto de vista del tamaño se considera arcillas aquellos materiales que tienen un tamaño inferior a 2 micras (0.002 mm), siendo necesario para su determinación la realización de un ensayo hidrométrico. La magnitud de la expansión que experimenta una arcilla está vinculado con la

cantidad de partículas de tamaño arcilla presente en el suelo.

Se ha establecido una relación del tipo:  $S = k \cdot C^x$

Dónde:

S = Hinchamiento potencial, expresado como % del hinchamiento de una muestra compactada a la humedad óptima y al P.U.S.M. según Proctor Estándar.

C = Porcentaje de fracción arcilla (partículas menores a 0.002 mm).

x = exponente que depende del tipo de arcilla

k = Coeficiente que depende del tipo de arcilla.

x y k, que indican el tipo de partículas coloidales presentes se determinan a través de ensayos difracción por rayos X. (Patrone & Prefumo, s.f)

### **2.3. Determinación de la expansión Libre**

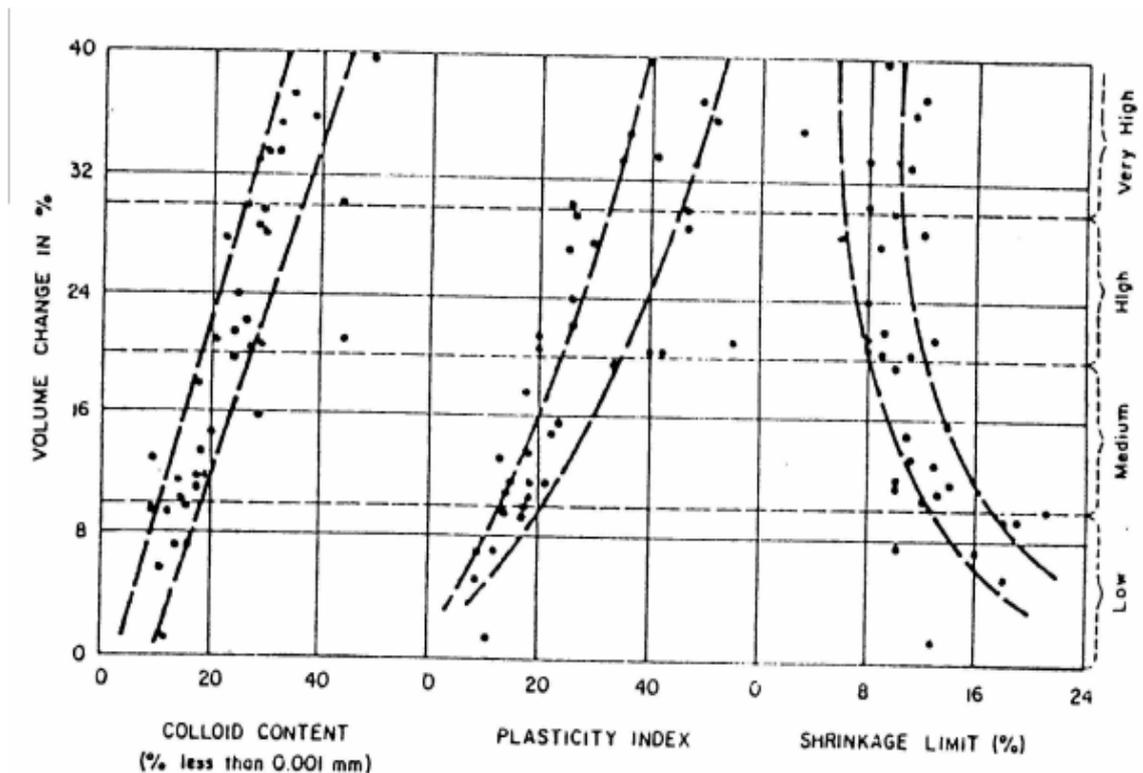
Este ensayo consiste en colocar en una probeta normalmente cilíndrica un volumen conocido de suelo “seco” y sumergirlo en agua sin aplicación de sobrecarga alguna, mientras se mide la expansión. La diferencia entre el volumen final e inicial, expresado como un porcentaje del volumen inicial es la expansión libre. Esta medida de la expansión se realiza en condiciones muy desfavorables, ya que se hace en condiciones de ninguna sobrecarga y hoy en día se utilizan métodos más adecuados a tales efectos. Experimentos realizados por Holtz indican que una arcilla como la bentonita comercial puede tener en este ensayo expansión del orden de 1200 a 2000 %. Holtz sugiere que las expansiones medidas en este ensayo por encima del 100 % pueden causar daños significativos a la estructura, mientras que suelos que alcanzan una expansión por debajo del 50 %, rara vez experimentan cambios de volúmenes apreciables bajo la aplicación de cargas estructurales, aun cuando estas sean provenientes de estructuras livianas. (Patrone & Prefumo, s.f)

## 2.4. Evaluación del potencial expansivo en base a los métodos expuestos.

Existen varios métodos que realizando diversas combinaciones de los resultados de las medidas de las propiedades antes mencionadas clasifican en categorías los potenciales expansivos del suelo **Método desarrollado por Holtz y Gibbs**

En el gráfico siguiente se muestra una relación típica entre el contenido de coloides, el Índice Plástico y el límite de contracción. (Patrone & Prefumo, s.f)

**FIGURA N°06 RELACION COLOIDES-ÍNDICE PLÁSTICO**



**Fuente:** (Patrone & Prefumo, s.f)

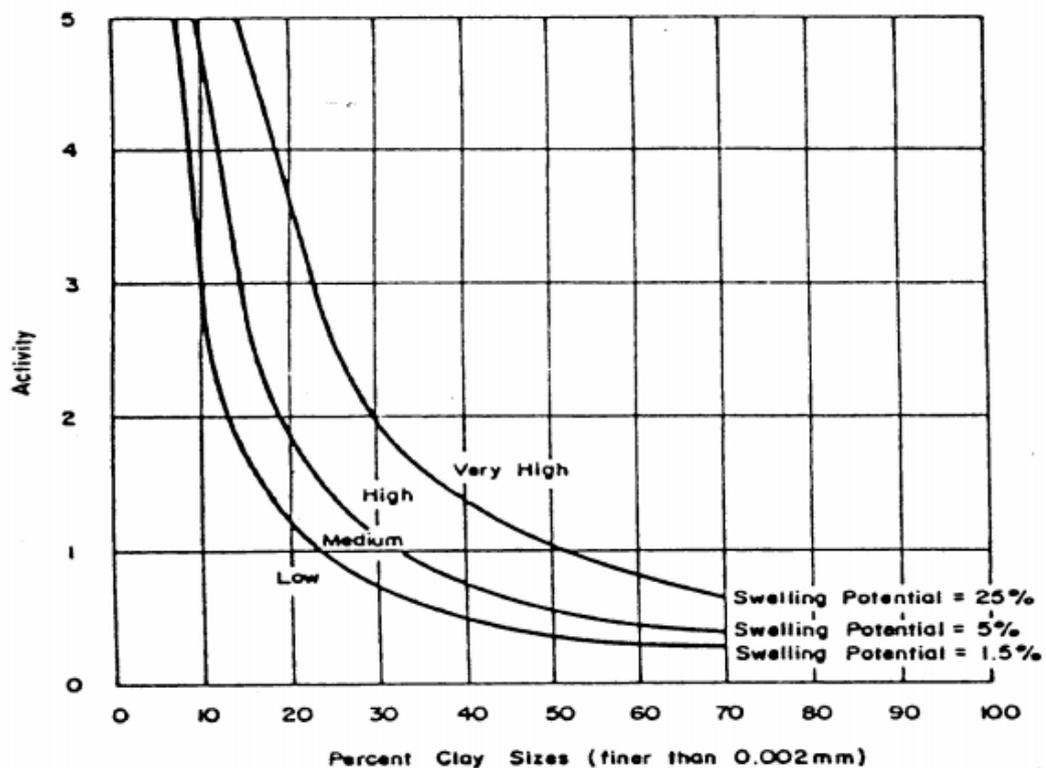
Basado en las curvas presentadas Holtz propone el siguiente criterio para la identificación de suelos expansivos:

**TABLA N°05 IDENTIFICACION DE SUELOS EXPANSIVOS**

Contenido de coloide (< 0.001 mm) en %	Índice Plástico	Shrinkage Limit	% Expansión bajo carga de 1.0 psi	Grado de Expansión
> 28	>35	<11	>30	Muy alto
20 –13	25 – 41	7 – 12	20 –30	Alto
13-23	15 – 28	10 –16	10 – 30	Medio
>15	<18	>15	<10	Bajo

Método del “Índice de la actividad de la arcilla” propuesto por Seed, Woodward y Lundgren Está basado en muestras remoldeadas de suelo compuestos por mezcla de arcillas, bentonita, illita, caolinita y arena fina. La expansión se midió como un % del hinchamiento que experimentan probetas compactadas al 100 % del P.U.S.M. del Proctor Estándar y con el contenido de humedad óptimo y sometidas a una sobrecarga de 1 Psi La actividad de la arcilla se define como:  
 $A = PI / (C-10)$  IP: Índice Plástico C = % < 0.002 mm (Patrone & Prefumo, s.f)

**FIGURA N°07 RELACIÓN ACTIVIDAD FRENTE AL PORCENTAJE DE ARCILLA (PATRONE & PREFUMO, S.F)**



Fuente: (Patrone & Prefumo, s.f)

### **3. MÉTODOS INDIRECTOS DE DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL EXPANSIVO DEL SUELO**

Estos métodos consisten en predecir el potencial expansivo del suelo de una forma cualitativa, en base a medidas directas de la expansión del suelo sobre muestras remoldeadas compactadas en condiciones prefijadas de humedad y densidad. Los métodos más utilizados son el de “Ladd y Lambe” auspiciado por la Federal Housing Administration y el método de “PVC” o método de la medida del cambio volumétrico. (Patrone & Prefumo, s.f)

### **4. MEDIDAS DIRECTAS DE LA EXPANSIÓN DEL SUELO.**

Estos métodos consisten en medir la expansión del suelo al saturarlo bajo diferentes condiciones de carga, graficándose las variaciones de hinchamiento para diferentes presiones aplicadas. Es universalmente aceptado que los dos parámetros que definen el Potencial de Hinchamiento son:

- **Presión de hinchamiento (PS)** definida como la presión aplicada en laboratorio sobre una muestra de suelo expansivo para que, una vez en contacto con agua, la probeta mantenga constante su volumen inicial, es decir que la variación de volumen sea nula.
- **Hinchamiento libre (Hc)** definido como el % de la elevación máxima para presión nula en relación a la longitud inicial de la probeta. (Patrone & Prefumo, s.f)

#### **1.7. Definición de términos básicos.**

##### **ESTABILIZADOR QUÍMICO:**

Es un producto químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo, para tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas del producto, mejorando ciertas propiedades propias del suelo, ya sea en la etapa de construcción y/o servicio.

**TABLA N°06: ESTABILIZADOR QUIMICO DE SUELOS**

Producto estabilizante	Descripción
Cloruro de calcio (CaCl)	Disminuye el punto de congelamiento del agua a -51°C y la permeabilidad del suelo. Potencial corrosión de vehículos. El agua tiende a lavar el producto y a formar superficie resbaladiza. Potencial daño medioambiental. Buen desempeño en suelos granulares limosos y/o arcillosos.
Cloruro de magnesio (MgCl)	Más efectivo que el cloruro de calcio para incrementar la tensión superficial produciendo una superficie de rodado más dura. Disminuye punto de congelamiento del agua a -32°C. Considerado muy corrosivo. El agua diluye los cloruros. Efectivo en carpetas bien graduadas.
Cloruro de sodio (NaCl)	Disminuye punto de congelamiento del agua a -21°C. Moderadamente corrosivo en metales. El agua puede generar un potencial lavado del producto. Buen uso en gravas arenosas, suelos arcillosos y/o limosos, libres de materia orgánica.
Polímeros	Provoca una floculación del suelo que permite mejorar la resistencia mecánica. Disminuye el agua contenida entre las partículas de suelo y reduce la permeabilidad. Tiene dificultad para mantener una superficie dura. Buen uso en suelos granulares, limosos y/o arcillosos.
Agentes enzimáticos	Requieren un periodo de curado, lo cual genera dificultad de uso masivo en áreas donde las condiciones meteorológicas son lluviosas y húmedas. Efectivo en suelos que contienen arcillas, limos y material orgánico.

**SUELOS EXPANSIVOS:**

Son aquellos suelos que presentan expansiones o contracciones, ósea cambios de volumen cuando varía su humedad o contenido de agua.

**TABLA N°07: CLASIFICACION DE SUELOS EXPANSIVOS**

Potencial de expansión	Expansión (%) medida en consolidómetro bajo presión vertical de 0.07 kgf/cm <sup>2</sup>	Límite líquido LL, en (%)	Límite de contracción en (%)	Índice de plasticidad, IP, en (%)	Porcentaje de partículas menores de una micra (µ)	Expansión libre LL en (%), medida en probeta
Muy alto	> 30	> 63	< 10	> 32	> 37	> 100
Alto	20 - 30	50 - 63	6 - 12	23 - 45	18 - 37	> 100
Medio	10 - 20	39 - 50	8 - 18	12 - 34	12 - 27	50 - 100
Bajo	< 10	< 39	> 13	< 20	< 17	< 50

## PROPIEDADES MECANICAS:

Son propiedades físicas que describen el comportamiento de un material sólido, al aplicarle fuerzas de tracción, compresión, torsión, entre otros.

**TABLA N°08: PROPIEDADES MECANICAS DE SUELOS**

Clasificación	Angulo de talud natural		Para la resistencia residual		Para la resistencia máxima			
	$i(^{\circ})$	Talud (vert. a hor.)	$\phi_{ev} (^{\circ})$	$tg \phi_{cv}$	Compacidad media		Compacta	
					$\phi (^{\circ})$	$tg \phi$	$\phi (^{\circ})$	$tg \phi$
Limo (no plástico)	26	1: 2	26	0.488	28	0.532	30	0.577
	a		a		a		a	
Arena uniforme fina a media	30	1: 1.75	30	0.577	32	0.625	34	0.675
	26	1: 2	26	0.488	30	0.577	32	0.675
Arena bien graduada	30	1: 1.75	30	0.577	34	0.675	36	0.726
	30	1: 1.75	30	0.577	34	0.675	38	0.839
Arena y grava	34	1: 1.50	34	0.675	40	0.839	46	1.030
	32	1: 1.60	32	0.625	36	0.726	40	0.900
	a		a		a		a	
	36	1: 1.40	36	0.726	42	0.900	48	1.110

## ESTABILIZACION:

Consiste en dar estabilidad al sustrato fijándolo y garantizando la permanencia de su compactación. Se transforma el suelo del que se dispone en material de construcción de calidad especialmente en parcelas de tierra, caminos y lagos artificiales.

**TABLA N°09 ESTABILIZACION DE SUELOS**

TIPOS DE SUELOS	MÉTODOS MÁS EFECTIVOS DE ESTABILIZACIÓN
Suelos granulares gruesos	Estabilización mecánica, estabilización con asfalto, suelo cemento, cal-ceniza volante
Suelos granulares finos	Estabilización mecánica, estabilización con asfalto, suelo cemento, cal-ceniza volante, cloruros
Arcillas de baja plasticidad	Estabilización con cemento, estabilización con cal, impermeabilizantes químicos
Arcillas de alta plasticidad	Estabilización con cal

## 1.8. Formulación de la hipótesis.

### 1.8.1. Planteamiento de la hipótesis.

Al utilizar los diversos tipos de estabilizadores químicos que se utilizan para los suelos expansibles observamos que estos mejoran sus propiedades mecánicas al ser utilizados en los suelos expansibles proporcionalmente al costo que poseen. Se tomarán muestras de suelos expansibles que serán analizadas en el Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Trujillo, 2018.

**TABLA N°10: HIPÓTESIS GENERAL**

HIPÓTESIS	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La utilización de estabilizadores químicos aumentará las propiedades mecánicas de los suelos expansibles de la Urbanización Santa María - Trujillo en el año 2018	Estabilizadores químicos	Suelos expansibles de la ciudad de Trujillo – La Libertad	Aumento	Urbanización Santa María - Trujillo	Año 2018
	Propiedades Mecánicas				

**Fuente:** Elaboración Propia

**TABLA N°11 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

HIPÓTESIS ESPECIFICA	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
<p>La aplicación de cal como estabilizador químico aumentara el California Bearing Ratio de los suelos expansibles de Trujillo, 2018.</p>	Variables	Unidad de análisis	de Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
	<p>1. La cal como estabilizador Químico. 2. California Bearing Ratio.</p>	<p>Suelos expansibles de Trujillo</p>	<p>Aumenta</p>	<p>Urbanización Santa María - Trujillo</p>	<p>2018</p>
HIPÓTESIS ESPECIFICA	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
<p>La aplicación de Cemento Porlant tipo I como estabilizador químico aumentara el California Bearing Ratio de los suelos expansibles de Trujillo, 2018.</p>	Variables	Unidad de análisis	de Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
	<p>1. Cemento Portland tipo I como estabilizador Químico. 2. California Bearing Ratio.</p>	<p>Suelos expansibles de Trujillo</p>	<p>Aumenta</p>	<p>Urbanización Santa María - Trujillo</p>	<p>2018</p>
HIPÓTESIS ESPECIFICA	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	

	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La aplicación de cloruro de sodio como estabilizador químico aumentara el California Bearing Ratio de los suelos expansibles de Trujillo, 2018.	1. Cloruro de Sodio como estabilizador Químico 2. California Bearing Ratio.	Suelos expansibles de Trujillo	Aumenta	Urbanización Santa María - Trujillo	2018

## 1.9. Variables

**TABLA N°12 DEFINICIÓN DE VARIABLES**

PROPIEDADES  
MECANICAS DE UN  
SUELO

Son propiedades físicas que describen el comportamiento de un material sólido al aplicarle fuerzas de tracción, compresión y torsión.

ESTABILIZADOR  
QUIMICO

Sustancia química mediante la cual se busca mejorar las propiedades mecánicas de un suelo de manera que se obtenga un suelo firme y estable.

**Fuente:** Elaboración propia

## TABLA N°13 CLASIFICACIÓN DE VARIABLES

CLASIFICACION DE VARIABLES					
VARIABLE	POR SU FORMA DE MEDICION	POR SU NATURALEZA	POR SU ESCALA DE MEDICION	POR SUS DIMENSIONES	POR SU FORMA DE MEDICION
<b>Estabilizadores Químicos</b>	Independiente	Cualitativa	Razón	Multidimensional	Directa
<b>Propiedades mecánicas de un suelo expansible</b>	Dependiente	Cuantitativa	Razón	Multidimensional	Directa

Fuente: Elaboración propia

## II. MATERIAL Y MÉTODOS.

### 2.1. Material:

#### a) Materiales

- Papel bond
- Lapiceros
- Lápices
- Grapas
- Tinta para impresora Epson
- Estabilizadores químicos
- Palana
- Barreta
- Sacos
- Recipientes para ensayos

## Equipos

- Laptop
- USB 16GB
- Cámara fotográfica
- Impresora multifuncional
- Engrapador
- Perforador

## Locales

- Universidad Privada de Trujillo – Laboratorio

### b) Humano.

- Investigador
- Estadístico
- Asesor de tesis

### c) Servicios.

- Internet
- Línea de telefonía móvil
- Quemado de CD
- Empastados
- Anillados
- Alquiler de laboratorio

## 2.2. Material de estudio.

### 2.2.1. Población.

Suelo de la Ciudad de Trujillo donde se puedan ubicar suelos expansibles tales como partes de la Urbanización Santa María IV Etapa – Trujillo, 2019.

### 2.2.2. Muestra.

**Tamaño de muestra:** Está conformada por 3 calicatas en 3 lugares diferentes de la Urbanización Santa María IV Etapa – Trujillo de donde se obtendrán muestras para caracterizar el suelo existente en el mencionado sector mediante ensayos insitu como también ensayos llevados a cabo en el laboratorio.

**Técnica de muestreo:** Fue muestreo no probabilístico bajo el criterio por juicio, ya que en lo que va del año se han estado clasificando el tipo de suelo de Trujillo por zonas, por ello la Urbanización Santa María IV Etapa, donde expertos han realizado un estudio indican que hay presencia de suelos expansibles como se muestra en el Anexo N° 06

**FIGURA N°08 TECNICAS DE MUESTREO**



### 2.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.

#### 2.3.1. Para recolectar datos.

Las técnicas de recolección de datos serán directas, pues se obtienen en el laboratorio y de observación no participante pues los datos recolectados son objetivos y resultado de los ensayos que se realizaron, optará la forma sistémica y experimental en campo y

laboratorio por los investigadores que son agentes activos en el desarrollo de este siguiendo el siguiente proceso:

- Se realizarán calicatas para la extracción de muestras tanto alteradas como inalteradas para los distintos tipos de ensayos a realizar en el laboratorio.
- Se clasificará los suelos debidamente con las normas de clasificación de suelos AASHTO Y SUCS.
- Se determinará el contenido de humedad óptimo del suelo.
- Se estabilizará el suelo mediante 3 tipos de estabilizadores químicos con variaciones en el porcentaje de uso para luego estudiarlos en el laboratorio.
- Se harán ensayos de CBR finalmente para determinar la capacidad de soporte relativo del suelo a todas las muestras obtenidas, tanto la muestra patrón como las que fueron estabilizadas por métodos químicos.

#### **Instrumentos de recolección de datos:**

Los instrumentos de medición a usar serán los siguientes:

- Formato de densidad de campo: Cono de Arena.
- Formato de granulometría: Juego de Tamices
- Formato de límites de consistencia: Copa Casagrande
- Formato de máxima densidad seca: Proctor Modificado
- Formato de capacidad de soporte relativo: CBR
- Los siguientes formatos mencionados se encuentran en Capítulo IV, relacionado a Referencias y Anexos

#### **2.3.2. Para procesar datos.**

En esta sección se detallan los métodos y técnicas necesarias para realizar el proceso de investigación con cada uno de los datos obtenidos en campo.

En nuestra investigación se plantea utilizar métodos de inferencia estadística, los que incluyen pruebas estadísticas, siendo la más adecuada el Método de Shapiro Wilk, la cual nos permitirá comprobar la normalidad de los ensayos que podamos realizar y

se podrá verificar que los valores que obtenemos sean valores válidos.

Asimismo, puesto que poseemos una investigación experimental pura, se realizó las pruebas de hipótesis específicas en estudio con a través de la prueba ANVA, pues nos permitió determinar si uso de estabilizadores químicos es significativo sobre las propiedades mecánicas de los suelos expansibles de la Urbanización Santa María de Trujillo.

### FIGURA N°09 PRUEBA DE HIPOTESIS

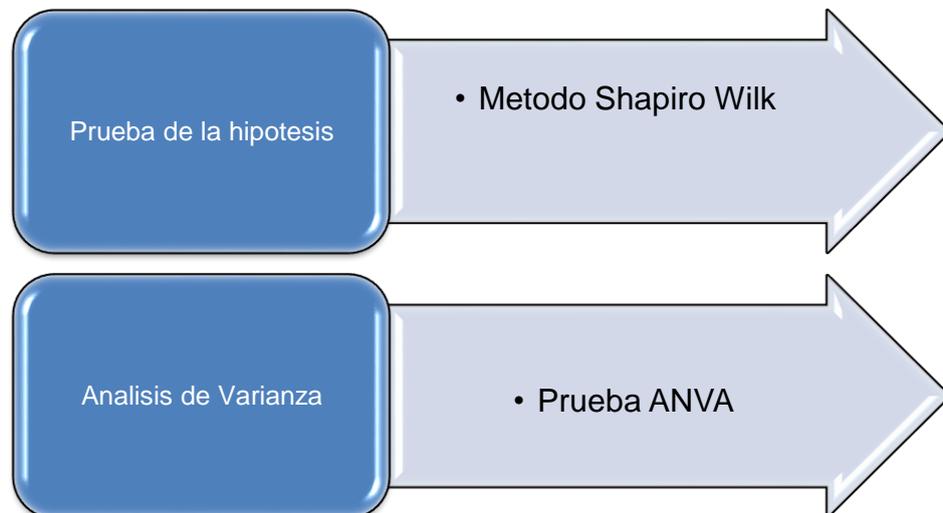
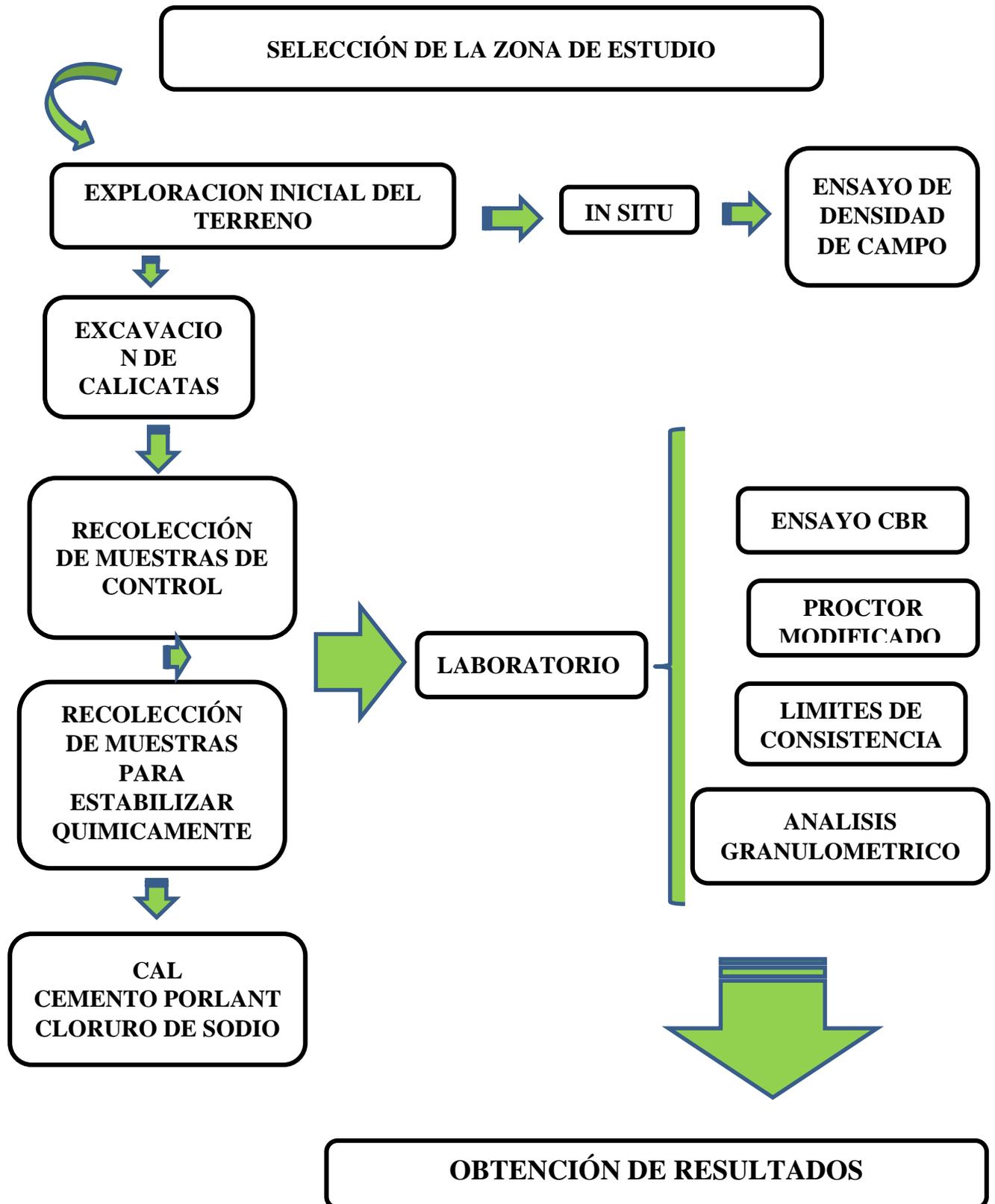


FIGURA N°10 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL



Fuente: Elaboración Propia

- 1.- En primer lugar, se elegirá el lugar donde se trabajará toda la parte experimental del proyecto, precisamente en una zona dentro de la Urbanización Santa María, que por conveniencia fue seleccionado como la zona de estudio, pues posee el suelo expansible que buscamos mejorar a partir de estabilizadores químicos.
- 2.- Una vez seleccionado nuestro lugar de trabajo se procede a hacer 3 calicatas para poder determinar las propiedades del suelo mediante ensayos ya mencionados anteriormente, como también el ensayo insitu de densidad de campo.
- 3.- Con las muestras obtenidas en las calicatas realizadas en campo, procedemos a realizar el ensayo de proctor modificado para poder conocer la cantidad de humedad óptima para la compactación que será necesaria posteriormente para poder estabilizar nuestro suelo de manera adecuada y así obtener resultados totalmente confiables.
- 4.- Una vez clasificado correctamente el tipo de suelo mediante los ensayos realizados en el laboratorio, tanto como granulometría, plasticidad, proctor modificado, se procederá a estabilizar el suelo con 3 tipos de estabilizadores diferentes en diferentes proporciones diferentes.
- 5.- Una vez que los suelos son estabilizados químicamente se procede a verificar las mejoras que se pudieron obtener mediante estos procesos verificándolos mediante el ensayo de CBR para poder constatar como el soporte relativo de dichos suelos cambiaron luego de ser sometidos a estabilización química, comparando directamente con la muestra patrón que inicialmente obtuvimos al extraer las muestras tanto alteradas como inalteradas
- 6.- Se procesa los datos mediante los datos estadísticos ya mencionados con anterioridad para poder analizar los resultados obtenidos de manera adecuada y poder comparar las propiedades mecánicas que se buscaron mejorar y llegar a una conclusión.

### **Ensayos in situ**

#### **Exploración del Suelo**

El muestreo del suelo se llevará a cabo siguiendo la NTP 339.162 (ASTM D420), lo cual es una guía normalizada para caracterización de campo con fines de diseño de ingeniería y construcción. Para la siguiente investigación

---

se harán 3 calicatas para la posterior caracterización del suelo insitu y en el laboratorio. Algunas etapas típicas de una exploración que utilizamos fue: estudio preliminar, reconocimiento del terreno, exploración.

**Procedimiento:**

Realizaremos la excavación de 3 calicatas de donde se podrán obtener una muestra representativa de cada una de las 3 calicatas realizadas para poder caracterizar el suelo existente antes de hacer uso de los 3 estabilizadores químicos con lo que se trabajara esta investigación, con el fin de conocer sus propiedades mecánicas y su clasificación de acuerdo a las normas ya mencionadas con anterioridad para posteriormente establecer comparación sobre la variación de dichas propiedades con respecto a las que se encontraron inicialmente.

**Ensayo insitu: Método del Cono de Arena**

Determinaremos la densidad en campo mediante el método de cono de arena de acuerdo con la NTP 339.143 (ASTM D1556), este método puede ser usado para determinar la densidad de depósitos de suelos naturales, agregados, mezclas de suelos u otro material similar, considerando debidamente calibrado.

**Materiales, Instrumentos y Equipos:**

- Aparato de densidad.
- Arena deberá ser limpia, seca, uniforme, no cementada, durable y que discurra libremente. Se necesita libre de finos y partículas de arena fina.
- Balanzas
- Equipo de secado (horno)

**Procedimiento:**

- Llenaremos el aparato de densidad con arena previamente calibrada para obtener la densidad de la masa. Obtendremos peso del aparato y de la arena.
- Prepararemos una superficie nivelado donde se va a realizar el ensayo
- Asentaremos el plato base sobre la superficie plana. Aseguramos que el plato no sufra movimientos durante el ensayo.

- Realizaremos la excavación del hueco para el ensayo en la parte central del plato base, teniendo cuidado de no alterar el suelo que rodea el hueco.
- A continuación, limpiaremos del borde del hueco central del plato de metal, invertiremos el aparato, y asentaremos el embudo grande de metal en el hueco con bordes en la misma ubicación marcada durante la calibración.

En seguida abriremos la válvula y dejamos que la arena llene el hueco, el embudo y el plato base. Tener cuidado de no golpear o vibrar el aparato o el terreno durante este paso. Cuando la arena deje de fluir cerraremos la válvula.

- Determinaremos la masa del aparato con la arena sobrante y calculamos la masa utilizada en el ensayo.
- En seguida determinaremos la masa del material que ha sido removido del hueco del ensayo.
- Mezclaremos el material completamente y obtendremos un espécimen representativo para la determinación del contenido de humedad o usaremos la muestra entera.
- Determinamos el contenido de humedad de acuerdo con el Método D2216

## Ensayos de Laboratorio

### Análisis Granulométrico y Tipo de Suelo

Es de mayor uso en nuestro medio con la finalidad de obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo empleando tamices normalizados y numerados dispuestos en orden creciente, así es posible también su clasificación mediante sistemas como AASHTO O SUCS. Se efectuará teniendo como referencia el método de la norma NTP 339.128 (ASTM D422).

#### 1. Equipo:

- Juego de tamices normalizados.
- Dos balanzas, con capacidades superiores 20 kg y 2000gr y precisiones de 1gr y 0.1 gr respectivamente.
- Horno de secado con temperatura regulable en  $110^{\circ}\pm 5^{\circ}$  C.
- Un vibrador mecánico.

- Herramientas y accesorios: bandeja metálica, poruña, recipientes plásticos y escobilla.

## 2. Procedimiento:

- Homogenizaremos de manera cuidadosamente muestra natural, tratando de evitar romper sus partículas individuales.
- Reduciremos por cuarteo una cantidad de muestra levemente mayor a la recomendada según el tamaño de las partículas del árido, indicado en la tabla 3.3. Procederemos a secar el material en un horno a una temperatura inferior a 60° C.
- La muestra separaremos a través del tamiz 3/8". La fracción retenida en este tamiz pesaremos y lavaremos con el fin de eliminar todo el material fino menor a 0.075mm. Para esto remojarémos el suelo en un recipiente con agua hasta que las partículas más finas se suelten, en seguida lavamos el suelo colocando como filtro la malla N° 200, hasta que el agua salga limpia. El material lavado colocaremos en un horno durante 24 horas, cumplido el tiempo de secado, se pesa y por diferencia se obtendrá el material fino por lavado.
- A continuación, depositaremos el material en la criba superior del juego de tamices, los cuales serán ordenados en forma decreciente hasta la criba 3/8". A continuación, vibraremos el conjunto durante 5 min, tiempo después se retirare la materia del vibrador y se registrara el peso del material retenido en cada tamiz. Debemos de mencionar que para la fracción de muestra que paso el tamiz 3/8", el procedimiento es similar.
- Realizado el análisis granulométrico se procederá a la clasificación del suelo utilizando la NTP 339.134 (ASTM D2487).

### **Determinación de los Límites de Atterberg**

Para determinar este ensayo se tuvieron en cuenta la noma NTP 339.129 (ASTM D 4318). Además la norma chilena 1517/I Of. 1979 define los límites en: Limite Liquido (LL), Limite plástico (LP) y Limite de Contracción (LC). El Límite de Contracción se basa en la NTP 339.140 (ASTM D 427). Para la presente investigación no presenta ninguno de estos Límites de Atterberg por ser un de tipo suelo granular (Grava Arenoso).

## Ensayo de Proctor Modificado

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 4 ó 6 pulgadas (101,6 ó 152,4 mm) de diámetro con un pisón de 10 lbf (44,5 N) que cae de una altura de 18 pulgadas (457 mm), produciendo una Energía de Compactación de 56 000 lb-pie/pie<sup>3</sup> (2 700 kN-m/m<sup>3</sup>).

### Materiales, Instrumentos y Equipos:

- Ensamblaje del Molde.- Los moldes deben de ser cilíndricos hechos de materiales rígidos y con capacidad que se indican en Figuras 1 y 2. Las paredes del molde deberán ser sólidas, partidas o ahusadas. El tipo “partido” deberá tener dos medias secciones circulares, o una sección de tubo dividido a lo largo de un elemento que se pueda cerrar en forma segura formando un cilindro que reúna los requisitos de esta sección.
- El collar de extensión debe de alinearse con el interior del molde, la parte inferior del plato base y del área central ahuecada que acepta el molde cilíndrico debe ser plana
- Molde de 4 pulgadas.- Un molde que tenga en promedio  $4,000 \pm 0,016$  pulg ( $101,6 \pm 0,4$  mm) de diámetro interior, una altura de  $4,584 \pm 0,018$  pulg ( $116,4 \pm 0,5$  mm) y un volumen de  $0,0333 \pm 0,0005$  pie<sup>3</sup> ( $944 \pm 14$  cm<sup>3</sup>).
- Molde de 6 pulgadas.- Un molde que tenga en promedio  $6,000 \pm 0,026$  pulg ( $152,4 \pm 0,7$  mm) de diámetro interior, una altura de:  $4,584 \pm 0,018$  pulg ( $116,4 \pm 0,5$ mm) y un volumen de  $0,075 \pm 0,0009$  pie<sup>3</sup> ( $2\ 124 \pm 25$  cm<sup>3</sup>)
- Pisón ó Martillo.- Un pisón operado manualmente ó mecánicamente. El pisón debe caer libremente a una distancia de  $18 \pm 0,05$  pulg ( $457,2 \pm 1,6$  mm) de la superficie de espécimen.
- Horno de Secado.- Con control termostático preferiblemente del tipo de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $230 \pm 9$  °F ( $110 \pm 5$  °C) a través de la cámara de secado.

- Regla.- Una regla metálica, rígida de una longitud conveniente pero no menor que 10 pulgadas (254 mm). La longitud total de la regla recta debe ajustarse directamente a una tolerancia de  $\pm 0,005$  pulg ( $\pm 0,1$  mm). El borde de arrastre debe ser biselado si es más grueso que 1/8 pulg (3 mm)
- Tamices ó Mallas.- De  $\frac{3}{4}$  pulg (19,0 mm),  $\frac{3}{8}$  pulg (9,5 mm) y N° 4 (4,75mm), conforme a los requisitos de la especificaciones ASTM E11 (“Especificación para mallas metálicas con fines de ensayo”).
- Herramientas de Mezcla.- Diversas herramientas tales como cucharas, mezclador, paleta, espátula, botella de spray, etc. ó un aparato mecánico apropiado para la mezcla completo de muestra de suelo con incrementos de agua.

### Procedimiento

- Secar al aire una muestra de control y 3 muestras estabilizadas de unos 2,5 Kg. de peso y retirar de ella todo el material mayor a la malla N° 4.
- Determinar y registrar la tara del molde proctor
- Mezclar la muestra con el agua suficiente para obtener una mezcla ligeramente húmeda, que aún se desmorone cuando se presione después de ser apretada con la mano.
- Colocar la muestra dentro del molde en tres capas sucesivas, aplicándoles a cada una 25 golpes repartidos en toda el área, dados con un pisón de 2,5 Kg., que se deja caer de 30,5 cm
- Quitar cuidadosamente la extensión del molde y enrasar la parte superior del cilindro con la regla metálica
- Determinar y registrar el peso del cilindro con el suelo compactado.
- Retirar el suelo del molde y obtener el contenido de agua de dos muestras representativas, de unos 100 gr., una obtenida de un nivel cercano al superior y otra de una parte próxima al fondo.
- Repetir el proceso con un contenido de agua cada vez mayor hasta que se tengan por lo menos dos determinaciones en las que el peso del molde con el suelo compactado sea inferior a los anteriores.

- Dibujar los resultados obtenidos en una gráfica que tenga como abscisas los diferentes contenidos de agua resultante y como ordenadas los pesos específicos secos.
- En la curva obtenida, la máxima ordenada representará la humedad óptima del suelo para la que pueda lograrse el máximo peso específico con la energía de compactación entregada.

### **Ensayo CBR**

Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno. (ASTM D-1883)

### **Equipo de CBR:**

- Molde de compactación (con collar y base)
- Disco espaciador
- Martillo de compactación
- Aparato para medir la expansión con deformímetro de carátula con precisión de 0.01 mm
- Pesos para sobrecarga
- Máquina de compresión equipada con pistón de penetración CBR capaz de penetrar a una velocidad de 1.27 mm/min

### **Procedimiento**

- Preparar una muestra de suelo de control y 3 muestras estabilizadas (en cantidad suficiente para hacer 3 probetas de cada una), al contenido de humedad óptima del suelo determinado con el ensayo de Proctor Modificado.
- Antes de compactar el suelo en los moldes, tomar una muestra representativa para determinar su contenido de humedad (por lo menos 100 g si el suelo es de grano fino).
- Pesar los moldes sin su base ni el collar.

- Para cada molde ajustar el molde a la base, insertar el disco espaciador en el molde y cubrirlo con un disco de papel filtro.
- Fabricar 6 probetas de 5 capas cada una: 2 de 12 golpes por capa, 2 de 26 golpes por capa y 2 de 56 golpes por capa; dejar saturando una muestra de 12, de 26 y de 56 golpes por capa.
- Para cada molde retirar la base, el collar y el disco espaciador, pesar el molde con el suelo compactado y determinara el peso unitario total del suelo.
- Colocar un disco de papel filtro sobre la base, invertir la muestra y asegurar el molde a la base de forma que el suelo quede en contacto con el papel filtro.

**Para muestras no saturadas**, llevar a cabo los siguientes 3 pasos

- Colocar suficientes pesas ranuradas (no menos de 4.5 kg) sobre la muestra de suelo para simular la presión de sobrecarga requerida.
- Colocar la muestra en la máquina de compresión y sentar el pistón sobre la superficie de suelo utilizando una carga inicial no mayor de 4.5 kg. Fijar el cero en los deformímetros de medida de carga y de penetración (o deformación).
- Hacer lecturas de deformación o penetración y tomar las respectivas lecturas del deformímetro de carga. Extruir la muestra del molde y tomar dos muestras representativas adicionales para contenido de humedad.

**Para muestras no saturadas:**

- Colocar la placa perforada con el vástago ajustable sobre el suelo compactado y aplicar suficientes pesas para obtener la sobrecarga deseada, cuidando que no sea inferior a 4.5kg. Asegurarse de usar un disco de papel filtro entre la base perforada del vástago y el suelo para evitar que el suelo se pegue a la base del vástago.
- Sumergir el molde y las pesas en un recipiente de agua de forma que el agua tenga acceso tanto a la parte superior como a la parte inferior de la muestra y ajustar el deformímetro de carátula (con lecturas al 0.01 mm) en su respectivo soporte; marcar sobre el molde los puntos donde

---

se apoya el soporte de forma que pueda removerse y volver a colocarlo sobre el molde en el mismo sitio cuando se desee hacer una lectura.

- Ajustar el cero del deformímetro de expansión y registrar el tiempo de comienzo del ensayo. Tomar las lecturas a 0, 1, 2, 4, 8, 12, 24, 36, 48, 72 y 96 horas de tiempo transcurrido; el ensayo de expansión puede terminarse después de 48 horas si las lecturas en el deformímetro de expansión se mantienen constantes por lo menos durante 24 horas.
- Al final de las 96 horas de inmersión, sacar la muestra y dejarla drenar por espacio de 15 min; secar completamente la superficie superior de la muestra con toallas de papel.
- Pesar la muestra sumergida incluyendo el molde.
- Realizar los pasos 8 al 10 para cada muestra.
- Tomar muestras para contenido de humedad de las muestras saturadas de la siguiente forma:

2 dentro de los 3 cm superiores del suelo

2 dentro de los 3 cm inferiores del suelo

2 en el centro de la muestra de suelo.

## 2.4. Operacionalización de variables.

**TABLA N°14 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES**

VARIABLE	DEF. CONCEPTUAL	DEF. OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES	ITEMS
PROPIEDADES MECANICAS	Son propiedades físicas que describen el comportamiento de un material sólido al aplicarle fuerzas de tracción, compresión y torsión.	Se extraerán muestras de calicatas para estudiarlas en laboratorios tanto aquellas de control como las modificadas con estabilizadores químicos.	CARACTERIZACION DEL SUELO	Estudio de Mecánica de Suelos: Contenido de humedad, Granulometría, Límites de Atterberg, Gravedad específica, Clasificación de suelos (AASHTO y SUCS).  PROCTOR MODIFICADO  ENSAYO CBR	% DE HUMEDAD
			MAXIMA DENSIDAD SECA		PESO UNITARIO
			CAPACIDAD DE SOPORTE RELATIVO DEL SUELO		DENSIDAD ESPECIFICA

### III. RESULTADOS.

A continuación, se muestran los datos que se obtuvieron del estudio de suelos de la muestra obtenida de la calicata C-1 antes y después de aplicarle cierto porcentaje de Cal.

**TABLA N°15 PROPIEDADES DEL SUELO ESTABILIZADO**

Porcentaje de cal (%)	Proctor		C.B.R <sup>1</sup>	Expansión (%)
	γ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	HO (%)		
0	1.90	11.85	12.10	5.47
6	2.19	16.60	22.65	4.27
8	2.21	18.71	32.30	3.50
10	2.17	16.23	29.10	3.72

Fuente. Base de datos, elaboración propia

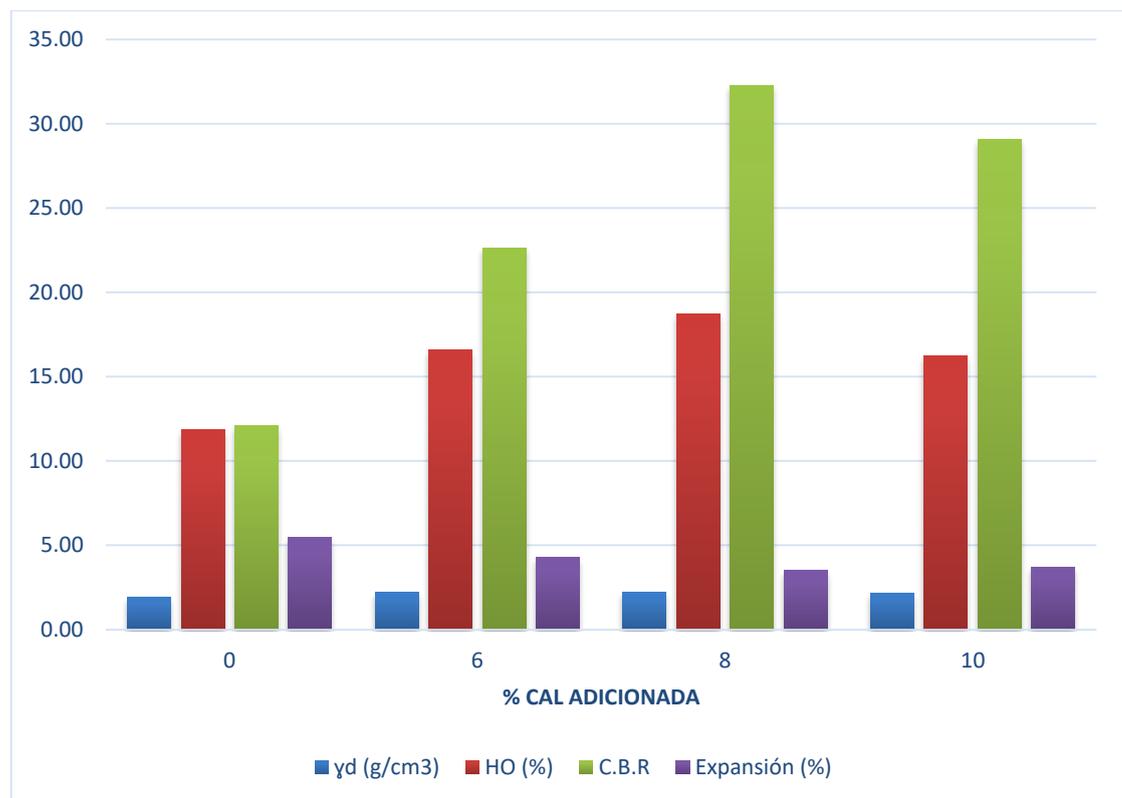
Los valores de  $\gamma_d$  varían entre [1.90 – 2.17] (g/cm<sup>3</sup>) con un máximo valor de 2.21 g/cm<sup>3</sup> al 6% de cal adicionada. Para los valores de la humedad optima se aprecia que se encuentran entre [11.85 – 16.23] %. Por otro lado, el C.B.R varía entre [12.10 – 29.10]. Y por último al ver los resultados de la expansión, se aprecia que estos tienen valores entre [5.47 – 3.72] %.

<sup>1</sup>Los valores de C.B.R están dispuestos al 100% de este ensayo.

El ensayo Proctor se realizó en paralelo al de capacidad de carga, ya que se utilizó el mismo molde, para su ejecución se tomaron como referencia tres dosificaciones de cal; estas fueron: 6, 8 y 10 por ciento.

A partir de la tabla se realizó el grafico de barras, comparando el porcentaje de cal adicionada con las propiedades del suelo, para ver la tendencia que tienen estas conforme se aumentaba la presencia de cal en la muestra.

**TABLA N°16 PORCENTAJE DE CAL ADICIONADA**



Comparativo de % Cal, Humedad Optima, C.B.R y Expansión  
Fuente: Base de datos, elaboración propia

#### IV. DISCUSIÓN.

El estabilizador químico que utilizamos fue la cal, al estudiar su aplicación en un suelo expansible de la V Etapa de la Urb. Santa María de Trujillo, pudimos verificar la variación que este originaba en su penetración, su densidad y su humedad, generando resultados favorables para la utilización de este tipo de suelo.

Los resultados fueron los esperados ya que al aplicar los porcentajes de 6%, 8% y 10% a este suelo, el cual fue clasificado como un suelo tipo Arcilloso de baja plasticidad según la normativa SUCS (CL), variaron significativamente los resultados del CBR según norma ASTM - D 1883 desde un 12.10 al 100%, propio del grupo de control; a un valor de 29.10 al 100%, propio del suelo estabilizado con 10% de cal, con un valor máximo de 32.30 propio de la muestra con 8% de cal adicionada.

Por otro lado, las densidades secas variaron entre 1.90 gr/cm<sup>3</sup> para el grupo de control a un 2.17 g/cm<sup>3</sup> para el suelo estabilizado con 10% de cal, con un valor máximo de 2.21 g/cm<sup>3</sup> para la muestra de 8% de cal. Además, la humedad óptima obtenida del ensayo de Proctor modificado según norma ASTM D-1557 oscilaron entre 11.85% para el grupo de control a un 16.23% para el suelo estabilizado con 10% de cal, con un máximo valor de 18.71% para la muestra de 8% de cal adicionada. Todos estos valores concordaron con los resultados expuestos en los antecedentes citados, debido a que encontramos ligeras similitudes con la tesis de (Marta Liliana Jiménez González, 2010) donde al aumentar la dosificación de cal en la muestra afectaban positivamente en las propiedades del suelo, sin embargo, al utilizar altos porcentajes de cal se verificó que las propiedades iban mermando.

Es decir, el uso de los estabilizadores químicos tales como la Cal brinda beneficios no solo en la disminución de la expansión del suelo sino también en las propiedades mecánicas que dependen de la densidad seca, de la penetración y del porcentaje de humedad óptimo, pero se debe tomar en cuenta la cantidad de cal que se va a utilizar, debido a que valores mayores al 10% podrían ser perjudiciales para las propiedades del suelo.

---

A nivel del análisis estadístico, la significancia de los datos obtenidos cumple con el mínimo (0.05), dando así que los datos se pueden tomar como resultados fiables del mismo. Por otro lado, La prueba ANOVA nos revelas que nuestros datos tienen una significancia muy grande respecto al grupo de control, es decir, que si tienen incidencia en los resultados y es una aplicación válida para la investigación

En los resultados adicionales que obtuvimos para la calibración de la medida, se comprobó que los recipientes de medida cumplían con los requerimientos de la norma. Alternativamente, corroboramos el volumen del recipiente mediante la medición de las dimensiones de este. Por lo cual por esta parte se eliminaron los posibles errores en los datos obtenidos.

---

## V. CONCLUSIONES

- El estabilizador utilizado el cual fue la cal, influye positivamente en las propiedades mecánicas del suelo expansible estudiado, las cuales dependen de la densidad del suelo, la humedad y la capacidad de carga.
- Ubicamos nuestra zona de estudio en un lote vacío ubicado en la intersección de las calles Leopoldo Arias y Fernando Guido, la cual está ubicada en la V Etapa de la Urb. Santa María. Trujillo-La Libertad.
- Luego de haber caracterizado y clasificado este suelo, se determinó su índice de plasticidad; a partir de este punto se propusieron las dosificaciones. Debido a que eran demasiados ensayos para realizar, se retomaron los porcentajes en los que hubiese mayor cambio siendo estos los de 6, 8 y 10%.
- Al determinar las propiedades con estos porcentajes se obtuvo una mejora significativa en cuanto a la expansión; se aumentó la humedad requerida en este proceso debido a la reacción exotérmica producida por la cal y se aumentó significativamente la capacidad de soporte del suelo.
- Según el cuadro comparativo y el gráfico de barras expuesto, podemos concluir que la cal mejora las propiedades mecánicas del suelo, pero se tiene que tener cuidado con los porcentajes elevados de cal aplicado, ya que con porcentajes mayores al 10% se aprecia disminución de estas propiedades estudiadas, inclusive la expansión se ve incrementada para estas cantidades de cal presentes en el suelo estudiado.

## VI. RECOMENDACIONES.

Cuando se inicie a realizar la estabilización de un área, se debe de tomar muestras del suelo cohesivo a estabilizar para conocer las características y propiedades del mismo para relacionar con las muestras de suelos que en esta investigación se trabajaron y corroborar que similitudes presentan para utilizar como base los valores de porcentaje de CBR que acá se obtuvieron para tomarlos como referencia.

De igual manera utilizar este trabajo como una guía básica, para estabilizar suelos cohesivos en diferentes puntos de nuestro país y fomentar a la creación de un manual, el cual aplique e instruya a la formulación de mezcla para estabilización.

Se recomienda que antes de comenzar cualquier trabajo, tener el conocimiento de las características de los materiales, de los problemas que estos materiales puedan generar y de las soluciones que pueden adoptarse.

Se recomienda hacer y seguir un plan de control de calidad, para el diseño, proceso y control final de la capa suelo-cal, donde se defina claramente cuáles son los ensayos de control de calidad a realizar y la frecuencia de los mismos, con el cual todas las partes involucradas en el proyecto estén conformes.

---

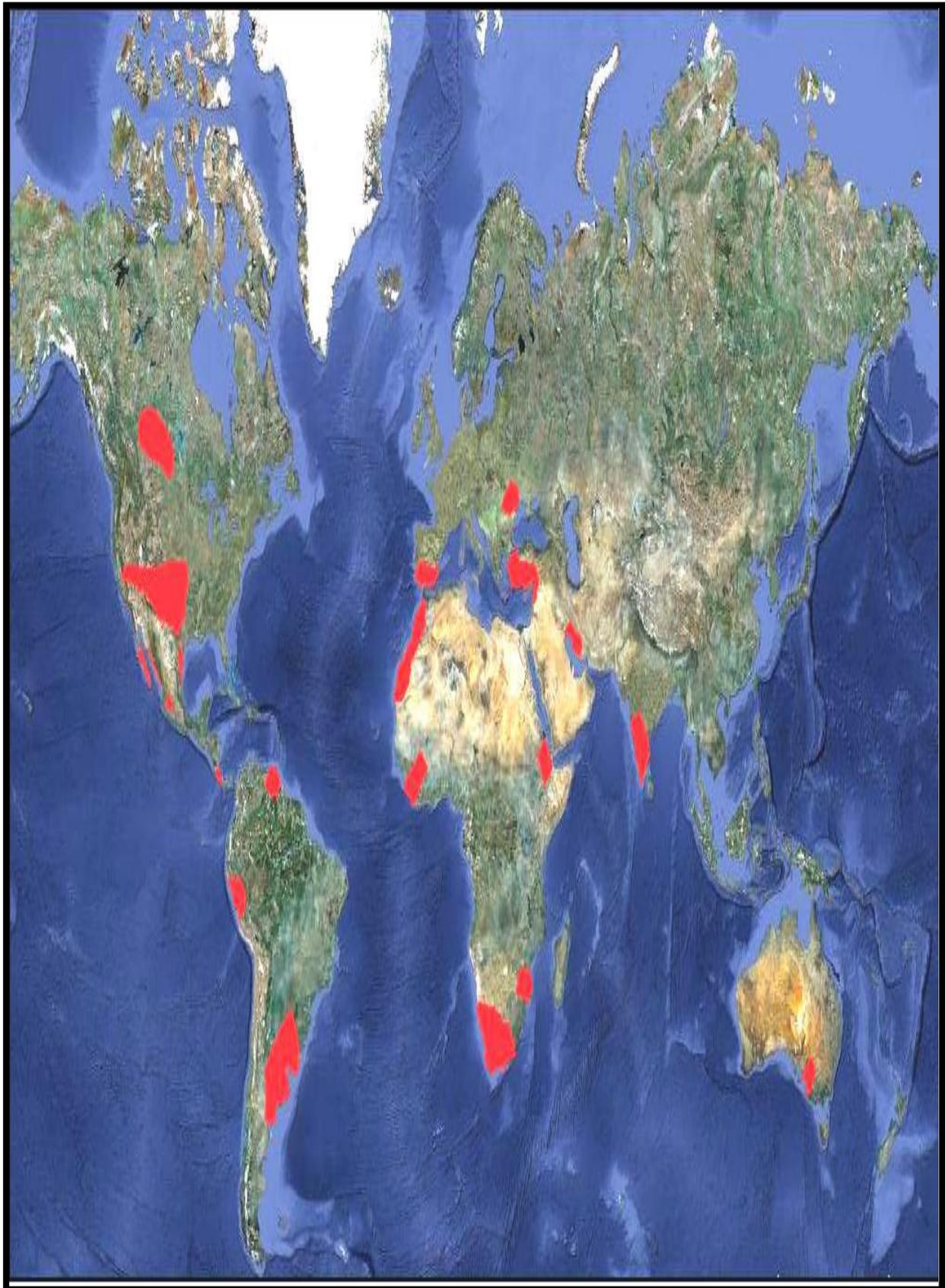
## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Ballarín Zavala, M.A (2006) *Mejoramiento de caminos no pavimentados en el departamento de Huánuco mediante la estabilización de suelos comparando el estabilizador orgánico Perma - Zime 22x y el probase TX – 55*. Huánuco
- Carrasco Mejía, D.A (2017) *Estabilización de los Suelos Arcillosos Adicionando Cenizas de Caña de Azúcar en el Tramo de Moro a Virahuanca en el Distrito de Moro – Provincia del Santa – 2017*. Santa
- García Gonzales, A (2015) *Determinación de la resistencia de la subrasante incorporando cal estructural en el suelo limo arcilloso del sector 14 Mollepampa. Cajamarca*
- García Huaranca, J.M (2015) *Estabilización de suelos arcillosos con cal aplicación a la carretera Tingo María – Pucallpa sector III: Neshuya-Pucallpa. Peru*
- Gómez Pérez, L.E, Guillín Acosta, W.F, Gallardo Amaya, R.J, (2016), *Variación de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos compresibles estabilizados con material cementante*. Colombia
- Gutiérrez Montes, C.A (2010) *Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (bischofita) frente al cloruro de calcio*. Perú
- Hilario Carlos, F (2015) *Aplicación y evaluación de cloruro de magnesio hexahidratado (bischofita) como tratamiento y estabilizador de la capa de rodadura granular aplicado en el tramo de la carretera Espinar - tintaya marquiri*. Espinar
- Lopez Martínez, M.A, (2017), *Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de Pomasqui para cimentaciones superficiales y contrapisos, mediante el uso de cemento tipo MH*. Ecuador
- Lopez Ruiz, A (s.f), *Mejora geotécnica del suelo*. España
- Muchick, 2015. <http://muchik.com>. Recuperado de <http://muchik.com/que-es-la-geotecnia/>
- Palomino Terán, K.M (2016) *Capacidad portante (CBR) de un suelo arcilloso, con la incorporación del estabilizador MAXXSEAL 100*. Lima
- Ponce Crispín, Daisy Kenia (2017) *Uso del cloruro de calcio para estabilización de la subrasante en suelos arcillosos de la avenida Ccoripaccha - Puyhuan Grande*. Huancavelica
- Ugaz Palomino, Roxana María (2006) *Estabilización de suelos y su aplicación en el mejoramiento de subrasante*. Lima



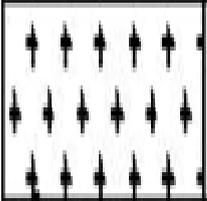
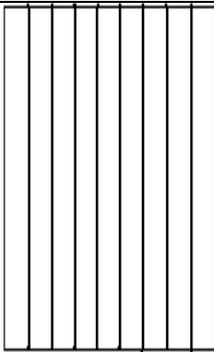
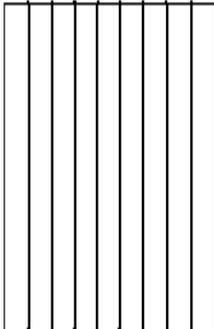
# ANEXOS

## ANEXO N°01: DISTRIBUCIÓN DE LOS SUELOS EXPANSIVOS EN EL MUNDO

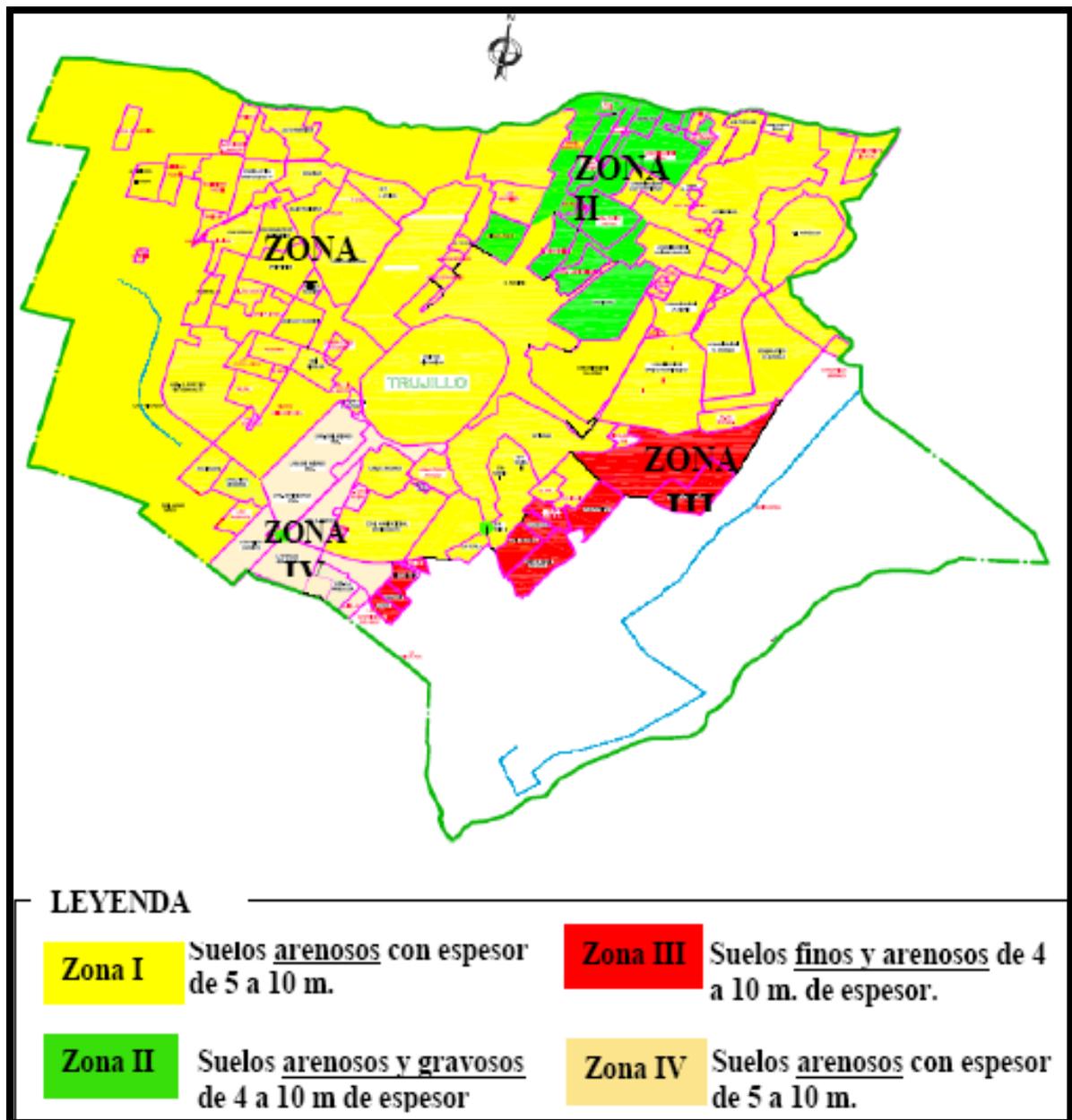


Fuente: googlemaps.

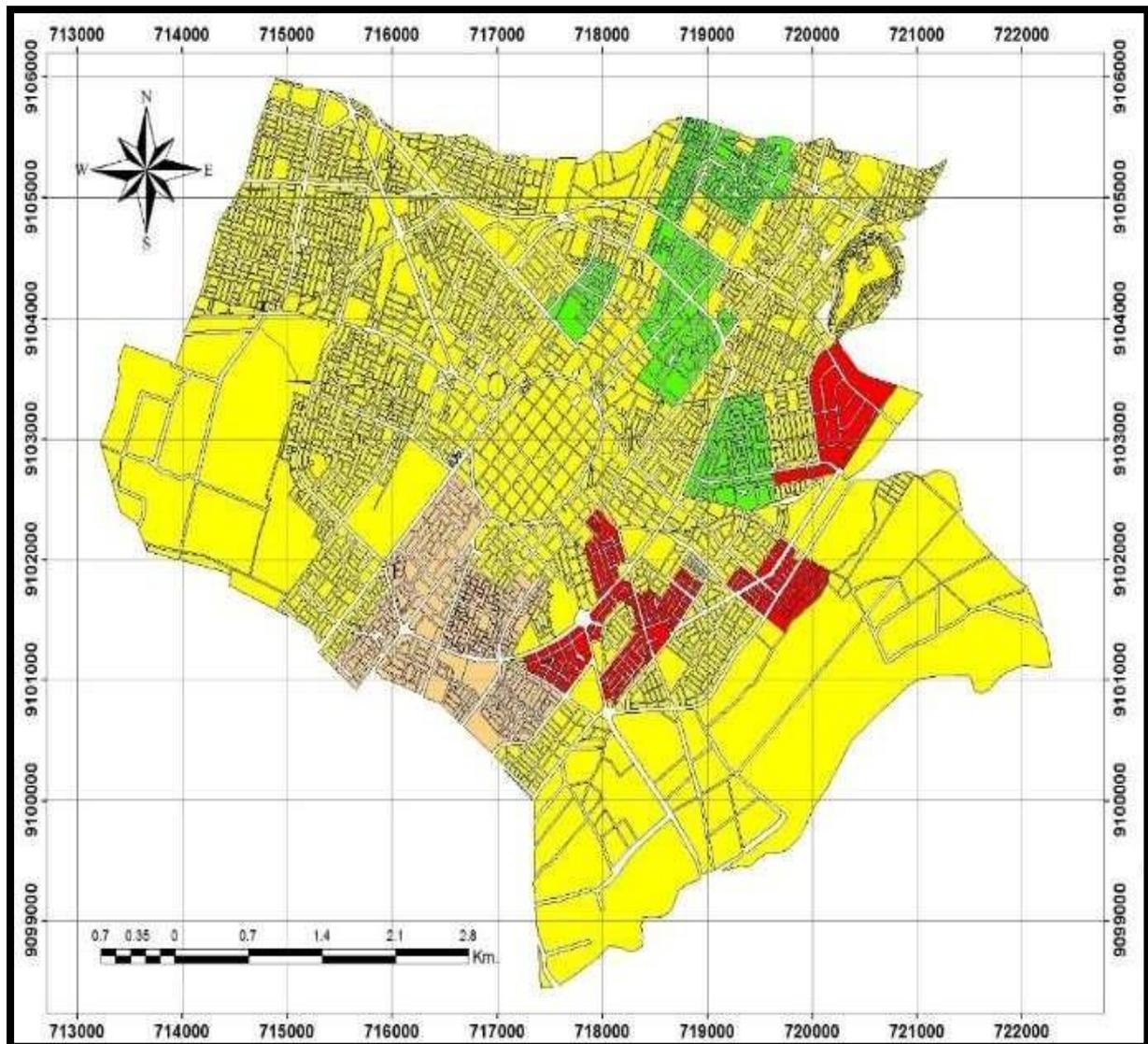
**ANEXO N°02: PERFIL ESTRATIGRAFICO**

PERFIL ESTRATIGRAFICO			
LUGAR:	URB. SANTA MARIA IV ETAPA		FECHA: DICIEMBRE 2018
Graduación	Profundidad	Gráfico	Características
0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 <b>PROFUNDIDAD</b>	0.00-0.40		Estrato1 : Material de relleno
	0.40-1.30		Estrato 2: Arena arcillosa (SC)
	1.30-150		Estrato 3: Arcilla de baja plasticidad (CL)

### ANEXO N°03: MAPA DE MICROZONIFICACION DEL DISTRITO DE TRUJILLO



## ANEXO N°04 MAPA DECLASIFICACION DE SUELOS DEL DISTRITO DE TRUJILLO



## ANEXO N°05 DISTRIBUCIÓN DE LAS URBANIZACIONES DEL DISTRITO DE TRUJILLO POR ZONAS (I, II, III, IV)

<b>Zona I</b>		
20 de Abril	Gramma Jorge Chávez	PP.J. Gran Chimú
A.H. Las Malvinas	Huerta Bella	Primavera
A.H. Los Geranios	Huerta Grande	Puerta Del Sol
A.H. Santa Rosa	J. El Bosque	Rosa De América
A.H. Virgen De La Puerta	La Alameda	San Blas
Alambre	La Noria	San Fernando
Alto Mochica	La Rinconada	San Isidro Fase 1
Andrés Rázuri	Las Buganvillas Del Golf	San Isidro Fase 2
Barrio Mampuesto	Las Capullanas	San Isidro II Etapa
Barrio Medico	Las Quintanas	San Judas Tadeo
Belén	Las Quintanas 4 Etapa	San Nicolás
Centro Histórico	Laureles	San Salvador
Chacarilla Barraza	Libertad	San Vicente
Chicago	Los Cedros	Sánchez Carrión
Ciudad Universitaria	Los Claveles	Santa Inés
Covicorti	Los Fresnos	Santa Isabel
Covidunt	Los Granados	Santa Leonor
Covirt	Los Jardines	Santa Rosa 1 Etapa
Ecomat	Los Portales	Santa Rosalía
El Palomar	Los Rosales	Santo Dominguito
El Bosque	Los Rosales De San Andrés	Semi Rustica Mampuesto "A"
El Cortijo	Los Rosales De Santa Inés	Sol De Oro
El Huerto	Luis Albrech	Torres Araujo
El Molino	Mochica	Trupal
El Recreo	Natasha	Unidad De Vivienda Santa Rosa
El Sol	Natasha Alta	Vista Bella 2 Etapa
El Tinin	P.I. Pesqueda	Vista Hermosa
El Tumi	Palermo	
Esmeralda	Pedregal San Ángel	

<b>Zona II</b>	
Aranjuez	Los Naranjos
Chimú	Miraflores
Daniel Hoyle	Pay Pay
El Sol De Chacarero	San José
La Intendencia	Santa Lucia
La Marqueza	Santa Teresa De Ávila
Leticia	

<b>ZONA III</b>		
Casuarinas	Santa María 1 Etapa	Santa Rosa

Galeno	Santa María 2 Etapa	Semi Rústica El Bosque
Ingeniería	Santa María 3 Etapa	Villa Contadores
La Perla	Santa María 4 Etapa	
San Luis	Santa María 5 Etapa	

ZONA IV	
Galeno	San Andrés 1 Etapa
Ingeniería	San Andrés 2 Etapa
La Merced	San Andrés 3 Etapa
La Merced 3 Etapa	San Eloy
Los Pinos	UPAO
Monserate	

### ANEXO N°06 CONTENIDO DE HUMEDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD NPT 339.127/ASTM D-221			
<b>TESIS:</b>	IMPACTO DE LOS ESTABILIZADORES QUIMICOS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN SUELO EXPANDIBLE EN LA URBANIZACION SANTA MARIA IV ETAPA TRUJILLO		
<b>SOLICITADO:</b>	Rivera Chura Iván.		
<b>CALICATA:</b>	C – 01		
<b>PROFUNDIDAD:</b>	0.00 – 3.00 m.		
<b>FECHA:</b>	Julio del 2019.		
1	Recipiente N°	1	2
2	Peso de suelo húmedo + tara (g)	2547.4	2559.1
3	Peso de suelo seco + tara (g)	2500.1	2509.9
4	Peso de agua (2) -(3) (g)	47.3	49.2
5	Peso de Tara (g)	154.4	155.1
6	Peso de suelo seco (3) -(5) (g)	2345.7	2354.8
7	Contenido de Humedad (4)/(6) *100 (%)	2.02	2.09
<b>8</b>	<b>Contenido de Humedad Promedio (%)</b>	<b>2.06</b>	

## ANEXO N°07 ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM D-422/NTP339.128

**TESIS:** IMPACTO DE LOS ESTABILIZADORES QUIMICOS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN SUELO EXPANDIBLE EN LA URBANIZACION SANTA MARIA IV ETAPA TRUJILLO

**SOLICITADO:** Rivera Chura Iván.

**CALICATA:** C – 01

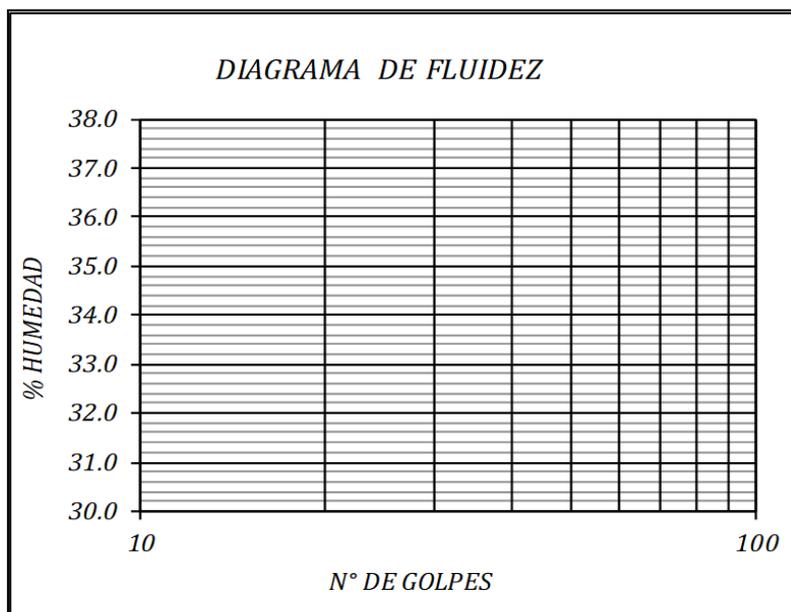
**PROFUNDIDAD:** 0.00 – 3.00 m.

**FECHA:** Julio del 2019

Tamiz	Análisis Granulométrico por Tamizado				
	Abert. (mm)	Peso Reten. (g)	Retenido (%)	Ret. Acum. (%)	Pasa (%)
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.50	453.20	5.24	5.24	94.76
2"	50.80	623.80	7.22	12.46	87.54
1 1/2"	38.10	414.20	4.79	17.25	82.75
1"	25.40	361.90	4.19	21.43	78.57
3/4"	19.05	422.20	4.88	26.32	73.68
1/2"	12.70	525.50	6.08	32.40	67.60
3/8"	9.525	498.70	5.77	38.16	61.84
N°4	4.760	1104.50	12.78	50.94	49.06
N°8	2.380	746.70	8.64	59.58	40.42
N°10	2.000	698.10	8.07	67.65	32.35
N°16	1.190	482.70	5.58	73.24	26.76
N°30	0.590	448.50	5.19	78.42	21.58
N°40	0.426	255.60	2.96	81.38	18.62
N°50	0.297	468.90	5.42	86.80	13.20
N°100	0.149	837.30	9.68	96.49	3.51
N°200	0.074	173.40	2.01	98.49	1.51
Plato	-	130.20	1.51	100.00	0.00
<b>Sumatoria</b>		<b>8645.40</b>	<b>100.00</b>		

### ANEXO N°08 LIMITES DE ATERRBERG

LIMITES DE ATERRBERG ASTM D-4318						
<b>TESIS:</b>	IMPACTO DE LOS ESTABILIZADORES QUIMICOS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN SUELO EXPANDIBLE EN LA URBANIZACION SANTA MARIA IV ETAPA TRUJILLO					
<b>SOLICITADO:</b>	Rivera Chura Iván.					
<b>CALICATA:</b>	C – 01					
<b>PROFUNDIDAD:</b>	0.00 – 3.00 m.					
<b>FECHA:</b>	Julio del 2019.					
Descripción	Limite Líquido				Limite Plástico	
	1	2	3	4	1	2
Ensayo N°						
Peso Lata + Suelo Húmedo (g.)	-	-	-	-	-	-
Peso Lata + Suelo Seco (g.)	-	-	-	-	-	-
Peso Agua (g.)	-	-	-	-	-	-
Peso de la Lata (g.)	-	-	-	-	-	-
Peso Suelo Seco (g.)	-	-	-	-	-	-
Contenido de Humedad (%)	-	-	-	-	-	-
Número de Golpes	-	-	-	-	-	-



Resultados del Ensayo	
Limite Líquido (%)	NP
Limite Plástico (%)	NP
Índice de Plasticidad (%)	NP

## ANEXO N°09 CONTENIDO DE HUMEDAD

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD NPT 339.127/ASTM D-2216</b>			
<b>TESIS:</b>	IMPACTO DE LOS ESTABILIZADORES QUIMICOS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN SUELO EXPANDIBLE EN LA URBANIZACION SANTA MARIA IV ETAPA TRUJILLO		
<b>SOLICITADO:</b>	Rivera Chura Iván.		
<b>CALICATA:</b>	C – 02		
<b>PROFUNDIDAD:</b>	0.00 – 3.00 m.		
<b>FECHA:</b>	Julio del 2019.		
<b>1</b>	<b>Recipiente N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
2	Peso de suelo húmedo + tara (g)	2602.4	2523
3	Peso de suelo seco + tara (g)	2554.7	2475.8
4	Peso de agua (2) -(3) (g)	47.7	47.2
5	Peso de Tara (g)	150.5	152.2
6	Peso de suelo seco (3) -(5) (g)	2404.2	2323.6
7	Contenido de Humedad (4)/(6) *100 (%)	1.98	2.03
<b>8</b>	<b>Contenido de Humedad Promedio (%)</b>	<b>2.01</b>	

## ANEXO N°10 ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM-422/NPT339.128

**TESIS:** IMPACTO DE LOS ESTABILIZADORES QUIMICOS EN LAS PROPIEDADES  
MECANICAS DE UN SUELO EXPANDIBLE EN LA URBANIZACION SANTA MARIA  
IV ETAPA TRUJILLO

**SOLICITADO:** Rivera Chura Iván.

**CALICATA:** C – 02

**PROFUNDIDAD:** 0.00 – 3.00 m.

**FECHA:** Julio del 2019.

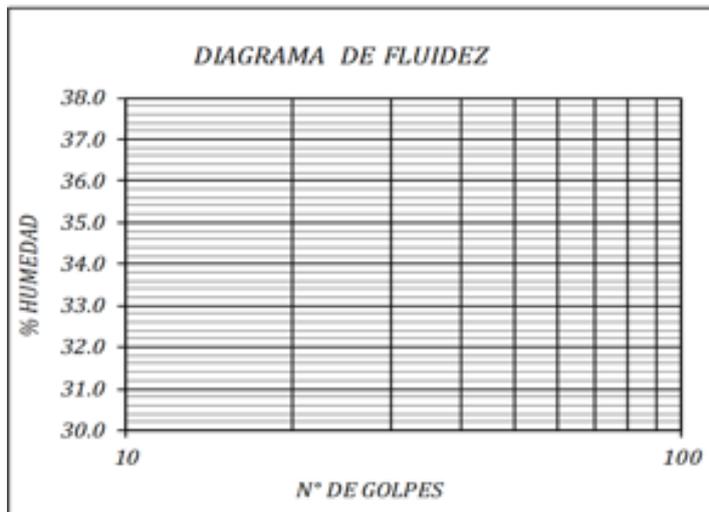
Tamiz	Análisis Granulométrico por Tamizado				
	Abert. (mm)	Peso Reten. (g)	Retenido (%)	Ret. Acum. (%)	Pasa (%)
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.50	510.30	5.50	5.50	94.50
2"	50.80	458.40	4.94	10.43	89.57
1 1/2"	38.10	398.60	4.29	14.72	85.28
1"	25.40	518.10	5.58	20.30	79.70
3/4"	19.05	628.50	6.77	27.07	72.93
1/2"	12.70	537.40	5.79	32.86	67.14
3/8"	9.525	654.80	7.05	39.91	60.09
N°4	4.760	1023.70	11.02	50.94	49.06
N°8	2.380	658.20	7.09	58.02	41.98
N°10	2.000	824.50	8.88	66.90	33.10
N°16	1.190	674.50	7.26	74.17	25.83
N°30	0.590	414.50	4.46	78.63	21.37
N°40	0.426	241.50	2.60	81.23	18.77
N°50	0.297	497.20	5.35	86.59	13.41
N°100	0.149	912.10	9.82	96.41	3.59
N°200	0.074	190.60	2.05	98.46	1.54
Plato	-	143.00	1.54	100.00	0.00
<b>Sumatoria</b>		9285.90	100.00		

## ANEXO N°11 LIMITES DE ATERRBERG

### LIMITES DE ATERRBERG ASTM D-4318

**TESIS:** IMPACTO DE LOS ESTABILIZADORES QUIMICOS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN SUELO EXPANDIBLE EN LA URBANIZACION SANTA MARIA IV ETAPA TRUJILLO  
**SOLICITADO:** Rivera Chura Iván.  
**CALICATA:** C – 02  
**PROFUNDIDAD:** 0.00 – 3.00 m.  
**FECHA:** Julio del 2019.

Descripción	Límite Líquido				Límite Plástico	
	1	2	3	4	1	2
Ensayo N°						
Peso Lata + Suelo Húmedo (g)	-	-	-	-	-	-
Peso Lata + Suelo Seco (g)	-	-	-	-	-	-
Peso Agua (g)	-	-	-	-	-	-
Peso de la Lata (g)	-	-	-	-	-	-
Peso Suelo Seco (g)	-	-	-	-	-	-
Contenido de Humedad (%)	-	-	-	-	-	-
Número de Golpes	-	-	-	-	-	-



Resultados del Ensayo	
Límite Líquido (%)	NP
Límite Plástico (%)	NP
Índice de Plasticidad (%)	NP

## ANEXO N°12 CONTENIDO DE HUMEDAD

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD NPT 339.127/ASTM D-2216</b>			
<b>TESIS:</b>	IMPACTO DE LOS ESTABILIZADORES QUIMICOS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN SUELO EXPANDIBLE EN LA URBANIZACION SANTA MARIA IV ETAPA TRUJILLO		
<b>SOLICITADO:</b>	Rivera Chura Iván.		
<b>CALICATA:</b>	C – 03		
<b>PROFUNDIDAD:</b>	0.00 – 3.00 m.		
<b>FECHA:</b>	Julio del 2019.		
<b>1</b>	<b>Recipiente N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
2	Peso de suelo húmedo + tara (g)	2469.5	2515.5
3	Peso de suelo seco + tara (g)	2422.4	2469.1
4	Peso de agua (2) -(3) (g)	47.1	46.4
5	Peso de Tara (g)	152.5	154.4
6	Peso de suelo seco (3) -(5) (g)	2269.9	2314.7
7	Contenido de Humedad (4)/(6) *100 (%)	2.07	2.00
<b>8</b>	<b>Contenido de Humedad Promedio (%)</b>	<b>2.04</b>	

## ANEXO N°13 ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM-422/NPT339.128

**TESIS:** IMPACTO DE LOS ESTABILIZADORES QUIMICOS EN LAS PROPIEDADES  
MECANICAS DE UN SUELO EXPANDIBLE EN LA URBANIZACION SANTA MARIA  
IV ETAPA TRUJILLO

**SOLICITADO:** Rivera Chura Iván.

**CALICATA:** C – 03

**PROFUNDIDAD:** 0.00 – 3.00 m.

**FECHA:** Julio del 2019.

Tamiz	Análisis Granulométrico por Tamizado				
	Abert. (mm)	Peso Reten. (g)	Retenido (%)	Ret. Acum. (%)	Pasa (%)
3"	76.20	401.00	5.29	5.29	94.71
2 1/2"	63.50	435.60	5.75	11.04	88.96
2"	50.80	509.50	6.73	17.77	82.23
1 1/2"	38.10	354.70	4.68	22.45	77.55
1"	25.40	429.30	5.67	28.12	71.88
3/4"	19.05	296.10	3.91	32.03	67.97
1/2"	12.70	288.80	3.81	35.84	64.16
3/8"	9.525	421.10	5.56	41.40	58.60
N°4	4.760	784.50	10.36	51.75	48.25
N°8	2.380	697.70	9.21	60.96	39.04
N°10	2.000	725.50	9.58	70.54	29.46
N°16	1.190	327.00	4.32	74.85	25.15
N°30	0.590	412.60	5.45	80.30	19.70
N°40	0.426	373.60	4.93	85.23	14.77
N°50	0.297	310.50	4.10	89.33	10.67
N°100	0.149	442.50	5.84	95.17	4.83
N°200	0.074	218.10	2.88	98.05	1.95
Plato	-	147.80	1.95	100.00	0.00
<b>Sumatoria</b>		<b>7575.90</b>	<b>100.00</b>		

## ANEXO N°14 LIMITES DE ATERRBERG

### LIMITES DE ATERRBERG ASTM D-4318

**TESIS:** IMPACTO DE LOS ESTABILIZADORES QUIMICOS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN SUELO EXPANDIBLE EN LA URBANIZACION SANTA MARIA IV ETAPA TRUJILLO

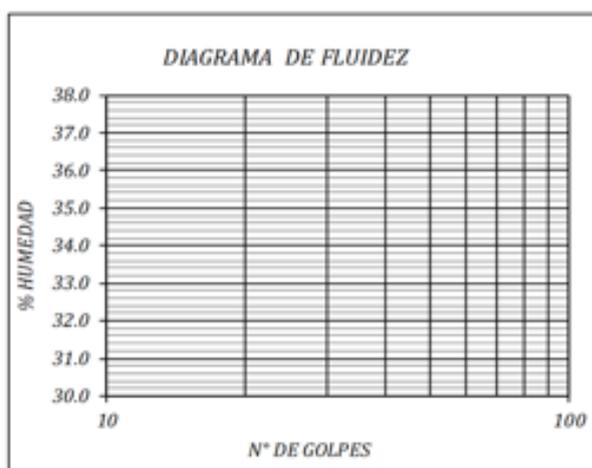
**SOLICITADO:** Rivera Chura Iván.

**CALICATA:** C – 03

**PROFUNDIDAD:** 0.00 – 3.00 m.

**FECHA:** Julio del 2019.

Descripción	Límite Líquido				Límite Plástico	
	1	2	3	4	1	2
Ensayo N°						
Peso Lata + Suelo Húmedo (g)	-	-	-	-	-	-
Peso Lata + Suelo Seco (g)	-	-	-	-	-	-
Peso Agua (g)	-	-	-	-	-	-
Peso de la Lata (g)	-	-	-	-	-	-
Peso Suelo Seco (g)	-	-	-	-	-	-
Contenido de Humedad (%)	-	-	-	-	-	-
Número de Golpes	-	-	-	-	-	-



Resultados del Ensayo	
Límite Líquido (%)	NP
Límite Plástico (%)	NP
Índice de Plasticidad (%)	NP

## ANEXO N°15 CONTENIDO DE HUMEDAD

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD NPT 339.127/ASTM D-2216</b>			
<b>TESIS:</b>	IMPACTO DE LOS ESTABILIZADORES QUIMICOS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UN SUELO EXPANDIBLE EN LA URBANIZACION SANTA MARIA IV ETAPA TRUJILLO		
<b>SOLICITADO:</b>	Rivera Chura Iván.		
<b>CALICATA:</b>	C – 03		
<b>PROFUNDIDAD:</b>	0.00 – 3.00 m.		
<b>FECHA:</b>	Julio del 2019.		
<b>1</b>	<b>Recipiente N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
2	Peso de suelo húmedo + tara (g)	2602.4	2533.2
3	Peso de suelo seco + tara (g)	2564.5	2497.2
4	Peso de agua (2) -(3) (g)	37.9	36
5	Peso de Tara (g)	155.5	150.1
6	Peso de suelo seco (3) -(5) (g)	2409	2347.1
7	Contenido de Humedad (4)/(6) *100 (%)	1.57	1.53
<b>8</b>	<b>Contenido de Humedad Promedio (%)</b>	<b>1.55</b>	

## ANEXO N°16 FOTOGRAFIAS



**Figura B1:** Aplicación de proctor  
Fuente: Elaboración propia



**Figura B2:** Material que pasa el tamiz 200  
Fuente: Elaboración propia



**Figura B3:** Tercera capa, proctor  
Fuente: Elaboración propia



**Figura B4:** Primera capa, proctor  
Fuente: Elaboración propia



**Figura B5:** Sumersion de probeta  
Fuente: Elaboración propia



**Figura B6:** Preparacion para sumersion  
Fuente: Elaboracion propia



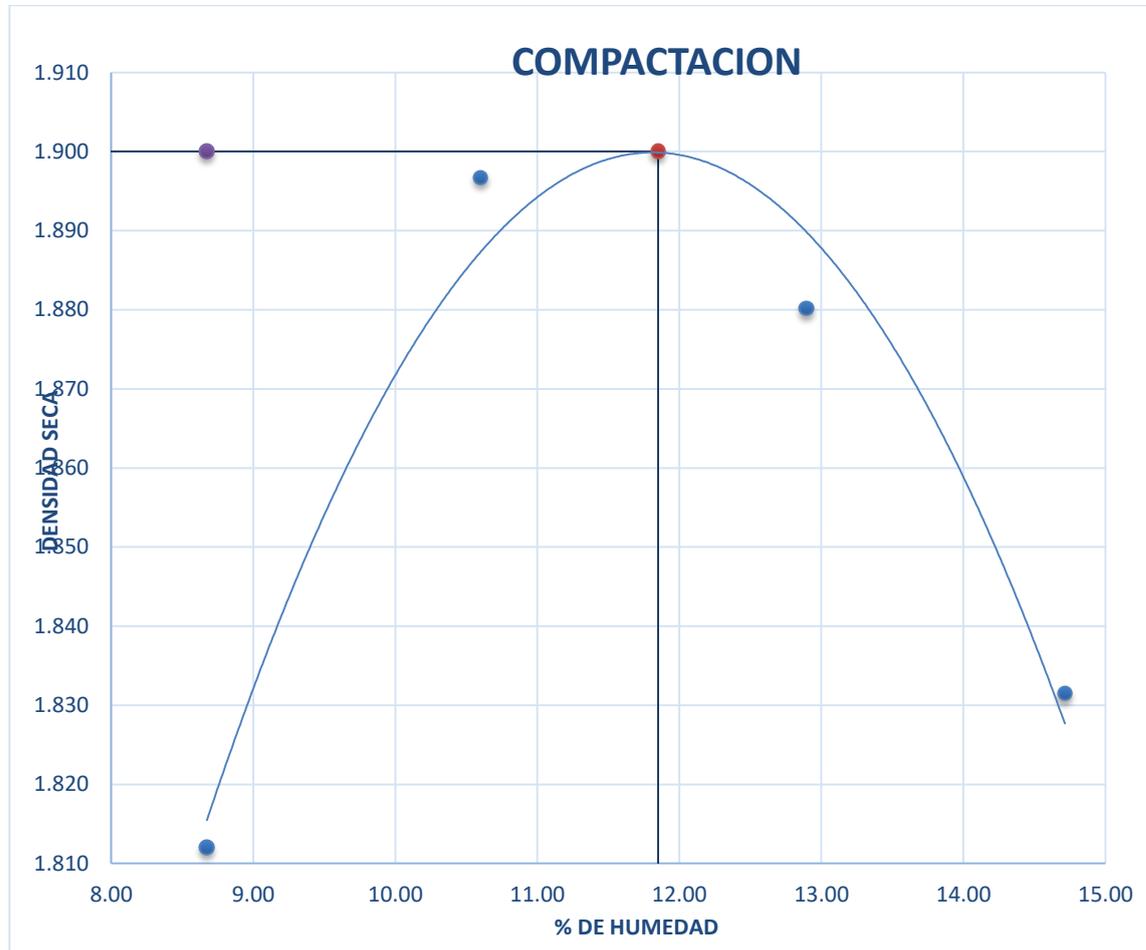
**Figura B7:** Probeta sumergida  
Fuente: Elaboracion propia



**Figura B8:** Peso de equipo de proctor.  
Fuente: Elaboracion propia

### ANEXO N 17: GRADO DE COMPACTACION

Muestra de control



### ANEXO N° 18 COMPACTACIÓN

Molde N°	04		05		06	
N° de golpes por capa	12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA	6000		6000		6000	
Peso del molde + suelo húmedo (grs)	8765		8895		9195	
Peso del molde (gramos)	4325		4195		4260	
Peso del suelo húmedo (grs.)	4440		4700		4935	
Volumen del molde (cc)	2323		2323		2323	
Densidad húmeda (grs./cm3)	1.91		2.02		2.12	
Densidad seca (grs./cm3)	<b>1.71</b>		<b>1.81</b>		<b>1.90</b>	
<b>Tarro N°</b>	<b>10</b>		<b>12</b>		<b>16</b>	
Peso del tarro + suelo húmedo (grs.)	200.52		215.02		185.65	
Peso del tarro + suelo seco (grs.)	183.20		197.85		171.25	
Peso del agua (grs.)	17.32		17.17		14.40	
Peso del tarro (grs.)	36.45		52.62		50.12	
Peso del suelo seco (grs.)	146.75		145.23		121.13	
% de humedad	<b>11.80</b>		<b>11.82</b>		<b>11.89</b>	
PROMEDIO DE HUMEDAD						

### ANEXO N° 19 EXPANSIÓN

FECHA	TIEMPO	LECTURA			EXPANSIÓN			LECTURA			EXPANSIÓN		
		DIAL	Mm.	%	DIAL	mm	%	DIAL	mm	%			
		320	0	0	145	0	0	410	0	0			
		320	0	0.00	168	23	0.50	431	21	0.46			
		359	39	0.85	182	37	0.81	445	35	0.77			
		369	49	1.07	192	47	1.03	453	43	0.93			
		570	250	<b>5.47</b>	305	160	<b>3.50</b>	457	47	<b>1.03</b>			

### ANEXO N° 20 PENETRACIÓN

PENETRACIÓN	MOLDE N°01-N° de Golpes			MOLDE N°02-N° de Golpes			MOLDE N°03- N° de Golpes		
	LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN		LECTURA DIAL	CORRECCIÓN	
		Libras.	Libras./pulg <sup>2</sup>		Libras.	Libras./pulg <sup>2</sup>		Libras.	Libras./pulg <sup>2</sup>
0.000			0.00			0.00			0.00
0.025	13	38	13	24	63	21	37	97	32
0.050	27	72	24	52	133	44	75	190	63
0.075	40	104	35	75	191	64	112	282	94
0.100	52	133	<b>44</b>	99	249	<b>83</b>	145	363	<b>121</b>
0.150	72	183	61	134	336	112	199	497	166
0.200	89	225	75	163	408	136	247	616	205
0.250	103	259	86	187	467	156	286	711	237
0.300	113	284	95	206	513	171	315	783	261
0.400	125	313	104	226	563	188	352	874	291
0.50	130	326	109	235	586	195	365	907	302