

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA CIVIL**

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

**TEMA:
“CORRELACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE DE COMPRESIBILIDAD
VERSUS EL PORCENTAJE DE HUMEDAD, RELACION DE VACÍOS Y EL
LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS DEL BARRIO EL GARROCHAL”.**

**AUTOR:
WASHINGTON FERNANDO PAUCAR FERNÁNDEZ**

**DOCENTE TUTOR:
JOSÉ DOMINGO ALVIAR MALABET**

Quito, Marzo del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Washington Fernando Paucar Fernández, con documento de identificación N°1717753642, 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: CORRELACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE DE COMPRESIBILIDAD VERSUS EL PORCENTAJE DE HUMEDAD, RELACION DE VACÍOS Y EL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS DEL BARRIO EL GARROCHAL, 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: Washington Fernando Paucar Fernández


Cédula: 1717753642

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: CORRELACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE DE COMPRESIBILIDAD VERSUS EL PORCENTAJE DE HUMEDAD, RELACION DE VACÍOS Y EL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS DEL BARRIO EL GARROCHAL, realizado por Washington Fernando Paucar Fernández, 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

CORRELACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE DE COMPRESIBILIDAD VERSUS EL PORCENTAJE DE HUMEDAD, RELACIÓN DE VACÍOS Y LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS DEL BARRIO EL GARROCHAL

CORRELATION BETWEEN THE COEFFICIENT OF COMPRESSIBILITY VERSUS THE PERCENTAGE OF MOISTURE, VOID RATIO AND LIQUID LIMIT OF THE SOILS OF EL GARROCHAL NEIGHBORHOOD

Washington Paucar-Fernández¹

Resumen

El barrio El Garrochal se encuentra en etapa de crecimiento inmobiliario, la mayor parte del suelo es blando, por tanto es importante realizar estudios de suelos y que estos sean acatados a fin de evitar fisuras y agrietamientos a causa de los asentamientos diferenciales producto de los niveles de esfuerzo que se producen en la cimentación y el fenómeno de consolidación de los suelos. Para estudiar los asentamientos que se producen por consolidación, uno de los parámetros de gran importancia es el coeficiente de compresibilidad (C_c) el cual establece como cambia la relación de vacíos del suelo con el nivel de esfuerzo aplicado. En esta investigación se realiza una correlación estadística entre el coeficiente de compresibilidad y algunas propiedades índices de los suelos como el límite líquido (w_L), humedad (w), relación de vacíos (e) y la gravedad específica de los sólidos (G_s). Mediante la obtención de muestras de suelo alteradas e inalteradas que fueron analizadas en el laboratorio para su caracterización física y obtención del coeficiente de compresibilidad utilizando el equipo de consolidación CRS

Abstract

The Garrochal neighborhood is in the stage of real estate growth urban and most of the soil is soft, so it is important to carry out soil studies and that they are complied with in order to avoid fissures and cracks due to differential settlements resulting from the levels of effort that occur in the foundations and the phenomenon of consolidation of soils. In this article to study the settlements that are produced by consolidation, one of the parameters is compressibility coefficient (C_c) because to avoid establishes the ratio of soil voids with the level of applied effort changes.

In this research, a statistical correlation is made between the compressibility coefficient and some soil index properties such as liquid limit (w_L), water content (w), void ratio (e) and specific gravity of solids (G_s). By obtaining altered and unaltered soil samples that were analyzed in the laboratory for their physical characterization and obtaining the compressibility coefficient using the CRS consolidation equipment (Constant Rate of Strain consolidation test). Finally, comparison and discussion of the statistical

¹ Estudiante Carrera de Ingeniería Civil- Universidad Politécnica Salesiana-Quito, Sede Quito-Ecuador
Autor para correspondencia ✉: wpaucar@est.ups.edu.ec

(Constant Rate of Strain consolidation test). Finalmente se realizó una comparación y discusión de la correlación estadística con correlaciones existentes obtenidas por diversos autores.
Palabras Clave: coeficiente de compresibilidad, correlación, CRS, humedad, límite líquido, relación de vacíos.

correlation was made with existing correlations obtained by different authors.

Key Words: compressibility coefficient, correlation, CRS, water content, liquid limit, void ratio.

1. Introducción

La compresibilidad de los suelos es uno de los fenómenos más estudiados a nivel mundial, principalmente porque éste puede afectar a las construcciones de diferentes maneras como asentamientos a causa del peso de la estructura, grietas e inclinación de las construcciones; teniendo como consecuencia pérdidas económicas, y en ocasiones humanas.

El estudio de la compresibilidad de un suelo se realiza con ensayos de consolidación edométricos los mismos que permiten predecir su comportamiento volumétrico al encontrarse sometido a una carga (reducción de volumen), hundimiento, etc., sin embargo, su determinación en el laboratorio enlaza largas jornadas de trabajo, por lo que se ha optado utilizar correlaciones que optimicen el tiempo en la etapa de planeación de la obra.

La presente investigación consiste en establecer correlaciones entre el coeficiente de compresibilidad y algunas propiedades índices del suelo, para lo cual se tomaron 10 muestras alteradas e inalteradas en diferentes puntos del barrio El Garrochal, en esta zona se evidencian fisuras a causa de los asentamientos diferenciales producto de los niveles de esfuerzo que se producen en la cimentación y el fenómeno de consolidación de los suelos, las muestras se caracterizaron y ensayaron a fin de determinar el comportamiento del suelo ya que “no analizar el asentamiento del suelo al proyectar una estructura sobre él, puede llevar a consecuencias catastróficas tales como la inclinación, fisuración e incluso el colapso de la misma” [1].

Para determinar el coeficiente de compresibilidad de cada muestra se utilizó el ensayo de consolidación continua CRS (Constant Rate of Strain consolidation test); éste es un ensayo de consolidación con carga variable que mantiene una velocidad de deformación vertical constante durante todo el ensayo [2]-[3]; permite obtener datos continuos y el ensayo finaliza rápidamente respecto de un ensayo incremental de carga. Para cualquier instante de tiempo se mide el esfuerzo total, la deformación y la presión de poros que actúan sobre la muestra.

Atendiendo a las correlaciones existentes en la literatura y con los resultados obtenidos se realizaron gráficas de correlación entre los siguientes parámetros:

- Coeficiente de compresibilidad (C_c) en función de la Humedad (%w)
- Coeficiente de compresibilidad en función de la gravedad específica (G_s)
- Coeficiente de compresibilidad en función del Límite Líquido (w_L)
- Coeficiente de compresibilidad en función de la relación de vacíos (e_0)

Estas relaciones son de gran utilidad, ya que permiten realizar análisis de asentamientos en la primera fase de elaboración del proyecto.

2. Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo en el barrio El Garrochal al sur de la Ciudad de Quito en donde se obtuvieron 10 muestras georreferenciadas en el sistema de coordenadas UTM WGS-84 como se indica en la Tabla 1 y figura 1:



Figura 1. Ubicación de muestras

Tabla 1: Coordenadas de los puntos de muestreo

| UTM WGS 84 | | |
|------------|-------------|-------------|
| MUESTRA | SUR | OESTE |
| 1 | 9962393,888 | 774651,6495 |
| 2 | 9962507,543 | 774855,8698 |
| 3 | 9962172,643 | 774568,0601 |
| 4 | 9962108,058 | 774759,8594 |
| 5 | 9962200,337 | 774428,8462 |
| 6 | 9962323,273 | 774391,7521 |
| 7 | 9962458,504 | 774339,192 |
| 8 | 9962231,123 | 774218,4758 |
| 9 | 9962329,488 | 774122,5934 |
| 10 | 9963371,149 | 774654,9899 |

2.1. Materiales

2.1.1 Muestreo

Las muestras fueron tomadas a una profundidad de 1,50 m excavadas a cielo abierto de acuerdo a los parámetros establecidos en la norma American Society of Testing Materials (ASTM D4700). Estas se tomaron, almacenaron y transportaron, como muestras inalteradas en un tubo de 4 pulgadas, limpio, libre de irregularidades en la superficie y adecuadamente sellado con embalaje no absorbente, para evitar el movimiento del suelo y conservar su humedad.

Posteriormente para obtener la muestra requerida en el laboratorio se hincó un anillo de 6,30 cm de diámetro por 2,54 cm de alto, se enrazó y se colocó en la máquina de consolidación.

Las muestras se tomaron conforme se avanzaban los ensayos en el laboratorio al fin de evitar que las condiciones ambientales alteren las propiedades índices del suelo.

2.2 Metodología

2.2.1 Ensayos de Caracterización

Para obtener los límites de Atterberg (Límite líquido, límite plástico), humedad y gravedad específica, las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de acuerdo con las normas ASTM, para el límite líquido se utilizó 3 muestras del mismo suelo, para el límite plástico y para la humedad se utilizaron 2.

Tabla 2: Ensayos / Normas

| Descripción | Norma |
|--|-------------|
| Excavación a cielo abierto | ASTM D 4700 |
| Toma de muestra indisturbadas en campo | ASTM D 4700 |
| Contenido de humedad en suelo | ASTM D 2216 |
| Límite Líquido | ASTM D 4318 |
| Límite Plástico | ASTM D 4318 |
| Gravedad Específica | ASTM D 854 |
| Ensayo de consolidación (CRS) | ASTM D 4186 |
| Contenido de Materia Orgánica | ASTM D 2974 |

2.2.2 Ensayo de Consolidación

Se utilizó el ensayo de consolidación continua CRS que consiste en aplicar una carga creciente a una tasa de deformación constante, midiéndose los esfuerzos totales, esfuerzos efectivos y presión de poros a la que se somete la probeta hasta superar la carga máxima pasada, a partir del cual se descarga de nuevo de forma continua. Para cada valor de carga, se pueden obtener los parámetros del modelo teórico de consolidación unidimensional como el índice de compresión, el coeficiente consolidación, la permeabilidad, entre otros.

2.2.3 Resultados Obtenidos

Los resultados de los ensayos realizados se resumen en la tabla 3.

Tabla 3: Tabla General de Caracterización de las muestras

| TABLA DE RESUMEN DE DATOS OBTENIDOS | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Muestra | Límite Líquido (W _l) | Límite Plástico (WP) | Índice de Plasticidad (IP) | Porcentaje de Humedad %W | Correlación a SUCS | % materia orgánica | Relación de vacíos (e ₀) | Gravedad Específica (Gs) | Coefficiente de Compresibilidad (Cc) | Índice de Liquidez (IL) |
| 1 | 40 | 33 | 7,00 | 50 | ML | 10,5 | 0,943 | 2,71 | 0,28 | 2,43 |
| 2 | 40 | 31 | 9,00 | 54 | ML | | 0,918 | 2,52 | 0,30 | 2,56 |
| 3 | 32 | 19 | 13,00 | 61 | ML | 6,75 | 0,816 | 2,55 | 0,33 | 3,23 |
| 4 | 34 | 25 | 9,00 | 45 | ML | | 1,085 | 2,61 | 0,32 | 2,22 |
| 5 | 50 | 44 | 6,00 | 65 | ML | 11,32 | 1,036 | 2,49 | 0,58 | 3,50 |
| 6 | 59 | 51 | 8,00 | 74 | MH | 14,07 | 1,691 | 2,37 | 0,59 | 2,88 |
| 7 | 55 | 47 | 8,00 | 68 | MH | 13,61 | 1,429 | 2,3 | 0,60 | 2,63 |
| 8 | 81 | 78 | 3,00 | 98 | OH | 17,42 | 2,001 | 2,01 | 0,83 | 6,67 |
| 9 | 52 | 47 | 5,00 | 71 | MH | 12,57 | 1,087 | 2,3 | 0,43 | 4,80 |
| 10 | 61 | 59 | 2,00 | 76 | MH | 14,29 | 1,333 | 2,15 | 0,62 | 8,50 |

En esta investigación, para determinar si el suelo es orgánico no se realizó el ensayo del doble límite líquido correspondiente a la relación (límite líquido de la muestra secada al horno respecto al límite líquido de la muestra en estado natural), requerido por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), en el que se considera un suelo orgánico si la relación R es inferior a 0,75.

La Federal Highway Administration (FHWA) en su estudio "Classification of Organic Soils" propone una correlación entre la relación del límite líquido (R) y el contenido de materia orgánica, concluyendo que el contenido de materia orgánica correspondiente a una relación R= 0.75 es 16.5%. Esto significa que los suelos con porcentajes menores a 16,5 son inorgánicos de acuerdo con este criterio pero tienen una cantidad significativa de materia orgánica tal como se muestra en la imagen 2 [5].

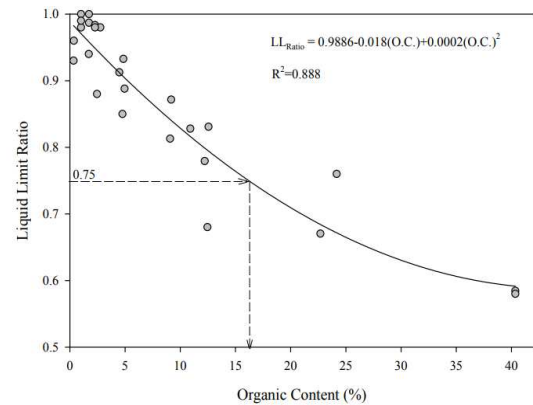


Figura 2. Relación entre razón del límite líquido (R) y contenido de materia orgánica [5]

Por lo tanto haciendo referencia a la correlación antes mencionada, del total de muestras analizadas en el sector, el 50 % corresponden a (ML), el 40 % a (MH) y el 10 % (OH), considerando así que en el sector predomina el suelo inorgánico según esta correlación.



Figura 3. Distribución Porcentual por tipo de suelos

En este estudio, para determinar el contenido de materia orgánica en los suelos se utilizó el método de calcinación [4]-[5].

3. Resultados y Discusión

Uno de los parámetros más importantes del suelo es el coeficiente de compresibilidad que se obtiene en el laboratorio con especímenes inalterados, los datos obtenidos en éste permiten construir una gráfica entre la relación de vacíos y el esfuerzo efectivo en escala logarítmica siendo la pendiente de la curva de carga el coeficiente de compresibilidad.



Figura 4. Curva de consolidación

Las correlaciones se realizaron por el método de los mínimos cuadrados, comparando las tendencias lineal, logarítmica, exponencial y polinomial, resultando un mejor ajuste con la tendencia lineal y obteniendo un mejor coeficiente de correlación entre los datos del coeficiente de compresibilidad versus los datos del límite líquido, mientras que el coeficiente de correlación entre los datos del coeficiente de compresibilidad versus los datos del porcentaje de humedad es moderado, como se puede observar en las siguientes figuras:

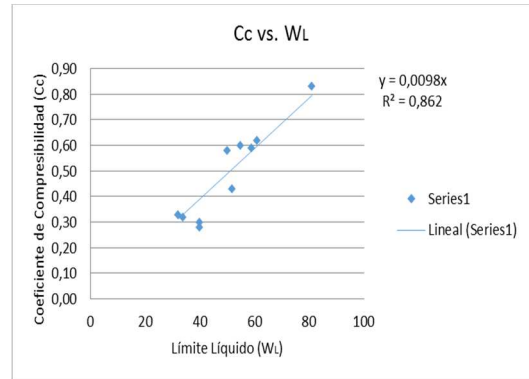


Figura 5. Correlación Cc vs. WL

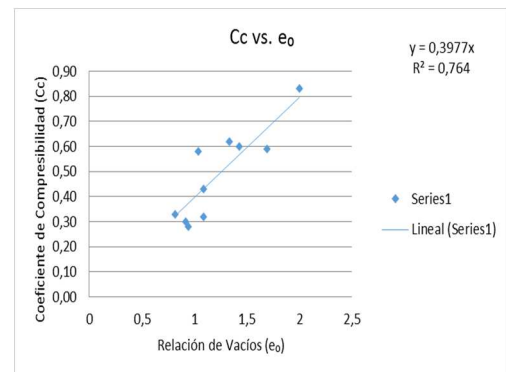


Figura 6. Correlación Cc vs. eo

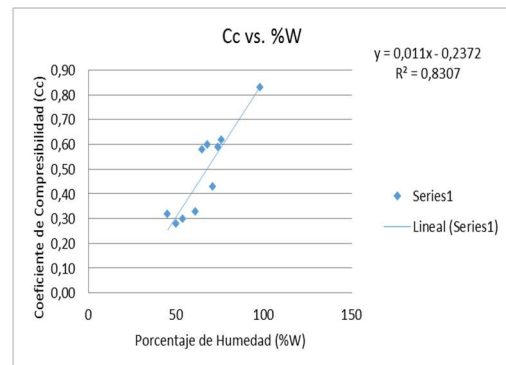


Figura 7. Correlación Cc vs. %w

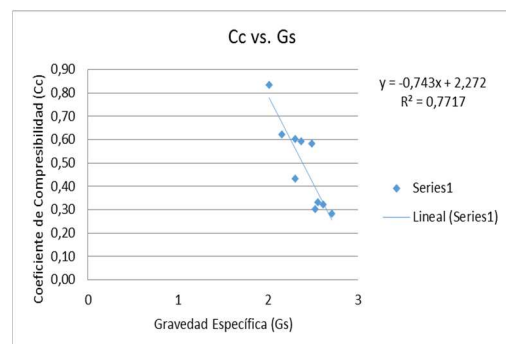


Figura 8. Correlación Cc vs. Gs

En la bibliografía existen varias correlaciones [6]-[7] entre el coeficiente de compresibilidad versus el porcentaje de humedad, la relación de vacíos y el límite líquido, en el presente artículo se hace referencia como comparación a las correlaciones más empleadas:

Para el Límite Líquido [7]:

Terzaghi $Cc = 0,009(w_L - 10)$ (1)

Cozzolino $Cc = 0,0046(w_L - 9)$ (2)

USACE $Cc = 0,01(w_L - 13)$ (3)

Tabla 4: Comparaciones Cc vs. W_L

| limite Líquido | coef de comp. | coef de comp. | coef de comp. | coef de comp. |
|----------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|
| W _L | Cc medido por autor | Cc Therzaghi | Cc Cozzolino | Cc USACE |
| 40 | 0,28 | 0,27 | 0,14 | 0,27 |
| 40 | 0,30 | 0,27 | 0,14 | 0,27 |
| 32 | 0,33 | 0,20 | 0,11 | 0,19 |
| 34 | 0,32 | 0,22 | 0,12 | 0,21 |
| 50 | 0,58 | 0,36 | 0,19 | 0,37 |
| 59 | 0,59 | 0,44 | 0,23 | 0,46 |
| 55 | 0,60 | 0,41 | 0,21 | 0,42 |
| 81 | 0,83 | 0,64 | 0,33 | 0,68 |
| 52 | 0,43 | 0,38 | 0,20 | 0,39 |
| 61 | 0,62 | 0,46 | 0,24 | 0,48 |

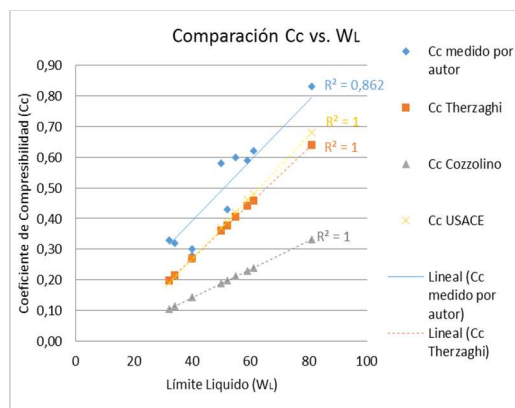


Figura 9. Comparación del Cc vs. w_L

Con los datos del coeficiente de compresibilidad y el límite líquido se obtiene una expresión con un coeficiente de correlación $R^2=0,86$; lo

que indica que la ecuación resultante tiene un ajuste entre fuerte y perfecta a los datos reales [8]-[9].

$$Cc = 0,0098(w_L) \quad (4)$$

En la figura 9 se puede observar que el modelo obtenido presenta una tendencia semejante en comparación con los otros modelos, sin embargo hay un desfase en el eje de las ordenadas, para el mismo Límite Líquido (w_L), mayor es el coeficiente de Compresibilidad (Cc).

Para la relación de vacíos [7]:

Houg $Cc = 0,30(e_0 - 0,27)$ (5)

Azzouz et al. $Cc = 0,4(e_0 - 0,25)$ (6)

Nishida $Cc = 0,54(e_0 - 0,35)$ (7)

Tabla 5: Comparaciones Cc vs. e₀

| Relación de vacíos | coef de comp. | coef de comp. | coef de comp. | coef de comp. |
|--------------------|---------------------|---------------|------------------|---------------|
| e ₀ | Cc medido por autor | Cc Hought | Cc Azzouz et al. | Cc Nishida |
| 0,94 | 0,28 | 0,20 | 0,28 | 0,32 |
| 0,92 | 0,30 | 0,19 | 0,27 | 0,31 |
| 0,82 | 0,33 | 0,16 | 0,23 | 0,25 |
| 1,09 | 0,32 | 0,24 | 0,33 | 0,40 |
| 1,04 | 0,58 | 0,23 | 0,31 | 0,37 |
| 1,69 | 0,59 | 0,43 | 0,58 | 0,72 |
| 1,43 | 0,60 | 0,35 | 0,47 | 0,58 |
| 2,00 | 0,83 | 0,52 | 0,70 | 0,89 |
| 1,09 | 0,43 | 0,25 | 0,33 | 0,40 |
| 1,33 | 0,62 | 0,32 | 0,43 | 0,53 |

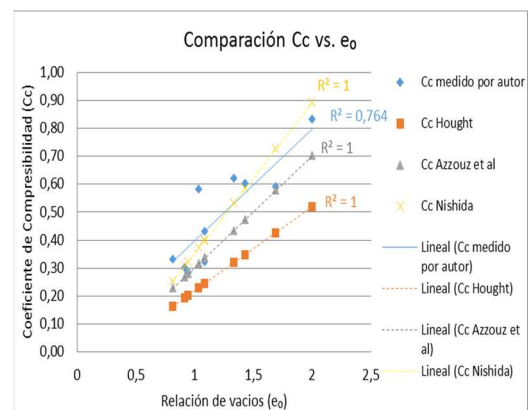


Figura 10. Comparación del Cc vs. e₀

En este caso el coeficiente de correlación es $R^2=0,76$, así se puede evidenciar una dependencia lineal moderada entre el coeficiente de compresibilidad y la relación de vacíos [8]-[9].

$$Cc = 0,3977(e_0) \quad (8)$$

Para el Porcentaje de Humedad [7]:

$$\text{Koppula } Cc = 0,0093 * w \quad (9)$$

$$\text{Brenn } Cc = 0,0147 * w - 0,213 \quad (10)$$

$$\text{USACE. } Cc = 0,0115 * w \quad (11)$$

Tabla 6: Comparaciones Cc vs. %w

| Contenido de humedad | coef de comp. | coef de comp. | coef de comp. | coef de comp. |
|----------------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|
| % w | Cc medido por autor | Cc Koppula | Cc Brenner | Cc USACE |
| 50 | 0,28 | 0,47 | 0,52 | 0,58 |
| 54 | 0,30 | 0,50 | 0,58 | 0,62 |
| 61 | 0,33 | 0,57 | 0,68 | 0,70 |
| 45 | 0,32 | 0,42 | 0,45 | 0,52 |
| 65 | 0,58 | 0,60 | 0,74 | 0,75 |
| 74 | 0,59 | 0,69 | 0,87 | 0,85 |
| 68 | 0,60 | 0,63 | 0,79 | 0,78 |
| 98 | 0,83 | 0,91 | 1,23 | 1,13 |
| 71 | 0,43 | 0,66 | 0,83 | 0,82 |
| 76 | 0,62 | 0,71 | 0,90 | 0,87 |

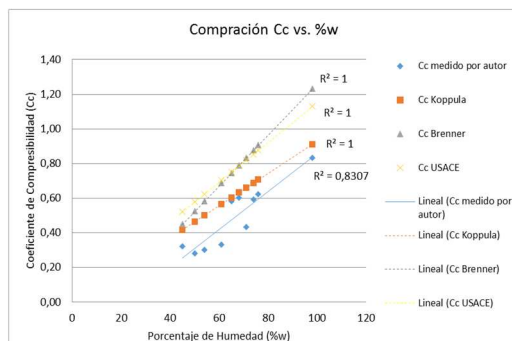


Figura 11. Comparación del Cc vs. %w

Entre los datos del coeficiente de compresibilidad y el porcentaje de humedad, existe un coeficiente de correlación lineal $R^2=0,83$ lo que indica que la dependencia entre las dos

variables es entre fuerte y perfecta [8]-[9].

$$Cc = 0,0011\%w - 0,2372 \quad (12)$$

En la figura 11, la ecuación 12 presenta una tendencia semejante a los resultados de los modelos tomados como referencia, es decir a mayor humedad mayor coeficiente de compresibilidad.

4. Conclusiones

El análisis realizado a las muestras de suelo del barrio “El Garrochal”, permitió identificar que la mayor parte del sector está conformado por suelos inorgánicos, ML 50 %, MH 40 % y OH 10 %, a una profundidad de 1,50 m, según la correlación FHWA.

Las correlaciones entre las propiedades índice y el coeficiente de compresibilidad, realizadas en este estudio, permiten determinar una aproximación de los asentamientos que pueden experimentar las estructuras allí construidas.

En esta investigación se obtienen ecuaciones que son útiles para el cálculo de asentamientos, con los resultados de los análisis obtenidos para los suelos inorgánicos del barrio El Garrochal, se afirma la existencia de una correlación de tipo lineal entre las siguientes variables:

-Correlación de fuerte a perfecta entre el coeficiente de compresibilidad y el límite líquido

$$Cc = 0,098(W_L) \quad R^2 = 0,86.$$

-Correlación fuerte: entre el coeficiente de compresibilidad y el porcentaje de humedad

$$Cc = 0,0011\%w - 0,2372 \quad R^2 = 0,83;$$

-Correlación moderada: entre el coeficiente de compresibilidad y la relación de vacíos

Las expresiones de correlación obtenidas en los análisis son bastante similares a las propuestas por varios autores en la bibliografía; las variaciones que se obtuvieron se deben a factores de influencia entre los cuales se pueden citar aquellas variables que intervienen en el proceso desde la exploración y toma de muestras, conservación, transporte de las mismas, ejecución de los ensayos en el laboratorio, número de muestras obtenidas, profundidad de muestreo y sobre todo el tipo de suelo.

Se recomienda no dejar de lado la campaña de exploración y ensayos de caracterización al momento de realizar el proyecto definitivo (construcción), como comparar distintas clasificaciones ingenieriles de suelos, realizar muestreo a profundidades mayores a 1,5m y obtener mayor número de muestras para ensayarse con el fin de tener una base de datos más amplia y un mejor ajuste de las ecuaciones que se presentan en este estudio.

Referencias

- [1] Lambe, T.W. and Whitman, R.V. Soil Mechanics, SI, version. Wiley, New York, 553 p. 1979
- [2] Smith et al., 1971. Constant Rate of Strain consolidation test (CRS).
- [3] Controls Group. INSTRUCTION MANUAL Edómetro automático Continuous Consolidation test, 2010.
- [4] Nelson D. W and L. E. Sommers, 1996., Total carbon, organic carbon and organic matter. Methods of Soil Analysis, Part 2, second edition. Madison.
- [5] Huang T. & otros, 2009, Classification of Organic Soils, School of Civil Engineering Purdue University.
- [6] Terzaghi, K. y Peck, R. B., 1967, Soil mechanics in engineering practice (2.a ed.). Nueva York, John Wiley & Sons.
- [7] Das, B M., 2001, Índice de compresión. en: Fundamentos de ingeniería geotécnica. México: Thomson.
- [8] Martínez R., Pérez A., Tuya L. y Cánovas A. El Coeficiente de Correlación de los Rangos de Spearman. Caracterización, Rev Haban cienc méd v.8 n.2, 2009 Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000200017&fbclid=IwAR3tyvaGEcLg54BeR7DmzUEDLxfFOW-lszyxzHoaJZ_hECNG1SCi5z9GTgg
- [9] Educational Consulting (s.f.). Correlations, Reliability and Validity, and Linear Regression, 2018. Disponible en: <http://benbaab.com/salkind/correlations.html>
- [10] American Society of Testing Materials (2015) Standard Guide for Soil Sampling from the Vadose Zone: ASTM D4700
- [11] American Society of Testing Materials (2010) Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water Content of Soil and Rock by Mass: ASTM D2216
- [12] American Society of Testing Materials (2017) Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils: ASTM D4318
- [13] American Society of Testing Materials (2012) Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Saturated Cohesive Soils Using Controlled-Strain Loading: ASTM D4318.

- [14] American Society of Testing Materials (2014) Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils: ASTM D2974.
- [15] American Society of Testing Materials (2014) Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer: ASTM D854.