

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Compresibilidad en mezclas de suelos diatomáceos**

**Anahí Elizabeth Ordoñez Pardo**

**Ingeniería Civil**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Civil

Quito, 17 de mayo de 2023

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Compresibilidad en mezclas de suelos diatomáceos**

**Anahí Elizabeth Ordoñez Pardo**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Laura Ibagón, Msc.**

Quito, 17 de mayo de 2023

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Anahí Elizabeth Ordoñez Pardo

Código: 00206153

Cédula de identidad: 1900887066

Lugar y fecha: Quito, 17 de mayo de 2023

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivos evaluar la compresibilidad de dos mezclas diatomáceas para diferentes porcentajes y evaluar la compresibilidad en mezclas con diatomeas fracturadas. Para cumplir con los objetivos se seleccionó la diatomea *Cyclotella Distinguenda*, de la cual se analizaron dos variantes conocidas como “México Rosa” y “Piura”. Adicionalmente, se tomó una muestra de la diatomea “México Rosa” y se le aplicó un esfuerzo de 2.9 MPa en la prensa hasta llevarla a la ruptura. Se prepararon 3 mezclas de arcilla – diatomea variando los porcentajes para cada una de las diatomeas, incluyendo la muestra fracturada. A cada una de las mezclas se les realizó ensayos físicos de límite líquido y gravedad específica para caracterizar las muestras. Además, se realizó el ensayo mecánico de edómetro para conocer las curvas de consolidación de las muestras. Como resultados se encontró que, al aumentar el porcentaje de diatomea, incrementa la relación de vacíos y el límite líquido. Así también, incrementar el contenido de diatomea, disminuye la compresibilidad por la estructura de las frústulas. Además, pese a ser de la misma familia, la diatomea “Piura” es más compresible que la diatomea “México Rosa”. Respecto al segundo objetivo, se encontró que partículas fracturadas tienen menor relación de vacíos, lo que disminuye el límite líquido de la muestra. También, el proceso de consolidación es más lento en partículas fracturadas. Con todo lo antes mencionado, se infiere que la forma y estructura de las diatomeas, así como los esfuerzos que se aplican, modifican el comportamiento de los suelos.

**Palabras clave:** diatomeas, *Cyclotella Distinguenda*, compresibilidad, edómetro, límite líquido, fractura, mezclas diatomáceas.

## ABSTRACT

The objectives of this research were to evaluate the compressibility of two diatomaceous mixtures for different percentages and to evaluate the compressibility in mixtures with fractured diatoms. To meet the objectives, the diatom *Cyclotella Distinguenda* was selected, of which two variants known as "Mexico Rosa" and "Piura" were analyzed. Additionally, a sample of the diatom "Mexico Rosa" was taken and a stress of 2.9 MPa was applied to it in the press until it was brought to rupture. Three clay-diatom mixtures were prepared, varying the percentages for each of the diatoms, including the fractured sample. Each of the mixtures underwent physical tests of liquid limit and specific gravity to characterize the samples. In addition, a mechanical oedometer test was performed to determine the consolidation curves of the samples. As results, it was found that increasing the percentage of diatomite increases the void ratio and the liquid limit. Also, increasing the diatom content decreases the compressibility due to the structure of the frustules. In addition, despite being of the same family, the "Piura" diatom is more compressible than the "Mexico Rosa" diatom. Regarding the second objective, it was found that fractured particles have a lower void ratio, which decreases the liquid limit of the sample. Also, the consolidation process is slower in fractured particles. With all the above mentioned, it is inferred that the shape and structure of diatoms, as well as the stresses applied, modify the behavior of soils.

**Key words:** diatoms, *Cyclotella Distinguenda*, compressibility, oedometer, liquid limit, fracture, diatomaceous mixtures.

**TABLA DE CONTENIDO**

Introducción .....	10
Desarrollo del Tema.....	12
Conclusiones .....	22
Referencias bibliográficas.....	23
Anexo A: Muestras de diatomea “Piura” .....	25
Anexo B: Muestras de diatomea “México Rosa” .....	25
Anexo C: Ensayo límite líquido cazuela de Casagrande .....	25
Anexo D: Ensayo gravedad específica con picnómetro de agua .....	26
Anexo E: Ensayo de edómetro.....	26
Anexo F: Fractura muestra diatomea “México Rosa” .....	27

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades de las muestras con diatomea “México Rosa” .....	14
Tabla 2: Propiedades de las muestras con diatomea “Piura” .....	15
Tabla 3: Propiedades de las muestras con diatomea “México Rosa” triturada.....	15

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Microscopía electrónica de barrido (SEM) de diatomea Cyclotella Distinguenda variante México Rosa.....	14
Figura 2: Microscopía electrónica de barrido (SEM) de diatomea Cyclotella Distinguenda variante Piura.....	14
Figura 3: Límite líquido para las mezclas de diatomea “México Rosa” y “Piura” para diferentes porcentajes .....	17
Figura 4: Curvas de consolidación de las muestras “México Rosa” y “Piura” ensayadas .....	18
Figura 5: Coeficiente de consolidación de las muestras “México Rosa” y “Piura” ensayadas .....	19
Figura 6: Límite líquido para las mezclas de diatomea “México Rosa” normal y triturada para diferentes porcentajes .....	19
Figura 7: Curvas de consolidación de las muestras “México Rosa” normal y triturada ensayadas.....	20
Figura 8: Coeficiente de consolidación de las muestras “México Rosa” normal y triturada ensayadas.....	21

## INTRODUCCIÓN

Las diatomeas son plantas acuáticas constituidas principalmente por fósforo y silicio, con una frústula de sílice de tamaño de 10 a 100  $\mu\text{m}$  (Arenaldi-Perisic, Ovalle & Barrios, 2019). Cuando la frústula de estas microalgas se fosiliza alcanza resistencias últimas a tracción entre 1 a 7 MPa dependiendo de su estructura (Hamm, Merkel, Springer, Jurkojc, Maier, Prechtel & Smetacek, 2003). Una vez que las diatomeas se fosilizan, se sedimentan y forman los suelos diatomáceos. Las características fundamentales para que exista este material son: suelos lacustres o de zonas costeras y que posean gran porcentaje de sílice que, generalmente, es producto de la actividad volcánica. Dadas estas cualidades, los suelos con diatomeas se encuentran en zonas adyacentes al cinturón de fuego del Pacífico (Mesri, Rokhsar & Bohor, 1975).

Estudiar los suelos diatomáceos resulta un tema de gran relevancia; puesto que, estas microalgas provocan un comportamiento particular en los suelos. Las propiedades físicas y mecánicas no siguen los patrones geotécnicos típicos como son las correlaciones entre las propiedades índice y la deformación y resistencia de un suelo (Díaz-Rodríguez, 2011). Estudios realizados han demostrado que el contenido de diatomeas está directamente relacionado con el límite líquido y límite plástico, e inversamente relacionado con el índice de plasticidad del suelo (Shiwakoti, Tanaka, Tanaka & Locat, 2002; Díaz-Rodríguez & González-Rodríguez, 2013). Es decir, las diatomeas aumentan la capacidad de absorción de agua en el suelo, sin afectar las interacciones fisicoquímicas de este (Ovalle & Arenaldi-Perisic, 2021). La compresibilidad disminuye cuando aumenta el porcentaje de diatomeas, debido a que proporcionan mayor resistencia a la compresión al suelo (Ibagon, Caicedo, Ribadeneira, Villacreses & Yépez, 2022). En cuanto a las propiedades mecánicas, el ángulo

de fricción incrementa cuando existe un mayor contenido de diatomeas (Díaz-Rodríguez, 2011).

En la presente investigación se van a utilizar 2 mezclas de arcilla con variantes de diatomeas de la misma familia con el objetivo evaluar la compresibilidad de las mezclas diatomáceas para diferentes porcentajes. Además, se va a agrietar una de las variantes de diatomea para evaluar la compresibilidad en mezclas con diatomeas fracturadas. Para cumplir con los objetivos antes mencionados, se va a caracterizar el límite líquido de cada una de las muestras para, posteriormente, realizar ensayos edométricos y analizar la compresibilidad de las muestras.

## DESARROLLO DEL TEMA

### Ecuaciones

Los procedimientos y las ecuaciones utilizadas para los diferentes cálculos se basaron en las especificaciones de la ASTM. Para determinar la gravedad específica de la arcilla y las dos especies de diatomeas se utilizó la Normativa ASTM D854-02 (Method A) (D854-02, 2002). En cuanto al límite líquido y el contenido de humedad se determinó por medio de la Normativa ASTM D4318-00 (Method A) (D4318- 00, 2000) y ASTM D2216-19 (Method A) (D2216-19, 2019), respectivamente.

El ensayo de edómetro se realizó siguiendo los lineamientos de la especificación ASTM D2435- 03 (D2435-03, 2003) y los cálculos se efectuaron con el método de la “raíz cuadrada del tiempo de Taylor”. Este método permite conocer el tiempo de consolidación para un porcentaje de consolidación  $U=90\%$ , tomando como referencia la curva de deformación vs.  $\sqrt{t}$  correspondiente al escalón de carga que se está analizando (Poliotti y Sierra, 2011).

Los resultados del ensayo edométrico y las condiciones iniciales del ensayo, permitieron trazar la curva de consolidación y el cambio en la relación de vacíos ( $\Delta e$ ) de la muestra. Luego de analizar gráficamente dichas curvas, se determinó los coeficientes de compresión ( $C_c$ ) y recompresión ( $C_r$ ) para cada una de las muestras diatomáceas con diferentes porcentajes.

Para determinar el coeficiente de consolidación ( $C_v$ ) se utilizó el método de la “raíz cuadrada del tiempo de Taylor” que permite conocer el tiempo de consolidación para el 90% de la consolidación primaria ( $t_{90}$ ). Luego de conocer el  $t_{90}$  para cada escalón de carga para diferentes porcentajes de diatomea, se calculó el  $C_v$  con la ecuación 1. Esta ecuación está en

función de  $T_v$  que es un factor de tiempo, el mismo que tiene un valor de 0.848 para el 90% de la consolidación primaria (Shukla, Sivakugan & Das, 2009).

$$C_v = \frac{T_v \cdot H^2}{t_{90}} \quad (1)$$

Donde:

$T_v$ = factor de tiempo.

H= longitud máxima del recorrido de drenaje

$t_{90}$ = tiempo para el 90% de la consolidación primaria

## **Materiales**

Para realizar los ensayos de laboratorio se utilizó la diatomea *Cyclotella Distinguenda* y arcilla. De acuerdo con Hustedt, esta diatomea que corresponde a la familia de los discos es de gran tamaño con un diámetro que oscila entre 10 – 35  $\mu\text{m}$  (1927). Krammer & Lange-Bertalot (1991) proveen un rango similar de 6 – 35  $\mu\text{m}$  para la misma especie. En lo referente a ubicación, la diatomea se desarrolla predominantemente en zonas litorales, lagos o estanques alcalinos (Houk, Klee & Tanaka, 2010). En la presente investigación se empleó dos variantes de esta especie conocidas como “México Rosa” y “Piura”, nombres que hacen referencia al lugar de procedencia de estas. La imagen SEM de la Figura 1 permite apreciar la microestructura de la variante “México Rosa” y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la forma de la variante “Piura”.

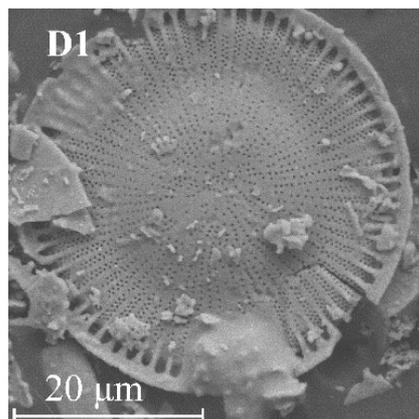


Figura 1: Microscopía electrónica de barrido (SEM) de diatomea *Cyclotella Distinguenda* variante México Rosa

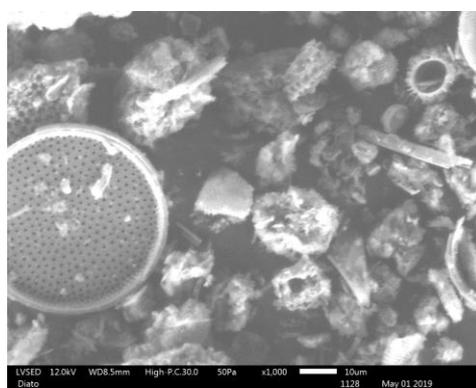


Figura 2: Microscopía electrónica de barrido (SEM) de diatomea *Cyclotella Distinguenda* variante Piura

Las propiedades físicas de las mezclas diatomáceas para diferentes porcentajes de diatomea “México Rosa” se encuentran en la Tabla 1. Para la variante “Piura”, las propiedades se detallan en la Tabla 2. Y para el caso de la misma variante “México Rosa” pero triturada, las propiedades físicas se encuentran resumidas en la Tabla 3.

Tabla 1: Propiedades de las muestras con diatomea “México Rosa”

Mezcla	Contenido arcilla (%)	Contenido diatomea (%)	Gs	Límite líquido (%)	Cc	Cr
1	100	0	2.66	33.8	0.439	0.014
2	70	30	2.27	59.7	0.215	0.04
3	50	50	2.27	82.2	0.168	0.042
4	40	60	2.27	97	0.146	0.038

Tabla 2: Propiedades de las muestras con diatomea “Piura”

Mezcla	Contenido arcilla (%)	Contenido diatomea (%)	Gs	Límite líquido (%)	Cc	Cr
1	100	0	2.66	33.8	0.439	0.014
2	70	30	2.60	54.2	0.276	0.041
3	50	50	2.60	68.6	0.294	0.05
4	40	60	2.60	78.4	0.693	0.064

Tabla 3: Propiedades de las muestras con diatomea “México Rosa” triturada

Mezcla	Contenido arcilla (%)	Contenido diatomea (%)	Gs	Límite líquido (%)	Cc	Cr
1	100	0	2.66	33.8	0.439	0.014
2	70	30	2.27	59.7	0.213	0.037
3	50	50	2.27	82.2	0.188	0.036
4	40	60	2.27	97	0.13	0.043

### Procedimiento

Para el objetivo de la presente investigación se prepararon 3 mezclas diatomáceas con diferente contenido de arcilla – diatomea en masa seca para las dos variantes de diatomea. Las muestras que se prepararon corresponden a 70% arcilla – 30% diatomea, 50% arcilla – 50% diatomea y 40% arcilla – 60% diatomea. Se realizaron ensayos físicos para caracterizar cada una de las muestras de diatomea con diferentes porcentajes. Entre las pruebas físicas que se realizaron se encuentra el ensayo de gravedad específica en picnómetro de agua y el límite líquido con la cazuela de Casagrande. Las propiedades determinadas mediante estos ensayos se resumen en la Tabla 1 y Tabla 2 que se expusieron anteriormente.

Además, se realizó el ensayo mecánico del edómetro para evaluar la compresibilidad de las mezclas. Para este ensayo se prepararon las muestras con 1.5 veces el límite líquido con el propósito de borrar la memoria de esfuerzos del suelo para que la consolidación inicie en el rango elástico. Las muestras preparadas se colocaron en el molde de consolidación con dos

pedras porosas circulares en la parte superior e inferior del mismo y el ensayo se realizó en condiciones saturadas. El proceso de consolidación inició con la preconsolidación de las muestras a 0.45 kPa de manera que sean capaces de soportar las cargas de consolidación. Se aplicaron 5 escalones de cargas con un patrón de incremento del doble de la carga anterior, siendo los escalones de carga 4, 8, 16, 31 y 63 kPa, aproximadamente. El proceso de consolidación que contempla el ciclo de carga y descarga se cumplió en 1 día para la muestra que tenía únicamente arcilla y conforme se incrementó el contenido de diatomea, el tiempo del ensayo se redujo. Para determinar cuándo se llegó al 90% de la consolidación primaria en cada escalón de carga se aplicó el método de la “raíz cuadrada de Taylor”.

Para cumplir con el segundo objetivo de la investigación, se llevó a la prensa una muestra de diatomea “México Rosa” y se aplicó un esfuerzo de 2.9 MPa para fracturar las frústulas. Con la muestra fracturada se prepararon 3 mezclas diatomáceas con los mismos porcentajes de diatomea que se detalló previamente y se realizaron los ensayos pertinentes para caracterizar la muestra. En la *Tabla 3* se detallan las propiedades obtenidas mediante los ensayos. Posteriormente, se realizó el ensayo del edómetro siguiendo el procedimiento descrito con anterioridad.

## **Resultados**

En la Figura 3 se muestra el límite líquido para las muestras de arcilla – diatomea para las variantes “México Rosa” y “Piura” con diferentes porcentajes. Las curvas indican un incremento del LL conforme incrementa el contenido de diatomea en la muestra. Arenaldi-Perisic, Ovalle & Barrios, aseveran que el aumento del límite líquido a mayor contenido de diatomea se debe al incremento en la capacidad de las frústulas de almacenar mayor cantidad de agua (2019). Las frústulas poseen una microestructura porosa, lo que explica el porqué de su gran capacidad de almacenamiento. Además, se evidencia que la diatomea “México Rosa”

posee mayor capacidad de absorber agua que la diatomea “Piura”, a pesar de que se tratan de la misma familia. Esto indica que existe variabilidad en el comportamiento de diatomeas del mismo tipo y una de las causas principales de este hecho es la estructura fósil que posee cada una de las variantes. Referenciando la Figura 1 y Figura 2, la diatomea “México Rosa” tiene la forma de un platillo delgado mientras que, “Piura” posee la forma de un disco grueso, lo que puede inducir comportamientos diferentes.

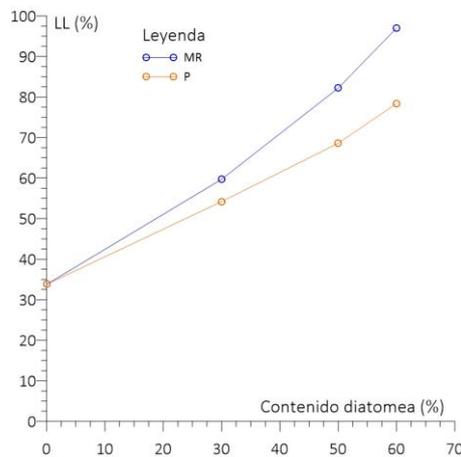


Figura 3: Límite líquido para las mezclas de diatomea “México Rosa” y “Piura” para diferentes porcentajes

En cuanto a los resultados del ensayo edométrico, las curvas de consolidación muestran que a un mayor porcentaje de diatomea la relación de vacíos incrementa dado que, por la estructura porosa de las frústulas internamente poseen gran cantidad de vacíos. De allí resulta que, a mayor contenido de diatomea el límite líquido aumenta y a su vez la relación de vacíos incrementa por las cavidades huecas que poseen las diatomeas. Al comparar las curvas de consolidación de las dos variantes de la misma familia, la diatomea “Piura” posee una mayor cantidad de vacíos respecto de “México Rosa”, esto guarda concordancia con la forma que posee cada una de ellas. Además, al realizar la comparación del índice de compresión ( $C_c$ ) las muestras con diatomea “Piura” tienen valores de  $C_c$  mayores por el hecho de que la

forma tridimensional de la frústula permite que sea más compresible que la variante “México Rosa”.

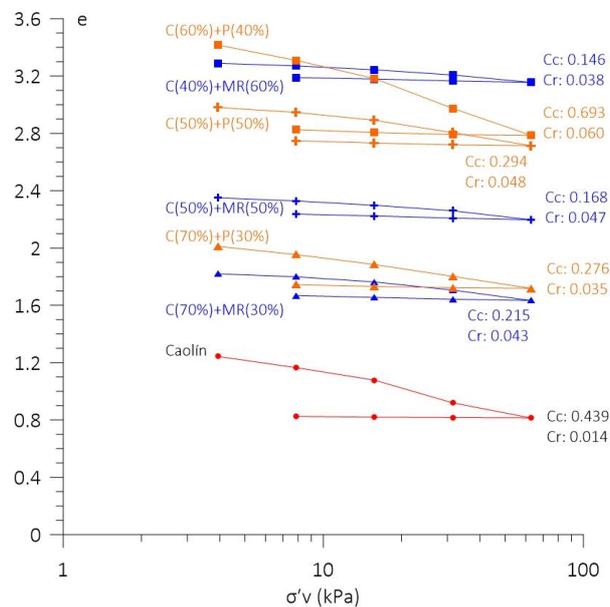


Figura 4: Curvas de consolidación de las muestras “México Rosa” y “Piura” ensayadas

En relación con el coeficiente de consolidación, el incremento de  $C_v$  conforme se tiene mayor porcentaje de diatomeas se debe al aumento de la porosidad de la muestra por lo que la disipación de la presión de poros se da de manera acelerada. La capacidad de la muestra para transportar agua está influenciada por la cantidad de vacíos que poseen las frústulas; por lo que, el drenaje de las muestras diatomáceas es más rápido debido a los huecos en la estructura de la diatomea (Ibagón, Caicedo, Ribadeneira, Villacreses & Yépez, 2022). Al comparar las variantes “México Rosa” y “Piura” se esperaría que los valores de  $C_v$  sean mayores para la diatomea “Piura” porque posee mayor relación de vacíos. Sin embargo, la tendencia indica que “México Rosa” se consolida más rápido, lo que es bastante lógico porque esta variante tiene mayor capacidad de absorber agua por lo que, la salida de agua se produce de manera más acelerada.

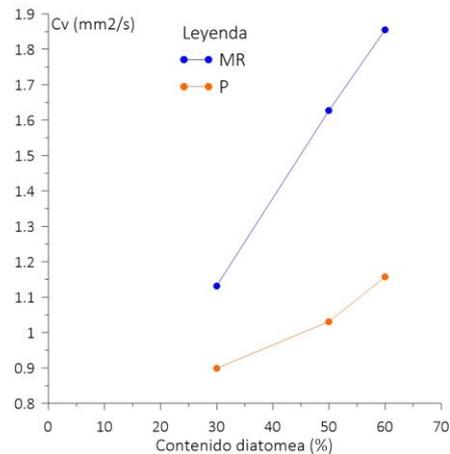


Figura 5: Coeficiente de consolidación de las muestras “México Rosa” y “Piura” ensayadas

Por otro lado, se analiza como se modifica el comportamiento de la variante “México Rosa” en estado normal y cuando se ha aplicado un esfuerzo que ha provocado la fractura de la estructura de la diatomea. En lo referente al límite líquido, cuando la diatomea se tritura disminuye la capacidad de absorción de agua porque se reduce la porosidad de las frústulas. De acuerdo con Shiwakoti, Tanaka, Tanaka & Locat (2002), la disminución en la capacidad de retención de agua de las diatomeas después de la aplicación de un esfuerzo es causada por la degradación del esqueleto de las frústulas, así como por la reducción del espacio entre las partículas debido a la delaminación de estas, la fractura y el reordenamiento del esqueleto.

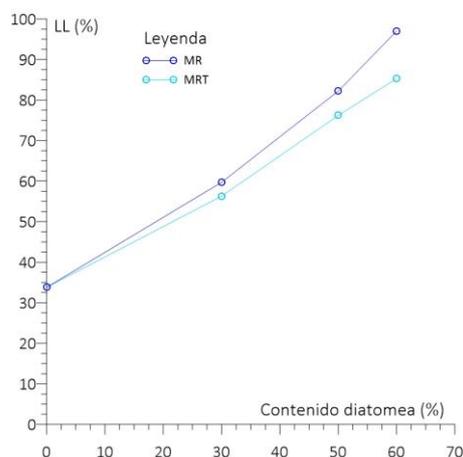


Figura 6: Límite líquido para las mezclas de diatomea “México Rosa” normal y triturada para diferentes porcentajes

La relación de vacíos también se ve afectada cuando las diatomeas se fracturan. En la *Figura 7* se evidencia una disminución considerable en la relación de vacíos de las muestras con diatomea triturada. Esta reducción en los espacios vacíos de las frústulas es un adecuado indicativo de que la muestra en efecto se trituró porque existen modificaciones a la estructura de la diatomea. Por otro lado, para las muestras 70% arcilla – 30% diatomea y 40% arcilla – 60% diatomea los coeficientes de compresión disminuyen en una pequeña medida; por lo que, no es posible aseverar que la compresibilidad de la diatomea “México Rosa” se ve afectada cuando muestra es triturada.

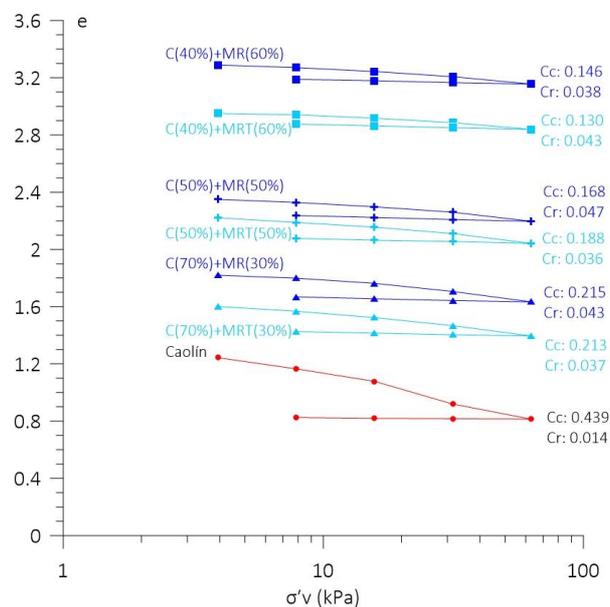


Figura 7: Curvas de consolidación de las muestras “México Rosa” normal y triturada ensayadas

Adicionalmente, el coeficiente de consolidación sufre una disminución cuando la diatomea se fractura. Este coeficiente es un indicativo de que la velocidad con la que se consolida la muestra fracturada es más lenta respecto de una muestra en estado normal. El fenómeno se produce porque la porosidad de las estructuras se reduce al momento de aplicar esfuerzos demasiado grandes; por lo que, a la muestra se le dificulta sacar el agua que tiene contenida y el proceso de consolidación requiere de mayor tiempo.

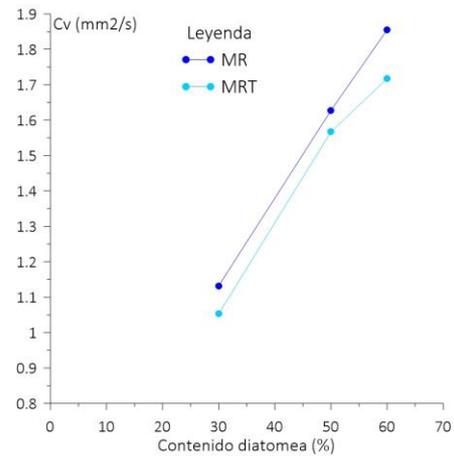


Figura 8: Coeficiente de consolidación de las muestras “México Rosa” normal y triturada ensayadas

## CONCLUSIONES

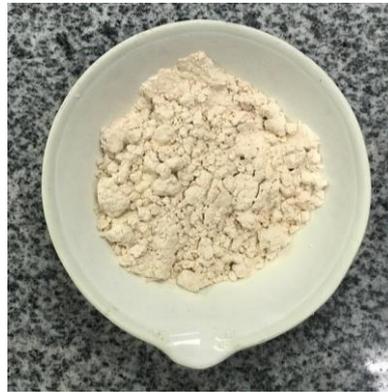
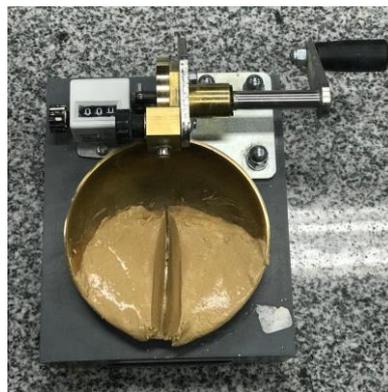
En este trabajo de investigación se presentan los resultados de ensayos físicos y mecánicos realizados para evaluar la compresibilidad de dos variantes de la diatomea *Cyclotella Distinguenda*. Se utilizaron 3 mezclas de arcilla – diatomea con diferentes porcentajes, para las dos variantes incluida la variante que se trituró. Dichas muestras fueron sometidas a diferentes ensayos para conocer la influencia de las diatomeas. Como resultado, se determinaron las siguientes características:

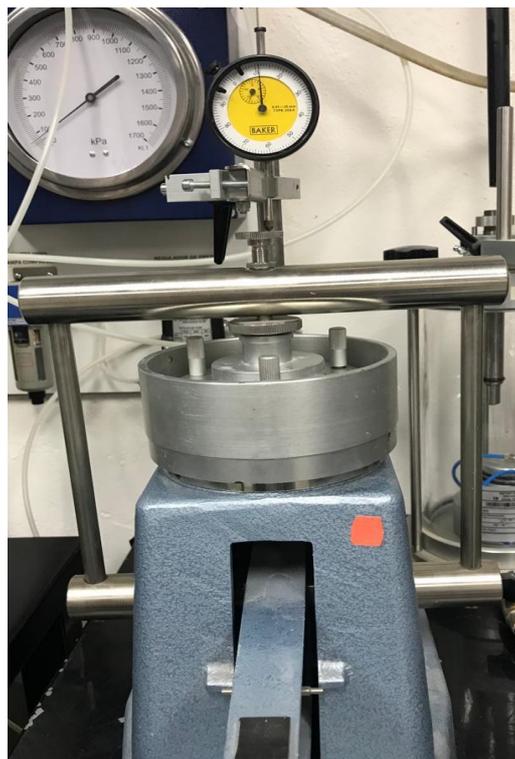
- Aumentar el porcentaje de diatomea, implica un incremento en la relación de vacíos y en el límite líquido porque la muestra es capaz de absorber mayor cantidad de agua por las porosidades existentes en las frústulas.
- Incrementar el porcentaje de diatomea, disminuye la compresibilidad de la muestra por la estructura robusta de las frústulas; lo que, adicionalmente, le provee de resistencia al suelo.
- Pese a ser de la misma familia, la diatomea “Piura” es más compresible que la diatomea “México Rosa” porque poseen estructuras fósiles diferentes.
- Partículas fracturadas tienen menor relación de vacíos, lo que resulta en un decremento del límite líquido de la muestra. Por lo tanto, se reduce la capacidad de absorción de agua de las frústulas.
- El proceso de consolidación es más lento en partículas fracturadas porque debido a la reducción de los vacíos, a la muestra se le dificulta expulsar rápidamente el agua que tiene atrapada en su interior.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arenaldi-Perisic, G., Ovalle, C., & Barrios, A. (2019). Compressibility and creep of a diatomaceous soil. *Engineering Geology*, 258, 105145.
- Díaz-Rodríguez, J. A. (2011). Diatomaceous soils: monotonic behavior. In *Deformation characteristics of geomaterials* (pp. 865-871). IOS Press.
- Díaz-Rodríguez, J. A., & González-Rodríguez, R. (2013, September). Influence of diatom microfossils on soil compressibility. In *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* (pp. 325-328). Presses des Ponts, Paris, France.
- D2216-19, A. S. (2019). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. ASTM International, 04.08, 7.
- D2435-03, A. S. (2003). Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils. ASTM International, 04.08, 10.
- D4318-00, A. S. (2000). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. ASTM International, 04.08, 14.
- D854-02, A. S. (2002). Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. ASTM International, 04.08, 7.
- Hamm, C. E., Merkel, R., Springer, O., Jurkojc, P., Maier, C., Prechtel, K., & Smetacek, V. (2003). Architecture and material properties of diatom shells provide effective mechanical protection. *Nature*, 421(6925), 841-843.
- Houk V, Klee R., Tanaka H. 2010. Atlas of freshwater centric diatoms with a brief key and descriptions. Part 3. Stephanodiscaceae. A. Cyclotella, Tertiarius, Discostella. Fottea 10 (Supplement): 1–498.

- Hustedt, F. (1927). Die Diatomeen der interstadialen Seekreide. H. Gams, Die Geschichte der Lunzer Seen, Moore und Wälder. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie, 18, 305-387.
- Ibagon, L., Caicedo, B., Ribadeneira, M. A., Villacreses, J. P., & Yépez, F. (2022). OEDOMETRIC BEHAVIOR OF SOIL-DIATOM MIXTURES BEFORE FRUSTULE CRACKING. *GEOMATE Journal*, 23(97), 90-96.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991. Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Susswasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/3. Stuttgart, Jena: 576 S.
- Mesri, G., Rokhsar, A., & Bohor, B. F. (1975). Composition and compressibility of typical samples of Mexico City clay. *Geotechnique*, 25(3), 527-554.
- Ovalle, C., & Arenaldi-Perisic, G. (2021). Mechanical behaviour of undisturbed diatomaceous soil. *Marine Georesources & Geotechnology*, 39(5), 623-630.
- Poliotti, M., & Sierra, P. J. R. U. N. d. R. A. E. e. s. (2011). Consolidación unidimensional de suelos. 10.
- Shiwakoti, D. R., Tanaka, H., Tanaka, M., & Locat, J. (2002). Influences of diatom microfossils on engineering properties of soils. *Soils and Foundations*, 42(3), 1-17.
- Shukla, S., Sivakugan, N., & Das, B. (2009). Methods for determination of the coefficient of consolidation and field observations of time rate of settlement—an overview. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 3, 89–108.

**ANEXO A: MUESTRAS DE DIATOMEA “PIURA”****ANEXO B: MUESTRAS DE DIATOMEA “MÉXICO ROSA”****ANEXO C: ENSAYO LÍMITE LÍQUIDO CAZUELA DE CASAGRANDE**

**ANEXO D: ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA CON PICNÓMETRO DE AGUA****ANEXO E: ENSAYO DE EDÓMETRO**

**ANEXO F: FRACTURA MUESTRA DIATOMEA “MÉXICO ROSA”**