

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERA CIVIL**

**TEMA:  
COMPARACIÓN DE LOS TIEMPOS DE CONSOLIDACIÓN  $t_{50}$ ,  $t_{90}$  Y  
COEFICIENTE DE CONSOLIDACIÓN  $C_v$ , OBTENIDOS POR LOS MÉTODOS  
DE CASAGRANDE Y TAYLOR EN RELACIÓN CON LOS MEDIDOS POR LA  
DISIPACIÓN DE LA PRESIÓN DE POROS**

**AUTORA:  
DANIA GABRIELA MOCHA VERA**

**TUTOR:  
JOSÉ DOMINGO ALVIAR MALABET**

**Quito, marzo del 2019**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Dania Gabriela Mocha Vera, con documento de identificación N°2100957683, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: COMPARACIÓN DE LOS TIEMPOS DE CONSOLIDACIÓN  $t_{50}$ ,  $t_{90}$  Y COEFICIENTE DE CONSOLIDACIÓN  $C_v$ , OBTENIDOS POR LOS MÉTODOS DE CASAGRANDE Y TAYLOR EN RELACIÓN CON LOS MEDIDOS POR LA DISIPACIÓN DE LA PRESIÓN DE POROS, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Dania Gabriela Mocha Vera

Cédula: 2100957683

Fecha: Quito, marzo del 2019

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, José Domingo Alviar Malabet declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo académico: COMPARACIÓN DE LOS TIEMPOS DE CONSOLIDACIÓN  $t_{50}$ ,  $t_{90}$  Y COEFICIENTE DE CONSOLIDACIÓN  $C_v$ , OBTENIDOS POR LOS MÉTODOS DE CASAGRANDE Y TAYLOR EN RELACIÓN CON LOS MEDIDOS POR LA DISIPACIÓN DE LA PRESIÓN DE POROS, realizado por Dania Gabriela Mocha Vera, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, marzo del 2019



Atentamente

José Domingo Alviar Malabet

C.I: 1757837602

# COMPARACIÓN DE LOS TIEMPOS DE CONSOLIDACIÓN $t_{50}$ , $t_{90}$ Y COEFICIENTE DE CONSOLIDACIÓN $C_v$ , OBTENIDOS POR LOS MÉTODOS DE CASAGRANDE Y TAYLOR EN RELACIÓN CON LOS MEDIDOS POR LA DISIPACIÓN DE LA PRESIÓN DE POROS

## COMPARISON OF CONSOLIDATION TIMES $t_{50}$ , $t_{90}$ AND CONSOLIDATION COEFFICIENT $C_v$ , OBTAINED BY THE METHODS OF CASAGRANDE AND TAYLOR IN RELATION TO THE MEASURES FOR THE DISSIPATION OF PORE PRESSURE

Dania Mocha-Vera<sup>1</sup>

### Resumen

Uno de los aspectos más importantes a tomarse en cuenta dentro de todos los proyectos de ingeniería civil es el buen diseño de la cimentación, el cual parte del estudio del comportamiento del suelo en donde se va implantar una estructura. De tal manera es necesario determinar las deformaciones que sufre el suelo en función del tiempo bajo la aplicación de una carga incrementada. A este fenómeno se lo conoce como consolidación.

En este trabajo, se presenta un análisis comparativo entre la obtención del tiempo en el cual ocurre el cincuenta y noventa por ciento de consolidación por el método de Taylor y los obtenidos por la medición de la disipación de la presión de poros, y a partir de estos determinar el coeficiente de consolidación  $C_v$  con el objetivo de establecer una nueva metodología de cálculo, basada en la disipación de la presión de los poros.

Con relación al método de Casagrande se observó un comportamiento atípico en la gráfica asentamiento versus tiempo en la

### Abstract

One of the most important aspects to be taken into account in all the civil engineering projects is the good foundation design, which starts from the study of the behavior of the soil where a structure will be implanted, in such a way it is necessary to determine the deformations suffered by the soil as a function of time under the application of an increased load, this phenomenon is known as consolidation.

In this paper, a comparative analysis is presented between the time in which the fifty and ninety percent consolidation occurs by the Taylor method and those obtained by the measurement of the pore pressure dissipation, and from these determine the consolidation coefficient  $C_v$  with the objective of establishing a new calculation methodology, based on the dissipation of the pore pressure.

Regarding the Casagrande method, an atypical behavior was observed in the plot settlement versus time in most of the samples analyzed, so it will not be included in this study.

---

<sup>1</sup> Estudiante Carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana Quito, Sede Quito – Ecuador.  
Autor para correspondencia ✉: [dmochav@est.ups.edu.ec](mailto:dmochav@est.ups.edu.ec)

mayoría de las muestras analizadas, por lo cual no será incluido en este estudio.

Para lo cual se ensayaron muestras inalteradas de suelo, extraídas de la ciudad de Quito y Lago Agrio, utilizando la máquina de consolidación (Hydrocon) bajo la norma BS 1377-6.

Después de los ensayos realizados se estableció una alta compatibilidad entre el método propuesto y el método de Taylor.

**Palabras Clave:** *Coficiente de consolidación, consolidación, , disipación de la presión de poros, Hydrocon, Taylor, tiempo de consolidación.*

To this end, unaltered samples of soil were extracted from the city of Quito and Lago Agrio, using the consolidation machine (Hydrocon) under BS 1377-6.

After the tests carried out, a high compatibility was established between the proposed method and the Taylor method.

**Keywords:** *Consolidation, consolidation coefficient, consolidation time, dissipation of pore pressure, Hydrocon, Taylor.*

## 1. Introducción

Partiendo de que todos los materiales experimentan deformación cuando están sujetos a un cambio de sus condiciones de esfuerzo [1], se tiene claro que mucho más propenso es el suelo, que puede sufrir deformaciones en el transcurso del tiempo debido al incremento de esfuerzos provocado por la construcción de cimentaciones u otras cargas, en suelos finos saturados que disipan lentamente la presión de poro [2], por lo que es indispensable conocer las condiciones que presenta el suelo donde se preverá fundar cualquier estructura, de esta manera se podría evitar futuros daños a la estructura, así mismo se podrá garantizar la seguridad de la obra.

Esta deformación o asentamiento es resultado del cambio de forma y de la variación de volumen de los estratos de suelo [1], como producto de la expulsión del agua que ocupa los espacios vacíos y reacomodo de las partículas [2]. Este suceso es conocido como consolidación, el mismo que debe ser calculado a través del coeficiente de consolidación, que se obtiene bajo algunas metodologías. En este caso se hace referencia a dos metodologías gráficas como son los métodos de Casagrande y Taylor.

De las metodologías antes mencionadas se obtiene gráficamente los tiempos de consolidación cuando ocurre el cincuenta y noventa por ciento de consolidación respectivamente, basado en los asentamientos medidos en el tiempo y no en cómo fue la disipación de la presión de poros.

En esta investigación se ha planteado una nueva metodología gráfica, que consiste en establecer el tiempo en el cual ocurre el cincuenta y noventa por ciento de consolidación, a partir de la medición de

la disipación de la presión de poros en función del tiempo.

La disipación del exceso de presión intersticial debida al flujo de agua hacia el exterior inicia cuando se aplica el incremento de carga, y finaliza cuando se ha transferido la carga antes soportada por el agua a la estructura de suelo. A este proceso se lo conoce como consolidación primaria [3]. En este trabajo se empleó la máquina Hydrocon, que es una máquina de carga hidráulica que mide los asentamientos de la muestra, cambio de volumen y disipación de la presión intersticial.

A partir de los tiempos de consolidación obtenidos gráficamente se calculó el coeficiente de consolidación y se realizó la comparación gráfica entre los métodos mencionados, para determinar si existe algún grado de similitud.

## 2. Materiales y Métodos

Esta investigación se realizó con siete muestras tomadas de la ciudad de Quito y dos muestras tomadas de la ciudad de Lago Agrio, los sitios están ubicados en los siguientes mapas georreferenciados figura 1 y 2.



Figura 1. Ubicación georreferenciada de muestras de la ciudad de Quito.



**Figura 2.** Georreferenciación de muestras de la ciudad de Lago Agrio.

Las coordenadas de los sitios de donde se extrajo cada muestra de suelo se encuentran en el sistema UTM WGS 84 como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Coordenadas de los sitios de extracción de las muestras

N° MUESTRA	CIUDAD	UTM WGS 84	
1	Quito	9963601.1 S	774343.2 O
2	Quito	9962485.8 S	774737.7 O
3	Quito	9967007.8 S	775086.8 O
4	Quito	9969009.2 S	772802.5 O
5	Quito	9964760.4 S	774001.0 O
6	Quito	9979734.8 S	780628.2 O
7	Quito	9968928.4 S	772835.9 O
8	Lago Agrio	378288.2 N	11371.3 O
9	Lago Agrio	288129.7 N	11502.4 O

## 2.1. Métodos

### 2.1.1. Muestreo

Las muestras se obtuvieron mediante la realización de calicatas a cielo abierto bajo la norma ASTM 4700. La profundidad de excavación fue diferente para cada extracción, tal como se detalla en la tabla 2, a excepción de la muestra seis, debido a que esta muestra fue tomada de una

excavación previa para la construcción de un edificio.

Tabla 2: Profundidad de excavación

N° Muestra	Profundidad de Excavación (m)
1	1,50
2	1,50
3	1,70
4	1,60
5	1,70
6	16,00
7	4,50
8	7,00
9	4,00

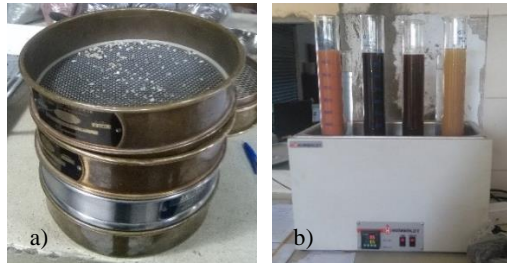
### 2.1.2. Ensayos de Caracterización

Una vez que se obtuvieron las muestras necesarias para realizar la investigación, se las llevó a laboratorio para determinar las propiedades físicas del suelo, a través de una serie de ensayos como se muestra en la figura 3, con el objetivo de caracterizarlo y clasificarlo. Los ensayos que se utilizaron para analizar estas propiedades son las que se indican en la tabla 3.

Tabla 3: Ensayos de caracterización del suelo

Ensayo	Norma
Contenido de humedad	ASTM D-2216
Gravedad Específica	ASTM D-854
Análisis granulométrico	ASTM C-136
Análisis granulométrico por hidrómetro	ASTM D-522
Limites líquido y plástico	ASTM D- 4318
Contenido de materia orgánica	ASTM D-2974

*Mocha /Comparación de los tiempos de consolidación  $t_{50}, t_{90}$  y coeficiente de consolidación  $C_v$ , obtenidos por los métodos de Casagrande y Taylor en relación con los medidos por la disipación de la presión de poros.*



**Figura 3.** a) Análisis granulométrico, b) Análisis hidrométrico, c) límites de Atterberg

### 2.1.3. Ensayo de Consolidación

Este ensayo determina la velocidad de consolidación de diferentes tipos de suelo usando equipos cargados hidráulicamente [4], en esta investigación se lo realizó mediante el equipo Hydrocon (figura 4) antes mencionado.



**Figura 4.** Equipo utilizado (Hydrocon)

Las muestras fueron talladas en forma de cilindro con una altura muy pequeña en relación a su diámetro como se observa en la figura 5, las mismas que se confinaron por medio de un anillo para evitar la deformación transversal. Este anillo se colocó en medio de dos piedras porosas para permitir el drenaje [4], las muestras ensayadas presentaron una franja drenante únicamente en la parte superior, a

diferencia del ensayo convencional donde se observa una franja drenante tanto en la parte inferior como superior de la muestra.

Por lo tanto, se observó que en la base se mide el valor de presión de poro. Este modelo de disipación de la presión de poro es el que se planteó en la metodología de investigación



**Figura 5.** Tamaño y forma de la muestra

El procedimiento de saturación de la muestra es similar al usado para saturar muestras en ensayos triaxiales [4], la presión de saturación fue de 600 KPa en confinamiento y 590 Kpa en contrapresión. Luego inicia el proceso de consolidación que consistió en someter a las muestras a una serie de incrementos de cargas verticales empezando con un incremento de 25 KPa y luego duplicándolo, manteniendo el valor de contrapresión en 590 KPa para cada incremento de carga, estas cargas son generadas por presión hidráulica.

### 2.1.4. Método de Casagrande

El método de Casagrande consiste en realizar una gráfica deformación versus logaritmo del tiempo, mediante la cual se obtiene el tiempo en el cual ocurre el cincuenta por ciento de la consolidación  $t_{50}$  como se muestra en la figura 6.



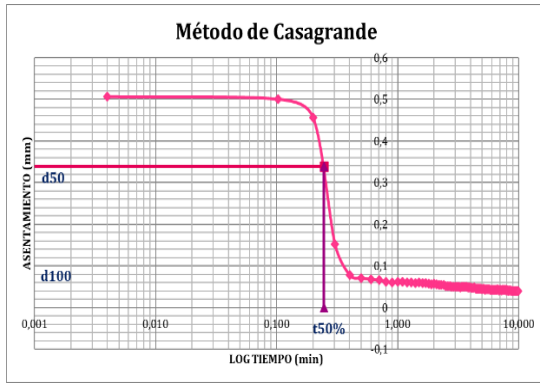


Figura 6. Método de Casagrande

Con la ecuación 1 se obtiene el coeficiente de consolidación por el método de Casagrande.

$$C_V = \frac{0.197 * H^2}{t_{50}} \quad (1)$$

Donde:

$H$  = Altura promedio de la muestra

$t_{50}$  = Tiempo en el que ocurre el 50% de consolidación.

### 2.1.5. Método de Taylor

De la construcción de la gráfica deformación versus raíz del tiempo, aplicando el método de Taylor se obtuvo el tiempo en el cual ocurre el noventa por ciento de la consolidación  $t_{90}$  como se observa en la figura 7.

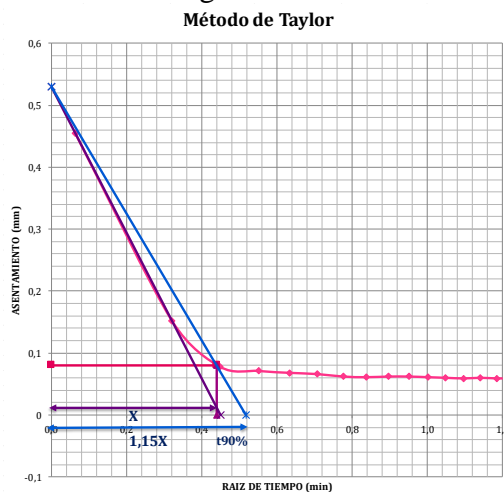


Figura 7. Método de Taylor

Para obtener el coeficiente de consolidación por el método de Taylor se utiliza la ecuación 2.

$$C_V = \frac{0.848 * H^2}{t_{90}} \quad (2)$$

Donde:

$H$  = Altura promedio de la muestra

$T_{90}$  = Tiempo en el que ocurre el 90% de consolidación.

### 2.1.6. Método propuesto de la disipación de la presión de poro.

Stanichevsky [5] menciona que uno de los aspectos indispensables para la construcción de obras que se visualizan cuando se realiza la medición de la presión de poros en un tiempo  $t$  es la evaluación del avance de la consolidación.

En este estudio para determinar el coeficiente de consolidación utilizando la disipación de la presión de poro se parte de la teoría de consolidación propuesta por Terzaghi (1925) donde plantea que el grado de consolidación ( $U_z$ ) a cualquier profundidad  $z$  (ecuación 3), se define como la relación del exceso de presión de poro disipada y la presión de poro inicial [6].

$$U_z = \frac{u_o - u}{u_o} = 1 - \frac{u}{u_o} \quad (3)$$

Donde:

$u_o$  = Presión de poro inicial.

$u$  = Presión de poro a una profundidad  $z$ .

Por otra parte, el grado de consolidación promedio ( $U_{av}$ ) se obtiene mediante la ecuación 4 [6].

$$U_{av} = \frac{(1/H_t) \int_0^{H_t} u_o dz - (1/H_t) \int_0^{H_t} u dz}{(1/H_t) \int_0^{H_t} u_o dz} \quad (4)$$

Donde:

$u_o$  = Presión de poro inicial.

$u$  = Presión de poro a una profundidad  $z$

Cuando el porcentaje de consolidación promedio es de cincuenta por ciento y

Mocha /Comparación de los tiempos de consolidación  $t_{50}, t_{90}$  y coeficiente de consolidación  $C_v$ , obtenidos por los métodos de Casagrande y Taylor en relación con los medidos por la disipación de la presión de poros.

noventa por ciento el factor de tiempo es 0,197 y 0,848 respectivamente.

De la gráfica que relaciona  $T_v$  (factor de tiempo) y la relación  $u/u_o$  (presión de poro a una profundidad  $z$  y la presión de poro inicial) (figura 8), se obtiene para el cincuenta por ciento de consolidación ( $T_v=0,197$ ), la relación  $u/u_o$  medida en la base de la muestra es igual a 0.777 y para el noventa por ciento de consolidación ( $T_v=0,848$ ) en la base de la muestra se alcanza un valor de 0.157 veces la presión de poro inicial, tal cual se indica en la figura 8, las ecuaciones 5 y 6 nos indican el valor del exceso de la presión de poro a la cual corresponde al tiempo en el que ocurre el cincuenta y noventa por ciento de consolidación .

$$u = 0.777u_o \rightarrow t_{50\%} \quad (5)$$

$$u = 0.157u_o \rightarrow t_{90\%} \quad (6)$$

Donde:

$u_o$  = Presión de poro inicial.

$u$  = Presión de poro a una profundidad  $z$   
 $t_{50\%}$  = Tiempo en el que ocurre el 50% de consolidación.

$t_{90\%}$  = Tiempo en el que ocurre el 90% de consolidación.

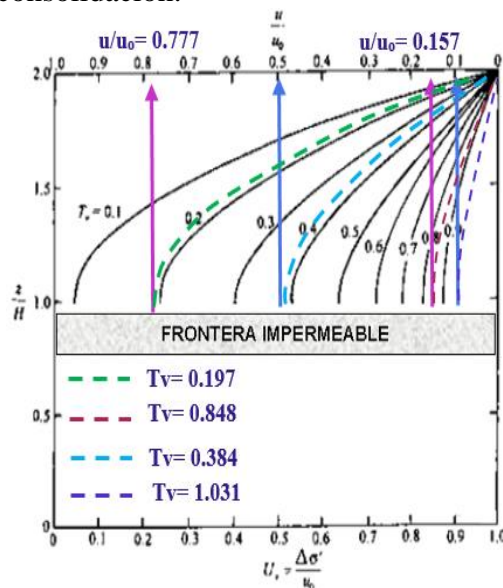


Figura 8. Isocronas de la metodología de investigación

De esta manera en la gráfica presión de poro ( $u$ ) versus raíz del tiempo, se obtiene el  $t_{50}$  y  $t_{90}$ , mediante la aplicación del método de la disipación de la presión de poro como se muestra en la figura 9.

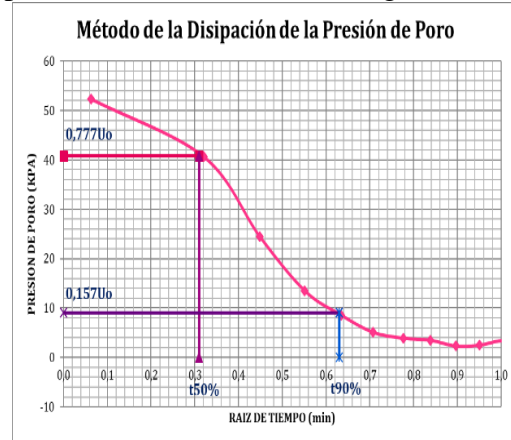


Figura 9. Método de la disipación de presión de poro

Con las ecuaciones 1 y 2 se obtiene el coeficiente de consolidación.

### 2.1.7. Método de la disipación de la presión de poro indicado por el manual of soil laboratory testing

Por otra parte, de la gráfica presión de poro versus raíz del tiempo, se obtiene los valores de  $t_{50}^*$  y  $t_{90}^*$  mediante la aplicación del método indicado por el "Manual of soil laboratory testing" [7], que indica que cuando se disipó el cincuenta por ciento de la presión de poro inicial el factor de tiempo es de 0.389, y para el noventa por ciento de la disipación de la presión de poro inicial el factor de tiempo será 1.031, como se observa en la figura 8. En este caso los tiempos de consolidación  $t_{50}^*$  y  $t_{90}^*$  se obtienen como se evidencia en la figura 10 a través de la aplicación de la ecuación 7 y 8.

$$u = 0.5u_o \rightarrow t_{50}^* \quad (7)$$

$$u = 0.1u_o \rightarrow t_{90}^* \quad (8)$$

Donde:

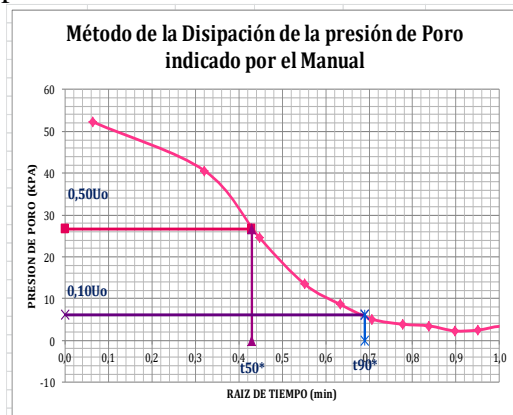
$u_o$  = Presión de poro inicial.

$u$  = Presión de poro a una profundidad  $z$ .

$t_{50^*}$  = Tiempo en el que ocurre el 50% de la disipación de la presión de poro.

$t_{90^*}$  = Tiempo en el que ocurre el 90% de la disipación de la presión de poro.

Cabe destacar, que los tiempos de consolidación convencionales  $t_{50}$  y  $t_{90}$  son distintos a los tiempos de consolidación  $t_{50^*}$  y  $t_{90^*}$ . Los primeros están asociados al porcentaje de consolidación global del estrato, los segundos están relacionados con el porcentaje de disipación de la presión de poros en la base de la muestra.



**Figura 10.** Método de la disipación de presión de poro indicado por el Manual of soil laboratory testing

En este caso el coeficiente de consolidación se determina con la ecuación 9 y 10.

$$C_V = \frac{0.389 * H^2}{t_{50^*}} \quad (9)$$

$$C_V = \frac{1.031 * H^2}{t_{90^*}} \quad (10)$$

Donde:

$H$  = Altura promedio de la muestra

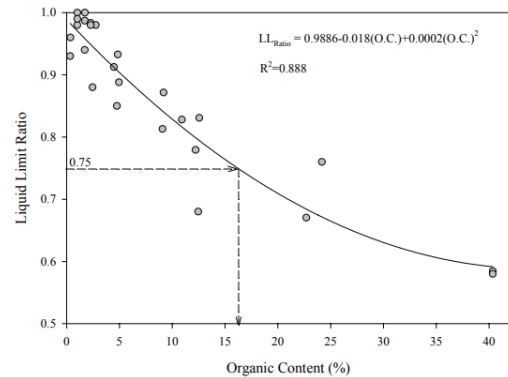
$t_{50^*}$  = Tiempo en el que ocurre el 50% de la disipación de la presión de poros en la base de la muestra.

$t_{90^*}$  = Tiempo en el que ocurre el 90% de la disipación de la presión de poros en la base de la muestra.

### 2.1.8. Resultados de caracterización

Los resultados que se obtuvieron luego de realizar los ensayos de caracterización de los suelos se reflejan en la tabla 4.

Basándose en la investigación realizada por la FHWA en la Universidad de Purdue, que menciona que aquellos suelos que tengan contenido de materia orgánica mayor al 16.15% se consideran suelos orgánicos [8] como se observa en la figura 11, de esta manera se pudo clasificar el suelo aparentemente orgánico como inorgánico, debido a que el contenido de materia orgánica obtenido por el método de calcinación no supera el 16,15%.



**Figura 11.** Relación entre contenido de materia orgánica y radio de límite líquido [8].

Como se puede evidenciar, de todas las muestras ensayadas el 56 % pertenecen a (ML), el 22 % a (MH), el 11% a (CL), el 11% a (CH), en la figura 12 se indica la distribución porcentual de las muestras investigadas.

El suelo preponderante de esta investigación fue del tipo ML. Para estos suelos no se determinó la cantidad de materia orgánica, debido a que no se consideró que fueran orgánicos.

Mocha /Comparación de los tiempos de consolidación  $t_{50}, t_{90}$  y coeficiente de consolidación  $C_v$ , obtenidos por los métodos de Casagrande y Taylor en relación con los medidos por la disipación de la presión de poros.



Figura 12. Distribución porcentual del tipo de suelos de las muestras ensayadas.

Los suelos aparentemente orgánicos, como se mencionó anteriormente fueron sujetos al ensayo de calcinación para obtener el contenido de materia orgánica, según el sistema ISO hace una distinción entre bajo contenido orgánico (contenido orgánico entre 2 y 6% - en masa seca), contenido orgánico medio (contenido orgánico entre 6 y 20%) y contenido orgánico alto (mayor al 20%) [8]. En los resultados que se pueden apreciar en la tabla 4, se observa que la muestra dos y nueve tienen bajo contenido orgánico, mientras que la muestra uno presentó un contenido orgánico medio.

Tabla 4: Resultados de ensayos de caracterización del suelo

Muestra N°	Clasificación	% Finos	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de plasticidad	Gravedad Específica	Contenido de humedad	Contenido de Materia Orgánica
1	CH	70	81	20	61	2.30	95	10.50
2	MH	74	57	51	6	2.33	94	6.00
3	ML	72	40	34	6	2.52	35	---
4	ML	63	33	30	3	2.55	14	---
5	ML	58	NP	NP	NP	2.55	40	---
6	ML	57	NP	NP	NP	2.60	26	---
7	CL	63	34	23	11	2.49	33	---
8	ML	63	47	31	16	2.56	29	---
9	MH	99	79	58	21	2.44	48	4.49

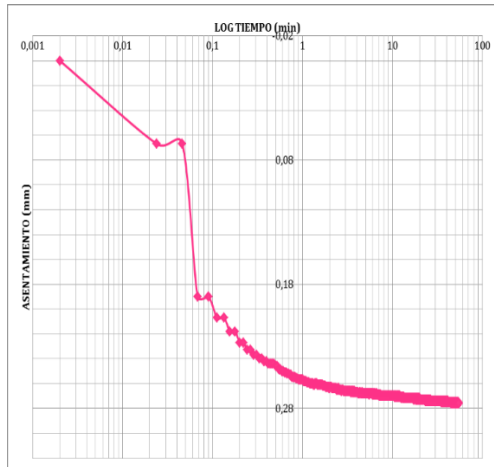
### 3. Resultados y discusión

El coeficiente de consolidación expresa la velocidad de consolidación. Es un parámetro que no se mantiene constante, depende del tiempo, de la longitud de drenaje, de la sobre carga y conductividad hidráulica del suelo [9]. Después de ensayar las muestras se han comparado

todos los datos obtenidos durante el ensayo de consolidación, y por medio del método de los mínimos cuadrados se establece una correlación, cuyo coeficiente determinará la bondad de ajuste de todas las correlaciones elaboradas.

Utilizando el método de Casagrande, la mayoría de las muestras presentaron un comportamiento atípico como se muestra

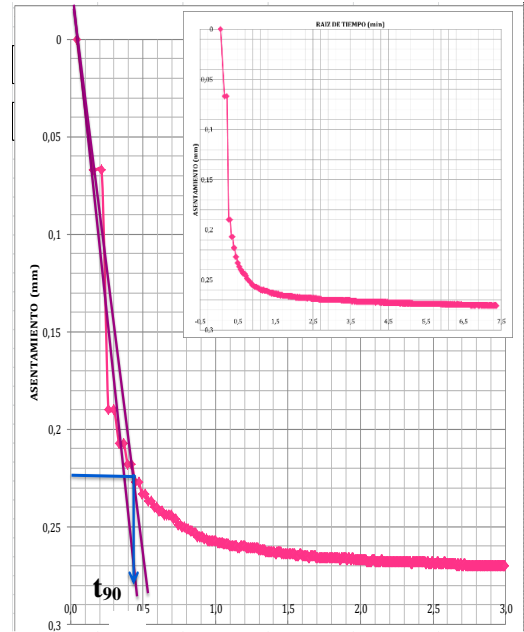
en la figura 13. Existe gran dificultad al momento de determinar la deformación teórica correspondiente al 0% de consolidación ( $d_{0\%}$ ) y la deformación teórica correspondiente al 100% de consolidación ( $d_{100\%}$ ), por lo tanto, al momento de estimar el  $t_{50}$ , tiempo en el cual ocurre el cincuenta por ciento de consolidación, genera gran incertidumbre su determinación.



**Figura 13.** Curva atípica utilizando el método de Casagrande.

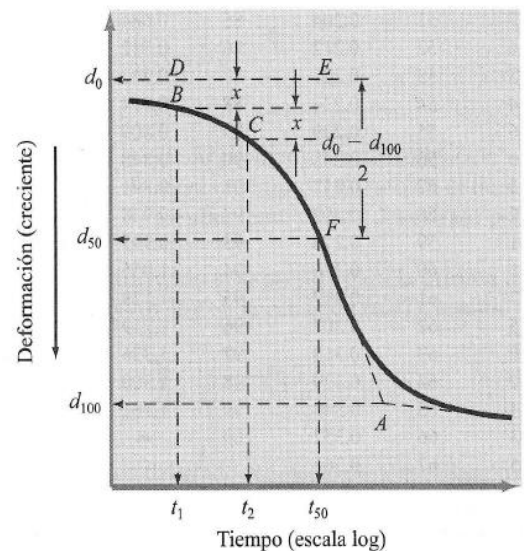
Se muestra una comparación con el método de Taylor utilizando los mismos datos de deformación y tiempo correspondientes a la misma muestra, como se observa en la figura 14.

Aplicando el método de Taylor se obtuvo una curva de comportamiento típico, en la cual fue fácil determinar el  $t_{90}$ , tiempo en el cual ocurre el noventa por ciento de consolidación y la obtención del coeficiente de consolidación, a diferencia de aplicar el método de Casagrande.



**Figura 14.** Método de Taylor

Considerando que la mayoría de las muestras con el método de Casagrande presentaron un comportamiento distinto a la curva propuesta por Casagrande (figura 15), se decidió descartar este método y no someterlo a la comparación con los métodos de la disipación de la presión de poros.

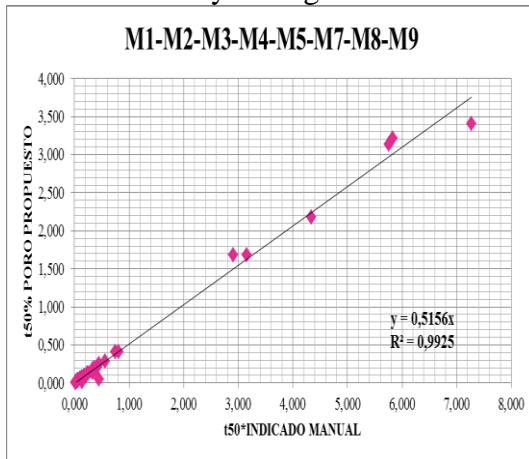


**Figura 15.** Gráfica teórica del método de Casagrande [2].

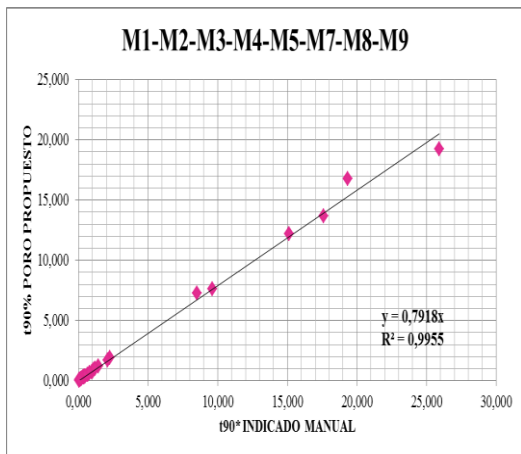
Mocha /Comparación de los tiempos de consolidación  $t_{50}$ ,  $t_{90}$  y coeficiente de consolidación  $C_v$ , obtenidos por los métodos de Casagrande y Taylor en relación con los medidos por la disipación de la presión de poros.

A continuación, se presentan las gráficas que relacionan el tiempo de consolidación y los coeficientes de consolidación al utilizar el método de Taylor y los métodos de disipación de la presión de poro propuesto en esta investigación y el indicado por el manual.

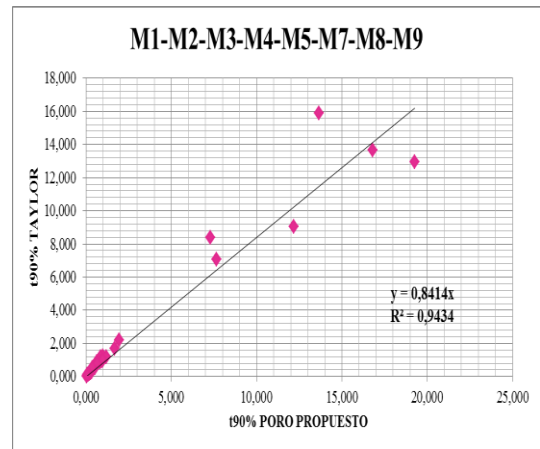
En las figuras 16, 17, 18 y 19 se presenta la correlación de los tiempos de consolidación  $t_{50}$  y  $t_{90}$  convencionales y los  $t_{50}^*$  y  $t_{90}^*$ , obtenidos por el método de Taylor, método propuesto en esta investigación y el método de disipación de la presión de poros indicado por el Manual of soil laboratory testing.



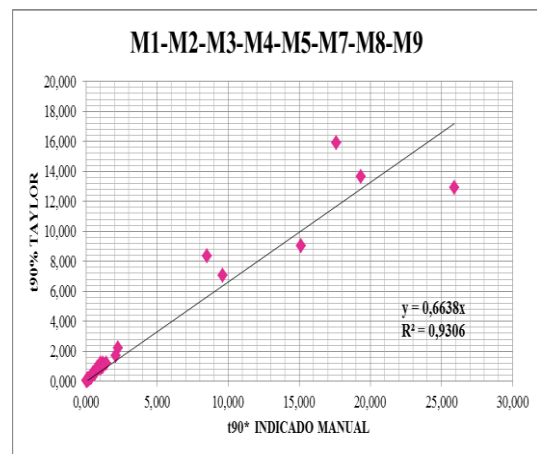
**Figura 16.** Tiempo al 50% de consolidación - Método propuesto de la disipación de la presión de poro versus el  $t_{50}^*$  indicado por el Manual of soil laboratory testing



**Figura 17.** Tiempo al 90% de consolidación - Método propuesto de la disipación de la presión de poro versus el  $t_{90}^*$  indicado por el Manual of soil laboratory testing



**Figura 18.** Tiempo al 90% de consolidación-Método de Taylor versus método propuesto.

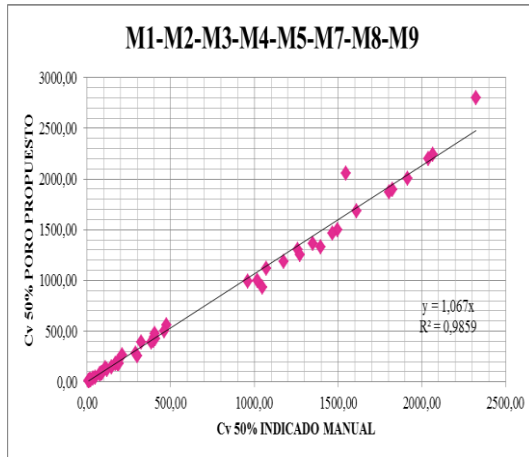


**Figura 19.** Tiempo al 90% de consolidación -Método de Taylor versus  $t_{90}^*$  indicado por el Manual of soil laboratory testing

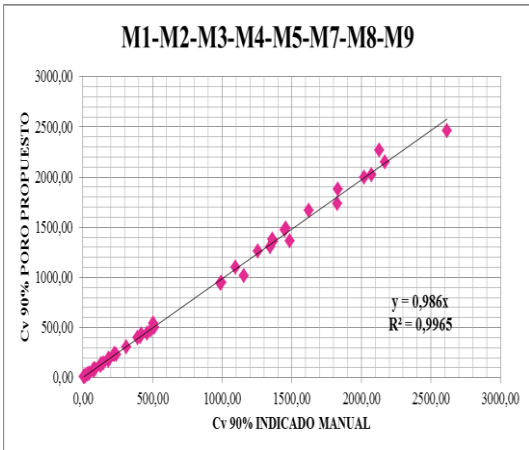
El coeficiente de correlación de la comparación del tiempo de consolidación obtenido por el método de Taylor y los métodos de la disipación de la presión de poros fue mayor a 0,9; lo que indica que presentan una compatibilidad muy alta, casi perfecta.

En las figuras 20, 21, 22 y 23 se establecen las correlaciones entre el coeficiente de consolidación obtenido al utilizar el método de Taylor y los métodos de disipación de la presión de poros.

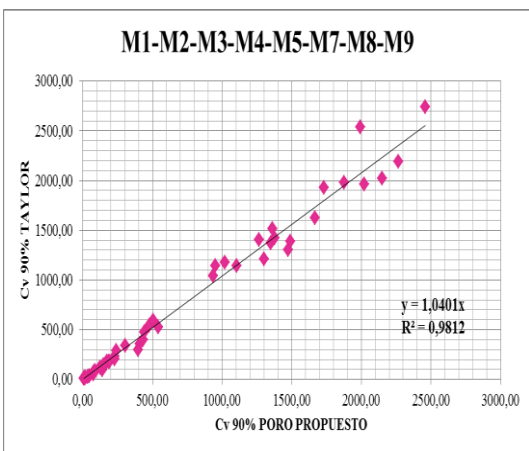
Mocha /Comparación de los tiempos de consolidación  $t_{50}, t_{90}$  y coeficiente de consolidación  $C_v$ , obtenidos por los métodos de Casagrande y Taylor en relación con los medidos por la disipación de la presión de poros.



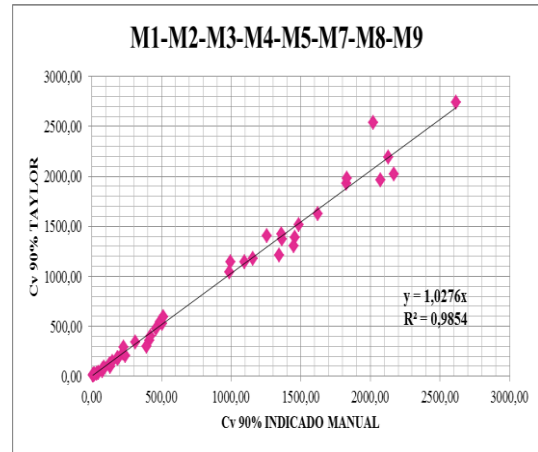
**Figura 20.** Método propuesto de la disipación de la presión de poro versus el método indicado por el manual al 50% de consolidación.



**Figura 21.** Método propuesto de la disipación de la presión de poro versus el método indicado por el manual al 90% de consolidación.



**Figura 22.** Método de Taylor versus el método propuesto de la disipación de la presión de poro al 90% de consolidación.



**Figura 23.** Método de Taylor versus el método indicado por el manual al 90% de consolidación.

La comparación del coeficiente de consolidación obtenido por el método de Taylor y los métodos de la disipación de la presión de poro presentó un coeficiente de correlación mayor a 0,9; mostrando una compatibilidad muy alta.

#### 4. Conclusiones.

Se observó, que después de los ensayos de caracterización, la mayoría de las muestras son limos de baja plasticidad (ML), pero, se realizó la comparación entre todas las muestras de suelos investigadas, ya que todos los suelos son finos y es aplicable la metodología tanto de Taylor como de la disipación de la presión de poros para determinar el coeficiente de consolidación.

El método de la disipación de la presión de poros es un método que presentó alta compatibilidad frente al método de Taylor, tanto en la obtención del tiempo de consolidación, como en el coeficiente de consolidación calculado con ese tiempo.

El método de la disipación de la presión de poros propuesto en esta investigación en relación al método indicado por el Manual of soil laboratory

testing son altamente concordantes y se establece la aplicación de cada uno de ellos en la determinación del coeficiente de consolidación.

El método de Casagrande fue descartado de este análisis comparativo ya que en la mayoría de las muestras se observó gráficas atípicas, las mismas no concordaban con las gráficas teóricas, dificultando la obtención del tiempo en el cual ocurre el cincuenta por ciento de consolidación.

El  $t_{50}$  propuesto en este estudio es el tiempo en el cual ocurre el 50% de la consolidación, mientras que el  $t_{50}^*$  indicado por el manual, corresponde al tiempo en el cual la presión de poro en la base de la muestra es el cincuenta por ciento de la presión de poro inicial. Similar comportamiento ocurre con el  $t_{90}$  y  $t_{90}^*$ .

En el caso de determinar el tiempo de consolidación para el cual ocurre el 50 % del mismo, utilizando el Hydrocon ( $t_{50}$ ), se debe aplicar la metodología propuesta en este estudio, a diferencia de determinar un  $t_{50}^*$  según el Manual of soil laboratory testing, que está asociado al porcentaje de disipación de la presión de poro en la base de la muestra. Similar comportamiento ocurre con el  $t_{90}$  y  $t_{90}^*$ .

Se recomienda ampliar la base de datos y trabajar con distintos tipos de suelos a fin de corroborar la correspondencia entre los métodos analizados.

## Referencias

- [1] B. E. Juárez y R. A. Rico, Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos, México: Limusa, 2005.
- [2] B. Das, Fundamentos de ingeniería geotécnica, México: Thomson Learning, 1999.
- [3] Y. Becerra, L. Chamba, E. Chillón, J. Cusma, A. Manchay, Y. Monja, A. Roncal y R. Torres, «Academia.edu,» Academia.edu, 2015. [En línea]. Available: <https://www.academia.edu/16497311/ENSAYO-DE-CONSOLIDACION-C3%93N-COMPLETO>. [Último acceso: septiembre 2018].
- [4] J. Castro, Resúmenes para ensayos de consolidación, consolidación continua y corte directo, Quito: Savain, 2018.
- [5] M. Stanichevshy y T. Stanichevshy, «Determinación del exceso de presión de poros con el CTPU,» Revista Arquitectura Ingeniería Artes, 2010. [En línea]. Available: <http://www.aia.com.py/>. [Último acceso: 2018].
- [6] B. Das, Advanced soil mechanics, London y New York: Taylor & Francis Group, 2008.
- [7] K. H. Head, Manual of soil laboratory testing, England: John Wiley & Sons Ltd., 1992.
- [8] P. Tsung, M. Patel, M. Santaga y A. Bobet, Clasificación of organic soils, Indiana: School of Civil Engineering Purdue, 2009.
- [9] M. Poliotti y P. Sierra, «FCEIA,» 2010. [En línea]. Available: [https://www.fceia.unr.edu.ar/geologia/geotecnica/Consolidacion%20unidades%20de%20suelos\\_2011s2.pdf](https://www.fceia.unr.edu.ar/geologia/geotecnica/Consolidacion%20unidades%20de%20suelos_2011s2.pdf). [Último acceso: Septiembre 2018].