



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

Análisis experimental del colapso por saturación y la erosión
interna

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencias (Geotecnia)

Presenta:

Ing. Jesús Emmanuel Vázquez Montes

Dirigido por:

Dr. Eduardo Rojas Gonzáles

Querétaro, Qro. a junio, 2023



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Análisis Experimental del Colapso por Saturación y la
Erosión Interna

por

Jesús Emmanuel Vázquez Montes

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Clave RI: IGMAC-302388



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en ciencias (Geotecnia)

Análisis experimental del colapso por saturación y la erosión interna

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencias (Geotecnia)

Presenta:

Ing. Jesús Emmanuel Vázquez Montes

Dirigido por:

Dr. Eduardo Rojas Gonzáles

Dr. Eduardo Rojas Gonzáles

Presidente

Dra. María de la Luz Pérez Rea

Secretario

Dra. Teresa López Lara

Vocal

Dr. Jaime Moisés Horta Rangel

Suplente

Mtro. Gerardo Medellín Aguilar

Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Junio, 2023
México

RESUMEN

El cambio climático, la sobreexplotación de los mantos freáticos y las circunstancias específicas de cada región han hecho que el estudio de los suelos parcialmente saturados cobre importancia ya que el aumento o la disminución del grado de saturación provoca importantes problemas geotécnicos. Una de las principales fuentes de abastecimiento en la mayor parte de las ciudades y poblados es la extracción de agua del subsuelo. Esto provoca procesos cíclicos de disminución y aumento del nivel de agua subterránea con una tendencia generalizada a la reducción del nivel freático. Esta extracción genera que el suelo sufra procesos continuos de pérdida/aumento del grado de saturación. En la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) se tiene una creciente necesidad de contar con agua potable y de garantizar que el agua disponible en el subsuelo no se agote. Por ello, se hace necesario encontrar soluciones geotécnicas que permitan incrementar el volumen de agua disponible en el acuífero mediante un procedimiento de recarga forzada. Sin embargo, la ZMG tiene las condiciones geotécnicas para que ocurriera un colapso en caso de implementar algún sistema de recarga forzada sin suficiente sustento. En esta investigación, se estudian las condiciones de flujo de agua que producen la sufusión del suelo además del fenómeno de colapso bajo carga. Para ello, se realizará un programa experimental para estudiar el colapso del suelo de la ZMG bajo diversas condiciones de infiltración.

Palabras Clave: Colapso por Saturación; Erosión Interna; Infiltración; Suelos no saturados; Suelos meta-estables.

SUMMARY

Climate change, overexploitation of the water table and the specific circumstances of each region have made the study of partially saturated soils more important, since the increase or decrease in the degree of saturation causes significant geotechnical problems. One of the main sources of supply is the extraction of water from the subsoil generating a process of lowering and raising the water table. This extraction causes the soil to undergo continuous processes of loss/increase in the degree of saturation. In the Metropolitan Zone of Guadalajara (ZMG) there is a growing need to have drinking water and to guarantee that the water available in the subsoil does not run out. Therefore, it is necessary to find geotechnical solutions that allow increasing the volume of water available in the aquifer through a forced recharge procedure. However, the ZMG has the geotechnical conditions for collapse if a forced recharge system is implemented without sufficient support. In this research, the water flow conditions that produce soil suffusion as well as the phenomenon of collapse under load are studied. For this, an experimental program will be carried out to study the collapse of the ZMG soil under various infiltration conditions.

Key Works: Saturation collapse; Internal erosion; Seepage; Unsaturated Soils; Metastable Soils

DEDICATORIA

Como dijo la poeta y activista Audre Lorde: “Cuando me enfrento a tiempos de desesperanza, recuerdo que la historia de la vida humana es la historia de la persistencia contra lo imposible”. Esta investigación está dedicada a todos aquellos que luchan contra la adversidad y el dolor, pero que continúan creando, explorando y avanzando en sus vidas.

Aunque la enfermedad nos haga sentir limitados, nunca olvidemos que tenemos el poder de elegir cómo vivimos nuestras vidas y qué impacto queremos tener en el mundo. Que esta investigación sea una prueba más de que, aunque el resultado final pueda ser incierto, nunca debemos dejar de crear y salir adelante en nuestro camino. ¡Sigamos avanzando juntos, sin importar las circunstancias, y trabajemos por un futuro mejor para todos!

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi profunda gratitud a Dios por todas las bendiciones y oportunidades que me ha brindado. Sin su soporte y su amor, no estaría aquí hoy, celebrando este logro en mi vida.

También quiero agradecer a mi familia, quienes han sido mi mayor fuente de apoyo y motivación durante todo este proceso llamado vida. A mi esposa, Gabriela Ramos, mi roca y mi mayor apoyo incondicional, gracias por estar a mi lado en todo momento, por creer en mí y por animarme a seguir adelante cuando las cosas se pusieron difíciles.

Asimismo, deseo expresar mi gratitud a la Universidad Autónoma de Querétaro, por brindarme las herramientas, recursos y oportunidades necesarias para alcanzar mis objetivos académicos y personales. Gracias a la universidad, he podido crecer como persona y como profesional, y estoy agradecido por todo el aprendizaje y las experiencias que he adquirido.

Agradezco al Dr. Eduardo Rojas González, asesor de mi trabajo, por su guía y sabio consejo a lo largo de todo el proceso. Su conocimiento, experiencia y apoyo incondicional fueron claves para que pudiera llevar a cabo esta investigación. También me gustaría agradecer mis sínodos la Dra. María de la Luz Pérez Rea, la Dra. Teresa López Lara, Dr. Jaime Moisés Horta Rangel y el Mtro. Gerardo Medellín Aguilar por su orientación y sugerencia en este trabajo de investigación.

Además, me gustaría expresar mi agradecimiento al ITESO por brindarme una formación académica integral y de calidad. En particular, quiero agradecer al Dr. Gil H. Ochoa y al Dr. David Vargas del Río por ser una fuente constante de inspiración, por su pasión por la investigación y por transmitirme su amor por el conocimiento.

Finalmente, quiero agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo recibido en mi trabajo de investigación. Gracias a su ayuda, he podido llevar a cabo este proyecto con éxito y contribuir al avance de la ciencia y la tecnología en mi país.

Bimba

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1-- 3 -
SUMMARY	1-- 4 -
DEDICATORIA	1-- 5 -
AGRADECIMIENTOS	1-- 6 -
ÍNDICE DE CONTENIDOS	1-- 7 -
INDICIE DE TABLAS	1-- 10 -
INDICE DE FIGURAS	1-- 11 -
SIMOLOGÍA	1-- 12 -
1 INTRODUCCIÓN	1-- 14 -
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	1-- 15 -
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1-- 16 -
1.2.1 <i>CONTEXTO DE LA PROBLEMÁTICA DE LOS SUELOS NO SATURADOS</i> 1-	- 16 -
1.2.2 <i>ESCASEZ DE AGUA</i>	1-- 17 -
1.2.3 <i>SOLUCIONES PARA MITIGAR LA ESCASEZ DE AGUA Y LAS</i>	
<i>INUNDACIONES</i>	1-- 18 -
1.2.4 <i>CONTEXTO GEOLÓGICO DE LA ZONA METROPOLITANA DE</i>	
<i>GUADALAJARA</i>	1-- 18 -
1.3 HPÓTESIS.....	1-- 23 -
1.4 OBJETIVOS.....	1-- 23 -
1.5 ALCANCES	1-- 23 -
2 ESTADO DEL ARTE	2-- 24 -
2.1 SUELO.....	2-- 24 -
2.1.1 <i>AGENTES GENERADORES DE SUELO</i>	2-- 24 -
2.1.2 <i>OBJETO DE ESTUDIO DE LA MECÁNICA DE SUELOS</i>	2-- 25 -
2.1.3 <i>EL SUELO NO SATURADO</i>	2-- 25 -
2.2 COLAPSO	2-- 26 -
2.3 ORIGEN DE LOS SUELOS COLAPSABLES	2-- 27 -
2.4 MARCO ELASTÓPLASTICO DE LOS SUELOS COLAPSABLES	2-- 30 -

2.5	PARÁMETROS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES 2-- 32 -	
2.6	SUFUSIÓN	2-- 35 -
2.7	AUTOESTABILIDAD DE SUELOS	2-- 37 -
2.8	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD CRÍTICO PARA SUELOS AUTOESTABLES 2-- 38 -	
3	METODOLOGÍA	3-- 39 -
3.1	OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA	3-- 39 -
3.2	PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO.....	3-- 40 -
3.3	DENSIDAD DE SÓLIDOS (Gs o SS).....	3-- 41 -
3.4	GRANULOMETRÍA.	3-- 41 -
3.5	LÍMITE LÍQUIDO.....	3-- 41 -
3.6	PERMEABILIDAD.....	3-- 42 -
3.7	DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....	3-- 42 -
3.8	COLAPSO POR SATURACIÓN (PRUEBA ODÓMETRICA).....	3-- 42 -
3.8.1	<i>PREPARACIÓN DE ANILLOS DE CONSOLIDACIÓN</i>	<i>3-- 42 -</i>
3.8.2	<i>PRUEBA ODOMÉTRICA</i>	<i>3-- 43 -</i>
3.8.3	<i>ANÁLISIS DE RESULTADOS COLAPSO POR SATURACIÓN.....</i>	<i>3-- 44 -</i>
3.9	COLAPSO POR SUFUSIÓN (EROSIÓN INTERNA).....	3-- 44 -
3.9.1	<i>PREPARACIÓN Y CORRIDA EXPERIMENTAL SUFUSIÓN</i>	<i>3-- 49 -</i>
3.9.2	<i>ANÁLISIS DE RESULTADOS COLAPSO POR EROSIÓN INTERNA... 3-- 49 -</i>	
3.9.3	<i>CALIBRACIÓN MODELO DE SUFUSIÓN.....</i>	<i>3-- 50 -</i>
4	RESULTADOS Y DISCUSIONES	4-- 53 -
5	CONCLUSIONES.....	5-- 62 -
6	RECOMENDACIONES	6-- 64 -
7	REFERENCIAS.....	7-- 65 -
8	ANEXOS	8-- 1 -
	ANEXO A: CURVAS GRANULOMETRÍCAS.....	8-- 1 -
	ANEXO B: PERMEABILIDAD DE LOS MATERIALES	8-- 1 -
	ANEXO C: DENSIDAD DE SÓLIDOS.....	8-- 2 -
	ANEXO D: LÍMITE LÍQUIDO.....	8-- 1 -
	ANEXO E: COLAPSO POR SATURACIÓN.....	8-- 1 -
	<i>ANEXO E.1: SERIE 1, JAL</i>	<i>8-- 1 -</i>

ANEXO E.2: SERIE 2, JAL	8-- 5 -
ANEXO E.3: SERIE 3, JAL	8-- 9 -
ANEXO E.4: GRÁFICAS COLAPSO JAL	8-- 13 -
ANEXO E.5: SERIE 1, JAL-TEPE.....	8-- 15 -
ANEXO E.6: SERIE 2, JAL-TEPE.....	8-- 19 -
ANEXO E.7: SERIE 3, JAL-TEPE.....	8-- 23 -
ANEXO E.8: GRÁFICAS COLAPSO JAL-TEPE.....	8-- 27 -
ANEXO E.9: SERIE 1, TEPE-JAL.....	8-- 29 -
ANEXO E.10: SERIE 2, TEPE-JAL.....	8-- 33 -
ANEXO E.11: SERIE 3, TEPE-JAL.....	8-- 37 -
ANEXO E.12: GRÁFICAS COLAPSO TEPE-JAL.....	8-- 41 -
ANEXO E.13: SERIE 1, TEPETATE.....	8-- 43 -
ANEXO E.14: SERIE 2, TEPETATE.....	8-- 47 -
ANEXO E.15: SERIE 3, TEPETATE.....	8-- 51 -
ANEXO E.16: GRÁFICAS COLAPSO TEPETATE.....	8-- 54 -
ANEXO E.16: CONCENTRADO DE SERIES DE SUFUSIÓN.....	8-- 56 -
ANEXO E.17: RESUMEN PRUEBAS DE SUFUSIÓN	8-- 57 -
ANEXO E.18: GRAFICAS DE PRUEBAS DE SUFUSIÓN.....	8-- 1 -

INDICIE DE TABLAS

<u>TABLA 1.1. TABLA REPORTADA EN ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON UNA PROFUNDIDAD MÁXIMA DE 58.50 M (SANDSTORM-GAM, 2015).....</u>	<u>1-- 20 -</u>
<u>TABLA 1.2. TABLA RESUMEN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO DE LA ZMG (SANDSTORM-GAM, 2015)</u>	<u>1-- 21 -</u>
<u>TABLA 2.1. RELACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO A LA SEVERIDAD DE LOS PROBLEMAS DE LA CIMENTACIÓN (ROJAS, 2022)</u>	<u>2-- 34 -</u>
<u>TABLA 3.1. DISEÑO DE EXPERIMENTO COLAPSO POR SATURACIÓN 2^K</u>	<u>3-- 45 -</u>
<u>TABLA 3.2. DISEÑO DE EXPERIMENTO COLAPSO POR SUFUSIÓN</u>	<u>3-- 50 -</u>
<u>TABLA 3.3. RESULTADOS PRUEBA DE SUFUSIÓN EN ETAPA DE CALIBRACIÓN E HIPÓTESIS</u>	<u>3-- 51 -</u>
<u>TABLA 4.1. PORCENTAJE DE MATERIAL QUE CONTIENE A CADA TIPO DE SUELO USADO.</u>	<u>4-- 54 -</u>
<u>TABLA 4.2. RESUMEN DE PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO Y REVISIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO CON COMPARATIVA DE RESULTADOS EN EL REPORTE DE SANDSTORM-GAM (2015) Y ZAMUDIO ET AL. (2018).....</u>	<u>4-- 56 -</u>
<u>TABLA 4.3. RESULTADOS DE ODÓMETRO EN LA PRUEBA DE COLAPSO POR SATURACIÓN.....</u>	<u>4-- 57 -</u>
<u>TABLA 4.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE ASENTAMIENTOS PRODUCIDOS POR LOS COLAPSOS DE SATURACIÓN Y SUFUSIÓN</u>	<u>4-- 59 -</u>
<u>TABLA 4.5. RESULTADOS PRUEBA DE SUFUSIÓN PARA MUESTRAS A ESTUDIAR</u>	<u>4-- 60 -</u>
<u>TABLA 8.1. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO Y PORCENTAJES DE MATERIAL RETENIDO PARA CADA TIPO DE MATERIAL.....</u>	<u>8-- 1 -</u>
<u>TABLA 8.2. CONTENIDO DE GRAVA, ARENA Y FINOS EN LOS SUELOS CON LA CLASIFICACIÓN SUCS.....</u>	<u>8-- 1 -</u>
<u>TABLA 8.3. RESULTADOS PRUEBA DE PERMEABILIDAD</u>	<u>8-- 1 -</u>

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. EROSIÓN INTERNA. (ARRIETA-RODRÍGUEZ ET AL., 2012)	1-- 17 -
FIGURA 1.2. ESTRUCTURA DE LA CORTEZA EN ZMG (ALATORRE, M.; CAMPOS, E., 1991).	1-- 20 -
FIGURA 2.1. REPRESENTACIÓN DE UN SUELO PARCIALMENTE SATURADO CONSTITUIDO POR CUATRO FASES(LÓPEZ-ACOSTA & MENDOZA, 2016)	2-- 26 -
FIGURA 2.2. NATURALEZA DE LA VARIACIÓN DE LA RELACIÓN DE VACÍOS CON EL ESFUERZO Y EL HUMEDECIMIENTO PARA UN SUELO COLAPSABLE (DAS, 2002)	2-- 28 -
FIGURA 2.3. PRESENCIA DE SUELOS COLAPSABLES EN ESTADOS UNIDOS (DUDLEY, 1970)	2-- 29 -
FIGURA 2.4. COMPORTAMIENTO VOLUMÉTRICO DE UN SUELO. LEC REPRESENTAN LAS LÍNEAS DE ESTADO CRÍTICO PARA LA SUCCIÓN 0 Y LA SUCCIÓN INICIAL Y LCI REPRESENTA LA TRAYECTORIA DE COMPRESIÓN ISOTRÓPICA (ROJAS-GONZÁLEZ, 2018)	2-- 31 -
FIGURA 2.5. MARCO ELASTOPLÁSTICO PARA EL COMPORTAMIENTO VOLUMÉTRICO DE LOS SUELOS NO SATURADOS (ROJAS, 2012)	2-- 32 -
FIGURA 2.6. DESCRIPCIÓN GRÁFICA DEL PROCESO DE INYECCIÓN DE AGUA	2-- 36 -
FIGURA 2.7. DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA CRÍTICA (ALBERRO, 2006)	2-- 38 -
FIGURA 3.1. LUGAR DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO EN EL CVLP. DISTRIBUCIÓN DE ESTRATOS EN LA PRIMAVERA	3-- 40 -
FIGURA 3.2. AGITADOR MECÁNICO DE TAMICES DE LA MARCA ALCON	3-- 41 -
FIGURA 3.3. CROQUIS DE LA MUESTRA COLOCADA EN CONSOLIDÓMETRO (VERDÍN, 2018)	3-- 44 -
FIGURA 3.4. PROTOTIPO 1 MODELO DE SUFUSIÓN	3-- 46 -
FIGURA 3.5. PROTOTIPO 2 MODELO DE SUFUSIÓN	3-- 47 -
FIGURA 3.6. DESPIECE MECÁNICO DEL MODELO DE SUFUSIÓN	3-- 48 -
FIGURA 3.7. MODELO CONCEPTUAL DEL PROTOTIPO 3	3-- 48 -
FIGURA 3.8. MODELO DE SUFUSIÓN DURANTE CORRIDA EXPERIMENTAL CON MUESTRA	3-- 50 -
FIGURA 4.1. CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS	4-- 54 -
FIGURA 4.2. RESULTADOS GRÁFICOS DE EXPERIMENTO DE COLAPSO POR SATURACIÓN	4-- 58 -
FIGURA 4.3. GRÁFICA ANOVA DEL COLAPSO POR SATURACIÓN	4-- 58 -
FIGURA 4.4. RESULTADOS GRÁFICOS DEL COLAPSO EN PRUEBA DE SUFUSIÓN	4-- 60 -
FIGURA 4.5. RESULTADOS GRÁFICOS DE LA SUFUSIÓN EN PRUEBA DE SUFUSIÓN	4-- 61 -

SIMOLOGÍA

G_w = Grado de Saturación.

F = Fuerza aplicada a una placa unitaria.

A = área de la placa en función unitaria.

σ = Esfuerzo total

e = Relación de Vacíos

$(1 + e_0)$ = Volumen de la muestra.

σ'_w = Esfuerzo efectivo de preconsolidación después del humedecimiento

u_a = Presión de poro de aire

u_w = Presión de poro de agua

σ_n = Esfuerzo normal

P_0 = Carga de preconsolidación

P_0^* = Carga de preconsolidación saturada

χ = Parámetro de Bishop relacionado con el G_w

s_0 = Succión

$\Delta\bar{p}$ = Incremento del esfuerzo medio neto

λ = Pendiente del estado normalmente consolidado del suelo (Carga).

κ = Pendiente del estado preconsolidado del suelo (o descarga del suelo).

q = Esfuerzo desviador.

VV = Volumen de Vacíos.

Va = Volumen de aire.

Vw = Volumen del agua.

Wa = Peso del aire.

Ww = Peso del agua.

Ws = Peso de sólidos.

Cp = Potencial de colapso

$\Delta\epsilon$ = Deformación axial

w_{sat} = Contenido de agua cuando está saturado el material

γ_m = Peso volumétrico de la muestra

γ_d = Peso volumétrico seco de la muestra

γ_w = Peso volumétrico del agua

Ss o Gs = Densidad de Sólidos

LL = Límite Líquido.

ZMG = Zona Metropolitana de Guadalajara

SPS = Suelos Parcialmente Saturados

CVLP = El Complejo Volcánico La Primavera

CVSG = El Complejo Volcánico Sur de Guadalajara

1 INTRODUCCIÓN

Es difícil establecer el primer momento en que se utilizó el suelo como material de construcción. Los primeros registros de la mecánica de suelos datan del siglo XVIII, cuando la física y las matemáticas habían alcanzado un importante desarrollo y permitían conceptualizar modelos físicos. Sin embargo, existen antecedentes sobre el uso de los suelos en la construcción de elementos estructurales (Osorio, 2010).

La Mecánica de Suelos se convirtió en una ciencia cuando se introdujo la teoría del esfuerzo efectivo por Karl Terzaghi con la publicación de su libro *Erdbaumechanik* en 1925. Este hecho marca el inicio de la Mecánica de Suelos clásica. Es por esto que Terzaghi es ampliamente considerado como el padre de la Mecánica de Suelos (Fredlund, 2002).

La Mecánica de Suelos se desarrolló para entender el comportamiento de los suelos ante la acción de cargas externas. En sus orígenes, su objeto de estudio eran los suelos saturados, sin embargo, la mayoría de las edificaciones se encuentran desplantados sobre suelos no saturados en los que existen problemas geotécnicos bastante serios que se necesitan resolver (Barrera & Garnica, 2002).

Dentro de las características de los suelos no saturados están: la expansión, el colapso o la dispersión de las partículas entre otros, siendo el agua el agente detonante de las complicaciones en estos suelos. Con las variaciones de la presencia o ausencia de este fluido se modifica el comportamiento del suelo cambiando su resistencia y deformabilidad. Es por esto, que es importante entender el comportamiento de estos suelos para poder prevenir o minimizar los riesgos (Rojas & Chávez, 2013).

Actualmente se han realizado muchas investigaciones sobre los suelos no saturados para tratar de dar solución a problemas que experimentan estos suelos. Dichas investigaciones se centran en generar conocimientos acerca del comportamiento relativo a la resistencia, las deformaciones y el flujo de agua en estos suelos. La Mecánica de Suelos No Saturados aún es joven, falta generar

mucha información sobre diversos aspectos de estos materiales que permita ayudar a entender mejor el comportamiento que presentan estos suelos (Barrera, 2002).

En este sentido, un problema específico de los suelos no saturados es el colapso por humedecimiento y la erosión interna a causa de una fuerza de infiltración.

En urbes donde la escasez de agua comienza a ser un problema muy apremiante y que es urgente encontrar soluciones para asegurar el continuo suministro de este líquido, surgen propuestas como la de Venegas (2017) quien plantea la posibilidad de infiltrar el agua pluvial a profundidad a través de pozos de inyección en lugares como la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG). La ZMG sufre una fuerte escasez de agua en las temporadas de estiaje, pero que a su vez, sufre fuertes inundaciones pluviales debidas a la mala gestión hídrica y el mal planteamiento de la ciudad ante el rápido crecimiento poblacional (Vargas del Río, 2019).

Esta alternativa es bastante viable. Sin embargo, para poder recomendar está técnica, es necesario conocer, entender y anticipar los problemas que puedan surgir a partir de la infiltración, ya que esto involucraría el cambio en la estructura interna del suelo modificando su comportamiento mecánico e hidráulico (Aboul *et al.*, 2018).

1.1 JUSTIFICACIÓN

La inyección artificial a profundidad representa una alternativa lo suficientemente viable para ser tomada en cuenta ya que parece ser la mejor opción de recarga para el tipo de acuíferos que caracterizan la Zona Metropolitana de Guadalajara (Vargas del Río, 2019).

Se han llevado a cabo modelos numéricos que simulan la inyección de agua pluvial representando la descarga y recarga de los acuíferos (Venegas, 2017). A pesar de esto, no se ha generado información del efecto que ocasionaría la columna de agua sobre el subsuelo, por ende, se desconocen las afectaciones que pudieran llegar a ocurrir en la superficie.

De ahí que, es necesario realizar una investigación que tome en cuenta las variables de porcentaje de finos y presión de infiltración, ya que estos factores pueden detonar el colapso del suelo. El colapso puede ocurrir por saturación o por sufusión. Éste último se presenta cuando las fuerzas cortantes generadas por el agua infiltrada son suficientemente grandes para arrastrar los finos en el suelo y cambiar la estructura interna de las partículas.

En esta investigación, se definirá una metodología y programa de experimentos que permitirán evaluar la sufusión ante diferentes grados de presión y con diferentes porcentajes de finos en el suelo.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTO DE LA PROBLEMÁTICA DE LOS SUELOS NO SATURADOS

El cambio climático, la sobreexplotación de los mantos freáticos y las circunstancias específicas de cada región han hecho que el estudio de los suelos parcialmente saturados (SPS), o no saturados, cobre importancia (Barrera, 2002), ya que el aumento, o la disminución, del grado de saturación¹ provoca muchos problemas geotécnicos.

La mayoría de los problemas que experimentan los SPS es que en presencia de agua se vuelven inestables provocando una disminución, o pérdida, en su resistencia cortante pudiendo resultar en un colapso. Un caso específico es cuando las partículas entran en contacto con un flujo de agua, este provoca que se desprendan resultando en un proceso llamado sufusión -erosión interna- como se ilustra en la Figura 1.1 (Escudero & Martínez, 2015).

¹ Se dice que un suelo está totalmente saturado cuando todos sus vacíos están ocupados por agua.



Figura 1.1. Erosión interna. (ARRIETA-RODRÍGUEZ et al., 2012)

1.2.2 ESCASEZ DE AGUA

Procesos cíclicos de disminución y aumento de agua se ejemplifican en los poblados, ya que una de las principales fuentes de abastecimiento es la extracción de agua del subsuelo. Esta extracción genera que el suelo sufra procesos continuos de pérdida/aumento del grado de saturación. En regiones como la Zona Metropolitana de Guadalajara, donde se alberga una población aproximada de 4.8 millones de habitantes y la dotación por habitante al día es de 300 litros. De la totalidad del suministro de agua a la ciudad se sabe que el 30% proviene de los mantos freáticos (SIAPA, 2014). Haciendo un cálculo rápido de la extracción del agua del subsuelo donde se considere la dotación por habitante de agua y la cantidad de personas, se obtiene que anualmente se extraen 432,000 m³. Esto genera que el suelo, originalmente saturado, comience a tener un comportamiento no saturado o parcialmente saturado. Actualmente se cuenta con registros de abatimiento del nivel freático, debida a la extracción, de 150 m (GEOEX, 2004).

1.2.3 SOLUCIONES PARA MITIGAR LA ESCASEZ DE AGUA Y LAS INUNDACIONES

Se sabe que el deficiente abastecimiento y la escasez de agua potable en las urbes es una realidad cada día más frecuente y recurrente; de no hacerse nada en el corto tiempo podría significar la carencia, o escasez, de este líquido vital para sus habitantes. La Organización de las Naciones Unidas ha emitido recomendaciones y procedimientos que lograrían mitigar este problema (ONU, 1992): entre ellas destacan los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que pretenden reducir inundaciones y aumentar la cantidad de agua disponible mediante una mejor gestión de las aguas pluviales (Mompalmer & Doménech, 2007).

Aunque los SUDS parecen ser una buena alternativa que podría resolver el problema del estrés hídrico, esta técnica suele generar una serie de problemas entre los que destacan el hecho de que la instalación de los SUDS requiere mucha inversión inicial; mucho movimiento en las urbes lo que ocasionaría problemas en la movilidad urbana, así como en la logística de la ciudad (IIAMA, 2019).

Una alternativa que podría solucionar los problemas antes descritos son los pozos de inyección profunda. Para ponerlos en práctica se requieren condiciones geohidrológicas favorables como: escurrimientos superficiales disponibles, un acuífero amplio con una capa freática profunda, una alta permeabilidad en el subsuelo y una calidad de agua que permita ser infiltrada sin contaminar los mantos freáticos (Vargas del Río, 2019), además, los pozos de inyección profunda artificial de acuíferos son una técnica de gestión hídrica económica y eficiente en comparación con las otras obras hidráulicas (Venegas, 2017).

1.2.4 CONTEXTO GEOLÓGICO DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

La zona metropolitana de Guadalajara (ZMG) se encuentra en una región montañosa del estado de Jalisco, México. La topografía de la zona es muy variada, con elevaciones que van desde los 1,500 hasta los 2,500 m sobre el nivel del mar.

Esta se encuentra entre dos grandes regiones volcánicas, El Complejo Volcánico La Primavera (CVLP) y El Complejo Volcánico Sur de Guadalajara (CVSG). El CVLP es una caldera volcánica que mediante violentas e intermitentes explosiones de aproximadamente 95,000 años atrás generaron materiales piroclásticos que cubren una amplia área alrededor del CVLP. Estos depósitos de suelo están conformados por tobas de caída libre (Toba Tala), lapilli, o Jal como se le nombra en la región, y flujos de ceniza con abundantes fragmentos de pumicita, mejor conocido en la región como Tepetate (GEOEX, 2004).

Debido a que estas erupciones ocurrieron en un tiempo geológico relativamente cercano a la actualidad, estos suelos no presentan intemperismo², por lo que, no se tiene registro de la presencia de arcillas. Los suelos en la región de la ZMG se caracterizan por tener un comportamiento puramente friccionaste, donde los materiales más finos que se encuentran en la región corresponden al Tepetate, como comúnmente se le llama, que son tobas y el material más grueso corresponde a los Jales, que son lapilli (Vargas del Río *et al.*, 2005).

Estos Jales están compuestos en su mayoría por piedras pómez, es decir, materiales vítreos porosos de baja densidad pertenecientes al grupo de las puzolanas naturales que se definen como materiales compuestos por materiales silíceos que poseen poco o ningún valor cementante. Una característica especial de estos materiales, es que en presencia de humedad e hidróxido de calcio, reaccionan químicamente formando compuestos cementantes de baja solubilidad (Vargas del Río *et al.*, 2005).

Existen estudios recientes de sondeos de mecánica de suelos sobre la caracterización del suelo en Guadalajara (GEOEX, 2004; SANDSTORM-GAM, 2015; SUELO-ESTRUCTURA, 2017; SIAPA, 2018) provenientes de diversas organizaciones, tanto privadas como públicas, que han reportado la presencia de suelos de origen volcánico y de acuerdo a la clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), estos presentan un porcentaje de gravas que ronda de

² El intemperismo o meteorización es el proceso que provoca una modificación del estado o la posición natural de un suelo a partir de una acción química, física o biológica

11.59 – 30.81% (25.4 mm - 4.75 mm); las arenas representan un 85 -70 % (4.75 mm – 0.075 mm) y de finos, que pueden ser materiales tipo limo o tipo arcilla, del 13.80 -3.05 %, por lo que sus siglas de clasificación suelen ser SW, SP o SM que corresponden a arenas (S) bien y pobremente graduadas con limo (M) (Vargas del Río *et al.*, 2005).

En términos hidrogeológicos los suelos que caracterizan la ZMG son de alta y muy alta permeabilidad rondando entre los 0.0015 m/s a 0.0043 m/s (Vargas del Río, 2019). Un Ejemplo de esto se puede observar en la Figura 1.2 y en la Tabla 1.1 y Tabla 1.2.

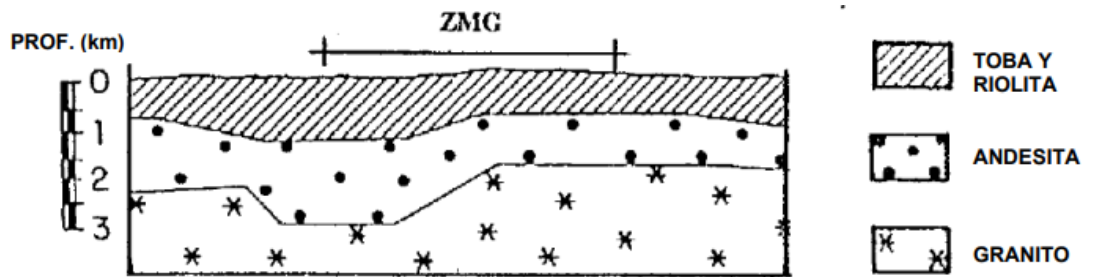


Figura 1.2. Estructura de la corteza en ZMG (Alatorre, M.; Campos, E., 1991).

Tabla 1.1. Tabla reportada en estudio de mecánica de suelos con una profundidad máxima de 58.50 m (SANDSTORM-GAM, 2015)

Profundidad (m)	Descripción
0,00 – 40,00	Avance con broca tricónica.
40,00 – 43,00	Arena limosa, de compacidad muy densa, color gris a café (Jal).
43,00 – 46,00	Arena limosa con grava, de compacidad densa y muy densa, color gris (Jal).
46,00 – 47,80	Arena limosa, de compacidad muy densa, café rojizo.
47,80 – 50,20	Limo arenoso, de consistencia dura, color café.
50,20 – 52,60	Arena limosa, de compacidad muy densa, color café.
52,60 – 54,40	Arena limosa con grava, de compacidad muy densa, color café.
54,40 – 58,50	Basalto con vidrio volcánico, color gris.

La Zona Metropolitana de Guadalajara presenta un contexto propicio para aplicar la inyección artificial que propone Venegas (2017), ya que presenta precipitaciones anuales promedio de 942 mm que no pueden ser infiltradas al subsuelo de manera natural debido a la impermeabilización de la superficie urbanizada y al mal manejo del agua pluvial (SIAPA, 2014). Actualmente, esta agua es dirigida hacia el drenaje de la ciudad desaprovechando este recurso natural. Al

mismo tiempo, se produce una sobreexplotación de los mantos acuíferos abastecedores, con niveles freáticos que se reducen año tras año y provoca que la ciudad sufra escasez en temporadas de estiaje (Vargas del Río, 2019).

Tabla 1.2. Tabla Resumen de Propiedades Físicas de un Suelo de la ZMG (SANDSTORM-GAM, 2015)

Estrato	Descripción	Profundad (m)	N	Φ (°)	E (t/m ²)	γ (kg/m ³)	RQD %
1	Arena limosa, de compacidad suelta y muy suelta, color café claro a gris claro.	0,00 -10,00	10	28	1 400,00	1 410,00	----
2	Arena limosa, de compacidad media a muy densa, color café claro a gris claro.	10,00 – 25,00	30	33	10 000,00	1 450,00	----
3	Arena limosa de compacidad muy densa, color café claro y gris claro.	25,00 – 54,50	>50	35	13 000,00	1 500,00	----
4	Basalto con vidrio volcánico, color gris.	>54,50	---	----	----	2 229,00	28,00

* Los valores Φ y E son estimados a partir del número de golpes de acuerdo a correlaciones empíricas, ya que no se cuenta con pruebas de mecánicas de laboratorio.

Aprovechando las condiciones que presentan los suelos de la Zona Metropolitana de Guadalajara, y en busca de mitigar el problema de la escasez hídrica, se opta por explorar la posibilidad de inyectar el agua pluvial a través de pozos profundos, que van de los 30 a los 100 m de profundidad en el subsuelo. Esto garantizaría que el suministro completo de agua potable en la ZMG sea desde los mantos freáticos y, por ende, provocaría que la ciudad se convierta en su propia fuente de todo el abastecimiento (Venegas, 2017; Vargas del Río, 2019).

Con esta propuesta, surgen algunas dudas desde diferentes disciplinas académicas siendo una de ellas la geotécnica ya que, con la infiltración, se generan fuerzas cortantes que ocasionarían la sufusión o el colapso debido que, el jal, en condiciones saturadas, reduce considerablemente la resistencia al corte (Zamudio *et al.*, 2018).

Los suelos con potencial de colapso representan uno de los mayores problemas para las cimentaciones. Estos podrían manifestar grandes y repentinos asentamientos (Rojas, 2022). Existen diferentes métodos para identificar este tipo de suelos; uno de los más sencillos es por medio de su baja densidad seca y su alta relación de vacíos (Kalantari, 2013).

La ZMG tiene condiciones en el subsuelo suficientes para que ocurra un colapso, sin embargo, el riesgo es nulo gracias a que la superficie construida hace que el agua no entré al subsuelo durante las lluvias (IMEPLAN, 2016).

Esta condición de seguridad se pone en duda cuando se crean propuestas como la de Venegas (2017). Donde propone la perforación de pozos de inyección dentro de una región de la ZMG a distintas profundidades para infiltrar el agua pluvial a los acuíferos y recargarlos para combatir el abatimiento que se da por la extracción de ellos con propósitos humanos (GEOEX, 2004).

Sin embargo, la necesidad de tener agua potable y de generar condiciones necesarias para que este líquido vital no se agote, hace que sea necesario encontrar soluciones geotécnicas que permitan infiltrar agua sin riesgo de sufusión o de colapso. Además, se tiene registro de un amplio uso de los materiales puzolánicos como materiales para hacer más resistente construcciones destinadas a revestimiento de estructuras, esto quiere decir, que el riesgo de colapso puede reducirse por las mismas condiciones del suelo (Vargas del Río *et al.*, 2005).

Es por lo que es necesario evaluar y experimentar con las variables de porcentaje de finos y presión de infiltración. Estas variables concentran lo que ocurre en el proceso de sufusión debido a que esta se da cuando las fuerzas cortantes que genera un flujo de agua son suficientemente grandes para arrastrar los finos del suelo generando que pierdan cohesión. En esta investigación, se definirá una metodología y programa de experimentos que permitan evaluar la sufusión ante diferentes grados de presión y con diferentes porcentajes de fino en el suelo.

Predecir con exactitud lo que pasará en la realidad es una tarea casi imposible, sin embargo, construir, entender y analizar las variables que influyen más a que un suelo colapse, por erosión o saturación, ayudará a establecer futuros planes de trabajo en el que se pueda experimentar con diferentes alternativas para reducir el riesgo de colapso.

Cuando se habla del comportamiento del subsuelo, la mayoría de las veces, son planteamientos e ideas que tratan de explicar algo que está pasando y que necesita encontrar una solución para poder avanzar.

1.3 HPÓTESIS

Durante la infiltración forzada de agua en estratos de suelo de la Zona Metropolitana de Guadalajara, pueden ocurrir dos tipos de colapso: el primero por humedecimiento bajo carga y el segundo por erosión interna.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo de la investigación es desarrollar un modelo experimental para analizar los mecanismos de colapso durante la infiltración forzada de agua en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Con este modelo, se busca obtener datos confiables y replicables que permitan una mejor comprensión y evaluación de estos mecanismos en la zona de estudio.

1.4.2 OBJETIVOS PARTICULARES

1. Evaluar el colapso por humedecimiento de un suelo granular a diferentes profundidades mediante el ensaye de un cuádruple odómetro simulando las condiciones a las que está expuesto el suelo en un rango de profundidad de 30 a 100 m.
2. Establecer la velocidad crítica que genera la erosión de partículas finas del suelo con una serie de pruebas experimentales en un permeámetro modificado donde se pueda variar el caudal de entrada.

1.5 ALCANCES

Obtener resultados suficientemente confiables que sirvan de base teórica que permita establecer datos y parámetros para poder compararlos con un suelo en condiciones naturales.

Desarrollar y construir un modelo experimental que permita evaluar las situaciones naturales a las que está expuesto un suelo y que nos permita hacer

correlaciones entre los resultados obtenidos y las variables más críticas para el colapso.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 SUELO

El suelo, en términos ingenieriles: “es un aglomerado de minerales, materia orgánica y sedimentos, relativamente sin cohesión depositado sobre el lecho de roca” (R. D. Holtz *et al.*, 2011). Nosotros como ingenieros usamos el suelo como material de construcción siendo el más antiguo y también el más complejo (Juárez & Rico, 2005).

2.1.1 AGENTES GENERADORES DE SUELO

El suelo corresponde a la corteza terrestre teniendo como característica principal que es la más delgada de las otras estructuras de la tierra. Esta capa, sufre continuos cambios producto del movimiento del agua y el aire. Estos ataques se pueden clasificar en dos grupos: desintegración mecánica y descomposición química (Juárez & Rico, 2005).

2.1.1.1 DESINTEGRACIÓN MECÁNICA

La desintegración mecánica se refiere a la meteorización de las rocas por factores físicos. Tales cambios pueden ser debidos a los cambios en las temperaturas, la congelación del agua en las rocas, organismos y las plantas. Como resultado de estos fenómenos, las rocas forman arena, o en el mejor de los casos limo, y solo en casos excepcionales arcilla (Juárez & Rico, 2005).

2.1.1.2 DESCOMPOSICIÓN QUÍMICA

Esta se da por la acción de agentes que atacan las rocas cambiando su mineralogía o composición química. El principal compuesto el agua siendo los mecanismos de ataque: la oxidación; la hidratación; y la carbonatación. Estos

procesos producen arcilla como producto final de descomposición. Un detonante importante de este tipo de degradación es la temperatura, por lo que es común encontrar formaciones arcillosas significativas en regiones húmedas y cálidas, mientras que las formaciones arenosas o limosas más gruesas son típicas de las regiones más frías (Juárez & Rico, 2005).

2.1.2 OBJETO DE ESTUDIO DE LA MECÁNICA DE SUELOS

En principio, el estudio del suelo se enfocaba a la comprensión del comportamiento de los suelos saturados, sin embargo, desde sus inicios, Karl Terzaghi había advertido sobre el comportamiento de los suelos no saturados y su tendencia a cambiar de volumen en presencia de agua. En la actualidad, el comportamiento de los suelos saturados se comprende bien y existen modelos mecánicos que, en conjunto, explican casi en su totalidad el comportamiento de arrastre, deformación de volumen y corte. Sin embargo, falta generar información y conocimiento en el campo de los suelos parcialmente saturados (Barrera, 2004).

2.1.3 EL SUELO NO SATURADO

El suelo se compone de diferentes fases: una sólida, que son los minerales; una líquida, que es el agua en el suelo que a su vez contiene sustancias disueltas; aire o gas; y una membrana contráctil del agua adsorbida que presenta propiedades de la interacción entre la fase sólida y líquida, como se ilustra en la Figura 2.1. La fase líquida, que consta de agua, aire disuelto y sales disueltas, ocupa el espacio poroso del suelo que no está ocupado por la fase gaseosa. Las sustancias en esta etapa pueden ser cualquier líquido miscible³ o inmisible. (Verdín, 2018).

³ Mezclable, que puede ser mezclado.

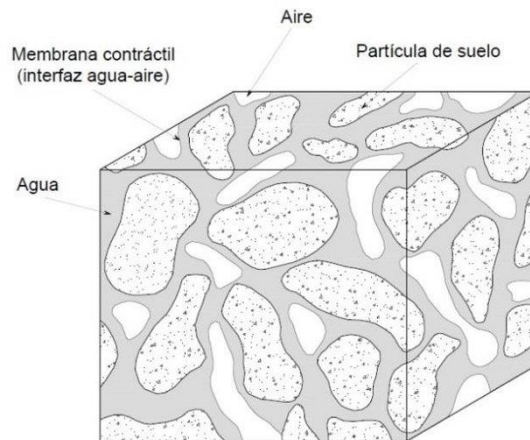


Figura 2.1. Representación de un suelo parcialmente saturado constituido por cuatro fases (López-Acosta & Mendoza, 2016)

La presencia de la película retráctil afecta la condición de los suelos no saturados causados por la tensión superficial, y la dirección de acción depende de la succión de la matriz y la acomodación de las partículas del suelo (Fredlund & Rahardjo, 2007).

El fenómeno más típico del comportamiento de un suelo no saturado está relacionado con la deformación de su volumen cuando cambia la saturación. Estas deformaciones pueden ser: el colapso y la expansión.

El colapso como la expansión pueden considerarse procesos estructuralmente inestables porque provocan discontinuidades en el comportamiento de deformación del suelo cuando cambian las condiciones ambientales (por ejemplo, cambios en la humedad) sin cambiar las tensiones externas. Es de ahí que la importancia de entender estos suelos y su comportamiento (Barrera, 2004).

2.2 COLAPSO

La mecánica de suelos ha recurrido tradicionalmente a los conceptos del medio continuo para explicar y predecir el comportamiento de los suelos, tanto en el aspecto mecánico como hidráulico. Esta simplificación encuentra rápidamente sus limitaciones cuando se pretende abordar fenómenos como la rotura de partículas, la segregación, la auto-estabilidad o los requerimientos granulométricos

para filtros. La necesidad de un enfoque diferente al del medio continuo es claro en todos estos casos (Lowe, 1978).

La principal razón del rechazo de una ecuación de esfuerzos efectivos que sirva para modelar el comportamiento de los suelos no saturados es que no ha podido simular el fenómeno del colapso por humedecimiento utilizando una sola variable. Esto ocasiono la utilización de dos variables independientes de esfuerzo (succión y esfuerzo neto) resultando en modelos complicados que no pueden introducir la histéresis de la curva de retención y el fenómeno de acoplamiento hidromecánico observado en los suelos no saturados. Además, esto generó la aparición de dos teorías diferentes; una para suelos saturados y otra para suelos no saturados cuando se tiene que hablar de una sola teoría ya que solo cambia el grado de saturación (Rojas, 2012).

2.3 ORIGEN DE LOS SUELOS COLAPSABLES

Los suelos colapsables (SC), comúnmente conocidos como suelos metaestables, son suelos que presentan un gran cambio de volumen cuando aumenta su contenido de humedad, saturando el suelo. Por lo general, los suelos colapsables están en estado natural. Estos suelen ser de origen eólico, es decir, arenas y/o limos depositados por el viento, tales como los loess, playas eólicas y los depósitos de polvo volcánico que se caracterizan por presentar altas relaciones de vacíos, pesos específicos bajos y sin cohesión o sólo ligeramente cohesivos. Sin embargo, los suelos colapsables se pueden presentar en diversas circunstancias dependiendo de las condiciones de carga y grado de saturación (Rojas, 2022).

Los suelos colapsables presentan una deformación volumétrica plástica ante la presencia de agua, como en la Figura 2.2. Estos materiales son suelos no saturados, o parcialmente saturados, que no presentan una succión importante, por lo que resultan susceptibles a una gran reducción de su volumen de manera repentina ante un incremento en el contenido de humedad del material. Este cambio puede, o no, suceder bajo la aplicación adicional de cargas externas (Rojas, 2022).

Este tipo de suelos, son muy sensibles a los cambios de humedad. Una forma de identificarlos es por su baja densidad cuando estos materiales están en estado seco. La mayoría de los suelos colapsables tienen una estructura floculante⁴. Este tipo de estructura se forma cuando las partículas se depositan en agua y cuando entran en contacto, se adhieren entre sí, tendiendo a formar grupos de partículas llamadas glomérulos o agregados con una relación de vacíos elevada. Es importante notar que para que ocurra un colapso basta con que el suelo alcance el 50% de saturación (Kalantari, 2013).

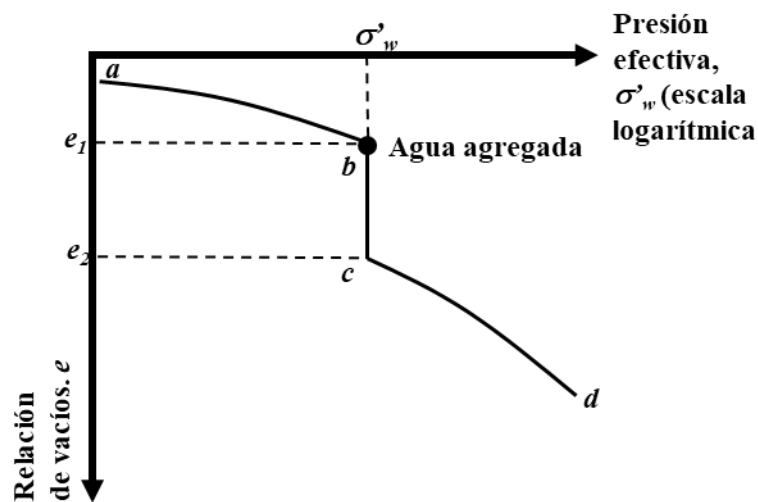


Figura 2.2. Naturaleza de la variación de la relación de vacíos con el esfuerzo y el humedecimiento para un suelo colapsable (Das, 2002)

Muchos de estos suelos se presentan en estado. Este tipo de suelos suelen presentar: una alta relación de vacíos; baja gravedad específica; y no están ligados o solo poco cohesionado. Por ejemplo, los depósitos de loess contienen partículas de tamaño aluvial donde la cohesión en el loess puede deberse a la presencia de capas de arcilla alrededor de las partículas de loess, lo que ocasiona que se mantengan en un estado más o menos estable en estado no saturado. Otro caso de cohesión también es causado por la presencia de sedimentos químicos que se filtran por el agua de lluvia. Cuando el suelo se satura, los enlaces de arcilla pierden su fuerza y sufren un colapso estructural. En Estados Unidos, en las regiones

⁴ Se aglutinan los sólidos formando una sola masa

áridas del medio oeste y del oeste, existe la presencia de este tipo de sedimentos. Los depósitos de loess también se encuentran en el 15-20% de Europa y la mayor parte de China. La Figura 2.3 muestra las principales regiones loessianas de los Estados Unidos y los lugares donde se han informado otros tipos de suelo (Dudley, 1970).

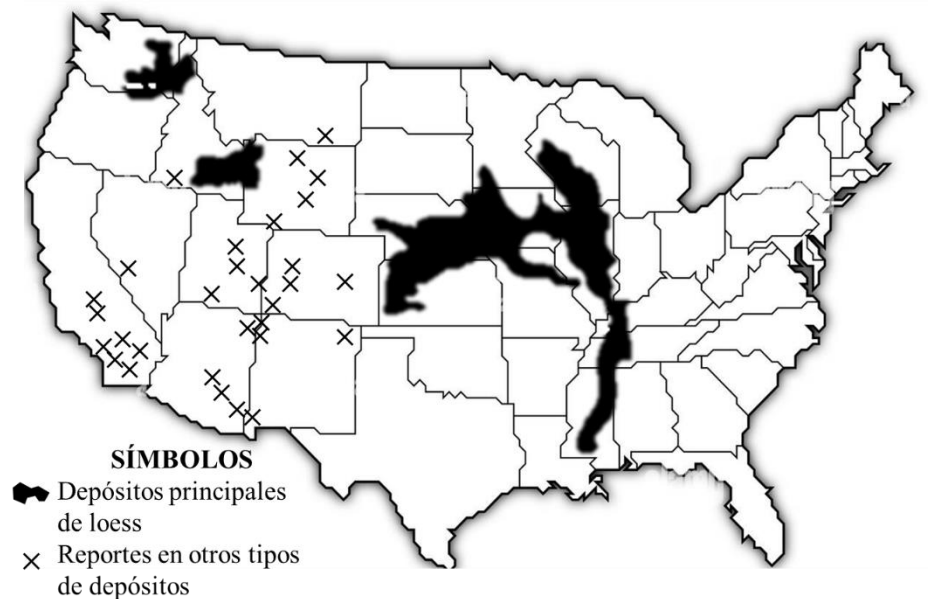


Figura 2.3. Presencia de suelos colapsables en Estados Unidos (Dudley, 1970)

En los suelos no saturados, la presencia de los meniscos de agua provoca fuerzas de contacto entre las partículas de suelo que generan un incremento su resistencia. Consecuentemente, la pérdida de la resistencia que experimentan estos suelos se debe a la disminución de la succión; esta pérdida de succión se da por desvanecimiento de los meniscos de agua en los poros cuando se presenta una fuerza de infiltración. La succión total en un suelo no saturado está compuesta por la succión mátrica, que se produce en los meniscos de las partículas de suelo, y la succión osmótica, debida a la presencia de sales disueltas en el agua de poro (Gallegos, G *et al.*, 2012).

2.4 MARCO ELASTÓPLÁSTICO DE LOS SUELOS COLAPSABLES

En los suelos no saturado, las variables independientes de los esfuerzos que influyen en su resistencia son el esfuerzo neto ($\sigma_n - u_a$) y la succión ($u_a - u_w$); en donde σ_n representa el esfuerzo normal total, u_a la presión del aire y u_w la presión del agua (Gallegos, G *et al.*, 2012)

El marco teórico para suelos colapsables está basado en el modelo básico de Barcelona (BBM) propuesto por Alonso *et al.* (1990). Este ha sido capaz de reproducir los principales aspectos del fenómeno de colapso al humedecerse basado en el principio de variables independientes. En este modelo se considera que el suelo exhibe endurecimiento por succión. Esta característica se introduce en el modelo a través de la superficie de fluencia de colapso-carga.

Para entender el fenómeno de colapso por humedecimiento es necesario analizar el comportamiento volumétrico de una muestra sujeta a un proceso de secado-humedecimiento. Mediante la gráfica de relación de vacíos contra el esfuerzo medio neto, Figura 2.4, esto debido a que se considera que a grandes presiones (desde el punto de vista geotécnico) las partículas sólidas mantienen su volumen al considerarse como incompresibles. A partir de la gráfica se obtiene la ecuación que relaciona el esfuerzo de fluencia en condiciones no saturadas (p_0) con su valor para condiciones saturadas (p_0^*) (Rojas *et al.*, 2015).

$$de = e\lambda_e \left(\frac{dp'}{p'} \right) \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde e y de representan la relación de vacíos inicial y su diferencial, respectivamente, λ_e es la pendiente de la curva de compresión virgen en condiciones saturadas en un plano logarítmico en los ejes de esfuerzo efectivo contra relación de vacíos, como en la Figura 2.4. Ésta pendiente toma siempre valores negativos. Finalmente, p' y dp' son el esfuerzo medio efectivo y su diferencial, respectivamente (Rojas *et al.*, 2015).

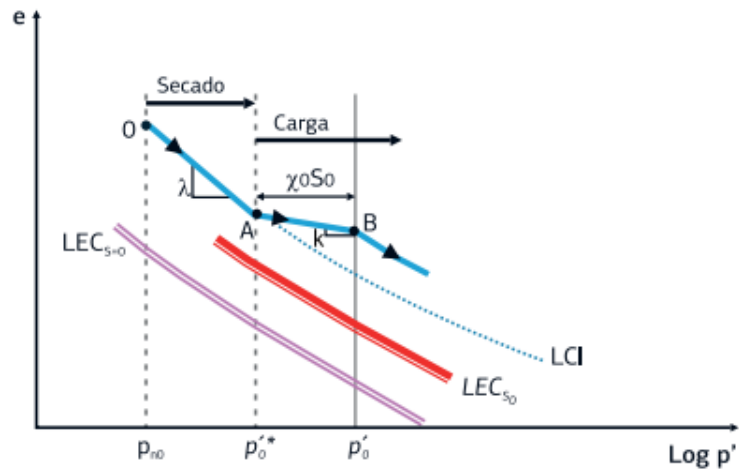


Figura 2.4. Comportamiento volumétrico de un suelo. LEC representan las líneas de estado crítico para la succión 0 y la succión inicial y LCI representa la trayectoria de compresión isotrópica (Rojas-González, 2018)

Integrando la Ecuación 1 pasada obtenemos que:

$$e_1 = e_0 \left(\frac{p'_1}{p'_0} \right)^{\lambda_e} \quad \text{Ec. (2)}$$

En esta relación en la que vemos que, para un esfuerzo medio muy grande, la relación de vacíos tiende a cero lo cual parece adecuado para el rango de esfuerzos empleado en geotecnia. Los resultados experimentales muestran que la trayectoria de esfuerzos influye en la respuesta del material. Este comportamiento se puede explicar mediante un marco elastoplástico (Rojas *et al.*, 2015).

Por lo tanto, es necesario establecer un marco elastoplástico que sea capaz de explicar los resultados experimentales. Este marco elastoplástico se muestra en la Figura 2.5 en los ejes de esfuerzo medio efectivo contra succión (Rojas *et al.*, 2015). El esfuerzo medio efectivo se obtiene al sumar el esfuerzo medio neto más el esfuerzo de succión $\chi_0 s_0$.

Este último se obtiene al multiplicar la succión aplicada al suelo s_0 por el parámetro de Bishop χ_0 que está fuertemente relacionado con el grado de saturación del material. Entonces, cuando el suelo se seca, se incrementa la succión y muestra una trayectoria de secado AB como indica la Figura 2.5.

Para una muestra sometida a una succión s_0 que tenga un incremento del esfuerzo medio neto inferior al valor $\chi_0 s_0$ (trayectoria BC), la muestra no tendrá

posibilidad de colapsar durante el humedecimiento dado que esta trayectoria cae dentro de la zona elástica. Por el contrario, si el incremento del esfuerzo medio neto $\Delta\bar{p}$ sea superior a $\chi_0 s_0$ (trayectoria BE), la superficie LC se inclina mostrando pendientes menores (curva EG). En tal caso, la trayectoria de humedecimiento puede cruzar la superficie LC (punto F) y solo entonces la muestra podrá colapsar (Rojas *et al.*, 2015).

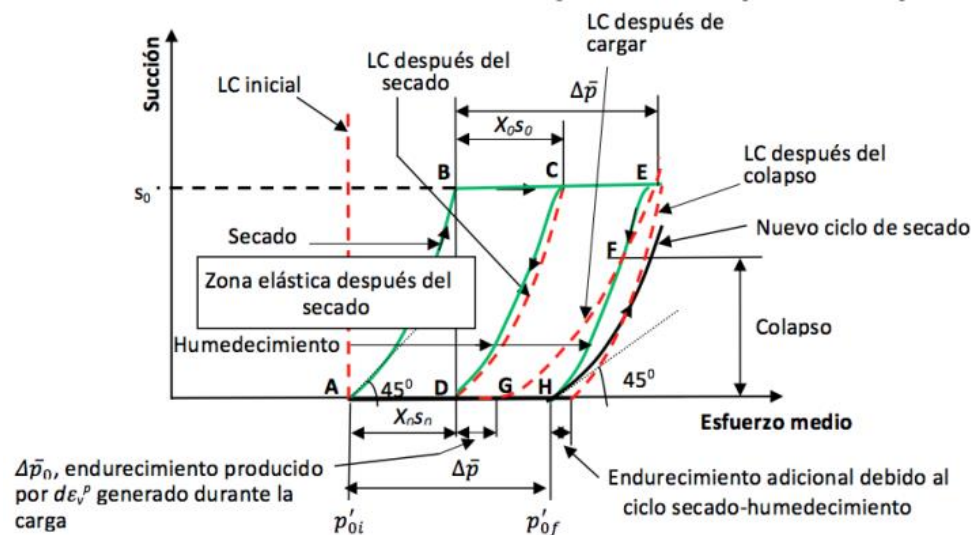


Figura 2.5. Marco elastoplástico para el comportamiento volumétrico de los suelos no saturados (Rojas, 2012)

2.5 PARÁMETROS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS SUELOS COLAPSABLES

Se han propuesto diversas técnicas para evaluar los parámetros físicos de suelos colapsables. Jennings & Knight (1957) sugirieron un procedimiento para describir el potencial de colapso de un suelo. Un experimento llevado a cabo fue tomar una muestra de suelo inalterada con su contenido de humedad natural en un anillo de consolidación. Se aplicaron cargas escalonadas a la muestra hasta un nivel de presión σ'_w de 200 kN/m². A esa presión, la muestra se inundó para saturarla y se dejó reposar durante 24 h. Esta prueba proporciona las relaciones de vacíos e_1 y e_2 antes y después de la inundación, respectivamente. Con base a este procedimiento podemos calcular el potencial de colapso como:

$$C_p = \Delta\varepsilon = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_0} \quad \text{Ec. (3)}$$

e_0 = relación de vacíos natural del suelo

$\Delta\varepsilon$ = deformación vertical

El potencial de colapso se puede categorizar en función de la severidad que presentará el suelo según se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Relación del potencial de colapso a la severidad de los problemas de la cimentación (Rojas, 2022)

$C_p(\%)$	SEVERIDAD DEL PROBLEMA
0-1	NINGUN PROBLEMA
1-5	PROBLEMA MODERADO
5-10	PROBLEMA
10-20	PROBLEMA SEVERO
>20	PROBLEMA MUY SEVERO

La severidad de los problemas de cimentación asociada con un suelo colapsable la correlacionaron con el potencial de colapso (Das, 2002).

Holtz & Hilf (1961) encontraron que los suelos tipos loess presentan una relación de vacíos lo suficientemente grande donde el contenido de agua excede el límite líquido en la saturación, y por consecuencia, estos son propensos al colapso. Esto en ecuación se puede traducir a:

$$w_{sat} \geq LL \quad \text{Ec. (4)}$$

donde LL es igual al límite líquido y w_{sat} es el contenido de humedad necesario para que la muestra se sature. Sin embargo, para suelos saturados se sabe que:

$$e_0 \geq wS_s \quad \text{Ec. (5)}$$

donde S_s representa el peso específico de los sólidos del suelo. Combinando las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$e_0 \geq (LL)S_s \quad \text{Ec. (6)}$$

Una manera diferente de clasificar el colapso de un suelo es a través del peso específico seco natural del suelo requerido para que este colapse es:

$$\gamma_d \leq \frac{S_s \gamma_w}{1 + e_0} = \frac{S_s \gamma_w}{1 + (LL)S_s} \quad \text{Ec. (7)}$$

Esta ecuación presenta una limitante y es que solo para valores promedio de $S_s = 2.65$, los valores límite de γ_d para diferentes límites líquidos pueden ahora calcularse con la Ec. (7) (Rojas, 2022).

Los parámetros físicos que tratan de clasificar que suelos son susceptibles a colapso son tan diversos como sus orígenes; el colapso representa uno de los mayores problemas para los suelos parcialmente saturados. Este suelo ha sido objeto de estudio por diversos autores; en sus investigaciones presentan algunas de las características que se suelen aparecer en un suelo para que ocurra un

colapso. Estas suelen ser: estructura abierta; un estado natural no saturado; una estructura tipo panal de abeja que sea susceptible a reducir significativamente su volumen a expensas de una disminución del volumen de poros; estado exterior de carga suficientemente grande como para generar una condición metaestable para la succión aplicada; la existencia de enlaces entre partículas que se debiliten en presencia del agua (Barrera & Garnica, 2002).

Existen estudios sobre loess (Jotisankasa *et al.*, 2007; Kalantari, 2013; Shao *et al.*, 2018) los cuales han establecido algunos parámetros para la identificación y caracterización de los suelos colapsables. Estos son:

1. Alto valor de relación de vacíos.
2. Baja densidad natural.
3. Bajo contenido de agua.
4. Alto porcentaje de granos finos.
5. Baja a media cohesión.

2.6 SUFUSIÓN

Un caso particular de colapso es la erosión interna provocada por una fuerza hídrica. La erosión interna es el resultado del desprendimiento de las partículas del suelo ocasionadas por un flujo de agua que pasa a través del mismo suelo. Las partículas son transportadas por el agua generando oquedades y vacíos. Como todo en la naturaleza, existe un estado de equilibrio entre partículas al momento de la infiltración de agua, por un lado, están las fuerzas generadas por la energía hídrica que generan el arrastre de las partículas, y por otro lado están las fuerzas que se oponen al desprendimiento que son el peso, la cohesión, la fricción y el bloqueo entre partículas (Escudero & Martínez, 2015).

La mayoría de la erosión se da en suelos consolidados, ya que para el inicio de este fenómeno se requieren la coincidencia de tres elementos: a) Que el material no sea auto-estable; b) Que exista un esfuerzo neto reducido en el suelo, dicho en otras palabras, que exista un estado tensional crítico; c) Que la carga hidráulica sea

suficientemente grande como para erosionar y mover las partículas del suelo por la generación de una velocidad alta de flujo (Escudero & Martínez, 2015).

La erosión interna se puede categorizar en tres grupos: por fugas concentradas, que es un proceso que se da por las grietas presentes en la estructura del suelo. Estas grietas son capaces de erosionar las paredes y arrastrar las partículas, este proceso se suele encontrar en las cortinas de presas; por levantamiento del fondo, que es un proceso de erosión generado en causes de ríos que se genera aguas arriba de una presa y que erosiona el material en el fondo; y por pérdida o arrastre de finos. En la erosión por pérdida o arrastre de finos, existe una subcategoría llamada sufusión, está erosión se da por el mecanismo de falta de estabilidad de un suelo sometido a una velocidad hidráulica y asociado a que su estructura granulométrica es inestable y no puede retener la fracción más fina como se ilustra en la Figura 2.6 (Escudero & Martínez, 2015).

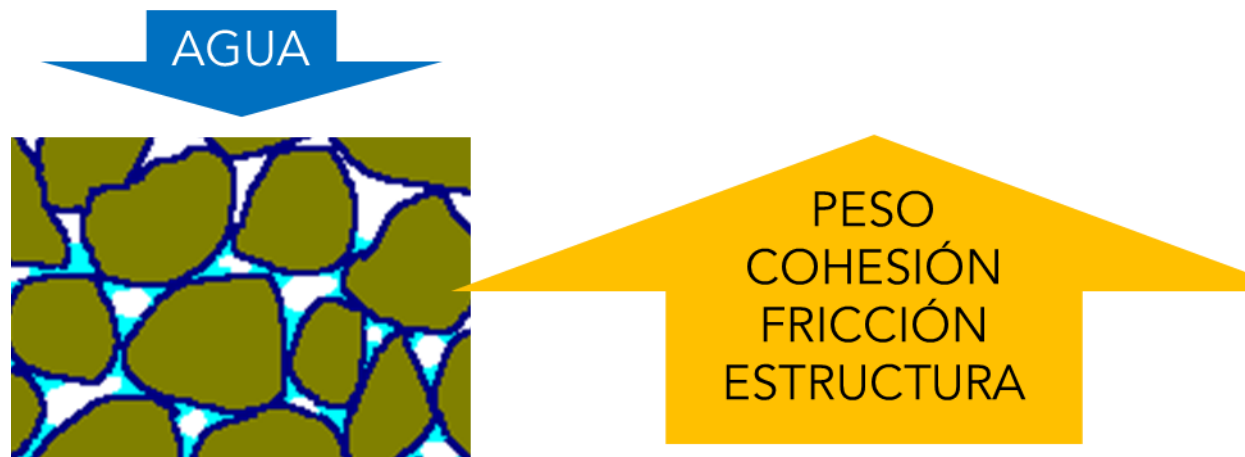


Figura 2.6. Descripción grafica del proceso de inyección de agua

La composición granulométrica del suelo, y en particular la discontinuidad en la variación gradual de los tamaños, ha sido uno de los elementos más empleados en la identificación del potencial de sufusión. Se establece una relación entre el contenido de material grueso y fino utilizando el el D85 y D15 de cada fracción de suelo, respectivamente, y que teóricamente controla la erosión. Estos autores (Alberro, 2006; Escudero & Martínez, 2015; Service, 1994) proponen ábacos de

caracterización de potencial erosión esperada, según la relación entre el DF15 del filtro, y el contenido de arenas finas del suelo base.

Una forma de clasificar el buen comportamiento de un material tipo “filtro” es a través de su DF15, es decir el tamaño de partículas correspondiente al contenido de material del 15%. Un $DF15 \leq 0.5$ mm presentará un buen comportamiento. La matriz gruesa debe ser ligeramente más gruesos que estos valores (con DF15 superiores a 1.5 mm) (Zeballos *et al.*, 2013).

2.7 AUTOESTABILIDAD DE SUELOS

Para asegurar la estabilidad estructural de los suelos granulares y evitar el arrastre de partículas bajo el efecto de flujos de agua inducido, sea por presiones de poro dinámicas o por flujos establecidos, se debe analizar la curva granulométrica del material con base en los criterios de filtros y partiendo el material en dos porciones: parte gruesa y parte fina; asegurándose que la parte gruesa actúa como filtro de la parte fina. Para observar si el material es capaz de retener la porción fina Alberro (2006) propone revisar su pendiente para así poder determinar la estabilidad del suelo. La relación que propone es:

$$\frac{D_{85}}{d_{85}} < 5 \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde D_{85} y d_{85} representan el diámetro de las partículas de suelo con una diferencia de 15% en el eje de la vertical que corresponde al porcentaje que pasa, como se ilustra en la Figura 2.7, que corresponde al porcentaje que pasa. De acuerdo con las reglas de filtros, cuando se cumple esta relación, el material será estable.

Esta pendiente se puede determinar el siguiente procedimiento considerando que el suelo presenta un porcentaje de finos x. Entonces, la pendiente de una curva granulométrica auto-estable es:

$$m = \frac{(1 - x)0.85 + 0.85x}{\log 5 - \log 1} = \frac{0.85}{\log\left(\frac{5}{1}\right)}; m = \frac{0.85}{\log(5)} = 1.21 \quad \text{Ec. (9)}$$

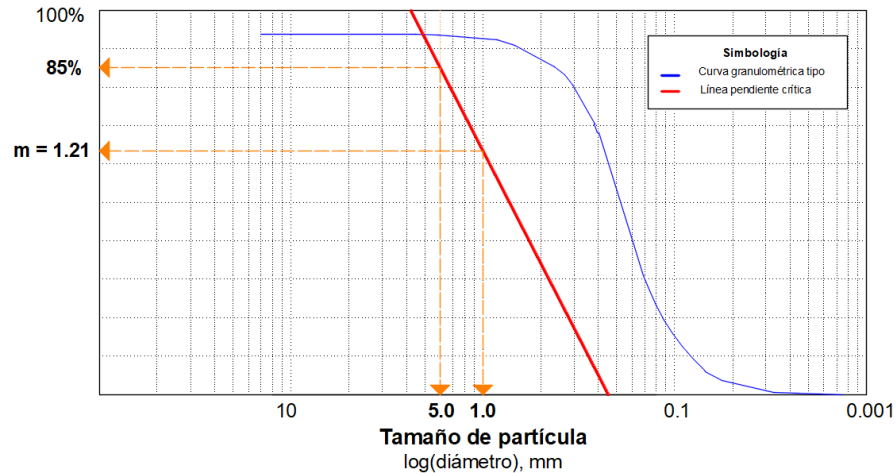


Figura 2.7. Distribución Granulométrica Crítica (Alberro, 2006)

2.8 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD CRÍTICO PARA SUELOS AUTOESTABLES

Mediante la curva granulométrica se pueden establecer relaciones que permiten clasificar la distribución de partículas del suelo. Alberro (2006) propone que para asegurar que un suelo no sea erosionable, la curva granulométrica debe tener una pendiente mayor a 1.2. Esto lo podemos traducir al coeficiente de uniformidad (C_u), según Alberro (2006), el $C_u \leq 2.6$ lo que significa que la distribución en el suelo debe ser muy homogénea o mal graduada. Sin embargo, Service (1994) mencionan que el $C_u \leq 6$ para asegurar que el material sea estable. Ambos valores hablan que el suelo debe presentar una distribución muy uniforme donde la parte gruesa sea capaz de retener la parte fina. Estas relaciones solo se cumplen si el material presenta distribuciones granulares que van desde la parte gruesa a la parte fina. Un suelo que presenta una distribución muy homogénea, pero que su mayoría estructural está compuesta por material fino, este será muy susceptible a erosionar de cualquier manera ya que no hay elementos que permitan la retención del material más pequeño.

3 METODOLOGÍA

En este capítulo se detalla el procedimiento experimental con base a la investigación del estado del arte y siguiendo un diseño de experimentos efectuado para definir las pruebas a ejecutar durante el desarrollo del estudio y que serán utilizadas para analizar el proceso de colapso, ya sea por saturación o por arrastre de finos.

Las pruebas se realizaron dentro de la Universidad Autónoma de Querétaro, específicamente, en el Laboratorio de Geotecnia, Materiales y Geomática perteneciente a la facultad de Ingeniería. La construcción del modelo de sufusión se realizó en el taller del Centro de Diseño e Innovación Tecnológica (CEDIT), de la misma universidad.

La metodología consta de: la recolección y caracterización del material mediante pruebas índices; la ejecución de las pruebas experimentales, que se describe en las secciones siguientes; y el diseño y la construcción del modelo de sufusión.

3.1 *OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA*

La recolección de muestras de suelo, utilizadas para esta investigación, fue dentro de la Zona Metropolitana de Guadalajara, específicamente en la Ciudad de Zapopan, Jalisco, en los bordes de la franja del Complejo Volcánico La Primavera en la entrada al bosque La Primavera, con coordenadas geográficas latitud igual 20°36'24" N y longitud 103°29'27" como en Figura 3.1.

En el lugar se realizó la extracción de muestras alteradas; se recolectaron 5 costales de aproximadamente 15 kg cada uno. La extracción se realizó conforme lo marca la norma americana ASTM D75 (ASTM D70, 2014). El procedimiento para la recolección de muestras fue el extraer material producto de la excavación realizada en el sitio para almacenarla en costales para su transportación de la ZMG a la Universidad Autónoma de Querétaro. La recolección se hizo en el mes de diciembre del 2021.

Para el almacenamiento de las muestras, se reservaron dentro de las instalaciones del Laboratorio de Geotecnia y Materiales de la Universidad Autónoma de Querétaro. El almacenamiento de las muestras no requirió ningún tratamiento, o cuidado, adicional ya que se tomaría la granulometría de cada tipo de suelo a remodelar de acuerdo las características usadas en el estudio de Zamudio *et al.* (2018).



Figura 3.1. Lugar de recolección de muestras de suelo en el CVLP. Distribución de estratos en la primavera

3.2 PROPIEDADES ÍNDICE DEL SUELO

Para la construcción de los cuatro tipos de suelo, se secó el suelo dejándolo al aire libre para eliminar la mayoría de la humedad para después meterlo al horno a $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}$ para secarlo por completo. Una vez seco el material, se separó en tamaños nominales de acuerdo a los tamices en un agitador mecánico, como se ilustra en la Figura 3.2. Los tamices usados para la prueba fueron: 3/4" (19.05 mm); 1/2" (12.70 mm); 3/8" (9.53 mm); #4 (4.76 mm); #10 (2.00 mm); #20 (0.84 mm); #40 (0.42 mm); #60 (0.25 mm); #100 (0.15); #200 (0.075 mm). Las curvas

granulométricas correspondientes van del agregado que se retiene la malla 3/4" (19.05 mm) a la malla 200 (0.075 mm).



Figura 3.2. Agitador mecánico de tamices de la marca ALCON

3.3 DENSIDAD DE SOLIDOS (G_s o S_s).

Esta prueba se realizó conforme a la norma americana ASTM D 854 (2002). Este valor servirá para establecer relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo y poder comparar y verificar que el suelo recolectado sea del mismo origen que el que usan en la investigación de Zamudio *et al.* (2018).

3.4 GRANULOMETRÍA.

Para clasificar el material que pasa la malla número 200 (0.075 mm) se usó el hidrómetro basado en la ley de Stokes, la cual relaciona la velocidad de caída libre a través de un fluido basada en la norma ASTM D2974 (2020).

3.5 LÍMITE LÍQUIDO

Con base a la norma del Cono Inglés, GR- 84-11 (Interior, 1984), se determinó el Límite Líquido. Parámetro utilizado para diversas correlaciones empíricas y la comprobación de resultados.

3.6 PERMEABILIDAD

Con base a la norma americana ASTM D2334 (1994) se determinó la permeabilidad para cada tipo de suelo. Esto con el fin de comparar con los resultados de la investigación de Zamudio *et al.*, (2018) y conocer la capacidad hidráulica de cada material.

3.7 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

El diseño de los experimentos consistió en un análisis factorial 2^K . Estos resultados fueron estudiados mediante un análisis de la varianza para poder encontrar las variables más significativas en el colapso. En el caso del experimento del colapso por saturación, se evaluó el porcentaje de finos de cada material estudiado (Jal – 16.09%, Jal-Tepe – 21.38%, Tepe-Jal – 26.67% y Tepetate – 33.92%) y la carga del suelo en diferentes niveles de profundidad, empezando por la carga producida por una columna de suelo de 30 metros a los 100 metros ($\sigma_1 = 48.14 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$, $\sigma_2 = 80.23 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$, $\sigma_3 = 112.32 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$ y $\sigma_4 = 160.45 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$.) teniendo 4 estados diferentes de carga. Más adelante en el texto se explicarán más a detalle sobre los experimentos.

3.8 COLAPSO POR SATURACIÓN (PRUEBA ODÓMETRICA)

3.8.1 PREPARACIÓN DE ANILLOS DE CONSOLIDACIÓN

El material que se seleccionó para cada anillo fue de acuerdo a la norma americana ASTM D4546-14 (2014) donde se establece que los moldes usados en laboratorio, el tamaño máximo de agregado deberá ser solo el material que pase la malla número 4 (4.75 mm), por lo que se separaron 2 kg de cada tipo de suelo a estudiar con solo la fracción arenosa y fina.

De acuerdo a esto, se realizaron 4 anillos respetando la proporción de relación de vacíos. Con el volumen de cada molde, se determinaron la cantidad de

suelo seco que deberá llevar cada anillo. Las fórmulas que se usaron fueron las siguientes:

$$\text{Volumen de cada anillo: } V_a = \pi r^2 h_a \quad \text{Ec. (10)}$$

$$W_s = \gamma_d V_a = \frac{Ss \gamma_w}{1 + e} V_a \quad \text{Ec. (11)}$$

$\gamma_d =$ *Peso volumétrico seco del material*

$Ss =$ *Desidad de sólidos*

$e =$ *Relación de vacíos*

$\gamma_w =$ *Peso volumétrico del agua*

3.8.2 PRUEBA ODOMÉTRICA

Se realizaron 3 series de ensayos en los odómetros, cada serie constaba de 4 muestras del mismo tipo de suelo sujetas a distintas cargas verticales. El ensaye se llevó a cabo en dos fases: La primera etapa constaba de la consolidación del material debido a las cargas a las que está expuesta; esto con el objetivo de simular las condiciones reales a las que estaría expuesta la muestra. En una segunda etapa, se saturó por completo el material y se midió el colapso con la deformación unitaria en el tiempo. Una imagen conceptual de la prueba odométrica se encuentra en la Figura 3.3.

Para definir el esfuerzo al que estaría sometido el suelo a distintas profundidades, se optó por definir como valor el mayor peso volumétrico correspondiente al Tepetate que tiene un peso volumétrico de $\gamma_m = 1604 \text{ kg/m}^3$ en estado húmedo con un porcentaje de humedad de $\omega = 25\%$. Esto con el propósito de simplificar los cálculos debido a la insuficiencia de información de la distribución estratigráfica en el suelo. Para conocer la carga de cada anillo correspondiente a 30, 50, 70 y 100 m (las profundidades se definieron a partir de lo propuesto por Venegas (2017)), se realizó lo siguiente:

$$\text{Área del anillo: } A_a = \pi r_a^2 \quad \text{Ec. (12)}$$

$$\text{Esfuerzo en función de la profundidad: } \sigma_z = \gamma_m z \quad \text{Ec. (13)}$$

$$\text{Fuerza en cada anillo: } F_a = \sigma_z A_a \quad \text{Ec. (14)}$$

$$\text{Fuerza en cada anillo después del brazo de palanca (BL): } F_{BL} = F_a / BL \quad \text{Ec. (15)}$$

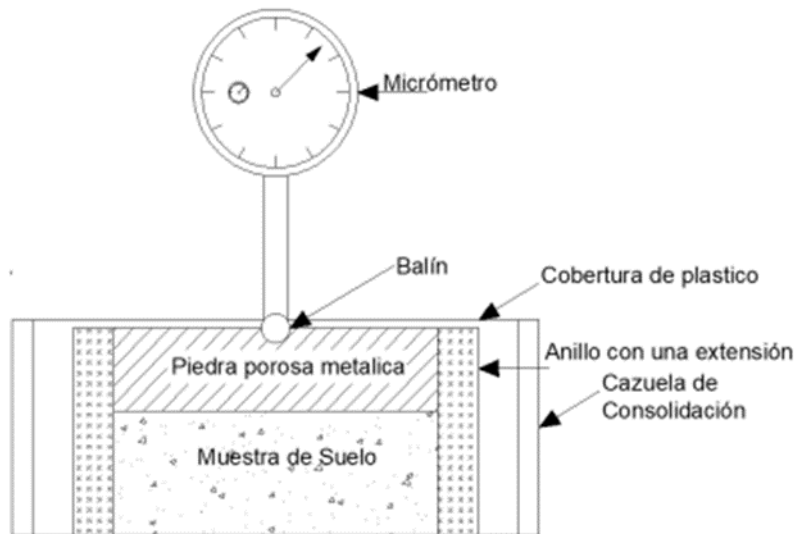


Figura 3.3. Croquis de la muestra colocada en consolidómetro (Verdín, 2018)

3.8.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS COLAPSO POR SATURACIÓN

El análisis se realizó mediante el software RStudio con la librería *doe.base*. El análisis consistió en un análisis factorial 2^K teniendo como variables el porcentaje de finos en el suelo y el esfuerzo producido a diferentes profundidades. Los resultados se comprobaron con un análisis de la varianza para poder encontrar las variables más significativas para el colapso. Esto se comprobó mediante el análisis del poder de la prueba, donde un valor cercano al 100% comprueba que los resultados son significativos y representativos. Se realizaron tres series, cada una de 4 niveles. La distribución de cada serie se ilustra en la Tabla 3.1.

3.9 COLAPSO POR SUFUSIÓN (EROSIÓN INTERNA)

Para el experimento de colapso por sufusión se diseñó un artefacto que nos permitiera obtener resultados fiables y que reflejará el problema principal al que se pretende llegar que es la erosión interna causada por una fuerza vertical de infiltración. Para el diseño del modelo se realizaron 3 prototipos.

El primero se realizó usando como referencia la prueba de permeabilidad, como se ilustra en la Figura 3.4, de carga constante modificando algunos criterios, estos fueron: se quitó la piedra porosa y papel filtro de la parte de inferior para permitir el flujo libre de material fino durante la realización de la prueba; la carga hidráulica permaneció constando al igual que lo que dicta la norma de dicha prueba. Esto con el fin de poder calcular la velocidad y obtener el gradiente hidráulico.

Tabla 3.1. Diseño de experimento colapso por saturación 2^K

COLAPSO POR SATURACIÓN	
% DE FINOS	ESFUERZO (ton/m ²)
16.09	48.14
21.38	48.14
26.67	48.14
33.92	48.14
16.09	80.23
21.38	80.23
26.67	80.23
33.92	80.23
16.09	112.32
21.38	112.32
26.67	112.32
33.92	112.32
16.09	160.45
21.38	160.45
26.67	160.45
33.92	160.45

De esta manera esperábamos obtener resultados que nos permitieran observar el arrastre de material y el colapso, sin embargo, las limitantes principales de este modelo eran que el arrastre de finos solo se daba por un eje, impidiendo la erosión lateral, la imposibilidad de aplicar un esfuerzo vertical simulando las condiciones a las que está expuesto el material y la descarga hidráulica se realizaba en la parte superior de la muestra.

Con base al modelo anterior en el siguiente modelo se realizaron algunos cambios. Se diseñó un cilindro tipo “filtro”, como se ilustra en la Figura 3.5, que permitiera la erosión del material en cualquier dirección. La carga hidráulica permaneció de la misma manera que en el prototipo pasado. Los principales problemas de este modelo era el diámetro del filtro así como el espacio que quedaba

entre la cámara de permeabilidad y el filtro. También no se podría agregar carga externa al igual que en el modelo pasado.

Con base a los prototipos pasados, se concluyó que las condiciones que debía cumplir el modelo para su correcto desempeño fueron:

1. Poder inyectar agua con una velocidad controlada y constante;
2. permitir que se aplique un esfuerzo vertical para simular las condiciones a las que está expuesto el suelo;
3. permitir la erosión del suelo en todas las direcciones;
4. confinar el tubo interno, donde estará la muestra del suelo a estudiar, con un material más permeable que permita el flujo de finos y el flujo libre de agua, pero que simule las condiciones reales del mismo sitio;
5. medir el colapso que se produce por la erosión;
6. que la descarga de agua se realice en la mitad de la muestra y;
7. que el diámetro del tubo sea 6 veces mayor a la partícula más grande del suelo a estudiar



Figura 3.4. Prototipo 1 modelo de sufusión



Figura 3.5. Prototipo 2 modelo de sufusión

Con base a estos criterios se llegó al modelo de sufusión que consiste en un tubo de 4.5 pulgadas de diámetro con paredes perforadas en el que va recubierto por una malla número 10 y encima de está una malla número 200 que permite el flujo de los finos, pero que retiene la fracción gruesa del suelo. A su vez, este tubo, va dentro de otro tubo que sirve como camisa de acero de 6 pulgadas en el que en el espacio de los tubos lleva arena sílica uniforme y que tiene una salida hidráulica en la parte inferior. La carga hidráulica se introduce por medio de un tubo que atraviesa el centro de la placa de acero que recibe la carga del sitio. Esta carga hidráulica tiene una descarga en el centro de la prueba simulando que la infiltración se hará en un sitio donde hay suelo por arriba y por abajo. El despiece mecánico se encuentra en la Figura 3.6 y la descripción de cada uno de sus componentes que lo conforman se encuentra en la Figura 3.7.

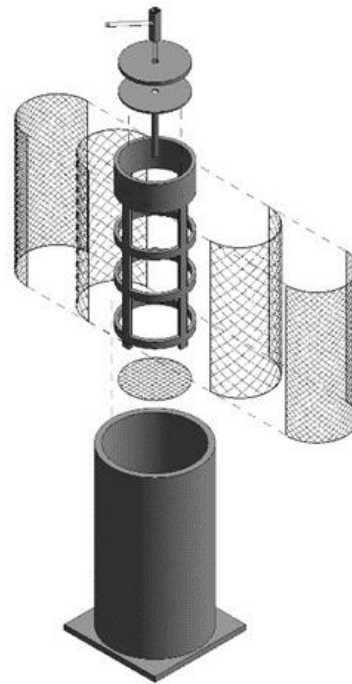


Figura 3.6. Despiece mecánico del modelo de sufusión

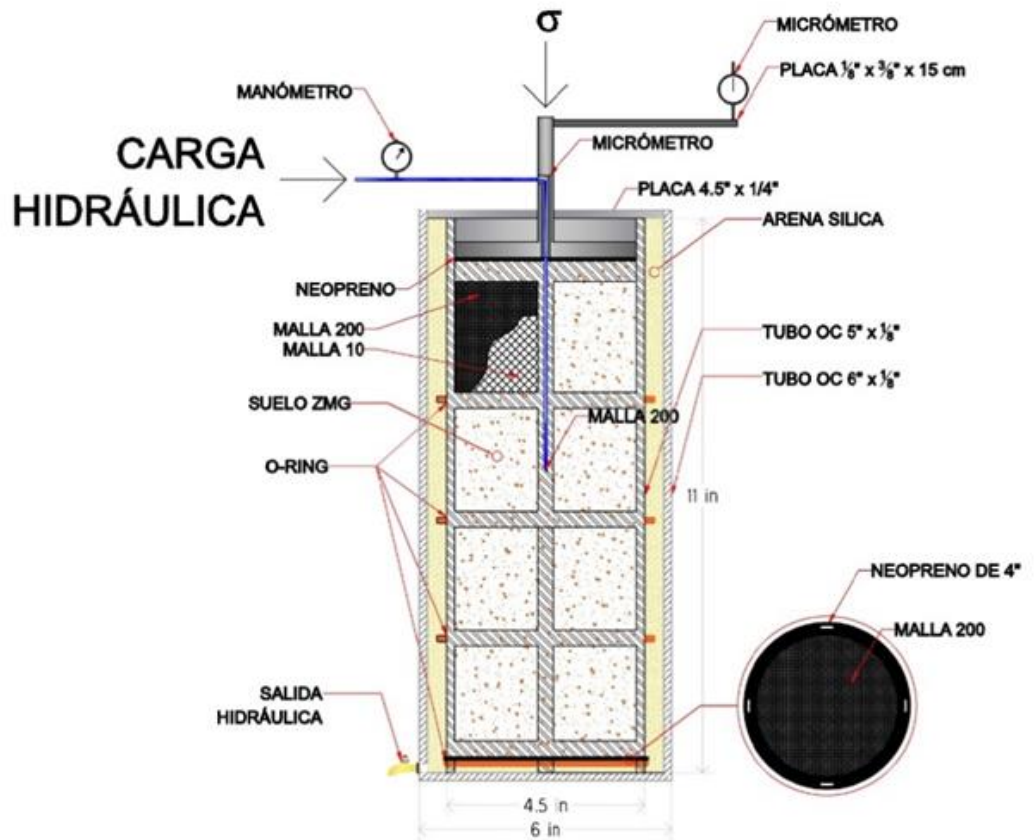


Figura 3.7. Modelo conceptual del prototipo 3

3.9.1 PREPARACIÓN Y CORRIDA EXPERIMENTAL SUFUSIÓN

Se realizaron 3 series de ensayos en el modelo de sufusión, cada serie constaba de 3 muestras del mismo tipo de suelo sujetas a distintas cargas verticales. Las muestras se prepararon previamente en bolsas de 2.5 kg secadas en horno y homogeneizadas para lograr una correcta distribución en las muestras. Las etapas que se siguieron para la preparación de una corrida experimental fueron: 1. Introducir el tubo de sufusión armado con las dos mallas (#200 y #10) en el tubo de 6" y posteriormente vaciar la arena sílica, 2. Colocar la muestra de arena a ensayar evitando la pérdida de material fino; 3. Colocar la placa superior introduciendo el tubo de inyección hidráulica para posteriormente conectarla a la toma de agua con el manómetro; 4. Se colocaba la pesa en la parte superior; 5. Se tomaba lectura inicial de la profundidad de la placa respecto al tubo "filtro"; 6. Se permitía el paso del agua a una velocidad constante en un tiempo variable. Este tiempo era en función de lo que demoraba la prueba en permitir el paso de 40 litro. 7. Al final de la prueba, se tomaba la lectura del descenso el tubo y se extraía el material para meterlo al horno a 110° por 24 horas para eliminar su humedad; 8. La diferencia de peso de los 2.5 kg iniciales con el material lavado por el agua será lo correspondiente a la sufusión. En la Figura 3.8 se ilustra el modelo de sufusión durante una prueba de erosión.

3.9.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS COLAPSO POR EROSIÓN INTERNA

El análisis se realizó mediante el software *Excel*. Para el análisis se tomaron el promedio del resultado de colapso y de sufusión. Estos resultados se representaron en tres graficas. La primera es de colapso contra velocidad, en una segunda de sufusión contra velocidad y en un tercera colapso contra erosión. En esta última se puede ver el efecto que tiene un suelo estable, es decir, que la matriz de la muestra este conformada por material grueso y que un material que este constituido en su mayoría por material fino. En la Tabla 3.2 se muestra la distribución de una serie del experimento de colapso por sufusión.



Figura 3.8. Modelo de sufusión durante corrida experimental con muestra

Tabla 3.2. Diseño de experimento colapso por sufusión

COLAPSO POR SUFUSIÓN	
% DE FINOS	VELOCIDAD (m/s)
16.09	1.7
21.38	1.7
26.67	1.7
33.92	1.7
16.09	4.38
21.38	4.38
26.67	4.38
33.92	4.38
16.09	9.38
21.38	9.38
6.67	9.38
33.92	9.38

3.9.3 CALIBRACIÓN MODELO DE SUFUSIÓN

Para la parte de la carga que ya tiene el sitio se colocó un peso de 23.80 kg. Este peso no se pudo variar debido a la complejidad de aplicar cargas mayores, así que los experimentos solo se llevaron a cabo bajo un mismo esfuerzo. Las variables que se estudiaron fueron el porcentaje de finos en el suelo y la velocidad de entrada de la carga hidráulica. Para los experimentos, se realizaron dos series de las

diferentes variables, por lo que se tuvo un total de 24 experimentos con 3 realizados con un material tipo “filtro” para corroborar los resultados y 3 experimentos cambiando el material confinante, arena sílica, por material proveniente de la misma muestra, pero que se retuviera en la malla número 200. Esto con la finalidad de comprobar que cuando existe un material homogéneo que confine la muestra, el material fino no podrá erosionarse debido a que el material homogéneo atraparía el material más fino impidiendo que este fluya. A esta serie de pruebas le llamamos “Hipótesis”. Los resultados de las pruebas de calibración e hipótesis se encuentran en la Tabla 8.1.

Tabla 3.3. Resultados prueba de sufusión en etapa de calibración e hipótesis

Calibración	COLAPSO			Y	Desv. Estándar
	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3		
	0.29%	0.28%	0.29%	0.28%	1.60%
	SUFUSIÓN			Y	Desv. Estándar
SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3			
	0.92%	0.82%	0.85%	0.86%	6.23%
Hipótesis	COLAPSO			Y	Desv. Estándar
	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3		
	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	SUFUSIÓN			Y	Desv. Estándar
SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3			
	0.28%	0.28%	0.32%	0.29%	8.52%

En las 3 series de pruebas de calibración del modelo de sufusión al material tipo “filtro” con un porcentaje de finos del 2.41% y a una velocidad hidráulica de 7.05 m/s se encontró una media del colapso de 0.28% con una desviación estándar del 1.60%. Los resultados de sufusión tuvieron una media de 0.86% con una desviación estándar del 6.23% tal como se puede observar en la Tabla 8.1. El nivel de confianza de los resultados fue mayor al 93%, Por lo cual, podemos decir que el prototipo fabricado de manera artesanal tiene un buen nivel de confianza y los resultados arrojados pueden ser utilizados para la toma de decisiones.

Para el caso de los experimentos iniciales, la velocidad de flujo fue de 0.10 m/s ya que el material confinante tenía una conductividad hidráulica baja. Para estos experimentos se dejó más tiempo la prueba ya que la velocidad de entrada era muy lenta. En los resultados obtenidos, se puede observar que, por la velocidad de aplicación, no se presentó el colapso en ninguna prueba, aunque se presentó una

sufusión promedio de 0.29% con una desviación del 8.52%. Esto quiere decir que el material fino erosionado no se encontraba formando parte activa de la estructura del suelo que estaba conformada por las partículas gruesas, de tal manera que los finos solo se encontraban entre los poros dejados por la fracción gruesa.

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Para esta investigación fue necesario la obtención de aproximadamente 50 kilos de material extraído de la región geológica de estudio. En la Figura 3.1 se puede observar un corte de un *cerro* donde se extrajeron las muestras. Una vez extraídas, se procedió a cribar el material y separar por tamaños nominales. Una vez teniendo el material cribado, se armaron 12 bolsas, para la prueba de colapso por sufusión, de 2.5 kg de cada tipo de suelo, 4 bolsas de 2 kg con granulometrías inferiores a la malla número 4.

Además, se armaron 6 bolsas de 2.5 kg siguiendo la teoría de *filtros* para la calibración del modelo de sufusión. Con estas muestras se realizaron pruebas de laboratorio para determinar sus propiedades índices y se realizaron dos relaciones para verificar si el suelo era susceptible a colapso.

Los resultados se encuentran en la Tabla 4.2; en dicha tabla se encuentra una comparativa con los valores reportado por Zamudio *et al.* (2018) y SANDSTORM-GAM (2015). Para el caso de la prueba de colapso por saturación, se utilizó material que pasará la malla número 4. Esto por el diámetro permitido de partícula en la norma de colapso. Esto se hizo en 4 bolsas, una de cada tipo de material (Jal, Jal-Tepe, Tepe-Jal, Tepetate), de 2 kg mezcladas para homogenizar el material.

Uno de los criterios para asegurar que el suelo sea colapsable es mediante la pendiente de la curva granulométrica. Alberro (2006) propone que para asegurar que un suelo no sea erosionable, la curva granulométrica debe tener una pendiente mayor a 1.2. Esto lo podemos traducir al coeficiente de uniformidad (C_u), según Alberro (2006), el $C_u \leq 2.6$ lo que significa que la distribución que debe tener el suelo sea muy homogénea o mal graduada. Sin embargo, Service (1994) mencionan que el $C_u \leq 6$ para asegurar que el material sea estable. Ambos valores hablan que el suelo debe presentar una distribución muy uniforme donde la parte gruesa retenga la parte fina.

En la Figura 4.1 se presentan las curvas granulométricas de los cuatro tipos de materiales y del material diseñado con el criterio de Alberro (2006) llamado filtro.

En las Tabla 4.1 y Tabla 4.2 se presenta el resumen de la cantidad de cada partícula presente en el suelo, así como el resultado del coeficiente de uniformidad.

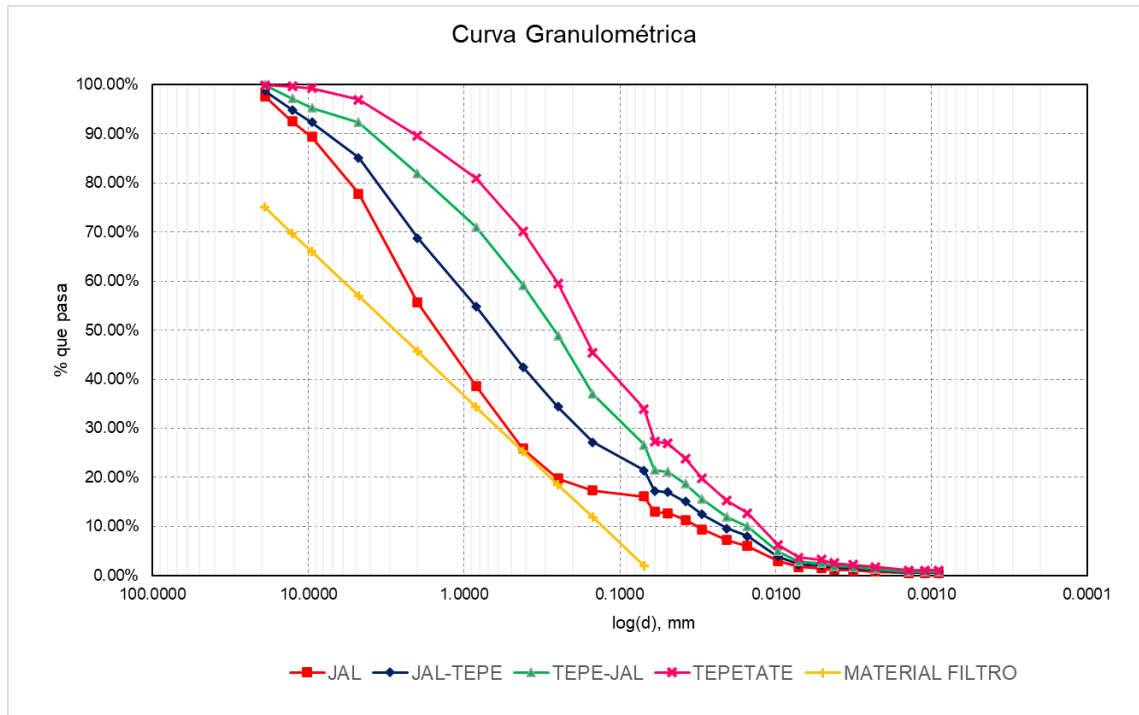


Figura 4.1. Curvas Granulométricas de los materiales utilizados

Tabla 4.1. Porcentaje de material que contiene a cada tipo de suelo usado.

JAL		JAL- TEPE		TEPE-JAL		TEPETATE	
GRAVA	22.15%	GRAVA	14.90%	GRAVA	7.65%	GRAVA	3.03%
ARENA	61.76%	ARENA	63.72%	ARENA	65.68%	ARENA	63.05%
FINOS	16.09%	FINOS	21.38%	FINOS	26.67%	FINOS	33.92%
LIMO	15.27%	LIMO	20.29%	LIMO	25.32%	LIMO	32.19%
ARCILLA	0.82%	ARCILLA	1.09%	ARCILLA	1.35%	ARCILLA	1.72%
TOTAL	100.00%	TOTAL	100.00%	TOTAL	100.00%	TOTAL	100.00%
D60	3.735	D60	1.857	D60	0.760	D60	0.376
D30	0.771	D30	0.242	D30	0.143	D30	0.064
D10	0.038	D10	0.029	D10	0.020	D10	0.015
Cu	98.828	Cu	63.169	Cu	37.158	Cu	25.257
Cc	4.211	Cc	1.073	Cc	1.309	Cc	0.733

En el caso de los suelos de estudio, podemos ver en la Tabla 4.1 que el Cu se encuentra en los valores de 25.67 a 98.83. Esto nos habla del alto porcentaje que presentan los suelos de la ZMG a ser erosionables ya que presentan una distribución de suelos muy variada con muchos tamaños nominales.

Como se mencionó antes, el diseño de los experimentos consistió en un análisis factorial 2^K . Estos resultados fueron estudiados mediante un análisis de la varianza para poder encontrar las variables más significativas en el colapso. En el caso del experimento del colapso por saturación, se evaluó el porcentaje de finos de cada material estudiado (Jal – 16.09%, Jal-Tepe – 21.38%, Tepe-Jal – 26.67% y Tepetate – 33.92%) y la carga del suelo en diferentes niveles, empezando por la carga producida en una profundidad de 30 metros a los 100 metros ($\sigma_1 = 48.14 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$, $\sigma_2 = 80.23 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$, $\sigma_3 = 112.32 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$ y $\sigma_4 = 160.45 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$); teniendo 4 estados diferentes de carga.

Por el desconocimiento de la distribución exacta de los estratos y en busca de simplificar del experimento, se tomó un solo peso del suelo suponiendo que tiene una distribución uniforme; para poder asegurar que el valor fuera suficientemente grande, se eligió el peso volumétrico húmedo mayor de los suelos estudiados. Este fue el correspondiente al Tepetate con $\gamma_m = 1604.50 \text{ kg/m}^3$.

El experimento de colapso por saturación consistió en tres replicas. Los resultados obtenidos se estudiaron mediante un análisis de la varianza para conocer cuál, o cuáles, son las variables más significativas en el colapso. Este análisis se realizó mediante el software estadístico *R-Studio*. Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la Tabla 4.3 y pueden ser analizados gráficamente en la Figura 4.2.

Para el caso del *Jal* y *Jal-Tepe*, se puede observar un máximo bastante similar al de *Tepe-Jal* y *Tepetate* cuando este tiene una carga de 80.3 ton/m^2 . Este punto parecería que alcanza su máximo colapso a los 50 metros de profundidad, sin embargo, cuando se revisan los resultados obtenidos en la Tabla 4.3, podemos notar valores en los resultados atípicos que distorsionan el promedio obtenido para las muestras. Este resultado puede ser explicado por 3 posibles alternativas: a) La norma de colapso para odómetro con anillos de diámetro de 7 cm solo permite partículas que pasan la malla 4, por lo que la disposición y el acomodo de estas pudo influir a los resultados obtenidos; b) Las piedras porosas que se usaron

presentaban reparaciones y deterioros por el uso. Esto puede significar que cuando se aplicarán presiones grandes, estas cedieran rompiéndose. En un experimento realizado, se rechazó el resultado ya una de las piedras porosas usadas en el ensayo, se fracturó y por ende, el colapso obtenido fue por el orden del 15%; c) Basar nuestra decisión de recomendación solo en el promedio de los resultados, hace que se tenga un sesgo cognitivo ya que se requiere el apoyo de otras fuentes de análisis estadístico, es por esto que se hace necesario un análisis más meticuroso.

Tabla 4.2. Resumen de pruebas para la determinación de las propiedades del suelo y revisión del potencial de colapso con comparativa de resultados en el reporte de SANDSTORM-GAM (2015) y Zamudio et al. (2018).

Suelo	Dato	Elaboración propia	Zamudio et al (2018)	Estudio mecánica de suelos GDL		$e_0 \geq (LL)G_s$ Holtz y Hilf (1961)	$\gamma_d \leq \frac{G_s \gamma_w}{1 + (LL)G_s}$ Rojas (2019)
				Mín	Máx		
JAL	Gs	2.16	1.88	-	-	0.78	1209.88
	k (cm/s)	2.51E-01	2.17E-01	-	-		
	γ (kg/m ³)	1451.5	1448	1395	1467		
	γ_d (kg/m ³)	1055.64	986	-	-	COLAPSABLE	COLAPSABLE
	ω %	37.50%	40.00%	35%	42%		
	LL %	36.26%	-	32%	37%		
	e	1.04	0.96	-	-		
JAL-TEPE	Gs	2.28	2.02	-	-	0.75	1303.22
	k (cm/s)	1.24E-01	1.46E-01	-	-		
	γ (kg/m ³)	1432.5	1393	1445	1514		
	γ_d (kg/m ³)	1067.70	1133	-	-	COLAPSABLE	COLAPSABLE
	ω %	34.17%	23%	39%	52%		
	LL %	32.89%	-	43%	52%		
	e	1.14	0.79	-	-		
TEPE-JAL	Gs	2.30	2.17	-	-	0.89	1218.15
	k (cm/s)	7.56E-02	7.50E-02	-	-		
	γ (kg/m ³)	1587.00	1588.00	1537	1632		
	γ_d (kg/m ³)	1222.34	1250.50	-	-	COLAPSABLE	COLAPSABLE
	ω %	29.83%	25%	29%	43%		
	LL %	38.60%	-	42%	53%		
	e	0.88	0.74	-	-		
TEPETATE	Gs	2.31	2.31	-	-	0.75	1318.90
	k (cm/s)	4.91E-03	3.66E-03	-	-		
	γ (kg/m ³)	1604.50	1617.00	1560	1695		
	γ_d (kg/m ³)	1283.60	1217.00	-	-	COLAPSABLE	COLAPSABLE
	ω %	25.00%	20%	30%	45%		
	LL %	32.45%	-	39%	53%		
	e	0.80	0.85	-	-		

La variación obtenida se puede apreciar mejor con un análisis de la varianza (ANOVA); Los resultados del ANOVA se pueden apreciar en la Figura 4.3; en dicha figura se observa que la variable más significativa para el colapso es la cantidad de finos en el suelo ya que, conforme va aumentando la cantidad de suelos en el suelo, el porcentaje de colapso es mayor. Si hiciéramos un ejercicio de interpolación, en el que se tomara la pendiente que forma la línea de colapso de la Figura 4.3 se podría encontrar que porcentaje de finos tiene que tener el suelo para que este no colapse. Este porcentaje debe ser menor o igual al 0.38%, de acuerdo con la gráfica producto del ANOVA y la línea de tendencia. Con este resultado podemos corroborar que para que un suelo no sea colapsable tiene que tener un grado de finos muy bajo o nulo. Esto corrobora la teoría de filtros estudiada por Alberro (2006) y Service (1994).

Tabla 4.3. Resultados de odómetro en la prueba de colapso por saturación

SUELO	CARGA (ton/m ²)	DEF. UNITARIA e			
		SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	Y
JAL	48.135	1.44%	1.18%	1.93%	1.52%
	80.225	1.52%	0.95%	4.99%	2.49%
	112.315	1.35%	1.60%	1.90%	1.62%
	160.45	0.60%	0.57%	6.54%	2.57%
JAL-TEPE	48.135	1.57%	1.57%	2.88%	2.01%
	80.225	1.84%	2.69%	3.01%	2.51%
	112.315	0.80%	2.10%	2.65%	1.85%
	160.45	0.80%	0.13%	0.45%	0.46%
TEPE-JAL	48.135	2.31%	3.42%	2.16%	2.63%
	80.225	1.63%	2.91%	2.59%	2.38%
	112.315	2.03%	2.23%	2.18%	2.14%
	160.45	0.83%	0.73%	3.15%	1.57%
TEPETATE	48.135	1.44%	4.27%	4.76%	3.49%
	80.225	2.26%	3.93%	3.43%	3.21%
	112.315	1.53%	3.95%	4.10%	3.19%
	160.45	1.53%	3.80%	5.50%	3.61%

En la Tabla 4.5 y en la Figura 4.4 y Figura 4.5 podemos observar los resultados obtenidos en la prueba de sufusión. En dichos resultados se aprecia que conforme el suelo tiene mayor porcentaje de finos, este será más susceptible a presentar sufusión y que entre mayor sea la porción gruesa de la matriz del suelo, está será menos susceptible al colapso. Esto lo podemos notar al ver las curvas granulométricas de los materiales en la Figura 2.7. Con estos resultados se puede

comprobar la teoría de filtros que dice que, si el material grueso es suficientemente estable, el suelo puede llegar a erosionarse sin presentar un colapso ya que la fracción gruesa es suficientemente firme para soportar la carga hidráulica sin necesidad de perder su estructura.

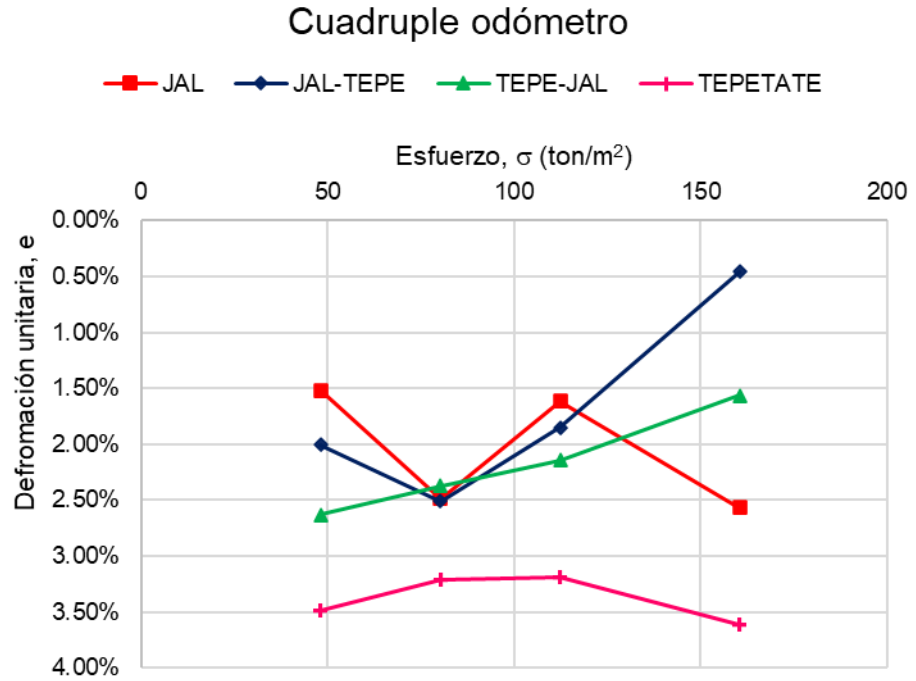


Figura 4.2. Resultados gráficos de experimento de colapso por saturación

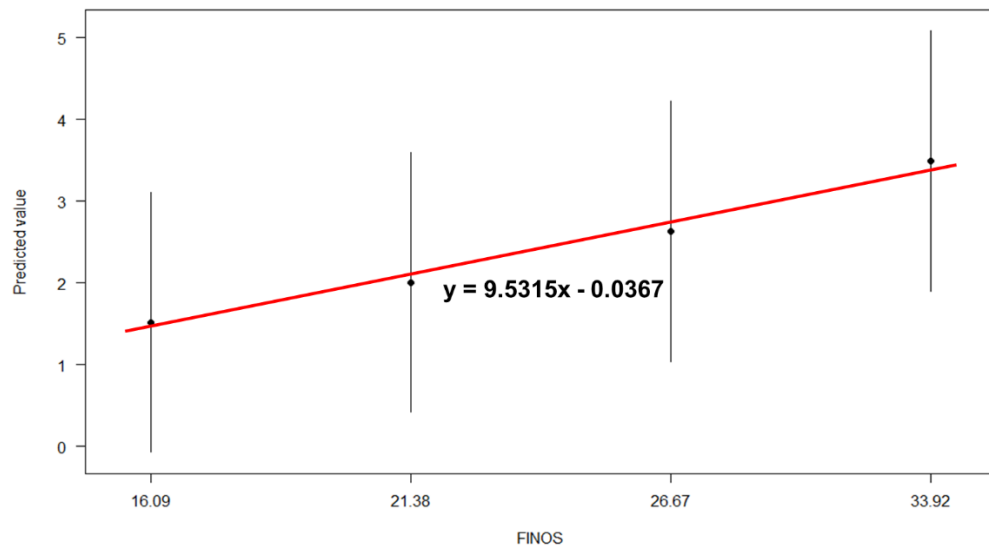


Figura 4.3. Gráfica ANOVA del colapso por saturación

En la Figura 4.5, correspondiente al arrastre de finos, se puede observar mayor arrastre de finos del Tepe-Jal (en comparación con el Tepetate), pero un colapso menor al mayor obtenido. Este resultado puede entenderse desde el punto de partida de que un suelo entre más finos tenga, mayor será su arrastre, por ende, su colapso; sin embargo, el Tepe-Jal aun presenta estructuras gruesas (ver la Tabla 4.1), permitiendo un mayor flujo de finos sin que este colapse, ya que las partículas gruesas sostienen parte de la estructura del suelo haciendo menor su colapso.

Para el caso del Tepetate, el porcentaje material grueso es casi nulo, se tiene un valor menor de arrastre de finos, pero un mayor colapso, esto podría ser explicado desde el punto de partida de que la estructura del suelo depende en su mayoría por finos. Dicho en otras palabras, si estos son arrastrados, el colapso será proporcional a este. Por lo tanto, en el tiempo que se llevó a cabo el experimento, se obtuvo un resultado de colapso, sin embargo, el mecanismo de sufusión no se detiene y puede existir un colapso mucho mayor.

Es importante notar que el rango de colapso para los 4 tipos de material varia de 1.50% a 3.70%. Por lo que los resultados obtenidos a partir del experimento de colapso por saturación y colapso por sufusión son bastante similares.

Si calculamos el asentamiento observado en la superficie del terreno con base a los resultados obtenidos, de llegar a presentarse, podemos observar que entre más profundo el suelo colapse, mayor será el asentamiento esperado. Estos resultados y comparaciones se pueden apreciar mejor en la Tabla 4.4. En la tabla se puede observar que el asentamiento es mayor, para todas las profundidades, en el experimento de colapso por saturación, sin embargo, es necesario recordar que el suelo ya presentó colapsos en su historia geológica al estar ya estar saturado.

Tabla 4.4. Análisis comparativo de asentamientos producidos por los colapsos de saturación y sufusión

PRUEBA =	COLAPSO POR SATURACIÓN				COLAPSO POR SUFUSIÓN			
SUELO =	JAL	JAL-TEPE	TEPE-JAL	TEPETATE	JAL	JAL-TEPE	TEPE-JAL	TEPETATE
PROF (m)	ASENTAMIENTO (cm)							
30	45.55	60.22	78.95	104.68	5.81	32.06	70.36	85.49
50	124.28	125.62	118.79	160.45	9.68	53.44	117.27	142.48
70	113.17	129.50	149.92	223.53	13.55	74.82	164.17	199.48
100	58.58	45.83	156.68	361.00	19.35	106.88	234.54	284.97

Tabla 4.5. Resultados prueba de sufusión para muestras a estudiar

SUELO	% FINOS	Velocidad (m/s)	DEF. UNITARIA ε		Y
			SERIE 1	SERIE 2	
JAL	16.09	1.70	0.24%	0.15%	0.19%
	16.09	4.38	0.22%	0.25%	0.23%
	16.09	9.19	0.27%	0.24%	0.25%
JAL-TEPE	21.38	1.70	1.56%	0.58%	1.07%
	21.38	4.38	2.61%	3.13%	2.87%
	21.38	9.19	2.80%	5.19%	4.00%
TEPE-JAL	26.67	1.70	2.44%	2.35%	2.39%
	26.67	4.38	2.74%	2.91%	2.83%
	26.67	9.19	3.99%	4.01%	4.00%
TEPETATE	33.92	1.70	2.16%	2.85%	2.50%
	33.92	4.38	3.12%	3.55%	3.33%
	33.92	9.19	2.14%	7.10%	4.62%
SUELO	% FINOS	Velocidad (m/s)	SUFUSIÓN		Y
			SERIE 1	SERIE 2	
JAL	16.09	1.70	1.39%	1.88%	1.63%
	16.09	4.38	1.55%	2.21%	1.88%
	16.09	9.19	1.58%	2.63%	2.11%
JAL-TEPE	21.38	1.70	1.68%	1.56%	1.62%
	21.38	4.38	2.40%	1.98%	2.19%
	21.38	9.19	2.88%	2.26%	2.57%
TEPE-JAL	26.67	1.70	3.41%	3.41%	3.41%
	26.67	4.38	4.29%	3.35%	3.82%
	26.67	9.19	4.46%	4.24%	4.35%
TEPETATE	33.92	1.70	2.09%	3.65%	2.87%
	33.92	4.38	2.13%	2.49%	2.31%
	33.92	9.19	1.73%	5.51%	3.62%

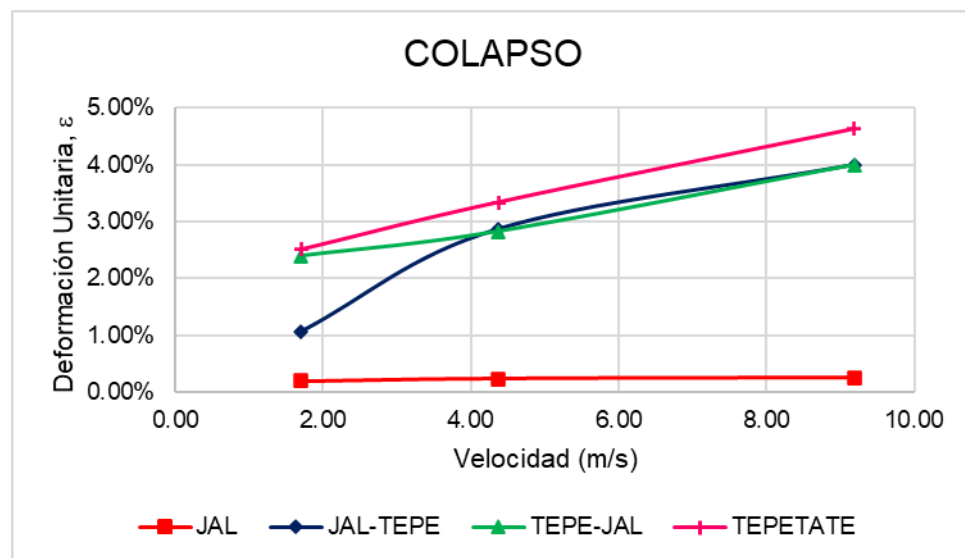


Figura 4.4. Resultados gráficos del colapso en prueba de sufusión

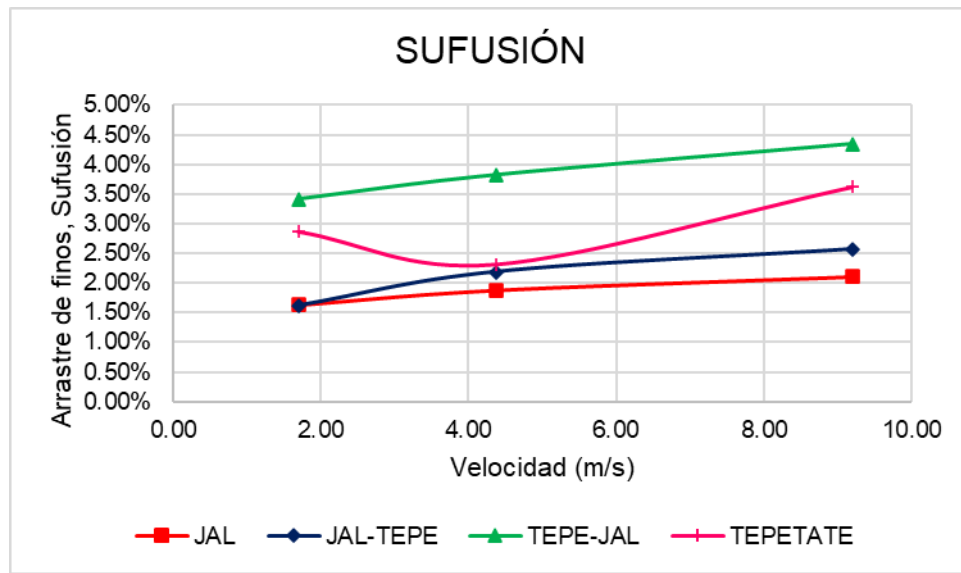


Figura 4.5. Resultados gráficos de la sufusión en prueba de sufusión

5 CONCLUSIONES

A partir del estudio bibliográfico realizado, se ha determinado que ciertas propiedades, como una baja densidad del material, un bajo contenido de agua, un alto porcentaje de granos finos y un valor de cohesión bajo a medio, pueden generar el colapso. Todas estas condiciones se presentan en los suelos de la zona metropolitana de Guadalajara, lo que indica la necesidad de evaluarlos respecto al colapso por saturación y la sufusión.

El análisis por medio de filtros demuestra que un valor de C_u en el orden de 2.6 puede prevenir el fenómeno de sufusión. Por lo tanto, se concluye que el suelo de la ZMG es altamente susceptible a la erosión, y la inyección de agua podría resultar peligrosa si no se lleva a cabo bajo ciertas condiciones.

Para que un suelo sea susceptible a la erosión, deben cumplirse tres requisitos: bajos esfuerzos confinantes, tamaños de partículas que puedan desplazarse entre los poros de los granos gruesos y una velocidad de infiltración elevada. Si la infiltración de agua se realiza a profundidades mayores a 50 m, los esfuerzos confinantes aumentan, lo que resulta en una estructura del suelo densa y menos susceptible a la erosión.

Los ensayos de colapso por saturación han demostrado que un suelo con un alto porcentaje de finos es más susceptible al colapso. Por ende, se debe controlar y regular la velocidad de infiltración, lo que se puede lograr a través del control del gasto que se pretende infiltrar y del área del tubo que se utilizará para la infiltración.

Es importante destacar que un suelo colapsa por humedecimiento solo una vez. El riesgo de colapso por saturación sigue siendo latente, ya que el material que se pretende infiltrar estuvo previamente saturado, y las cargas en la superficie del terreno han aumentado. El colapso esperado oscila entre el 1,3% y el 3,5%, siendo el Tepetate el suelo con mayor susceptibilidad al colapso.

En cuanto al riesgo de colapso por erosión, se puede reducir al controlar la velocidad de infiltración. Se ha observado una tendencia lineal en un rango de velocidad del orden de los 2 m/s a los 9 m/s. De acuerdo con estos resultados, si se interpola a una velocidad de flujo cercana a cero, aún se presenta una erosión de

finos cercana al 1%. Sin embargo, se necesitará un mayor número de réplicas para establecer qué velocidad sería crítica para evitar el riesgo de sufusión. Es necesario replicar estas pruebas en muestras inalteradas obtenidas a diversas profundidades para corroborar los resultados obtenidos en este estudio.

Esta investigación servirá de base para plantear un procedimiento y establecer criterios para evitar o disminuir el riesgo de colapso, así como para entender de manera más detallada el comportamiento de los diferentes estratos del suelo.

6 RECOMENDACIONES

Considerando las conclusiones obtenidas en esta investigación, se recomienda llevar a cabo un análisis detallado de las propiedades geotécnicas de los suelos antes de proceder a la infiltración de agua para la recarga de acuíferos. Es importante evaluar la susceptibilidad del suelo al colapso por saturación y la sufusión, mediante la realización de ensayos en muestras inalteradas de diferentes profundidades.

Se sugiere llevar a cabo más investigaciones en suelos inalterados para poder establecer con mayor precisión las propiedades geotécnicas del subsuelo, y así poder determinar con mayor exactitud el riesgo de colapso por erosión y por saturación.

Además, se recomienda implementar medidas de control en la velocidad de infiltración del agua, para reducir el riesgo de colapso por erosión y por saturación. Es importante monitorear los niveles freáticos antes y después de la infiltración, para tener un mayor control sobre el comportamiento del suelo.

Es importante destacar que los resultados obtenidos en este estudio pueden tener aplicaciones en diversas áreas geotécnicas, como la evaluación de la erosión de ciertos materiales para el diseño de vías terrestres y la construcción de estructuras de cimentación. Por ejemplo, el modelo experimental de sufusión desarrollado en esta investigación podría ser utilizado para medir la erosión de los suelos que serán la cimentación de los aeropuertos, los cuales son estructuras críticas y de alta complejidad que requieren una alta capacidad de soporte y estabilidad. Por lo tanto, se sugiere que futuras investigaciones exploren estas posibles aplicaciones y desarrollen modelos experimentales específicos para cada caso.

Por último, se sugiere que se lleven a cabo estudios más detallados sobre el comportamiento de los diferentes estratos de suelo, para poder establecer criterios y procedimientos que permitan evitar o disminuir el riesgo de colapso en la infiltración artificial de agua para la recarga de acuíferos.

7 REFERENCIAS

- Aboul Hosn, R., Sibille, L., Benahmed, N., & Chareyre, B. (2018). A discrete numerical model involving partial fluid-solid coupling to describe suffusion effects in soils. In *Computers and Geotechnics* (Vol. 95). <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2017.11.006>
- Alatorre-Zamora, M.; Campos-Enriquez, J. (1991). La Primavera caldera (Mexico): structure inferred from gravity and hydrogeological considerations. *Geophysics*, 56(7), 992–1002.
- Alberro-Aramburu, J. (2006). Efecto de los flujos transitorios en el comportamiento de las estructuras t reas. *XVIII Conferencia Nabor Castillo*.
- Alonso, E. E., Gens, A., & Josa, A. (1990). A constitutive model for partially saturated soils. *Geotechnique*, 40(3). <https://doi.org/10.1680/geot.1990.40.3.405>
- ARRIETA-RODRÍGUEZ, M. T., VALENCIA-GONZÁLEZ, Y., & ECHEVERRI-RAMÍREZ, O. (2012). APLICACIÓN DE LA BIOMINERALIZACIÓN EN SUELOS DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN PARA MITIGAR PROCESOS EROSIVOS. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 32, 35–46. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/37202>
- Astm. (1994). D2434- Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head). In *Astm D2434* (Vol. 4).
- ASTM D 854. (2002). ASTM D854 Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. *ASTM International*, 04.
- ASTM D70. (2014). ASTM D75: Standard Practice for Sampling Aggregates. *ASTM International*.
- ASTM D2974. (2020). Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils. *ASTM International*.
- ASTM D4546-14. (2014). Standard test methods for one-dimensional swell or collapse of soils. *ASTM Standards*.

- Barrera, M. (2004). Estudio experimental del comportamiento hidromecánico de suelos colapsables. *Publicación Técnica Sanfandila*, 226.
- Barrera-Bucio, M. (2002). Estudio experimental del comportamiento hidromecánico de suelos colapsables [Universitat Politècnica de Catalunya]. In *Publicación Técnica Sanfandila* (Issue 226). <https://www.tdx.cat/handle/10803/6220#page=1>
- Barrera-Bucio, M., & Garnica-Anguas, P. (2002). Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestres. *Publicación Técnica*, 198.
- Das, B. M. (2002). Principles of Foundation Engineering. In *McGraw-Hill handbooks*.
- Dudley, J. H. (1970). Review of Collapsing Soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 96(3). <https://doi.org/10.1061/jsfeaq.0001426>
- Escudero, D., & Martínez-Santamaría, J. M. (2015). Erosión interna y dispersividad: estado del arte y revisión de ensayos. *Ingeniería Civil*, 177, 67–79.
- Fredlund, D. G. (2002). Teaching unsaturated soil mechanics as part of the undergraduate civil engineering curriculum. *Pan American Conference on Geotechnical Engineering Education*.
- Fredlund, D. G., & Rahardjo, H. (2007). Introduction to Unsaturated Soil Mechanics. In *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*. <https://doi.org/10.1002/9780470172759.ch1>
- Gallegos-Fonseca, G; Leal-Vaca, J.C.; Rojas-González, E.; Mora-Ortiz, R. S. (2012). Efecto de la succión en la estabilidad de un talud de arena limosa. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XIII (núme, 271–281. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2012.13n3.026>
- GEOEX. (2004). *Estudio de actualización geohidrológica integral de las cuencas Atemajac-Toluquilla, Estado de Jalisco, México. Guadalajara, México: Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado*.
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D., & Sheahan, T. C. (2011). *An Introduction to Geotechnical Engineering*. Pearson. <https://books.google.com.mx/books?id=EY7hcAAACAAJ>
- Holtz, W. G., & Hilf, J. W. (1961). *Settlement of soil foundations due to saturation*.

- IIAMA. (2019). "Los SUDS son una solución efectiva y sostenible a los problemas de drenaje." 1. <https://www.iagua.es/noticias/iiama/suds-son-solucion-efectiva-y-sostenible-problemas-drenaje>
- Instituto Metropolitano de Planeación. (2016). *POTMet Plan de Ordenamiento Territorial Metropolitano del AMG*.
- Interior, U. S. D. of the. (1984). FALL CONE METHOD USED TO DETERMINE THE LIQUID LIMIT OF SOIL. *Bureau of Reclamation*.
- Jennings, J. E., & Knight, K. (1957). The additional settlement of foundation due to collapse of sandy soils on wetting. *Proc., 4th ICSMFE*, 1, 316–319.
- Jotisankasa, A., Ridley, A., & Coop, M. (2007). Collapse Behavior of Compacted Silty Clay in Suction-Monitored Oedometer Apparatus. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(7), 867–877. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0241\(2007\)133:7\(867\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0241(2007)133:7(867))
- Juárez, E., & Rico, A. (2005). Mecánica de suelos, Tomo I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos. In *Mecánica de Suelos*.
- Kalantari, B. (2013). Foundations on collapsible soils: A review. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Forensic Engineering*, 166, 57–63. <https://doi.org/10.1680/feng.12.00016>
- López-Acosta, N., & Mendoza, J. (2016). *Flujo de agua en suelos parcialmente saturados y su aplicación a la ingeniería geotécnica*.
- Lowe, J. (1978). Diseño de la Cimentación de la Presa Tarbela. *IV Conferencia Nabor Castillo*.
- Momparler, S., & Andrés-Doménech, I. (2007). Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia. *Equipamiento y Servicio Municipales*, 24(133). <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00303.2005>
- ONU. (1992). *Programa 21: Capítulo 18. octubre 07, 2020*.
- Osorio, S. (2010). *Historia de la Geotecnia - 01 - Introducción*. <http://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/12/historia-de-la-geotecnia-01.html>
- Rojas, E. (2012). *LA ÚLTIMA PIEZA DEL ROMPECABEZAS: EL COMPORTAMIENTO VOLUMÉTRICO DE LOS SUELOS NO SATURADOS*.

- Rojas, E., & Chávez, O. (2013). Volumetric behavior of unsaturated soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 50(2). <https://doi.org/10.1139/cgj-2012-0341>
- Rojas, E., Pérez-Rea, M. L., López-Lara, T., Hernández, J. B., & Horta, J. (2015). Use of Effective Stresses to Model the Collapse upon Wetting in Unsaturated Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 141(5). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gt.1943-5606.0001251](https://doi.org/10.1061/(asce)gt.1943-5606.0001251)
- Rojas-González, E. (2018). *Un modelo general para suelos no saturados totalmente acoplado*.
- Rojas-González, E. (2022). *Mecánica de Suelos no Saturados*.
- SANDSTORM-GAM. (2015). *INFORME GEOTÉCNICO DE CENTRO COMERCIAL PUERTA DE HIERRO*.
- Service, N. R. C. (1994). Gradation Design of Sand and Gravel. *NEH: Part 633 - Soil Engineering, October 1994*.
- Shao, X., Zhang, H., & Tan, Y. (2018). Collapse behavior and microstructural alteration of remolded loess under graded wetting tests. *Engineering Geology*, 233(November 2017), 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.11.025>
- SIAPA. (2014). *Actualización de los criterios y lineamientos técnicos para factibilidades en la ZMG*.
- SIAPA. (2018). *Nivel Estático y Dinámico de Pozos en la ZMG*.
- Suelo-Estructura. (2017). *Informe Geotécnico para la Cimentación de un Edificio de Cuatro a Cinco Niveles y tres Sótanos*.
- Vargas del Río, D. (2019). *Modelación hidrogeológica y ambiental de una microcuenca en la Zona Metropolitana de Guadalajara*.
- Vargas del Río, D., Zárate del Valle, P. F., & Gutiérrez Pulido, H. (2005). Actividad puzolánica de las tobas pumíticas de la zona metropolitana de Guadalajara. *Revista Electrónica y Tecnológica E-Gnosis*, 3.
- Venegas-Espinoza, L. I. (2017). *Pozos de inyección profunda: recarga artificial de acuíferos con aguas pluviales y disminución de inundaciones en el AMG*. [MAESTRÍA]. INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE.

- VERDIN-MONTES, C. (2018). *MODELACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS MEDIANTE ESFUERZOS EFECTIVOS* [UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO]. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1067>
- Zamudio-Zavala, P., Vargas, D., & Ochoa Gonzalez, G. (2018). *Correspondencia entre propiedades índice vs mecánicas y permeabilidad en arenas limosas.*
- Zeballos, M., Adami, A., Terzariol, R., & Rocca, R. (2013). EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN EN LIMOS LOÉSSICOS COMPACTADOS A TRAVÉS DE ENSAYOS DE FILTRACIÓN. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 13(2). https://www.scipedia.com/public/Zeballos_et_al_2013a

8 ANEXOS

ANEXO A: CURVAS GRANULOMÉTRICAS

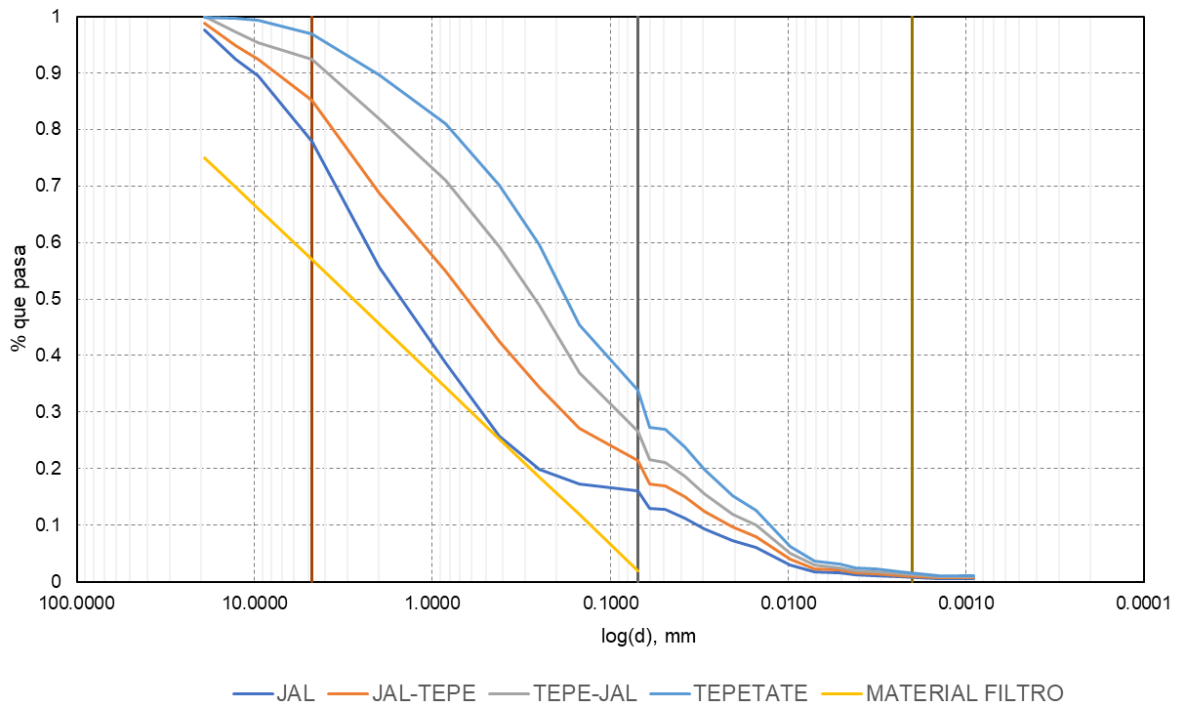
SUELO		JAL		JAL- TEPE		TEPE-JAL		TEPETATE		MATERIAL FILTRO	
MALLA	TAMAÑO (mm)	% Parcial (Retenido)	% QUE PASA	% Parcial (Retenido)	% QUE PASA	% Parcial (Retenido)	% QUE PASA	% Parcial (Retenido)	% QUE PASA	% Parcial (Retenido)	% QUE PASA
3/4"	19.05	2.34%	97.66%	1.17%	98.83%	0.00%	100.00%	0.08%	99.92%	25%	75%
1/2"	12.7	5.16%	92.50%	3.98%	94.85%	2.81%	97.19%	0.26%	99.66%	5%	70%
3/8"	9.525	3.07%	89.43%	2.49%	92.35%	1.91%	95.28%	0.34%	99.32%	4%	66%
#4	4.76	11.58%	77.85%	7.25%	85.10%	2.93%	92.35%	2.36%	96.97%	9%	57%
#10	2.00	22.21%	55.64%	16.34%	68.76%	10.48%	81.88%	7.38%	89.59%	11%	46%
#20	0.84	16.95%	38.69%	13.89%	54.87%	10.83%	71.04%	8.61%	80.98%	11%	34%
#40	0.42	12.88%	25.82%	12.34%	42.52%	11.81%	59.23%	10.82%	70.16%	9%	25%
#60	0.25	6.02%	19.80%	8.17%	34.35%	10.32%	48.91%	10.61%	59.55%	7%	19%
#100	0.15	2.44%	17.35%	7.20%	27.16%	11.95%	36.96%	14.10%	45.45%	7%	12%
#200	0.07	1.26%	16.09%	5.78%	21.38%	10.29%	26.67%	11.53%	33.92%	10%	2%
FINOS	0.06	3.10%	12.99%	4.12%	17.26%	5.14%	21.53%	6.54%	27.37%	2%	0%
H I D R Ó M E T R O	0.0492	0.24%	12.75%	0.31%	16.94%	0.39%	21.13%	0.50%	26.88%	-	-
	0.038	1.44%	11.31%	1.92%	15.03%	2.39%	18.74%	3.04%	23.84%	-	-
	0.0297	1.91%	9.40%	2.54%	12.48%	3.17%	15.57%	4.03%	19.80%	-	-
	0.0206	2.17%	7.23%	2.88%	9.60%	3.60%	11.97%	4.58%	15.23%	-	-
	0.0152	1.21%	6.02%	1.60%	8.00%	2.00%	9.98%	2.54%	12.69%	-	-
	0.0097	3.03%	2.99%	4.03%	3.97%	5.02%	4.95%	6.39%	6.30%	-	-
	0.0071	1.25%	1.74%	1.66%	2.31%	2.07%	2.89%	2.63%	3.67%	-	-
	0.0051	0.23%	1.51%	0.30%	2.01%	0.38%	2.51%	0.48%	3.19%	-	-
	0.0042	0.33%	1.18%	0.44%	1.57%	0.55%	1.96%	0.70%	2.49%	-	-
	0.0032	0.15%	1.03%	0.20%	1.37%	0.25%	1.71%	0.32%	2.17%	-	-
	0.0023	0.21%	0.82%	0.28%	1.09%	0.35%	1.35%	0.45%	1.72%	-	-
	0.0014	0.32%	0.49%	0.43%	0.66%	0.54%	0.82%	0.68%	1.04%	-	-
	0.0011	0.00%	0.49%	0.00%	0.66%	0.00%	0.82%	0.00%	1.04%	-	-
0.0009	0.00%	0.49%	0.00%	0.66%	0.00%	0.82%	0.00%	1.04%	-	-	
0.00001	0.49%	0.00%	0.66%		0.82%		1.04%		-	-	

Tabla 8.1. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO Y PORCENTAJES DE MATERIAL RETENIDO PARA CADA TIPO DE MATERIAL

JAL		JAL- TEPE		TEPE-JAL		TEPETATE		MATERIAL FILTRO	
GRAVA	22.15%	GRAVA	14.90%	GRAVA	7.65%	GRAVA	3.03%	GRAVA	43.07%
ARENA	61.76%	ARENA	63.72%	ARENA	65.68%	ARENA	63.05%	ARENA	54.98%
LIMO	15.27%	LIMO	20.29%	LIMO	25.32%	LIMO	32.19%	LIMO	2.01%
ARCILLA	0.82%	ARCILLA	1.09%	ARCILLA	1.35%	ARCILLA	1.72%	ARCILLA	0.00%
TOTAL	100.00%	TOTAL	100.00%	TOTAL	100.00%	TOTAL	100.00%	TOTAL	100.05%
D60	3.735	D60	1.857	D60	0.760	D60	0.376	D60	4.862
D30	0.771	D30	0.242	D30	0.143	D30	0.064	D30	0.434
D10	0.038	D10	0.029	D10	0.020	D10	0.015	D10	0.074
Cu	98.828	Cu	63.169	Cu	37.158	Cu	25.257	Cu	65.703
Cc	4.211	Cc	1.073	Cc	1.309	Cc	0.733	Cc	0.523
SUCS	SM	SUCS	SM	SUCS	SM	SUCS	SM	SUCS	SM
D15	0.069	D15	0.038	D15	0.030	D15	0.021	D15	0.070
D15F	0.008	D15F	0.004	D15F	0.003	D15F	0.002	D15F	0.008
D15F	0.01	D15F	0.01	D15F	0.01	D15F	0.00	D15F	0.01

Tabla 8.2. CONTENIDO DE GRAVA, ARENA Y FINOS EN LOS SUELOS CON LA CLASIFICACIÓN SUCS

Curva Granulométrica



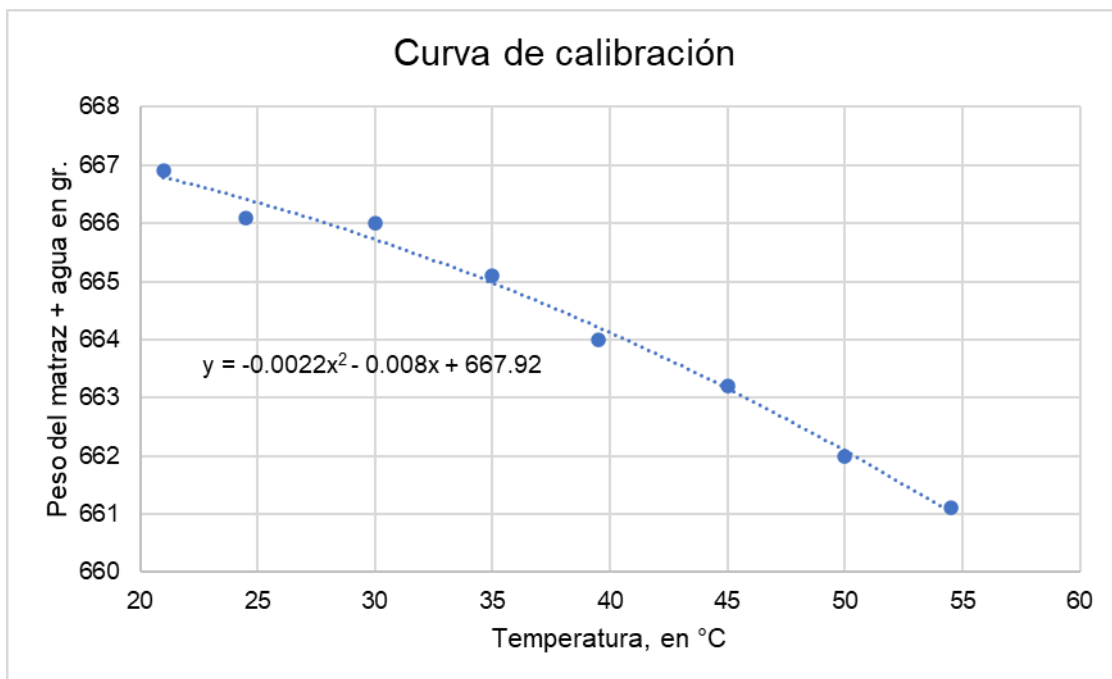
ANEXO B: PERMEABILIDAD DE LOS MATERIALES

Diámetro (cm) =	6.34	6.334	6.35	6.34
H (cm) =	121	-	-	121.00
Jal				
Medida	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Ȳ (cm)
L (cm) =	14	14.26	14	14.09
Vw (ml o cm ³) =	120.00	120.00	120.00	120.00
Tiempo (seg) =	125.00	150.00	115.00	130.00
q (cm ³ /seg) =	0.9600	0.8000	1.0435	0.9231
K (cm/seg) =	0.262710555	0.21493383	0.28555495	2.51E-01
Jal-Tepe				
Medida	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Ȳ (cm)
L (cm) =	12.91	12.72	13.026	12.89
Vw (ml o cm ³) =	60.00	60.00	60.00	60.00
Tiempo (seg) =	135.00	140.00	155.00	143.33
q (cm ³ /seg) =	0.4444	0.4286	0.3871	0.4186
K =	0.131894159	0.12908341	0.11385256	1.24E-01
Tepe-Jal				
Medida	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Ȳ (cm)
L (cm) =	12.91	12.72	13.026	12.89
Vw (ml o cm ³) =	60.00	60.00	60.00	60.00
Tiempo (seg) =	225.00	255.00	230.00	236.67
q (cm ³ /seg) =	0.2667	0.2353	0.2609	0.2535
K =	0.079136495	0.07086932	0.07672673	7.54E-02
Tepetate				
Medida	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Ȳ (cm)
L (cm) =	12.91	12.72	13.026	12.89
Vw (ml o cm ³) =	60.00	60.00	60.00	60.00
Tiempo (seg) =	3630.00	3630.00	3630.00	3630.00
q (cm ³ /seg) =	0.0165	0.0165	0.0165	0.0165
K =	0.004905155	0.00497842	0.00486147	4.91E-03

Tabla 8.3. RESULTADOS PRUEBA DE PERMEABILIDAD

ANEXO C: DENSIDAD DE SÓLIDOS

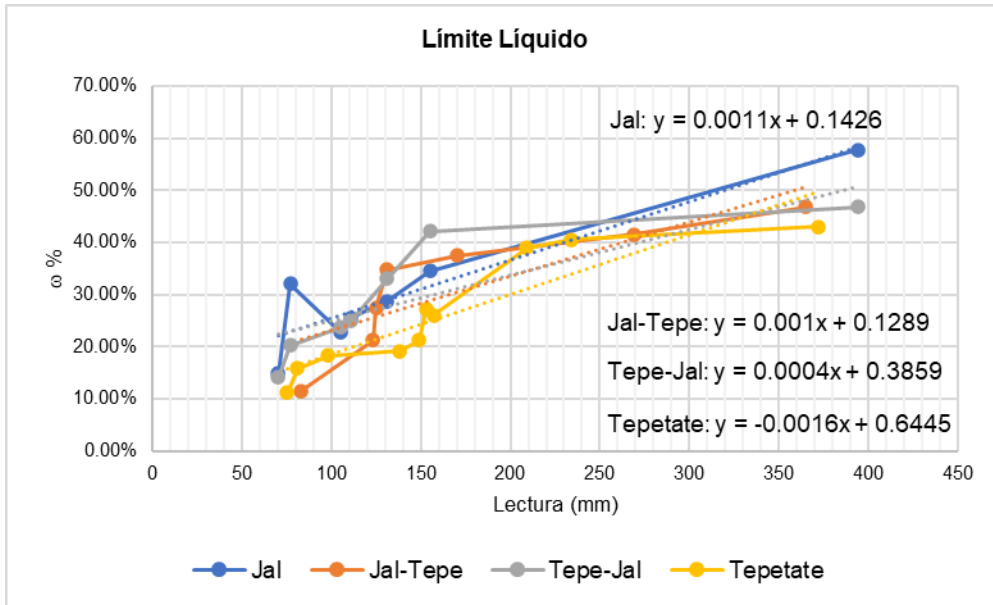
A. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	
PESO MATRAZ + AGUA, W_2 , EN g	666.88
TEMPERATURA, T, EN °C	20
B. PROCEDIMIENTO TEORICO	
PESO MATRAZ, W_B , EN g	149.4
TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN, T_C , EN °C	20
VOL. MATRAZ A LA T_C , V_B , EN cm^3	500.00
EXPANSIÓN CUBICA PARA EL VIDRIO EN 1/°C, ϵ	1.00E-05
PESO ESPECIFICO DEL AIRE, γ , EN g/cm^3	0.0012
$W_2 = W_B + V_B (1 + \Delta T \epsilon)(\gamma_T - \gamma_a)$	



	JAL 1			JAL 2			JAL 3		
TEMPERATURA , T _C	49	40	37	53	45	35	55	46	37
PESO ESPECIFICO DEL AGUA A LA TEMPERATURA T, g _T , EN g/cm ³	0.9885	0.9922	0.9934	0.9867	0.9902	0.9941	0.9857	0.9898	0.9934
PESO MATRAZ + AGUA AT, W ₂ , EN g	666.40	666.36	666.34	666.42	666.38	666.33	666.43	666.39	666.34
PESO DEL MATRAZ + AGUA + SUELO, W ₁ , EN g	692	692.3	693.9	691	693.2	694.5	690.2	692.7	694.2
PESO SUELO EN g	51.4	51.4	51.4	52.2	52.2	52.2	51.8	51.8	51.8
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGUA AT, T, G _T	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL SUELO, G _S	1.97	2.00	2.14	1.86	2.04	2.16	1.82	2.01	2.15
	JAL-TEPE 1			JAL-TEPE 2			JAL-TEPE 3		
TEMPERATURA , T _C	54	50	40	56	49	38	51	41	34
PESO ESPECIFICO DEL AGUA A LA TEMPERATURA T, g _T , EN g/cm ³	0.9862	0.9881	0.9922	0.9852	0.9885	0.993	0.9876	0.9919	0.9944
PESO MATRAZ + AGUA AT, W ₂ , EN g	666.43	666.41	666.36	666.44	666.40	666.35	666.41	666.36	666.33
PESO DEL MATRAZ + AGUA + SUELO, W ₁ , EN g	693	693.8	696.1	692.1	694.3	696.4	690.1	692.3	694.4
PESO SUELO EN g	55.1	55.1	55.1	55.4	55.4	55.4	50.2	50.2	50.2
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGUA AT, T, G _T	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL SUELO, G _S	1.90	1.97	2.16	1.84	1.99	2.17	1.87	2.05	2.26
	TEPE-JAL 1			TEPE-JAL 2			TEPE-JAL 3		
TEMPERATURA , T _C	53	41	31	52	41	32	57	50	40
PESO ESPECIFICO DEL AGUA A LA TEMPERATURA T, g _T , EN g/cm ³	0.9867	0.9919	0.9954	0.9872	0.9919	0.9951	0.9848	0.9881	0.9922
PESO MATRAZ + AGUA AT, W ₂ , EN g	666.42	666.36	666.31	666.42	666.36	666.32	666.44	666.41	666.36
PESO DEL MATRAZ + AGUA + SUELO, W ₁ , EN g	693.2	696	697.8	693.1	695.5	696.8	689.9	692.6	694.8
PESO SUELO EN g	55.9	55.9	55.9	54.6	54.6	54.6	51.9	51.9	51.9
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGUA AT, T, G _T	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00	0.98	0.99	0.99
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL SUELO, G _S	1.89	2.11	2.28	1.93	2.13	2.25	1.80	1.99	2.20
	TEPETATE 1			TEPETATE 2			TEPETATE 3		
TEMPERATURA , T _C	53	47	38	51	43	33	50	44	36
PESO ESPECIFICO DEL AGUA A LA TEMPERATURA T, g _T , EN g/cm ³	0.9867	0.9894	0.993	0.9876	0.9911	0.9947	0.9881	0.9907	0.9937
PESO MATRAZ + AGUA AT, W ₂ , EN g	666.42	666.39	666.35	666.41	666.37	666.32	666.41	666.38	666.34
PESO DEL MATRAZ + AGUA + SUELO, W ₁ , EN g	691.5	694	695.5	690.6	692.3	694	692.9	694.8	696.2
PESO SUELO EN g	53.9	53.9	53.9	51.9	51.9	51.9	55.1	55.1	55.1
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGUA AT, T, G _T	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
GRAVEDAD ESPECIFICA DEL SUELO, G _S	1.85	2.03	2.16	1.85	1.98	2.13	1.90	2.05	2.17

ANEXO D: LÍMITE LÍQUIDO

Determinación del Límite Líquido					
N° Flanera	W_{FL+SW} (gr)	W_{FL+Ss} (gr)	W_W (gr)	$\omega\%$	Lectura (mm)
Jal					
FL-1	141.90	138.70	3.20	14.81%	70
FL-2	170.00	161.90	8.10	32.02%	77
FL-4	165.20	158.00	7.20	22.86%	105
FL-5	161.90	153.90	8.00	25.56%	111
FL-6	208.40	190.40	18.00	28.71%	131
FL-7	282.80	242.30	40.50	34.53%	155
FL-8	252.60	205.50	47.10	57.79%	394
Jal-Tepe					
FL-1	154.70	150.80	3.90	11.57%	83
FL-2	168.50	162.90	5.60	21.29%	123
FL-4	235.80	212.20	23.60	27.54%	125
FL-5	277.00	237.20	39.80	34.73%	131
FL-6	261.50	225.00	36.50	37.51%	170
FL-7	165.60	153.70	11.90	41.46%	269
FL-8	246.70	207.60	39.10	46.77%	365
Tepe-Jal					
FL-1	157.60	152.60	5.00	14.08%	70
FL-2	187.00	178.50	8.50	20.29%	77
FL-4	224.00	205.30	18.70	23.73%	105
FL-5	216.30	197.50	18.80	25.10%	111
FL-6	275.70	238.90	36.80	33.09%	131
FL-7	254.20	215.90	38.30	42.13%	155
FL-8	246.70	207.60	39.10	46.77%	394
Tepetate					
FL-1	184.80	178.00	6.80	11.17%	75
FL-2	206.90	197.30	9.60	15.82%	81
FL-4	217.30	203.30	14.00	18.23%	98
FL-5	224.00	207.70	16.30	19.15%	138
FL-6	220.30	204.10	16.20	21.20%	149
FL-7	222.30	201.50	20.80	27.19%	153
FL-8	224.60	203.80	20.80	26.07%	157
FL-9	203.30	179.20	24.10	38.93%	209
FL-10	238.70	203.70	35.00	40.56%	234
FL-11	204.40	177.70	26.70	43.00%	372



ANEXO E: COLAPSO POR SATURACIÓN

ANEXO E.1: SERIE 1, JAL

Muestra prueba : Jal 30 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
e =	1.04	1 seg.	0	1	0.000	19.430	0	1.04190	0.0000%
Prof. (m) =	30	5 seg.	1	5	0.010	19.420	0.00112413	1.04077	0.0515%
γ_d (kg/m ³) =	1055.64	10 seg.	1.5	10	0.015	19.415	0.00056206	1.04021	0.0772%
Anillo 1		15 seg.	3	15	0.030	19.400	0.00168619	1.03852	0.1544%
ϕ (cm) =	7.493	30 seg.	7	30	0.070	19.360	0.00449651	1.03403	0.3603%
H (cm)	1.943	45 seg.	9.5	45	0.095	19.335	0.00281032	1.03122	0.4889%
A (cm ²) =	44.10	60 seg.	12	60	0.120	19.310	0.00281032	1.02841	0.6176%
V (cm ³) =	85.68	2 min.	16	120	0.160	19.270	0.00449651	1.02391	0.8235%
Muestra		4 min.	17.5	240	0.175	19.255	0.00168619	1.02222	0.9007%
Ws ₃₀ (gr) =	90.45	8 min.	18.7	480	0.187	19.243	0.00134895	1.02088	0.9624%
σ (kg/m ²) =	48135	16 min.	20	960	0.200	19.230	0.00146137	1.01941	1.0293%
F (kg) =	212.26	32 min.	20.5	1920	0.205	19.225	0.00056206	1.01885	1.0551%
BP =	11	45 min.	20.9	2700	0.209	19.221	0.00044965	1.01840	1.0757%
Carga		1 hr.	21	3600	0.210	19.220	0.00011241	1.01829	1.0808%
F _f (kg) =	19.30	2 hr.	21.5	7200	0.215	19.215	0.00056206	1.01773	1.1065%
H _s (cm) =	0.89	3 hr.	22	10800	0.220	19.210	0.00056206	1.01717	1.1323%
		4 hr.	22.5	14400	0.225	19.205	0.00056206	1.01660	1.1580%
		5 hr.	22.9	18000	0.229	19.201	0.00044965	1.01615	1.1786%
		6 hr.	23	21600	0.230	19.200	0.00011241	1.01604	1.1837%
		7 hr.	23	25200	0.230	19.200	0	1.01604	1.1837%
		8 hr.	23	28800	0.230	19.200	0	1.01604	1.1837%
		12 hr.	23.5	43200	0.235	19.195	0.00056206	1.01548	1.2095%
		20 hr.	24	72000	0.240	19.190	0.00056206	1.01492	1.2352%
		24 hr.	24.5	86400	0.245	19.185	0.00056206	1.01436	1.2609%
		28 hr.	24.9	100800	0.249	19.181	0.00044965	1.01391	1.2815%
		48 hr.	25.5	172800	0.255	19.175	0.00067448	1.01323	1.3124%
		60 hr.	26	216000	0.260	19.170	0.00056206	1.01267	1.3381%
		72 hr.	26	259200	0.260	19.170	0	1.01267	1.3381%
		96 hr.	27	345600	0.27	19.160	0.00112413	1.01154	1.3896%
		108 hr.	27.1	388800	0.271	19.159	0.00011241	1.01143	1.3948%
		120 hr.	27.5	432000	0.275	19.155	0.00044965	1.01098	1.4153%
		132 hr.	27.5	475200	0.275	19.155	0	1.01098	1.4153%
		144 hr.	27.9	518400	0.279	19.151	0.00044965	1.01053	1.4359%
		156 hr.	28	561600	0.28	19.150	0.00011241	1.01042	1.4411%
		168 hr.	28	604800	0.28	19.150	0	1.01042	1.4411%

Muestra prueba : Jal 50 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ϵ
$e =$	1.04	1 seg.	0	1	0.000	20.100	0	1.04190	0.0000%
Prof. (m) =	50	5 seg.	0.5	5	0.005	20.095	0.00056206	1.04133	0.0249%
γ_d (kg/m ³) =	1055.64	10 seg.	0.5	10	0.005	20.095	0	1.04133	0.0249%
Anillo 2		15 seg.	1	15	0.010	20.090	0.00056206	1.04077	0.0498%
ϕ (cm) =	7.5	30 seg.	2	30	0.020	20.080	0.00112413	1.03965	0.0995%
H (cm) =	2.01	45 seg.	3	45	0.030	20.070	0.00112413	1.03852	0.1493%
A (cm ²) =	44.18	60 seg.	5.5	60	0.055	20.045	0.00281032	1.03571	0.2736%
V (cm ³) =	88.80	2 min.	7	120	0.070	20.030	0.00168619	1.03403	0.3483%
Muestra		4 min.	8.2	240	0.082	20.018	0.00134895	1.03268	0.4080%
Ws ₅₀ (gr) =	93.74	8 min.	10	480	0.100	20.000	0.00202343	1.03066	0.4975%
σ (kg/m ²) =	80225	16 min.	11	960	0.110	19.990	0.00112413	1.02953	0.5473%
F (kg) =	354.42	32 min.	11.5	1920	0.115	19.985	0.00056206	1.02897	0.5721%
BP =	11	45 min.	12	2700	0.120	19.980	0.00056206	1.02841	0.5970%
Carga		1 hr.	13	3600	0.130	19.970	0.00112413	1.02728	0.6468%
F _f (kg) =	32.22	2 hr.	13.5	7200	0.135	19.965	0.00056206	1.02672	0.6716%
H _s (cm) =	0.92	3 hr.	14	10800	0.140	19.960	0.00056206	1.02616	0.6965%
		4 hr.	14.8	14400	0.148	19.952	0.0008993	1.02526	0.7363%
		5 hr.	15	18000	0.150	19.950	0.00022483	1.02503	0.7463%
		6 hr.	15.1	21600	0.151	19.949	0.00011241	1.02492	0.7512%
		7 hr.	15.9	25200	0.159	19.941	0.0008993	1.02402	0.7910%
		8 hr.	16	28800	0.160	19.940	0.00011241	1.02391	0.7960%
		12 hr.	18	43200	0.180	19.920	0.00224826	1.02166	0.8955%
		20 hr.	18.5	72000	0.185	19.915	0.00056206	1.02110	0.9204%
		24 hr.	18.5	86400	0.185	19.915	0	1.02110	0.9204%
		28 hr.	19.1	100800	0.191	19.909	0.00067448	1.02043	0.9502%
		48 hr.	21	172800	0.210	19.890	0.00213584	1.01829	1.0448%
		60 hr.	22	216000	0.220	19.880	0.00112413	1.01717	1.0945%
		72 hr.	23	259200	0.230	19.870	0.00112413	1.01604	1.1443%
		96 hr.	24.9	345600	0.249	19.851	0.00213584	1.01391	1.2388%
		108 hr.	25	388800	0.25	19.850	0.00011241	1.01379	1.2438%
		120 hr.	25.5	432000	0.255	19.845	0.00056206	1.01323	1.2687%
		132 hr.	26	475200	0.26	19.840	0.00056206	1.01267	1.2935%
		144 hr.	26.5	518400	0.265	19.835	0.00056206	1.01211	1.3184%
		156 hr.	27	561600	0.27	19.830	0.00056206	1.01154	1.3433%
		168 hr.	27.5	604800	0.275	19.825	0.00056206	1.01098	1.3682%
		180 hr.	30.5	648000	0.305	19.795	0.00337238	1.00761	1.5174%

Muestra prueba : Jal 70 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	1.04	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
Prof. (m) =	70	5 seg.	0.5	5	0.005	19.995	0.00056206	1.04133	0.0250%
γ_d (kg/m ³) =	1055.64	10 seg.	1	10	0.010	19.990	0.00056206	1.04077	0.0500%
Anillo 3		15 seg.	3	15	0.030	19.970	0.00224826	1.03852	0.1500%
ϕ (cm) =	7.694	30 seg.	5	30	0.050	19.950	0.00224826	1.03628	0.2500%
H (cm)	2	45 seg.	6	45	0.060	19.940	0.00112413	1.03515	0.3000%
A (cm ²) =	46.49	60 seg.	7	60	0.070	19.930	0.00112413	1.03403	0.3500%
V (cm ³) =	92.99	2 min.	8	120	0.080	19.920	0.00112413	1.03290	0.4000%
Muestra		4 min.	9	240	0.090	19.910	0.00112413	1.03178	0.4500%
Ws ₁₀₀ (gr) =	98.16	8 min.	10	480	0.100	19.900	0.00112413	1.03066	0.5000%
σ (kg/m ²) =	112315	16 min.	11.5	960	0.115	19.885	0.00168619	1.02897	0.5750%
F (kg) =	522.19	32 min.	12.5	1920	0.125	19.875	0.00112413	1.02784	0.6250%
BP =	11	45 min.	13	2700	0.130	19.870	0.00056206	1.02728	0.6500%
Carga		1 hr.	13.5	3600	0.135	19.865	0.00056206	1.02672	0.6750%
F _t (kg) =	47.47	2 hr.	14.9	7200	0.149	19.851	0.00157378	1.02515	0.7450%
H _s (cm) =	0.92	4 hr.	18	14400	0.180	19.820	0.0034848	1.02166	0.9000%
		8 hr.	18	28800	0.180	19.820	0	1.02166	0.9000%
		12 hr.	19	43200	0.190	19.810	0.00112413	1.02054	0.9500%
		24 hr.	21.5	86400	0.215	19.785	0.00281032	1.01773	1.0750%
		36 hr.	23	129600	0.230	19.770	0.00168619	1.01604	1.1500%
		48 hr.	25	172800	0.250	19.750	0.00224826	1.01379	1.2500%
		72 hr.	27	259200	0.270	19.730	0.00224826	1.01154	1.3500%
		96 hr.	27	345600	0.270	19.730	0	1.01154	1.3500%
		120 hr.	27	432000	0.270	19.730	0	1.01154	1.3500%
		144 hr.	27	518400	0.270	19.730	0	1.01154	1.3500%
		168 hr.	27	604800	0.270	19.730	0	1.01154	1.3500%
		192 hr.	27	691200	0.270	19.730	0	1.01154	1.3500%
		216 hr.	27	777600	0.270	19.730	0	1.01154	1.3500%
		240 hr.	27	864000	0.27	19.730	0	1.01154	1.3500%
		264 hr.	27	950400	0.27	19.730	0	1.01154	1.3500%
		288 hr.	27	1036800	0.27	19.730	0	1.01154	1.3500%
		312 hr.	27	1123200	0.27	19.730	0	1.01154	1.3500%
		336 hr.	27	1209600	0.27	19.730	0	1.01154	1.3500%
		360 hr.	27	1296000	0.27	19.730	0	1.01154	1.3500%
		384 hr.	27	1382400	0.27	19.730	0	1.01154	1.3500%

Muestra prueba : Jal 100 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ϵ
$e =$	1.04	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
Prof. (m) =	100	5 seg.	0	5	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1055.64	10 seg.	0	10	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
Anillo 3		15 seg.	0	15	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
ϕ (cm) =	7.696	30 seg.	0	30	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
H (cm)	2	45 seg.	0	45	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
A (cm ²) =	46.52	60 seg.	0	60	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
V (cm ³) =	93.04	2 min.	0	120	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
Muestra		4 min.	0	240	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
W _{S100} (gr) =	98.21	8 min.	1.1	480	0.011	19.989	0.00123654	1.04066	0.0550%
σ (kg/m ²) =	160450	16 min.	1.5	960	0.015	19.985	0.00044965	1.04021	0.0750%
F (kg) =	746.38	32 min.	2.5	1920	0.025	19.975	0.00112413	1.03909	0.1250%
BP =	11	45 min.	2.9	2700	0.029	19.971	0.00044965	1.03864	0.1450%
Carga		1 hr.	3.1	3600	0.031	19.969	0.00022483	1.03841	0.1550%
F _f (kg) =	67.85	2 hr.	4	7200	0.040	19.960	0.00101171	1.03740	0.2000%
H _s (cm) =	0.92	3 hr.	5.5	10800	0.055	19.945	0.00168619	1.03571	0.2750%
		4 hr.	5.9	14400	0.059	19.941	0.00044965	1.03526	0.2950%
		5 hr.	6	18000	0.060	19.940	0.00011241	1.03515	0.3000%
		6 hr.	6.5	21600	0.065	19.935	0.00056206	1.03459	0.3250%
		7 hr.	6.7	25200	0.067	19.933	0.00022483	1.03436	0.3350%
		8 hr.	7	28800	0.070	19.930	0.00033724	1.03403	0.3500%
		12 hr.	7.5	43200	0.075	19.925	0.00056206	1.03347	0.3750%
		20 hr.	8.5	72000	0.085	19.915	0.00112413	1.03234	0.4250%
		24 hr.	8.5	86400	0.085	19.915	0	1.03234	0.4250%
		28 hr.	9	100800	0.090	19.910	0.00056206	1.03178	0.4500%
		48 hr.	10	172800	0.100	19.900	0.00112413	1.03066	0.5000%
		60 hr.	10.5	216000	0.105	19.895	0.00056206	1.03009	0.5250%
		72 hr.	11	259200	0.110	19.890	0.00056206	1.02953	0.5500%
		96 hr.	11	345600	0.11	19.890	0	1.02953	0.5500%
		108 hr.	11.5	388800	0.115	19.885	0.00056206	1.02897	0.5750%
		120 hr.	11.5	432000	0.115	19.885	0	1.02897	0.5750%
		132 hr.	12	475200	0.12	19.880	0.00056206	1.02841	0.6000%
		144 hr.	12	518400	0.12	19.880	0	1.02841	0.6000%
		156 hr.	12	561600	0.12	19.880	0	1.02841	0.6000%

ANEXO E.2: SERIE 2, JAL

Muestra prueba : Jal 30 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	1.04	1 seg.	0	1	0.000	19.430	0	1.04190	0.0000%
Prof. (m) =	30	5 seg.	0	5	0.000	19.430	0	1.04190	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1055.64	10 seg.	0	10	0.000	19.430	0	1.04190	0.0000%
Anillo 1		15 seg.	0	15	0.000	19.430	0	1.04190	0.0000%
ϕ (cm) =	7.493	30 seg.	1.1	30	0.011	19.419	0.00123654	1.04066	0.0566%
H (cm)	1.943	45 seg.	3	45	0.030	19.400	0.00213584	1.03852	0.1544%
A (cm ²) =	44.10	60 seg.	4.5	60	0.045	19.385	0.00168619	1.03684	0.2316%
V (cm ³) =	85.68	2 min.	8.5	120	0.085	19.345	0.00449651	1.03234	0.4375%
Muestra		4 min.	10	240	0.100	19.330	0.00168619	1.03066	0.5147%
Ws ₃₀ (gr) =	90.45	8 min.	11.1	480	0.111	19.319	0.00123654	1.02942	0.5713%
σ (kg/m ²) =	48135	16 min.	12.5	960	0.125	19.305	0.00157378	1.02784	0.6433%
F (kg) =	212.26	32 min.	13.5	1920	0.135	19.295	0.00112413	1.02672	0.6948%
BP =	11	45 min.	14	2700	0.140	19.290	0.00056206	1.02616	0.7205%
Carga		1 hr.	14	3600	0.140	19.290	0	1.02616	0.7205%
F _f (kg) =	19.30	2 hr.	14.9	7200	0.149	19.281	0.00101171	1.02515	0.7669%
H _s (cm) =	0.89	4 hr.	15.5	14400	0.155	19.275	0.00067448	1.02447	0.7977%
		8 hr.	16	28800	0.160	19.270	0.00056206	1.02391	0.8235%
		12 hr.	16.5	43200	0.165	19.265	0.00056206	1.02335	0.8492%
		24 hr.	17.9	86400	0.179	19.251	0.00157378	1.02177	0.9213%
		36 hr.	18.5	129600	0.185	19.245	0.00067448	1.02110	0.9521%
		48 hr.	19	172800	0.190	19.240	0.00056206	1.02054	0.9779%
		72 hr.	19.5	259200	0.195	19.235	0.00056206	1.01998	1.0036%
		96 hr.	21	345600	0.210	19.220	0.00168619	1.01829	1.0808%
		120 hr.	23	432000	0.230	19.200	0.00224826	1.01604	1.1837%
		144 hr.	23	518400	0.230	19.200	0	1.01604	1.1837%
		168 hr.	23	604800	0.230	19.200	0	1.01604	1.1837%
		192 hr.	23	691200	0.230	19.200	0	1.01604	1.1837%
		216 hr.	23	777600	0.230	19.200	0	1.01604	1.1837%
		240 hr.	23	864000	0.23	19.200	0	1.01604	1.1837%
		264 hr.	23	950400	0.23	19.200	0	1.01604	1.1837%
		288 hr.	23	1036800	0.23	19.200	0	1.01604	1.1837%
		312 hr.	23	1123200	0.23	19.200	0	1.01604	1.1837%
		336 hr.	23	1209600	0.23	19.200	0	1.01604	1.1837%
		360 hr.	23	1296000	0.23	19.200	0	1.01604	1.1837%
		384 hr.	23	1382400	0.23	19.200	0	1.01604	1.1837%

Muestra prueba : Jal 50 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (in)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$
$e =$	1.04	1 seg.	0	1	0	0.000	20.100	0	1.04190
Prof. (m) =	50	5 seg.	0.1	5	0.0001	0.003	20.097	0.00028553	1.04161
γ_d (kg/m ³) =	1055.64	10 seg.	1	10	0.001	0.025	20.075	0.00256976	1.03904
Anillo 2		15 seg.	2	15	0.002	0.051	20.049	0.00285528	1.03619
ϕ (cm) =	7.5	30 seg.	3	30	0.003	0.076	20.024	0.00285528	1.03333
H (cm)	2.01	45 seg.	4	45	0.004	0.102	19.998	0.00285528	1.03048
A (cm ²) =	44.18	60 seg.	4.5	60	0.0045	0.114	19.986	0.00142764	1.02905
V (cm ³) =	88.80	2 min.	5	120	0.005	0.127	19.973	0.00142764	1.02762
Muestra		4 min.	5	240	0.005	0.127	19.973	0	1.02762
W _{S50} (gr) =	93.74	8 min.	5	480	0.005	0.127	19.973	0	1.02762
σ (kg/m ²) =	80225	16 min.	5.1	960	0.0051	0.130	19.970	0.00028553	1.02733
F (kg) =	354.42	32 min.	5.5	1920	0.0055	0.140	19.960	0.00114211	1.02619
BP =	11	45 min.	5.8	2700	0.0058	0.147	19.953	0.00085659	1.02534
Carga		1 hr.	5.9	3600	0.0059	0.150	19.950	0.00028553	1.02505
F _t (kg) =	32.22	2 hr.	5.9	7200	0.0059	0.150	19.950	0	1.02505
H _s (cm) =	0.92	4 hr.	6	14400	0.006	0.152	19.948	0.00028553	1.02476
		8 hr.	6	28800	0.006	0.152	19.948	0	1.02476
		12 hr.	6	43200	0.006	0.152	19.948	0	1.02476
		24 hr.	6.5	86400	0.0065	0.165	19.935	0.00142764	1.02334
		36 hr.	6.5	129600	0.0065	0.165	19.935	0	1.02334
		48 hr.	6.9	172800	0.0069	0.175	19.925	0.00114211	1.02219
		72 hr.	6.9	259200	0.0069	0.175	19.925	0	1.02219
		96 hr.	7.1	345600	0.0071	0.180	19.920	0.00057106	1.02162
		120 hr.	7.5	432000	0.0075	0.191	19.910	0.00114211	1.02048
		144 hr.	7.5	518400	0.0075	0.191	19.910	0	1.02048
		168 hr.	7.5	604800	0.0075	0.191	19.910	0	1.02048
		192 hr.	7.5	691200	0.0075	0.191	19.910	0	1.02048
		216 hr.	7.5	777600	0.0075	0.191	19.910	0	1.02048
		240 hr.	7.5	864000	0.0075	0.191	19.910	0	1.02048
		264 hr.	7.5	950400	0.0075	0.191	19.910	0	1.02048
		288 hr.	7.5	1036800	0.0075	0.191	19.910	0	1.02048
		312 hr.	7.5	1123200	0.0075	0.191	19.910	0	1.02048
		336 hr.	7.5	1209600	0.0075	0.191	19.910	0	1.02048
		360 hr.	7.5	1296000	0.0075	0.191	19.910	0	1.02048
		384 hr.	7.5	1382400	0.0075	0.191	19.910	0	1.02048

Muestra prueba : Jal 70 metros de profundidad

Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	1.04	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
Prof. (m) =	70	5 seg.	0.5	5	0.005	19.995	0.00056206	1.04133	0.0250%
γ_d (kg/m ³) =	1055.64	10 seg.	1	10	0.010	19.990	0.00056206	1.04077	0.0500%
Anillo 3		15 seg.	3	15	0.030	19.970	0.00224826	1.03852	0.1500%
ϕ (cm) =	7.694	30 seg.	5	30	0.050	19.950	0.00224826	1.03628	0.2500%
H (cm)	2	45 seg.	6	45	0.060	19.940	0.00112413	1.03515	0.3000%
A (cm ²) =	46.49	60 seg.	7	60	0.070	19.930	0.00112413	1.03403	0.3500%
V (cm ³) =	92.99	2 min.	8	120	0.080	19.920	0.00112413	1.03290	0.4000%
Muestra		4 min.	9	240	0.090	19.910	0.00112413	1.03178	0.4500%
Ws ₇₀ (gr) =	98.16	8 min.	10	480	0.100	19.900	0.00112413	1.03066	0.5000%
σ (kg/m ²) =	112315	16 min.	11.5	960	0.115	19.885	0.00168619	1.02897	0.5750%
F (kg) =	522.19	32 min.	12.5	1920	0.125	19.875	0.00112413	1.02784	0.6250%
BP =	11	45 min.	13	2700	0.130	19.870	0.00056206	1.02728	0.6500%
Carga		1 hr.	13.5	3600	0.135	19.865	0.00056206	1.02672	0.6750%
F _t (kg) =	47.47	2 hr.	14.9	7200	0.149	19.851	0.00157378	1.02515	0.7450%
H _s (cm) =	0.92	4 hr.	18	14400	0.180	19.820	0.0034848	1.02166	0.9000%
		8 hr.	18	28800	0.180	19.820	0	1.02166	0.9000%
		12 hr.	19	43200	0.190	19.810	0.00112413	1.02054	0.9500%
		24 hr.	21.5	86400	0.215	19.785	0.00281032	1.01773	1.0750%
		36 hr.	23	129600	0.230	19.770	0.00168619	1.01604	1.1500%
		48 hr.	25	172800	0.250	19.750	0.00224826	1.01379	1.2500%
		72 hr.	27	259200	0.270	19.730	0.00224826	1.01154	1.3500%
		96 hr.	31	345600	0.310	19.690	0.00449651	1.00705	1.5500%
		120 hr.	32	432000	0.320	19.680	0.00112413	1.00592	1.6000%
		144 hr.	32	518400	0.320	19.680	0	1.00592	1.6000%
		168 hr.	32	604800	0.320	19.680	0	1.00592	1.6000%
		192 hr.	32	691200	0.320	19.680	0	1.00592	1.6000%
		216 hr.	32	777600	0.320	19.680	0	1.00592	1.6000%
		240 hr.	32	864000	0.32	19.680	0	1.00592	1.6000%
		264 hr.	32	950400	0.32	19.680	0	1.00592	1.6000%
		288 hr.	32	1036800	0.32	19.680	0	1.00592	1.6000%
		312 hr.	32	1123200	0.32	19.680	0	1.00592	1.6000%
		336 hr.	32	1209600	0.32	19.680	0	1.00592	1.6000%
		360 hr.	32	1296000	0.32	19.680	0	1.00592	1.6000%
		384 hr.	32	1382400	0.32	19.680	0	1.00592	1.6000%

Muestra prueba : Jal 100 metros de profundidad										
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (in)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ϵ
$e =$	1.04	1 seg.	0	1	0	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
Prof. (m) =	100	5 seg.	0	5	0	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1055.64	10 seg.	0	10	0	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
Anillo 4		15 seg.	0	15	0	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
ϕ (cm) =	7.696	30 seg.	0	30	0	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
H (cm)	2	45 seg.	0	45	0	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
A (cm ²) =	46.52	60 seg.	0	60	0	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
V (cm ³) =	93.04	2 min.	0	120	0	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
Muestra		4 min.	0	240	0	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
W _{S100} (gr) =	98.21	8 min.	0	480	0	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
σ (kg/m ²) =	160450	16 min.	0	960	0	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
F (kg) =	746.38	32 min.	0.5	1920	0.0005	0.013	19.987	0.00142764	1.04047	0.0635%
BP =	11	45 min.	1	2700	0.001	0.025	19.975	0.00142764	1.03904	0.1270%
Carga		1 hr.	1	3600	0.001	0.025	19.975	0	1.03904	0.1270%
F _t (kg) =	67.85	2 hr.	1.1	7200	0.0011	0.028	19.972	0.00028553	1.03876	0.1397%
H _s (cm) =	0.92	4 hr.	1.9	14400	0.0019	0.048	19.952	0.00228423	1.03647	0.2413%
		8 hr.	2	28800	0.002	0.051	19.949	0.00028553	1.03619	0.2540%
		12 hr.	2.5	43200	0.0025	0.064	19.937	0.00142764	1.03476	0.3175%
		24 hr.	3	86400	0.003	0.076	19.924	0.00142764	1.03333	0.3810%
		36 hr.	3.9	129600	0.0039	0.099	19.901	0.00256976	1.03076	0.4953%
		48 hr.	4	172800	0.004	0.102	19.898	0.00028553	1.03048	0.5080%
		72 hr.	4.1	259200	0.0041	0.104	19.896	0.00028553	1.03019	0.5207%
		96 hr.	4.2	345600	0.0042	0.107	19.893	0.00028553	1.02990	0.5334%
		120 hr.	4.5	432000	0.0045	0.114	19.886	0.00085659	1.02905	0.5715%
		144 hr.	4.5	518400	0.0045	0.114	19.886	0	1.02905	0.5715%
		168 hr.	4.5	604800	0.0045	0.114	19.886	0	1.02905	0.5715%
		192 hr.	4.5	691200	0.0045	0.114	19.886	0	1.02905	0.5715%
		216 hr.	4.5	777600	0.0045	0.114	19.886	0	1.02905	0.5715%
		240 hr.	4.5	864000	0.0045	0.114	19.886	0	1.02905	0.5715%
		264 hr.	4.5	950400	0.0045	0.114	19.886	0	1.02905	0.5715%
		288 hr.	4.5	1036800	0.0045	0.114	19.886	0	1.02905	0.5715%
		312 hr.	4.5	1123200	0.0045	0.114	19.886	0	1.02905	0.5715%
		336 hr.	4.5	1209600	0.0045	0.114	19.886	0	1.02905	0.5715%
		360 hr.	4.5	1296000	0.0045	0.114	19.886	0	1.02905	0.5715%
		384 hr.	4.5	1382400	0.0045	0.114	19.886	0	1.02905	0.5715%

ANEXO E.3: SERIE 3, JAL

Muestra prueba : Jal 30 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	1.04	1 seg.	0	1	0.000	19.430	0	1.04190	0.0000%
Prof. (m) =	30	5 seg.	0	5	0.000	19.430	0	1.04190	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1055.64	10 seg.	0.3	10	0.003	19.427	0.00033724	1.04156	0.0154%
Anillo 1		15 seg.	2	15	0.020	19.410	0.00191102	1.03965	0.1029%
ϕ (cm) =	7.493	30 seg.	7.5	30	0.075	19.355	0.0061827	1.03347	0.3860%
H (cm)	1.943	45 seg.	11	45	0.110	19.320	0.00393445	1.02953	0.5661%
A (cm ²) =	44.10	60 seg.	13.5	60	0.135	19.295	0.00281032	1.02672	0.6948%
V (cm ³) =	85.68	2 min.	20.5	120	0.205	19.225	0.00786889	1.01885	1.0551%
Muestra		4 min.	24	240	0.240	19.190	0.00393445	1.01492	1.2352%
Ws ₃₀ (gr) =	90.45	8 min.	26	480	0.260	19.170	0.00224826	1.01267	1.3381%
σ (kg/m ²) =	48135	15 min.	27.5	900	0.275	19.155	0.00168619	1.01098	1.4153%
F (kg) =	212.26	30 min.	29	1800	0.290	19.140	0.00168619	1.00930	1.4925%
BP =	11	45 min.	29.3	2700	0.293	19.137	0.00033724	1.00896	1.5080%
Carga		1 hr.	30	3600	0.300	19.130	0.00078689	1.00817	1.5440%
F _f (kg) =	19.30	2 hr.	31	7200	0.310	19.120	0.00112413	1.00705	1.5955%
H _s (cm) =	0.89	4 hr.	32	14400	0.320	19.110	0.00112413	1.00592	1.6469%
		8 hr.	33	28800	0.330	19.100	0.00112413	1.00480	1.6984%
		12 hr.	33.1	43200	0.331	19.099	0.00011241	1.00469	1.7036%
		24 hr.	34	86400	0.340	19.090	0.00101171	1.00368	1.7499%
		36 hr.	35	129600	0.350	19.080	0.00112413	1.00255	1.8013%
		48 hr.	35.5	172800	0.355	19.075	0.00056206	1.00199	1.8271%
		80 hr.	36.5	288000	0.365	19.065	0.00112413	1.00087	1.8785%
		96 hr.	37.5	345600	0.375	19.055	0.00112413	0.99974	1.9300%
		120 hr.	37.5	432000	0.375	19.055	0	0.99974	1.9300%
		144 hr.	37.5	518400	0.375	19.055	0	0.99974	1.9300%
		168 hr.	37.5	604800	0.375	19.055	0	0.99974	1.9300%
		192 hr.	37.5	691200	0.375	19.055	0	0.99974	1.9300%
		216 hr.	37.5	777600	0.375	19.055	0	0.99974	1.9300%
		240 hr.	37.5	864000	0.375	19.055	0	0.99974	1.9300%
		264 hr.	37.5	950400	0.375	19.055	0	0.99974	1.9300%
		288 hr.	37.5	1036800	0.375	19.055	0	0.99974	1.9300%
		312 hr.	37.5	1123200	0.375	19.055	0	0.99974	1.9300%
		336 hr.	37.5	1209600	0.375	19.055	0	0.99974	1.9300%
		360 hr.	37.5	1296000	0.375	19.055	0	0.99974	1.9300%
		384 hr.	37.5	1382400	0.375	19.055	0	0.99974	1.9300%

Muestra prueba : Jal 50 metros de profundidad

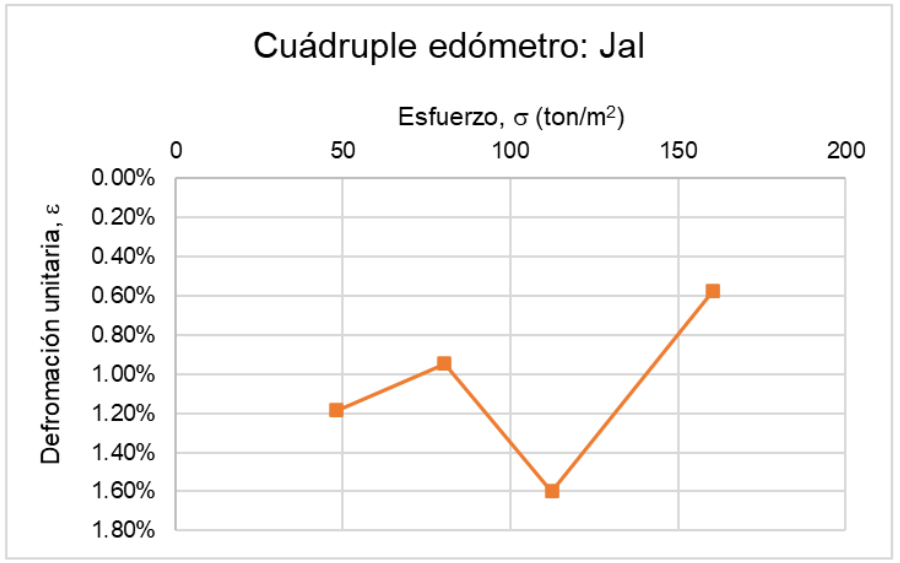
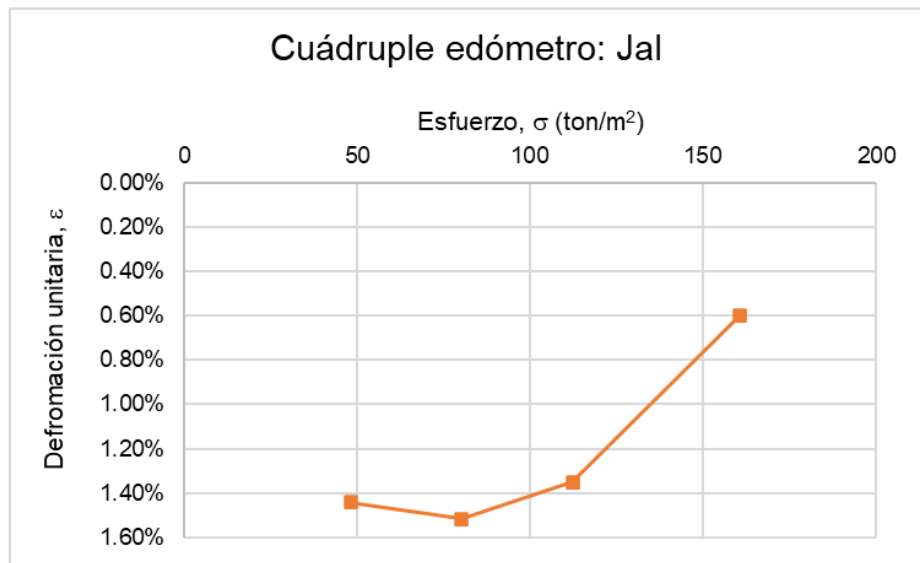
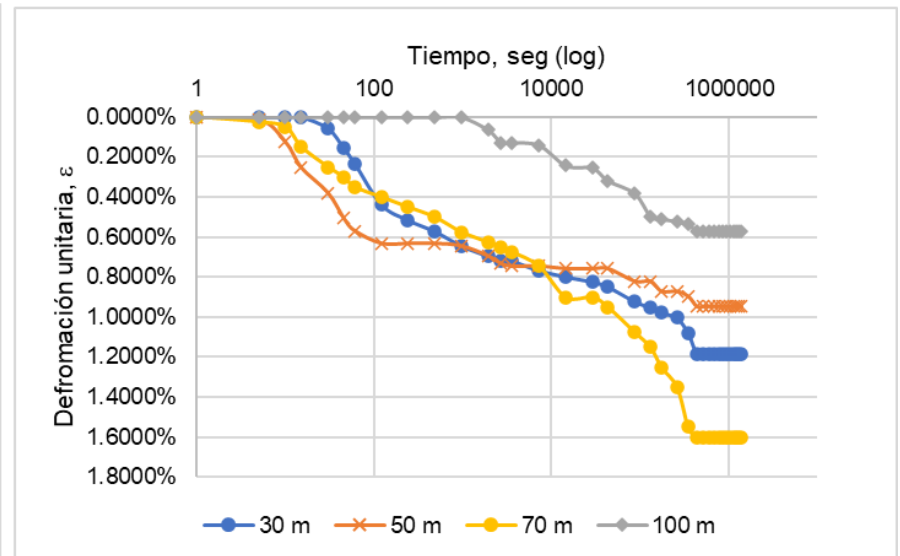
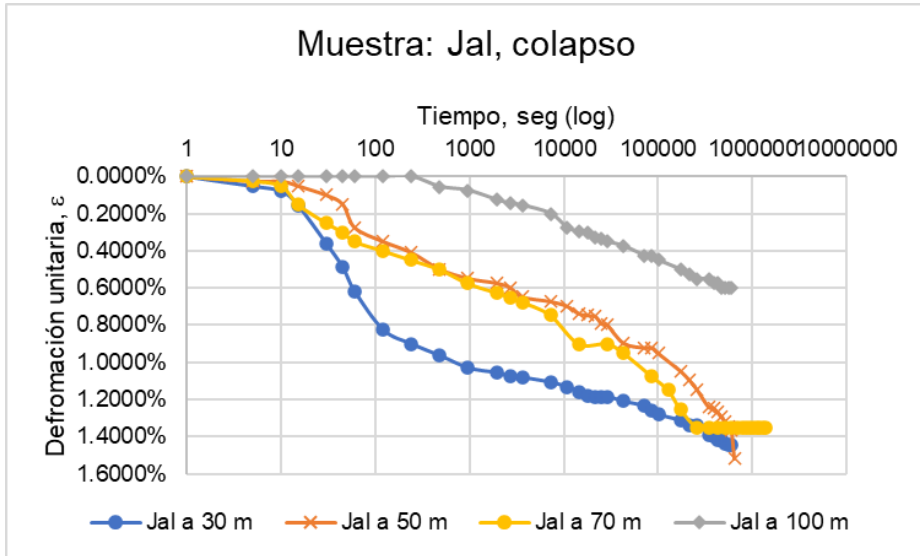
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (in)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ϵ
$e =$	1.04	1 seg.	0	1	0	0.000	20.100	0	1.04190	0.0000%
Prof. (m) =	50	5 seg.	0.1	5	0.0001	0.003	20.097	0.00028553	1.04161	0.0126%
γ_d (kg/m ³) =	1055.64	10 seg.	1	10	0.001	0.025	20.075	0.00256976	1.03904	0.1264%
Anillo 2		15 seg.	2.5	15	0.0025	0.064	20.037	0.00428293	1.03476	0.3159%
ϕ (cm) =	7.5	30 seg.	6.5	30	0.0065	0.165	19.935	0.01142114	1.02334	0.8214%
H (cm)	2.01	45 seg.	11	45	0.011	0.279	19.821	0.01284878	1.01049	1.3900%
A (cm ²) =	44.18	60 seg.	15.5	60	0.0155	0.394	19.706	0.01284878	0.99764	1.9587%
V (cm ³) =	88.80	2 min.	22.5	120	0.0225	0.572	19.529	0.01998699	0.97765	2.8433%
Muestra		4 min.	25	240	0.025	0.635	19.465	0.00713821	0.97051	3.1592%
Ws ₅₀ (gr) =	93.74	8 min.	26	480	0.026	0.660	19.440	0.00285528	0.96766	3.2856%
σ (kg/m ²) =	80225	15 min.	27	900	0.027	0.686	19.414	0.00285528	0.96480	3.4119%
F (kg) =	354.42	30 min.	28	1800	0.028	0.711	19.389	0.00285528	0.96195	3.5383%
BP =	11	45 min.	28.3	2700	0.0283	0.719	19.381	0.00085659	0.96109	3.5762%
Carga		1 hr.	29	3600	0.029	0.737	19.363	0.0019987	0.95909	3.6647%
F _t (kg) =	32.22	2 hr.	30	7200	0.03	0.762	19.338	0.00285528	0.95624	3.7910%
H _s (cm) =	0.92	4 hr.	31	14400	0.031	0.787	19.313	0.00285528	0.95338	3.9174%
		8 hr.	32.1	28800	0.0321	0.815	19.285	0.00314081	0.95024	4.0564%
		12 hr.	33	43200	0.033	0.838	19.262	0.00256976	0.94767	4.1701%
		24 hr.	34	86400	0.034	0.864	19.236	0.00285528	0.94482	4.2965%
		36 hr.	35	129600	0.035	0.889	19.211	0.00285528	0.94196	4.4229%
		48 hr.	36	172800	0.036	0.914	19.186	0.00285528	0.93911	4.5493%
		80 hr.	37	288000	0.037	0.940	19.160	0.00285528	0.93625	4.6756%
		96 hr.	37.5	345600	0.0375	0.953	19.148	0.00142764	0.93482	4.7388%
		120 hr.	38	432000	0.038	0.965	19.135	0.00142764	0.93340	4.8020%
		144 hr.	39.5	518400	0.0395	1.003	19.097	0.00428293	0.92911	4.9915%
		168 hr.	39.5	604800	0.0395	1.003	19.097	0	0.92911	4.9915%
		192 hr.	39.5	691200	0.0395	1.003	19.097	0	0.92911	4.9915%
		216 hr.	39.5	777600	0.0395	1.003	19.097	0	0.92911	4.9915%
		240 hr.	39.5	864000	0.0395	1.003	19.097	0	0.92911	4.9915%
		264 hr.	39.5	950400	0.0395	1.003	19.097	0	0.92911	4.9915%
		288 hr.	39.5	1036800	0.0395	1.003	19.097	0	0.92911	4.9915%
		312 hr.	39.5	1123200	0.0395	1.003	19.097	0	0.92911	4.9915%
		336 hr.	39.5	1209600	0.0395	1.003	19.097	0	0.92911	4.9915%
		360 hr.	39.5	1296000	0.0395	1.003	19.097	0	0.92911	4.9915%
		384 hr.	39.5	1382400	0.0395	1.003	19.097	0	0.92911	4.9915%

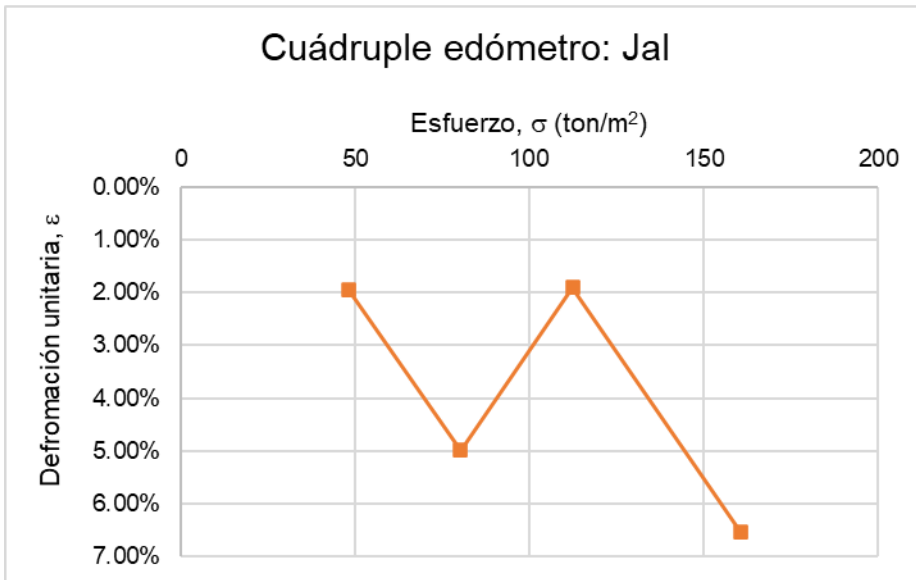
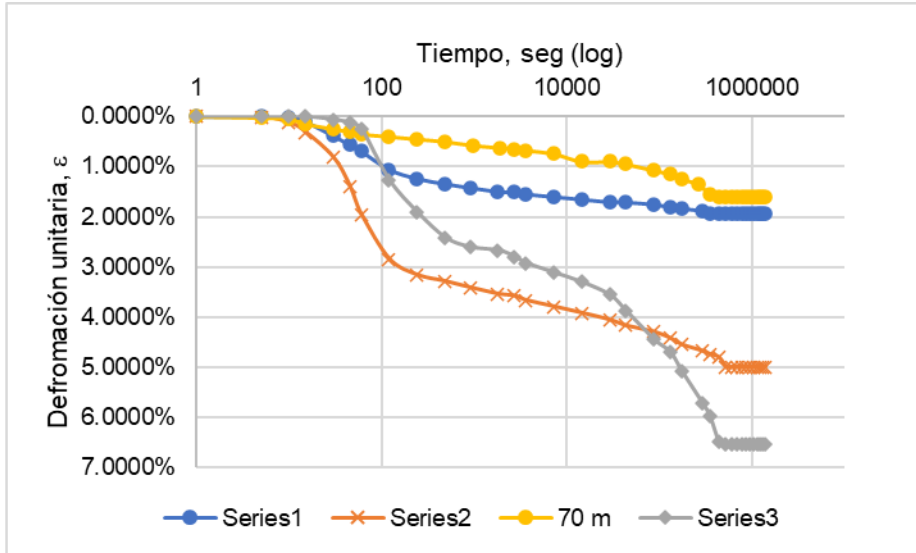
Muestra prueba : Jal 70 metros de profundidad

Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	1.04	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
Prof. (m) =	70	5 seg.	0	5	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1055.64	10 seg.	0.1	10	0.001	19.999	0.00011241	1.04178	0.0050%
Anillo 3		15 seg.	0.1	15	0.001	19.999	0	1.04178	0.0050%
ϕ (cm) =	7.694	30 seg.	1.5	30	0.015	19.985	0.00157378	1.04021	0.0750%
H (cm)	2	45 seg.	4.5	45	0.045	19.955	0.00337238	1.03684	0.2250%
A (cm ²) =	46.49	60 seg.	7	60	0.070	19.930	0.00281032	1.03403	0.3500%
V (cm ³) =	92.99	2 min.	16	120	0.160	19.840	0.01011715	1.02391	0.8000%
Muestra		4 min.	20.5	240	0.205	19.795	0.00505857	1.01885	1.0250%
Ws ₇₀ (gr) =	98.16	8 min.	22	480	0.220	19.780	0.00168619	1.01717	1.1000%
σ (kg/m ²) =	112315	15 min.	23	900	0.230	19.770	0.00112413	1.01604	1.1500%
F (kg) =	522.19	30 min.	24	1800	0.240	19.760	0.00112413	1.01492	1.2000%
BP =	11	45 min.	24.9	2700	0.249	19.751	0.00101171	1.01391	1.2450%
Carga		1 hr.	25	3600	0.250	19.750	0.00011241	1.01379	1.2500%
F _t (kg) =	47.47	2 hr.	26	7200	0.260	19.740	0.00112413	1.01267	1.3000%
H _s (cm) =	0.92	4 hr.	28	14400	0.280	19.720	0.00224826	1.01042	1.4000%
		8 hr.	29	28800	0.290	19.710	0.00112413	1.00930	1.4500%
		12 hr.	30	43200	0.300	19.700	0.00112413	1.00817	1.5000%
		24 hr.	31	86400	0.310	19.690	0.00112413	1.00705	1.5500%
		36 hr.	32	129600	0.320	19.680	0.00112413	1.00592	1.6000%
		48 hr.	34	172800	0.340	19.660	0.00224826	1.00368	1.7000%
		80 hr.	35	288000	0.350	19.650	0.00112413	1.00255	1.7500%
		96 hr.	36	345600	0.360	19.640	0.00112413	1.00143	1.8000%
		120 hr.	38	432000	0.380	19.620	0.00224826	0.99918	1.9000%
		144 hr.	38	518400	0.380	19.620	0	0.99918	1.9000%
		168 hr.	38	604800	0.380	19.620	0	0.99918	1.9000%
		192 hr.	38	691200	0.380	19.620	0	0.99918	1.9000%
		216 hr.	38	777600	0.380	19.620	0	0.99918	1.9000%
		240 hr.	38	864000	0.38	19.620	0	0.99918	1.9000%
		264 hr.	38	950400	0.38	19.620	0	0.99918	1.9000%
		288 hr.	38	1036800	0.38	19.620	0	0.99918	1.9000%
		312 hr.	38	1123200	0.38	19.620	0	0.99918	1.9000%
		336 hr.	38	1209600	0.38	19.620	0	0.99918	1.9000%
		360 hr.	38	1296000	0.38	19.620	0	0.99918	1.9000%
		384 hr.	38	1382400	0.38	19.620	0	0.99918	1.9000%

Muestra prueba : Jal 100 metros de profundidad										
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (in)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ϵ
$e =$	1.04	1 seg.	0	1	0	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
Prof. (m) =	100	5 seg.	0	5	0	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1055.64	10 seg.	0	10	0	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
Anillo 4		15 seg.	0	15	0	0.000	20.000	0	1.04190	0.0000%
ϕ (cm) =	7.696	30 seg.	0.5	30	0.0005	0.013	19.987	0.00142764	1.04047	0.0635%
H (cm)	2	45 seg.	1	45	0.001	0.025	19.975	0.00142764	1.03904	0.1270%
A (cm ²) =	46.52	60 seg.	2	60	0.002	0.051	19.949	0.00285528	1.03619	0.2540%
V (cm ³) =	93.04	2 min.	10	120	0.01	0.254	19.746	0.02284228	1.01334	1.2700%
Muestra		4 min.	15	240	0.015	0.381	19.619	0.01427642	0.99907	1.9050%
W _{S100} (gr) =	98.21	8 min.	19	480	0.019	0.483	19.517	0.01142114	0.98765	2.4130%
σ (kg/m ²) =	160450	15 min.	20.5	900	0.0205	0.521	19.479	0.00428293	0.98336	2.6035%
F (kg) =	746.38	30 min.	21	1800	0.021	0.533	19.467	0.00142764	0.98194	2.6670%
BP =	11	45 min.	22	2700	0.022	0.559	19.441	0.00285528	0.97908	2.7940%
Carga		1 hr.	23	3600	0.023	0.584	19.416	0.00285528	0.97622	2.9210%
F _t (kg) =	67.85	2 hr.	24.5	7200	0.0245	0.622	19.378	0.00428293	0.97194	3.1115%
H _s (cm) =	0.92	4 hr.	26	14400	0.026	0.660	19.340	0.00428293	0.96766	3.3020%
		8 hr.	28	28800	0.028	0.711	19.289	0.00571057	0.96195	3.5560%
		12 hr.	30.5	43200	0.0305	0.775	19.225	0.00713821	0.95481	3.8735%
		24 hr.	35	86400	0.035	0.889	19.111	0.01284878	0.94196	4.4450%
		36 hr.	37	129600	0.037	0.940	19.060	0.00571057	0.93625	4.6990%
		48 hr.	40	172800	0.04	1.016	18.984	0.00856585	0.92768	5.0800%
		80 hr.	45	288000	0.045	1.143	18.857	0.01427642	0.91341	5.7150%
		96 hr.	47	345600	0.047	1.194	18.806	0.00571057	0.90770	5.9690%
		120 hr.	51	432000	0.051	1.295	18.705	0.01142114	0.89628	6.4770%
		144 hr.	51.5	518400	0.0515	1.308	18.692	0.00142764	0.89485	6.5405%
		168 hr.	51.5	604800	0.0515	1.308	18.692	0	0.89485	6.5405%
		192 hr.	51.5	691200	0.0515	1.308	18.692	0	0.89485	6.5405%
		216 hr.	51.5	777600	0.0515	1.308	18.692	0	0.89485	6.5405%
		240 hr.	51.5	864000	0.0515	1.308	18.692	0	0.89485	6.5405%
		264 hr.	51.5	950400	0.0515	1.308	18.692	0	0.89485	6.5405%
		288 hr.	51.5	1036800	0.0515	1.308	18.692	0	0.89485	6.5405%
		312 hr.	51.5	1123200	0.0515	1.308	18.692	0	0.89485	6.5405%
		336 hr.	51.5	1209600	0.0515	1.308	18.692	0	0.89485	6.5405%
		360 hr.	51.5	1296000	0.0515	1.308	18.692	0	0.89485	6.5405%
		384 hr.	51.5	1382400	0.0515	1.308	18.692	0	0.89485	6.5405%

ANEXO E.4: GRÁFICAS COLAPSO JAL





ANEXO E.5: SERIE 1, JAL-TEPE

Muestra prueba : Jal-Tepe 30 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ϵ
$e =$	1.14	1 seg.	0	1	0.000	19.430	0	1.13624	0.0000%
Prof. (m) =	30	5 seg.	0	5	0.000	19.430	0	1.13624	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1067.70	10 seg.	0.2	10	0.002	19.428	0.00022228	1.13602	0.0103%
Anillo 1		15 seg.	0.4	15	0.004	19.426	0.00022228	1.13579	0.0206%
ϕ (cm) =	7.493	30 seg.	2.4	30	0.024	19.406	0.00222285	1.13357	0.1235%
H (cm)	1.943	45 seg.	4.5	45	0.045	19.385	0.00233399	1.13124	0.2316%
A (cm ²) =	44.10	60 seg.	15.5	60	0.155	19.275	0.01222567	1.11901	0.7977%
V (cm ³) =	85.68	2 min.	15.5	120	0.155	19.275	0	1.11901	0.7977%
Muestra		4 min.	20	240	0.200	19.230	0.00500141	1.11401	1.0293%
Ws ₃₀ (gr) =	91.48	8 min.	21.4	480	0.214	19.216	0.00155599	1.11245	1.1014%
σ (kg/m ²) =	48135	15 min.	22.3	900	0.223	19.207	0.00100028	1.11145	1.1477%
F (kg) =	212.26	30 min.	22.5	1800	0.225	19.205	0.00022228	1.11123	1.1580%
BP =	11	45 min.	23.4	2700	0.234	19.196	0.00100028	1.11023	1.2043%
Carga		1 hr.	23.5	3600	0.235	19.195	0.00011114	1.11012	1.2095%
F _f (kg) =	19.30	2 hr.	24.5	7200	0.245	19.185	0.00111142	1.10901	1.2609%
H _s (cm) =	0.90	3 hr.	24.5	10800	0.245	19.185	0	1.10901	1.2609%
		4 hr.	25	14400	0.250	19.180	0.00055571	1.10845	1.2867%
		5 hr.	25.5	18000	0.255	19.175	0.00055571	1.10790	1.3124%
		6 hr.	25.5	21600	0.255	19.175	0	1.10790	1.3124%
		7 hr.	25.5	25200	0.255	19.175	0	1.10790	1.3124%
		8 hr.	25.5	28800	0.255	19.175	0	1.10790	1.3124%
		12 hr.	26	43200	0.260	19.170	0.00055571	1.10734	1.3381%
		21 hr.	26.5	75600	0.265	19.165	0.00055571	1.10679	1.3639%
		24 hr.	27.5	86400	0.275	19.155	0.00111142	1.10568	1.4153%
		32 hr.	27.5	115200	0.275	19.155	0	1.10568	1.4153%
		48 hr.	28.4	172800	0.284	19.146	0.00100028	1.10467	1.4617%
		60 hr.	28.5	216000	0.285	19.145	0.00011114	1.10456	1.4668%
		72 hr.	28.8	259200	0.288	19.142	0.00033343	1.10423	1.4822%
		100 hr.	29.5	360000	0.295	19.135	0.000778	1.10345	1.5183%
		108 hr.	30.5	388800	0.305	19.125	0.00111142	1.10234	1.5697%
		120 hr.	30.5	432000	0.305	19.125	0	1.10234	1.5697%
		132 hr.	30.5	475200	0.305	19.125	0	1.10234	1.5697%
		144 hr.	30.5	518400	0.305	19.125	0	1.10234	1.5697%
		156 hr.	30.5	561600	0.305	19.125	0	1.10234	1.5697%
		168 hr.	30.5	604800	0.305	19.125	0	1.10234	1.5697%

Muestra prueba : Jal-Tepe 50 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	1.14	1 seg.	0	1	0.000	20.100	0	1.13624	0.0000%
Prof. (m) =	50	5 seg.	0.1	5	0.001	20.099	0.00011114	1.13613	0.0050%
γ_d (kg/m ³) =	1067.70	10 seg.	0.5	10	0.005	20.095	0.00044457	1.13568	0.0249%
Anillo 2		15 seg.	2	15	0.020	20.080	0.00166714	1.13402	0.0995%
ϕ (cm) =	7.5	30 seg.	7	30	0.070	20.030	0.00555712	1.12846	0.3483%
H (cm)	2.01	45 seg.	11.1	45	0.111	19.989	0.00455684	1.12390	0.5522%
A (cm ²) =	44.18	60 seg.	14.1	60	0.141	19.959	0.00333427	1.12057	0.7015%
V (cm ³) =	88.80	2 min.	20	120	0.200	19.900	0.00655741	1.11401	0.9950%
Muestra		4 min.	22	240	0.220	19.880	0.00222285	1.11179	1.0945%
W _{S50} (gr) =	94.81	8 min.	23	480	0.230	19.870	0.00111142	1.11068	1.1443%
σ (kg/m ²) =	80225	15 min.	24	900	0.240	19.860	0.00111142	1.10957	1.1940%
F (kg) =	354.42	30 min.	25	1800	0.250	19.850	0.00111142	1.10845	1.2438%
BP =	11	45 min.	25.5	2700	0.255	19.845	0.00055571	1.10790	1.2687%
Carga		1 hr.	25.5	3600	0.255	19.845	0	1.10790	1.2687%
F _t (kg) =	32.22	2 hr.	26.1	7200	0.261	19.839	0.00066685	1.10723	1.2985%
H _s (cm) =	0.93	3 hr.	26.9	10800	0.269	19.831	0.00088914	1.10634	1.3383%
		4 hr.	27.1	14400	0.271	19.829	0.00022228	1.10612	1.3483%
		5 hr.	27.1	18000	0.271	19.829	0	1.10612	1.3483%
		6 hr.	27.5	21600	0.275	19.825	0.00044457	1.10568	1.3682%
		7 hr.	28	25200	0.280	19.820	0.00055571	1.10512	1.3930%
		8 hr.	28	28800	0.280	19.820	0	1.10512	1.3930%
		12 hr.	28.5	43200	0.285	19.815	0.00055571	1.10456	1.4179%
		21 hr.	29.1	75600	0.291	19.809	0.00066685	1.10390	1.4478%
		24 hr.	29.5	86400	0.295	19.805	0.00044457	1.10345	1.4677%
		32 hr.	29.9	115200	0.299	19.801	0.00044457	1.10301	1.4876%
		48 hr.	30.9	172800	0.309	19.791	0.00111142	1.10190	1.5373%
		60 hr.	31	216000	0.310	19.790	0.00011114	1.10179	1.5423%
		72 hr.	31.5	259200	0.315	19.785	0.00055571	1.10123	1.5672%
		100 hr.	32	360000	0.32	19.780	0.00055571	1.10067	1.5920%
		108 hr.	37	388800	0.37	19.730	0.00555712	1.09512	1.8408%
		120 hr.	37	432000	0.37	19.730	0	1.09512	1.8408%
		132 hr.	37	475200	0.37	19.730	0	1.09512	1.8408%
		144 hr.	37	518400	0.37	19.730	0	1.09512	1.8408%
		156 hr.	37	561600	0.37	19.730	0	1.09512	1.8408%
		168 hr.	37	604800	0.37	19.730	0	1.09512	1.8408%

Muestra prueba : Jal-Tepe 70 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	1.14	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
Prof. (m) =	70	5 seg.	0	5	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1067.70	10 seg.	0	10	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
Anillo 3		15 seg.	0	15	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
ϕ (cm) =	7.696	30 seg.	0	30	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
H (cm)	2	45 seg.	0	45	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
A (cm ²) =	46.52	60 seg.	0	60	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
V (cm ³) =	93.04	2 min.	0	120	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
Muestra		4 min.	0.5	240	0.005	19.995	0.00055571	1.13568	0.0250%
Ws ₁₀₀ (gr) =	99.33	8 min.	1	480	0.010	19.990	0.00055571	1.13513	0.0500%
σ (kg/m ²) =	112315	15 min.	1.1	900	0.011	19.989	0.00011114	1.13502	0.0550%
F (kg) =	522.47	30 min.	1.1	1800	0.011	19.989	0	1.13502	0.0550%
BP =	11	45 min.	1.1	2700	0.011	19.989	0	1.13502	0.0550%
Carga		1 hr.	1.1	3600	0.011	19.989	0	1.13502	0.0550%
F _t (kg) =	47.50	2 hr.	2	7200	0.020	19.980	0.00100028	1.13402	0.1000%
H _s (cm) =	0.93	3 hr.	2.8	10800	0.028	19.972	0.00088914	1.13313	0.1400%
		4 hr.	3	14400	0.030	19.970	0.00022228	1.13291	0.1500%
		5 hr.	3.1	18000	0.031	19.969	0.00011114	1.13279	0.1550%
		6 hr.	3.5	21600	0.035	19.965	0.00044457	1.13235	0.1750%
		7 hr.	3.9	25200	0.039	19.961	0.00044457	1.13190	0.1950%
		8 hr.	4	28800	0.040	19.960	0.00011114	1.13179	0.2000%
		12 hr.	5	43200	0.050	19.950	0.00111142	1.13068	0.2500%
		21 hr.	7	75600	0.070	19.930	0.00222285	1.12846	0.3500%
		24 hr.	7	86400	0.070	19.930	0	1.12846	0.3500%
		32 hr.	9	115200	0.090	19.910	0.00222285	1.12624	0.4500%
		48 hr.	11	172800	0.110	19.890	0.00222285	1.12401	0.5500%
		60 hr.	12	216000	0.120	19.880	0.00111142	1.12290	0.6000%
		72 hr.	13.9	259200	0.139	19.861	0.00211171	1.12079	0.6950%
		100 hr.	16	360000	0.16	19.840	0.00233399	1.11846	0.8000%
		108 hr.	16	388800	0.16	19.840	0	1.11846	0.8000%
		120 hr.	16	432000	0.16	19.840	0	1.11846	0.8000%
		132 hr.	16	475200	0.16	19.840	0	1.11846	0.8000%
		144 hr.	16	518400	0.16	19.840	0	1.11846	0.8000%
		156 hr.	16	561600	0.16	19.840	0	1.11846	0.8000%
		168 hr.	16	604800	0.16	19.840	0	1.11846	0.8000%

Muestra prueba : Jal-Tepe 100 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	1.14	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
Prof. (m) =	100	5 seg.	0	5	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1067.70	10 seg.	0	10	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
Anillo 3		15 seg.	0	15	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
ϕ (cm) =	7.696	30 seg.	0	30	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
H (cm)	2	45 seg.	0	45	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
A (cm ²) =	46.52	60 seg.	0	60	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
V (cm ³) =	93.04	2 min.	0	120	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
Muestra		4 min.	0.5	240	0.005	19.995	0.00055571	1.13568	0.0250%
Ws ₁₀₀ (gr) =	99.33	8 min.	1	480	0.010	19.990	0.00055571	1.13513	0.0500%
σ (kg/m ²) =	160450	15 min.	1.1	900	0.011	19.989	0.00011114	1.13502	0.0550%
F (kg) =	746.38	30 min.	1.1	1800	0.011	19.989	0	1.13502	0.0550%
BP =	11	45 min.	1.1	2700	0.011	19.989	0	1.13502	0.0550%
Carga		1 hr.	1.1	3600	0.011	19.989	0	1.13502	0.0550%
F _t (kg) =	67.85	2 hr.	2	7200	0.020	19.980	0.00100028	1.13402	0.1000%
H _s (cm) =	0.93	3 hr.	2.8	10800	0.028	19.972	0.00088914	1.13313	0.1400%
		4 hr.	3	14400	0.030	19.970	0.00022228	1.13291	0.1500%
		5 hr.	3.1	18000	0.031	19.969	0.00011114	1.13279	0.1550%
		6 hr.	3.5	21600	0.035	19.965	0.00044457	1.13235	0.1750%
		7 hr.	3.9	25200	0.039	19.961	0.00044457	1.13190	0.1950%
		8 hr.	4	28800	0.040	19.960	0.00011114	1.13179	0.2000%
		12 hr.	5	43200	0.050	19.950	0.00111142	1.13068	0.2500%
		21 hr.	7	75600	0.070	19.930	0.00222285	1.12846	0.3500%
		24 hr.	7	86400	0.070	19.930	0	1.12846	0.3500%
		32 hr.	9	115200	0.090	19.910	0.00222285	1.12624	0.4500%
		48 hr.	11	172800	0.110	19.890	0.00222285	1.12401	0.5500%
		60 hr.	12	216000	0.120	19.880	0.00111142	1.12290	0.6000%
		72 hr.	13.9	259200	0.139	19.861	0.00211171	1.12079	0.6950%
		100 hr.	16	360000	0.16	19.840	0.00233399	1.11846	0.8000%
		108 hr.	16	388800	0.16	19.840	0	1.11846	0.8000%
		120 hr.	16	432000	0.16	19.840	0	1.11846	0.8000%
		132 hr.	16	475200	0.16	19.840	0	1.11846	0.8000%
		144 hr.	16	518400	0.16	19.840	0	1.11846	0.8000%
		156 hr.	16	561600	0.16	19.840	0	1.11846	0.8000%
		168 hr.	16	604800	0.16	19.840	0	1.11846	0.8000%

ANEXO E.6: SERIE 2, JAL-TEPE

Muestra prueba : Jal-Tepe 30 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	1.14	1 seg.	0	1	0.000	19.430	0	1.13624	0.0000%
Prof. (m) =	30	5 seg.	0.5	5	0.005	19.425	0.00055571	1.13568	0.0257%
γ_d (kg/m ³) =	1067.70	10 seg.	3	10	0.030	19.400	0.00277856	1.13291	0.1544%
Anillo 1		15 seg.	5	15	0.050	19.380	0.00222285	1.13068	0.2573%
ϕ (cm) =	7.493	30 seg.	13.5	30	0.135	19.295	0.00944711	1.12124	0.6948%
H (cm)	1.943	45 seg.	20	45	0.200	19.230	0.00722426	1.11401	1.0293%
A (cm ²) =	44.10	60 seg.	25	60	0.250	19.180	0.00555712	1.10845	1.2867%
V (cm ³) =	85.68	2 min.	37	120	0.370	19.060	0.01333709	1.09512	1.9043%
Muestra		4 min.	52	240	0.520	18.910	0.01667137	1.07845	2.6763%
W _{S30} (gr) =	91.48	8 min.	61	480	0.610	18.820	0.01000282	1.06844	3.1395%
σ (kg/m ²) =	48135	15 min.	68.9	900	0.689	18.741	0.00878025	1.05966	3.5461%
F (kg) =	212.26	30 min.	76	1800	0.760	18.670	0.00789111	1.05177	3.9115%
BP =	11	45 min.	79	2700	0.790	18.640	0.00333427	1.04844	4.0659%
Carga		1 hr.	82	3600	0.820	18.610	0.00333427	1.04510	4.2203%
F _f (kg) =	19.30	2 hr.	88.9	7200	0.889	18.541	0.00766883	1.03743	4.5754%
H _s (cm) =	0.90	4 hr.	94	14400	0.940	18.490	0.00566827	1.03177	4.8379%
		6 hr.	103	21600	1.030	18.400	0.01000282	1.02176	5.3011%
		8 hr.	122	28800	1.220	18.210	0.02111707	1.00065	6.2790%
		12 hr.	134	43200	1.340	18.090	0.01333709	0.98731	6.8966%
		24 hr.	141.5	86400	1.415	18.015	0.00833568	0.97897	7.2826%
		36 hr.	145.5	129600	1.455	17.975	0.0044457	0.97453	7.4884%
		48 hr.	147	172800	1.470	17.960	0.00166714	0.97286	7.5656%
		72 hr.	148	259200	1.480	17.950	0.00111142	0.97175	7.6171%
		96 hr.	151	345600	1.510	17.920	0.00333427	0.96841	7.7715%
		120 hr.	151	432000	1.510	17.920	0	0.96841	7.7715%
		144 hr.	151	518400	1.510	17.920	0	0.96841	7.7715%
		168 hr.	151	604800	1.510	17.920	0	0.96841	7.7715%
		192 hr.	151	691200	1.510	17.920	0	0.96841	7.7715%
		216 hr.	151	777600	1.51	17.920	0	0.96841	7.7715%
		240 hr.	151	864000	1.51	17.920	0	0.96841	7.7715%
		264 hr.	151	950400	1.51	17.920	0	0.96841	7.7715%
		288 hr.	151	1036800	1.51	17.920	0	0.96841	7.7715%
		312 hr.	151	1123200	1.51	17.920	0	0.96841	7.7715%
		336 hr.	151	1209600	1.51	17.920	0	0.96841	7.7715%
		360 hr.	151	1296000	1.51	17.920	0	0.96841	7.7715%

Muestra prueba : Jal-Tepe 50 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	1.14	1 seg.	0	1	0.000	20.100	0	1.13624	0.0000%
Prof. (m) =	50	5 seg.	2	5	0.020	20.080	0.00222285	1.13402	0.0995%
γ_d (kg/m ³) =	1067.70	10 seg.	6	10	0.060	20.040	0.0044457	1.12957	0.2985%
Anillo 2		15 seg.	12	15	0.120	19.980	0.00666855	1.12290	0.5970%
ϕ (cm) =	7.5	30 seg.	19	30	0.190	19.910	0.00777997	1.11512	0.9453%
H (cm)	2.01	45 seg.	25	45	0.250	19.850	0.00666855	1.10845	1.2438%
A (cm ²) =	44.18	60 seg.	31	60	0.310	19.790	0.00666855	1.10179	1.5423%
V (cm ³) =	88.80	2 min.	35.5	120	0.355	19.745	0.00500141	1.09678	1.7662%
Muestra		4 min.	37	240	0.370	19.730	0.00166714	1.09512	1.8408%
W _{S50} (gr) =	94.81	8 min.	38	480	0.380	19.720	0.00111142	1.09401	1.8905%
σ (kg/m ²) =	80225	15 min.	38.9	900	0.389	19.711	0.00100028	1.09300	1.9353%
F (kg) =	354.42	30 min.	39.9	1800	0.399	19.701	0.00111142	1.09189	1.9851%
BP =	11	45 min.	40	2700	0.400	19.700	0.00011114	1.09178	1.9900%
Carga		1 hr.	40.5	3600	0.405	19.695	0.00055571	1.09123	2.0149%
F _t (kg) =	32.22	2 hr.	41.5	7200	0.415	19.685	0.00111142	1.09012	2.0647%
H _s (cm) =	0.93	4 hr.	42.5	14400	0.425	19.675	0.00111142	1.08900	2.1144%
		6 hr.	43	21600	0.430	19.670	0.00055571	1.08845	2.1393%
		8 hr.	44	28800	0.440	19.660	0.00111142	1.08734	2.1891%
		12 hr.	45	43200	0.450	19.650	0.00111142	1.08623	2.2388%
		24 hr.	46.5	86400	0.465	19.635	0.00166714	1.08456	2.3134%
		36 hr.	47	129600	0.470	19.630	0.00055571	1.08400	2.3383%
		48 hr.	48.5	172800	0.485	19.615	0.00166714	1.08234	2.4129%
		72 hr.	50	259200	0.500	19.600	0.00166714	1.08067	2.4876%
		96 hr.	51	345600	0.510	19.590	0.00111142	1.07956	2.5373%
		120 hr.	54	432000	0.540	19.560	0.00333427	1.07622	2.6866%
		144 hr.	54	518400	0.540	19.560	0	1.07622	2.6866%
		168 hr.	54	604800	0.540	19.560	0	1.07622	2.6866%
		192 hr.	54	691200	0.540	19.560	0	1.07622	2.6866%
		216 hr.	54	777600	0.54	19.560	0	1.07622	2.6866%
		240 hr.	54	864000	0.54	19.560	0	1.07622	2.6866%
		264 hr.	54	950400	0.54	19.560	0	1.07622	2.6866%
		288 hr.	54	1036800	0.54	19.560	0	1.07622	2.6866%
		312 hr.	54	1123200	0.54	19.560	0	1.07622	2.6866%
		336 hr.	54	1209600	0.54	19.560	0	1.07622	2.6866%
		360 hr.	54	1296000	0.54	19.560	0	1.07622	2.6866%

Muestra prueba : Jal-Tepe 70 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	1.14	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
Prof. (m) =	70	5 seg.	0	5	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1067.70	10 seg.	0	10	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
Anillo 3		15 seg.	0.5	15	0.005	19.995	0.00055571	1.13568	0.0250%
ϕ (cm) =	7.696	30 seg.	1.5	30	0.015	19.985	0.00111142	1.13457	0.0750%
H (cm)	2	45 seg.	5	45	0.050	19.950	0.00388999	1.13068	0.2500%
A (cm ²) =	46.52	60 seg.	9	60	0.090	19.910	0.0044457	1.12624	0.4500%
V (cm ³) =	93.04	2 min.	29.5	120	0.295	19.705	0.0227842	1.10345	1.4750%
Muestra		4 min.	32.1	240	0.321	19.679	0.0028897	1.10056	1.6050%
Ws ₁₀₀ (gr) =	99.33	8 min.	34	480	0.340	19.660	0.00211171	1.09845	1.7000%
σ (kg/m ²) =	112315	15 min.	35	900	0.350	19.650	0.00111142	1.09734	1.7500%
F (kg) =	522.47	30 min.	26	1800	0.260	19.740	-0.01000282	1.10734	1.3000%
BP =	11	45 min.	27.5	2700	0.275	19.725	0.00166714	1.10568	1.3750%
Carga		1 hr.	28.9	3600	0.289	19.711	0.00155599	1.10412	1.4450%
F _t (kg) =	47.50	2 hr.	30	7200	0.300	19.700	0.00122257	1.10290	1.5000%
H _s (cm) =	0.93	4 hr.	30.5	14400	0.305	19.695	0.00055571	1.10234	1.5250%
		6 hr.	31.1	21600	0.311	19.689	0.00066685	1.10167	1.5550%
		8 hr.	32	28800	0.320	19.680	0.00100028	1.10067	1.6000%
		12 hr.	34.5	43200	0.345	19.655	0.00277856	1.09790	1.7250%
		24 hr.	35	86400	0.350	19.650	0.00055571	1.09734	1.7500%
		36 hr.	36.5	129600	0.365	19.635	0.00166714	1.09567	1.8250%
		48 hr.	38	172800	0.380	19.620	0.00166714	1.09401	1.9000%
		72 hr.	41	259200	0.410	19.590	0.00333427	1.09067	2.0500%
		96 hr.	42	345600	0.420	19.580	0.00111142	1.08956	2.1000%
		120 hr.	42	432000	0.420	19.580	0	1.08956	2.1000%
		144 hr.	42	518400	0.420	19.580	0	1.08956	2.1000%
		168 hr.	42	604800	0.420	19.580	0	1.08956	2.1000%
		192 hr.	42	691200	0.420	19.580	0	1.08956	2.1000%
		216 hr.	42	777600	0.42	19.580	0	1.08956	2.1000%
		240 hr.	42	864000	0.42	19.580	0	1.08956	2.1000%
		264 hr.	42	950400	0.42	19.580	0	1.08956	2.1000%
		288 hr.	42	1036800	0.42	19.580	0	1.08956	2.1000%
		312 hr.	42	1123200	0.42	19.580	0	1.08956	2.1000%
		336 hr.	42	1209600	0.42	19.580	0	1.08956	2.1000%
		360 hr.	42	1296000	0.42	19.580	0	1.08956	2.1000%

Muestra prueba : Jal-Tepe 100 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ϵ
$e =$	1.14	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
Prof. (m) =	100	5 seg.	0	5	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1067.70	10 seg.	0	10	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
Anillo 3		15 seg.	0	15	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
ϕ (cm) =	7.696	30 seg.	0	30	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
H (cm)	2	45 seg.	0	45	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
A (cm ²) =	46.52	60 seg.	0	60	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
V (cm ³) =	93.04	2 min.	0	120	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
Muestra		4 min.	0.1	240	0.001	19.999	0.00011114	1.13613	0.0050%
Ws ₁₀₀ (gr) =	99.33	8 min.	0.1	480	0.001	19.999	0	1.13613	0.0050%
σ (kg/m ²) =	160450	15 min.	0.1	900	0.001	19.999	0	1.13613	0.0050%
F (kg) =	746.38	30 min.	0.1	1800	0.001	19.999	0	1.13613	0.0050%
BP =	11	45 min.	0.1	2700	0.001	19.999	0	1.13613	0.0050%
Carga		1 hr.	0.5	3600	0.005	19.995	0.00044457	1.13568	0.0250%
F _t (kg) =	67.85	2 hr.	1	7200	0.010	19.990	0.00055571	1.13513	0.0500%
H _s (cm) =	0.93	4 hr.	1	14400	0.010	19.990	0	1.13513	0.0500%
		6 hr.	1	21600	0.010	19.990	0	1.13513	0.0500%
		8 hr.	1	28800	0.010	19.990	0	1.13513	0.0500%
		12 hr.	1	43200	0.010	19.990	0	1.13513	0.0500%
		24 hr.	1.9	86400	0.019	19.981	0.00100028	1.13413	0.0950%
		36 hr.	2	129600	0.020	19.980	0.00011114	1.13402	0.1000%
		48 hr.	2	172800	0.020	19.980	0	1.13402	0.1000%
		72 hr.	2.1	259200	0.021	19.979	0.00011114	1.13391	0.1050%
		96 hr.	2.3	345600	0.023	19.977	0.00022228	1.13368	0.1150%
		120 hr.	2.5	432000	0.025	19.975	0.00022228	1.13346	0.1250%
		144 hr.	2.5	518400	0.025	19.975	0	1.13346	0.1250%
		168 hr.	2.5	604800	0.025	19.975	0	1.13346	0.1250%
		192 hr.	2.5	691200	0.025	19.975	0	1.13346	0.1250%
		216 hr.	2.5	777600	0.025	19.975	0	1.13346	0.1250%
		240 hr.	2.5	864000	0.025	19.975	0	1.13346	0.1250%
		264 hr.	2.5	950400	0.025	19.975	0	1.13346	0.1250%
		288 hr.	2.5	1036800	0.025	19.975	0	1.13346	0.1250%
		312 hr.	2.5	1123200	0.025	19.975	0	1.13346	0.1250%
		336 hr.	2.5	1209600	0.025	19.975	0	1.13346	0.1250%
		360 hr.	2.5	1296000	0.025	19.975	0	1.13346	0.1250%

ANEXO E.7: SERIE 3, JAL-TEPE

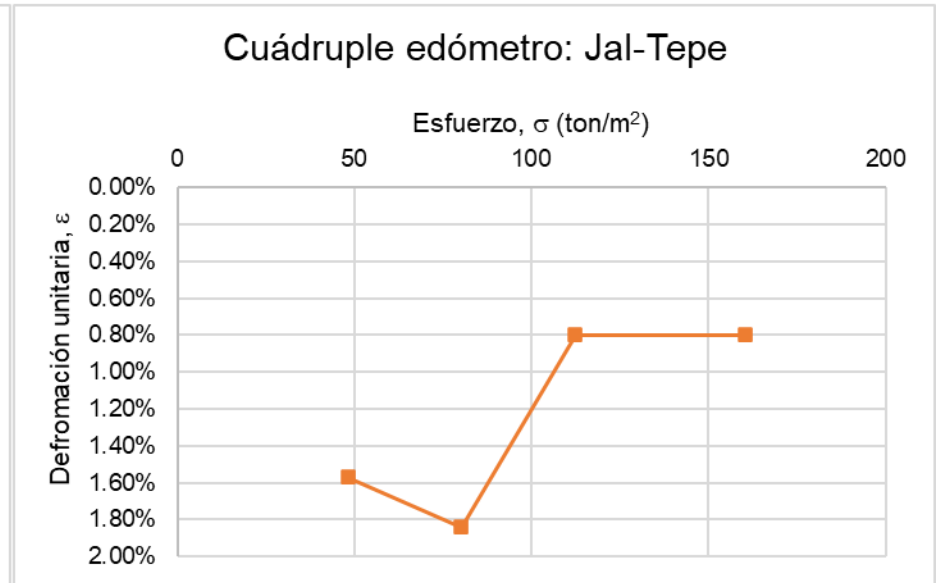
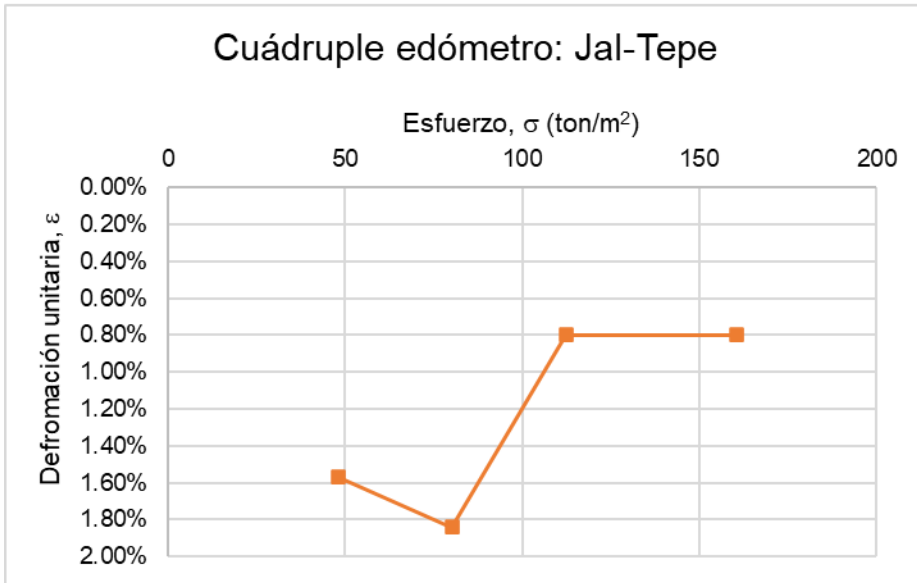
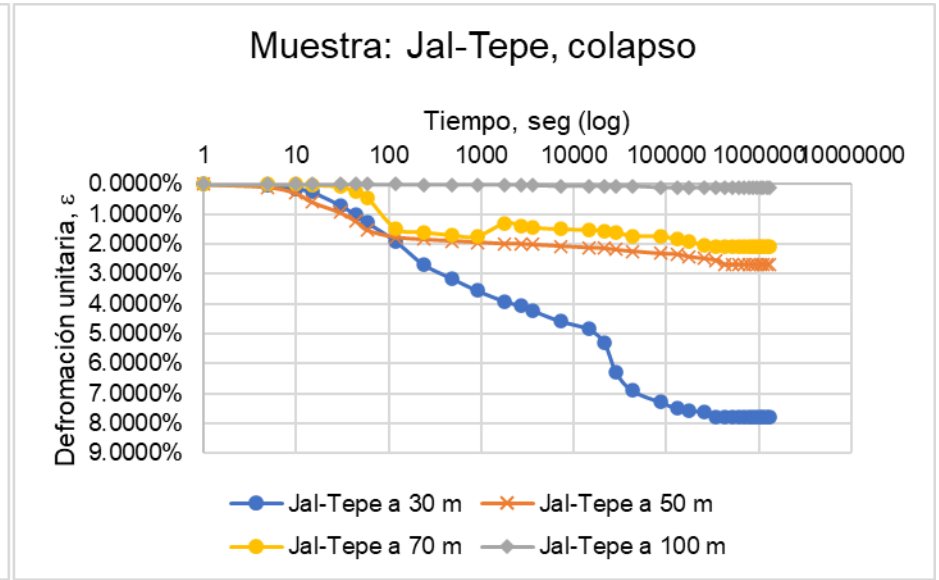
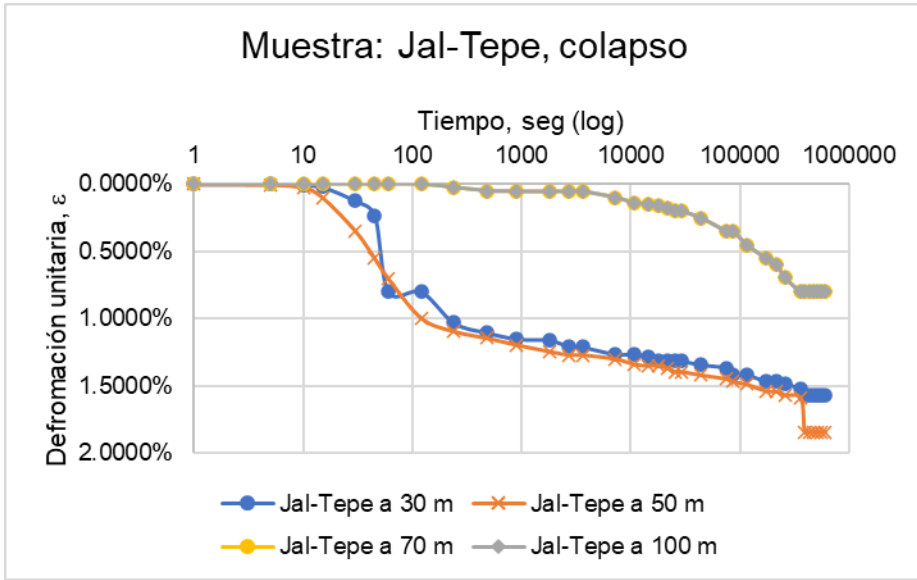
Muestra prueba : Jal-Tepe 30 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	1.14	1 seg.	0	1	0.000	19.430	0	1.13624	0.0000%
Prof. (m) =	30	5 seg.	1	5	0.010	19.420	0.00111142	1.13513	0.0515%
γ_d (kg/m ³) =	1067.70	10 seg.	1.1	10	0.011	19.419	0.00011114	1.13502	0.0566%
Anillo 1		15 seg.	1.5	15	0.015	19.415	0.00044457	1.13457	0.0772%
ϕ (cm) =	7.493	30 seg.	4	30	0.040	19.390	0.00277856	1.13179	0.2059%
H (cm)	1.943	45 seg.	5.1	45	0.051	19.379	0.00122257	1.13057	0.2625%
A (cm ²) =	44.10	60 seg.	10.1	60	0.101	19.329	0.00555712	1.12501	0.5198%
V (cm ³) =	85.68	2 min.	24	120	0.240	19.190	0.0154488	1.10957	1.2352%
Muestra		4 min.	40	240	0.400	19.030	0.01778279	1.09178	2.0587%
Ws ₃₀ (gr) =	91.48	8 min.	44	480	0.440	18.990	0.0044457	1.08734	2.2645%
σ (kg/m ²) =	48135	15 min.	46.3	900	0.463	18.967	0.00255628	1.08478	2.3829%
F (kg) =	212.26	30 min.	47.5	1800	0.475	18.955	0.00133371	1.08345	2.4447%
BP =	11	45 min.	48.5	2700	0.485	18.945	0.00111142	1.08234	2.4961%
Carga		1 hr.	49	3600	0.490	18.940	0.00055571	1.08178	2.5219%
F _f (kg) =	19.30	2 hr.	50	7200	0.500	18.930	0.00111142	1.08067	2.5733%
H _s (cm) =	0.90	4 hr.	51.5	14400	0.515	18.915	0.00166714	1.07900	2.6505%
		8 hr.	52.2	28800	0.522	18.908	0.000778	1.07822	2.6866%
		12 hr.	53	43200	0.530	18.900	0.00088914	1.07733	2.7277%
		24 hr.	54	86400	0.540	18.890	0.00111142	1.07622	2.7792%
		36 hr.	54.5	129600	0.545	18.885	0.00055571	1.07567	2.8049%
		48 hr.	55	172800	0.550	18.880	0.00055571	1.07511	2.8307%
		72 hr.	56	259200	0.560	18.870	0.00111142	1.07400	2.8821%
		96 hr.	56	345600	0.560	18.870	0	1.07400	2.8821%

Muestra prueba : Jal-Tepe 50 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	1.14	1 seg.	0	1	0.000	20.100	0	1.13624	0.0000%
Prof. (m) =	50	5 seg.	0	5	0.000	20.100	0	1.13624	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1067.70	10 seg.	0	10	0.000	20.100	0	1.13624	0.0000%
Anillo 2		15 seg.	1	15	0.010	20.090	0.00111142	1.13513	0.0498%
ϕ (cm) =	7.5	30 seg.	11	30	0.110	19.990	0.011111425	1.12401	0.5473%
H (cm)	2.01	45 seg.	25.5	45	0.255	19.845	0.01611566	1.10790	1.2687%
A (cm ²) =	44.18	60 seg.	33.1	60	0.331	19.769	0.00844683	1.09945	1.6468%
V (cm ³) =	88.80	2 min.	42.5	120	0.425	19.675	0.01044739	1.08900	2.1144%
Muestra		4 min.	45	240	0.450	19.650	0.00277856	1.08623	2.2388%
W _{S50} (gr) =	94.81	8 min.	46.5	480	0.465	19.635	0.00166714	1.08456	2.3134%
σ (kg/m ²) =	80225	15 min.	47.5	900	0.475	19.625	0.00111142	1.08345	2.3632%
F (kg) =	354.42	30 min.	48.8	1800	0.488	19.612	0.00144485	1.08200	2.4279%
BP =	11	45 min.	49.5	2700	0.495	19.605	0.000778	1.08122	2.4627%
Carga		1 hr.	50	3600	0.500	19.600	0.00055571	1.08067	2.4876%
F _f (kg) =	32.22	2 hr.	51	7200	0.510	19.590	0.00111142	1.07956	2.5373%
H _s (cm) =	0.93	4 hr.	51.5	14400	0.515	19.585	0.00055571	1.07900	2.5622%
		8 hr.	53.9	28800	0.539	19.561	0.00266742	1.07633	2.6816%
		12 hr.	54.9	43200	0.549	19.551	0.00111142	1.07522	2.7313%
		24 hr.	57	86400	0.570	19.530	0.00233399	1.07289	2.8358%
		36 hr.	58	129600	0.580	19.520	0.00111142	1.07178	2.8856%
		48 hr.	59	172800	0.590	19.510	0.00111142	1.07067	2.9353%
		72 hr.	60.5	259200	0.605	19.495	0.00166714	1.06900	3.0100%
		96 hr.	60.5	345600	0.605	19.495	0	1.06900	3.0100%
		120 hr.	60.5	432000	0.605	19.495	0	1.06900	3.0100%
		144 hr.	60.5	518400	0.605	19.495	0	1.06900	3.0100%
		168 hr.	60.5	604800	0.605	19.495	0	1.06900	3.0100%

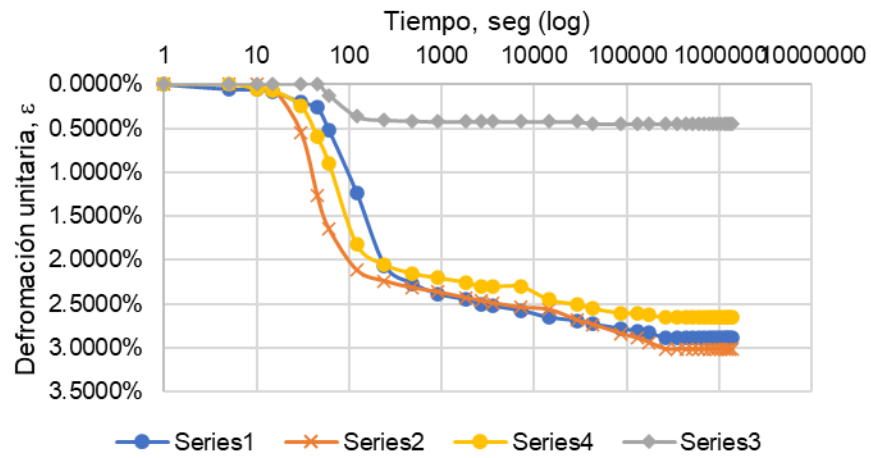
Muestra prueba : Jal-Tepe 70 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	1.14	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
Prof. (m) =	70	5 seg.	0	5	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1067.70	10 seg.	1	10	0.010	19.990	0.00111142	1.13513	0.0500%
Anillo 3		15 seg.	1.5	15	0.015	19.985	0.00055571	1.13457	0.0750%
ϕ (cm) =	7.696	30 seg.	5	30	0.050	19.950	0.00388999	1.13068	0.2500%
H (cm)	2	45 seg.	12	45	0.120	19.880	0.00777997	1.12290	0.6000%
A (cm ²) =	46.52	60 seg.	18	60	0.180	19.820	0.00666855	1.11623	0.9000%
V (cm ³) =	93.04	2 min.	36.5	120	0.365	19.635	0.02056135	1.09567	1.8250%
Muestra		4 min.	41	240	0.410	19.590	0.00500141	1.09067	2.0500%
Ws ₁₀₀ (gr) =	99.33	8 min.	43	480	0.430	19.570	0.00222285	1.08845	2.1500%
σ (kg/m ²) =	112315	15 min.	44	900	0.440	19.560	0.00111142	1.08734	2.2000%
F (kg) =	522.47	30 min.	45	1800	0.450	19.550	0.00111142	1.08623	2.2500%
BP =	11	45 min.	46	2700	0.460	19.540	0.00111142	1.08511	2.3000%
Carga		1 hr.	46	3600	0.460	19.540	0	1.08511	2.3000%
F _f (kg) =	47.50	2 hr.	46	7200	0.460	19.540	0	1.08511	2.3000%
H _s (cm) =	0.93	4 hr.	49	14400	0.490	19.510	0.00333427	1.08178	2.4500%
		8 hr.	50	28800	0.500	19.500	0.00111142	1.08067	2.5000%
		12 hr.	51	43200	0.510	19.490	0.00111142	1.07956	2.5500%
		24 hr.	52	86400	0.520	19.480	0.00111142	1.07845	2.6000%
		36 hr.	52	129600	0.520	19.480	0	1.07845	2.6000%
		48 hr.	52.5	172800	0.525	19.475	0.00055571	1.07789	2.6250%
		72 hr.	53	259200	0.530	19.470	0.00055571	1.07733	2.6500%
		96 hr.	53	345600	0.530	19.470	0	1.07733	2.6500%
		120 hr.	53	432000	0.530	19.470	0	1.07733	2.6500%
		144 hr.	53	518400	0.530	19.470	0	1.07733	2.6500%
		168 hr.	53	604800	0.530	19.470	0	1.07733	2.6500%

Muestra prueba : Jal-Tepe 100 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	1.14	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
Prof. (m) =	100	5 seg.	0	5	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1067.70	10 seg.	0	10	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
Anillo 3		15 seg.	0	15	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
ϕ (cm) =	7.696	30 seg.	0	30	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
H (cm)	2	45 seg.	0	45	0.000	20.000	0	1.13624	0.0000%
A (cm ²) =	46.52	60 seg.	2.5	60	0.025	19.975	0.00277856	1.13346	0.1250%
V (cm ³) =	93.04	2 min.	7.3	120	0.073	19.927	0.00533484	1.12813	0.3650%
Muestra		4 min.	8.1	240	0.081	19.919	0.00088914	1.12724	0.4050%
W _{S100} (gr) =	99.33	8 min.	8.3	480	0.083	19.917	0.00022228	1.12701	0.4150%
σ (kg/m ²) =	160450	15 min.	8.5	900	0.085	19.915	0.00022228	1.12679	0.4250%
F (kg) =	746.38	30 min.	8.5	1800	0.085	19.915	0	1.12679	0.4250%
BP =	11	45 min.	8.5	2700	0.085	19.915	0	1.12679	0.4250%
Carga		1 hr.	8.5	3600	0.085	19.915	0	1.12679	0.4250%
F _t (kg) =	67.85	2 hr.	8.5	7200	0.085	19.915	0	1.12679	0.4250%
H _s (cm) =	0.93	4 hr.	8.5	14400	0.085	19.915	0	1.12679	0.4250%
		8 hr.	8.5	28800	0.085	19.915	0	1.12679	0.4250%
		12 hr.	8.9	43200	0.089	19.911	0.00044457	1.12635	0.4450%
		24 hr.	9	86400	0.090	19.910	0.00011114	1.12624	0.4500%
		36 hr.	9	129600	0.090	19.910	0	1.12624	0.4500%
		48 hr.	9	172800	0.090	19.910	0	1.12624	0.4500%
		72 hr.	9	259200	0.090	19.910	0	1.12624	0.4500%
		96 hr.	9	345600	0.090	19.910	0	1.12624	0.4500%
		120 hr.	9	432000	0.090	19.910	0	1.12624	0.4500%
		144 hr.	9	518400	0.090	19.910	0	1.12624	0.4500%
		168 hr.	9	604800	0.090	19.910	0	1.12624	0.4500%
		192 hr.	9	691200	0.090	19.910	0	1.12624	0.4500%
		216 hr.	9	777600	0.090	19.910	0	1.12624	0.4500%
		240 hr.	9	864000	0.09	19.910	0	1.12624	0.4500%
		264 hr.	9	950400	0.09	19.910	0	1.12624	0.4500%
		288 hr.	9	1036800	0.09	19.910	0	1.12624	0.4500%
		312 hr.	9	1123200	0.09	19.910	0	1.12624	0.4500%
		336 hr.	9	1209600	0.09	19.910	0	1.12624	0.4500%
		360 hr.	9	1296000	0.09	19.910	0	1.12624	0.4500%
		384 hr.	9	1382400	0.09	19.910	0	1.12624	0.4500%

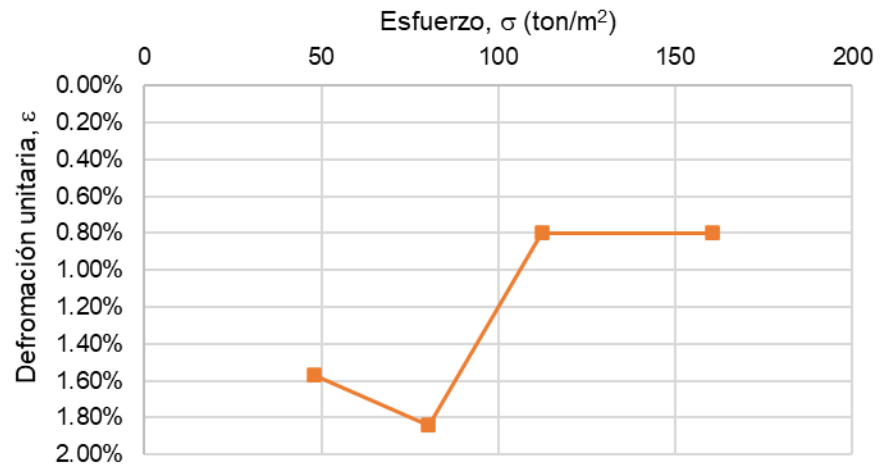
ANEXO E.8: GRÁFICAS COLAPSO JAL-TEPE



Muestra: Jal-Tepe, colapso



Cuádruple edómetro: Jal-Tepe



ANEXO E.9: SERIE 1, TEPE-JAL

Muestra prueba : Tepe-Jal 30 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	0.88	1 seg.	0	1	0.000	19.430	0	0.88099	0.0000%
Prof. (m) =	30	5 seg.	0	5	0.000	19.430	0	0.88099	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1222.34	10 seg.	0.5	10	0.005	19.425	0.00048541	0.88050	0.0257%
Anillo 1		15 seg.	1	15	0.010	19.420	0.00048541	0.88002	0.0515%
ϕ (cm) =	7.493	30 seg.	7.5	30	0.075	19.355	0.00631034	0.87371	0.3860%
H (cm)	1.943	45 seg.	15	45	0.150	19.280	0.00728116	0.86643	0.7720%
A (cm ²) =	44.10	60 seg.	21	60	0.210	19.220	0.00582493	0.86060	1.0808%
V (cm ³) =	85.68	2 min.	31.5	120	0.315	19.115	0.01019362	0.85041	1.6212%
Muestra		4 min.	34.5	240	0.345	19.085	0.00291246	0.84749	1.7756%
Ws ₃₀ (gr) =	104.73	8 min.	35	480	0.350	19.080	0.00048541	0.84701	1.8013%
σ (kg/m ²) =	48135	16 min.	36.9	960	0.369	19.061	0.00184456	0.84516	1.8991%
F (kg) =	212.26	32 min.	37.1	1920	0.371	19.059	0.00019416	0.84497	1.9094%
BP =	11	45 min.	37.5	2700	0.375	19.055	0.00038833	0.84458	1.9300%
Carga		1 hr.	37.9	3600	0.379	19.051	0.00038833	0.84419	1.9506%
F _f (kg) =	19.30	2 hr.	38.5	7200	0.385	19.045	0.00058249	0.84361	1.9815%
H _s (cm) =	1.03	3 hr.	39	10800	0.390	19.040	0.00048541	0.84313	2.0072%
		4 hr.	39.1	14400	0.391	19.039	9.7082E-05	0.84303	2.0124%
		6 hr.	38.5	21600	0.385	19.045	-0.00058249	0.84361	1.9815%
		8 hr.	39.9	28800	0.399	19.031	0.00135915	0.84225	2.0535%
		12 hr.	40	43200	0.400	19.030	9.7082E-05	0.84216	2.0587%
		24 hr.	41	86400	0.410	19.020	0.00097082	0.84118	2.1101%
		48 hr.	42	172800	0.420	19.010	0.00097082	0.84021	2.1616%
		72 hr.	43	259200	0.430	19.000	0.00097082	0.83924	2.2131%
		96 hr.	43.9	345600	0.439	18.991	0.00087374	0.83837	2.2594%
		120 hr.	44.5	432000	0.445	18.985	0.00058249	0.83779	2.2903%
		144 hr.	44.9	518400	0.449	18.981	0.00038833	0.83740	2.3109%
		168 hr.	44.9	604800	0.449	18.981	0	0.83740	2.3109%
		192 hr.	44.9	691200	0.449	18.981	0	0.83740	2.3109%
		216 hr.	44.9	777600	0.449	18.981	0	0.83740	2.3109%

Muestra prueba : Tepe-Jal 50 metros de profundidad										
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (in)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ϵ
$e =$	0.88	1 seg.	0	1	0	0.000	20.100	0	0.88099	0.0000%
Prof. (m) =	50	5 seg.	0.1	5	0.0001	0.003	20.097	0.00024659	0.88074	0.0126%
γ_d (kg/m ³) =	1222.34	10 seg.	0.9	10	0.0009	0.023	20.077	0.00197271	0.87877	0.1137%
Anillo 2		15 seg.	1	15	0.001	0.025	20.075	0.00024659	0.87852	0.1264%
ϕ (cm) =	7.5	30 seg.	2	30	0.002	0.051	20.049	0.00246589	0.87606	0.2527%
H (cm)	2.01	45 seg.	3	45	0.003	0.076	20.024	0.00246589	0.87359	0.3791%
A (cm ²) =	44.18	60 seg.	5	60	0.005	0.127	19.973	0.00493177	0.86866	0.6318%
V (cm ³) =	88.80	2 min.	5	120	0.005	0.127	19.973	0	0.86866	0.6318%
Muestra		4 min.	7.9	240	0.0079	0.201	19.899	0.00715107	0.86151	0.9983%
Ws ₅₀ (gr) =	108.54	8 min.	8	480	0.008	0.203	19.897	0.00024659	0.86126	1.0109%
σ (kg/m ²) =	80225	16 min.	8.9	960	0.0089	0.226	19.874	0.0022193	0.85904	1.1247%
F (kg) =	354.42	32 min.	9	1920	0.009	0.229	19.871	0.00024659	0.85880	1.1373%
BP =	11	45 min.	9.1	2700	0.0091	0.231	19.869	0.00024659	0.85855	1.1500%
Carga		1 hr.	9.5	3600	0.0095	0.241	19.859	0.00098635	0.85756	1.2005%
F _f (kg) =	32.22	2 hr.	10	7200	0.01	0.254	19.846	0.00123294	0.85633	1.2637%
H _s (cm) =	1.07	3 hr.	10	10800	0.01	0.254	19.846	0	0.85633	1.2637%
		4 hr.	10.9	14400	0.0109	0.277	19.823	0.0022193	0.85411	1.3774%
		6 hr.	11	21600	0.011	0.279	19.821	0.00024659	0.85386	1.3900%
		8 hr.	11	28800	0.011	0.279	19.821	0	0.85386	1.3900%
		12 hr.	11.1	43200	0.0111	0.282	19.818	0.00024659	0.85362	1.4027%
		24 hr.	11.9	86400	0.0119	0.302	19.798	0.00197271	0.85164	1.5038%
		48 hr.	12	172800	0.012	0.305	19.795	0.00024659	0.85140	1.5164%
		72 hr.	12.9	259200	0.0129	0.328	19.772	0.0022193	0.84918	1.6301%
		96 hr.	12.9	345600	0.0129	0.328	19.772	0	0.84918	1.6301%
		120 hr.	12.9	432000	0.0129	0.328	19.772	0	0.84918	1.6301%
		144 hr.	12.9	518400	0.0129	0.328	19.772	0	0.84918	1.6301%
		168 hr.	12.9	604800	0.0129	0.328	19.772	0	0.84918	1.6301%
		192 hr.	12.9	691200	0.0129	0.328	19.772	0	0.84918	1.6301%
		216 hr.	12.9	777600	0.0129	0.328	19.772	0	0.84918	1.6301%

Muestra prueba : Tepe-Jal 70 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	0.88	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
Prof. (m) =	70	5 seg.	0	5	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1222.34	10 seg.	0.5	10	0.005	19.995	0.00048541	0.88050	0.0250%
Anillo 3		15 seg.	2	15	0.020	19.980	0.00145623	0.87905	0.1000%
ϕ (cm) =	7.694	30 seg.	9.5	30	0.095	19.905	0.00728116	0.87177	0.4750%
H (cm)	2	45 seg.	14	45	0.140	19.860	0.0043687	0.86740	0.7000%
A (cm ²) =	46.49	60 seg.	17.5	60	0.175	19.825	0.00339787	0.86400	0.8750%
V (cm ³) =	92.99	2 min.	20	120	0.200	19.800	0.00242705	0.86157	1.0000%
Muestra		4 min.	21	240	0.210	19.790	0.00097082	0.86060	1.0500%
Ws ₇₀ (gr) =	113.66	8 min.	22.9	480	0.229	19.771	0.00184456	0.85876	1.1450%
σ (kg/m ²) =	112315	16 min.	24	960	0.240	19.760	0.0010679	0.85769	1.2000%
F (kg) =	522.19	32 min.	25	1920	0.250	19.750	0.00097082	0.85672	1.2500%
BP =	11	45 min.	26	2700	0.260	19.740	0.00097082	0.85575	1.3000%
Carga		1 hr.	26	3600	0.260	19.740	0	0.85575	1.3000%
F _f (kg) =	47.47	2 hr.	27.5	7200	0.275	19.725	0.00145623	0.85429	1.3750%
H _s (cm) =	1.06	3 hr.	28.5	10800	0.285	19.715	0.00097082	0.85332	1.4250%
		4 hr.	29	14400	0.290	19.710	0.00048541	0.85283	1.4500%
		6 hr.	30	21600	0.300	19.700	0.00097082	0.85186	1.5000%
		8 hr.	31	28800	0.310	19.690	0.00097082	0.85089	1.5500%
		12 hr.	32	43200	0.320	19.680	0.00097082	0.84992	1.6000%
		24 hr.	33.9	86400	0.339	19.661	0.00184456	0.84808	1.6950%
		48 hr.	36	172800	0.360	19.640	0.00203872	0.84604	1.8000%
		72 hr.	37.1	259200	0.371	19.629	0.0010679	0.84497	1.8550%
		96 hr.	39	345600	0.390	19.610	0.00184456	0.84313	1.9500%
		120 hr.	39.9	432000	0.399	19.601	0.00087374	0.84225	1.9950%
		144 hr.	40.5	518400	0.405	19.595	0.00058249	0.84167	2.0250%
		168 hr.	40.5	604800	0.405	19.595	0	0.84167	2.0250%
		192 hr.	40.5	691200	0.405	19.595	0	0.84167	2.0250%
		216 hr.	40.5	777600	0.405	19.595	0	0.84167	2.0250%

Muestra prueba : Tepe-Jal 100 metros de profundidad										
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (in)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ϵ
$e =$	0.88	1 seg.	0	1	0	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
Prof. (m) =	100	5 seg.	0	5	0	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1222.34	10 seg.	0	10	0	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
Anillo 4		15 seg.	0	15	0	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
ϕ (cm) =	7.694	30 seg.	0.1	30	0.0001	0.003	19.997	0.00024659	0.88074	0.0127%
H (cm)	2	45 seg.	0.3	45	0.0003	0.008	19.992	0.00049318	0.88025	0.0381%
A (cm ²) =	46.49	60 seg.	0.6	60	0.0006	0.015	19.985	0.00073977	0.87951	0.0762%
V (cm ³) =	92.99	2 min.	1	120	0.001	0.025	19.975	0.00098635	0.87852	0.1270%
Muestra		4 min.	1	240	0.001	0.025	19.975	0	0.87852	0.1270%
Ws ₁₀₀ (gr) =	113.66	8 min.	1.5	480	0.0015	0.038	19.962	0.00123294	0.87729	0.1905%
σ (kg/m ²) =	160450	16 min.	2	960	0.002	0.051	19.949	0.00123294	0.87606	0.2540%
F (kg) =	745.99	32 min.	2	1920	0.002	0.051	19.949	0	0.87606	0.2540%
BP =	11	45 min.	2.5	2700	0.0025	0.064	19.937	0.00123294	0.87482	0.3175%
Carga		1 hr.	2.9	3600	0.0029	0.074	19.926	0.00098635	0.87384	0.3683%
F _f (kg) =	67.82	2 hr.	3	7200	0.003	0.076	19.924	0.00024659	0.87359	0.3810%
H _s (cm) =	1.06	3 hr.	3.1	10800	0.0031	0.079	19.921	0.00024659	0.87334	0.3937%
		4 hr.	3.5	14400	0.0035	0.089	19.911	0.00098635	0.87236	0.4445%
		6 hr.	3.9	21600	0.0039	0.099	19.901	0.00098635	0.87137	0.4953%
		8 hr.	3.9	28800	0.0039	0.099	19.901	0	0.87137	0.4953%
		12 hr.	3.9	43200	0.0039	0.099	19.901	0	0.87137	0.4953%
		24 hr.	4	86400	0.004	0.102	19.898	0.00024659	0.87112	0.5080%
		48 hr.	4.5	172800	0.0045	0.114	19.886	0.00123294	0.86989	0.5715%
		72 hr.	5	259200	0.005	0.127	19.873	0.00123294	0.86866	0.6350%
		96 hr.	5.9	345600	0.0059	0.150	19.850	0.0022193	0.86644	0.7493%
		120 hr.	6	432000	0.006	0.152	19.848	0.00024659	0.86619	0.7620%
		144 hr.	6	518400	0.006	0.152	19.848	0	0.86619	0.7620%
		168 hr.	6.5	604800	0.0065	0.165	19.835	0.00123294	0.86496	0.8255%
		192 hr.	6.5	691200	0.0065	0.165	19.835	0	0.86496	0.8255%
		216 hr.	6.5	777600	0.0065	0.165	19.835	0	0.86496	0.8255%

ANEXO E.10: SERIE 2, TEPE-JAL

Muestra prueba : Tepe-Jal 30 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	0.88	1 seg.	0	1	0.000	19.430	0	0.88099	0.0000%
Prof. (m) =	30	5 seg.	0	5	0.000	19.430	0	0.88099	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1222.34	10 seg.	0.5	10	0.005	19.425	0.00048541	0.88050	0.0257%
Anillo 1		15 seg.	0	15	0.000	19.430	-0.00048541	0.88099	0.0000%
ϕ (cm) =	7.493	30 seg.	1	30	0.010	19.420	0.00097082	0.88002	0.0515%
H (cm)	1.943	45 seg.	4.5	45	0.045	19.385	0.00339787	0.87662	0.2316%
A (cm ²) =	44.10	60 seg.	9	60	0.090	19.340	0.0043687	0.87225	0.4632%
V (cm ³) =	85.68	2 min.	24	120	0.240	19.190	0.01456232	0.85769	1.2352%
Muestra		4 min.	41.5	240	0.415	19.015	0.01698937	0.84070	2.1359%
Ws ₃₀ (gr) =	104.73	8 min.	45	480	0.450	18.980	0.00339787	0.83730	2.3160%
σ (kg/m ²) =	48135	16 min.	47.5	960	0.475	18.955	0.00242705	0.83487	2.4447%
F (kg) =	212.26	32 min.	49	1920	0.490	18.940	0.00145623	0.83342	2.5219%
BP =	11	45 min.	50	2700	0.500	18.930	0.00097082	0.83245	2.5733%
Carga		1 hr.	50.5	3600	0.505	18.925	0.00048541	0.83196	2.5991%
F _f (kg) =	19.30	2 hr.	52	7200	0.520	18.910	0.00145623	0.83051	2.6763%
H _s (cm) =	1.03	4 hr.	53.5	14400	0.535	18.895	0.00145623	0.82905	2.7535%
		6 hr.	54.5	21600	0.545	18.885	0.00097082	0.82808	2.8049%
		8 hr.	55	28800	0.550	18.880	0.00048541	0.82759	2.8307%
		12 hr.	55.5	43200	0.555	18.875	0.00048541	0.82711	2.8564%
		24 hr.	58	86400	0.580	18.850	0.00242705	0.82468	2.9851%
		36 hr.	59	129600	0.590	18.840	0.00097082	0.82371	3.0365%
		48 hr.	60.5	172800	0.605	18.825	0.00145623	0.82225	3.1137%
		78 hr.	63	280800	0.630	18.800	0.00242705	0.81983	3.2424%
		94 hr.	65	338400	0.650	18.780	0.00194164	0.81788	3.3453%
		118 hr.	66	424800	0.660	18.770	0.00097082	0.81691	3.3968%
		142 hr.	66.5	511200	0.665	18.765	0.00048541	0.81643	3.4225%
		166 hr.	66.5	597600	0.665	18.765	0	0.81643	3.4225%
		190 hr.	66.5	684000	0.665	18.765	0	0.81643	3.4225%
		214 hr.	66.5	770400	0.665	18.765	0	0.81643	3.4225%

Muestra prueba : Tepe-Jal 50 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	0.88	1 seg.	0	1	0.000	20.100	0	0.88099	0.0000%
Prof. (m) =	50	5 seg.	0	5	0.000	20.100	0	0.88099	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1222.34	10 seg.	1	10	0.010	20.090	0.00097082	0.88002	0.0498%
Anillo 2		15 seg.	8	15	0.080	20.020	0.00679575	0.87322	0.3980%
ϕ (cm) =	7.5	30 seg.	12	30	0.120	19.980	0.00388329	0.86934	0.5970%
H (cm)	2.01	45 seg.	19.5	45	0.195	19.905	0.00728116	0.86206	0.9701%
A (cm ²) =	44.18	60 seg.	26	60	0.260	19.840	0.00631034	0.85575	1.2935%
V (cm ³) =	88.80	2 min.	40	120	0.400	19.700	0.0135915	0.84216	1.9900%
Muestra		4 min.	42.5	240	0.425	19.675	0.00242705	0.83973	2.1144%
W _{S50} (gr) =	108.54	8 min.	44	480	0.440	19.660	0.00145623	0.83827	2.1891%
σ (kg/m ²) =	80225	16 min.	45	960	0.450	19.650	0.00097082	0.83730	2.2388%
F (kg) =	354.42	32 min.	46	1920	0.460	19.640	0.00097082	0.83633	2.2886%
BP =	11	45 min.	46.5	2700	0.465	19.635	0.00048541	0.83584	2.3134%
Carga		1 hr.	47	3600	0.470	19.630	0.00048541	0.83536	2.3383%
F _f (kg) =	32.22	2 hr.	48.5	7200	0.485	19.615	0.00145623	0.83390	2.4129%
H _s (cm) =	1.07	4 hr.	49.5	14400	0.495	19.605	0.00097082	0.83293	2.4627%
		6 hr.	50	21600	0.500	19.600	0.00048541	0.83245	2.4876%
		8 hr.	51	28800	0.510	19.590	0.00097082	0.83148	2.5373%
		12 hr.	51.5	43200	0.515	19.585	0.00048541	0.83099	2.5622%
		24 hr.	53	86400	0.530	19.570	0.00145623	0.82953	2.6368%
		36 hr.	54	129600	0.540	19.560	0.00097082	0.82856	2.6866%
		48 hr.	55	172800	0.550	19.550	0.00097082	0.82759	2.7363%
		78 hr.	56.5	280800	0.565	19.535	0.00145623	0.82614	2.8109%
		94 hr.	57	338400	0.570	19.530	0.00048541	0.82565	2.8358%
		118 hr.	58.3	424800	0.583	19.517	0.00126207	0.82439	2.9005%
		142 hr.	58.5	511200	0.585	19.515	0.00019416	0.82419	2.9104%
		166 hr.	58.5	597600	0.585	19.515	0	0.82419	2.9104%
		190 hr.	58.5	684000	0.585	19.515	0	0.82419	2.9104%
		214 hr.	58.5	770400	0.585	19.515	0	0.82419	2.9104%

Muestra prueba : Tepe-Jal 70 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	0.88	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
Prof. (m) =	70	5 seg.	0	5	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1222.34	10 seg.	0.5	10	0.005	19.995	0.00048541	0.88050	0.0250%
Anillo 3		15 seg.	2	15	0.020	19.980	0.00145623	0.87905	0.1000%
ϕ (cm) =	7.694	30 seg.	9.5	30	0.095	19.905	0.00728116	0.87177	0.4750%
H (cm)	2	45 seg.	14	45	0.140	19.860	0.0043687	0.86740	0.7000%
A (cm ²) =	46.49	60 seg.	17.5	60	0.175	19.825	0.00339787	0.86400	0.8750%
V (cm ³) =	92.99	2 min.	20	120	0.200	19.800	0.00242705	0.86157	1.0000%
Muestra		4 min.	21	240	0.210	19.790	0.00097082	0.86060	1.0500%
Ws ₇₀ (gr) =	113.66	8 min.	22.9	480	0.229	19.771	0.00184456	0.85876	1.1450%
σ (kg/m ²) =	112315	16 min.	24	960	0.240	19.760	0.0010679	0.85769	1.2000%
F (kg) =	522.19	32 min.	25	1920	0.250	19.750	0.00097082	0.85672	1.2500%
BP =	11	45 min.	25.5	2700	0.255	19.745	0.00048541	0.85623	1.2750%
Carga		1 hr.	25.9	3600	0.259	19.741	0.00038833	0.85584	1.2950%
F _f (kg) =	47.47	2 hr.	26	7200	0.260	19.740	9.7082E-05	0.85575	1.3000%
H _s (cm) =	1.06	4 hr.	27	14400	0.270	19.730	0.00097082	0.85478	1.3500%
		6 hr.	29	21600	0.290	19.710	0.00194164	0.85283	1.4500%
		8 hr.	29.5	28800	0.295	19.705	0.00048541	0.85235	1.4750%
		12 hr.	30.5	43200	0.305	19.695	0.00097082	0.85138	1.5250%
		24 hr.	32.5	86400	0.325	19.675	0.00194164	0.84944	1.6250%
		36 hr.	34	129600	0.340	19.660	0.00145623	0.84798	1.7000%
		48 hr.	35.5	172800	0.355	19.645	0.00145623	0.84652	1.7750%
		78 hr.	38	280800	0.380	19.620	0.00242705	0.84410	1.9000%
		94 hr.	40.5	338400	0.405	19.595	0.00242705	0.84167	2.0250%
		118 hr.	42.5	424800	0.425	19.575	0.00194164	0.83973	2.1250%
		142 hr.	43.5	511200	0.435	19.565	0.00097082	0.83876	2.1750%
		166 hr.	44.5	597600	0.445	19.555	0.00097082	0.83779	2.2250%
		190 hr.	44.5	684000	0.445	19.555	0	0.83779	2.2250%
		214 hr.	44.5	770400	0.445	19.555	0	0.83779	2.2250%

Muestra prueba : Tepe-Jal 100 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	0.88	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
Prof. (m) =	100	5 seg.	0	5	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1222.34	10 seg.	0	10	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
Anillo 4		15 seg.	0	15	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
ϕ (cm) =	7.694	30 seg.	0	30	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
H (cm)	2	45 seg.	0	45	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
A (cm ²) =	46.49	60 seg.	0	60	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
V (cm ³) =	92.99	2 min.	0	120	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
Muestra		4 min.	0	240	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
Ws ₁₀₀ (gr) =	113.66	8 min.	0.1	480	0.001	19.999	9.7082E-05	0.88089	0.0050%
σ (kg/m ²) =	160450	16 min.	0.5	960	0.005	19.995	0.00038833	0.88050	0.0250%
F (kg) =	745.99	32 min.	0.5	1920	0.005	19.995	0	0.88050	0.0250%
BP =	11	45 min.	0.9	2700	0.009	19.991	0.00038833	0.88011	0.0450%
Carga		1 hr.	1	3600	0.010	19.990	9.7082E-05	0.88002	0.0500%
F _f (kg) =	67.82	2 hr.	1.1	7200	0.011	19.989	9.7082E-05	0.87992	0.0550%
H _s (cm) =	1.06	4 hr.	2	14400	0.020	19.980	0.00087374	0.87905	0.1000%
		6 hr.	4	21600	0.040	19.960	0.00194164	0.87710	0.2000%
		8 hr.	5	28800	0.050	19.950	0.00097082	0.87613	0.2500%
		12 hr.	6.9	43200	0.069	19.931	0.00184456	0.87429	0.3450%
		24 hr.	11	86400	0.110	19.890	0.00398037	0.87031	0.5500%
		36 hr.	12	129600	0.120	19.880	0.00097082	0.86934	0.6000%
		48 hr.	13	172800	0.130	19.870	0.00097082	0.86837	0.6500%
		78 hr.	14	280800	0.140	19.860	0.00097082	0.86740	0.7000%
		94 hr.	14.3	338400	0.143	19.857	0.00029125	0.86711	0.7150%
		118 hr.	14.5	424800	0.145	19.855	0.00019416	0.86691	0.7250%
		142 hr.	14.5	511200	0.145	19.855	0	0.86691	0.7250%
		166 hr.	14.5	597600	0.145	19.855	0	0.86691	0.7250%
		190 hr.	14.5	684000	0.145	19.855	0	0.86691	0.7250%
		214 hr.	14.5	770400	0.145	19.855	0	0.86691	0.7250%

ANEXO E.11: SERIE 3, TEPE-JAL

Muestra prueba : Tepe-Jal 30 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	0.88	1 seg.	0	1	0.000	19.430	0	0.88099	0.0000%
Prof. (m) =	30	5 seg.	0	5	0.000	19.430	0	0.88099	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1222.34	10 seg.	0	10	0.000	19.430	0	0.88099	0.0000%
Anillo 1		15 seg.	0	15	0.000	19.430	0	0.88099	0.0000%
ϕ (cm) =	7.493	30 seg.	2	30	0.020	19.410	0.00194164	0.87905	0.1029%
H (cm)	1.943	45 seg.	4	45	0.040	19.390	0.00194164	0.87710	0.2059%
A (cm ²) =	44.10	60 seg.	6	60	0.060	19.370	0.00194164	0.87516	0.3088%
V (cm ³) =	85.68	2 min.	18.5	120	0.185	19.245	0.01213527	0.86303	0.9521%
Muestra		4 min.	31	240	0.310	19.120	0.01213527	0.85089	1.5955%
Ws ₃₀ (gr) =	104.73	8 min.	32.9	480	0.329	19.101	0.00184456	0.84905	1.6933%
σ (kg/m ²) =	48135	16 min.	33.5	960	0.335	19.095	0.00058249	0.84847	1.7241%
F (kg) =	212.26	32 min.	34.3	1920	0.343	19.087	0.00077666	0.84769	1.7653%
BP =	11	45 min.	35	2700	0.350	19.080	0.00067957	0.84701	1.8013%
Carga		1 hr.	35.3	3600	0.353	19.077	0.00029125	0.84672	1.8168%
F _f (kg) =	19.30	2 hr.	36	7200	0.360	19.070	0.00067957	0.84604	1.8528%
H _s (cm) =	1.03	4 hr.	37	14400	0.370	19.060	0.00097082	0.84507	1.9043%
		6 hr.	37.5	21600	0.375	19.055	0.00048541	0.84458	1.9300%
		8 hr.	37.9	28800	0.379	19.051	0.00038833	0.84419	1.9506%
		24 hr.	40	86400	0.400	19.030	0.00203872	0.84216	2.0587%
		36 hr.	40	129600	0.400	19.030	0	0.84216	2.0587%
		48 hr.	40.5	172800	0.405	19.025	0.00048541	0.84167	2.0844%
		72 hr.	41	259200	0.410	19.020	0.00048541	0.84118	2.1101%
		96 hr.	41.9	345600	0.419	19.011	0.00087374	0.84031	2.1565%
		120 hr.	42	432000	0.420	19.010	9.7082E-05	0.84021	2.1616%
		144 hr.	42	518400	0.420	19.010	0	0.84021	2.1616%
		168 hr.	42	604800	0.420	19.010	0	0.84021	2.1616%

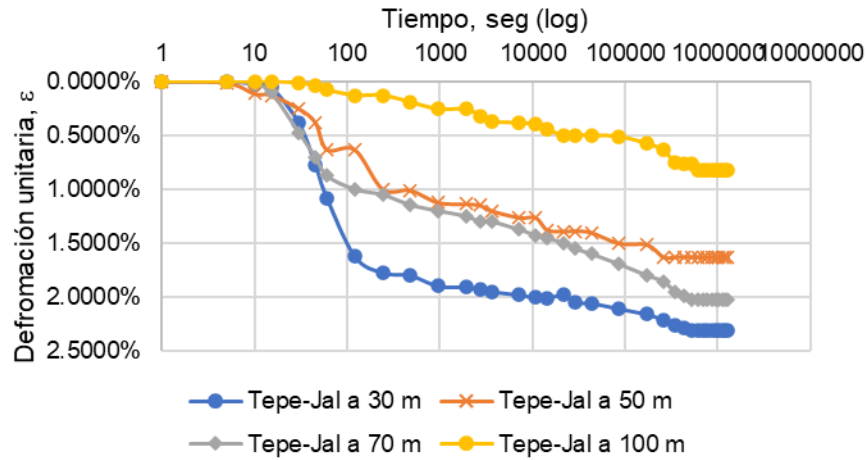
Muestra prueba : Tepe-Jal 50 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	0.88	1 seg.	0	1	0.000	20.100	0	0.88099	0.0000%
Prof. (m) =	50	5 seg.	0.5	5	0.005	20.095	0.00048541	0.88050	0.0249%
γ_d (kg/m ³) =	1222.34	10 seg.	0.9	10	0.009	20.091	0.00038833	0.88011	0.0448%
Anillo 2		15 seg.	1.5	15	0.015	20.085	0.00058249	0.87953	0.0746%
ϕ (cm) =	7.5	30 seg.	6.5	30	0.065	20.035	0.00485411	0.87468	0.3234%
H (cm)	2.01	45 seg.	14	45	0.140	19.960	0.00728116	0.86740	0.6965%
A (cm ²) =	44.18	60 seg.	20	60	0.200	19.900	0.00582493	0.86157	0.9950%
V (cm ³) =	88.80	2 min.	35	120	0.350	19.750	0.01456232	0.84701	1.7413%
Muestra		4 min.	37	240	0.370	19.730	0.00194164	0.84507	1.8408%
W _{S50} (gr) =	108.54	8 min.	39	480	0.390	19.710	0.00194164	0.84313	1.9403%
σ (kg/m ²) =	80225	16 min.	40	960	0.400	19.700	0.00097082	0.84216	1.9900%
F (kg) =	354.42	32 min.	41	1920	0.410	19.690	0.00097082	0.84118	2.0398%
BP =	11	45 min.	41.9	2700	0.419	19.681	0.00087374	0.84031	2.0846%
Carga		1 hr.	42	3600	0.420	19.680	9.7082E-05	0.84021	2.0896%
F _f (kg) =	32.22	2 hr.	43.5	7200	0.435	19.665	0.00145623	0.83876	2.1642%
H _s (cm) =	1.07	4 hr.	44.5	14400	0.445	19.655	0.00097082	0.83779	2.2139%
		6 hr.	45.9	21600	0.459	19.641	0.00135915	0.83643	2.2836%
		8 hr.	45.9	28800	0.459	19.641	0	0.83643	2.2836%
		24 hr.	48	86400	0.480	19.620	0.00203872	0.83439	2.3881%
		36 hr.	48	129600	0.480	19.620	0	0.83439	2.3881%
		48 hr.	49.5	172800	0.495	19.605	0.00145623	0.83293	2.4627%
		72 hr.	50	259200	0.500	19.600	0.00048541	0.83245	2.4876%
		96 hr.	51.5	345600	0.515	19.585	0.00145623	0.83099	2.5622%
		120 hr.	52	432000	0.520	19.580	0.00048541	0.83051	2.5871%
		144 hr.	52	518400	0.520	19.580	0	0.83051	2.5871%
		168 hr.	52	604800	0.520	19.580	0	0.83051	2.5871%

Muestra prueba : Tepe-Jal 70 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ϵ
$e =$	0.88	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
Prof. (m) =	70	5 seg.	0	5	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1222.34	10 seg.	0	10	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
Anillo 3		15 seg.	0.5	15	0.005	19.995	0.00048541	0.88050	0.0250%
ϕ (cm) =	7.694	30 seg.	1.1	30	0.011	19.989	0.00058249	0.87992	0.0550%
H (cm)	2	45 seg.	2.5	45	0.025	19.975	0.00135915	0.87856	0.1250%
A (cm ²) =	46.49	60 seg.	4	60	0.040	19.960	0.00145623	0.87710	0.2000%
V (cm ³) =	92.99	2 min.	17	120	0.170	19.830	0.01262068	0.86448	0.8500%
Muestra		4 min.	23	240	0.230	19.770	0.00582493	0.85866	1.1500%
Ws ₇₀ (gr) =	113.66	8 min.	26	480	0.260	19.740	0.00291246	0.85575	1.3000%
σ (kg/m ²) =	112315	16 min.	27.3	960	0.273	19.727	0.00126207	0.85448	1.3650%
F (kg) =	522.19	32 min.	29	1920	0.290	19.710	0.0016504	0.85283	1.4500%
BP =	11	45 min.	30	2700	0.300	19.700	0.00097082	0.85186	1.5000%
Carga		1 hr.	31	3600	0.310	19.690	0.00097082	0.85089	1.5500%
F _f (kg) =	47.47	2 hr.	32.9	7200	0.329	19.671	0.00184456	0.84905	1.6450%
H _s (cm) =	1.06	4 hr.	34	14400	0.340	19.660	0.0010679	0.84798	1.7000%
		6 hr.	37	21600	0.370	19.630	0.00291246	0.84507	1.8500%
		8 hr.	37	28800	0.370	19.630	0	0.84507	1.8500%
		24 hr.	39	86400	0.390	19.610	0.00194164	0.84313	1.9500%
		36 hr.	39	129600	0.390	19.610	0	0.84313	1.9500%
		48 hr.	40.5	172800	0.405	19.595	0.00145623	0.84167	2.0250%
		72 hr.	42	259200	0.420	19.580	0.00145623	0.84021	2.1000%
		96 hr.	42.9	345600	0.429	19.571	0.00087374	0.83934	2.1450%
		120 hr.	43	432000	0.430	19.570	9.7082E-05	0.83924	2.1500%
		144 hr.	43.5	518400	0.435	19.565	0.00048541	0.83876	2.1750%
		168 hr.	43.5	604800	0.435	19.565	0	0.83876	2.1750%
		192 hr.	43.5	691200	0.435	19.565	0	0.83876	2.1750%

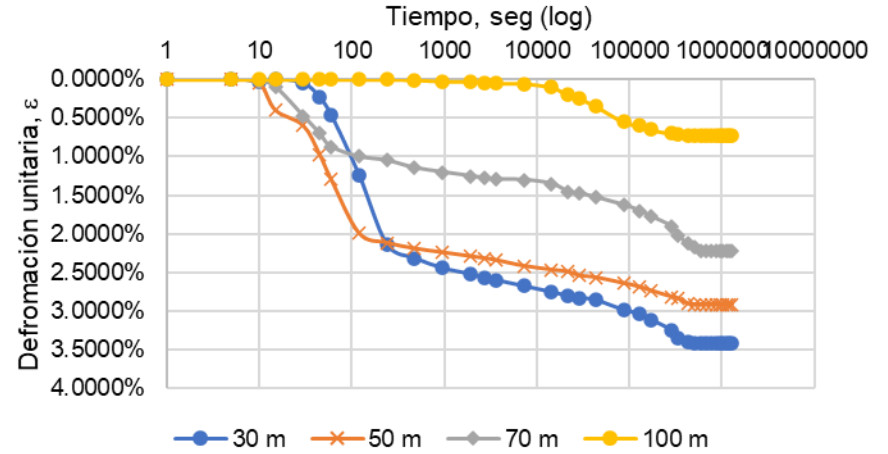
Muestra prueba : Tepe-Jal 100 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
$e =$	0.88	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	0.88099	0.0000%
Prof. (m) =	100	5 seg.	0.3	5	0.003	19.997	0.00029125	0.88070	0.0150%
γ_d (kg/m ³) =	1222.34	10 seg.	0.9	10	0.009	19.991	0.00058249	0.88011	0.0450%
Anillo 4		15 seg.	1	15	0.010	19.990	9.7082E-05	0.88002	0.0500%
ϕ (cm) =	7.694	30 seg.	1.1	30	0.011	19.989	9.7082E-05	0.87992	0.0550%
H (cm)	2	45 seg.	2	45	0.020	19.980	0.00087374	0.87905	0.1000%
A (cm ²) =	46.49	60 seg.	3	60	0.030	19.970	0.00097082	0.87808	0.1500%
V (cm ³) =	92.99	2 min.	8	120	0.080	19.920	0.00485411	0.87322	0.4000%
Muestra		4 min.	17	240	0.170	19.830	0.00873739	0.86448	0.8500%
Ws ₁₀₀ (gr) =	113.66	8 min.	22	480	0.220	19.780	0.00485411	0.85963	1.1000%
σ (kg/m ²) =	160450	16 min.	24.5	960	0.245	19.755	0.00242705	0.85720	1.2250%
F (kg) =	745.99	32 min.	27	1920	0.270	19.730	0.00242705	0.85478	1.3500%
BP =	11	45 min.	28	2700	0.280	19.720	0.00097082	0.85381	1.4000%
Carga		1 hr.	29.5	3600	0.295	19.705	0.00145623	0.85235	1.4750%
F _f (kg) =	67.82	2 hr.	31.9	7200	0.319	19.681	0.00232997	0.85002	1.5950%
H _s (cm) =	1.06	4 hr.	35	14400	0.350	19.650	0.00300955	0.84701	1.7500%
		6 hr.	38	21600	0.380	19.620	0.00291246	0.84410	1.9000%
		8 hr.	38	28800	0.380	19.620	0	0.84410	1.9000%
		24 hr.	46	86400	0.460	19.540	0.00776657	0.83633	2.3000%
		36 hr.	46	129600	0.460	19.540	0	0.83633	2.3000%
		48 hr.	51	172800	0.510	19.490	0.00485411	0.83148	2.5500%
		72 hr.	56	259200	0.560	19.440	0.00485411	0.82662	2.8000%
		96 hr.	58	345600	0.580	19.420	0.00194164	0.82468	2.9000%
		120 hr.	60	432000	0.600	19.400	0.00194164	0.82274	3.0000%
		144 hr.	63	518400	0.630	19.370	0.00291246	0.81983	3.1500%
		168 hr.	63	604800	0.630	19.370	0	0.81983	3.1500%
		192 hr.	63	691200	0.630	19.370	0	0.81983	3.1500%

ANEXO E.12: GRÁFICAS COLAPSO TEPE-JAL

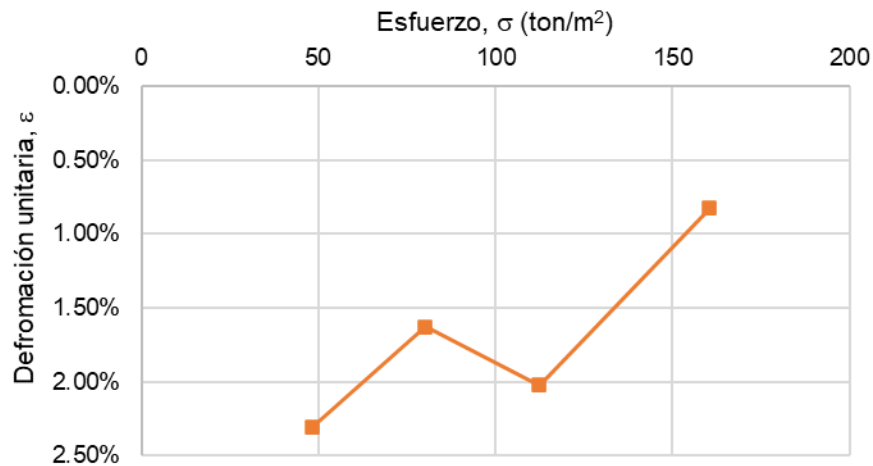
Muestra: Tepe-Jal, colapso



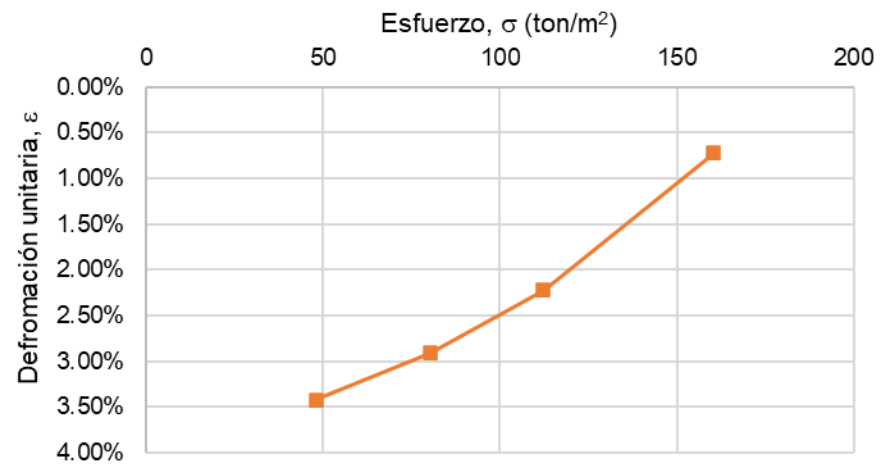
Muestra: Tepe-Jal, colapso



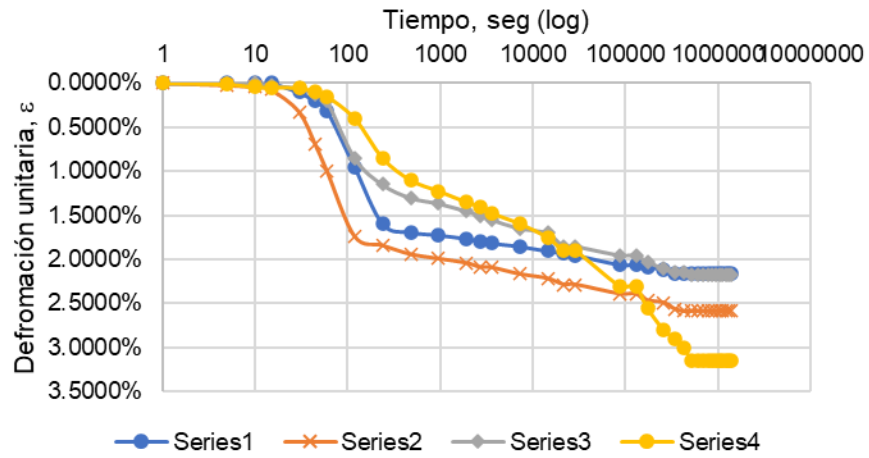
Cuádruple edómetro: Tepe-Jal



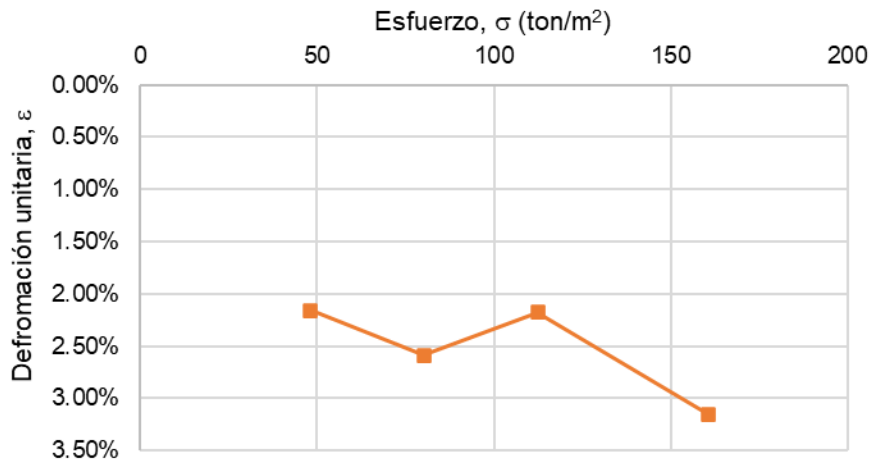
Cuádruple edómetro: Tepe-Jal



Muestra: Tepe-Jal, colapso



Cuádruple edómetro: Tepe-Jal



ANEXO E.13: SERIE 1, TEPETATE

Muestra prueba : Tepetate 30 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
e =	0.80	1 seg.	0	1	0.000	19.430	0	0.79628	0.0000%
Prof. (m) =	30	5 seg.	0.5	5	0.005	19.425	0.00046224	0.79581	0.0257%
γ_d (kg/m ³) =	1283.60	10 seg.	1	10	0.010	19.420	0.00046224	0.79535	0.0515%
Anillo		20 seg.	1	20	0.010	19.420	0	0.79535	0.0515%
ϕ (cm) =	7.493	30 seg.	2.5	30	0.025	19.405	0.00138673	0.79396	0.1287%
H (cm)	1.943	45 seg.	4	45	0.040	19.390	0.00138673	0.79258	0.2059%
A (cm ²) =	44.10	60 seg.	6	60	0.060	19.370	0.00184897	0.79073	0.3088%
V (cm ³) =	85.68	2 min.	21	120	0.210	19.220	0.01386729	0.77686	1.0808%
Muestra		4 min.	21	240	0.210	19.220	0	0.77686	1.0808%
Ws ₃₀ (gr) =	109.98	8 min.	21	480	0.210	19.220	0	0.77686	1.0808%
σ (kg/m ²) =	48135	16 min.	22.5	960	0.225	19.205	0.00138673	0.77548	1.1580%
F (kg) =	212.26	30 min.	23	1800	0.230	19.200	0.00046224	0.77501	1.1837%
BP =	11	45 min.	23	2700	0.230	19.200	0	0.77501	1.1837%
Carga		1 hr.	23	3600	0.230	19.200	0	0.77501	1.1837%
F _f (kg) =	19.30	2 hr.	23.1	7200	0.231	19.199	9.2449E-05	0.77492	1.1889%
H _s (cm) =	1.08	3 hr.	23.5	10800	0.235	19.195	0.00036979	0.77455	1.2095%
		4 hr.	23.5	14400	0.235	19.195	0	0.77455	1.2095%
		5 hr.	23.5	18000	0.235	19.195	0	0.77455	1.2095%
		6 hr.	23.9	21600	0.239	19.191	0.00036979	0.77418	1.2301%
		7 hr.	24	25200	0.240	19.190	9.2449E-05	0.77409	1.2352%
		8 hr.	24	28800	0.240	19.190	0	0.77409	1.2352%
		10 hr.	24	36000	0.240	19.190	0	0.77409	1.2352%
		12 hr.	24	43200	0.240	19.190	0	0.77409	1.2352%
		16 hr.	24.1	57600	0.241	19.189	9.2449E-05	0.77400	1.2403%
		20 hr.	24.3	72000	0.243	19.187	0.0001849	0.77381	1.2506%
		24 hr.	24.5	86400	0.245	19.185	0.0001849	0.77363	1.2609%
		36 hr.	27.9	129600	0.279	19.151	0.00314325	0.77048	1.4359%
		48 hr.	27.9	172800	0.279	19.151	0	0.77048	1.4359%

Muestra prueba : Tepetate 50 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ϵ
$e =$	0.80	1 seg.	0	1	0.000	20.100	0	0.79628	0.0000%
Prof. (m) =	50	5 seg.	1.5	5	0.015	20.085	0.00138673	0.79489	0.0746%
γ_d (kg/m ³) =	1283.60	10 seg.	5	10	0.050	20.050	0.0032357	0.79165	0.2488%
Anillo		20 seg.	12.5	20	0.125	19.975	0.00693364	0.78472	0.6219%
ϕ (cm) =	7.5	30 seg.	13	30	0.130	19.970	0.00046224	0.78426	0.6468%
H (cm) =	2.01	45 seg.	15	45	0.150	19.950	0.00184897	0.78241	0.7463%
A (cm ²) =	44.18	60 seg.	20	60	0.200	19.900	0.00462243	0.77779	0.9950%
V (cm ³) =	88.80	2 min.	29	120	0.290	19.810	0.00832037	0.76947	1.4428%
Muestra		4 min.	31	240	0.310	19.790	0.00184897	0.76762	1.5423%
Ws ₃₀ (gr) =	113.98	8 min.	31.5	480	0.315	19.785	0.00046224	0.76715	1.5672%
σ (kg/m ²) =	80225	16 min.	33.1	960	0.331	19.769	0.00147918	0.76568	1.6468%
F (kg) =	354.42	30 min.	34.5	1800	0.345	19.755	0.00129428	0.76438	1.7164%
BP =	11	45 min.	35	2700	0.350	19.750	0.00046224	0.76392	1.7413%
Carga		1 hr.	36	3600	0.360	19.740	0.00092449	0.76299	1.7910%
F _f (kg) =	32.22	2 hr.	37	7200	0.370	19.730	0.00092449	0.76207	1.8408%
H _s (cm) =	1.12	3 hr.	38.2	10800	0.382	19.718	0.00110938	0.76096	1.9005%
		4 hr.	39	14400	0.390	19.710	0.00073959	0.76022	1.9403%
		5 hr.	39.5	18000	0.395	19.705	0.00046224	0.75976	1.9652%
		6 hr.	40	21600	0.400	19.700	0.00046224	0.75930	1.9900%
		7 hr.	40.5	25200	0.405	19.695	0.00046224	0.75883	2.0149%
		8 hr.	40	28800	0.400	19.700	-0.00046224	0.75930	1.9900%
		10 hr.	41	36000	0.410	19.690	0.00092449	0.75837	2.0398%
		12 hr.	42.3	43200	0.423	19.677	0.00120183	0.75717	2.1045%
		16 hr.	42.8	57600	0.428	19.672	0.00046224	0.75671	2.1294%
		20 hr.	43.5	72000	0.435	19.665	0.00064714	0.75606	2.1642%
		24 hr.	45.5	86400	0.455	19.645	0.00184897	0.75421	2.2637%
		36 hr.	45.5	129600	0.455	19.645	0	0.75421	2.2637%
		48 hr.	45.5	172800	0.455	19.645	0	0.75421	2.2637%

Muestra prueba : Tepetate 70 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ϵ
$e =$	0.80	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	0.79628	0.0000%
Prof. (m) =	70	5 seg.	0	5	0.000	20.000	0	0.79628	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1283.60	10 seg.	0.5	10	0.005	19.995	0.00046224	0.79581	0.0250%
Anillo		20 seg.	1.5	20	0.015	19.985	0.00092449	0.79489	0.0750%
ϕ (cm) =	7.696	30 seg.	3.5	30	0.035	19.965	0.00184897	0.79304	0.1750%
H (cm) =	2	45 seg.	5.5	45	0.055	19.945	0.00184897	0.79119	0.2750%
A (cm ²) =	46.52	60 seg.	7.5	60	0.075	19.925	0.00184897	0.78934	0.3750%
V (cm ³) =	93.04	2 min.	14.5	120	0.145	19.855	0.0064714	0.78287	0.7250%
Muestra		4 min.	23	240	0.230	19.770	0.00785813	0.77501	1.1500%
Ws ₃₀ (gr) =	119.42	8 min.	24.5	480	0.245	19.755	0.00138673	0.77363	1.2250%
σ (kg/m ²) =	112315	16 min.	25.5	960	0.255	19.745	0.00092449	0.77270	1.2750%
F (kg) =	522.47	30 min.	26.1	1800	0.261	19.739	0.00055469	0.77215	1.3050%
BP =	11	45 min.	27	2700	0.270	19.730	0.00083204	0.77131	1.3500%
Carga		1 hr.	27	3600	0.270	19.730	0	0.77131	1.3500%
F _f (kg) =	47.50	2 hr.	28	7200	0.280	19.720	0.00092449	0.77039	1.4000%
H _s (cm) =	1.11	3 hr.	28.3	10800	0.283	19.717	0.00027735	0.77011	1.4150%
		4 hr.	28.3	14400	0.283	19.717	0	0.77011	1.4150%
		5 hr.	28.9	18000	0.289	19.711	0.00055469	0.76956	1.4450%
		6 hr.	29	21600	0.290	19.710	9.2449E-05	0.76947	1.4500%
		7 hr.	30	25200	0.300	19.700	0.00092449	0.76854	1.5000%
		8 hr.	29.2	28800	0.292	19.708	-0.00073959	0.76928	1.4600%
		10 hr.	30	36000	0.300	19.700	0.00073959	0.76854	1.5000%
		12 hr.	30	43200	0.300	19.700	0	0.76854	1.5000%
		16 hr.	30	57600	0.300	19.700	0	0.76854	1.5000%
		20 hr.	30	72000	0.300	19.700	0	0.76854	1.5000%
		24 hr.	30.6	86400	0.306	19.694	0.00055469	0.76799	1.5300%
		36 hr.	30.6	129600	0.306	19.694	0	0.76799	1.5300%
		48 hr.	30.6	172800	0.306	19.694	0	0.76799	1.5300%

Muestra prueba : Tepetate 100 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ϵ
$e =$	0.80	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	0.79628	0.0000%
Prof. (m) =	100	5 seg.	0	5	0.000	20.000	0	0.79628	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1283.60	10 seg.	0.5	10	0.005	19.995	0.00046224	0.79581	0.0250%
Anillo		20 seg.	1.5	20	0.015	19.985	0.00092449	0.79489	0.0750%
ϕ (cm) =	7.696	30 seg.	3.5	30	0.035	19.965	0.00184897	0.79304	0.1750%
H (cm)	2	45 seg.	5.5	45	0.055	19.945	0.00184897	0.79119	0.2750%
A (cm ²) =	46.52	60 seg.	7.5	60	0.075	19.925	0.00184897	0.78934	0.3750%
V (cm ³) =	93.04	2 min.	14.5	120	0.145	19.855	0.0064714	0.78287	0.7250%
Muestra		4 min.	23	240	0.230	19.770	0.00785813	0.77501	1.1500%
Ws ₃₀ (gr) =	119.42	8 min.	24.5	480	0.245	19.755	0.00138673	0.77363	1.2250%
σ (kg/m ²) =	160450	16 min.	25.5	960	0.255	19.745	0.00092449	0.77270	1.2750%
F (kg) =	746.38	30 min.	26.1	1800	0.261	19.739	0.00055469	0.77215	1.3050%
BP =	11	45 min.	27	2700	0.270	19.730	0.00083204	0.77131	1.3500%
Carga		1 hr.	27	3600	0.270	19.730	0	0.77131	1.3500%
F _f (kg) =	67.85	2 hr.	28	7200	0.280	19.720	0.00092449	0.77039	1.4000%
H _s (cm) =	1.11	3 hr.	28.3	10800	0.283	19.717	0.00027735	0.77011	1.4150%
		4 hr.	28.3	14400	0.283	19.717	0	0.77011	1.4150%
		5 hr.	28.9	18000	0.289	19.711	0.00055469	0.76956	1.4450%
		6 hr.	29	21600	0.290	19.710	9.2449E-05	0.76947	1.4500%
		7 hr.	30	25200	0.300	19.700	0.00092449	0.76854	1.5000%
		8 hr.	29.2	28800	0.292	19.708	-0.00073959	0.76928	1.4600%
		10 hr.	30	36000	0.300	19.700	0.00073959	0.76854	1.5000%
		12 hr.	30	43200	0.300	19.700	0	0.76854	1.5000%
		16 hr.	30	57600	0.300	19.700	0	0.76854	1.5000%
		20 hr.	30	72000	0.300	19.700	0	0.76854	1.5000%
		24 hr.	30.6	86400	0.306	19.694	0.00055469	0.76799	1.5300%
		36 hr.	30.6	129600	0.306	19.694	0	0.76799	1.5300%
		48 hr.	30.6	172800	0.306	19.694	0	0.76799	1.5300%

ANEXO E.14: SERIE 2, TEPETATE

Muestra prueba : Tepetate 30 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
e =	0.80	1 seg.	0	1	0.000	19.430	0	0.79628	0.0000%
Prof. (m) =	30	5 seg.	0	5	0.000	19.430	0	0.79628	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1283.60	10 seg.	0	10	0.000	19.430	0	0.79628	0.0000%
Anillo		15 seg.	0	15	0.000	19.430	0	0.79628	0.0000%
ϕ (cm) =	7.493	30 seg.	4.5	30	0.045	19.385	0.00416019	0.79212	0.2316%
H (cm) =	1.943	45 seg.	14.5	45	0.145	19.285	0.00924486	0.78287	0.7463%
A (cm ²) =	44.10	60 seg.	22	60	0.220	19.210	0.00693364	0.77594	1.1323%
V (cm ³) =	85.68	2 min.	47	120	0.470	18.960	0.02311215	0.75283	2.4189%
Muestra		4 min.	71	240	0.710	18.720	0.02218766	0.73064	3.6541%
Ws ₃₀ (gr) =	109.98	8 min.	74.1	480	0.741	18.689	0.00286591	0.72777	3.8137%
σ (kg/m ²) =	48135	15 min.	75.5	900	0.755	18.675	0.00129428	0.72648	3.8857%
F (kg) =	212.26	30 min.	76	1800	0.760	18.670	0.00046224	0.72602	3.9115%
BP =	11	45 min.	77	2700	0.770	18.660	0.00092449	0.72509	3.9629%
Carga		1 hr.	77	3600	0.770	18.660	0	0.72509	3.9629%
F _f (kg) =	19.30	2 hr.	77.3	7200	0.773	18.657	0.00027735	0.72481	3.9784%
H _s (cm) =	1.08	4 hr.	78	14400	0.780	18.650	0.00064714	0.72417	4.0144%
		6 hr.	80.5	21600	0.805	18.625	0.00231121	0.72185	4.1431%
		8 hr.	79	28800	0.790	18.640	-0.00138673	0.72324	4.0659%
		12 hr.	79.5	43200	0.795	18.635	0.00046224	0.72278	4.0916%
		24 hr.	80.5	86400	0.805	18.625	0.00092449	0.72185	4.1431%
		36 hr.	81.3	129600	0.813	18.617	0.00073959	0.72112	4.1843%
		48 hr.	82	172800	0.820	18.610	0.00064714	0.72047	4.2203%
		144 hr.	83	518400	0.830	18.600	0.00092449	0.71954	4.2717%

Muestra prueba : Tepetate 50 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ϵ
$e =$	0.80	1 seg.	0	1	0.000	20.100	0	0.79628	0.0000%
Prof. (m) =	50	5 seg.	0	5	0.000	20.100	0	0.79628	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1283.60	10 seg.	2	10	0.020	20.080	0.00184897	0.79443	0.0995%
Anillo		15 seg.	4	15	0.040	20.060	0.00184897	0.79258	0.1990%
ϕ (cm) =	7.5	30 seg.	14.5	30	0.145	19.955	0.0097071	0.78287	0.7214%
H (cm) =	2.01	45 seg.	25	45	0.250	19.850	0.0097071	0.77316	1.2438%
A (cm ²) =	44.18	60 seg.	36	60	0.360	19.740	0.01016934	0.76299	1.7910%
V (cm ³) =	88.80	2 min.	59	120	0.590	19.510	0.02126318	0.74173	2.9353%
Muestra		4 min.	63.5	240	0.635	19.465	0.00416019	0.73757	3.1592%
W _{S50} (gr) =	113.98	8 min.	65	480	0.650	19.450	0.00138673	0.73618	3.2338%
σ (kg/m ²) =	80225	15 min.	66.1	900	0.661	19.439	0.00101693	0.73517	3.2886%
F (kg) =	354.42	30 min.	66.5	1800	0.665	19.435	0.00036979	0.73480	3.3085%
BP =	11	45 min.	68.5	2700	0.685	19.415	0.00184897	0.73295	3.4080%
Carga		1 hr.	69	3600	0.690	19.410	0.00046224	0.73249	3.4328%
F _f (kg) =	32.22	2 hr.	70	7200	0.700	19.400	0.00092449	0.73156	3.4826%
H _s (cm) =	1.12	4 hr.	71.5	14400	0.715	19.385	0.00138673	0.73018	3.5572%
		6 hr.	72	21600	0.720	19.380	0.00046224	0.72971	3.5821%
		8 hr.	73	28800	0.730	19.370	0.00092449	0.72879	3.6318%
		12 hr.	74	43200	0.740	19.360	0.00092449	0.72786	3.6816%
		24 hr.	76	86400	0.760	19.340	0.00184897	0.72602	3.7811%
		36 hr.	77	129600	0.770	19.330	0.00092449	0.72509	3.8308%
		48 hr.	77.9	172800	0.779	19.321	0.00083204	0.72426	3.8756%
		144 hr.	79	518400	0.790	19.310	0.00101693	0.72324	3.9303%

Muestra prueba : Tepetate 70 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ϵ
$e =$	0.80	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	0.79628	0.0000%
Prof. (m) =	70	5 seg.	0	5	0.000	20.000	0	0.79628	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1283.60	10 seg.	0.9	10	0.009	19.991	0.00083204	0.79544	0.0450%
Anillo		15 seg.	3	15	0.030	19.970	0.00194142	0.79350	0.1500%
ϕ (cm) =	7.696	30 seg.	13.5	30	0.135	19.865	0.0097071	0.78380	0.6750%
H (cm) =	2	45 seg.	24	45	0.240	19.760	0.0097071	0.77409	1.2000%
A (cm ²) =	46.52	60 seg.	33	60	0.330	19.670	0.00832037	0.76577	1.6500%
V (cm ³) =	93.04	2 min.	56	120	0.560	19.440	0.02126318	0.74450	2.8000%
Muestra		4 min.	61	240	0.610	19.390	0.00462243	0.73988	3.0500%
W _{s70} (gr) =	119.42	8 min.	63.5	480	0.635	19.365	0.00231121	0.73757	3.1750%
σ (kg/m ²) =	112315	15 min.	64	900	0.640	19.360	0.00046224	0.73711	3.2000%
F (kg) =	522.47	30 min.	64	1800	0.640	19.360	0	0.73711	3.2000%
BP =	11	45 min.	64	2700	0.640	19.360	0	0.73711	3.2000%
Carga		1 hr.	65	3600	0.650	19.350	0.00092449	0.73618	3.2500%
F _f (kg) =	47.50	2 hr.	66	7200	0.660	19.340	0.00092449	0.73526	3.3000%
H _s (cm) =	1.11	4 hr.	68	14400	0.680	19.320	0.00184897	0.73341	3.4000%
		6 hr.	68	21600	0.680	19.320	0	0.73341	3.4000%
		8 hr.	71	28800	0.710	19.290	0.00277346	0.73064	3.5500%
		12 hr.	72	43200	0.720	19.280	0.00092449	0.72971	3.6000%
		24 hr.	74	86400	0.740	19.260	0.00184897	0.72786	3.7000%
		36 hr.	75.5	129600	0.755	19.245	0.00138673	0.72648	3.7750%
		48 hr.	77	172800	0.770	19.230	0.00138673	0.72509	3.8500%
		144 hr.	79	518400	0.790	19.210	0.00184897	0.72324	3.9500%

Muestra prueba : Tepetate 100 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ϵ
$e =$	0.80	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	0.79628	0.0000%
Prof. (m) =	100	5 seg.	0	5	0.000	20.000	0	0.79628	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1283.60	10 seg.	0.5	10	0.005	19.995	0.00046224	0.79581	0.0250%
Anillo		15 seg.	1	15	0.010	19.990	0.00046224	0.79535	0.0500%
ϕ (cm) =	7.696	30 seg.	6.3	30	0.063	19.937	0.00489978	0.79045	0.3150%
H (cm) =	2	45 seg.	13	45	0.130	19.870	0.00619406	0.78426	0.6500%
A (cm ²) =	46.52	60 seg.	20	60	0.200	19.800	0.0064714	0.77779	1.0000%
V (cm ³) =	93.04	2 min.	47	120	0.470	19.530	0.02496112	0.75283	2.3500%
Muestra		4 min.	71	240	0.710	19.290	0.02218766	0.73064	3.5500%
Ws ₁₀₀ (gr) =	119.42	8 min.	72.5	480	0.725	19.275	0.00138673	0.72925	3.6250%
σ (kg/m ²) =	160450	15 min.	73	900	0.730	19.270	0.00046224	0.72879	3.6500%
F (kg) =	746.38	30 min.	73.5	1800	0.735	19.265	0.00046224	0.72833	3.6750%
BP =	11	45 min.	73.9	2700	0.739	19.261	0.00036979	0.72796	3.6950%
Carga		1 hr.	74	3600	0.740	19.260	9.2449E-05	0.72786	3.7000%
F _f (kg) =	67.85	2 hr.	74	7200	0.740	19.260	0	0.72786	3.7000%
H _s (cm) =	1.11	4 hr.	74.5	14400	0.745	19.255	0.00046224	0.72740	3.7250%
		6 hr.	74.9	21600	0.749	19.251	0.00036979	0.72703	3.7450%
		8 hr.	75	28800	0.750	19.250	9.2449E-05	0.72694	3.7500%
		12 hr.	75	43200	0.750	19.250	0	0.72694	3.7500%
		24 hr.	75	86400	0.750	19.250	0	0.72694	3.7500%
		36 hr.	75.1	129600	0.751	19.249	9.2449E-05	0.72685	3.7550%
		48 hr.	75.5	172800	0.755	19.245	0.00036979	0.72648	3.7750%
		144 hr.	76	518400	0.760	19.240	0.00046224	0.72602	3.8000%

ANEXO E.15: SERIE 3, TEPETATE

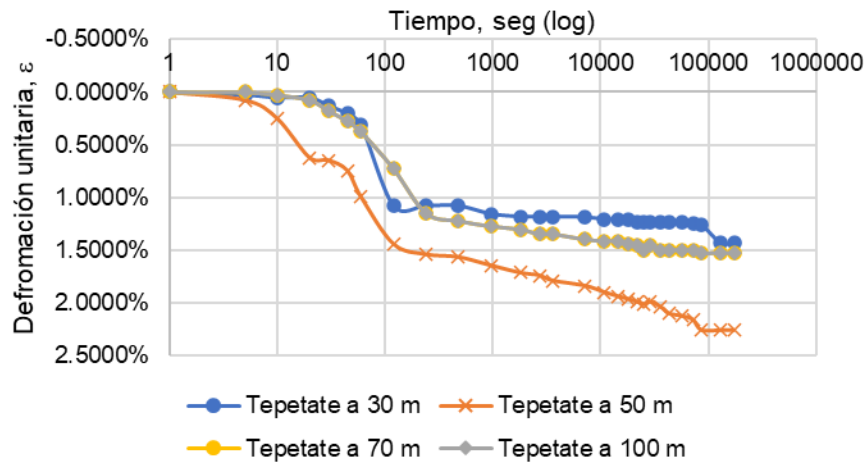
Muestra prueba : Tepetate 30 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ε
e =	0.80	1 seg.	0	1	0.000	19.430	0	0.79628	0.0000%
Prof. (m) =	30	5 seg.	0	5	0.000	19.430	0	0.79628	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1283.60	10 seg.	0	10	0.000	19.430	0	0.79628	0.0000%
Anillo		15 seg.	0	15	0.000	19.430	0	0.79628	0.0000%
ϕ (cm) =	7.493	30 seg.	0.5	30	0.005	19.425	0.00046224	0.79581	0.0257%
H (cm) =	1.943	45 seg.	1.5	45	0.015	19.415	0.00092449	0.79489	0.0772%
A (cm ²) =	44.10	60 seg.	3.5	60	0.035	19.395	0.00184897	0.79304	0.1801%
V (cm ³) =	85.68	2 min.	12	120	0.120	19.310	0.00785813	0.78518	0.6176%
Muestra		4 min.	37	240	0.370	19.060	0.02311215	0.76207	1.9043%
Ws ₃₀ (gr) =	109.98	8 min.	69	480	0.690	18.740	0.02958355	0.73249	3.5512%
σ (kg/m ²) =	48135	15 min.	74.5	900	0.745	18.685	0.00508467	0.72740	3.8343%
F (kg) =	212.26	30 min.	80	1800	0.800	18.630	0.00508467	0.72232	4.1173%
BP =	11	45 min.	83	2700	0.830	18.600	0.00277346	0.71954	4.2717%
Carga		1 hr.	84	3600	0.840	18.590	0.00092449	0.71862	4.3232%
F _f (kg) =	19.30	2 hr.	86	7200	0.860	18.570	0.00184897	0.71677	4.4261%
H _s (cm) =	1.08	4 hr.	87	14400	0.870	18.560	0.00092449	0.71585	4.4776%
		8 hr.	88	28800	0.880	18.550	0.00092449	0.71492	4.5291%
		12 hr.	88.5	43200	0.885	18.545	0.00046224	0.71446	4.5548%
		24 hr.	90	86400	0.900	18.530	0.00138673	0.71307	4.6320%
		48 hr.	91	172800	0.910	18.520	0.00092449	0.71215	4.6835%
		72 hr.	91.5	259200	0.915	18.515	0.00046224	0.71169	4.7092%
		96 hr.	92.3	345600	0.923	18.507	0.00073959	0.71095	4.7504%
		120 hr.	92.5	432000	0.925	18.505	0.0001849	0.71076	4.7607%
		144 hr.	92.5	518400	0.925	18.505	0	0.71076	4.7607%

Muestra prueba : Tepetate 50 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ϵ
$e =$	0.80	1 seg.	0	1	0.000	20.100	0	0.79628	0.0000%
Prof. (m) =	50	5 seg.	0	5	0.000	20.100	0	0.79628	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1283.60	10 seg.	0	10	0.000	20.100	0	0.79628	0.0000%
Anillo		15 seg.	3	15	0.030	20.070	0.00277346	0.79350	0.1493%
ϕ (cm) =	7.5	30 seg.	16	30	0.160	19.940	0.01201832	0.78148	0.7960%
H (cm) =	2.01	45 seg.	26	45	0.260	19.840	0.00924486	0.77224	1.2935%
A (cm ²) =	44.18	60 seg.	33	60	0.330	19.770	0.0064714	0.76577	1.6418%
V (cm ³) =	88.80	2 min.	50	120	0.500	19.600	0.01571626	0.75005	2.4876%
Muestra		4 min.	52.9	240	0.529	19.571	0.00268101	0.74737	2.6318%
W _{S50} (gr) =	113.98	8 min.	54.5	480	0.545	19.555	0.00147918	0.74589	2.7114%
σ (kg/m ²) =	80225	15 min.	55.5	900	0.555	19.545	0.00092449	0.74497	2.7612%
F (kg) =	354.42	30 min.	56.5	1800	0.565	19.535	0.00092449	0.74404	2.8109%
BP =	11	45 min.	57	2700	0.570	19.530	0.00046224	0.74358	2.8358%
Carga		1 hr.	57.5	3600	0.575	19.525	0.00046224	0.74312	2.8607%
F _f (kg) =	32.22	2 hr.	59	7200	0.590	19.510	0.00138673	0.74173	2.9353%
H _s (cm) =	1.12	4 hr.	60	14400	0.600	19.500	0.00092449	0.74081	2.9851%
		8 hr.	61	28800	0.610	19.490	0.00092449	0.73988	3.0348%
		12 hr.	61.5	43200	0.615	19.485	0.00046224	0.73942	3.0597%
		24 hr.	63	86400	0.630	19.470	0.00138673	0.73803	3.1343%
		48 hr.	65	172800	0.650	19.450	0.00184897	0.73618	3.2338%
		72 hr.	67	259200	0.670	19.430	0.00184897	0.73434	3.3333%
		96 hr.	68.5	345600	0.685	19.415	0.00138673	0.73295	3.4080%
		120 hr.	68.9	432000	0.689	19.411	0.00036979	0.73258	3.4279%
		144 hr.	69	518400	0.690	19.410	9.2449E-05	0.73249	3.4328%

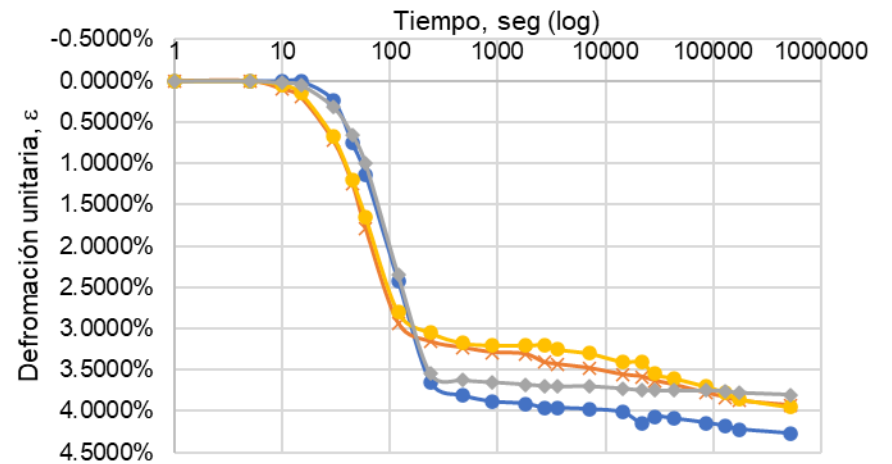
Muestra prueba : Tepetate 70 metros de profundidad									
Datos		Lectura (tiempo)	Lectura (micrómetro)	Lectura (seg)	Lectura (mm)	Deformación δ	$\Delta e =$	$e_i =$	Def. Unitaria ϵ
$e =$	0.80	1 seg.	0	1	0.000	20.000	0	0.79628	0.0000%
Prof. (m) =	70	5 seg.	0	5	0.000	20.000	0	0.79628	0.0000%
γ_d (kg/m ³) =	1283.60	10 seg.	0	10	0.000	20.000	0	0.79628	0.0000%
Anillo		15 seg.	0.5	15	0.005	19.995	0.00046224	0.79581	0.0250%
ϕ (cm) =	7.696	30 seg.	3.5	30	0.035	19.965	0.00277346	0.79304	0.1750%
H (cm)	2	45 seg.	11	45	0.110	19.890	0.00693364	0.78611	0.5500%
A (cm ²) =	46.52	60 seg.	19	60	0.190	19.810	0.00739589	0.77871	0.9500%
V (cm ³) =	93.04	2 min.	43	120	0.430	19.570	0.02218766	0.75652	2.1500%
Muestra		4 min.	59	240	0.590	19.410	0.01479177	0.74173	2.9500%
W _{s70} (gr) =	119.42	8 min.	61	480	0.610	19.390	0.00184897	0.73988	3.0500%
σ (kg/m ²) =	112315	15 min.	63	900	0.630	19.370	0.00184897	0.73803	3.1500%
F (kg) =	522.47	30 min.	65	1800	0.650	19.350	0.00184897	0.73618	3.2500%
BP =	11	45 min.	66	2700	0.660	19.340	0.00092449	0.73526	3.3000%
Carga		1 hr.	66	3600	0.660	19.340	0	0.73526	3.3000%
F _f (kg) =	47.50	2 hr.	67.5	7200	0.675	19.325	0.00138673	0.73387	3.3750%
H _s (cm) =	1.11	4 hr.	69	14400	0.690	19.310	0.00138673	0.73249	3.4500%
		8 hr.	70	28800	0.700	19.300	0.00092449	0.73156	3.5000%
		12 hr.	72	43200	0.720	19.280	0.00184897	0.72971	3.6000%
		24 hr.	74	86400	0.740	19.260	0.00184897	0.72786	3.7000%
		48 hr.	76.5	172800	0.765	19.235	0.00231121	0.72555	3.8250%
		72 hr.	78.5	259200	0.785	19.215	0.00184897	0.72370	3.9250%
		96 hr.	80	345600	0.800	19.200	0.00138673	0.72232	4.0000%
		120 hr.	81.5	432000	0.815	19.185	0.00138673	0.72093	4.0750%
		144 hr.	82	518400	0.820	19.180	0.00046224	0.72047	4.1000%

ANEXO E.16: GRÁFICAS COLAPSO TEPETATE

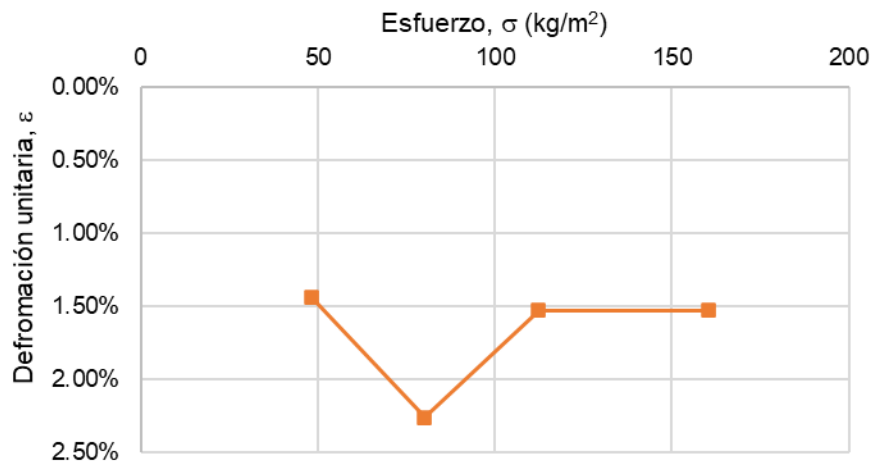
Muestra: Tepetate, colapso



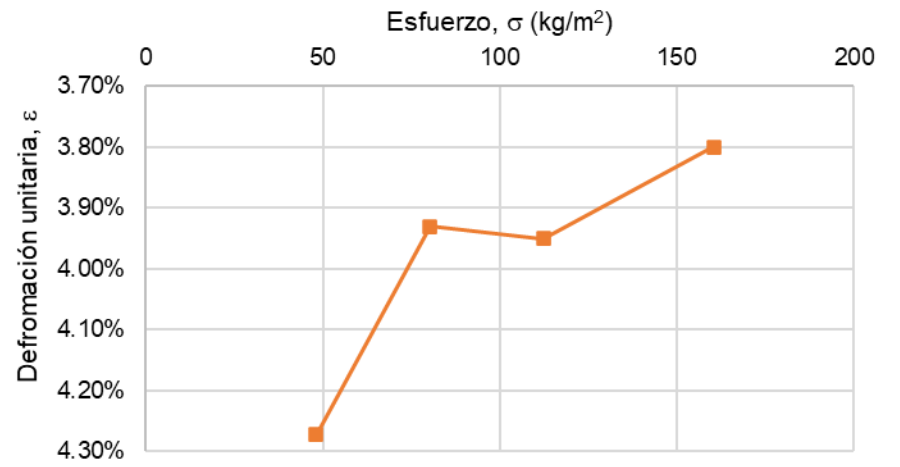
Muestra: Tepetate, colapso



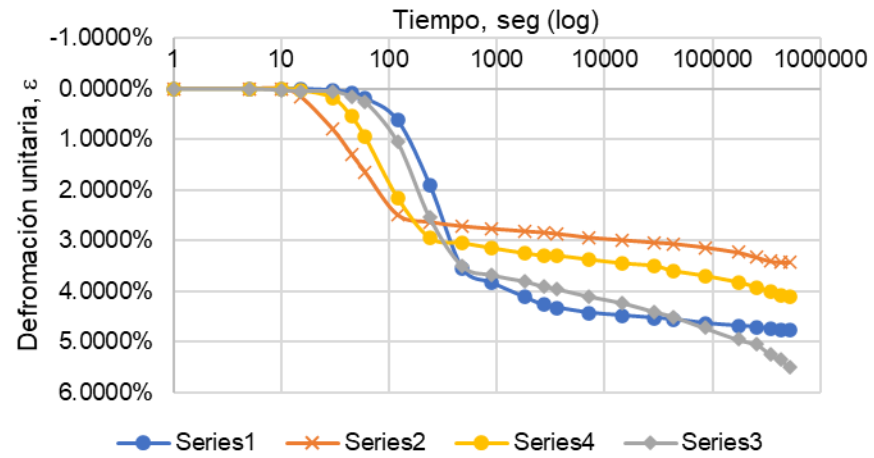
Cuádruple edómetro: Tepetate



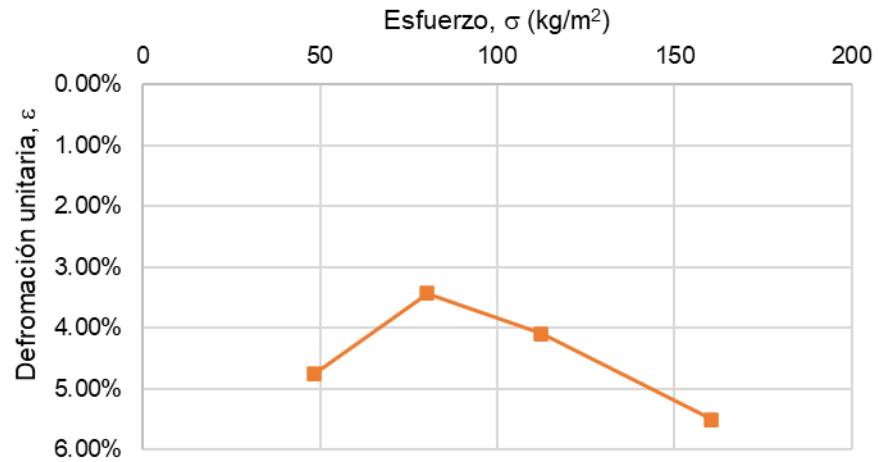
Cuádruple edómetro: Tepetate



Muestra: Tepetate, colapso



Cuádruple edómetro: Tepetate



ANEXO E.16: CONCENTRADO DE SERIES DE SUFUSIÓN

SERIE	MUESTRA	PRESIÓN (lb/in ²)	VELOCIDAD (m/s)	TIEMPO	DESENSO TUBO (cm)	DESENSO TUBO (cm)	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL	Ws INICIAL (gr)	Ws FINAL (gr)	COLAPSO %	SUFUSIÓN %
PRUEBA	PRUEBA	5	1.70	3 HR	5.5	6.5	21.06	20.06	2500.1	2352	4.75%	5.92%
CALIBRACIÓN	FILTRO: 1	10	4.38	4 HR	9.1	9.15	17.46	17.41	2507.1	2484	0.29%	0.92%
CALIBRACIÓN	FILTRO: 2	15	7.05	4 HR	8.7	8.75	17.86	17.81	2507.1	2486.6	0.28%	0.82%
CALIBRACIÓN	FILTRO: 2	19	9.19	4 HR	9.1	9.15	17.46	17.41	2507.1	2485.9	0.29%	0.85%
HIPÓTESIS	FILTRO:1	2	0.10	4 HR	10.4	10.4	16.16	16.16	2478.1	2471.2	0.00%	0.28%
HIPÓTESIS	FILTRO:2	2	0.10	4 HR	10.1	10.1	16.46	16.46	2507.2	2500.2	0.00%	0.28%
HIPÓTESIS	FILTRO:3	2	0.10	4 HR	8.8	8.8	17.76	17.76	2514.9	2506.8	0.00%	0.32%
SERIE 1	TEPETATE	5	1.70	1 HR	8	8.4	18.56	18.16	2501.9	2449.7	2.16%	2.09%
SERIE 1	TEPETATE	10	4.38	40.30 MIN	7.3	7.9	19.26	18.66	2501.6	2448.3	3.12%	2.13%
SERIE 1	TEPETATE	19	9.19	24 min	7.9	8.3	18.66	18.26	2502	2458.8	2.14%	1.73%
SERIE 2	TEPETATE	5	1.70	2 HR	5.5	6.1	21.06	20.46	2778.2	2676.9	2.85%	3.65%
SERIE 2	TEPETATE	10	4.38	2 hr	8.25	8.9	18.31	17.66	2505.4	2442.9	3.55%	2.49%
SERIE 2	TEPETATE	19	9.19	48.00	7.55	8.9	19.01	17.66	2504.1	2366.2	7.10%	5.51%
SERIE 1	TEPE-JAL	5	1.70	2 hr	8.1	8.55	18.46	18.01	2501.2	2415.9	2.44%	3.41%
SERIE 1	TEPE-JAL	10	4.38	1 hr 20 min	8.3	8.8	18.26	17.76	2501.6	2394.3	2.74%	4.29%
SERIE 1	TEPE-JAL	19	9.19	43 min	9	9.7	17.56	16.86	2502.8	2391.3	3.99%	4.46%
SERIE 2	TEPE-JAL	5	1.70	2 hr	9.5	9.9	17.06	16.66	2500.4	2415.1	2.35%	3.41%
SERIE 2	TEPE-JAL	10	4.38	1 hr 20 min	9.4	9.9	17.16	16.66	2500.6	2416.8	2.91%	3.35%
SERIE 2	TEPE-JAL	19	9.19	39 min	9.1	9.8	17.46	16.76	2501.3	2395.3	4.01%	4.24%
SERIE 1	JAL-TEPE	5	1.70	45 min	7.3	7.6	19.26	18.96	2501.6	2459.6	1.56%	1.68%
SERIE 1	JAL-TEPE	10	4.38	40 MIN	7.4	7.9	19.16	18.66	2500.7	2440.8	2.61%	2.40%
SERIE 1	JAL-TEPE	19	9.19	1 hr	8.7	9.2	17.86	17.36	2500.7	2428.8	2.80%	2.88%
SERIE 2	JAL-TEPE	5	1.70	1 hr	9.3	9.4	17.26	17.16	2500	2461	0.58%	1.56%
SERIE 2	JAL-TEPE	10	4.38	50 min	7.4	8	19.16	18.56	2500.9	2451.4	3.13%	1.98%
SERIE 2	JAL-TEPE	19	9.19	30 min	7.3	8.3	19.26	18.26	2500.2	2443.7	5.19%	2.26%
SERIE 1	JAL	5	1.70	1 hr 40 min	5.3	5.35	21.26	21.21	2500	2465.2	0.24%	1.39%
SERIE 1	JAL	10	4.38	1 hr	3.85	3.9	22.71	22.66	2500	2461.3	0.22%	1.55%
SERIE 1	JAL	19	9.19	1 hr	7.8	7.85	18.76	18.71	2500	2460.5	0.27%	1.58%
SERIE 2	JAL	5	1.70	1 hr 30 min	6.8	6.83	19.76	19.73	2500	2453.1	0.15%	1.88%
SERIE 2	JAL	10	4.38	50 min	6.5	6.55	20.06	20.01	2500	2444.7	0.25%	2.21%
SERIE 2	JAL	19	9.19	30 MIN	5.3	5.35	21.26	21.21	2500	2434.2	0.24%	2.63%

ANEXO E.17: RESUMEN PRUEBAS DE SUFUSIÓN

SUELO	% FINOS	Velocidad (m/s)	DEF. UNITARIA ϵ		Y
			SERIE 1	SERIE 2	
JAL	16.09	1.70	0.24%	0.15%	0.19%
	16.09	4.38	0.22%	0.25%	0.23%
	16.09	9.19	0.27%	0.24%	0.25%
JAL-TEPE	21.38	1.70	1.56%	0.58%	1.07%
	21.38	4.38	2.61%	3.13%	2.87%
	21.38	9.19	2.80%	5.19%	4.00%
TEPE-JAL	26.67	1.70	2.44%	2.35%	2.39%
	26.67	4.38	2.74%	2.91%	2.83%
	26.67	9.19	3.99%	4.01%	4.00%
TEPETATE	33.92	1.70	2.16%	2.85%	2.50%
	33.92	4.38	3.12%	3.55%	3.33%
	33.92	9.19	2.14%	7.10%	4.62%

SUELO	% FINOS	Velocidad (m/s)	SUFUSIÓN		Y
			SERIE 1	SERIE 2	
JAL	16.09	1.70	1.39%	1.88%	1.63%
	16.09	4.38	1.55%	2.21%	1.88%
	16.09	9.19	1.58%	2.63%	2.11%
JAL-TEPE	21.38	1.70	1.68%	1.56%	1.62%
	21.38	4.38	2.40%	1.98%	2.19%
	21.38	9.19	2.88%	2.26%	2.57%
TEPE-JAL	26.67	1.70	3.41%	3.41%	3.41%
	26.67	4.38	4.29%	3.35%	3.82%
	26.67	9.19	4.46%	4.24%	4.35%
TEPETATE	33.92	1.70	2.09%	3.65%	2.87%
	33.92	4.38	2.13%	2.49%	2.31%
	33.92	9.19	1.73%	5.51%	3.62%

ANEXO E.18: GRAFICAS DE PRUEBAS DE SUFUSIÓN

