

**Influencia del contenido de materia orgánica sobre el comportamiento mecánico de los
suelos finos**

Laura Daniela Dávila Pulido

Karen Daniela Hernández Jiménez

**Trabajo de grado
para optar para el título Ingeniero Civil**

Dirigido por:

Livaniel Viveros Rosero

Ingeniero civil

Universidad Santo Tomás

Ingeniería civil

Bogotá D.C

2021

Resumen

El presente proyecto tiene como propósito analizar la influencia del contenido de materia orgánica en la capacidad portante y asentamientos de una cimentación superficial mediante los datos obtenidos por diferentes autores, los cuales permitieron conocer el comportamiento físico y mecánico de este tipo de suelos en diferentes porcentajes de materia orgánica. Los suelos orgánicos se caracterizan por sus bajas resistencias, gran capacidad de absorción de agua y altos asentamientos.

Para determinar el comportamiento de este tipo de suelos, se analizaron los resultados de varios autores por medio de gráficas que representan cada propiedad, donde parámetros como la gravedad específica y el ángulo de fricción disminuyen cuando los porcentajes de materia orgánica son mayores, mientras que los límites de consistencia, el índice de compresibilidad, el índice de expansión y la relación de vacíos aumentan. Se realizó el cálculo de la capacidad portante del suelo por dos métodos: esfuerzos totales y efectivos, se obtuvo como resultado que la resistencia del suelo disminuye al incrementar la materia orgánica, lo que conlleva al diseño de zapatas de grandes dimensiones. Además, se analizaron los asentamientos, los cuales aumentan con el incremento de materia orgánica. Se tomaron los datos de tres autores y los valores de las líneas de tendencia de cada parámetro, los cuales proporcionaban los datos necesarios para el análisis.

Los perfiles diseñados a partir de las líneas de tendencia con porcentajes de 0% al 100% de materia orgánica, se modelaron en el software Plaxis para hacer una comparación con los datos calculados manualmente.

Palabras Clave: Suelos finos, materia orgánica, resistencia, capacidad portante, zapata, asentamiento.

Abstract

The purpose of this project is to analyse the influence of the organic matter content on the bearing capacity and settlements of a surface foundation through data obtained by different authors, which allowed to know the physical and mechanical behaviour of this type of soils with different percentages of organic matter. Organic soils are characterized by their low resistance, high water absorption capacity and high settlements.

To determine the behaviour of this type of soil, the results of several authors were analysed with graphs representing each property, where parameters such as specific gravity and friction angle decrease with higher percentages of organic matter, while Atterberg limits, compressibility index, recompression index and void ratio increase. The bearing capacity of the soil was calculated by two methods: total and effective forces. The result was that the soil strength decreases with increasing organic matter, which leads to the design of large footings. In addition, settlements were analysed, which increase with increasing organic matter. Data from three authors and trend line values were taken for each parameter, which provided the necessary data for this analysis.

The profiles designed from the trend lines with 0% to 100% organic matter percentages were modelled in Plaxis software to make a comparison with the manually calculated data.

Keywords: Fine-soil, organic matter, bearing capacity, foundations, settlement

Tabla de contenido

Introducción	10
Objetivos	12
Objetivo General	12
Objetivo Específicos	12
Justificación	13
Marco conceptual.....	14
Parámetros físicos	14
Parámetros mecánicos.....	16
Ensayos para determinar los niveles de materia orgánica	21
Marco Teórico.....	23
Metodología	32
Resultados	33
Análisis de resultados	41
Características físicas.....	41
Características mecánicas	46
Análisis de capacidad portante y asentamientos.....	56
Conclusiones	77
Referencias.....	81
Anexos	85
Anexo A. Tablas propiedades físicas y mecánicas por cada autor	85
Anexo B. Tablas predimensionamiento y líneas de tendencia general parámetros físicos y mecánicos.....	91
Anexo C. Tablas análisis de capacidad portante por esfuerzos totales y efectivos	94

Lista de Tablas

Tabla 1. Capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Thiyyakkandi & Annex, 2011), arcilla natural modificada con material orgánico urea. -----58

Tabla 2. Capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso ilitico alterado con turba pulverizada. -----58

Tabla 3. Capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica para línea de tendencia general. --60

Tabla 4. Capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Gui et al., 2021), arcilla con turba. -----62

Tabla 5. Capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Thiyyakkandi & Annex, 2011), arcilla natural modificada con material orgánico urea. -----64

Tabla 6. Capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica de la línea de tendencia general. --65

Tabla 7. Asentamientos para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Gui et al., 2021), arcilla con turba. -----68

Tabla 8. Asentamientos para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Thiyyakkandi & Annex, 2011), arcilla natural modificada con material orgánico urea. -----69

Tabla 9. Asentamientos para los porcentajes de materia orgánica para los resultados calculados por medio de la línea de tendencia general.-----71

Tabla 10. Datos propiedades físicas por cada autor. -----85

Tabla 11. Datos propiedades mecánicas por cada autor. -----88

Tabla 12. Ecuaciones líneas de tendencia ángulo de fricción por cada referencia. -----91

Tabla 13. Resultados de las líneas de tendencia ángulo de fricción por cada referencia.-----91

Tabla 14. Ecuaciones líneas de tendencia cohesión por cada referencia.-----92

Tabla 15. Resultados de las líneas de tendencia cohesión por cada referencia -----92

Tabla 16. Resultados de las líneas de tendencia resistencia al corte no drenado por cada referencia -----92

Tabla 17. Predimensionamiento de los elementos estructurales, valores de carga muerta y carga viva. -----92

Tabla 18. Carga por unidad de área de cada uno de los pisos.-----93

Tabla 19. Carga recibida por la mayor área tributaria por cada piso. -----93

Tabla 20. Resultados de la resistencia al corte no drenado en función de diferentes porcentajes de materia orgánica por medio de la línea de tendencia general de las referencias seleccionadas. -----93

Tabla 21. Resultados de cohesión y ángulo de fricción en función de diferentes porcentajes de materia orgánica por medio de la línea de tendencia general de las referencias seleccionadas.-----94

Tabla 22. Datos iniciales para el cálculo de la capacidad portante método de esfuerzos totales y efectivos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea. -----94

Tabla 23. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 4.98% -----94

Tabla 24. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 6.69% -----94

Tabla 25. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 8,41% -----95

Tabla 26. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 10.12%-----95

Tabla 27. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 11.84%-----96

Tabla 28. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 13.55%-----96

Tabla 29. Datos iniciales para el cálculo de la capacidad portante esfuerzos totales de la (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso ilitico. -----96

Tabla 30. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso ilitico 0% ---96

Tabla 31. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso ilitico 5.5%--97

Tabla 32. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso ilitico 10.3%-97

Tabla 33. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso ilitico 13.8% 98

Tabla 34. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso ilitico 16.4% 98

Tabla 35. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso ilitico 19.6% 98

Tabla 36. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso ilitico 21.2% 98

Tabla 37. Datos iniciales para el cálculo de la capacidad portante método de esfuerzos totales de la línea de tendencia general. -----	99
Tabla 38. Capacidad portante método de esfuerzos totales de la línea de tendencia general con porcentajes de materia orgánica del 0%, 10% y 20% -----	99
Tabla 39. Capacidad portante método de esfuerzos totales de la línea de tendencia general con porcentajes de materia orgánica del 30%, 40% y 50%-----	100
Tabla 40. Capacidad portante método de esfuerzos totales de la línea de tendencia general con porcentajes de materia orgánica del 60%-----	100
Tabla 41. Datos iniciales para el cálculo de la capacidad portante método de esfuerzos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba.-----	101
Tabla 42. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 0% -----	101
Tabla 43 Capacidad portante método de esfuerzos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 5% -----	102
Tabla 44 Capacidad portante método de esfuerzos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 10%-----	102
Tabla 45. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 16.7%-----	103
Tabla 46. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 25%-----	103
Tabla 47 .Capacidad portante método de esfuerzos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 37.5%-----	104
Tabla 48. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 50%-----	104
Tabla 49. Capacidad portante método esfuerzos efectivos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 4.98% -----	105
Tabla 50. Capacidad portante método esfuerzos efectivos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 8.41% -----	105
Tabla 51. Capacidad portante método esfuerzos efectivos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 10.12%-----	106
Tabla 52. Capacidad portante método esfuerzos efectivos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 13.55%-----	106
Tabla 53. Capacidad portante método esfuerzos efectivos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 16.98%-----	107
Tabla 54. Capacidad portante método esfuerzos efectivos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 20.42%-----	107
Tabla 55. Datos iniciales para el cálculo de la capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general. -----	108
Tabla 56. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 0% de materia orgánica. -----	108
Tabla 57. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 10% de materia orgánica. -----	108
Tabla 58. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 20% de materia orgánica. -----	109
Tabla 59. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 30% de materia orgánica. -----	109
Tabla 60 Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 40% de materia orgánica. -----	110
Tabla 61. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 50% de materia orgánica. -----	110
Tabla 62. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 60% de materia orgánica. -----	111
Tabla 63.Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 70% de materia orgánica. -----	111

<i>Tabla 64. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 80% de materia orgánica.</i>	112
<i>Tabla 65. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 90% de materia orgánica.</i>	112
<i>Tabla 66. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 100% de materia orgánica.</i>	113
<i>Tabla 67. Asentamientos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 0%</i>	113
<i>Tabla 68. Asentamientos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 5%</i>	114
<i>Tabla 69. Asentamientos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 10%</i>	114
<i>Tabla 70. Asentamientos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 16.7%</i>	115
<i>Tabla 71. Asentamientos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 25%</i>	115
<i>Tabla 72. Asentamientos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 37.5%</i>	116
<i>Tabla 73. Asentamientos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 50%</i>	116
<i>Tabla 74. Asentamientos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 4.98%</i>	117
<i>Tabla 75. Asentamientos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 8.41%</i>	117
<i>Tabla 76. Asentamientos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 10.12%</i>	118
<i>Tabla 77. Asentamientos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 13.55%</i>	118
<i>Tabla 78. Asentamientos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 16.98%</i>	119
<i>Tabla 79. Asentamientos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 20.42%</i>	119
<i>Tabla 80. Asentamientos línea de tendencia general 0%,10% y 20% de materia orgánica.</i>	120
<i>Tabla 81. Asentamientos línea de tendencia general 30%,40% y 50% de materia orgánica.</i>	120
<i>Tabla 82. Asentamientos línea de tendencia general 60%, 70% y 80% de materia orgánica.</i>	121
<i>Tabla 83. Asentamientos línea de tendencia general 90% y 100% de materia orgánica.</i>	121

Lista de Figuras

Figura 1. Falla de un suelo por una cimentación continua.-----19

Figura 2. Valores de gravedad específica con respecto al porcentaje de materia orgánica suelos finos.-----34

Figura 3. Valores de gravedad específica con respecto al porcentaje de materia orgánica turbas. -----34

Figura 4. Contenido de humedad respecto al porcentaje de materia orgánica.-----35

Figura 5. Valores del límite líquido con respecto al porcentaje de materia orgánica de suelos finos. -----35

Figura 6. Valores del límite líquido con respecto al porcentaje de materia orgánica de turbas. -----36

Figura 7. Valores del límite plástico con respecto al porcentaje de materia orgánica de suelos finos. -----36

Figura 8. Valores del límite plástico con respecto al porcentaje de materia orgánica de turbas. -----37

Figura 9. Valores del índice plástico con respecto al porcentaje de materia orgánica de suelos finos.-----37

Figura 10. Valores del ángulo de fricción obtenidos a partir de ensayos de corte directo y triaxial con respecto al porcentaje de materia orgánica. -----38

Figura 11. Valores de cohesión obtenidos a partir de ensayos de corte directo y triaxial con respecto al porcentaje de materia orgánica. -----38

Figura 12. Valores de la resistencia al corte S_u con respecto al porcentaje de materia orgánica. -----39

Figura 13. Valores del índice de compresión con respecto al porcentaje de materia orgánica, obtenidos por diferentes autores mediante el ensayo de consolidación. -----39

Figura 14. Valores del índice de compresión con respecto al porcentaje de materia orgánica, obtenidos por correlaciones. -----40

Figura 15. Valores del índice de expansión con respecto al porcentaje de materia orgánica. -----40

Figura 16. Líneas de tendencia gravedad específica para cada uno de los autores con respecto al porcentaje de materia orgánica. -----42

Figura 17. Líneas de tendencia contenido de agua para cada uno de los autores con respecto al porcentaje de materia orgánica. -----43

Figura 18. Líneas de tendencia límite líquido para cada uno de los autores con respecto al porcentaje de materia orgánica, suelos finos. -----44

Figura 19. Líneas de tendencia límite plástico específica para cada uno de los autores con respecto al porcentaje de materia orgánica. -----44

Figura 20. Clasificación de cada referencia en base a los minerales contenidos en la carta de plasticidad de Casagrande. -----46

Figura 21. Líneas de tendencia ángulo de fricción para suelos finos y turba con diferentes porcentajes de materia orgánica. -----48

Figura 22. Línea de tendencia ángulo de fricción para todas las muestras de suelos con diferentes porcentajes de materia orgánica. -----48

Figura 23. Líneas de tendencia ángulo de fricción con diferentes porcentajes de materia orgánica para los autores seleccionados. -----49

Figura 24. Líneas de tendencia ángulo de fricción para (Thiyyakkandi & Annex, 2011) y (Gui et al., 2021).-----50

Figura 25. Líneas de tendencia cohesión con diferentes porcentajes de materia orgánica para los autores seleccionados. -----51

Figura 26. Líneas de tendencia resistencia a la compresión confinada con diferentes porcentajes de materia orgánica para los autores seleccionados. -----52

Figura 27. Línea de tendencia Índice de compresión para todas las muestras de suelos con diferentes porcentajes de materia orgánica. -----53

Figura 28. Línea de tendencia Índice de expansión para todas las muestras de suelos con diferentes porcentajes de materia orgánica. -----54

Figura 29. Líneas de tendencia general índice de compresión con diferentes porcentajes de materia orgánica. ----55

Figura 30. Líneas de tendencia general índice de expansión con diferentes porcentajes de materia orgánica. -----55

Figura 31. Estructura de concreto de tres pisos modelada en SAP 2000. -----56

Figura 32. Tendencia de la capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Thiyyakkandi & Annex, 2011). -----58

Figura 33. Tendencia de la capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso íltico alterado con turba pulverizada.-----59

Figura 34. Capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica calculados por medio de la línea de tendencia general.-----60

Figura 35. Tendencia de la capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Gui et al., 2021), arcilla con turba. ----- 63

Figura 36. Tendencia de la capacidad de carga última para la referencia (Thiyyakkandi & Annex, 2011), arcilla natural modificada con material orgánico urea. ----- 64

Figura 37. capacidad de carga última para los resultados calculados por medio de la línea de tendencia general. 65

Figura 38. Comportamiento del esfuerzo cortante y esfuerzo normal en diferentes porcentajes de materia orgánica. ----- 67

Figura 39. Asentamientos para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Gui et al., 2021), arcilla con turba. ----- 68

Figura 40. Asentamientos para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Thiyyakkandi & Annex, 2011), arcilla natural modificada con materia orgánica urea. ----- 70

Figura 41. Asentamientos para los resultados calculados por medio de la línea de tendencia general. ----- 71

Figura 42. Desplazamientos para la muestra de suelo con 0% de materia orgánica.----- 73

Figura 43. Desplazamientos para la muestra de suelo con 10% de materia orgánica. ----- 73

Figura 44. Desplazamientos para la muestra de suelo con 20% de materia orgánica. ----- 73

Figura 45. Desplazamientos para la muestra de suelo con 30% de materia orgánica. ----- 74

Figura 46. Desplazamientos verticales para la muestra de suelo con 40% de materia orgánica. ----- 74

Figura 47. Desplazamientos verticales para muestra de suelo con 50% de materia orgánica. ----- 74

Figura 48. Desplazamientos verticales para la muestra de suelo con 60% de materia orgánica. ----- 75

Figura 49. Desplazamientos verticales para la muestra de suelo con 70% de materia orgánica----- 75

Figura 50. Desplazamientos verticales para la muestra de suelo con 80% de materia orgánica ----- 75

Figura 51. Desplazamientos verticales para la muestra de suelo con 90% de materia orgánica----- 76

Figura 52. Desplazamientos verticales para la muestra de suelo con 100% de materia orgánica ----- 76

Introducción

El porcentaje de materia orgánica del suelo depende de diversos factores como la vegetación, el clima, la estructura del suelo, el drenaje, entre otros. La presencia de suelos finos con diferentes contenidos de materia orgánica en los proyectos de ingeniería genera una incertidumbre en los diseños de cimentaciones, ya que se cae en el error de tomar la información de los suelos inorgánicos comunes, teniendo como consecuencia la afectación y pérdida de funcionalidad de la estructura, generando daños irreversibles que conducen a la falla y al aumento en los costos del proyecto. De acuerdo a lo anterior, se debe tener en cuenta la influencia del contenido de materia orgánica sobre el comportamiento mecánico de los suelos finos, para realizar un adecuado análisis y diseño de cimentaciones profundas y superficiales.

El análisis de este tipo de suelos se hace en base a los ensayos de laboratorio que miden las propiedades físicas y mecánicas, (Thiyyakkandi, S. & Annex, S., 2011) describe el comportamiento de una muestra de arcilla alterada con urea en porcentajes del 4.98% al 20.42%, donde los ensayos realizados dan como resultado que la arcilla orgánica es propensa a tener variaciones en su comportamiento geotécnico, como la resistencia al corte no drenada y el ángulo de fricción que disminuyen significativamente con el aumento de materia orgánica; por el contrario la relación de vacíos y el índice de compresión aumentan con el incremento de materia orgánica, aunque después del 10% de materia orgánica el incremento del C_c ya no es significativo.

Un estudio realizado por (Gui et al., 2021) donde también se analizaron muestras de arcilla, pero esta vez alteradas con turba pulverizada en porcentajes que alcanzaban el 50 % de material orgánico, se obtuvo que la gravedad específica disminuye con el incremento del contenido de materia orgánica, mientras que el contenido de humedad, los límites de Atterberg y

la relación de vacíos aumentan con el contenido de materia orgánica. A medida que la materia orgánica es mayor en las muestras de suelo, el ángulo de fricción y la resistencia al corte disminuyen; se determinó que existe un punto de quiebre cuando la materia orgánica es igual al 7.5% en los resultados de laboratorio de cada uno de los parámetros. Por el contrario (Salim, N. & Hassan, A., 2020) realizaron muestras de arcillas alteradas con desechos de animales en porcentaje de 0%, 5%, 10% y 15%, se obtuvo que los valores de los límites de Atterberg, el índice de compresión, los parámetros de resistencia ángulo de fricción y cohesión aumentaron con el porcentaje de materia orgánica, a diferencia de la mayoría de autores los parámetros de resistencia presentan un incremento en los resultados, debido al manejo incorrecto de las muestras ensayadas.

Por lo anterior, se requiere el análisis del comportamiento de suelos orgánicos, antes y después de ser sometidos a un incremento de esfuerzos que puedan generar grandes asentamientos y la pérdida de resistencia del material. Con este estudio, se quiere dejar un conocimiento más profundo frente al comportamiento de los suelos finos orgánicos, ya que la literatura no es muy extensa y los análisis realizados son muy superficiales, limitándose a realizar ensayos de laboratorio sin llevar a cabo una comparación de los resultados obtenidos; tomando de manera ambigua cada uno de los datos obtenidos como conclusión.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la influencia del contenido de materia orgánica en la capacidad portante y asentamientos de una cimentación superficial.

Objetivo Específicos

1. Identificar el comportamiento de los suelos finos con diferentes porcentajes de materia orgánica con base en los análisis de los resultados de diferentes laboratorios encontrados en la literatura donde se determinan las propiedades físicas de este tipo de suelos.
2. Determinar las características mecánicas que presentan los suelos con contenido de materia orgánica cuando se someten a compresibilidad y resistencia al corte.
3. Establecer la influencia de la materia orgánica en el diseño de cimentaciones superficiales con el fin de conocer los problemas y las consecuencias que existen.

Justificación

La falta de información de suelos orgánicos finos, actualmente genera cierta incertidumbre en los resultados al momento de diseñar y construir, originando en el ingeniero civil mayor interés en los análisis que se realizan, llevando a cabo diseños óptimos que reduzcan costos y estén acorde a las necesidades del contratista. Por esta razón, se requiere el análisis del comportamiento de suelos orgánicos, antes y después de ser sometidos a un incremento de esfuerzos que puedan generar grandes asentamientos y la pérdida de resistencia del material.

Se quiere dejar un conocimiento más profundo frente al comportamiento de los suelos finos orgánicos, ya que la literatura no es muy extensa y los análisis realizados son muy superficiales, limitándose a realizar ensayos de laboratorio sin llevar a cabo una comparación de los resultados, tomando de manera ambigua cada uno de los datos obtenidos como conclusión.

Marco conceptual

Parámetros físicos

Relación de vacíos

Es la relación existente entre los espacios vacíos y el volumen de partículas sólidas en una porción de suelo. Los vacíos suelen tener un mayor valor a una profundidad menor y reducirse a medida que la profundidad aumenta debido a la presión de sobrecarga (Paul, Hussain & Ramu, 2018), este parámetro del suelo está relacionado a la capacidad de absorción de agua que tienen los suelos.

$$e = \frac{V_V}{V_S} \quad (1)$$

Límites de Atterberg

Caracterizan la consistencia de los suelos finos cuando son sometidos a cambios de humedad, generando una reducción en su volumen. Los límites de Atterberg definen los límites entre los diferentes estados de los suelos de grano fino: líquido, plástico, semisólido y sólido (Fratta, Agguettant & Roussel-Smith, 2007), estos a su vez están divididos por fronteras, para identificar cada uno de los estados del suelo.

1. **Límite de contracción (LC):** Se presenta cuando la muestra de suelo pierde casi la totalidad de humedad que contiene, evidenciándose un cambio de volumen y una consistencia mucho más rígida. Es la frontera entre el estado sólido y semisólido.
2. **Límite plástico (LP):** Con el aumento de humedad, la muestra de suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico y se presentan grietas cuando el suelo es amasado.

3. **Límite líquido (LL):** Al adicionar más agua a la muestra del suelo se sobrepasa el límite plástico, el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido.

En la mecánica de suelos es fundamental conocer el rango de humedades para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, tiene la capacidad de deformarse continuamente sin romperse, esta es la propiedad que presentan los suelos hasta cierto límite conocido como **índice de plasticidad**, que es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

$$IP = LL - LP \quad (2)$$

Gravedad específica

Relación entre el peso unitario de los sólidos del suelo y el agua (Budhu, 2011). Este parámetro del suelo es controlado principalmente por la mineralogía del suelo. La gravedad específica en la turba o en los suelos orgánicos generalmente disminuye a medida que aumenta el porcentaje de materia orgánica (Paul et al., 2018).

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (3)$$

Pesos unitarios

Peso del suelo por unidad de volumen. El valor de los pesos unitarios es realmente importante determinarlo, ya que permite conocer la presión que ejercen los suelos sobre sí mismos y otras estructuras importantes, de igual forma para la determinación de los esfuerzos normales verticales in situ y el control de calidad en la construcción de terraplenes, revestimiento y bases (Fratta et al., 2007).

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T} \quad (4)$$

Parámetros mecánicos

Consolidación

Cuando un suelo saturado es sometido a un aumento de esfuerzos, la presión de los poros se incrementa repentinamente. Sin embargo, el agua no tiene resistencia y con el tiempo se disipará gradualmente hasta que el esqueleto del suelo soporte la sobrecarga aplicada aumentando el esfuerzo efectivo (Fratta et al., 2007).

Resistencia al corte

Capacidad que tiene el suelo de resistir una determinada carga, para evitar la falla y el deslizamiento en cualquiera de sus planos, desempeña un papel fundamental en el diseño de cimentaciones y en la estabilidad de taludes. (Paul et al., 2018) las pruebas de resistencia al corte como corte directo, compresión inconfiada y triaxial, permiten el establecimiento de la resistencia máxima de las muestras de suelos, además, de las tendencias contractivas y dilatativas.

1. **Triaxial:** Es uno de los ensayos para evaluar los esfuerzos cortantes del suelo, se tiene en cuenta la presión intersticial bajo un estado axisimétrico de esfuerzos con condiciones de drenaje controlado, se realiza en cualquier tipo de suelo. La muestra puede ser saturada o seca. Una de las principales características del ensayo es que no solo se tienen parámetros geotécnicos de diseño, sino también para investigación y modelación (Fratta et al., 2007).

Una muestra cilíndrica es cubierta por una membrana de caucho puesta bajo la cámara confinada y luego es cargada en los ejes principales hasta que la muestra falla, se observan varios parámetros con el ensayo: cambio volumétrico, exceso de la presión de poros y la deformación axial. El ensayo se repite en muestras similares con diferentes presiones de confinamiento. Existen tres tipos de ensayo

triaxial no consolidado-no drenado, consolidado-no drenado y consolidado-drenado.

2. **Corte directo:** Mide la resistencia al corte para obtener parámetros de cohesión y ángulo de fricción, consiste en someter una muestra de suelo cilíndrica, aplanada y confinada en una caja de corte que permite el desplazamiento, donde se aplica una carga normal, para luego ser sometida a una carga tangencial, hasta que la muestra falle en un plano establecido, es decir, que alcance un factor de seguridad igual a 1.

Se utilizan tres cargas diferentes (N_1, N_2 y N_3) y para cada una de ellas existirá una fuerza tangencial (τ_1, τ_2 y τ_3) hasta alcanzar la falla del material, estos valores permitirán graficar la envolvente de esfuerzos, generando una ecuación de envolvente. El ensayo de corte directo no tiene en cuenta la presión de poros, ya que se permite el drenaje del agua y la aplicación de la carga es a una velocidad lenta (Geo-JuanP, 2020).

3. **Compresión inconfiada:** Este ensayo se aplica solo para suelos finos, como arcillas en condiciones saturadas, insaturadas o para suelos cementados. Para determinar la resistencia a la compresión inconfiada, se aplica una deformación axial a una velocidad de deformación predeterminada; a medida que aumenta la deformación, la fuerza axial vertical se mide en intervalos regulares de deformación, cuando falla la muestra de suelo la mitad de la tensión en ese punto se denomina resistencia al corte sin drenaje. La resistencia al corte de un suelo está dada por τ , c es el intercepto de corte, σ es el esfuerzo normal y ϕ es el ángulo de fricción. Para las pruebas sin drenaje de arcillas saturadas el ángulo de

fricción es cero y S_u es la resistencia al corte sin drenaje de los suelos (Fratta et al., 2007).

Capacidad portante

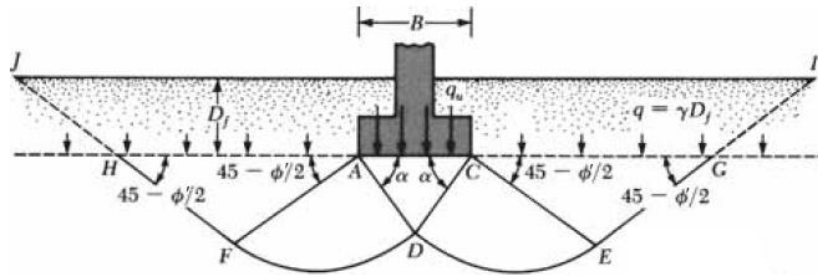
Es el máximo esfuerzo ejercido entre el suelo y la cimentación, para que no se genere una falla general por corte y/o asentamientos diferenciales. Las cargas de una estructura son transferidas al suelo por medio de una cimentación, una estructura de concreto, acero o madera que puede ser superficial (zapatas, losas de cimentación) o profunda (Pilotes, muros pantalla), todo dependerá del tipo de suelo y diseño planteado, sin embargo, para cualquiera de los dos casos se debe asegurar que la cimentación satisfaga el estado límite último (falla por corte) y el estado límite de servicialidad (asentamientos). (Budhu, 2011)

Cuando se aplica una carga en el suelo y esta es igual al valor de la carga última máxima permitida, el suelo que soporta la cimentación puede fallar y la superficie de falla se extenderá hasta la superficie del terreno, así es cómo sucede la falla general por corte del suelo, que suele suceder en arenas densas o suelos cohesivos rígidos, este es uno de los tres casos de falla del suelo. En el segundo caso el suelo alcanza la carga última y no se genera una falla instantánea del suelo, pero está acompañado de movimientos bruscos en la cimentación, que harán que la superficie de falla se extienda gradualmente a la superficie del suelo, así se define la falla localizada, este caso se puede dar en arenas o suelos cohesivos de mediana densidad, el último caso es la falla por punzonamiento donde el suelo no tiene una zona plástica y la superficie de falla no se extiende a la superficie del suelo, solo existe un confinamiento por debajo de la cimentación, se da en suelos con densidades bajas.

La primera persona en presentar una teoría concreta sobre la capacidad portante fue Karl Terzaghi, según esta teoría una cimentación se considera superficial cuando la profundidad de

desplante es menor o igual que el ancho de la cimentación. Cuando se presenta una cimentación continua o de franja, es decir que la transmisión de carga se realiza de manera lineal y uniforme, la falla del suelo se idealiza de la siguiente manera:

Figura 1. *Falla de un suelo por una cimentación continua.*



Nota. Falla de la capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación continua rígida en grava. Braja M. Das.

(2015). Fundamentos de ingeniería geotécnica. *Cuarta edición*, 481.

Para una cimentación en franja anteriormente mostrada, Terzaghi propone el cálculo de la capacidad de carga última de la siguiente manera

$$q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma \quad (5)$$

Para cimentaciones cuadradas y circulares la capacidad de carga última presenta algunas variaciones

1. Zapatas cuadradas

$$q_u = 1.3c'N_c + qN_q + 0.4\gamma BN_\gamma \quad (6)$$

2. Zapatas circulares

$$q_u = 1.3c'N_c + qN_q + 0.3\gamma BN_\gamma \quad (7)$$

Donde

c' = cohesión del suelo

γ = Peso unitario del suelo

γ = Sobrecarga (γD_f)

B = Ancho de cimentación

N_c, N_q, N_γ = Factores de capacidad de carga en función del ángulo ϕ'

La ecuación de Terzaghi la modificó Meyerhof mostrando que el ángulo α de la figura 1 se acerca más a $45 + \phi'/2$, lo que produce un cambio en los factores de capacidad de carga y posteriormente realiza una generalización de la ecuación teniendo en cuenta la inclinación de la carga, las proporciones en las dimensiones de una cimentación rectangular y la resistencia al corte a lo largo de la superficie de falla (Das, 2015). Obteniendo así:

$$q_u = c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} F_{cc} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} F_{qc} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} F_{\gamma c} \quad (8)$$

Donde

q = tensión efectiva en el nivel de la parte inferior de la base

B = Ancho o diámetro de la cimentación

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$ = Factores de forma

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$ = Factores de profundidad

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$ = Factores de inclinación de carga

$F_{cc}, F_{qc}, F_{\gamma c}$ = Factores de compresibilidad

En la capacidad portante del suelo, se consideran dos condiciones limitantes. La primera es el análisis por medio de los esfuerzos efectivos, la cual sucede en periodos largos de tiempo

debido al tiempo que toma en disiparse la presión de poros en el suelo y la segunda condición que sucede en periodos más cortos y el análisis se realiza por medio de los esfuerzos totales del suelo, teniendo en cuenta los resultados de laboratorio de la presión inconfiada S_u .

Asentamientos

Desplazamientos verticales generados en el suelo debido a las grandes cargas aplicadas, teniendo como consecuencia en casos extremos la pérdida de la funcionalidad de la estructura.

Existen dos tipos de asentamientos: Elásticos y por consolidación.

1. **Asentamiento elástico:** Suceden casi inmediatamente cuando el incremento de carga es aplicado en la cimentación, en arcillas este puede ser distribuido de forma uniforme o no uniforme al suelo.
2. **Asentamiento por consolidación primaria:** Es la deformación presentada en cierto tiempo por el drenaje constante de agua almacenada en los vacíos del suelo en condiciones saturadas, transfiriendo el esfuerzo al esqueleto del suelo.
3. **Asentamiento por consolidación secundaria:** Se genera tiempo después de haberse culminado la consolidación primaria ($\Delta u = 0$), se genera reacomodamiento de las partículas del suelo, es decir, hay un cambio en el volumen del suelo.

Compresibilidad

Variación del volumen del suelo, por la reducción en sus vacíos debido a la aplicación de una carga externa.

Ensayos para determinar los niveles de materia orgánica

Pérdida por ignición (LOI)

Es una metodología que permite determinar el contenido de materia orgánica y el contenido en carbonatos del suelo. Para determinar el contenido de materia orgánica, inicialmente se oxida en una mufla entre 500° y 550°C, luego se produce una destrucción de los

carbonatos a 900° o 1000°C. La pérdida de peso experimentada por el suelo durante estas reacciones está directamente relacionada con la materia orgánica y los carbonatos (Luque, 2003).

Método de Walkey & Black

Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico, el suelo se oxida con una solución de dicromato de potasio estandarizada, utilizando el calor producido por la dilución de ácido sulfúrico concentrado, en la solución crómica. (García y Ballesteros, 2005)

Marco Teórico

La geotecnia es la rama de la Ingeniería civil encargada de realizar las investigaciones necesarias al suelo, en cuanto al comportamiento mecánico, hidráulico y resistente; llevando a cabo los análisis y recomendaciones que resultan imprescindibles para un apropiado diseño y construcción, garantizando el comportamiento adecuado de las estructuras y evitando los daños que puedan surgir hacia las construcciones aledañas. Estas investigaciones incluyen ensayos de campo y de laboratorio que son fundamentales para la clasificación física y mecánica de todos los tipos de suelo y roca; posterior a la recolección de la información mediante los diferentes ensayos, se realiza una interpretación más a fondo y de manera técnica para evaluar las posibles fallas y deformaciones del suelo, con el fin de definir los parámetros necesarios para el diseño sometido a diferentes cargas.

En base a lo anterior, es posible notar en algunos parámetros que existen suelos que son menos resistentes y más compresibles que otros, este es el caso de los suelos orgánicos y las turbas, que se componen generalmente por diferentes sustancias que provienen de la descomposición de los restos de plantas y animales, usualmente son de un color marrón oscuro y el contenido orgánico como las fibras vegetales son visibles dependiendo de su grado de descomposición, estos tipos de suelos se encuentran en zonas de altas precipitaciones y mal drenaje del suelo. Los suelos orgánicos y de turba se presentan comúnmente como depósitos superficiales no consolidados extremadamente blandos que son una parte integral de los sistemas de humedales o pueden aparecer debajo de otros depósitos (Huat, 2006). Alrededor del mundo se ha determinado que en países como Canadá y Rusia contienen aproximadamente 1'500.000 km² de suelo orgánico; seguido por USA con 600.000 km² y los países latinoamericanos como Brasil y Chile tienen aproximadamente 13.000 km² (Huat, Prasad, Asadi & Kazemian, 2014).

Hay diferentes maneras de clasificar un suelo orgánico. De acuerdo a la información recopilada por Myślińska (2003), Francia considera que un suelo es pobremente orgánico cuando tienen del 3 al 10 % de material orgánico, cuando se supera el 10% y alcanza porcentajes menores del 30% el suelo es medianamente orgánico y al superar el 30% se consideran suelos altamente orgánicos. En los países bajos los suelos orgánicos se subdividen de acuerdo al porcentaje de tres componentes: materia orgánica, arcilla y la suma de la fracción de arena y limo. Según la norma alemana (DIN 18196), los suelos arenosos pueden ser orgánicos cuando contienen más del 3% de material orgánico y los suelos finos (arenosos - limosos) son orgánicos cuando tienen más del 5% de materia orgánica. Por otro lado, se presentó una clasificación para el comité europeo CEN basado en las normas ISO (2001a y 2001b) donde se propuso que los suelos orgánicos se caracterizan microscópicamente en función de su color, olor y contenido orgánico, por lo tanto se identifican como suelos poco orgánicos con un rango de materia orgánica entre el 2% al 6%; los suelos semi orgánicos se encuentran entre el 6% al 20% de contenido orgánico y los suelos con alto contenido orgánico superan el 20% de materia orgánica (Myślińska, 2003).

Según la norma ASTM D-2487 un suelo se clasifica como suelo orgánico si su contenido de cenizas es superior al 25% y su contenido orgánico es inferior al 75%, caso contrario a las turbas, que el contenido de cenizas es menor al 25% y el contenido orgánico es superior al 75%; del mismo modo, la ASTM D-4427 clasifica a un suelo como ligeramente orgánico cuando el contenido de materia orgánica del suelo (arcilla, arena o limo) tiene un rango del 2%-20%, al exceder este rango y alcanzar valores de hasta el 75 % el suelo se considera completamente orgánico y materiales que superan el 75% se catalogan como turba (Huat et al., 2014).

Generalmente, se encuentran porcentajes considerables de materia orgánica en suelos convencionales como arena, limo y arcilla, aunque se busca evitar este tipo de suelos, en algunas ocasiones no se dispone de terrenos con características más apropiadas, a pesar de que no resultan tan inestables como la turba es posible clasificarlos como suelos “problema” (Varghese, Chandrakaran & Rangaswamy, 2019). Hoy en día, debido a que este tipo de suelos se ha vuelto más común en áreas de trabajo y a consecuencia de la falta de estudios realizados sobre los efectos que se podrían generar durante y después de la construcción de una estructura. Se han realizado algunas investigaciones a nivel mundial para suelos con porcentajes variables de materia orgánica, pero sin ninguna afectación por cargas externas, en su mayoría la metodología empleada se basa en la toma de la muestra natural in situ, luego se lleva al laboratorio y se practican las pruebas necesarias para su caracterización y análisis.

Este tipo de suelos cuentan con características como: alto contenido de humedad, alta compresibilidad, alta permeabilidad y baja resistencia al corte. Estas propiedades se pueden determinar por medio de ensayos de laboratorio como gravedad específica, pérdida por ignición (porcentaje de materia orgánica), contenido de humedad, límites de Atterberg, consolidación, corte directo, triaxial y compresión inconfiada en muestras naturales y alteradas.

En la bahía de Izmir, (Develioglu & Pulat, 2019) se obtuvo muestras de un suelo dragado en las que predomina la arcilla con minerales como la calcita, caolinita y en una menor proporción las micas; Se realiza un análisis para determinar la influencia de la materia orgánica en diferentes porcentajes (0%, 4%, 7% y 11%) sobre los suelos arcillosos, para obtener estos porcentajes se llevó a cabo el ensayo de pérdida por ignición en la muestra con diferentes periodos de tiempo (1444, 70 y 20 min) a una temperatura de 440°C al horno, después de un periodo de 24 horas la muestra natural fue del 11% de materia orgánica. Con las muestras

preparadas se determinaron los laboratorios de gravedad específica, límites de Atterberg y corte directo. Al analizar los resultados de cada uno de los ensayos se concluyó que el Límite líquido y el Límite plástico son directamente proporcionales al contenido de materia orgánica, mientras que la gravedad específica, el ángulo de fricción presente y el esfuerzo cortante no drenado son inversamente proporcionales al contenido de materia orgánica, esto se debe a que la materia orgánica absorbe mayor cantidad de agua afectando los límites y hace que haya menos fricción entre las partículas.

De forma similar (Varghese et al., 2019), realizaron dos estudios en la arcilla natural que a diferencia del caso anterior en el que se buscaba disminuir el contenido de materia orgánica por medio del horno, en este se alteró la muestra añadiendo diferentes porcentajes de material orgánico. La influencia en el comportamiento mecánico de la arcilla no solo dependerá de la cantidad de materia orgánica en la muestra sino también de ciertos factores como el tipo de material orgánico, el tipo de suelo, los minerales arcillosos y las condiciones medio ambientales del sitio; En principio, se subdividió la muestra en función de su porcentaje de arcilla y se tamizó (tamiz de 75 μm) para obtener tres grupos, el primero cuenta con una adición del 20% de finos, el segundo con una adición del 40% y el tercero del 60%, para los cuales se desarrollaron laboratorios que dieron como resultado que la gravedad específica es inversamente proporcional al porcentaje de finos pero directamente proporcional a los límites de Atterberg. Por otro lado, la resistencia a la compresión inconfiada dio como resultado que la muestra con 40% de finos tiene mayor resistencia en comparación a las otras dos.

En base a los resultados de los ensayos anteriores, se procedió a alterar los tres tipos de muestras con diferentes materiales orgánicos: urea, composta y almidón, compuestos con contenido orgánico entre el 70% hasta el 85%; se fueron adicionando de acuerdo al peso

obtenido en el ensayo de pérdida por ignición y el método del peróxido de hidrógeno consiguiendo muestras con un porcentaje bajo a medio de materia orgánica, para determinar los porcentajes se basan en la información brindada por (Myślińska, 2003) y (Huang et al., 2009), los cuales propusieron un sistema de clasificación de suelos orgánicos, que considera que un suelo con porcentajes bajos de contenido orgánico oscila entre el 2% al 6% y suelo con contenido medio del 6% al 20%, de acuerdo a lo anterior, se indujeron los porcentajes de 5%, 10% y 15% de materia orgánica en cada una de las muestras, para asegurar la interacción entre el suelo natural y el material orgánico se dejaron curar las muestras por 7 días en bolsas de plástico.

Posteriormente al haber adicionado los diferentes porcentajes de materia orgánica se volvió a realizar el ensayo de compresión inconfiada, los resultados indicaron que sin importar el contenido de arcilla existente el valor de la resistencia disminuye ya que este depende en su mayoría de la cantidad de material orgánico, es decir, que el valor de la UCS siempre va a ser mayor en las muestras a las que solo se les agrego cierto porcentaje de finos, esto se debe a la mayor retención de agua que tiene la materia orgánica; Esta misma razón se ve reflejada en el límite líquido que se incrementa disminuyendo la resistencia del suelo, con el aumento del contenido de arcilla y cuando hay una adición mínima de material orgánico, la variación de estas propiedades resulta menor que los suelos con bajo contenido de arcilla.

Es preciso señalar que el efecto del contenido orgánico dependerá del tipo de suelo encontrado en el sitio y su mineralogía. Para comprobar esto, un segundo estudio fue realizado por (Varghese et al., 2019), en la India, el cual extrajo muestras de arcilla natural donde se prepararon 12 tipos de prototipos diferentes en los que se ven variaciones en el porcentaje de materia orgánica y el tipo de mineral. A cada una de las muestras se les variaron los porcentajes de contenido orgánico entre el 2%, 5%, 10% y 15%, cuatro de los prototipos solamente fueron

modificados con los porcentajes de materia orgánica y los prototipos restantes se alteraron con dos tipos de minerales (caolinita y bentonita). Todas las muestras fueron sometidas a diferentes ensayos, de los cuales se obtuvieron diferentes resultados; en los límites de Atterberg se aprecia un incremento en las características plásticas del material debido al aumento de materia orgánica en el suelo, se evidencia un crecimiento mayor en las muestras que contienen bentonita, debido a su alta capacidad de absorción de agua, el límite de contracción por el contrario disminuye con el alto contenido de material orgánico, esto se debe a que la materia orgánica en principio absorbe grandes cantidades de agua y al estar en proporciones considerables la pérdida de agua que presenta no es significativa por lo tanto no hay mayor pérdida de volumen. Adicionalmente, se realiza el ensayo de resistencia a la compresión inconfiada, este se ve afectado de manera decreciente por el aumento del contenido de materia orgánica puesto que el suelo se vuelve más blando, aun así es posible notar que la resistencia en los suelos con caolinita es mayor, debido a que la capacidad de absorción es menor en comparación a la bentonita donde su componente principal es la montmorillonita; Se llevaron a cabo pruebas de consolidación para determinar el efecto del contenido de materia orgánica, sin tener en cuenta las muestras con adición orgánica del 2% ya que su comportamiento resulta insignificante por tener cierto parecido en sus características físicas y mecánicas a las de un suelo inorgánico, como resultado de las variaciones en la presión, se observa que el coeficiente de consolidación aumentó con el incremento del contenido orgánico, pero se resalta que para las mezclas de suelo orgánico con bentonita disminuye a diferencia de un suelo orgánico con caolinita. A medida que aumenta la presión efectiva de consolidación las partículas del suelo se orientan y se acercan entre sí, por tanto, ofrecen más resistencia a la compresión. Esta puede ser la razón de la tendencia decreciente del coeficiente de consolidación para más suelos plásticos como la bentonita.

Mientras que en el caso de suelos menos plásticos cuyo comportamiento de compresibilidad se rige principalmente por las fuerzas mecánicas, a medida que aumenta la presión de consolidación, las fuerzas gravitacionales aumentan y anularán la pequeña presión repulsiva a nivel de partículas para retrasar la compresión del suelo. Se analiza el tiempo de consolidación primaria indicando que el tiempo aumenta con el incremento de la carga de presión, pero en presencia de materia orgánica disminuye alrededor de un 15%. Finalmente, con cada uno de los resultados se concluye que la materia orgánica y el efecto que genera en los suelos depende del porcentaje y los minerales arcillosos que contenga.

Las partículas sólidas de materia orgánica son más deformables y tienen una relación de vacíos mayor (Hamouche & Zentar, 2018) debido a que absorben grandes cantidades de agua, esto hace que el suelo tenga altos niveles de humedad y sea más compresible. Cuando el suelo es sujeto a un incremento de carga, un esfuerzo de compresión debido a las cargas de cimentación, los resultados en la compresibilidad del suelo se ven reflejados en consolidación primaria, secundaria y compresión elástica (inmediatos), su compresión y asentamientos pueden tomar cantidades considerables en el tiempo (Huat, 2006).

En los ensayos realizados anteriormente por (Varghese et al., 2019), además de analizar las propiedades físicas se analizó la compresibilidad del suelo, mediante la consolidación primaria y secundaria; para la consolidación primaria el índice de compresibilidad aumenta con el incremento de materia orgánica que puede estar influenciado por la absorción de agua y los minerales arcillosos presentes en la muestra. En la consolidación primaria se presenta un fenómeno denominado doble capa difusa donde el aumento de la presión de consolidación hace que las partículas se unan unas con otras y como consecuencia se genere una fuerza contraria o repulsiva que genera una resistencia a la compresión en los suelos más plásticos. Por otra parte,

al terminar la consolidación primaria y alcanzar una presión de poros casi igual a cero, las partículas del suelo continúan comprimiéndose hasta alcanzar su máxima deformación por las cargas externas aplicadas, esto se conoce como consolidación secundaria, la cual aumenta en presencia de materia orgánica por el aumento de vacíos en el suelo.

Una de las principales características de los suelos orgánicos es su baja resistencia al corte, lo que genera que el suelo falle más rápido al aplicarse un incremento de carga, varios estudios se han realizado para determinar el comportamiento de los parámetros de resistencia en base al porcentaje de materia orgánica contenido en las muestras de suelo. (Develioglu & Pulat, 2019) realizaron el ensayo de corte directo para muestras completamente saturadas en dos escenarios: consolidación y corte, la muestra fue sometida a diferentes densidades de compactación (13 kN/m^3 y 18 kN/m^3), con tres esfuerzos normales diferentes (49 kPa, 98 kPa, 196 kPa) a una velocidad de 0.125 mm/min, lo que significa que la presión de poros es igual a cero ya que la estructura sólida es la encargada de resistir las cargas aplicadas; los resultados del ensayo muestran que al aumentar la materia orgánica los ángulos de fricción disminuyen. El mismo ensayo de corte directo, fue realizado por (Hamouche & Zentar, 2018) donde se aplicaron esfuerzos normales de 150 kPa, 300 kPa y 600 kPa, concluyendo que el ángulo de fricción disminuye con el aumento de materia orgánica para los porcentajes entre 5% y 10%, en porcentajes mayores se evidenció el efecto contrario, es decir aumenta el ángulo de fricción con el aumento del contenido orgánico, este efecto se le atribuye a las fibras contenidas en la muestra de suelo que actúan como reforzamiento en la matriz sólida, aumentando la resistencia al corte.

En suelos como la turba se presentan resistencias al corte muy bajas, a partir del ensayo de corte directo se obtiene que los parámetros de cohesión se encuentran en un rango de 6 kPa a 17 kPa y el ángulo de fricción varía de 3° a 20° .

En resumen, los suelos finos tienen un comportamiento diferente en presencia de porcentajes bajos, medios y altos de material orgánico el cual va ligado al tipo de material, mineral, grado de descomposición, condiciones medioambientales. Cada uno de estos parámetros dependiendo del medio donde se encuentren pueden llegar a mejorar o empeorar las características físicas y mecánicas del material como: la plasticidad, la compresión, la consistencia, la capacidad de retención de agua y la resistencia.

Metodología

Investigación cuantitativa. Mediante la literatura consultada, se recopiló información teórica y experimental que permitió determinar e identificar el comportamiento físico-mecánico de los suelos finos con diferentes porcentajes de material orgánico; Analizando a profundidad los resultados obtenidos para idealizar un perfil con características orgánicas, sobre el cual se plantea el diseño de una cimentación superficial, con el fin de determinar las consecuencias que se generan en las propiedades mecánicas.

Inicialmente, mediante el uso de bases de datos y otras fuentes, se recopiló información referente a suelos finos con diferentes porcentajes de materia orgánica. De acuerdo, al contenido de cada una de las referencias recopiladas, se clasificó la información en comportamiento físico, mecánico o ambos; con la información clasificada y leída, se tomó cada uno de los resultados y se analizaron los parámetros físicos y mecánicos mediante la realización de gráficas comparativas de acuerdo a las cantidades de porcentajes añadidos. Luego de analizados los resultados, se escogieron las variables definitivas de acuerdo a las referencias que proporcionaron mayor información y permitieron el desarrollo de un análisis más práctico.

Haciendo uso de los conocimientos básicos de la mecánica de suelos (correlaciones, límites de Atterberg, consolidación, corte directo, entre otros) se calcularon los parámetros necesarios que complementaron los ya definidos anteriormente, al tener los datos necesarios y analizados en su totalidad, se procedió a idealizar varios perfiles de naturaleza orgánica para realizar el cálculo de capacidad portante de una cimentación superficial, que permitió analizar parámetros como la resistencia al corte y la compresión. Finalmente, con los resultados obtenidos se pudo concluir cuál es el efecto de la materia orgánica en el comportamiento mecánico de los suelos finos.

Resultados

Mediante la recopilación de información de estudios realizados por diferentes autores, se obtuvieron datos de laboratorio que permitieron el análisis de los diferentes parámetros físicos y mecánicos de suelos orgánicos con porcentajes variables de materia orgánica. Los resultados obtenidos por cada uno de los autores de gravedad específica, límites de Atterberg, ángulo de fricción, cohesión, resistencia de corte no drenado, índice de compresión e índice de expansión se describen en las Tablas 10 y 11. Se clasificaron los datos de acuerdo al tipo de muestra (Natural o Artificial) y a su vez por el porcentaje de materia orgánica (Bajo, medio y alto) según la Organización internacional para la estandarización (ISO).

Los resultados obtenidos de los parámetros físicos y mecánicos de cada uno de los autores se graficaron, para conocer preliminarmente el comportamiento que tiene cada parámetro en presencia de materia orgánica.

se obtuvo que la gravedad específica disminuye cuando incrementan los porcentajes de materia orgánica, como se indica en la Figura 2, este comportamiento indica que las partículas del suelo están más sueltas y la densidad del suelo es menor. Se tuvieron en cuenta muestras de suelo dragado natural correspondientes a los autores (Develioglu & Pulat, 2019), (Yu et al., 2017), (Malasavage et al., 2012), (Develioglu & Pulat, 2019) y (Kang et al., 2017), (Hamouche & Zentar, 2018) describe la variación en el mismo suelo dragado, pero alterado con abono orgánico (composta); de igual forma, se pueden apreciar los resultados de la gravedad específica para muestras de suelos arcillosos que han sido alterados con diferentes materiales orgánicos, los cuales corresponden a las referencias (Puppala et al., 2007), (Ou & Fang, 2017), (Salim y Hassan, 2020), (Majeed et al., 2017) y (Gui et al., 2021) y turbas con diferentes porcentajes de materia orgánica (Kolay, Aminur, & Zain, 2010) y (Paul, Hussain, & Ramu, 2018).

Figura 2. Valores de gravedad específica con respecto al porcentaje de materia orgánica suelos finos.

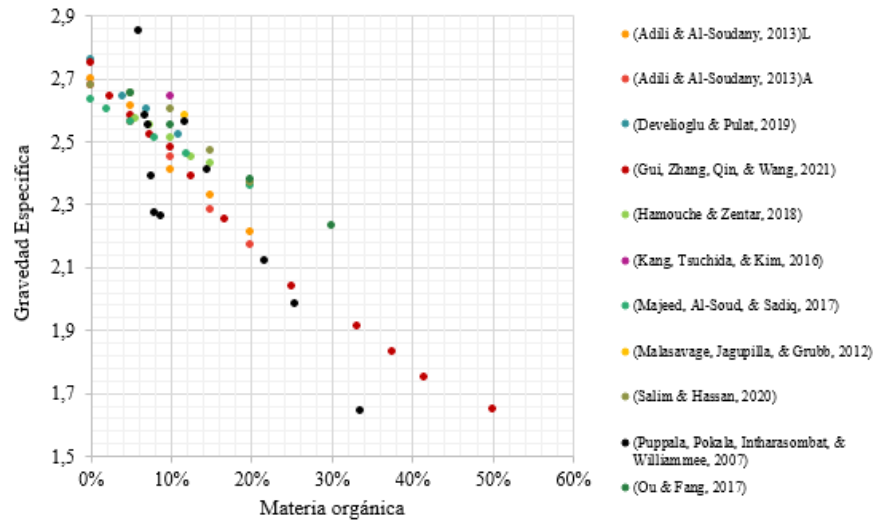
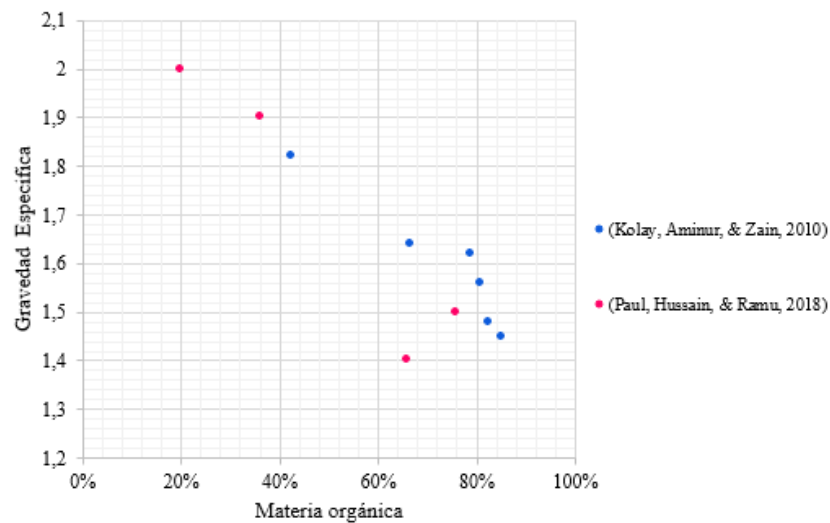


Figura 3. Valores de gravedad específica con respecto al porcentaje de materia orgánica turbas.



Por otro lado, se tienen los resultados de contenido de agua, limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad, que aumentan con el incremento de materia orgánica en el suelo, ya que la materia orgánica permite retener niveles más altos de agua en sus vacíos, haciendo que el suelo sea más permeable y susceptible a mayores cambios volumétricos. Al igual que la gravedad específica se analizaron suelos dragados, arcillas, limos y tubas con diferentes porcentajes de material orgánico.

Figura 4. Contenido de humedad respecto al porcentaje de materia orgánica.

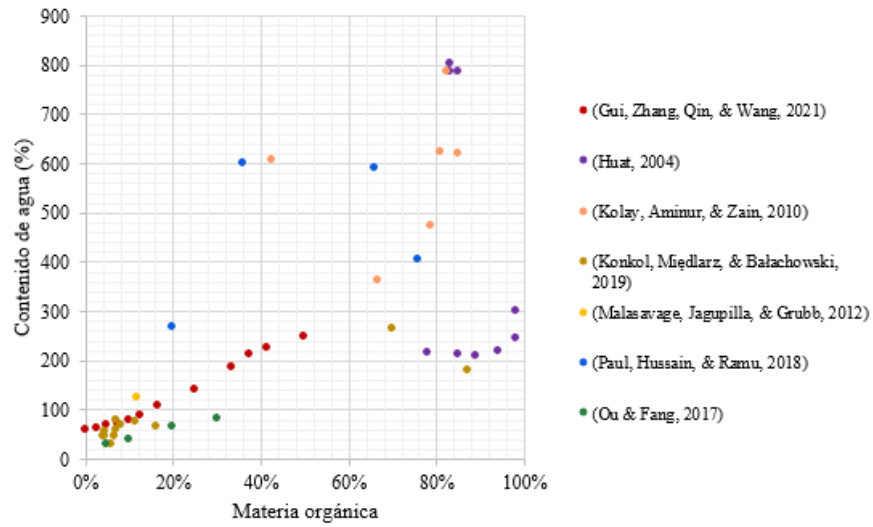


Figura 5. Valores del límite líquido con respecto al porcentaje de materia orgánica de suelos finos.

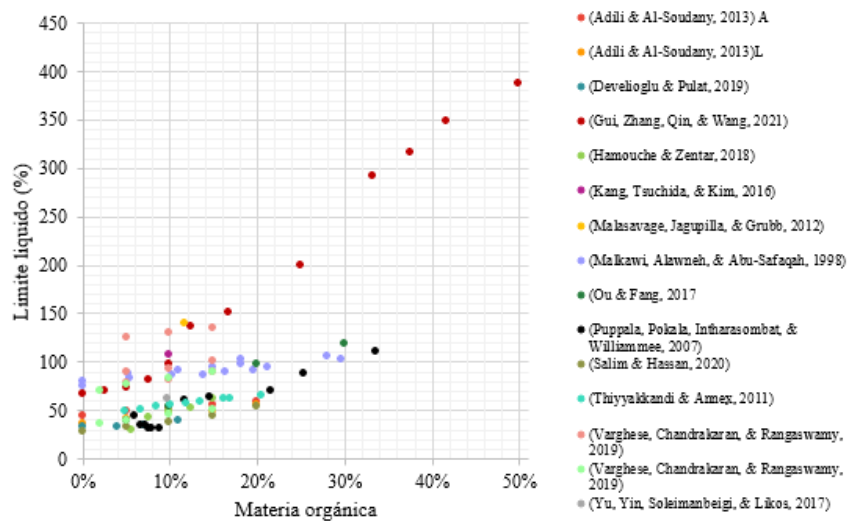


Figura 6. Valores del límite líquido con respecto al porcentaje de materia orgánica de turbas.

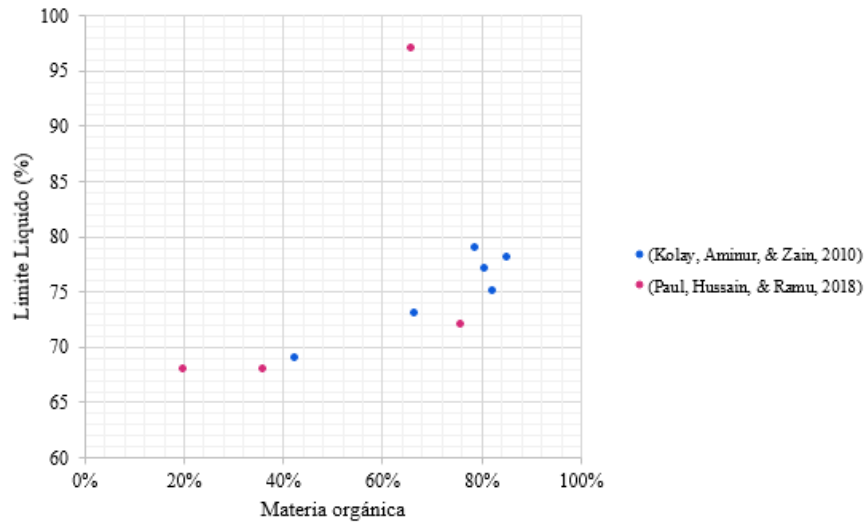


Figura 7. Valores del límite plástico con respecto al porcentaje de materia orgánica de suelos finos.

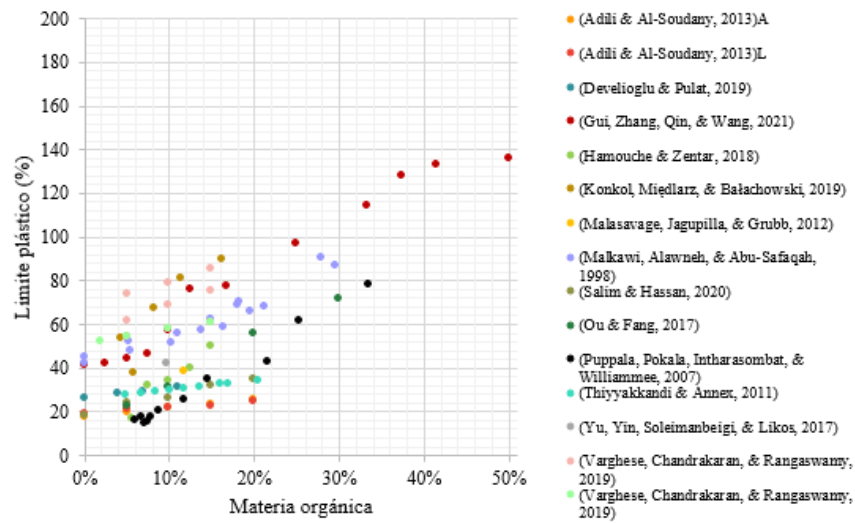


Figura 8. Valores del límite plástico con respecto al porcentaje de materia orgánica de turbas.

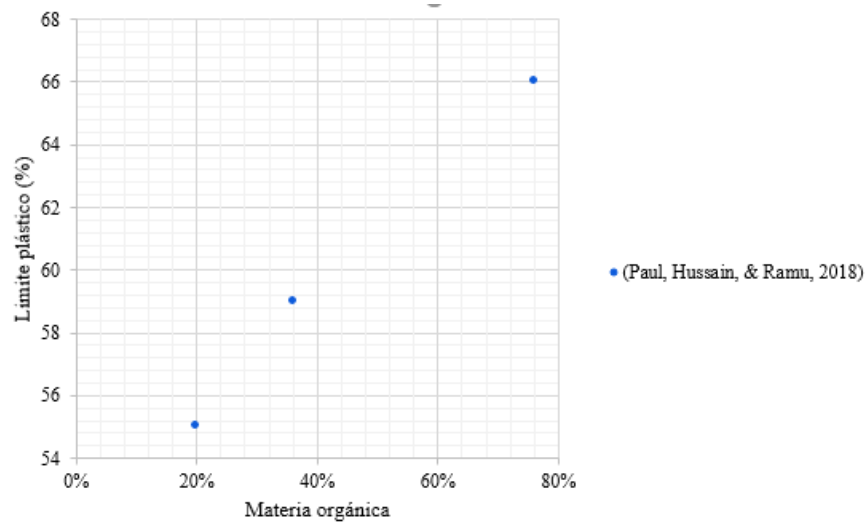
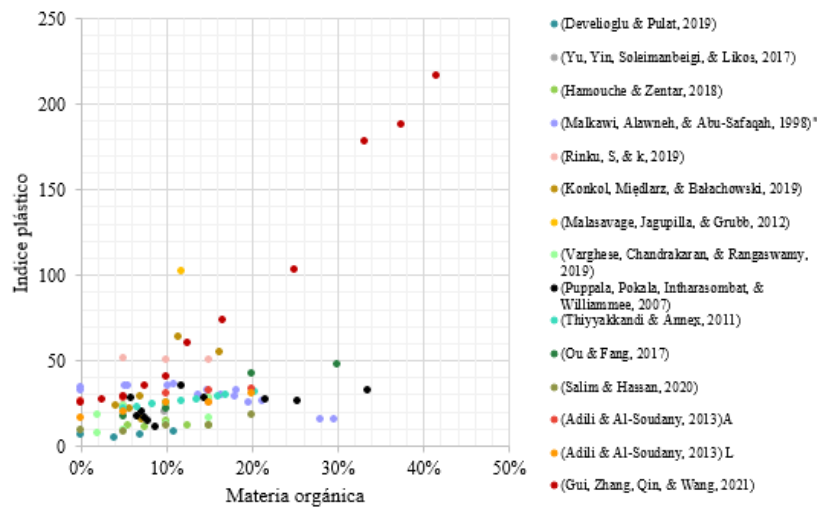
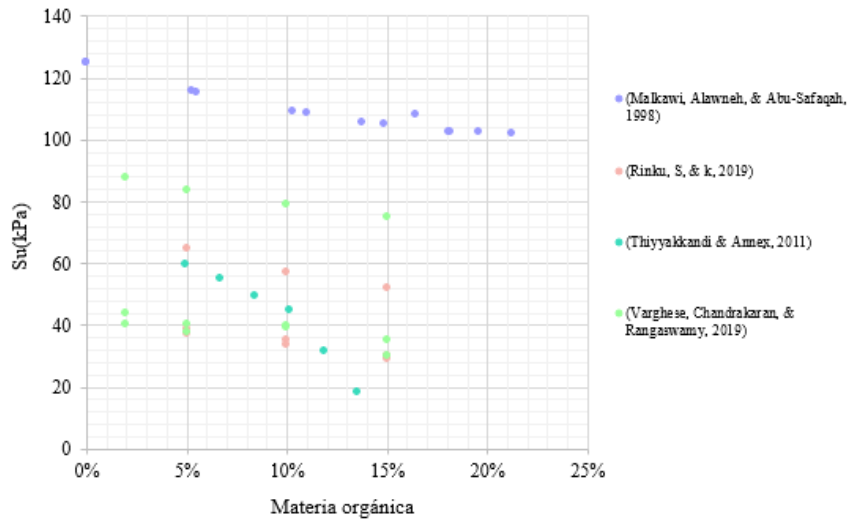


Figura 9. Valores del índice plástico con respecto al porcentaje de materia orgánica de suelos finos.



De los ensayos realizado de corte directo y triaxial se obtuvieron los parámetros de resistencia ángulo de fricción y cohesión, Figuras 10 y 11, se observa que la influencia de la materia orgánica reduce la resistencia del suelo, debido a que la fricción entre partículas disminuye por el contenido orgánico, por el contrario, la cohesión no presenta una variación significativa en sus resultados.

Figura 12. Valores de la resistencia al corte S_u con respecto al porcentaje de materia orgánica.



Los parámetros de consolidación índice de compresión e índice de expansión aumentan proporcionalmente con la materia orgánica del suelo. Sin embargo, por falta de resultados del índice de expansión, se calcularon los valores a partir de la correlación en función del índice de plasticidad. El suelo es más compresible por el aumento de los vacíos del suelo y la capacidad de absorción de agua, provocando grandes asentamientos.

Figura 13. Valores del índice de compresión con respecto al porcentaje de materia orgánica, obtenidos por diferentes autores mediante el ensayo de consolidación.

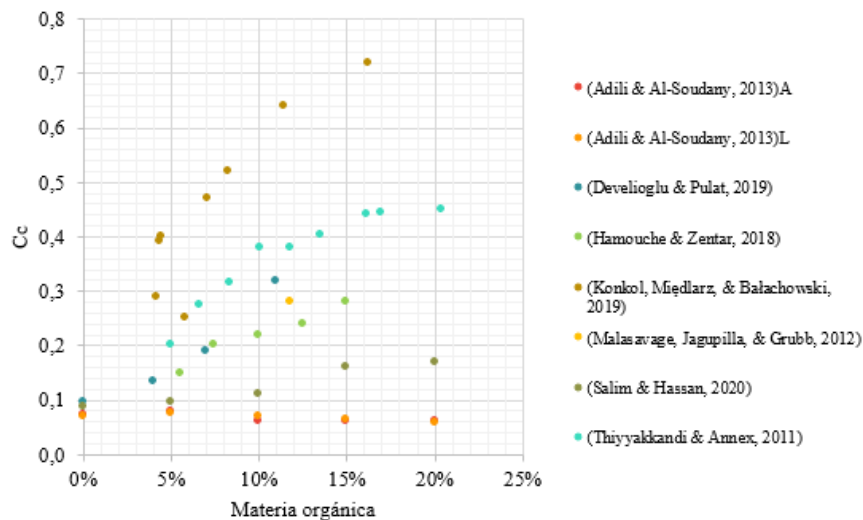


Figura 14. Valores del índice de compresión con respecto al porcentaje de materia orgánica, obtenidos por correlaciones.

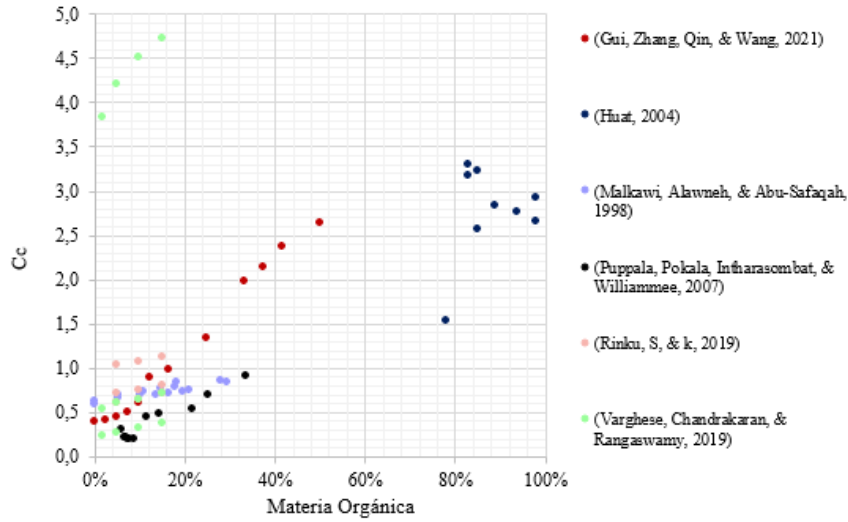
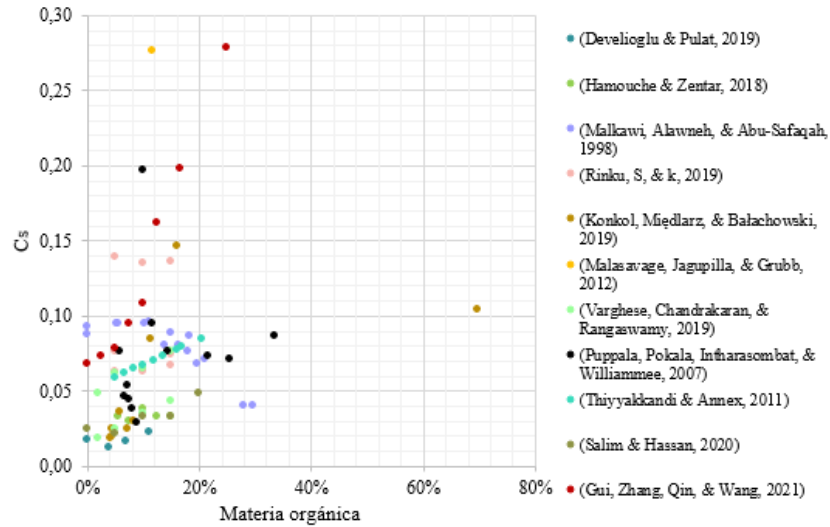


Figura 15. Valores del índice de expansión con respecto al porcentaje de materia orgánica.



Análisis de resultados

Características físicas

Para las características físicas se analizaron los resultados de gravedad específica, contenido de agua y límites de Atterberg en función de diferentes porcentajes de materia orgánica. Además, se ajustaron los datos de cada autor a una regresión lineal, con el objetivo de verificar la tendencia general presentada en los diferentes parámetros, sin tener en cuenta el tipo de materia orgánica y depósito geológico.

Gravedad específica

Se puede observar en la Figura 2, los resultados obtenidos de los ensayos realizados de gravedad específica en diferentes muestras de suelo, con porcentajes de materia orgánica entre el 0% y 50% . Se obtuvo que, a mayor porcentaje de materia orgánica, menor será el resultado de la gravedad específica en los suelos finos y turbas. Esto se debe a diversos factores como el tipo de suelo, la mineralogía, los grados de descomposición de la materia orgánica y la estructura interna de la matriz sólida del suelo, ya que las partículas pueden estar más sueltas por el material orgánico.

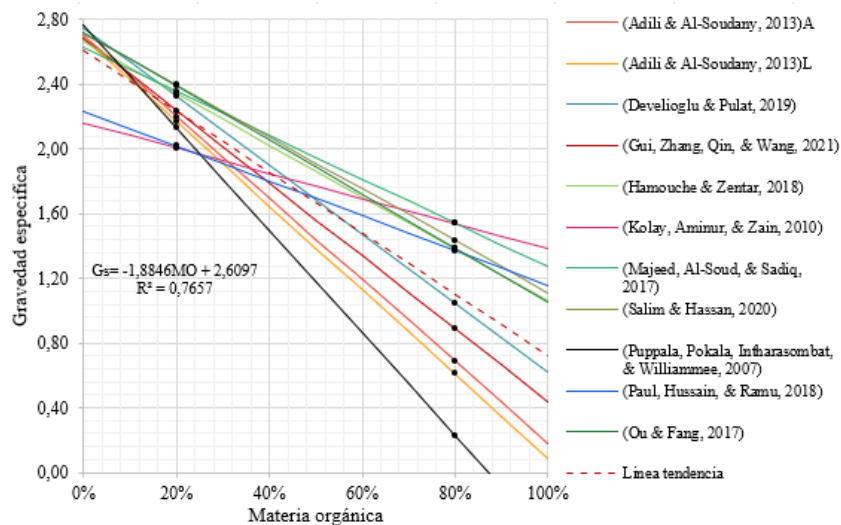
Los contenidos de materia orgánica del 0%, 5%, 10%, 15% y 20% presentan más de dos variaciones en los resultados de gravedad específica, puesto a que cada uno de los valores se ven influenciados por el tipo de suelo y la materia orgánica añadida. Además, son afectados por la forma en la que fueron fabricadas y manipuladas las muestras al momento de realizar el ensayo en el laboratorio.

Se muestran los resultados de la gravedad específica para turbas Figura 3, que al igual que los suelos finos orgánicos, el valor de la gravedad específica disminuye cuando se aumenta el porcentaje de materia orgánica; se analizó un rango del 0% al 85.1% de material orgánico en

las muestras de turba, obteniendo una tendencia más notoria en los valores de la gravedad específica, lo que indica que este tipo de suelo tiene una mayor capacidad para retener agua en los vacíos y un peso unitario mucho menor que el de un suelo fino alterado con material orgánico, ya que se tienen valores de G_s iguales a 1.45.

En la Figura 16 se observa el comportamiento global de los datos de gravedad específica, para contenidos de materia orgánica comprendidos entre 0% y 100% de diferentes tipos de suelos finos. La gráfica describe lo mencionado anteriormente, es decir que cuando se aumentan los porcentajes de materia orgánica el valor de G_s del suelo disminuirá proporcionalmente. Sin embargo, la arcilla natural modificada con composta de (Puppala et al., 2007), muestra que a partir del 80% se presentan valores de connotación negativa, debido a la incorrecta elaboración y manipulación de las muestras.

Figura 16. Líneas de tendencia gravedad específica para cada uno de los autores con respecto al porcentaje de materia orgánica.

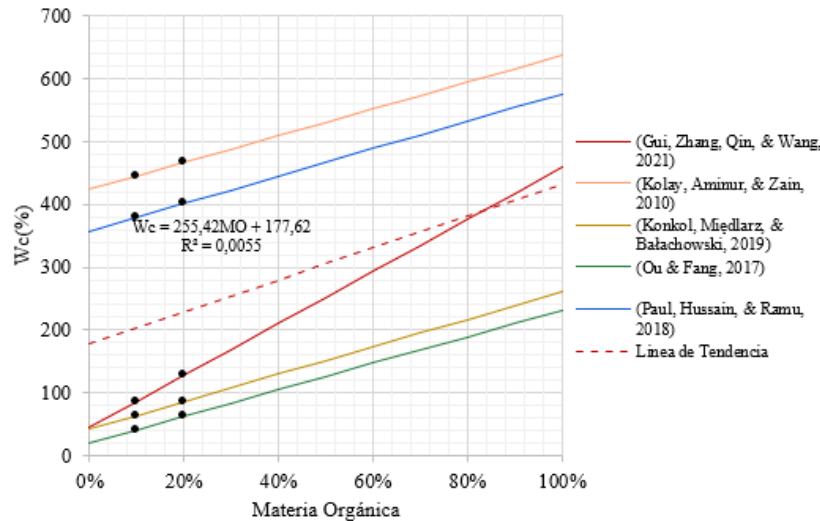


Contenido de agua

Los suelos que cuentan con materia orgánica en su composición tienden a retener grandes niveles de agua entre sus vacíos, haciendo su consistencia muy blanda. De acuerdo a la Figura 4, se observa que el contenido de agua aumenta proporcionalmente al porcentaje de contenido de

materia orgánica. Este comportamiento también se evidencia en la línea de tendencia de este parámetro, Figura 17.

Figura 17. Líneas de tendencia contenido de agua para cada uno de los autores con respecto al porcentaje de materia orgánica.



Límites de Atterberg

Los valores de los límites líquido y plástico aumentan linealmente con el incremento del porcentaje de materia orgánica en suelos finos y turbas. Estos resultados se deben al aumento de la capacidad de absorción de agua por el material orgánico presente; el agua puede fluir con mayor facilidad por los vacíos del suelo, ya que la porosidad del suelo es mayor. Además, los límites también pueden tener este incremento en sus valores por los niveles de descomposición de la materia orgánica (humificación), que tiene como resultado la producción de dióxido de carbono y agua.

En algunos casos, el mineral arcilloso presente en el suelo eleva la capacidad de absorción de agua, produciendo un aumento en el volumen del suelo, esto se traduce en un aumento principalmente del límite líquido, que genera suelos más inestables; como se puede observar en (Varghese et al., 2019) y (Malasavage et al., 2012) de la Figura 5, sus valores tan elevados son atribuidos a la montmorillonita, uno de los minerales arcillosos con mayor

capacidad de retención de agua y es uno de los minerales más predominantes en las muestras ensayadas por cada uno de los autores. Se presentan los valores del límite líquido en las Figuras 5 y 6 y el límite plástico en las Figuras 7 y 8 de dos tipos de suelos, finos orgánicos y turbas.

Figura 18. Líneas de tendencia limite líquido para cada uno de los autores con respecto al porcentaje de materia orgánica, suelos finos.

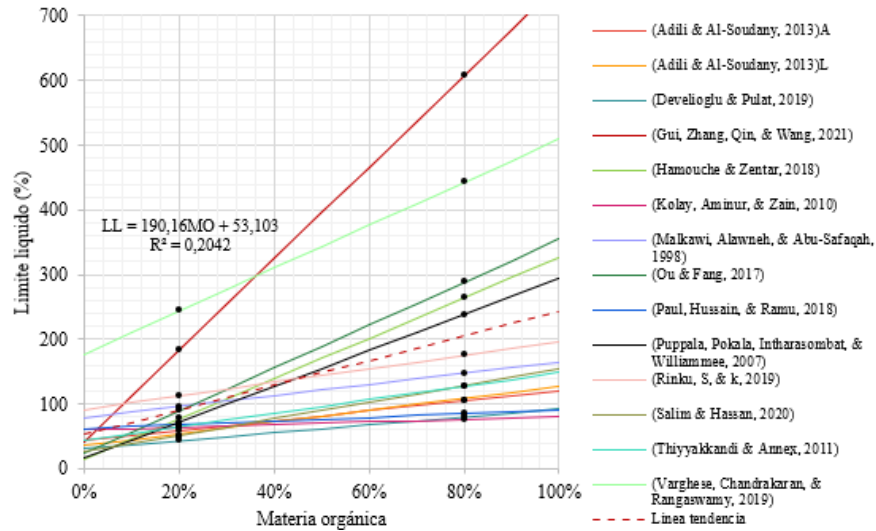
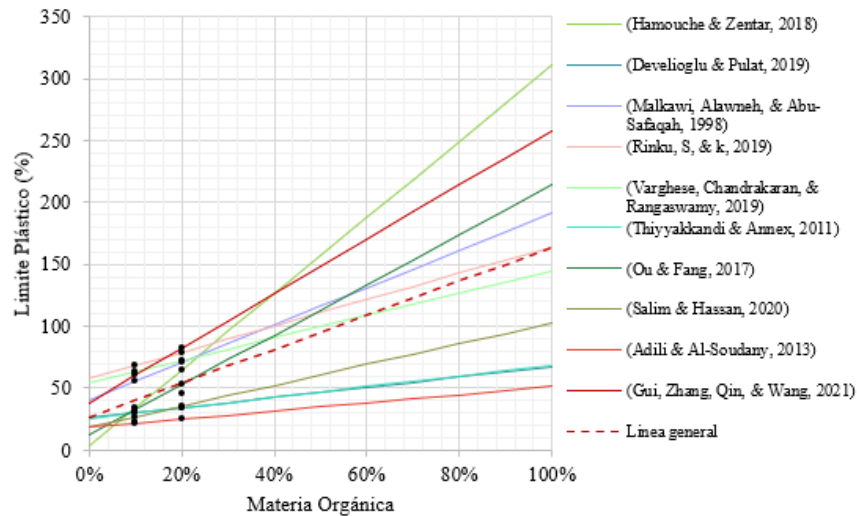


Figura 19. Líneas de tendencia limite plástico específica para cada uno de los autores con respecto al porcentaje de materia orgánica.



En la Figura 9 se indican los valores de índice plástico de muestras de suelo fino orgánico, los cuales obtuvieron un comportamiento similar que los límites líquido y plástico, por tanto, al incrementar la materia orgánica en el suelo, el índice plástico aumentará. Este valor indica el máximo porcentaje de contenido de agua que debe tener el suelo para mantener su comportamiento plástico, es decir, cuando se le agrega una mayor cantidad de agua al suelo puede comportarse como un líquido, ya que tiene mayor fluidez. Se puede observar en la gráfica que en los resultados obtenidos por (Varghese et al., 2019), (Kang et al., 2017) y (Ou & Fang, 2017) predomina la montmorillonita como mineral arcilloso, ya que se requieren altas cantidades de agua para alcanzar un comportamiento igual al de un fluido.

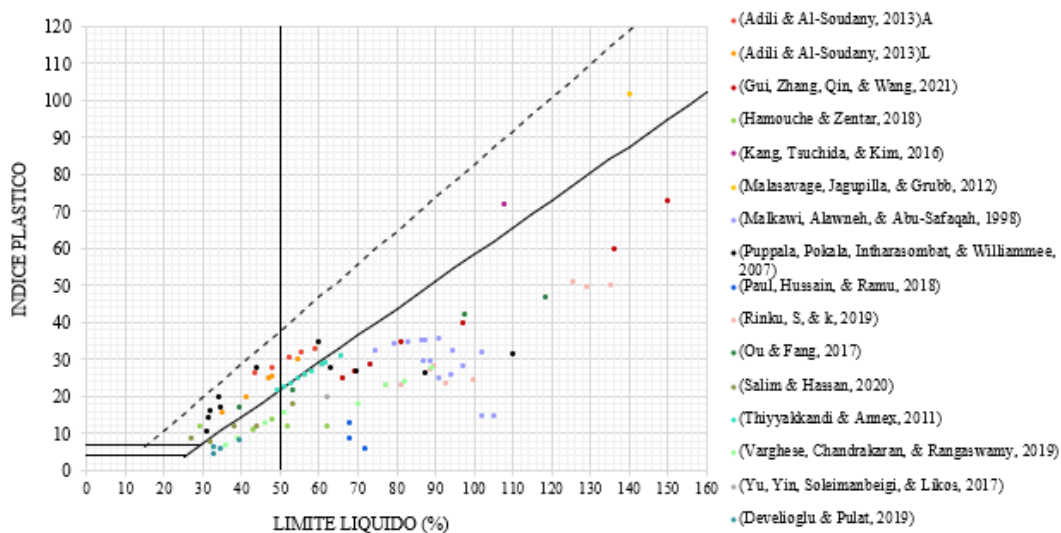
Se analizó la influencia que tienen los minerales arcillosos en los suelos finos alterados con diferentes porcentajes de materia orgánica en base a la carta de plasticidad de Casagrande presentada en el libro *Introducción a la Ingeniería Geotécnica* de Holtz & Kovacs. Se graficaron los resultados del índice plástico en función del límite líquido de los diferentes autores.

Se puede apreciar en la Figura 20, que los suelos finos como la arcilla y el limo orgánico, pueden sobrepasar el 50% del límite líquido cuando contienen porcentajes superiores al 5% de materia orgánica; esto indica que la presencia del material orgánico en el suelo, causa el aumento de la compresibilidad y la plasticidad de los suelos finos. Además, este comportamiento está fuertemente ligado a la presencia de minerales arcillosos como la montmorillonita, caolinita e illita, los cuales permiten determinar si la actividad de la arcilla es baja, media o alta; estos tres tipos de minerales arcillosos están presentes en los suelos analizados en cada uno de los artículos. De acuerdo a la carta de plasticidad, la mayoría presentan a la caolinita como el mineral predominante, es decir que la actividad es baja y la capacidad de absorción de agua del suelo no es de gran magnitud, sin embargo, la presencia de materia orgánica podría generar un

incremento en los niveles de absorción de agua del suelo, haciéndolos más blandos y susceptibles a cambios volumétricos.

De igual forma, se puede observar que los suelos dragados orgánicos de las referencias (Develioglu & Pulat, 2019), (Malasavage et al., 2012) y (Develioglu & Pulat, 2019), en su mayoría tienden a estar por debajo de la línea del 50% del límite líquido, ya que contienen en su estructura minerales arcillosos con una baja actividad como la clorita, que no tienen gran absorción de agua, sin importar el porcentaje de materia orgánica contenido en las muestras de suelo.

Figura 20. Clasificación de cada referencia en base a los minerales contenidos en la carta de plasticidad de Casagrande.



Características mecánicas

Se analizaron las características mecánicas de los suelos finos orgánicos como la resistencia al corte y compresibilidad por medio de factores como ángulo de fricción, cohesión, resistencia al corte no drenado, índice de compresión e índice de expansión. Al igual que las características físicas se realizaron las líneas de tendencia por cada uno de los parámetros a partir de los datos proporcionados por los autores, con el fin de conocer su comportamiento en función del material orgánico, sin tener en cuenta el tipo de materia orgánica y depósito geológico.

Resistencia al corte

Los valores de los parámetros de resistencia: ángulo de fricción y cohesión, se obtuvieron de los ensayos de laboratorio de corte directo y triaxial, realizados en cada una de las muestras por los diferentes autores Tabla 12. De acuerdo, a los resultados obtenidos en los ensayos, el ángulo de fricción presenta un comportamiento lineal e inversamente proporcional al aumento de la materia orgánica, Figura 10; este comportamiento de los suelos finos orgánicos, se atribuye al aumento de la presión de poros, debido a los cambios volumétricos que sufre el suelo al ser un material más compresible y con altos contenidos de humedad. De igual forma, la pérdida de fricción entre las partículas, genera una menor resistencia en el suelo, que afecta su capacidad de soportar las cargas externas aplicadas, como la de una edificación.

Materiales como las turbas, tienen una mayor disminución en los valores de ángulo de fricción en comparación con los suelos finos orgánicos como la arcilla, debido a que superan el 70% de contenido de materia orgánica y son materiales que se caracterizan por sus altos contenidos de humedad, consistencia blanda y poca resistencia.

De acuerdo a los datos obtenidos en cada uno de los artículos, los datos de ángulo de fricción tienen una menor dispersión en suelos finos alterados con cualquier tipo de material orgánico ($R^2=33\%$) en comparación con las turbas ($R^2=1.04\%$) Figura 21, pero ninguno de los datos se ajusta al modelo de regresión lineal propuesto por cada una de las líneas de tendencia; sin embargo, si se tuviera en cuenta una sola línea de tendencia Figura 22, por todas las muestras de suelo analizadas el modelo se podría ajustar de una manera más adecuada al comportamiento de los datos obtenidos ($R=71\%$). Al mismo tiempo, se decidió realizar un modelo de regresión por cada una de las referencias Tabla 12, con el objetivo de conocer el comportamiento general del ángulo de fricción de suelos finos alterados con diferentes porcentajes de materia orgánica, entre el 0% y 100%. La mayoría de los autores proporcionan

valores de ángulo de fricción hasta el 100% de materia orgánica, los cuales se describen en la Tabla 13, sin embargo, (Thiyyakkandi & Annex, 2011) a partir del 30% de materia orgánica da como resultado valores negativos por la alta pendiente que presentan los datos, por tal motivo se decidió no tener en cuenta los resultados de este autor para determinar la línea de tendencia general, ya que después del 60% de materia orgánica los valores no eran positivos. La línea de tendencia global del parámetro de ángulo fricción para suelos finos alterados con materia orgánica se muestra en la Figura 23.

Figura 21. Líneas de tendencia ángulo de fricción para suelos finos y turba con diferentes porcentajes de materia orgánica.

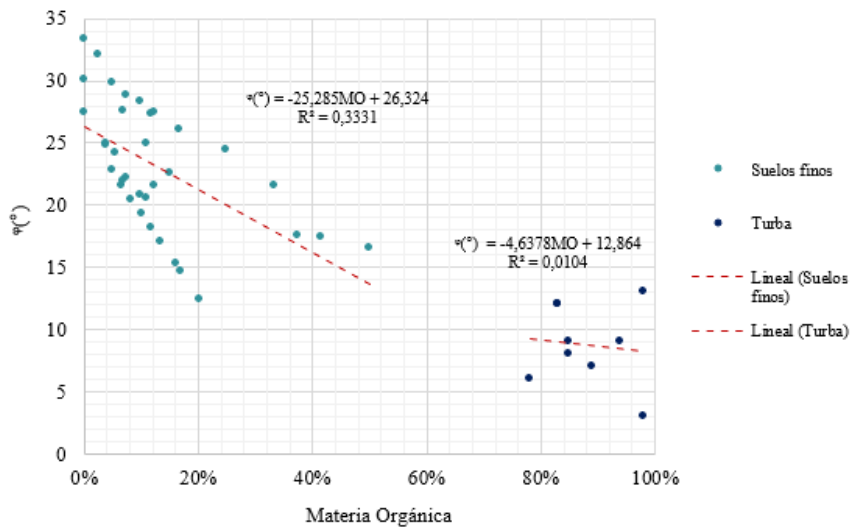


Figura 22. Línea de tendencia ángulo de fricción para todas las muestras de suelos con diferentes porcentajes de materia orgánica.

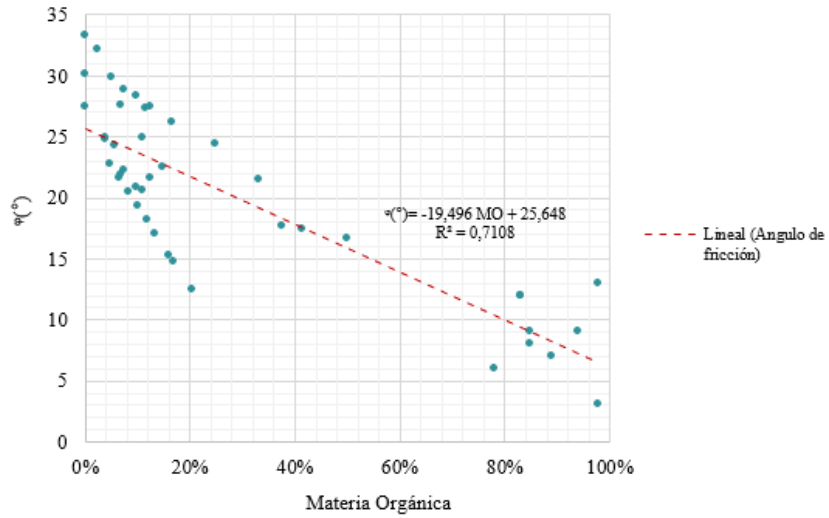
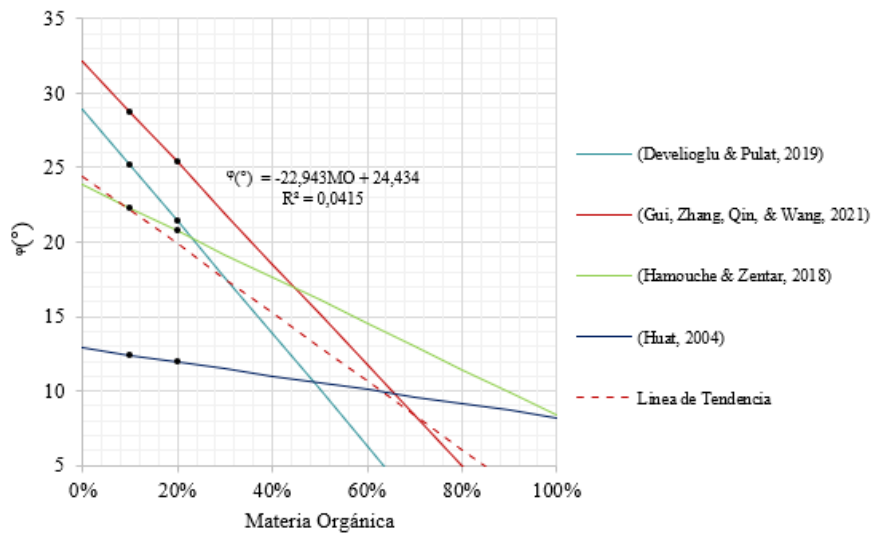
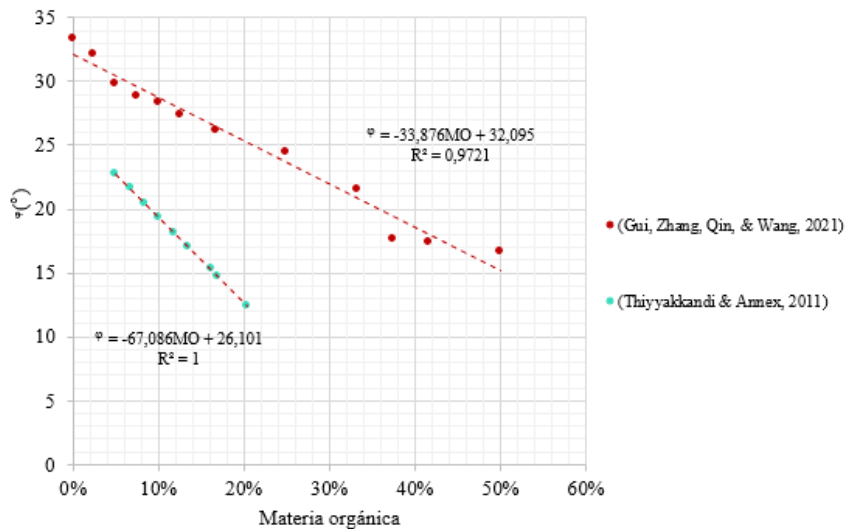


Figura 23. Líneas de tendencia ángulo de fricción con diferentes porcentajes de materia orgánica para los autores seleccionados.



Adicionalmente, se analizaron los resultados de las referencias (Thiyyakkandi y Annex, 2011) y (Gui et al., 2021), que actúan como los máximos y mínimos de los resultados de ángulo de fricción de suelos arcillosos orgánicos, los datos alcanzan el 100% y el 97% de la varianza del modelo de regresión propuesto por los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio Figura 24, es decir, que el modelo podría explicar el comportamiento del ángulo de fricción de suelos arcillosos cuando tienen diferentes porcentajes de material orgánico.

Figura 24. Líneas de tendencia ángulo de fricción para (Thiyyakkandi & Annex, 2011) y (Gui et al., 2021).

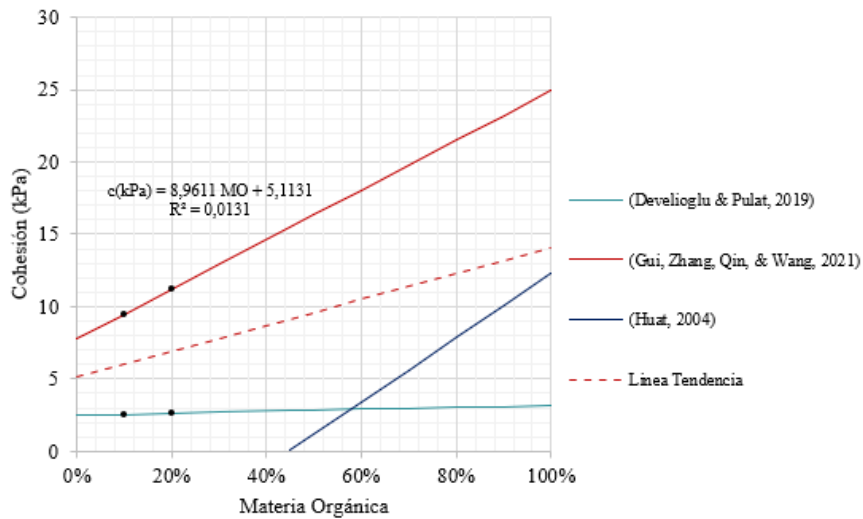


Por otra parte, existen muestras de arcillas alteradas en las cuales los valores del ángulo de fricción presentaron un comportamiento contrario, es decir, el ángulo de fricción se incrementa cuando el porcentaje de contenido orgánico es mayor, esto se debe al manejo y preparación de las muestras en el laboratorio, ya que la incorrecta manipulación puede variar algunas propiedades físicas del material, como el contenido de humedad, haciendo que las muestras de suelo sean más rígidas y aumenten su resistencia.

Se obtuvo que la cohesión no tiene una gran variación cuando el suelo contiene diferentes porcentajes de materia orgánica en su composición, ya que estos valores pueden aumentar o disminuir dependiendo de los contenidos de humedad de las muestras Figura 11.

Al igual que el ángulo de fricción, se determinó la regresión lineal de los datos proporcionados por cada uno de los autores, con el fin de determinar el comportamiento general de los resultados Figura 25. Se tuvieron en cuenta los resultados de (Huat, 2006), (Develioglu y Pulat, 2019) y (Gui et al., 2021), los cuales proporcionaban resultados de cohesión para porcentajes de materia orgánica del 0% al 100%, Tabla 15.

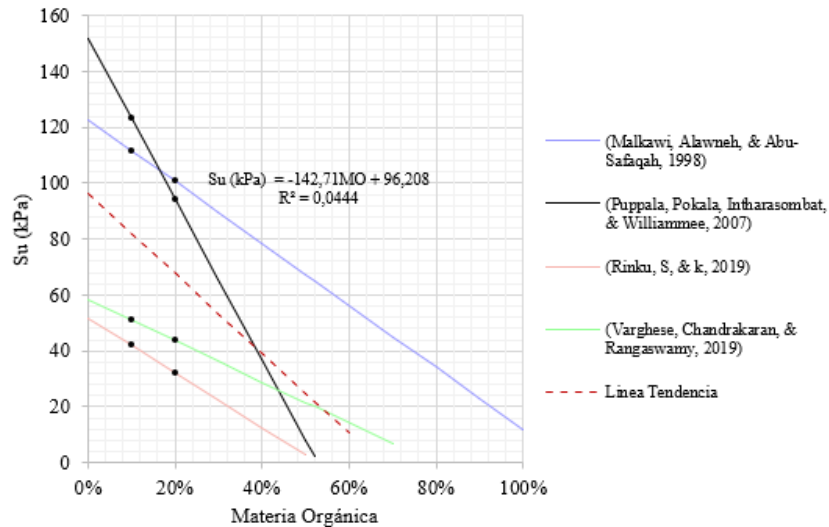
Figura 25. Líneas de tendencia cohesión con diferentes porcentajes de materia orgánica para los autores seleccionados.



Algunos de los autores realizaron ensayos de compresión confinada, para medir la resistencia del suelo de una forma más práctica y rápida, con el fin de conocer el comportamiento de la resistencia al corte no drenada, los resultados de la Figura 12 muestran una disminución en la resistencia al corte en la compresión confinada no drenada cuando se incrementan los porcentajes del material orgánico en el suelo, una de las razones por las que este valor es menor es debido a que el suelo es más comprensible, por su consistencia blanda y comportamiento plástico.

La línea de tendencia general de la resistencia al corte no drenado obtenido de los ensayos de laboratorio realizados por cada uno de los autores, se observan en la Figura 26. Se tuvieron en cuenta los datos de (Malkawi et al., 1999), (Varghese et al., 2019), (Varghese et al., 2019) y (Puppala et al., 2007), las cuales se caracterizan por tener muestras de arcillas alteradas en porcentajes del 5% y 33%, con la ecuación general del modelo de regresión se obtuvieron los valores de resistencia al corte no drenado, se determinaron para porcentajes entre el 0% y 60%, ya que a partir de este porcentaje los valores se tornaban negativos Tabla 16.

Figura 26. Líneas de tendencia resistencia a la compresión inconfiada con diferentes porcentajes de materia orgánica para los autores seleccionados.



Consolidación

Debido a que los suelos finos orgánicos presentan bajas resistencias y resultan ser más comprensibles que otros suelos, es fundamental predecir los asentamientos que pueden producirse por la aplicación de cargas provenientes de las distintas edificaciones. La mayoría de los autores mencionados en la Tabla 11, desarrollaron la curva de compresibilidad (e Vs $\log \sigma$) de la cual se obtuvieron parámetros como el índice de compresión y el índice de hinchamiento o expansión, en algunos casos por la ausencia de datos estos valores fueron determinados a partir de las características de plasticidad, se tuvo en cuenta el límite líquido para el índice de compresión y el índice plástico para el índice de hinchamiento.

Los valores del índice de compresión y expansión aumentan con el incremento de materia orgánica, Figuras 13 y 15, produciendo una elevación en la cantidad de vacíos y ampliando la capacidad del suelo de absorber agua, por consiguiente, entre mayor sea el valor de los índices mayor será el asentamiento que se va a presentar. Se proyectó una ecuación lineal de primer grado siendo la que mejor se ajusta al conjunto de datos Figuras 27 y 28; en la Ecuación 11 y 12, la variable dependiente Y hace referencia al índice de compresión o de expansión y la variable

dependiente **X** corresponde al porcentaje de materia orgánica encontrado en la muestra. El conjunto de datos representados por la Ecuación 11, cuenta con un coeficiente de determinación (**R**²) de 0.52 y un coeficiente de correlación (**R**) de 0.72, es decir, el modelo propuesto no explica de manera clara la variación del coeficiente de compresión y la correlación existente con el porcentaje de materia orgánica no es perfectamente directa

$$\text{Índice de compresión } (C_c) = 3.7548 * \%Materia\ orgánica + 0.0693 \quad (11)$$

$$R^2 = 0.5231$$

Del mismo modo, la Ecuación 12 cuenta con un **R**² de 0.49 y un **R** de 0.69, estos valores al encontrarse más cerca de cero, indican que el modelo tampoco demuestra una variabilidad exacta del índice de expansión y la correlación con el porcentaje de materia orgánica es más débil.

$$\text{Índice de expansión } (C_s) = 0.8721 * \%Materia\ orgánica - 0.0116 \quad (12)$$

$$R^2 = 0.487$$

Figura 27. Línea de tendencia Índice de compresión para todas las muestras de suelos con diferentes porcentajes de materia orgánica.

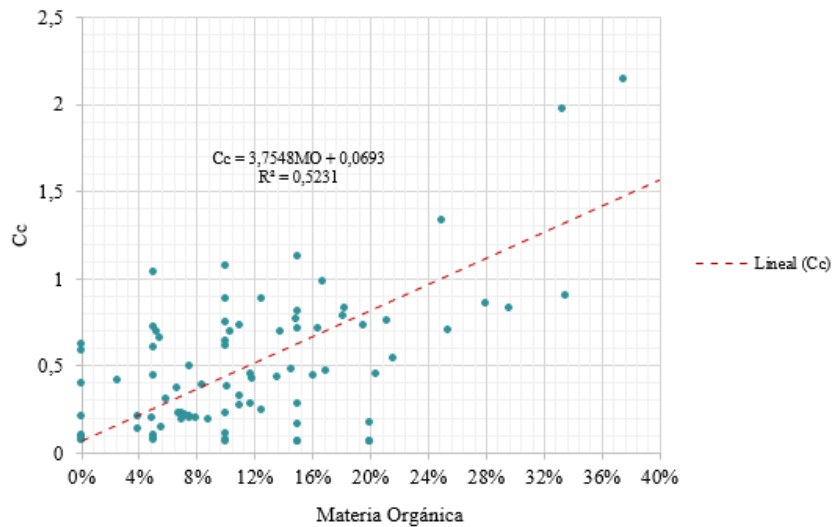
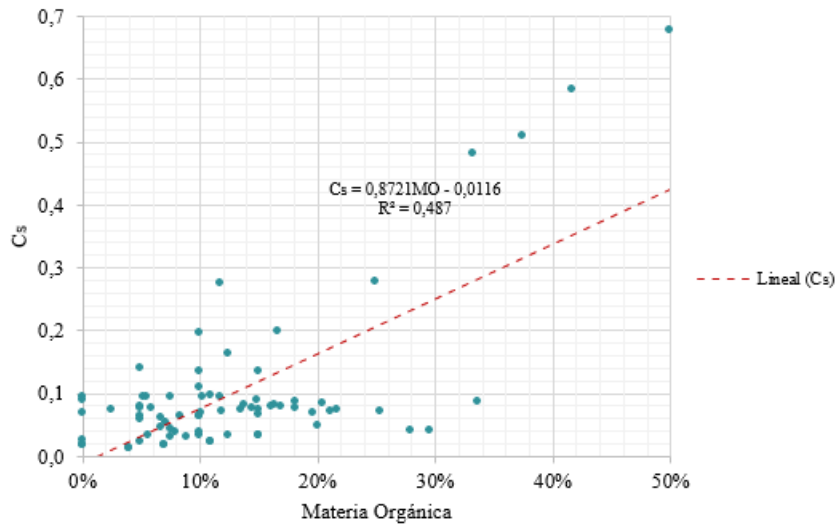


Figura 28. Línea de tendencia Índice de expansión para todas las muestras de suelos con diferentes porcentajes de materia orgánica.



Con el objetivo de identificar el comportamiento del índice de compresión y de expansión, se realizó la línea de tendencia general de acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de consolidación por los autores y en algunos casos los resultados de las correlaciones en función de los límites Atterberg. La tendencia general del índice de compresión por ensayos, es de aumentar linealmente con el incremento de materia orgánica, alcanzando un valor máximo del 2.07 para el 100% de materia orgánica Figura 29, pese a que el comportamiento general es ascendente, la muestra de arcilla de (Adilil & Al-Soudany, 2013) tiende a disminuir presentando valores negativos en el C_c a partir del 91%. Al no contar con resultados de laboratorio para el índice de expansión, se realizó el análisis por medio de correlaciones dando como resultado el mismo comportamiento del C_c , Figura 30.

Figura 29. Líneas de tendencia general índice de compresión con diferentes porcentajes de materia orgánica.

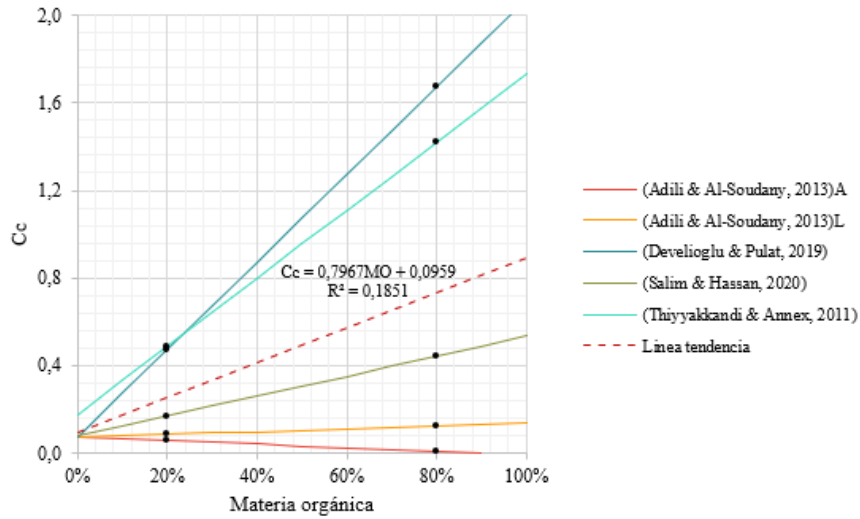
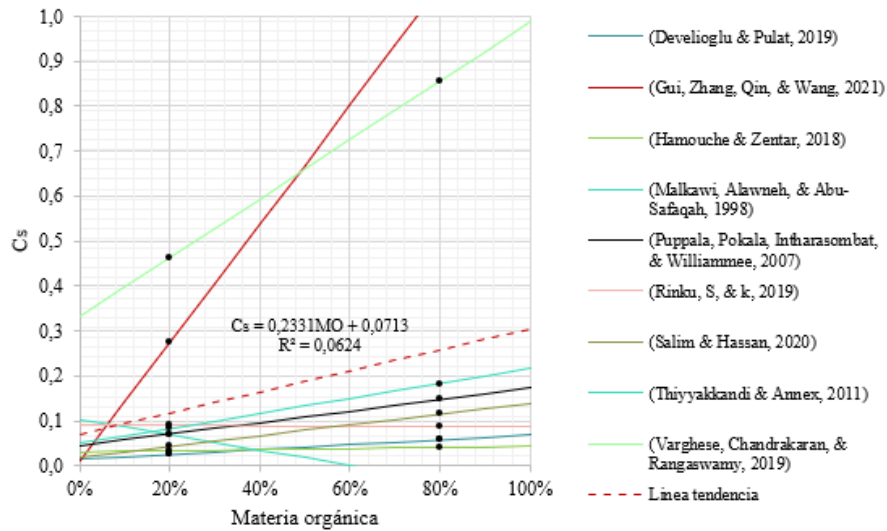


Figura 30. Líneas de tendencia general índice de expansión con diferentes porcentajes de materia orgánica.

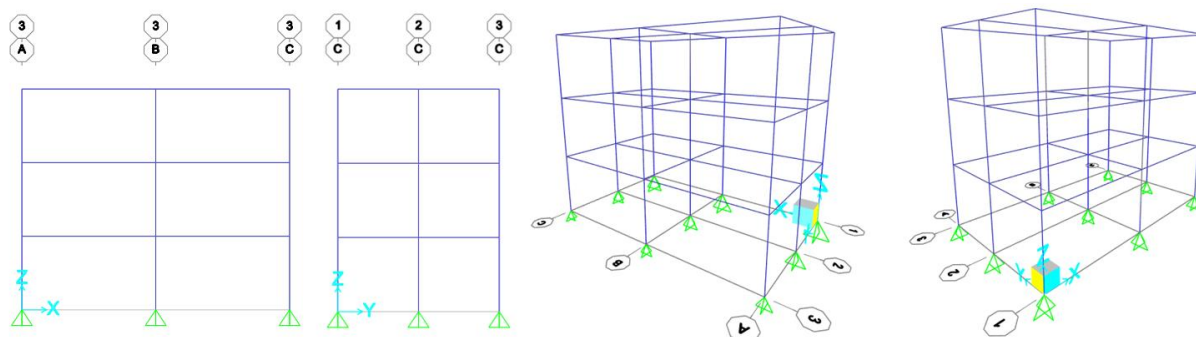


Análisis de capacidad portante y asentamientos

El análisis del comportamiento mecánico de los suelos orgánicos, se llevó a cabo mediante el cálculo de la capacidad portante de una cimentación superficial, por medio de dos métodos: Análisis de esfuerzos totales y Análisis de esfuerzos efectivos, con el objetivo de medir la resistencia al corte y los asentamientos de varios perfiles de suelo fino normalmente consolidados, con diferentes porcentajes de materia orgánica, entre el 0% y 100%.

Inicialmente, se realizó el avalúo de cargas de una estructura aporricada simétrica de tres pisos modelada en SAP2000 Figura 31, con el propósito de determinar el valor de la sobrecarga que se va efectuar en el suelo. Se realizó el predimensionamiento de cada uno de los elementos estructurales vigas, columnas y losas, de acuerdo a los valores mínimos estándar de la Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR-10) con el fin de calcular el peso propio de la estructura; de igual forma, se tuvo en cuenta los valores de carga muerta de los elementos no estructurales y la carga viva de la estructura dependiendo de su ocupación y uso, con cada uno de estos valores se obtuvo la carga por unidad de área de cada uno de los pisos, la Tabla 17 y la Tabla 18 contienen la información anteriormente descrita. Por medio del método de áreas tributarias, se determinó que el elemento de la estructura que recibe la mayor cantidad de carga es la columna central con una carga final de **690.17 kN**; este valor de sobrecarga fue ejercido en la zapata que se diseñó para determinar la capacidad portante y asentamientos de cada uno de los perfiles.

Figura 31. Estructura de concreto de tres pisos modelada en SAP 2000.



Análisis de esfuerzos totales

Con los resultados obtenidos del esfuerzo cortante no drenado de la compresión inconfiada de (Malkawi et al., 1999) y (Thiyyakkandi & Annex, 2011) de la Tabla 11 y los valores obtenidos con la ecuación de la línea de tendencia general descritos en la Tabla 20, se determinó el valor de la capacidad portante de diferentes perfiles de suelo con porcentajes de materia orgánica variables, por medio de la siguiente ecuación:

$$q_u = 5.14S_uS_c d_c \quad (9)$$

Donde:

q_u : Capacidad portante última.

S_u : Resistencia al cortante no drenada.

S_c, d_c : Factores de geometría.

El análisis de esfuerzos totales permitió conocer la resistencia del suelo en periodos cortos que incluyen todas las fuerzas actuantes como la presión de poros y la presión de contacto entre partículas, no obstante, este método no tiene en cuenta los efectos del nivel freático, lo que hace que sea más rápido y fácil de efectuar. Con el fin de hacer un análisis más práctico y de pocas variables que permitieran medir la resistencia del suelo, se asumió la profundidad de desplante y el factor de seguridad iguales para todos los perfiles, las dimensiones de la zapata cuadrada se calcularon de acuerdo a los datos proporcionados de las muestras naturales por cada uno de los autores (MO de 0% y 4.98%) que cumplieran con la capacidad portante del suelo, de acuerdo a los resultados de los dos autores escogidos, se tomó la misma dimensión de zapata para todos los porcentajes con una relación B/L=1, para (Thiyyakkandi & Annex, 2011) la capacidad portante del suelo cumplía con una zapata de 2.2 m, (Malkawi et al., 1999) con una dimensión de 1.5 m y finalmente con los valores de S_u obtenidos de la línea de tendencia

general, se obtuvo que la capacidad última del suelo cumplía con una dimensión de 1.7 m por cada lado. El único valor que se varió para el cálculo de la capacidad portante fue la resistencia al corte no drenado (S_u) en función de los porcentajes de materia orgánica.

Tabla 1. Capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Thiyyakkandi & Annex, 2011), arcilla natural modificada con material orgánico urea.

PORCENTAJE MO	qu (kN/m ²)
4,98%	439,47
6,69%	406,23
8,41%	365,61
10,12%	332,37
11,84%	232,66
13,55%	136,64

Figura 32. Tendencia de la capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Thiyyakkandi & Annex, 2011).

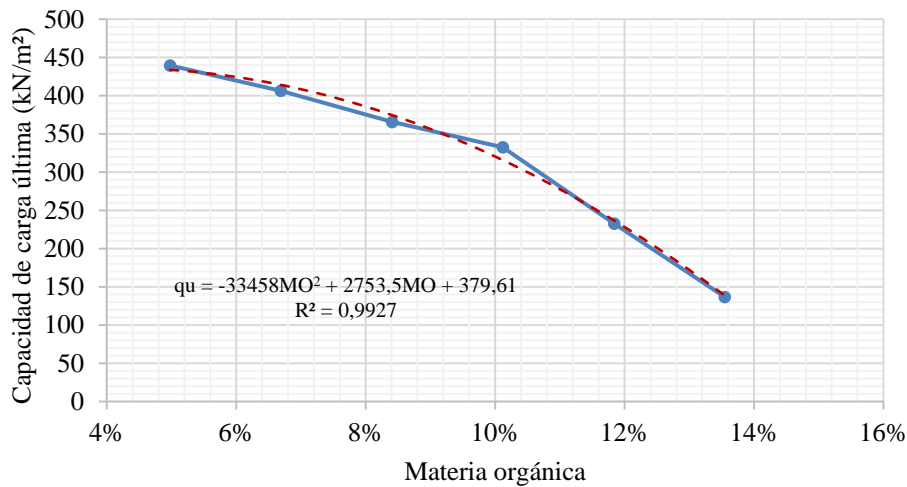
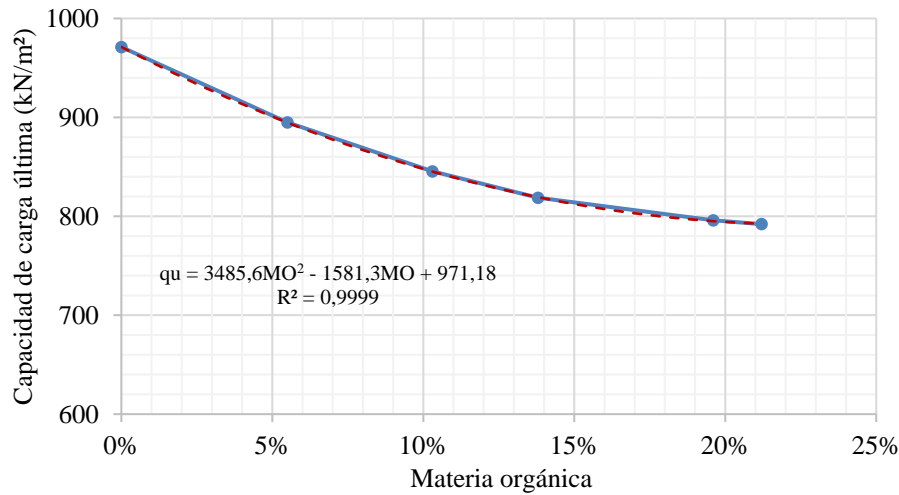


Tabla 2. Capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso ílítico alterado con turba pulverizada.

PORCENTAJE MO	qu (kN/m ²)
0,00%	971,10
5,50%	894,93
10,30%	845,43
13,80%	818,77
19,60%	795,92
21,20%	792,11

Figura 33. Tendencia de la capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso íltico alterado con turba pulverizada.



Se pueden evidenciar los cambios en los valores de resistencia en los dos tipos de suelo analizados cuando se incrementa la cantidad de material orgánico en el suelo, se obtuvo que la resistencia del suelo disminuye cuando los porcentajes de materia orgánica son mayores independientemente al tipo de suelo fino ensayado como se observa en las Figuras 32 y 33. Sin embargo, los resultados de carga última obtenidos por medio de los parámetros de (Malkawi et al., 1999) son mayores que los obtenidos por (Thiyyakkandi & Annex, 2011) y no varían tanto al incremento de los porcentajes de materia orgánica, ya que, si se observa los valores de carga última de la arcilla alterada con urea de (Thiyyakkandi & Annex, 2011) Tabla 1 y Tabla 2, el suelo disminuye un 50% de su resistencia cuando tiene un porcentaje de materia orgánica del 11%. Esto se debe a la diferencia que existe en la preparación y manipulación de las muestras por parte de los autores, debido a que se generan cambios en las propiedades físicas y mecánicas, como en el contenido de humedad y la resistencia del material, variando la rigidez y el comportamiento plástico del suelo.

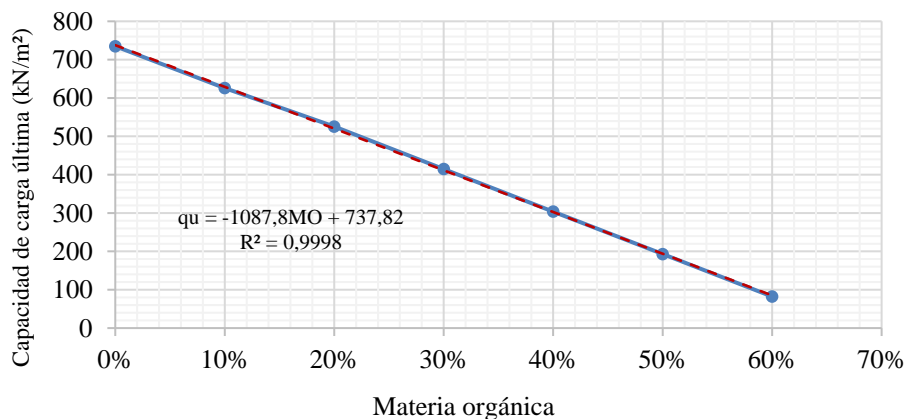
Por otro parte, se tiene que los resultados de carga última obtenidos por medio de la línea de tendencia general de los datos, tienen el mismo comportamiento que los resultados de

capacidad portante de (Malkawi et al., 1999) y (Thiyyakkandi & Annex, 2011), es decir, la capacidad última disminuye cuando se incrementan los niveles de materia orgánica en el suelo, no obstante, se puede observar que las tendencias de los tres análisis son diferentes, ya que la carga última a partir de la línea de tendencia general disminuye linealmente a diferencia de los de los resultados de los dos autores analizados, los cuales tienen un comportamiento asintótico. Además, independientemente al tipo de suelo fino y material orgánico, la variación de la capacidad última es mayor por la alta pendiente que forman los resultados, se observa que la resistencia disminuye en más de un 50% cuando el suelo tiene un porcentaje de materia orgánica igual al 30%, comparado con el valor de capacidad última inicial cuando el suelo tiene 0% de materia orgánica Figura 34.

Tabla 3. Capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica para línea de tendencia general.

PORCENTAJE MO	qu (kN/m ²)
0%	734,99
10%	625,96
20%	525,54
30%	414,70
40%	303,86
50%	193,02
60%	82,19

Figura 34. Capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica calculados por medio de la línea de tendencia general.



De igual forma, las bajas resistencias dan como resultado zapatas con mayores dimensiones que sean capaces de resistir las cargas aplicadas, esto indica que este tipo de cimentación no es la más viable al momento de construir en suelos finos orgánicos, ya que, al ser elementos de gran tamaño, podrían aumentar los costos de construcción. Sin embargo, se podrían ajustar las dimensiones de la zapata para que sean de menor tamaño, aumentando la profundidad de desplante de la zapata para que así la capacidad portante del suelo cumpla y sea capaz de soportar las cargas externas aplicadas, pero en este caso entraría a discusión las cantidades generadas en la remoción de tierras; es conveniente realizar un análisis de costos y verificar si es más factible la construcción de una cimentación profunda en pilotes, los cuales sean capaces de cumplir las solicitaciones y reducir los costos de la obra.

Análisis de esfuerzos efectivos

El análisis de esfuerzos efectivos se realizó mediante la Ecuación 8 de Meyerhof que relaciona los parámetros de resistencia, ángulo de fricción y cohesión, que permiten conocer la resistencia que tiene el material sólido del suelo ante las cargas externas. Para el análisis del comportamiento de corte de los suelos finos orgánicos, se calculó la capacidad portante con los resultados obtenidos de (Thiyyakkandi & Annex, 2011) y (Gui et al., 2021), ya que las muestras estudiadas fueron de suelos arcillosos alterados con diferentes porcentajes de materia orgánica y poseen datos más completos en comparación a los otros autores. Por otro lado, se decidió realizar el análisis de capacidad portante con los valores obtenidos de la línea de tendencia general de ángulo de fricción y cohesión descritos en la Tabla 21.

Por medio de las relaciones gravimétricas y volumétricas se completaron los datos faltantes de la relación de vacíos, de igual forma fue necesario utilizar la tabla 4.1 del libro de Bardet para definir el valor estándar del peso unitario saturado de los suelos arcillosos. El

análisis de esfuerzo efectivos tiene en cuenta la influencia del nivel freático para medir la capacidad portante del suelo, por esta razón se definió que el nivel freático se encontraba en la superficie de cada uno de los perfiles analizados para asumir una condición saturada.

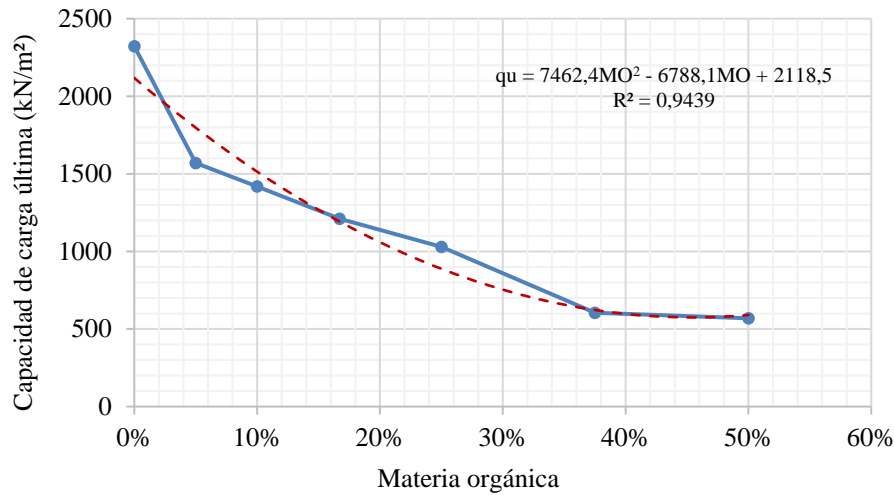
Con el objetivo de reducir las variables del análisis se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones: La profundidad de desplante ($D_f = 1,5$ m), factor de seguridad ($F_s = 3$), módulo de elasticidad ($E = 15.000$ kN/m²), relación de Poisson ($\mu = 0,35$) y peso unitario saturado ($\gamma_{sat} = 19$ kN/m³), iguales para cada uno de los perfiles analizados, debido a que las muestras de suelo analizadas por los dos autores eran de arcillas modificadas con un material orgánico en diferentes porcentajes, estas mismas características se asumieron en el análisis realizado por medio de la línea de tendencia general, para realizar un comparativo entre todos los resultados obtenidos. Los valores de ángulo de fricción, relación de vacíos y cohesión fueron los únicos parámetros que variaron en cada uno de los perfiles, sin embargo, debido a que (Thiyyakkandi & Annex, 2011) no contaba con los valores de cohesión se tomó un valor estándar dependiendo del tipo de suelo, en este caso un suelo arcilloso con un valor de cohesión igual a 10 kPa.

La capacidad portante del suelo arcilloso mezclado con turba pulverizada de (Gui et al., 2021), se desarrolló empleando una zapata cuadrada de 1 m por cada lado ($B=L$), junto con los parámetros establecidos anteriormente, Tabla 41, se obtuvo para cada porcentaje de materia orgánica los siguientes resultados:

Tabla 4. *Capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Gui et al., 2021), arcilla con turba.*

PORCENTAJE MO	qu (kN/m²)
0%	2.322,7
5,0%	1.569,4
10,0%	1.418,5
16,7%	1.210,6
25,0%	1.029,1
37,5%	604,3
50,0%	569

Figura 35. Tendencia de la capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Gui et al., 2021), arcilla con turba.



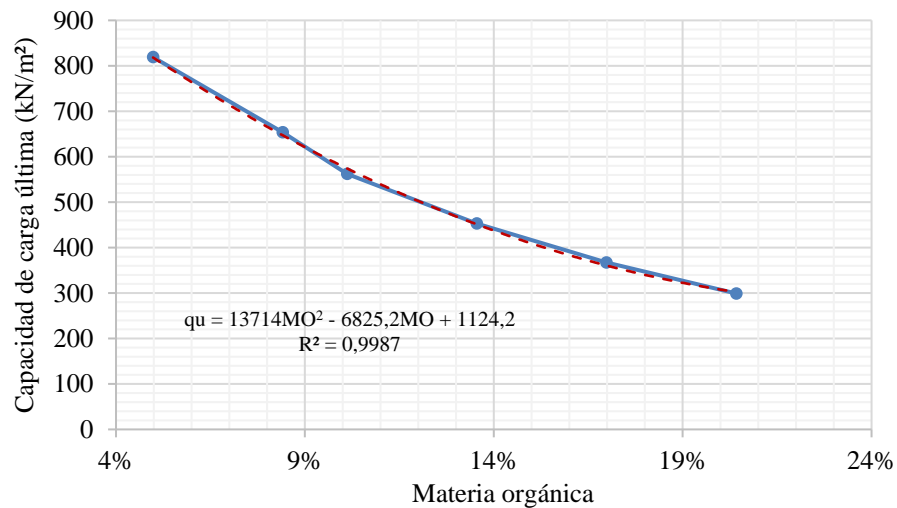
Se puede evidenciar en la Tabla 4 y la Figura 35, el comportamiento de la resistencia del suelo influenciada por el material orgánico presente, los resultados obtenidos demuestran que la capacidad portante del suelo disminuye debido al aumento de la materia orgánica y la pérdida de contacto entre partículas que disminuye el ángulo de fricción. Esto genera que el suelo se vuelva más inestable y propenso a fallar por la aplicación de cargas que superan su resistencia, para mitigar este efecto se recomienda la construcción de zapatas con mayores dimensiones que permitan distribuir las cargas de contacto de una manera adecuada al suelo. Si se analizan las dimensiones que deberían tener las zapatas para cada uno de los perfiles se tiene que para el perfil de suelo con 50% materia orgánica Tabla 48, las dimensiones de la zapata tendrían que aumentar alrededor del doble con respecto a las dimensiones iniciales propuestas en el ejercicio de 1 m para un 0% de materia orgánica; la zapata debería tener una dimensión mínima de 2.1 m, para que se cumpliera con la capacidad portante y el suelo no colapse.

Así mismo, para la arcilla modificada con urea de (Thiyyakkandi & Annex, 2011), se utilizó una zapata con dimensiones de 1.7 m por cada lado ($B=L$) y junto con los parámetros definidos en la Tabla 22 se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5. Capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Thiyyakkandi & Annex, 2011), arcilla natural modificada con material orgánico urea.

PORCENTAJE MO	qu (kN/m ²)
4,98%	819,05
8,41%	653,80
10,12%	562,01
13,55%	452,88
16,98%	367,14
20,42%	298,98

Figura 36. Tendencia de la capacidad de carga última para la referencia (Thiyyakkandi & Annex, 2011), arcilla natural modificada con material orgánico urea.



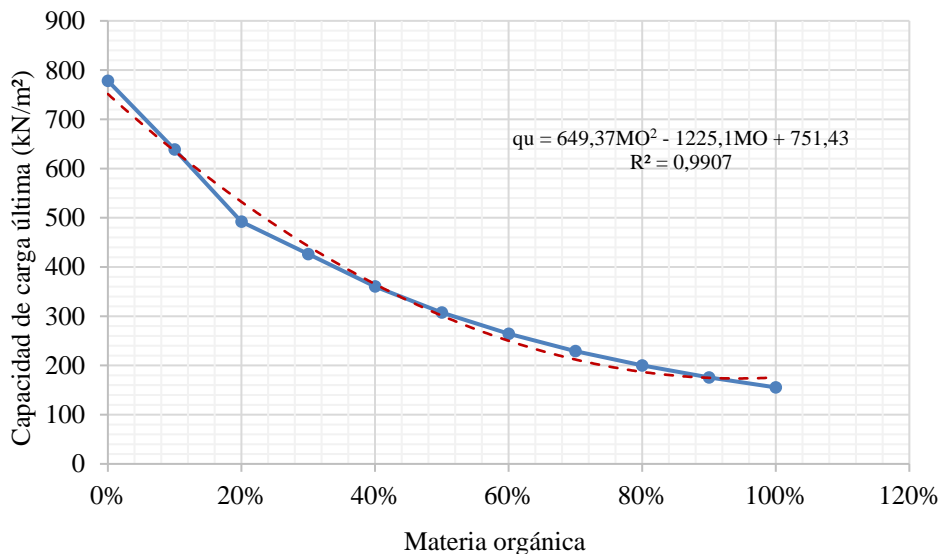
La Tabla 5 y la Figura 36 reflejan una reducción continua en la capacidad portante del suelo para los diferentes porcentajes de materia orgánica, al igual que los resultados obtenidos por medio de los valores de ángulo de fricción y cohesión de (Gui et al., 2021). Este comportamiento se atribuye principalmente al ángulo de fricción, ya que en este caso la cohesión se mantuvo constante para todas las muestras y no tuvo afectación significativa en los resultados de capacidad última del suelo. Los resultados obtenidos por medio de los valores de ángulo de fricción y cohesión de la línea de tendencia general Figura 37, tienen el mismo comportamiento que los valores de capacidad portante obtenidos con los parámetros de (Thiyyakkandi & Annex, 2011) y (Gui et al., 2021), los valores de capacidad última se describen en la Tabla 6; esto

corroborar la tendencia y el efecto que tiene la materia orgánica a disminuir la resistencia al corte de los suelos cuando se encuentra de forma natural o agregada en los suelos finos. Por otro lado, se puede observar que la capacidad portante calculada con los parámetros de (Thiyyakkandi & Annex, 2011) y la línea de tendencia general, no son de gran magnitud comparados con los resultados obtenidos por medio de los parámetros de (Gui et al., 2021), esto se debe a que los valores de ángulo de fricción y cohesión de las muestras ensayadas en este artículo son mayores y pudieron ser afectados por la preparación, control y manipulación de la muestra de arcilla.

Tabla 6. Capacidad de carga última para los porcentajes de materia orgánica de la línea de tendencia general.

PORCENTAJE MO	qu (kN/m ²)
0%	778,32
10%	638,73
20%	492,03
30%	426,25
40%	360,38
50%	307,39
60%	264,36
70%	229,10
80%	199,97
90%	175,72
100%	155,37

Figura 37. capacidad de carga última para los resultados calculados por medio de la línea de tendencia general.



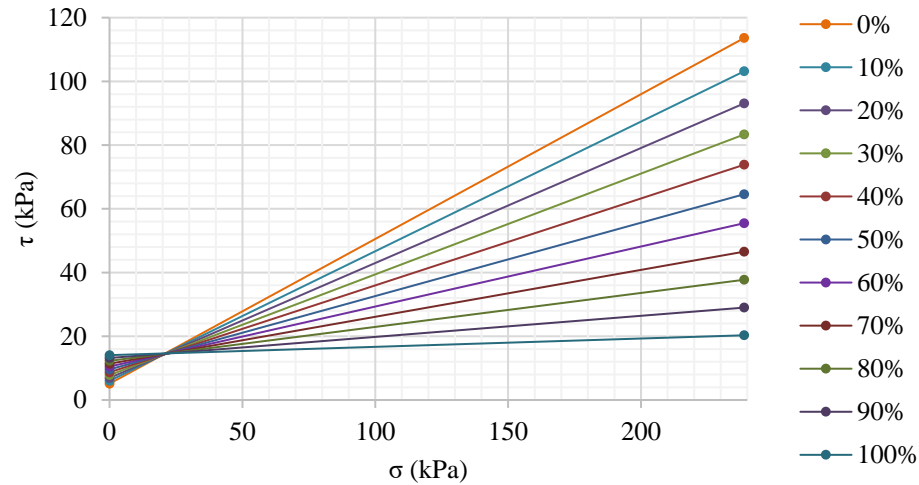
Se observa que los tres análisis de capacidad portante por medio del método de esfuerzos efectivos tienen un comportamiento no lineal, esto puede indicar que, si el suelo alcanza un porcentaje de materia orgánica mayor, los valores de capacidad última se tornan constantes o no tendrán gran variación en sus valores. Además, se evidenció que el suelo disminuye su resistencia hasta un 50% cuando los porcentajes de materia orgánica oscilan entre el 10% y 30%, haciendo un vistazo general a los resultados de los tres análisis realizados.

Al comparar los resultados entre el método de esfuerzos totales y el método de esfuerzos efectivos, se observó que la probabilidad de que se produzca una falla es mayor con el método de esfuerzos totales ya que la carga que puede soportar el suelo es menor que la carga externa aplicada y las dimensiones de la zapata deben ser mayores para que cumpla la capacidad portante del suelo. Lo anterior se debe a que el método de esfuerzos efectivos tiene en cuenta más factores relacionados con el suelo y la cimentación, que brindan un comportamiento más cercano a la realidad. En algunos casos, la zapata no será el diseño más adecuado para soportar las cargas aplicadas en este tipo de suelos, por tanto, se recomienda evaluar la posibilidad del diseño de una cimentación profunda, con el objetivo de disminuir los daños futuros de la estructura.

De igual forma, se realizó el diagrama de esfuerzos cortantes y esfuerzos normales Figura 38, con el fin de identificar el comportamiento de la envolvente de falla, cuando se incrementan los porcentajes de materia orgánica en el suelo. Los resultados soportan la teoría de los autores descritos en este documento, quienes describen que la resistencia al corte en suelos finos como las arcillas y los limos disminuye cuando el suelo tiene diferentes porcentajes de materia orgánica en su composición, esto se debe a que el material orgánico genera en el suelo un alto contenido de humedad, consistencia más blanda, alta compresibilidad y baja capacidad de

soportar las cargas externas aplicadas. El esfuerzo cortante del suelo disminuye más del 50% cuando el suelo tiene entre el 40% y 50% de materia orgánica en su composición.

Figura 38. *Comportamiento del esfuerzo cortante y esfuerzo normal en diferentes porcentajes de materia orgánica.*



Asentamientos

Con el objetivo de tener un análisis más completo del comportamiento mecánico de los suelos finos alterados con material orgánico, se analizó el efecto que tiene la materia orgánica en los cambios volumétricos del suelo. Se analizaron los asentamientos por consolidación de varios perfiles de suelo orgánico, de acuerdo a los datos obtenidos de los laboratorios de consolidación de los mismo autores, utilizados para el análisis de capacidad portante por el método de esfuerzos efectivos, (Thiyyakkandi & Annex, 2011) y (Gui et al., 2021), al igual que los resultados de índice de compresión y expansión obtenidos a partir de las líneas de tendencia general, de cada parámetro. Los valores que se utilizaron para el cálculo de asentamientos fueron la relación de vacíos, índice de compresión e índice de expansión, los cuales variaron en cada uno de los perfiles de acuerdo a los porcentajes de materia orgánica, también se tuvo en cuenta el esfuerzo de preconsolidación, el esfuerzo geostático y la profundidad del estrato ($H = 4.5\text{m}$), valores que permanecieron constantes, para disminuir el número de variables en el análisis.

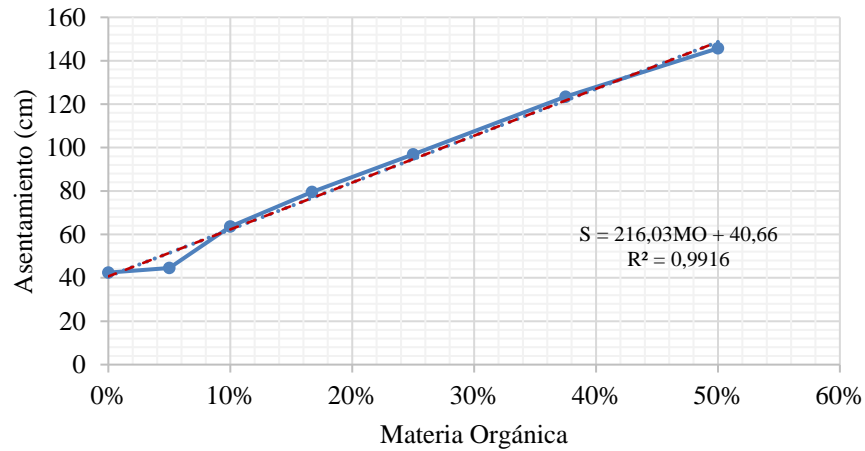
Las deformaciones generadas en los dos tipos de suelos analizados, se incrementaron cuando los niveles de materia orgánica aumentaban, es decir, los asentamientos al aplicar una carga externa vertical serán de mayor magnitud si hay presencia de material orgánico en la composición del suelo. Estas variaciones en el volumen del suelo dependen del valor de los vacíos y el coeficiente de compresión que aumentan linealmente con los porcentajes de materia orgánica, así mismo la gran capacidad de absorción de agua que tiene el material orgánico que genera un aumento en la plasticidad del suelo.

Si se observa el comportamiento de la arcilla alterada con turba de (Gui et al., 2021), se tiene que los asentamientos aumentan proporcionalmente con los porcentajes de materia orgánica. Figura 39, los resultados indican que a partir del 25% de materia orgánica el suelo alcanza asentamientos de 1m hasta 1.5 m, esto se debe principalmente a que la materia orgánica contribuye a que el suelo sea más poroso y se comprima con mayor facilidad, razón por la cual el valor de la relación de vacíos de las muestras de suelo varía entre 1.6 y 3.2, contribuyendo al aumento de los asentamientos generados en el suelo.

Tabla 7. Asentamientos para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Gui et al., 2021), arcilla con turba.

PORCENTAJE MO	ASENTAMIENTO (cm)
0,0%	42,4
5,0%	44,5
10,0%	63,6
16,7%	79,6
25,0%	96,9
37,5%	123,4
50,0%	145,7

Figura 39. Asentamientos para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Gui et al., 2021), arcilla con turba.

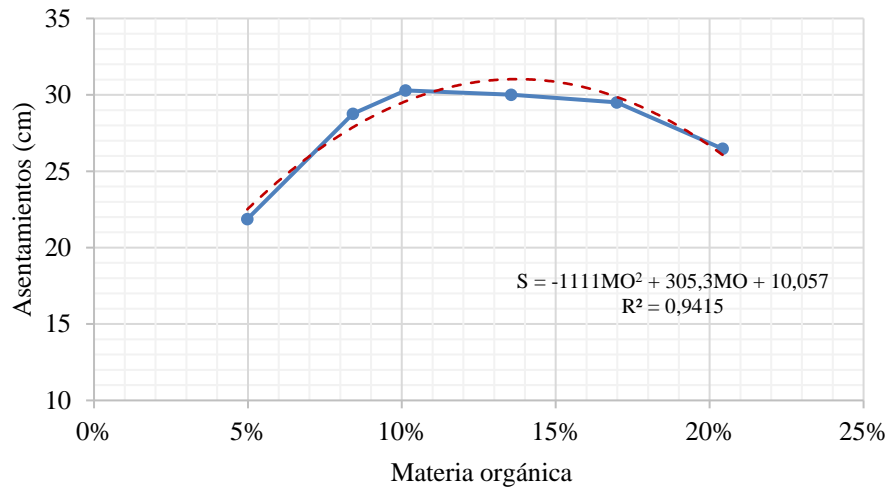


Por otra parte, (Thiyyakkandi y Annex, 2011), una arcilla alterada con urea en porcentajes del 4.98% al 20.42%, se obtuvo que los asentamientos van desde 22.1 cm hasta 26.75 cm. Sin embargo, los asentamientos que se generaron en este tipo de material tienen una tendencia parabólica, en comparación con los resultados obtenidos en (Gui et al., 2021) los cuales se comportan linealmente; si se observa la Figura 40 a partir del 10.12% de materia orgánica los valores comienzan a disminuir, debido a que el índice de compresión no tiene magnitudes muy grandes, sino por el contrario se aproximan más a cero como se muestra en la Figura 13, adicionalmente, con el incremento de materia orgánica estos valores de Cc no presentan mayores variaciones en comparación con (Gui et al., 2021), que alcanza un índice de compresión igual a 1.33 cuando el material orgánico presente en la muestra es del 25%.

Tabla 8. Asentamientos para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Thiyyakkandi & Annex, 2011), arcilla natural modificada con material orgánico urea.

PORCENTAJE ASENTAMIENTO	
MO	(cm)
4,98%	21,87
8,41%	28,76
10,12%	30,29
13,55%	30,01
16,98%	29,51
20,42%	26,47

Figura 40. Asentamientos para los porcentajes de materia orgánica de la referencia (Thiyyakkandi & Annex, 2011), arcilla natural modificada con materia orgánica urea.



Otro factor que contribuye a obtener estos resultados, es el tipo de material orgánico con el que fueron alteradas las muestras de arcilla, debido a que cada material tiene una composición diferente y puede llegar a afectar de diferentes formas al suelo, si se analizan los materiales orgánicos utilizados por cada uno de los autores, (Thiyyakkandi & Annex, 2011) altera la arcilla con urea, un compuesto químico orgánico originado de los desechos de animales que se caracteriza por tener altos niveles de nitrógeno en su composición que proporcionan al suelo nutrientes que ayudan al crecimiento de las plantas y permite la mineralización de la materia orgánica dando lugar a la formación del humus, mientras que la arcilla de (Gui et al., 2021) es alterada con turba, un material orgánico que se deriva de la descomposición de los vegetales y se caracteriza por alcanzar altos niveles de contenido de humedad.

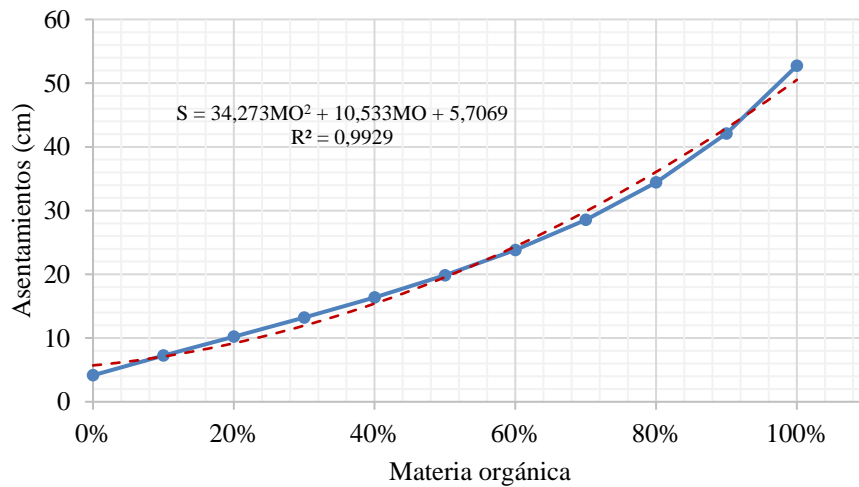
A partir de los datos de índice de compresión calculados con la línea de tendencia general, se obtuvo que los resultados de asentamientos en el suelo aumentan exponencialmente cuando se incrementan los niveles de materia orgánica del suelo independientemente al tipo de suelo y material orgánico presente, como se observa en la Tabla 9 y Figura 41. Las deformaciones en el suelo aumentan hasta un 50% cuando los porcentajes de materia orgánica

son mayores al 30% , si se compara con los resultados de asentamiento para un contenido orgánico del 0%. Adicionalmente, se tiene que los asentamientos pueden aumentar hasta 3 cm cuando suben los niveles de material orgánico en el suelo.

Tabla 9. Asentamientos para los porcentajes de materia orgánica para los resultados calculados por medio de la línea de tendencia general.

PORCENTAJE MO	ASENTAMIENTO (cm)
0%	4,16
10%	7,25
20%	10,22
30%	13,21
40%	16,37
50%	19,84
60%	23,81
70%	28,54
80%	34,42
90%	42,09
100%	52,72

Figura 41. Asentamientos para los resultados calculados por medio de la línea de tendencia general.



De igual forma, los valores del índice de compresión obtenidos en los tres análisis realizados, en la mayoría de los casos se encuentran en el rango de una arcilla con compresión media-alta, ya que, los valores obtenidos en laboratorios y a partir de la correlación de límite

liquido están entre el 0.2 y al aumentar los porcentajes de materia orgánica pueden llegar a ser superiores al 0.3.

Modelación

Se modelaron en el software Plaxis los perfiles de suelo planteados mediante la línea de tendencia general con porcentajes del 0% al 100% de materia orgánica, con cada una de sus características.

Se analizaron las deformaciones verticales y esfuerzos efectivos de cada uno de los perfiles de suelo, mientras se variaban parámetros como ángulo de fricción, cohesión, índice de compresión, índice de expansión y la relación de vacíos, todos en función de los porcentajes de materia orgánica, con el objetivo de identificar la influencia que tiene este material en las características mecánicas del suelo. Los resultados obtenidos con el software fueron comparados con los cálculos realizados manualmente.

Las deformaciones verticales que se generan en el suelo fueron variando a medida que incrementaban los porcentajes de materia orgánica, no se presentó una tendencia notoria en los resultados, ya que, si se observan las figuras de cada uno de los perfiles de acuerdo a los diferentes porcentajes de materia orgánica, el valor del desplazamiento puede aumentar o disminuir a partir de cierto porcentaje. Se obtuvo que al 0% de materia orgánica el suelo tiene una deformación máxima de 0.48 cm en su estructura y sigue aumentando hasta alcanzar aproximadamente un metro de deformación al 30% de materia orgánica, sin embargo, a partir del 40% y hasta el 80% de materia orgánica los cambios volumétricos comienzan a disminuir. Los resultados obtenidos por medio de Plaxis no están directamente relacionados a los calculados manualmente y no presentan una tendencia muy clara.

Figura 42. Desplazamientos para la muestra de suelo con 0% de materia orgánica.

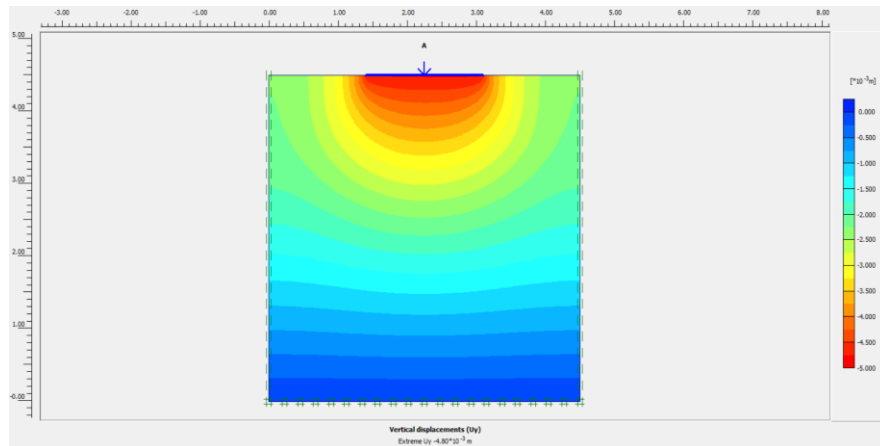


Figura 43. Desplazamientos para la muestra de suelo con 10% de materia orgánica.

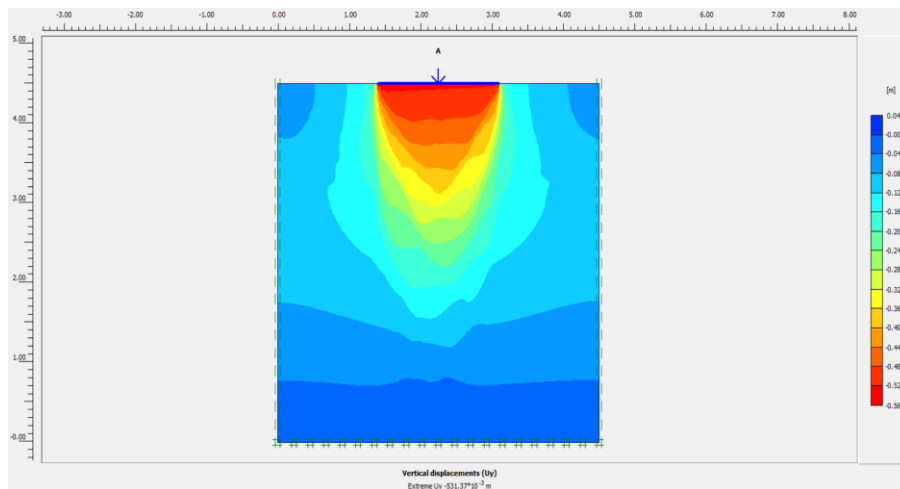


Figura 44. Desplazamientos para la muestra de suelo con 20% de materia orgánica.

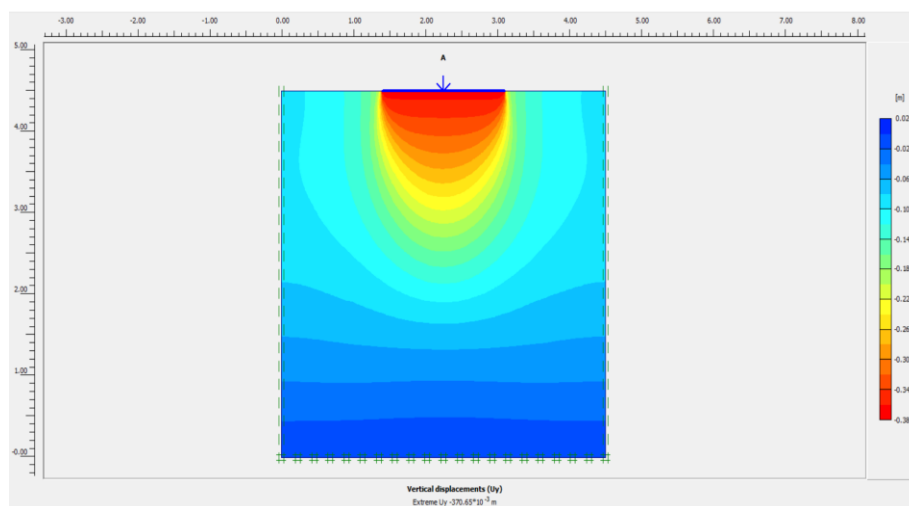


Figura 45. Desplazamientos para la muestra de suelo con 30% de materia orgánica.

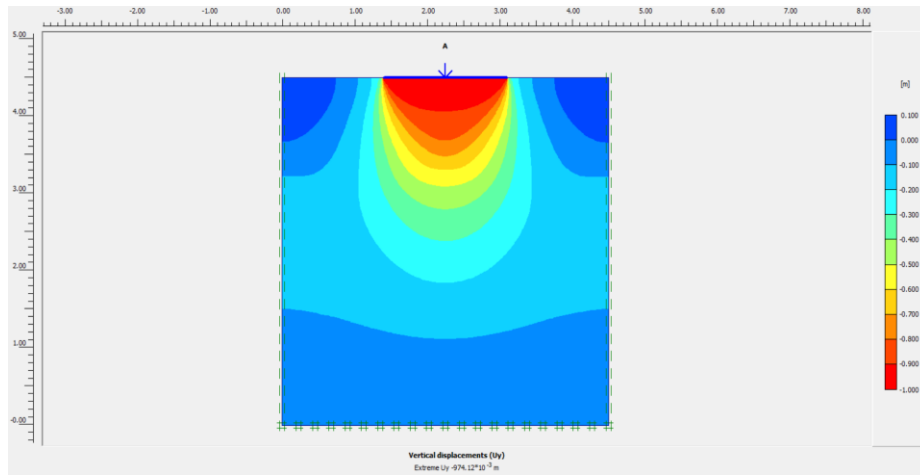


Figura 46. Desplazamientos verticales para la muestra de suelo con 40% de materia orgánica.

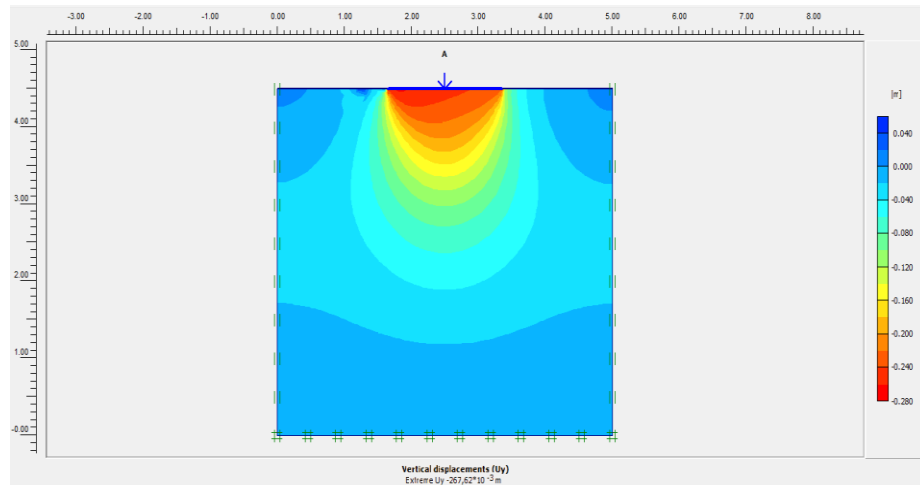


Figura 47. Desplazamientos verticales para muestra de suelo con 50% de materia orgánica.

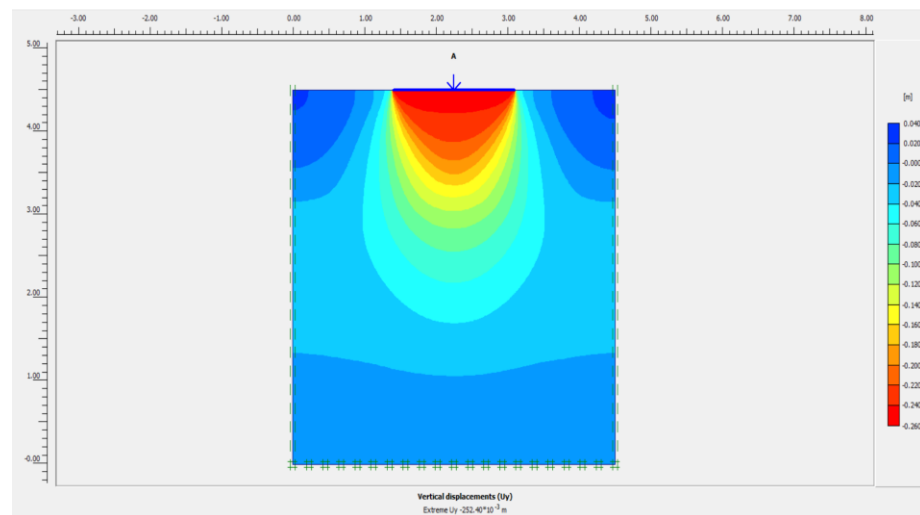


Figura 48. Desplazamientos verticales para la muestra de suelo con 60% de materia orgánica.

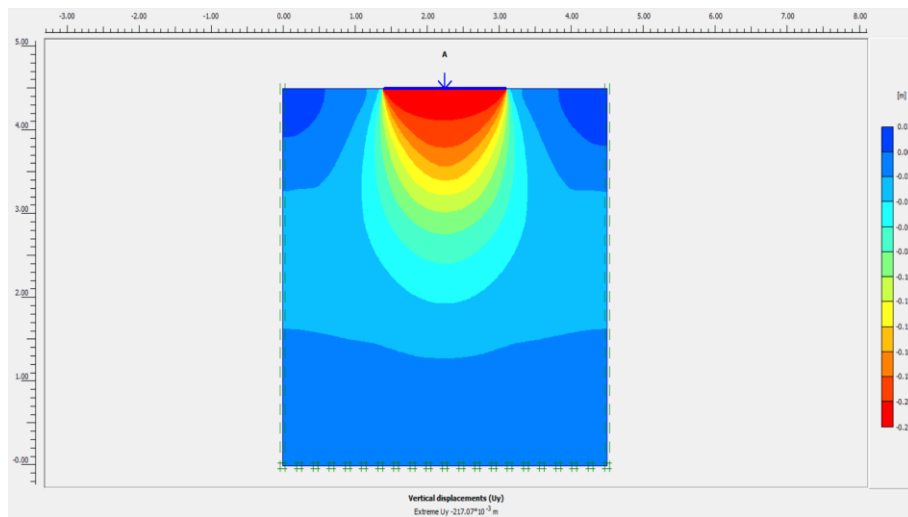


Figura 49. Desplazamientos verticales para la muestra de suelo con 70% de materia orgánica

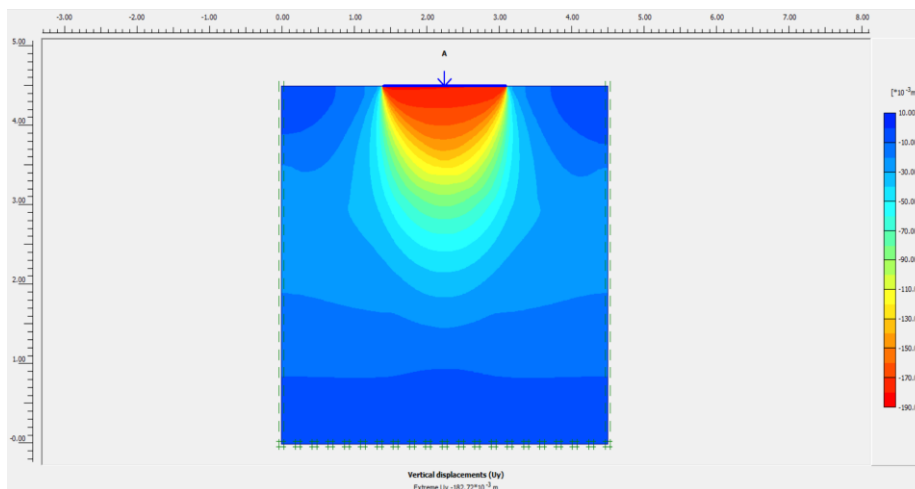


Figura 50. Desplazamientos verticales para la muestra de suelo con 80% de materia orgánica

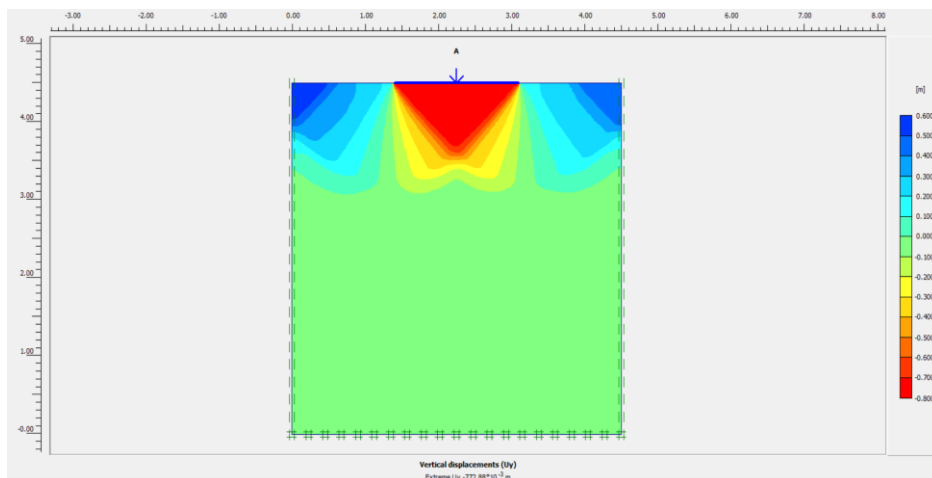


Figura 51. Desplazamientos verticales para la muestra de suelo con 90% de materia orgánica

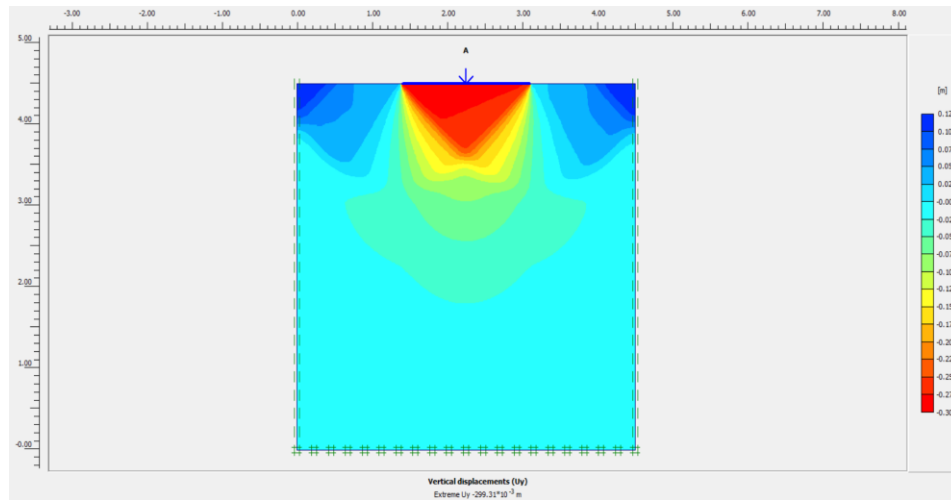
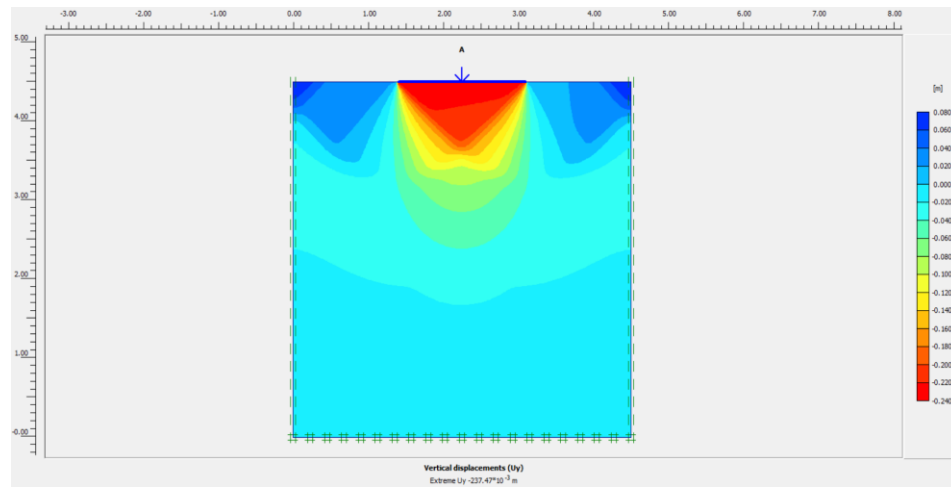


Figura 52. Desplazamientos verticales para la muestra de suelo con 100% de materia orgánica



Conclusiones

1. Los valores obtenidos de gravedad específica disminuyen cuando el contenido de materia orgánica es mayor, sin tener en cuenta el tipo de suelo, mineral y material orgánico, los suelos se vuelven menos densos y sus partículas están más sueltas. La gravedad específica alcanza valores de 1.65 al 50% de materia orgánica en los suelos finos, sin embargo, en suelos como la turba estos valores son aún más pequeños, debido a que es un material más ligero.
2. El suelo es capaz de retener mayores niveles de agua, por tanto, el contenido de humedad del suelo incrementa proporcionalmente a los niveles de materia orgánica. El suelo puede llegar a tener un contenido de humedad del 100% cuando el material orgánico es igual al 10% y puede llegar a alcanzar niveles de humedad hasta el 300% con porcentajes mayores al 60% de materia orgánica.
3. Los límites de Atterberg, límite líquido y límite plástico, aumentaron con los porcentajes de materia orgánica. Los altos valores de límite líquido se atribuyen al contenido orgánico del suelo y a los minerales arcillosos presentes como la montmorillonita que por su alta capacidad de absorción de agua genera un aumento en el volumen. De igual forma, se obtuvo por medio de la carta de plasticidad de Casagrande, que minerales como la caolinita a pesar de su baja actividad y absorción de agua, en presencia de materia orgánica el suelo fino puede aumentar su capacidad de absorber agua, afectando drásticamente la inestabilidad del suelo debido a los altos cambios volumétricos que se presentan.

4. El índice de plasticidad presenta un aumento en sus valores cuando se encuentra en presencia de mayores porcentajes de materia orgánica. Lo que indica que el suelo requiere un mayor porcentaje de agua para alcanzar mayor fluidez.
5. Los parámetros de resistencia como el ángulo de fricción disminuyen drásticamente con el aumento de la materia orgánica, esto se atribuye al aumento de la presión de poros, debido a los cambios volumétricos que sufre el suelo al ser un material más compresible y con altos contenidos de humedad, los cuales hacen que las partículas del suelo pierdan fricción entre ellas y el material este más suelto, perdiendo resistencia. Por otro lado, los valores de cohesión aumentan con el incremento de la materia orgánica en el suelo, sin embargo, los cambios en este parámetro no son de gran magnitud.
6. Los resultados de los ensayos de la resistencia al corte no drenado (S_u), evidencian una disminución en sus valores debido al aumento de la materia orgánica en el suelo, ya que el material se vuelve más plástico y con consistencia blanda.
7. Los valores índices de compresión e índice de expansión del suelo aumentan con el porcentaje de materia orgánica, independientemente si los datos fueron obtenidos por medio del ensayo de consolidación en cada uno de los artículos o las correlaciones en función de los límites de Atterberg. Los cambios generados se deben a que la materia orgánica aumenta la relación de vacíos del suelo, permitiendo que el agua fluya entre ellos con más facilidad, generando un material más permeable, compresible y susceptible a sufrir asentamientos mayores.
8. El índice de compresión presenta una mayor variación en sus resultados cuando se hace uso de las correlaciones, al tener valores muy altos de limite liquido los resultados

obtenidos pueden llegar a ser superiores a 2.0, dando resultados fuera de los rangos típicos de una arcilla, se puede atribuir estos valores a turbas.

9. Los dos métodos analizados, esfuerzos totales y esfuerzos efectivos, dieron como resultado que la capacidad portante del suelo disminuye con el aumento del porcentaje de materia orgánica del suelo, independientemente al tipo de suelo fino y materia orgánica, las bajas resistencias dan como resultado zapatas con mayores dimensiones que sean capaces de resistir las cargas aplicadas, generando que los costos de construcción aumenten. Por tanto, es conveniente realizar un análisis de costos y verificar si es más factible la construcción de una cimentación profunda en pilotes, capaz de cumplir las solicitudes y reducir los costos de la obra.
10. La capacidad portante del suelo puede disminuir en un 50% cuando el suelo fino tiene entre el 10% y 30% de materia orgánica, esto se debe principalmente a la pérdida de contacto entre partículas que disminuyen el ángulo de fricción del suelo, haciéndolo más inestable y propenso a fallar por la aplicación de cargas que superan su resistencia. Por otro lado, se obtuvo que la cohesión no genera mayor impacto en los resultados de capacidad portante cuando el suelo contiene materia orgánica en su composición.
11. Se recomienda realizar el análisis de suelo finos orgánicos mediante el método de esfuerzo efectivos, debido a que tiene en cuenta una mayor cantidad de factores relacionados con las características del suelo y la cimentación, haciéndolo un método más conservador y cercano a la realidad. El método de esfuerzos totales solo se recomienda si se quiere conocer preliminarmente el comportamiento suelo ante las cargas aplicadas.

12. Los suelos con porcentajes de materia orgánica tienden a fallar por corte, como se evidencio en la gráfica de esfuerzos cortantes y totales, en la cual la envolvente de falla disminuye hasta en un 50% cuando la materia orgánica es mayor o igual al 40%.
13. Los asentamientos generados en los suelos incrementan cuando los porcentajes de materia orgánica son mayores, estos cambios volumétricos en el suelo se deben a que el material orgánico aumenta la relación de vacíos, compresibilidad y capacidad de absorción de agua del suelo, haciendo que al aplicarse una carga externa . Los asentamientos del suelo pueden aumentar hasta 3 cm cuando los niveles de materia orgánica incrementan en un 10% e incrementar hasta un 50% cuando la materia orgánica es mayor al 30%.
14. Los resultados de deformaciones verticales obtenidos por medio del software Plaxis, aumentan hasta aproximadamente un metro cuando el suelo alcanza un 30% de contenido de materia orgánica y a partir de este porcentaje hasta el 80% disminuyen constantemente.

Referencias

- Adilil, AA. y Al-Soudany, K. (2013). Assessing and evaluating the effect of organic matters on clayey and silty soil stiffness. *Eng. & Tech. Journal*, 31, 103-119.
- Budhu, M. (2010). *Soil mechanics and foundations*. (Tercera edición). Wiley.
- Das, B. (2014). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. (Cuarta edición). Cengage Learning Editores, S.A.
- Develioglu, I. y Pulat, H. (2019). Compressibility behaviour of natural and stabilized dredged soils in different organic matter contents. *Construction and Building Materials*, 228, 116787-116797. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116787>
- Develioglu, I. y Pulat, H. (2019). Improvement of shear strength characteristics of İzmir Bay's dredged soil. *Arabian Journal of Geosciences*, 1-12.
- Fratta, D., Aguetant, J. y Roussel-Smith, L. (2007). *Introduction to soil mechanics laboratory testing*. (Primera edición). CRC Press.
- García, J. y Ballesteros, M. (2005). Evaluación de parámetros de calidad para la determinación de carbono orgánico en suelos. *Revista Colombiana de Química*, 34(2), 201-209.
- Geo-JuanP. (2020, 23 de abril). El ensayo de corte directo - Curso Virtual Geotecnia [video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=DK0bpyNCvKM>
- Gui, Y., Zhang, Q., Qin, X. y Wang, J. (2021). Influence of organic matter content on engineering properties of clays. *Advances in civil engineering*, 2021, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2021/6654121>
- Hamouche, F. y Zentar, R. (2018). Effects of organic matter on mechanical properties of dredged sediments for beneficial use in road construction. *Environmental Technology*. <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1497711>

- Huang, PT., Patel, M., Santagata, MC. y Bobet, A. (2009). Classification of organic soils. *Joint Transportation Research Program*.
- Huat, BB. (2006). Deformation and shear strength characteristics of some tropical peat and organic soils. *Pertanika J. Sci. & Technol*, 14(1-2), 61-74.
- Huat, BB., Prasad, A., Asadi, A. y Kasemian, S. (2014). *Geotechnics of organic soils and peat*. CRC press.
- Kang, GO., Tsuchida, T. y Kim, YS. (2017). Strength and stiffness of cement-treated marine dredged clay at various curing stages. *Construction and Building Materials*, 132, 71-84.
- Kolay, PK., Aminur, MR., Taib, SNL. y Zain, MM. (2010). Correlation Between different physical and engineering properties of tropical peat soils from sarawak. *Soil Behavior and Geo-Micromechanics*, 200, 56-61.
- Konkol, J., Międlarz, K y Bałachowski, L. (2019). Geotechnical characterization of soft soil deposits in Northern Poland. *Engineering Geology*, 259, 1-11.
- Luque, J. (2003). *Lago de Sanabria: un sensor de las oscilaciones climáticas del Atlántico Norte durante los últimos 6.000 años* [Tesis doctoral, Universidad de Barcelona]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/2445/34787>
- Majeed, AH., Al-Soud, MS. y Sadiq, ZH. (2017). Improvement of compressibility characteristics of model organic soils. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 21(2), 80-92.
- Malasavage, NE., Jagupilla, S., Grubb, DG., Wazne, M. y Coon, WP. (2012). Geotechnical performance of dredged material—Steel slag fines blends: laboratory and field evaluation. *J. Geotech. Geoenviron. Eng*, 138, 981-991. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000658

- Malkawi, AI., Alawneh, AS. y Abu-Safaqah, OT. (1999). Effects of organic matter on the physical and the physicochemical properties of an illitic soil. *Applied Clay Science*, 14, 257-278.
- Mysłińska, E. (2003). Classification of organic soils for engineering geology. *Geological Quarterly*, 47(1), 39-42.
- Ou, ZF. y Fang, YG. (2017). The influence of organic matter content on the rheological model parameters of soft clay. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 54(4), 283-288. DOI 10.1007/s11204-017-9470-4
- Paul, A., Hussain, M. y Ramu, B. (2018). The physicochemical properties and microstructural characteristics of peat and their correlations: reappraisal. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 1-12. <https://doi.org/10.1080/19386362.2018.1483099>
- Puppala, AJ., Pokala, SP., Intharasombat, N. y Williammee, R. (2007). Effects of organic matter on physical, strength, and volume change properties of compost amended expansive clay. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 133, 1449-1461. DOI: 10.1061/ASCE1090-02412007133:111449
- Salim, N. y Hassan, A. (2020). Effect of organic waste on geotechnical properties of soft clay. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 24(1), 110-123. <https://doi.org/10.31272/jeasd.24.1.8>
- Thiyyakkandi, S. y Annex, S. (2011). Effect of organic content on geotechnical properties of Kuttanad clay. *European Journal of Government and Economics*, 16, 1653-1663.
- Varghese, R., Chandrakaran, S. y Rangaswamy, K. (2019). Geotechnical behaviour of different organic matter on clayey soils. *Geomechanics and Geoengineering*, 1-10. <https://doi.org/10.1080/17486025.2019.1670874>

Varghese, R., Chandrakaran, S. y Rangaswamy, K. (2019). Influence of type of organic substances on the strength and consolidation behaviour of inorganic clay soil. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 1-12. <https://doi.org/10.1080/19386362.2019.1591739>

Yu, H., Yin, J., Soleimanbeigi, A. y Likos, W. (2017). Effects of curing time and fly ash content on properties of stabilized dredged material. *J. Mater. Civ. Eng.*, 29(10), 04017199-1 - 04017199-11. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002032

Anexos

Anexo A. Tablas propiedades físicas y mecánicas por cada autor

Tabla 10. Datos propiedades físicas por cada autor.

Referencia	Autor	Tipo de suelo	Porcentajes materia orgánica	Nivel de materia orgánica	Gs	Límites de Atterberg				Wc (%)	Y (kN/m ³)	
						LL (%)	LP (%)	LC (%)	IP			
1	Inci Develioglu, Hasan Firat Pulat	Suelo dragado	0%	BAJO	2,76	32,9	26,4		6,5			
			4%	BAJO	2,64	32,6	27,9		4,7			
			7%	MEDIO	2,60	34,7	28,7		6			
			11%	MEDIO	2,52	39,5	31,0		8,5			
			85%	ALTO		294				211		
			94%	ALTO		316				219		
			83%	ALTO		362				802		
2	Bujang B. K. Huat	Turbas	78%	ALTO		180			215			
			89%	ALTO		325			209			
			85%	ALTO		368			786			
			98%	ALTO		305			246			
			98%	ALTO		335			301			
			83%	ALTO		377			786			
			83%	ALTO		377			786			
3	Hua Yu1, Jie Yin, Aff; Ali Soleimanbeigi, and William J. Likos	Suelo dragado-Limo de alta plasticidad	9,8%	MEDIO	2,59	62	42		20			
4	Fawzi Hamouche & Rachid Zentar	Sedimentos dragados in situ mezclados con composta como material orgánico	5,6%	BAJO	2,57	29	17		12			
			7,5%	MEDIO	2,55	43	32		11			
			10,0%	MEDIO	2,51	48	34		14			
			12,5%	MEDIO	2,45	52	40		12			
			15,0%	MEDIO	2,43	62	50		12			
5	Abdallah I. Husein Malkawi, Ahmed S. Alawneh , Osama T. Abu-Safaqah	suelo iltico, con algo de caolinita mezclado con una turba secada	0,0%	BAJO		74,50	42		33			
			5,5%	BAJO		83	48		35			
			10,3%	MEDIO		86,42	51,3		35,1			
			13,8%	MEDIO		86,73	57,1		29,6			
			16,4%	MEDIO		88,44	58,8		29,6			
			19,6%	MEDIO		91,00	65,8		25,2			
			21,2%	ALTO		93,90	67,8		26,1			
			29,6%	ALTO		102	87		15			
			0,0%	BAJO		79,30	45		34,3			
			5,3%	BAJO		87,16	52		35,2			
			11,0%	MEDIO		91	55,4		35,6			
			14,9%	MEDIO		94,6	62		32,6			
			18,1%	MEDIO		97,26	69		28,3			
			18,2%	MEDIO		102	70		32			
			28,0%	ALTO		105	90		15			
6	Rinku Varghese, Chandrakaran S & Rangaswmay K	arcilla natural caolinita recogida in situ se combinaron con 3 tipos de materia orgánica Urea, composta y almidón	5,0%	BAJO		77,2	53,98		23,2			
			10,0%	MEDIO		81,2	58,00		23,2			
			15,0%	MEDIO		88,49	61,00		27,5			
			5,0%	BAJO		89,49	61,13		28,4			
			10,0%	MEDIO		92,6	69,00		23,6			
			15,0%	MEDIO		99,77	75,00		24,8			
			5,0%	BAJO		125,31	74,00		51,3			
			10,0%	MEDIO		129,00	79,10		49,9			
			15,0%	MEDIO		135,20	85,00		50,2			
			5,8%	BAJO		2,65	37,67	16,07		21,6	30,60	17,07
7	J. Konkol, K. Międlarz*, L. Bałachowski	Limos orgánicos de alta plasticidad,	4,4%	BAJO		53,56				45,40	17,6	
			8,3%	MEDIO		67,44				68,90	17	
			11,4%	MEDIO		80,89	17,19		63,7	75,90	14,22	
			11,4%	MEDIO	2,54	80,89	17,19		63,7	75,90	14,22	

		arcillas limosas orgánicas y turbas.	16,2%	MEDIO	2,61	89,89	35,09		54,8	64,40	14,52
			69,9%	ALTO	1,71	186,11				264,10	11,58
			6,7%	MEDIO						46,80	16,9
			4,2%	BAJO	2,59	41,78	18,48		23,3	46,30	15,7
			4,5%	BAJO		54,78	-			57,30	16,9
			7,1%	MEDIO	2,54	61,67	45,97		15,7	59,80	15,6
			7,0%	MEDIO					28,5	77,20	15,9
			87,2%	ALTO	1,57	259,89				179,20	10,5
8	Nicholas E. Malasavage, Santhi Jagupilla, Dennis G. Grubb, Mahmoud Wazne, and William P. Coon	Suelo dragado. Se clasifico como limo orgánico de alta plasticidad según USCS	11,76%	MEDIO	2,58	140	38		102	122,8	
9	Inci Develioglu & Hasan Firat Pulat	Suelo dragado. Con gran cantidad de mineral de arcilla	0%	BAJO	2,76	32,9	26,4		6,50		
			4%	BAJO	2,64	32,6	27,9		4,70		
			7%	MEDIO	2,59	34,7	28,7		6,00		
			11%	MEDIO	2,52	39,5	31		8,50		
			2%	BAJO		70	52	26	18,00		
			5%	BAJO		77	54	25	23		
			10%	MEDIO		82	58	24	24		
			15%	MEDIO		89	61	22	28		
			2%	BAJO		435	88	5	347		
10	Rinku Varghese, S. Chandrakaran & K. Rangaswamy	Suelos arcillosos de naturaleza caolinita mezclados con almidón	5%	BAJO		477	92	4,8	385		
			10%	MEDIO		511	102	4,5	409		
			15%	MEDIO		535	107	4,1	428		
			2%	BAJO		36	29	25	7		
			5%	BAJO		39	30	24	9		
			10%	MEDIO		46	33	22	13		
			15%	MEDIO		51	35	20	16		
11	Gyeong-o Kang, Takashi Tsuchida, Young-sang Kim	Suelo dragado	10%	MEDIO	2,64	107,6	35,4		72,20		
			5,92%	BAJO	2,85	44	16		28,00		
			6,72%	MEDIO	2,58	34,60	17,5		17,10		
			7,18%	MEDIO	2,55	34,10	14,3		19,80		
			7,54%	MEDIO	2,39	31,70	15,5		16,20		
12	Anand J. Puppala; Sharmi P. Pokala; Napat Intharasombat; and Richard Williammee	Arcilla natural modificada con composta	7,94%	MEDIO	2,27	31,40	17,2		14,20		
			8,86%	MEDIO	2,26	30,80	20		10,80		
			11,76%	MEDIO	2,56	60	25		35,00		
			14,52%	MEDIO	2,41	63,1	35		28,10		
			21,62%	ALTO	2,12	69,7	42,6		27,10		
			25,40%	ALTO	1,98	87,4	61,1		26,30		
			33,58%	ALTO	1,64	110	78,2		31,80		
			4,98%	BAJO		49,21	27,5		21,76		
			6,69%	MEDIO		51	28,2		22,81		
			8,41%	MEDIO		52,81	28,94		23,86		
13	Sudheesh Thiyyakkandi & Shima Annex	Arcilla natural "Kuttanad" modificada con material orgánico Urea	10,12%	MEDIO		54,60	29,68		24,91		
			11,84%	MEDIO		56,40	30,43		25,97		
			13,55%	MEDIO		58,19	31,17		27,02		
			16,13%	MEDIO		60,89	32,28		28,60		
			16,98%	MEDIO		61,78	32,65		29,13		
			20,42%	ALTO		65,38	34,14		31,24		
			5,00%	BAJO	2,65	39,34	22,16		17,18	30	
14	Zhen-feng Ou, Ying-guang Fang	Arcilla blanda modificada	10,00%	MEDIO	2,55	53,23	31,47		21,76	40	
			20,00%	ALTO	2,38	97,72	55,41		42,31	65,00	
			30,00%	ALTO	2,23	118,5	71,47		47,01	82,00	
15	P.K. Kolay, M.R. Aminur, S.N.L. Taib, M.I.S. Mohd Zain	Turbas	66,60%	ALTO	1,64	73				360,72	
			80,85%	ALTO	1,56	77				623,76	
			85,10%	ALTO	1,45	78				620,14	
			42,53%	ALTO	1,82	69				605,63	

			78,88%	ALTO	1,62	79			473,70		
			82,40%	ALTO	1,48	75			787,04		
16	Abhinaba Paul, Monowar Hussain & Badiga Ramu	Turbas	20,00%	ALTO	2,00	68	55	13	268	11,60	
			36,00%	ALTO	1,90	68	59	9	600	10	
			66,00%	ALTO	1,40	97				590	11
			76,00%	ALTO	1,50	72	66	6	404	11,30	
			0%	BAJO	2,68	27	18	9			
17	Dr. Nahla Mohammed Salim, Asmaa Akram Hassan	Arcilla blanda mezclada con desperdicios de animal	5%	BAJO	2,65	32	24	8			
			10%	MEDIO	2,6	38	26	12			
			15%	MEDIO	2,47	44	32	12			
			20%	ALTO	2,37	53	35	18			
			0,00%	BAJO	2,63						
18	Dr. Adel H. Majeed, Dr. Madhat S. Al- Soud, Zainab H. Sadiq	Arcilla caolinita	2,00%	BAJO	2,6						
			5,00%	BAJO	2,56						
			8,00%	MEDIO	2,51						
			12,00%	MEDIO	2,46						
			20,00%	ALTO	2,36						
19	Aqeel Al Adili, Kawther Al- Soudany	Limo arcilloso arenoso	0,00%	BAJO	2,68	35	19	16			
			5,00%	BAJO	2,56	41	21	20			
			10,00%	MEDIO	2,45	47	22	25			
			15,00%	MEDIO	2,28	48	22,5	25,5			
			20,00%	ALTO	2,17	54,5	24,5	30			
		0,00%	BAJO	2,7	43,5	17,2	26,3				
		5,00%	BAJO	2,61	48	19,9	28,1				
		10,00%	MEDIO	2,41	52,5	21,9	30,6				
		15,00%	MEDIO	2,33	55,3	23,4	31,9				
		20,00%	ALTO	2,21	58,7	25,6	33,1				
		0,00%	BAJO	2,75	66	41	25	58			
		2,50%	BAJO	2,64	69	42	27	63			
		5,00%	BAJO	2,58	73	44	29	69			
		7,50%	MEDIO	2,52	81	46	35	73			
		10,00%	MEDIO	2,48	97	57	40	77			
20	Yue Gui ,Qiumin Zhang , Xiaqiang Qin ,and Jianfei Wang	Arcilla mezclada con material orgánico (turba)	12,50%	MEDIO	2,39	136	76	60	87,2		
			16,70%	MEDIO	2,25	150	77	73	109,2		
			25,00%	ALTO	2,04	200	97	103	139,9		
			33,30%	ALTO	1,91	292	114	178	185,1		
			37,50%	ALTO	1,83	316	128	188	211,5		
			41,60%	ALTO	1,75	349	133	216	225,3		
			50,00%	ALTO	1,65	387	136	251	247,4		

Tabla 11. Datos propiedades mecánicas por cada autor.

Referencia	Autor	Porcentajes materia orgánica	Nivel de materia orgánica	Presión inconfiada		Corte directo		Triaxial			Consolidación								
				Su(kPa)	qu(kPa)	$\phi(^{\circ})$	c (kPa)	$\phi(^{\circ})$	c (kPa)	Cc	e_0	e_r	Δe	σ_{pc}' (kPa)	C_v (cm ² /s)	Cr	Cs		
1	Inci Develioglu, Hasan Firat Pulat	0%	BAJO								0,097	0,85	0,74	0,11	471			0,0176	
		4%	BAJO								0,134	0,84	0,64	0,20	246			0,0127	
		7%	MEDIO								0,189	0,89	0,66	0,23	391			0,0162	
		11%	MEDIO								0,318	1,02	0,64	0,38	134			0,0230	
		85%	ALTO			9	9					2,56	24,15						
		94%	ALTO			9	11					2,75	24,37						
		83%	ALTO			12	6					3,17	32,66						
2	Bujang B. K. Huat	78%	ALTO			6	10				1,53	24,26							
		89%	ALTO			7	12				2,84	24,10							
		85%	ALTO			8	7				3,22	32,53							
		98%	ALTO			3	13				2,66	25,06							
		98%	ALTO			13	11				2,93	26,29							
		83%	ALTO			12	8				3,30	32,53							
		5,6%	BAJO			24,2					0,15	0,50			93,00		0,017	0,0324	
4	Fawzi Hamouche & Rachid Zentar	7,5%	MEDIO			22,2				0,20	0,59			90,00		0,019	0,0297		
		10,0%	MEDIO			20,8				0,22	0,65			88,00		0,021	0,0378		
		12,5%	MEDIO			21,6				0,24	0,70			87,00		0,023	0,0324		
		15,0%	MEDIO			22,5				0,28	0,80			80,00		0,025	0,0324		
		0,0%	BAJO	125	250,1						0,58							0,0878	
5	Abdallah I. Husein Malkawi, Ahmed S. Alawneh , Osama T. Abu-Safaqah	5,5%	BAJO	115,2	230,5					0,66							0,0946		
		10,3%	MEDIO	108,9	217,7					0,69							0,0949		
		13,8%	MEDIO	105,4	210,8					0,69							0,0801		
		16,4%	MEDIO	107,9	215,7					0,71							0,0801		
		19,6%	MEDIO	102,5	205					0,73							0,0681		
		21,2%	ALTO	102	204					0,76							0,0705		
		29,6%	ALTO	0						0,83							0,0405		
		0,0%	BAJO	125	250,1					0,62							0,0927		
		5,3%	BAJO	115,7	231,4					0,69							0,0950		
		11,0%	MEDIO	108,4	216,7					0,73							0,0962		
		14,9%	MEDIO	104,9	209,9					0,76							0,0881		
		18,1%	MEDIO	102,5	205					0,79							0,0764		
		18,2%	MEDIO	102,5	205					0,83							0,0865		
6		28,0%	ALTO	0						0,86						0,0405			
		5,0%	BAJO	37,2	74,3					0,60						0,0628			

	10,00%	MEDIO	34	50,6	0,0614	0,668	275
	15,00%	MEDIO	37	42,4	0,0596	0,658	283,4
	20,00%	ALTO	40	29,9	0,0614	0,605	277,3
	0,00%	BAJO	33,3	7,2	0,392		0,0676
	2,50%	BAJO	32,1	7,7	0,413		0,0730
	5,00%	BAJO	29,8	8,8	0,441		0,0784
	7,50%	MEDIO	28,8	9,4	0,497		0,0946
	10,00%	MEDIO	28,3	9,4	0,609		0,1081
20	Yue Gui ,Qiumin Zhang , Xiaqiang Qin ,and Jianfei Wang	12,50%	MEDIO	27,4	9,9	0,882	0,1622
		16,70%	MEDIO	26,1	11,4	0,98	0,1973
		25,00%	ALTO	24,4	11,7	1,33	0,2784
		33,30%	ALTO	21,5	13,5	1,974	0,4811
		37,50%	ALTO	17,6	14,8	2,142	0,5081
		41,60%	ALTO	17,4	15,1	2,373	0,5838
		50,00%	ALTO	16,6	15,6	2,639	0,6784

Anexo B. Tablas predimensionamiento y líneas de tendencia general parámetros físicos y mecánicos

Tabla 12. Ecuaciones líneas de tendencia ángulo de fricción por cada referencia.

Angulo de fricción	
Referencia	Ecuación Regresión Lineal
2	$\varphi(^{\circ}) = -4,6MO + 12,86$
4	$\varphi(^{\circ}) = -15,5MO + 23,82$
9	$\varphi(^{\circ}) = -37,8MO + 28,95$
13	$\varphi(^{\circ}) = -67,1MO + 26,1$
20	$\varphi(^{\circ}) = -33,9MO + 32,1$

Tabla 13. Resultados de las líneas de tendencia ángulo de fricción por cada referencia.

PORCENTAJES MO	RESULTADOS ANGULO DE FRICCIÓN POR LINEA DE TENDENCIA $\varphi(^{\circ})$				
	2	4	9	13	20
0%	12,86	23,82	28,95	26,10	32,10
10%	12,40	22,27	25,18	19,39	28,71
20%	11,94	20,73	21,40	12,68	25,32
30%	11,47	19,18	17,62	5,97	21,93
40%	11,01	17,63	13,84		18,54
50%	10,55	16,09	10,07		15,15
60%	10,08	14,54	6,29		11,76
70%	9,62	12,99	2,51		8,37
80%	9,15	11,45			4,98
90%	8,69	9,90			1,59
100%	8,23	8,35			

Tabla 14. Ecuaciones líneas de tendencia cohesión por cada referencia.

Referencia	Ecuación Regresión Lineal
2	$c' = 22,3MO - 9,99$
9	$c' = 0,69MO + 2,5$
20	$c' = 17,23x + 7,73$

Tabla 15. Resultados de las líneas de tendencia cohesión por cada referencia

PORCENTAJES MO	RESULTADOS COHESION POR LINEA DE TENDENCIA c(kPa)		
	2	9	20
0%	-	2,49	7,74
10%	-	2,56	9,46
20%	-	2,63	11,19
30%	-	2,69	12,91
45%	0,05	2,80	15,49
50%	1,16	2,83	16,35
60%	3,40	2,90	18,08
70%	5,63	2,97	19,80
80%	7,86	3,04	21,52
90%	10,09	3,11	23,25
100%	12,32	3,18	24,97

Tabla 16. Resultados de las líneas de tendencia resistencia al corte no drenado por cada referencia

PORCENTAJES MO	RESULTADOS RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA POR LINEA DE TENDENCIA S_u (kPa)			
	5	6	10	12
0%	122,77	51,80	58,40	151,86
10%	111,67	41,96	51,02	123,09
20%	100,57	32,13	43,64	94,33
30%	89,47	22,29	36,26	65,56
40%	78,37	12,45	28,88	36,80
50%	67,27	2,62	21,50	8,03
52%	65,05		20,02	2,28
70%	45,07		6,73	
80%	33,97			
90%	22,87			
100%	11,77			

Tabla 17. Predimensionamiento de los elementos estructurales, valores de carga muerta y carga viva.

	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Cantidad
Vigas Tipo 1	0,30	0,45	5,00	6,00
Vigas Tipo 2	0,30	0,45	3,00	6,00
Columnas	0,30	2,75	0,30	9,00
Losa	10,00	0,32	6,00	1,00
Datos Peso propio				
Peso propio Concreto (kN/m ³)				24
Peso Propio Col (kN)				53,46
Peso Propio V1 (kN)				97,2
Peso Propio V2 (kN)				58,32
Peso Propio Losa (kN)				460,8
Según tabla B.3.4.3-1				Carga (kN)
Fachada particiones livianas (kN/m ²)				2,00
Afinado de piso y cubierta (kN/m ²)				1,40
Según tabla B.4.2.1-1				
Cuartos y corredore (kN/m ²)				1,80
Escaleras (kN/m ²)				3,00
Según tabla B.4.2.1-2				Carga (kN)
Cubierta (kN/m ²)				5,00

Tabla 18. Carga por unidad de área de cada uno de los pisos.

Piso	W entrepiso (kN/m ²)	W acabados (kN/m ²)	W muros (kN/m ²)	W columnas (kN/m ²)	WD (kN/m ²)	WL (kN/m ²)
Cubierta	10,27	1,40	1,00	0,45	13,12	5,00
Piso 2	10,27	1,40	2,00	0,89	14,56	1,91
Cimentación	0,00	0,00	1,00	0,45	1,45	0,00

Tabla 19. Carga recibida por la mayor área tributaria por cada piso.

Piso	W entrepiso (kN)	W acabados (kN)	W muros (kN)	W columnas (kN)	WD (kN)	WL (kN)	1,4 WD+1,6 WL (kN)
Cubierta	154,08	21,00	15,00	6,68	196,76	75,00	356,115
Piso 2	154,08	21,00	30,00	13,37	218,45	28,69	308,034
Cimentación	0,00	0,00	15,00	6,68	21,68	0,00	26,019
Σ							690,168

Tabla 20. Resultados de la resistencia al corte no drenado en función de diferentes porcentajes de materia orgánica por medio de la línea de tendencia general de las referencias seleccionadas.

Ecuación línea de tendencia general	
Su= -142,71 MO + 96,208	
PORCENTAJE MO	Su(kPa)
0%	96,21
10%	81,94
20%	67,67
30%	53,40
40%	39,12
50%	24,85
60%	10,58

Tabla 21. Resultados de cohesión y ángulo de fricción en función de diferentes porcentajes de materia orgánica por medio de la línea de tendencia general de las referencias seleccionadas.

Línea tendencia general $c = 8,9611 MO + 5,1131 \varphi(^{\circ}) = -22,937x + 24,433$		
PORCENTAJE MO	Cohesión (kPa)	$\varphi(^{\circ})$
0%	5,11	24,43
10%	6,01	22,14
20%	6,91	19,85
30%	7,80	17,55
40%	8,70	15,26
50%	9,59	12,96
60%	10,49	10,67
70%	11,39	8,38
80%	12,28	6,08
90%	13,18	3,79
100%	14,07	1,50

Anexo C. Tablas análisis de capacidad portante por esfuerzos totales y efectivos

Tabla 22. Datos iniciales para el cálculo de la capacidad portante método de esfuerzos totales y efectivos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea.

Art. 13	Tipo de suelo	Arcilla con turba	Espesor estrato	4.5 m
	Q_{ed}	690.17 kN	NF	0 m
	B'	2.2 m	Fs	3
	L'	2.2 m	Df	1.5 m

Tabla 23. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 4.98%

4,98% OM	Capacidad de carga										
<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">Datos generales</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Su</td><td>59.50 kN/m²</td></tr> </tbody> </table>	Datos generales		Su	59.50 kN/m ²	<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">Factores de Geometria</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Sc</td><td>1.20</td></tr> <tr><td>dc</td><td>1.20</td></tr> </tbody> </table>	Factores de Geometria		Sc	1.20	dc	1.20
Datos generales											
Su	59.50 kN/m ²										
Factores de Geometria											
Sc	1.20										
dc	1.20										
	<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">Capacidad de carga última</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>q_u</td><td>439.47 kPa</td></tr> <tr><td>$q_{adm-neto}$</td><td>146.49 kPa</td></tr> <tr><td>$Q_{adm-neto}$</td><td>709.01 kN</td></tr> </tbody> </table>	Capacidad de carga última		q_u	439.47 kPa	$q_{adm-neto}$	146.49 kPa	$Q_{adm-neto}$	709.01 kN		
Capacidad de carga última											
q_u	439.47 kPa										
$q_{adm-neto}$	146.49 kPa										
$Q_{adm-neto}$	709.01 kN										
	FUNCIONA										

Tabla 24. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 6.69%

6,69 % OM		Capacidad de carga	
Datos generales		Factores de Geometria	
Su	55.00 kN/m ²	Sc	1.20
		dc	1.20
		Capacidad de carga última	
		q _u	406.23 kPa
		q _{adm-neto}	135.41 kPa
		Q _{adm-neto}	655.39 kN
		NO FUNCIONA	

Tabla 25. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 8,41%

8,41 % OM		Capacidad de carga	
Datos generales		Factores de Geometria	
Su	49.50 kN/m ²	Sc	1.20
		dc	1.20
		Capacidad de carga última	
		q _u	365.61 kPa
		q _{adm-neto}	121.87 kPa
		Q _{adm-neto}	589.85 kN
		NO FUNCIONA	

Tabla 26. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 10.12%

10,12 % OM		Capacidad de carga	
Datos generales		Factores de Geometria	
Su	45.00 kN/m ²	Sc	1.20
		dc	1.20
		Capacidad de carga última	
		q _u	332.37 kPa
		q _{adm-neto}	110.79 kPa
		Q _{adm-neto}	536.23 kN
		NO FUNCIONA	

Tabla 27. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 11.84%

11,84 % OM		Capacidad de carga	
Datos generales		Factores de Geometria	
Su	31.50 kN/m ²	Sc	1.20
e_o		dc	1.20
G_s		Capacidad de carga última	
		q_u	232.66 kPa
		q_{adm-neto}	77.55 kPa
		Q_{adm-neto}	375.36 kN
		NO FUNCIONA	

Tabla 28. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 13.55%

13,55 % OM		Capacidad de carga	
Datos generales		Factores de Geometria	
Su	18.50 kN/m ²	Sc	1.20
e_o		dc	1.20
G_s		Capacidad de carga última	
		q_u	136.64 kPa
		q_{adm-neto}	45.55 kPa
		Q_{adm-neto}	220.45 kN
		NO FUNCIONA	

Tabla 29. Datos iniciales para el cálculo de la capacidad portante esfuerzos totales de la (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso ilitico.

Art. 5	Tipo de suelo	Suelo arcilloso ilitico	Espesor estrato	4.5 m
	Q_{ed}	690.17 kN	NF	0 m
	B'	1.5 m	Fs	3
	L'	1.5 m	Df	1.5 m

Tabla 30. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso ilitico 0%

0% OM		Capacidad de carga	
Datos generales		Factores de Geometria	
Su	125.03 kN/m ²	Sc	1.2
		dc	1.26
		Capacidad de carga última	
		q_u	971.10 kPa
		q_{adm-neto}	323.70 kPa
		Q_{adm-neto}	728.32 kN
FUNCIONA			

Tabla 31. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso ilitico 5.5%

5,5% OM		Capacidad de carga	
Datos generales		Factores de Geometria	
Su	115.23 kN/m ²	Sc	1.2
		dc	1.26
		Capacidad de carga última	
		q_u	894.93 kPa
		q_{adm-neto}	298.31 kPa
		Q_{adm-neto}	671.20 kN
NO FUNCIONA			

Tabla 32. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso ilitico 10.3%

10,3% OM		Capacidad de carga	
Datos generales		Factores de Geometria	
Su	108.85 kN/m ²	Sc	1.2
		dc	1.26
		Capacidad de carga última	
		q_u	845.43 kPa
		q_{adm-neto}	281.81 kPa
		Q_{adm-neto}	634.07 kN
NO FUNCIONA			

Tabla 33. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso ilitico 13.8%

13,8% OM		Capacidad de carga	
Datos generales		Factores de Geometria	
Su	105.42 kN/m ²	Sc	1.2
		dc	1.26
		Capacidad de carga última	
		q_u	818.77 kPa
		q_{adm-neto}	272.92 kPa
		Q_{adm-neto}	614.08 kN
		NO FUNCIONA	

Tabla 34. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso ilitico 16.4%

16,4% OM		Capacidad de carga	
Datos generales		Factores de Geometria	
Su	107.87 kN/m ²	Sc	1.2
		dc	1.26
		Capacidad de carga última	
		q_u	837.81 kPa
		q_{adm-neto}	279.27 kPa
		Q_{adm-neto}	628.36 kN
		NO FUNCIONA	

Tabla 35. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso ilitico 19.6%

19,6% OM		Capacidad de carga	
Datos generales		Factores de Geometria	
Su	102.48 kN/m ²	Sc	1.2
		dc	1.26
		Capacidad de carga última	
		q_u	795.92 kPa
		q_{adm-neto}	265.31 kPa
		Q_{adm-neto}	596.94 kN
		NO FUNCIONA	

Tabla 36. Capacidad portante método esfuerzos totales de la (Malkawi et al., 1999), suelo arcilloso ilitico 21.2%

21,2% OM		Capacidad de carga	
Datos generales		Factores de Geometria	
Su	101.99 kN/m ²	Sc	1.2
		dc	1.26
Capacidad de carga última		Capacidad de carga última	
qu	792.11 kPa	qu	792.11 kPa
qadm-neto	264.04 kPa	qadm-neto	264.04 kPa
Qadm-neto	594.08 kN	Qadm-neto	594.08 kN
NO FUNCIONA			

Tabla 37. Datos iniciales para el cálculo de la capacidad portante método de esfuerzos totales de la línea de tendencia general.

Q_{ed}	690,168 kN	Espesor estrato	4,5 m	B'	1,7 m
Df	1,5 m	NF	0 m	L'	1,7 m
Fs	3				

Tabla 38. Capacidad portante método de esfuerzos totales de la línea de tendencia general con porcentajes de materia orgánica del 0%, 10% y 20%

0% OM		10% OM		20% OM	
Datos generales		Datos generales		Datos generales	
Su	96,21 kN/m ²	Su	81,94 kN/m ²	Su	67,67 kN/m ²
Capacidad de carga		Capacidad de carga		Capacidad de carga	
Factores de Geometria		Factores de Geometria		Factores de Geometria	
Sc	1,2 m	Sc	1,2 m	Sc	1,2
dc	1,24	dc	1,24	dc	1,26
Capacidad de carga última		Capacidad de carga última		Capacidad de carga última	
qu	734,99 kPa	qu	625,96 kPa	qu	525,54 kPa
qadm-neto	245,00 kPa	qadm-neto	208,65 kPa	qadm-neto	175,18 kPa
Qadm-neto	708,04 kN	Qadm-neto	603,01 kN	Qadm-neto	394,15 kN
FUNCIONA		NO FUNCIONA		NO FUNCIONA	

Tabla 39. Capacidad portante método de esfuerzos totales de la línea de tendencia general con porcentajes de materia orgánica del 30%, 40% y 50%

30% OM		40% OM		50% OM	
Datos generales		Datos generales		Datos generales	
Su	53,40 kN/m ²	Su	39,12 kN/m ²	Su	24,85 kN/m ²
Capacidad de carga		Capacidad de carga		Capacidad de carga	
Factores de Geometria		Factores de Geometria		Factores de Geometria	
Sc	1,2	Sc	1,2	Sc	1,2
dc	1,26	dc	1,26	dc	1,26
Capacidad de carga última		Capacidad de carga última		Capacidad de carga última	
q _u	414,70 kPa	q _u	303,86 kPa	q _u	193,02 kPa
q _{adm-neto}	138,23 kPa	q _{adm-neto}	101,29 kPa	q _{adm-neto}	64,34 kPa
Q _{adm-neto}	311,02 kN	Q _{adm-neto}	227,90 kN	Q _{adm-neto}	144,77 kN
NO FUNCIONA		NO FUNCIONA		NO FUNCIONA	

Tabla 40. Capacidad portante método de esfuerzos totales de la línea de tendencia general con porcentajes de materia orgánica del 60%

60% OM	
Datos generales	
Su	10,58 kN/m ²
Capacidad de carga	
Factores de Geometria	
Sc	1,2
dc	1,26
Capacidad de carga última	
q _u	82,19 kPa
q _{adm-neto}	27,40 kPa
Q _{adm-neto}	61,64 kN
NO FUNCIONA	

Tabla 41. Datos iniciales para el cálculo de la capacidad portante método de esfuerzos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba.

Tipo de suelo	Arcilla con turba / Arcilla con urea	E	15000 kN/m ²	Espesor estrato	4.5 m
Q_{ed}	690.168 kN	μ	0.35	NF	0 m
D_f	1.5 m	FS	3	α	4
D2	1.5 m	D1	0 m	β	0 °

Tabla 42. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 0%

0% OM	Datos generales			
	φ	33.3 °	B	1 m
	c	7.20 kN/m ²	L	1 m
Capacidad de carga	γ_{sat}	19.00 kN/m ³		

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última	
CASO I		1.50	CASO 2 - D _f /B > 1		
γ'	9.19 kN/m ³	F_{cd}	1.27		q_u
q	13.79 kN/m ²	F_{qd}	1.26		q_{adm-neto}
		F_{vd}	1.00		Q_{adm-neto}
					2322.65 kN/m ²
					764.72 kN/m ²
					764.72 kN

Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación	
N_q	27.05	F_{ei} = F_{qi}	1.00
N_c	39.65	F_{vi}	1.00
N_v	36.85		

Factores de forma		Compresibilidad	
F_{cs}	1.68	G	5555.56
F_{qs}	1.66	I_r	172.74
F_{vs}	0.60	I_{r(cr)}	98.38

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}	1.00

Factores de compresibilidad	
F_{cc}	1.00
F_{qc}	1.00
F_{yc}</	

Tabla 43 Capacidad portante método de esfuerzos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 5%

5% OM		Datos generales			
		ϕ	29.8 °	B	1 m
Capacidad de carga		c	7.70 kN/m ²	L	1 m
		γ_{sat}	19.00 kN/m ³		

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última		
CASO I		1.50	CASO 2 - Df/B > 1			
γ'	9.19 kN/m ³	F_{cd}	1.29		q_u	1569.42 kN/m ²
q	13.79 kN/m ²	F_{qd}	1.28		$q_{adm-neto}$	513.64 kN/m ²
		F_{vd}	1		$Q_{adm-neto}$	513.64 kN

Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación	
N_q	17.99	$F_{ci} = F_{qi}$	1
N_c	29.66	$F_{\phi i}$	1.00
N_{γ}	21.75		

Factores de forma		Compresibilidad	
F_{cs}	1.61	G	5555.56
F_{qs}	1.57	Ir	188.56
$F_{\gamma s}$	0.60	Ir _(cr)	68.26
		F _{cc} , F _{qc} , F _{yc} = 1	
		F_{cc}	1.00
		F_{qc}	1.00
		F_{yc}	1.00

NO FUNCIONA

Tabla 44 Capacidad portante método de esfuerzos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 10%

10% OM		Datos generales			
		ϕ	28.3 °	B	1 m
Capacidad de carga		c	9.40 kN/m ²	L	1 m
		γ_{sat}	19.00 kN/m ³		

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última		
CASO I		1.50	CASO 2 - Df/B > 1			
γ'	9.19 kN/m ³	F_{cd}	1.30		q_u	1418.49 kN/m ²
q	13.79 kN/m ²	F_{qd}	1.29		$q_{adm-neto}$	463.33 kN/m ²
		F_{vd}	1		$Q_{adm-neto}$	463.33 kN

Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación	
N_q	15.21	$F_{ci} = F_{qi}$	1
N_c	26.40	$F_{\phi i}$	1.00
N_{γ}	17.46		

Factores de forma		Compresibilidad	
F_{cs}	1.58	G	5555.56
F_{qs}	1.54	Ir	186.05
$F_{\gamma s}$	0.60	Ir _(cr)	59.05
		F _{cc} , F _{qc} , F _{yc} = 1	
		F_{cc}	1.00
		F_{qc}	1.00
		F_{yc}	1.00

NO FUNCIONA

Tabla 45. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 16.7%

16.7 % OM		Datos generales			
	ϕ	26.1 °	B	1 m	
Capacidad de carga	c	11.40 kN/m ²	L	1 m	
	γ_{sat}	19.00 kN/m ³			

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última	
CASO I		1.50	CASO 2 - Df/B > 1		
γ'	9.19 kN/m ³	F_{cd}	1.31		
q	13.79 kN/m ²	F_{qd}	1.30		
		F_{vd}	1		
Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación		Capacidad de carga última	
N_q	11.98	F_{ci} = F_{qi}	1		
N_c	22.42	F_{vi}	1.00		
N_v	12.72				
Factores de forma		Compresibilidad		Capacidad de carga última	
F_{cs}	1.53	G	5555.56		
F_{qs}	1.49	Ir	185.09		
F_{vs}	0.60	Ir_(er)	48.26		
		F _{cc} , F _{qc} , F _{yc} = 1			
		F_{cc}	1.00		
		F_{qc}	1.00		
		F_{yc}	1.00		

q_u	1210.65 kN/m ²
q_{adm-neto}	394.05 kN/m ²
Q_{adm-neto}	394.05 kN

NO FUNCIONA	
-------------	--

Tabla 46. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 25%

25 % OM		Datos generales			
	ϕ	24.4 °	B	1 m	
Capacidad de carga	c	11.70 kN/m ²	L	1 m	
	γ_{sat}	19.00 kN/m ³			

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última	
CASO I		1.50	CASO 2 - Df/B > 1		
γ'	9.19 kN/m ³	F_{cd}	1.31		
q	13.79 kN/m ²	F_{qd}	1.31		
		F_{vd}	1		
Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación		Capacidad de carga última	
N_q	10.01	F_{ci} = F_{qi}	1		
N_c	19.87	F_{vi}	1.00		
N_v	9.99				
Factores de forma		Compresibilidad		Capacidad de carga última	
F_{cs}	1.50	G	5555.56		
F_{qs}	1.45	Ir	191.98		
F_{vs}	0.60	Ir_(er)	41.65		
		F _{cc} , F _{qc} , F _{yc} = 1			
		F_{cc}	1.00		
		F_{qc}	1.00		
		F_{yc}	1.00		

q_u	1029.11 kN/m ²
q_{adm-neto}	333.54 kN/m ²
Q_{adm-neto}	333.54 kN

NO FUNCIONA	
-------------	--

Tabla 47. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 37.5%

37.5 % OM		Datos generales			
		ϕ	17.6 °	B	1 m
Capacidad de carga		c	14.80 kN/m ²	L	1 m
		γ_{sat}	19.00 kN/m ³		

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última		
CASO I		1.50	CASO 2 - Df/B > 1			
γ'	9.19 kN/m ³	F_{cd}	1.31		q_u	604.35 kN/m ²
q	13.79 kN/m ²	F_{qd}	1.30		$q_{adm-neto}$	191.95 kN/m ²
		F_{vd}	1		$Q_{adm-neto}$	191.95 kN

Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación	
N_q	5.06	$F_{ci} = F_{qi}$	1
N_c	12.79	F_{vi}	1.00
N_v	3.84		

Factores de forma		Compresibilidad	
F_{cs}	1.40	G	5555.56
F_{qs}	1.32	Ir	206.88
F_{vs}	0.60	Ir _(cr)	24.55

Factores de forma		Compresibilidad	
F_{cc}	1.00	F _{cc} , F _{qc} , F _{yc} = 1	
F_{qc}	1.00	F_{cc}	1.00
F_{yc}	1.00	F_{qc}	1.00
		F_{yc}	1.00

NO FUNCIONA	
--------------------	--

Tabla 48. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 50%

50% OM		Datos generales			
		ϕ	16.6 °	B	1 m
Capacidad de carga		c	15.60 kN/m ²	L	1 m
		γ_{sat}	19.00 kN/m ³		

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última		
CASO I		1.50	CASO 2 - Df/B > 1			
γ'	9.19 kN/m ³	F_{cd}	1.31		q_u	568.99 kN/m ²
q	13.79 kN/m ²	F_{qd}	1.30		$q_{adm-neto}$	180.16 kN/m ²
		F_{vd}	1		$Q_{adm-neto}$	180.16 kN

Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación	
N_q	4.59	$F_{ci} = F_{qi}$	1
N_c	12.05	F_{vi}	1.00
N_v	3.33		

Factores de forma		Compresibilidad	
F_{cs}	1.38	G	5555.56
F_{qs}	1.30	Ir	206.31
F_{vs}	0.60	Ir _(cr)	22.88

Factores de forma		Compresibilidad	
F_{cc}	1.00	F _{cc} , F _{qc} , F _{yc} = 1	
F_{qc}	1.00	F_{cc}	1.00
F_{yc}	1.00	F_{qc}	1.00
		F_{yc}	1.00

NO FUNCIONA	
--------------------	--

Tabla 49. Capacidad portante método esfuerzos efectivos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 4.98%

4.8% OM		Datos generales		
Capacidad de carga	ϕ	22.76 °	B	1.7 m
	c	10.00 kN/m ²	L	1.7 m
	γ_{sat}	19.00 kN/m ³		

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última	
CASO I		0.88	CASO 1 - Df/B < 1		
γ'	9.19 kN/m ³	F_{cd}	1.32		
q	13.79 kN/m ²	F_{qd}	1.28		
		F_{vd}	1.00		

Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación	
N_q	8.45	$F_{ci} = F_{qi}$	1.00
N_c	17.76	F_{vi}	1.00
N_v	7.93		

Factores de forma		Compresibilidad	
F_{cs}	1.48	G	5555.56
F_{qs}	1.42	Ir	193.35
F_{vs}	0.60	$Ir_{(cr)}$	36.35

Factores de forma		Compresibilidad	
F_{cc}	1.00	F _{cc} , F _{qc} , F _{yc} = 1	
F_{qc}	1.00	F_{cc}	1.00
F_{yc}	1.00	F_{qc}	1.00
		F_{yc}	1.00

Capacidad de carga última	
q _u	819.05 kN/m ²
q _{adm-neto}	263.52 kN/m ²
Q _{adm-neto}	761.57 kN

FUNCIONA	
----------	--

Tabla 50. Capacidad portante método esfuerzos efectivos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 8.41%

8.41% OM		Datos generales		
Capacidad de carga	ϕ	20.46 °	B	1.7 m
	c	10.00 kN/m ²	L	1.7 m
	γ_{sat}	19.00 kN/m ³		

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última	
CASO I		0.88	CASO 1 - Df/B < 1		
γ'	9.19 kN/m ³	F_{cd}	1.33		
q	13.79 kN/m ²	F_{qd}	1.28		
		F_{vd}	1		

Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación	
N_q	6.70	$F_{ci} = F_{qi}$	1
N_c	15.28	F_{vi}	1.00
N_v	5.74		

Factores de forma		Compresibilidad	
F_{cs}	1.44	G	5555.56
F_{qs}	1.37	Ir	208.40
F_{vs}	0.60	$Ir_{(cr)}$	30.33

Factores de forma		Compresibilidad	
F_{cc}	1.00	F _{cc} , F _{qc} , F _{yc} = 1	
F_{qc}	1.00	F_{cc}	1.00
F_{yc}	1.00	F_{qc}	1.00
		F_{yc}	1.00

Capacidad de carga última	
q _u	653.80 kN/m ²
q _{adm-neto}	208.43 kN/m ²
Q _{adm-neto}	602.37 kN

NO FUNCIONA	
-------------	--

Tabla 51. Capacidad portante método esfuerzos efectivos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 10.12%

10.12% OM		Datos generales			
		ϕ	19.31 °	B	1.7 m
Capacidad de carga		c	10.00 kN/m ²	L	1.7 m
		γ_{sat}	19.00 kN/m ³		

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última	
CASO I		0.88	CASO 1 - Df/B < 1		
γ'	9.19 kN/m ³	F_{cd}	1.27		
q	13.79 kN/m ²	F_{qd}	1.23		
		F_{vd}	1		
Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación			
N_q	5.98				
N_c	14.20				
N_v	4.89	$F_{ci} = F_{qi}$ 1			
Factores de forma		F_{vi} 1.00			
F_{cs}	1.42	Compresibilidad			
F_{qs}	1.35	G	5555.56		
F_{vs}	0.60	Ir	216.63		
		$I_{r(er)}$	27.81		
		Fcc, Fqc, Fyc = 1			
		F_{cc}	1.00		
		F_{qc}	1.00		
		F_{yc}	1.00		

Capacidad de carga última	
q_u	562.01 kN/m ²
$q_{adm-neto}$	177.84 kN/m ²
$Q_{adm-neto}$	513.95 kN

NO FUNCIONA	
-------------	--

Tabla 52. Capacidad portante método esfuerzos efectivos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 13.55%

13.55 % OM		Datos generales			
		ϕ	17.01 °	B	1.7 m
Capacidad de carga		c	10.00 kN/m ²	L	1.7 m
		γ_{sat}	19.00 kN/m ³		

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última	
CASO I		0.88	CASO 1 - Df/B < 1		
γ'	9.19 kN/m ³	F_{cd}	1.28		
q	13.79 kN/m ²	F_{qd}	1.22		
		F_{vd}	1		
Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación			
N_q	4.78				
N_c	12.35				
N_v	3.53	$F_{ci} = F_{qi}$ 1			
Factores de forma		F_{vi} 1.00			
F_{cs}	1.39	Compresibilidad			
F_{qs}	1.31	G	5555.56		
F_{vs}	0.60	Ir	234.81		
		$I_{r(er)}$	23.55		
		Fcc, Fqc, Fyc = 1			
		F_{cc}	1.00		
		F_{qc}	1.00		
		F_{yc}	1.00		

Capacidad de carga última	
q_u	452.88 kN/m ²
$q_{adm-neto}$	141.46 kN/m ²
$Q_{adm-neto}$	408.82 kN

NO FUNCIONA	
-------------	--

Tabla 53. Capacidad portante método esfuerzos efectivos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 16.98%

16.98 % OM		Datos generales		
	ϕ	14.71 °	B	1.7 m
Capacidad de carga	c	10.00 kN/m ²	L	1.7 m
	γ_{sat}	19.00 kN/m ³		

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última	
CASO I		0.88	CASO 1 - $Df/B < 1$		
γ'	9.19 kN/m ³	F_{cd}	1.29		
q	13.79 kN/m ²	F_{qd}	1.21		
		F_{vd}	1		
Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación		q_u	367.14 kN/m ²
N_q	3.83	$F_{ci} = F_{qi}$	1		
N_c	10.80	F_{vi}	1.00		
N_v	2.54	Compresibilidad		$q_{adm-neto}$	112.88 kN/m ²
Factores de forma		G	5555.56		
F_{cs}	1.36	Ir	255.76		
F_{qs}	1.26	Ir_(er)	20.12		
F_{vs}	0.60	F _{cc} , F _{qc} , F _{yc} = 1			
		F_{cc}	1.00		
		F_{qc}	1.00		
		F_{yc}	1.00		
		NO FUNCIONA			

Tabla 54. Capacidad portante método esfuerzos efectivos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 20.42%

20.42 % OM		Datos generales		
	ϕ	12.4 °	B	1.7 m
Capacidad de carga	c	10.00 kN/m ²	L	1.7 m
	γ_{sat}	19.00 kN/m ³		

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última	
CASO I		0.88	CASO 1 - $Df/B < 1$		
γ'	9.19 kN/m ³	F_{cd}	1.29		
q	13.79 kN/m ²	F_{qd}	1.20		
		F_{vd}	1		
Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación		q_u	298.98 kN/m ²
N_q	3.09	$F_{ci} = F_{qi}$	1		
N_c	9.49	F_{vi}	1.00		
N_v	1.80	Compresibilidad		$q_{adm-neto}$	90.16 kN/m ²
Factores de forma		G	5555.56		
F_{cs}	1.33	Ir	280.34		
F_{qs}	1.22	Ir_(er)	17.31		
F_{vs}	0.60	F _{cc} , F _{qc} , F _{yc} = 1			
		F_{cc}	1.00		
		F_{qc}	1.00		
		F_{yc}	1.00		
		NO FUNCIONA			

Tabla 55. Datos iniciales para el cálculo de la capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general.

E	15000 kN/m ²	Esesor estrato	4,5 m	D _r	1,5 m	FS	3	α	4	Q _{ed}	690,168 kN
μ	0,35	NF	0 m	D ₂	1,5 m	D ₁	0 m	β	0 °		

Tabla 56. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 0% de materia orgánica.

0% OM		Datos generales			
		φ	24,433 °	B	1,7 m
Capacidad de carga		c	5,11 kN/m ²	L	1,7 m
		γ _{sat}	19,00 kN/m ³		
Influencia del nivel freático		Factores de profundidad			
CASO I		0,88		CASO I - Df/B < 1	
γ'	9,19 kN/m ²	Fcd	1,31		
q	13,79 kN/m ²	Fqd	1,28		
		Fyd	1,00		
Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación			
Nq	10,05	Fci = Fqi		1,00	
Nc	19,91	Fyi		1,00	
Nγ	10,04				
Factores de forma		Compresibilidad			
Fcs	1,50	G	5555,56		
Fqs	1,45	Ir	218,74		
Fys	0,60	Ir(cr)	41,76		
		Fcc, Fqc, Fyc = 1			
		Fcc	1,00		
		Fqc	1,00		
		Fyc	1,00		
		Capacidad de carga última			
		qu	778,32 kN/m ²		
		qadm-neto	249,94 kN/m ²		
		Qadm-neto	722,33 kN		
		FUNCIONA			

Tabla 57. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 10% de materia orgánica.

10% OM		Datos generales			
		φ	22,1393 °	B	1,7 m
Capacidad de carga		c	6,01 kN/m ²	L	1,7 m
		γ _{sat}	19,00 kN/m ³		
Influencia del nivel freático		Factores de profundidad			
CASO I		0,88		CASO I - Df/B < 1	
γ'	9,19 kN/m ²	Fcd	1,32		
q	13,79 kN/m ²	Fqd	1,28		
		Fyd	1,00		
Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación			
Nq	7,93	Fci = Fqi		1,00	
Nc	17,04	Fyi		1,00	
Nγ	7,27				
Factores de forma		Compresibilidad			
Fcs	1,47	G	5555,56		
Fqs	1,41	Ir	229,80		
Fys	0,60	Ir(cr)	34,58		
		Fcc, Fqc, Fyc = 1			
		Fcc	1,00		
		Fqc	1,00		
		Fyc	1,00		
		Capacidad de carga última			
		qu	638,73 kN/m ²		
		qadm-neto	203,41 kN/m ²		
		Qadm-neto	587,85 kN		
		FUNCIONA			

Tabla 58. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 20% de materia orgánica.

20% OM		Datos generales			
		ϕ	19,8456 °	B	1,7 m
Capacidad de carga		c	6,91 kN/m ²	L	1,7 m
		γ_{sat}	19,00 kN/m ³		

Influencia del nivel freático CASO I		Factores de profundidad		Capacidad de carga última	
γ'	9,19 kN/m ³	0,88	CASO I - Df/B < 1	qu	492,03 kN/m ²
q	13,79 kN/m ²	Fcd	1,27	qadm-neto	154,51 kN/m ²
		Fqd	1,23	Qadm-neto	446,54 kN
		F γ d	1,00	FUNCIONA	
Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación			
Nq	6,30	Fci = Fqi	1,00		
Nc	14,69	F γ i	1,00		
N γ	5,27				
Factores de forma		Compresibilidad			
Fcs	1,43	G	5555,56		
Fqs	1,36	Ir	241,33		
F γ s	0,19	Ir(cr)	28,95		
		Fcc, Fqc, F γ c = 1			
		Fcc	1,00		
		Fqc	1,00		
		F γ c	1,00		

Tabla 59. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 30% de materia orgánica.

30% OM		Datos generales			
		ϕ	17,5519 °	B	1,7 m
Capacidad de carga		c	7,80 kN/m ²	L	1,7 m
		γ_{sat}	19,00 kN/m ³		

Influencia del nivel freático CASO I		Factores de profundidad		Capacidad de carga última	
γ'	9,19 kN/m ³	0,88	CASO I - Df/B < 1	qu	426,25 kN/m ²
q	13,79 kN/m ²	Fcd	1,28	qadm-neto	132,58 kN/m ²
		Fqd	1,22	Qadm-neto	383,17 kN
		F γ d	1,00	FUNCIONA	
Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación			
Nq	5,03	Fci = Fqi	1,00		
Nc	12,75	F γ i	1,00		
N γ	3,82				
Factores de forma		Compresibilidad			
Fcs	1,39	G	5555,56		
Fqs	1,32	Ir	253,40		
F γ s	0,60	Ir(cr)	24,47		
		Fcc, Fqc, F γ c = 1			
		Fcc	1,00		
		Fqc	1,00		
		F γ c	1,00		

Tabla 60. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 40% de materia orgánica.

40% OM		Datos generales		
		ϕ	15,2582 °	B
Capacidad de carga		c	8,70 kN/m ²	L
		γ_{sat}	19,00 kN/m ³	

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última	
CASO I		0,88	CASO 1 - Df/B < 1	qu	360,38 kN/m ²
γ'	9,19 kN/m ²	Fcd	1,28	qadm-neto	110,63 kN/m ²
q	13,79 kN/m ²	Fqd	1,21	Qadm-neto	319,71 kN
		F γ d	1,00	FUNCIONA	
Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación			
Nq	4,04	Fci = Fqi	1,00		
Nc	11,14	F γ i	1,00		
N γ	2,75	Compresibilidad			
Factores de forma		G	5555,56		
Fcs	1,36	Ir	266,10		
Fqs	1,27	Ir(cr)	20,87		
F γ s	0,60	Fcc, Fqc, F γ c = 1			
		Fcc	1,00		
		Fqc	1,00		
		F γ c	1,00		

Tabla 61. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 50% de materia orgánica.

50% OM		Datos generales		
		ϕ	12,9645 °	B
Capacidad de carga		c	9,59 kN/m ²	L
		γ_{sat}	19,00 kN/m ³	

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última	
CASO I		0,88	CASO 1 - Df/B < 1	qu	307,39 kN/m ²
γ'	9,19 kN/m ²	Fcd	1,29	qadm-neto	92,96 kN/m ²
q	13,79 kN/m ²	Fqd	1,20	Qadm-neto	268,66 kN
		F γ d	1,00	FUNCIONA	
Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación			
Nq	3,25	Fci = Fqi	1,00		
Nc	9,79	F γ i	1,00		
N γ	1,96	Compresibilidad			
Factores de forma		G	5555,56		
Fcs	1,33	Ir	279,56		
Fqs	1,23	Ir(cr)	17,95		
F γ s	0,60	Fcc, Fqc, F γ c = 1			
		Fcc	1,00		
		Fqc	1,00		
		F γ c	1,00		

Tabla 62. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 60% de materia orgánica.

60% OM		Datos generales			
		ϕ	10,6708 °	B	1,7 m
Capacidad de carga		c	10,49 kN/m ²	L	1,7 m
		γ_{sat}	19,00 kN/m ³		

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última	
CASO I		0,88	CASO 1 - Df/B < 1	qu	264,36 kN/m ²
γ'	9,19 kN/m ³	Fcd	1,29	qadm-neto	78,62 kN/m ²
q	13,79 kN/m ²	Fqd	1,18	Qadm-neto	227,21 kN
		Fyd	1,00	FUNCIONA	
Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación			
Nq	2,63	Fci = Fqi	1,00		
Nc	8,65	Fyi	1,00		
N γ	1,37	Compresibilidad			
Factores de forma		G	5555,56		
Fcs	1,30	Ir	293,90		
Fqs	1,19	Ir(cr)	15,55		
Fys	0,60	Fcc, Fqc, Fyc = 1			
		Fcc	1,00		
		Fqc	1,00		
		Fyc	1,00		

Tabla 63. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 70% de materia orgánica.

70% OM		Datos generales			
		ϕ	8,3771 °	B	1,7 m
Capacidad de carga		c	11,39 kN/m ²	L	1,7 m
		γ_{sat}	19,00 kN/m ³		

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última	
CASO I		0,88	CASO 1 - Df/B < 1	qu	229,10 kN/m ²
γ'	9,19 kN/m ³	Fcd	1,29	qadm-neto	66,87 kN/m ²
q	13,79 kN/m ²	Fqd	1,16	Qadm-neto	193,24 kN
		Fyd	1,00	FUNCIONA	
Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación			
Nq	2,13	Fci = Fqi	1,00		
Nc	7,67	Fyi	1,00		
N γ	0,92	Compresibilidad			
Factores de forma		G	5555,56		
Fcs	1,28	Ir	309,31		
Fqs	1,15	Ir(cr)	13,56		
Fys	0,60	Fcc, Fqc, Fyc = 1			
		Fcc	1,00		
		Fqc	1,00		
		Fyc	1,00		

Tabla 64. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 80% de materia orgánica.

80% OM		Datos generales		
		ϕ	6,0834 °	B
Capacidad de carga		c	12,28 kN/m ²	L
		γ_{sat}	19,00 kN/m ³	

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última	
CASO I		0,88	CASO 1 - Df/B < 1	qu	199,97 kN/m ²
γ'	9,19 kN/m ³	Fcd	1,29	qadm-neto	57,16 kN/m ²
q	13,79 kN/m ²	Fqd	1,12	Qadm-neto	165,18 kN
		Fyd	1,00	FUNCIONA	
Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación			
Nq	1,73	Fci = Fqi	1,00		
Nc	6,84	Fyi	1,00		
N γ	0,58	Compresibilidad			
Factores de forma		G	5555,56		
Fcs	1,25	Ir	326,02		
Fqs	1,11	Ir(cr)	11,90		
Fys	0,60	Fcc, Fqc, Fyc = 1			
		Fcc	1,00		
		Fqc	1,00		
		Fyc	1,00		

Tabla 65. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 90% de materia orgánica.

90% OM		Datos generales		
		ϕ	3,7897 °	B
Capacidad de carga		c	13,18 kN/m ²	L
		γ_{sat}	19,00 kN/m ³	

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última	
CASO I		0,88	CASO 1 - Df/B < 1	qu	175,72 kN/m ²
γ'	9,19 kN/m ³	Fcd	1,29	qadm-neto	49,07 kN/m ²
q	13,79 kN/m ²	Fqd	1,08	Qadm-neto	141,82 kN
		Fyd	1,00	FUNCIONA	
Factores de capacidad de carga		Factores de inclinación			
Nq	1,41	Fci = Fqi	1,00		
Nc	6,12	Fyi	1,00		
N γ	0,32	Compresibilidad			
Factores de forma		G	5555,56		
Fcs	1,23	Ir	344,30		
Fqs	1,07	Ir(cr)	10,51		
Fys	0,60	Fcc, Fqc, Fyc = 1			
		Fcc	1,00		
		Fqc	1,00		
		Fyc	1,00		

Tabla 66. Capacidad portante método de esfuerzos efectivos línea de tendencia general 100% de materia orgánica.

100% OM		Datos generales			
Capacidad de carga		ϕ	1,496 °	B	1,7 m
		c	14,07 kN/m ²	L	1,7 m
		γ_{sat}	19,00 kN/m ³		

Influencia del nivel freático		Factores de profundidad		Capacidad de carga última	
CASO I		0,88	CASO 1 - Df/B < 1	qu	155,37 kN/m ²
γ'	9,19 kN/m ²	Fcd	1,29	qadm-neto	42,29 kN/m ²
q	13,79 kN/m ²	Fqd	1,04	Qadm-neto	122,22 kN
Factores de capacidad de carga		F γ d	1,00	FUNCIONA	
Nq	1,14	Factores de inclinación			
Nc	5,50	Fci = Fqi	1,00		
N γ	0,11	Fyi	1,00		
Factores de forma		Compresibilidad			
Fcs	1,21	G	5555,56		
Fqs	1,03	Ir	364,53		
F γ s	0,60	Ir(cr)	9,32		
		Fcc, Fqc, Fyc = 1			
		Fcc	1,00		
		Fqc	1,00		
		Fyc	1,00		

Tabla 67. Asentamientos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 0%

0% OM		Datos generales					
Asentamiento por consolidación		e_o	1.60	σ_p	20.68 kN/m ²	n'	0.22 m
		C_c	0.392	q	28.50 kN/m ²	m'	0.22 m
		C_s	0.068	A	1 m ²		

Esfuerzo geostático

σ'_o	20.68 kN/m ²
-------------	-------------------------

Esfuerzo de preconsolidación

σ_p	20.68 kN/m ²
------------	-------------------------

Incremento de esfuerzos

q	690.17 kN/m ²
$\Delta\sigma$	66.26 kN/m ²

Esfuerzo final

σ'_f	86.93 kN/m ²
-------------	-------------------------

$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma'_f > \sigma_p$

Asentamiento

S	0.424 m
S	42.4 cm

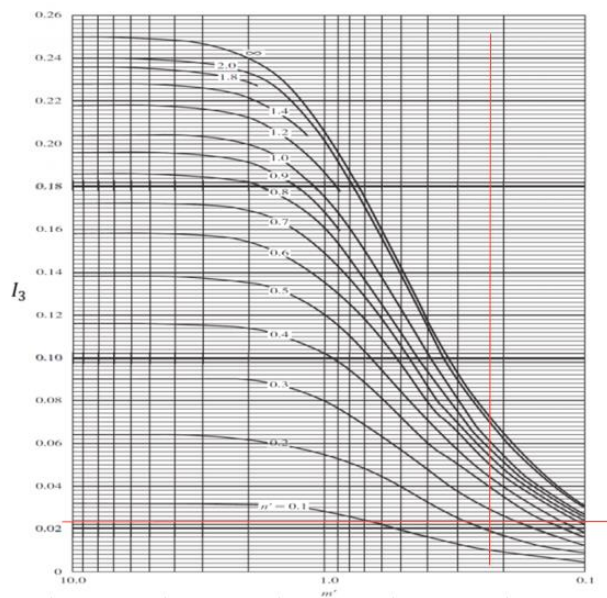


Tabla 68. Asentamientos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 5%

5% OM	Datos generales					
	e_o	1.78	σ_p	20.68 kN/m ²	m'	0.22 m
Asentamiento por consolidación	C_c	0.441	q	28.50 kN/m ²	n'	0.22 m
	C_s	0.078	A	1 m ²		

Esfuerzo geostático

σ'_o	20.68 kN/m ²
-------------	-------------------------

Esfuerzo de preconsolidación

σ_p	20.68 kN/m ²
------------	-------------------------

Incremento de esfuerzos

q	690.17 kN/m ²
$\Delta\sigma$	66.26 kN/m ²

Esfuerzo final

σ_f	86.93 kN/m ²
------------	-------------------------

$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma_f < \sigma_p$

Asentamiento

S	0.445 m
S	44.5 cm

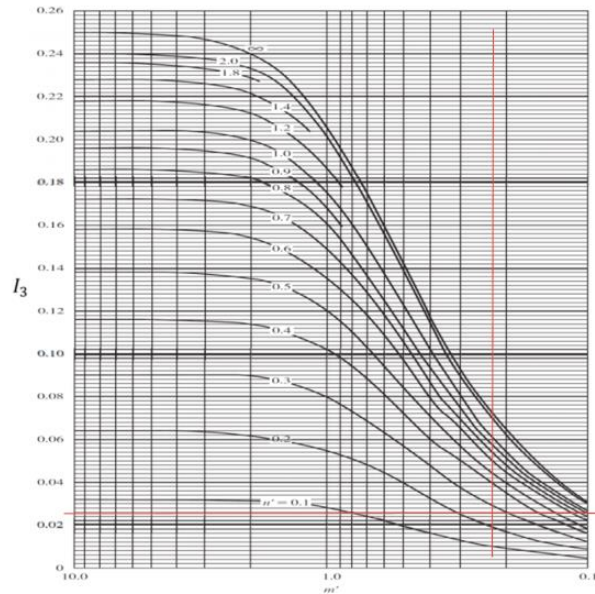


Tabla 69. Asentamientos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 10%

10% OM	Datos generales					
	e_o	1.91	σ_p	20.68 kN/m ²	m'	0.22 m
Asentamiento por consolidación	C_c	0.609	q	28.50 kN/m ²	n'	0.22 m
	C_s	0.108	A	1 m ²		

Esfuerzo geostático

σ'_o	20.68 kN/m ²
-------------	-------------------------

Esfuerzo de preconsolidación

σ_p	20.68 kN/m ²
------------	-------------------------

Incremento de esfuerzos

q	690.17 kN/m ²
$\Delta\sigma$	77.30 kN/m ²

Esfuerzo final

σ_f	97.98 kN/m ²
------------	-------------------------

$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma_f < \sigma_p$

Asentamiento

S	0.636 m
S	63.6 cm

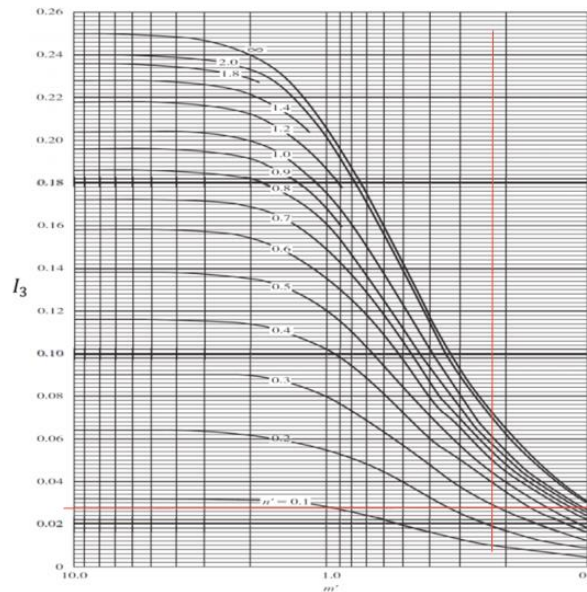


Tabla 70. Asentamientos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 16.7%

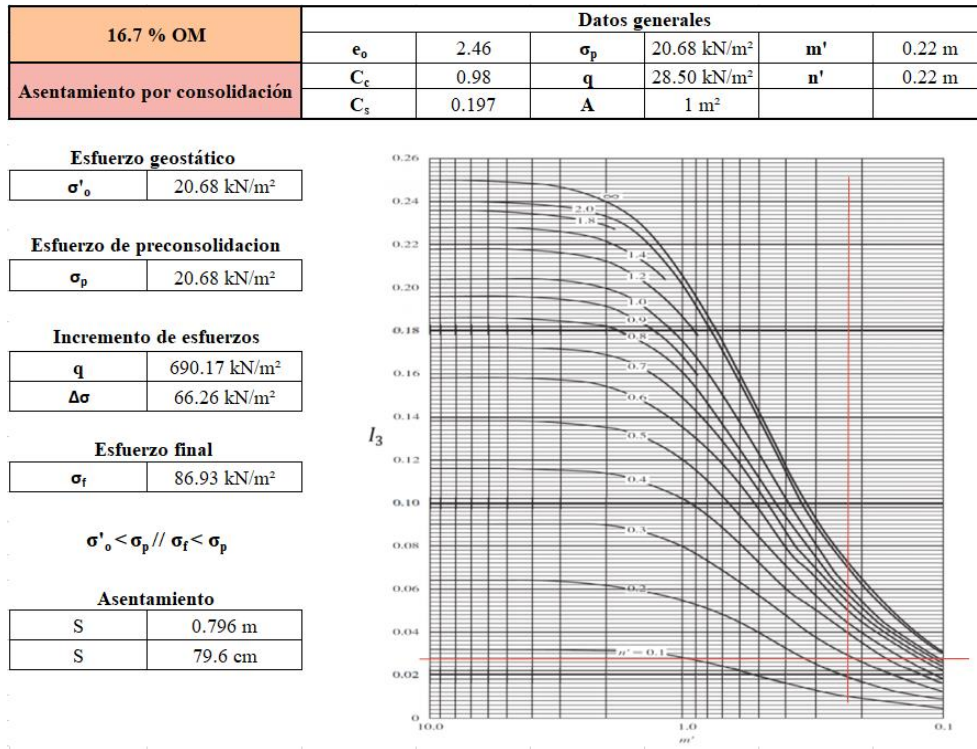


Tabla 71. Asentamientos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 25%

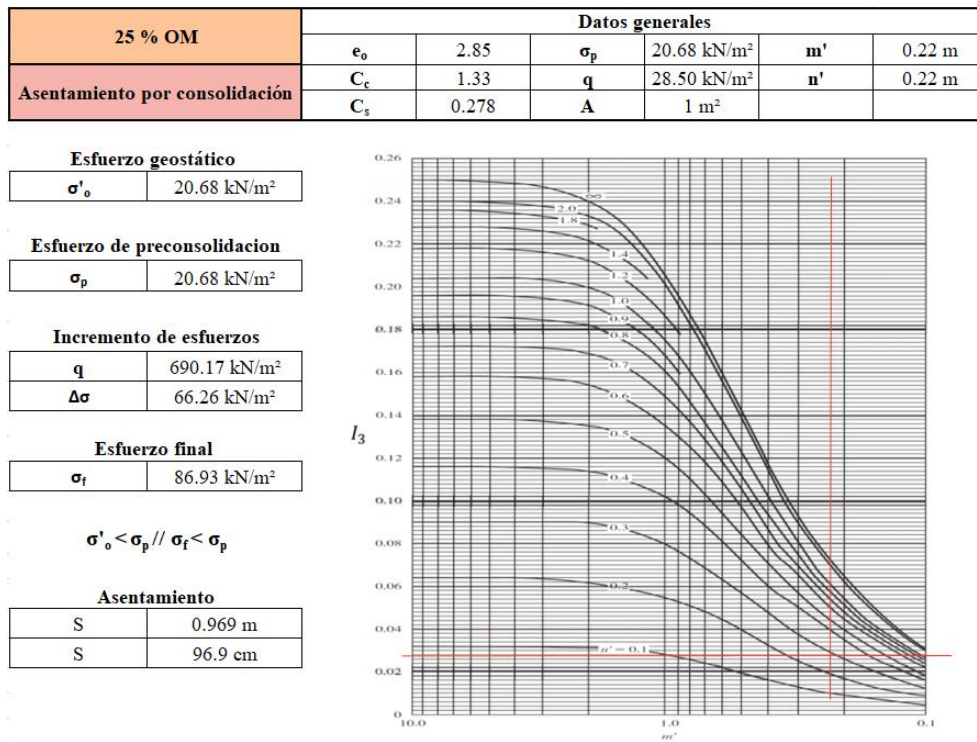


Tabla 72. Asentamientos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 37.5%

37.5 % OM	Datos generales					
	e_o	3.87	σ_p	20.68 kN/m ²	m'	0.22 m
Asentamiento por consolidación	C_c	2.142	q	28.50 kN/m ²	n'	0.22 m
	C_s	0.508	A	1 m ²		

Esfuerzo geostático

σ'_o	20.68 kN/m ²
-------------	-------------------------

Esfuerzo de preconsolidación

σ_p	20.68 kN/m ²
------------	-------------------------

Incremento de esfuerzos

q	690.17 kN/m ²
$\Delta\sigma$	66.26 kN/m ²

Esfuerzo final

σ_f	86.93 kN/m ²
------------	-------------------------

$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma_f < \sigma_p$

Asentamiento

S	1.234 m
S	123.4 cm

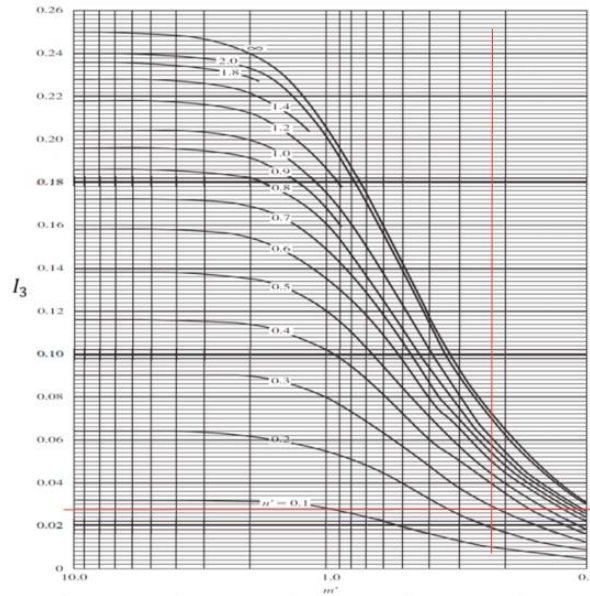


Tabla 73. Asentamientos efectivos de la (Gui et al., 2021), suelo arcilloso con turba al 50%

50% OM	Datos generales					
	e_o	4.08	σ_p	20.68 kN/m ²	m'	0.22 m
Asentamiento por consolidación	C_c	2.639	q	28.50 kN/m ²	n'	0.22 m
	C_s	0.678	A	1 m ²		

Esfuerzo geostático

σ'_o	20.68 kN/m ²
-------------	-------------------------

Esfuerzo de preconsolidación

σ_p	20.68 kN/m ²
------------	-------------------------

Incremento de esfuerzos

q	690.17 kN/m ²
$\Delta\sigma$	66.26 kN/m ²

Esfuerzo final

σ_f	86.93 kN/m ²
------------	-------------------------

$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma_f < \sigma_p$

Asentamiento

S	1.457 m
S	145.7 cm

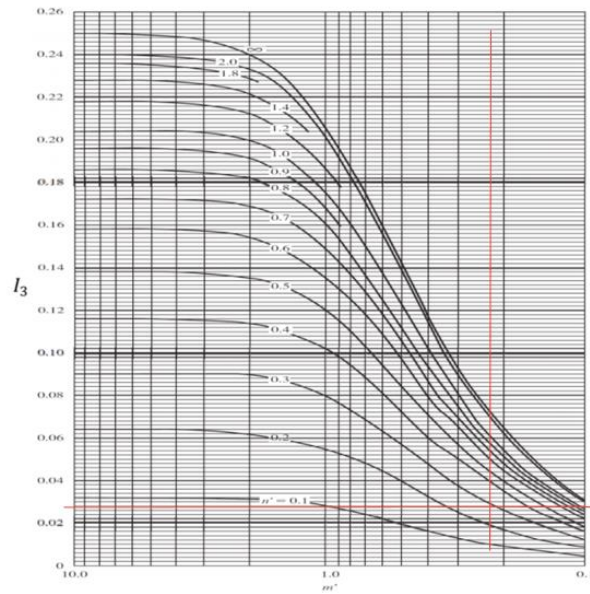


Tabla 74. Asentamientos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 4.98%

4.8% OM	Datos generales					
	e_o	1.26	σ_p	20.68 kN/m ²	m'	0.38 m
Asentamiento por consolidación	C_c	0.2000	q	28.50 kN/m ²	n'	0.38 m
	C_s	0.0588	A	2.89 m ²		

Esfuerzo geostático

σ'_o	20.68 kN/m ²
-------------	-------------------------

Esfuerzo de preconsolidación

σ_p	20.68 kN/m ²
------------	-------------------------

Incremento de esfuerzos

q	238.81 kN/m ²
$\Delta\sigma$	53.49 kN/m ²

Esfuerzo final

σ'_f	74.17 kN/m ²
-------------	-------------------------

$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma'_f > \sigma_p$

Asentamiento

S	0.221 m
S	22.1 cm

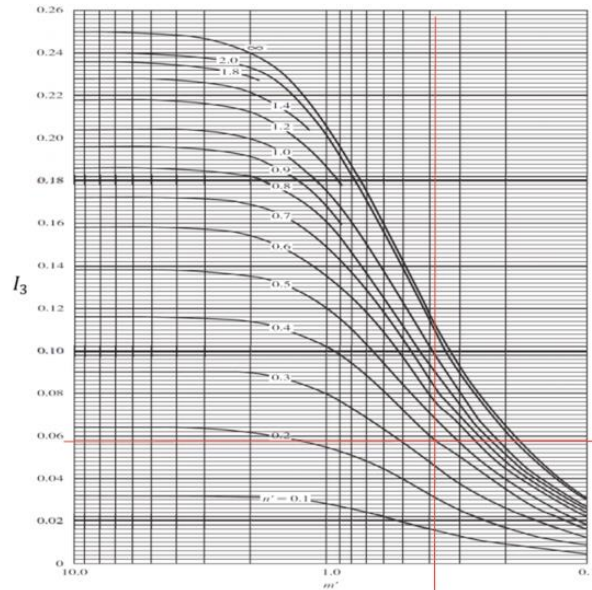


Tabla 75. Asentamientos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 8.41%

8.41% OM	Datos generales					
	e_o	1.72	σ_p	20.68 kN/m ²	m'	0.38 m
Asentamiento por consolidación	C_c	0.31656523	q	28.50 kN/m ²	n'	0.38 m
	C_s	0.064	A	2.89 m ²		

Esfuerzo geostático

σ'_o	20.68 kN/m ²
-------------	-------------------------

Esfuerzo de preconsolidación

σ_p	20.68 kN/m ²
------------	-------------------------

Incremento de esfuerzos

q	238.81 kN/m ²
$\Delta\sigma$	53.49 kN/m ²

Esfuerzo final

σ'_f	74.17 kN/m ²
-------------	-------------------------

$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma'_f < \sigma_p$

Asentamiento

S	0.291 m
S	29.1 cm

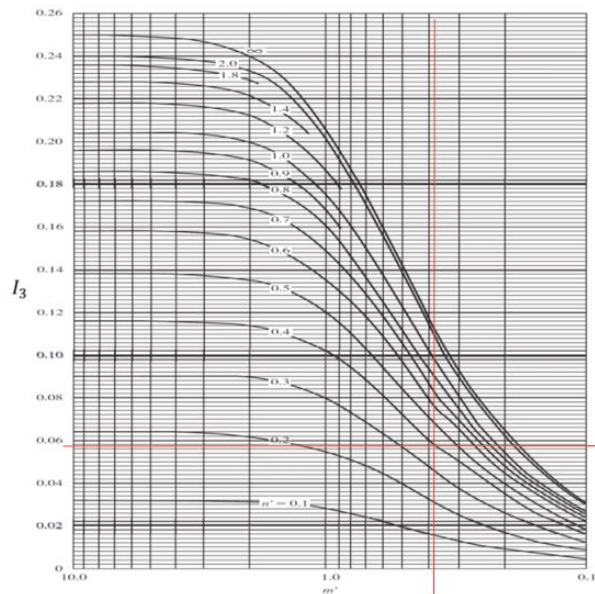


Tabla 76. Asentamientos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 10.12%

10.12% OM	Datos generales					
	e_o	2.10	σ_p	20.68 kN/m ²	m'	0.38 m
Asentamiento por consolidación	C_c	0.3800	q	28.50 kN/m ²	n'	0.38 m
	C_s	0.067	A	2.89 m ²		

Esfuerzo geostático

σ'_o	20.68 kN/m ²
-------------	-------------------------

Esfuerzo de preconsolidación

σ_p	20.68 kN/m ²
------------	-------------------------

Incremento de esfuerzos

q	238.81 kN/m ²
$\Delta\sigma$	53.49 kN/m ²

Esfuerzo final

σ_f	74.17 kN/m ²
------------	-------------------------

$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma_f < \sigma_p$

Asentamiento

S	0.306 m
S	30.6 cm

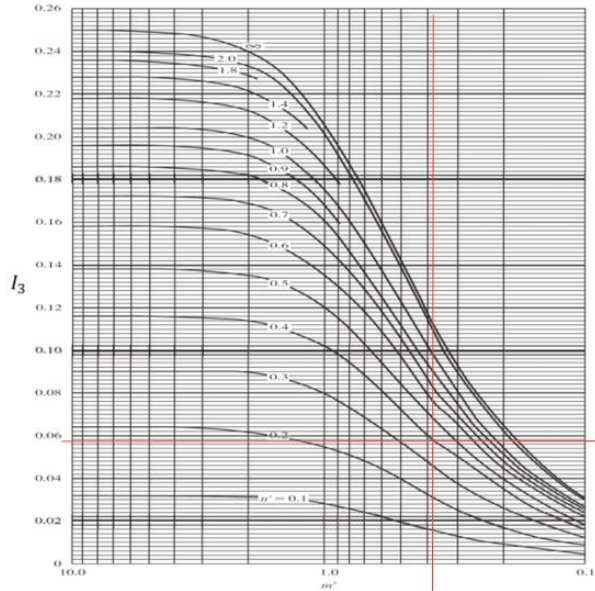


Tabla 77 . Asentamientos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 13.55%

13.55 % OM	Datos generales					
	e_o	2.31	σ_p	20.68 kN/m ²	m'	0.38 m
Asentamiento por consolidación	C_c	0.40241895	q	28.50 kN/m ²	n'	0.38 m
	C_s	0.070	A	2.89 m ²		

Esfuerzo geostático

σ'_o	20.68 kN/m ²
-------------	-------------------------

Esfuerzo de preconsolidación

σ_p	20.68 kN/m ²
------------	-------------------------

Incremento de esfuerzos

q	238.81 kN/m ²
$\Delta\sigma$	53.49 kN/m ²

Esfuerzo final

σ_f	74.17 kN/m ²
------------	-------------------------

$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma_f < \sigma_p$

Asentamiento

S	0.303 m
S	30.3 cm

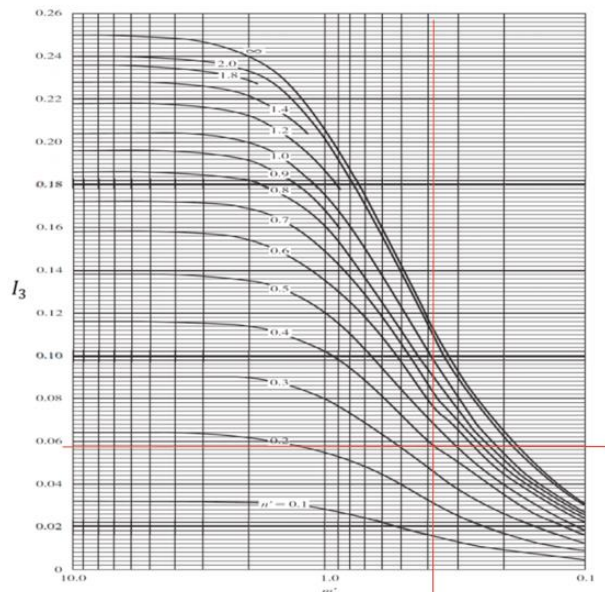


Tabla 78 Asentamientos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 16.98%

16.98 % OM	Datos generales					
	e_o	2.71	σ_p	20.68 kN/m ²	m'	0.38 m
Asentamiento por consolidación	C_c	0.44303588	q	28.50 kN/m ²	n'	0.38 m
	C_s	0.079	A	2.89 m ²		

Esfuerzo geostático

σ'_o	20.68 kN/m ²
-------------	-------------------------

Esfuerzo de preconsolidación

σ_p	20.68 kN/m ²
------------	-------------------------

Incremento de esfuerzos

q	238.81 kN/m ²
$\Delta\sigma$	53.49 kN/m ²

Esfuerzo final

σ_f	74.17 kN/m ²
------------	-------------------------

$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma_f < \sigma_p$

Asentamiento

S	0.298 m
S	29.8 cm

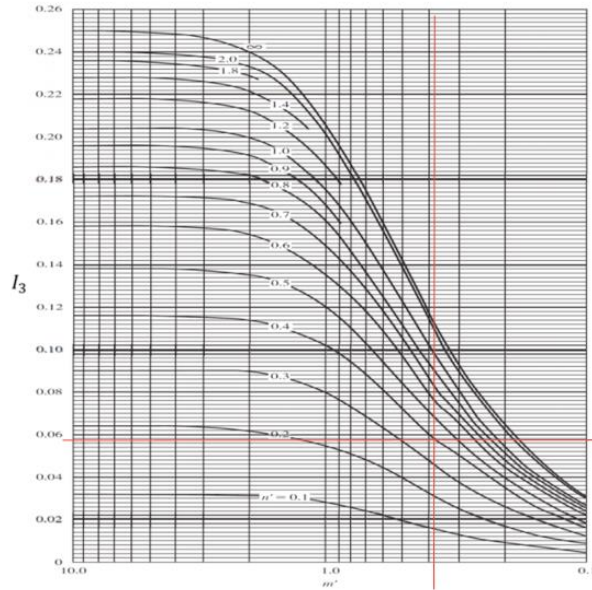


Tabla 79. Asentamientos de la (Thiyyakkandi & Annex, 2011), suelo arcilloso alterado con materia orgánica urea al 20.42%

20.42 % OM	Datos generales					
	e_o	3.20	σ_p	20.68 kN/m ²	m'	0.38 m
Asentamiento por consolidación	C_c	0.45	q	28.50 kN/m ²	n'	0.38 m
	C_s	0.084	A	2.89 m ²		

Esfuerzo geostático

σ'_o	20.68 kN/m ²
-------------	-------------------------

Esfuerzo de preconsolidación

σ_p	20.68 kN/m ²
------------	-------------------------

Incremento de esfuerzos

q	238.81 kN/m ²
$\Delta\sigma$	53.49 kN/m ²

Esfuerzo final

σ_f	74.17 kN/m ²
------------	-------------------------

$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma_f < \sigma_p$

Asentamiento

S	0.267 m
S	26.7 cm

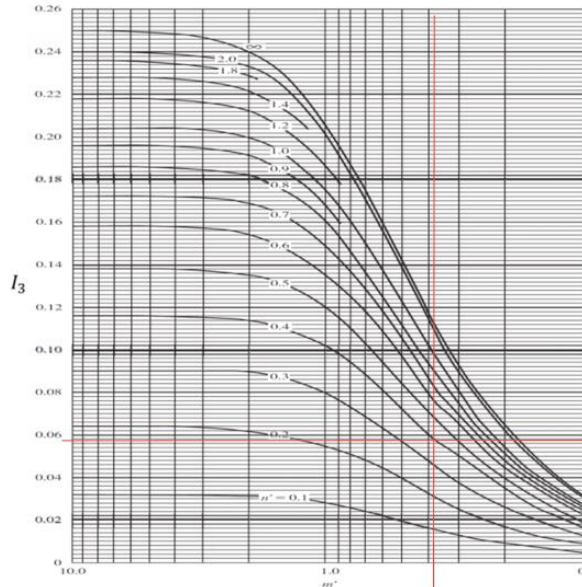


Tabla 80. Asentamientos línea de tendencia general 0%,10% y 20% de materia orgánica.

Asentamiento por consolidación		Asentamiento por consolidación		Asentamiento por consolidación	
Esfuerzo geostático		Esfuerzo geostático		Esfuerzo geostático	
σ'_o	20,68 kN/m ²	σ'_o	20,68 kN/m ²	σ'_o	20,68 kN/m ²
Esfuerzo de preconsolidación		Esfuerzo de preconsolidación		Esfuerzo de preconsolidación	
σ_p	20,68 kN/m ²	σ_p	20,68 kN/m ²	σ_p	20,68 kN/m ²
Incremento de esfuerzos		Incremento de esfuerzos		Incremento de esfuerzos	
q	238,81 kN/m ²	q	238,81 kN/m ²	q	238,81 kN/m ²
$\Delta\sigma$	51,58 kN/m ²	$\Delta\sigma$	51,58 kN/m ²	$\Delta\sigma$	51,58 kN/m ²
Esfuerzo final		Esfuerzo final		Esfuerzo final	
σ_f	72,26 kN/m ²	σ_f	72,26 kN/m ²	σ_f	72,26 kN/m ²
$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma_f > \sigma_p$		$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma_f < \sigma_p$		$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma_f < \sigma_p$	
Asentamiento		Asentamiento		Asentamiento	
S	0,042 m	S	0,073 m	S	0,102 m
S	4,2 cm	S	7,3 cm	S	10,2 cm

Tabla 81. Asentamientos línea de tendencia general 30%,40% y 50% de materia orgánica.

Asentamiento por consolidación		Asentamiento por consolidación		Asentamiento por consolidación	
Esfuerzo geostático		Esfuerzo geostático		Esfuerzo geostático	
σ'_o	20,68 kN/m ²	σ'_o	20,68 kN/m ²	σ'_o	20,68 kN/m ²
Esfuerzo de preconsolidación		Esfuerzo de preconsolidación		Esfuerzo de preconsolidación	
σ_p	20,68 kN/m ²	σ_p	20,68 kN/m ²	σ_p	20,68 kN/m ²
Incremento de esfuerzos		Incremento de esfuerzos		Incremento de esfuerzos	
q	238,81 kN/m ²	q	238,81 kN/m ²	q	238,81 kN/m ²
$\Delta\sigma$	51,58 kN/m ²	$\Delta\sigma$	51,58 kN/m ²	$\Delta\sigma$	51,58 kN/m ²
Esfuerzo final		Esfuerzo final		Esfuerzo final	
σ_f	72,26 kN/m ²	σ_f	72,26 kN/m ²	σ_f	72,26 kN/m ²
$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma_f < \sigma_p$		$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma_f < \sigma_p$		$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma_f < \sigma_p$	
Asentamiento		Asentamiento		Asentamiento	
S	0,132 m	S	0,164 m	S	0,198 m
S	13,2 cm	S	16,4 cm	S	19,8 cm

Tabla 82. Asentamientos línea de tendencia general 60%, 70% y 80% de materia orgánica.

Asentamiento por consolidación		Asentamiento por consolidación		Asentamiento por consolidación	
Esfuerzo geostático		Esfuerzo geostático		Esfuerzo geostático	
σ'_o	20,68 kN/m ²	σ'_o	20,68 kN/m ²	σ'_o	20,68 kN/m ²
Esfuerzo de preconsolidación		Esfuerzo de preconsolidación		Esfuerzo de preconsolidación	
σ_p	20,68 kN/m ²	σ_p	20,68 kN/m ²	σ_p	20,68 kN/m ²
Incremento de esfuerzos		Incremento de esfuerzos		Incremento de esfuerzos	
q	238,81 kN/m ²	q	238,81 kN/m ²	q	238,81 kN/m ²
$\Delta\sigma$	51,58 kN/m ²	$\Delta\sigma$	51,58 kN/m ²	$\Delta\sigma$	51,58 kN/m ²
Esfuerzo final		Esfuerzo final		Esfuerzo final	
σ_f	72,26 kN/m ²	σ_f	72,26 kN/m ²	σ_f	72,26 kN/m ²
$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma_f < \sigma_p$		$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma_f < \sigma_p$		$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma_f < \sigma_p$	
Asentamiento		Asentamiento		Asentamiento	
S	0,238 m	S	0,285 m	S	0,344 m
S	23,8 cm	S	28,5 cm	S	34,4 cm

Tabla 83. Asentamientos línea de tendencia general 90% y 100% de materia orgánica.

Asentamiento por consolidación		Asentamiento por consolidación	
Esfuerzo geostático		Esfuerzo geostático	
σ'_o	20,68 kN/m ²	σ'_o	20,68 kN/m ²
Esfuerzo de preconsolidación		Esfuerzo de preconsolidación	
σ_p	20,68 kN/m ²	σ_p	20,68 kN/m ²
Incremento de esfuerzos		Incremento de esfuerzos	
q	238,81 kN/m ²	q	238,81 kN/m ²
$\Delta\sigma$	51,58 kN/m ²	$\Delta\sigma$	51,58 kN/m ²
Esfuerzo final		Esfuerzo final	
σ_f	72,26 kN/m ²	σ_f	72,26 kN/m ²
$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma_f < \sigma_p$		$\sigma'_o < \sigma_p // \sigma_f < \sigma_p$	
Asentamiento		Asentamiento	
S	0,421 m	S	0,527 m
S	42,1 cm	S	52,7 cm