



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO
COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE
SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO**

AUTOR: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

TUTOR: Ing. Ruth Lorena Pérez Maldonado, Mg.

AMBATO - ECUADOR

Febrero - 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO**, elaborado por el señor Fabricio Xavier Sánchez Zambrano, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1804688040, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo Experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2024



.....
Ing. Ruth Lorena Pérez Maldonado, Mg.

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Fabricio Xavier Sánchez Zambrano, con C.I. 1804688040 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO**, así como también las ideas, criterios, gráficos, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del proyecto a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2024



Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

C.I. 1804688040

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, febrero 2024



Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

C.I. 1804688040

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental realizado por el estudiante Fabricio Xavier Sánchez Zambrano, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO.**

Ambato, febrero 2024

Para constancia firman:

Ing. Danny German Muyulema Muyulema, Mg

MIEMBRO CALIFICADOR

Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mi madre Martha, que, con su esfuerzo, paciencia y cariño, ha logrado que pueda culminar con mi carrera, apoyándome en cada momento, impulsándome a ser mejor persona, luchando arduamente y enseñándome lo que es dedicarse para conseguir lo que anhelas.

Para mi hermosa familia, Bryan, Alex y Luis que siempre estuvieron para respaldarme sin condiciones, orientándome para que no desistiera y continuara avanzando sin cesar, dándome ánimo cuando más lo necesitaba.

A mi grupo de amigos de la facultad que siempre estuvieron para alentarme, sacándome una sonrisa en los momentos difíciles, a todos ustedes muchas gracias por el tiempo compartido.

A “Il Vulcano ristorante galería” por abrirme las puertas, ya que, no solo ha sido un lugar de trabajo, sino también una fuente de aprendizaje y crecimiento. El respaldo constante que he recibido ha sido un faro de luz en mi camino, impulsándome a esmerarme más allá de mis límites y a alcanzar logros que solo eran sueños.

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por darme una segunda oportunidad y guiar mi camino, por el consuelo que siempre necesite.

Agradezco a la Universidad Técnica de Ambato, así como a los líderes y profesionales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por brindarme la oportunidad de desarrollarme académicamente como Ingeniero Civil.

Mi gratitud se extiende a mi familia y amigos que siempre estuvieron apoyándome en todo momento, dándome consejos, motivándome a no rendirme, fueron desafíos grandes y que con su aporte logré continuar mi camino.

A mi asesora de tesis, Ing. Mg. Ruth Lorena Pérez Maldonado por su paciencia y disposición para compartir sus conocimientos, marcaron una diferencia significativa en mi proceso de formación.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.2. Objetivos	5
1.2.1. Objetivo General	5
1.2.2. Objetivos Específicos	5
CAPÍTULO II	6
METODOLOGÍA	6
2.1. Materiales	6
2.2. Métodos	7
2.2.1. Fase preliminar	7
2.2.1.1. Población y muestra	7

2.2.1.1.1. Población.....	7
2.2.1.1.2. Muestra.....	7
2.2.2. Fase 1.....	9
2.2.2.1. Contenido de humedad.....	9
2.2.2.2. Granulometría.....	9
2.2.2.3. Gravedad Específica.....	12
2.2.2.4. Límites de Atterberg.....	14
2.2.2.4.1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	14
2.2.2.4.2. Sistema de Clasificación de suelos AASHTO.....	17
2.2.2.4.1. Límite líquido.....	18
2.2.2.4.2. Límite Plástico.....	20
2.2.2.6. Próctor modificado.....	21
2.2.2.7. California Bearing Ratio (CBR).....	23
2.2.3. Fase 2.....	27
2.2.4. Fase 3.....	28
CAPÍTULO III.....	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
3.1. Análisis y discusión de los resultados.....	28
3.1.1. Propiedades índice del suelo en estado natural.....	29
3.1.1.1. Contenido de humedad.....	29
3.1.1.2. Granulometría.....	29
3.1.1.3. Gravedad específica.....	30
3.1.1.4. Límites de Atterberg.....	31
3.1.1.4.1 Clasificación de los suelos.....	31
3.1.2. Propiedades Mecánicas del suelo en estado natural y estabilizado....	33
3.1.2.1. Próctor Modificado.....	33

3.1.2.2. California Bearing Ratio (CBR).....	34
3.1.3. Contenido de Humedad Óptimo.....	36
3.1.4. Densidad Seca Máxima	38
3.1.5. CBR Óptimo.....	39
3.1.5.1. Esponjamiento lineal relativo	42
3.1.6. Análisis comparativo del suelo limoso y con la adición de los agentes estabilizadores.....	44
3.1.6.1. Densidad seca máxima vs MgCl.....	44
3.1.6.2. Humedad óptima vs MgCl.....	46
3.2 Verificación de hipótesis	54
CAPÍTULO IV	58
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
4.1. Conclusiones.....	58
4.2. Recomendaciones.....	60
ANEXOS	64
TABLAS DE RESULTADOS	64
FICHAS TÉCNICAS	92
CLORURO DE SODIO	92
CLORURO DE MAGNESIO.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Localización de los puntos de muestreo.....	7
Tabla 2. Abertura estándar de tamices	10
Tabla 3. Clasificación en base a la gravedad específica	13
Tabla 4. Sistema de Clasificación SUCS	16
Tabla 5. Sistema de Clasificación de Suelos –AASHTO.....	17
Tabla 6. Límites de separación de tamaño de suelo.....	18
Tabla 7. Valores referenciales del índice plástico.....	20
Tabla 8. Datos ensayo Próctor Modificado	22
Tabla 9. Valores de penetración y carga unitaria patrón	24
Tabla 10. Clasificación General de acuerdo con el número CBR.....	25
Tabla 11. Nomenclatura de variables usadas en los ensayos	28
Tabla 12. Promedio del contenido de humedad	29
Tabla 13. Coeficientes del suelo	30
Tabla 14. Resultados del ensayo de Granulometría	30
Tabla 15. Resultados del ensayo de Gravedad Específica	30
Tabla 16. Resultados del ensayo de Límites de Atterberg	31
Tabla 17. Resultados del ensayo Próctor modificado Método B y agregado de NaCl	33
Tabla 18. Resultados del ensayo Próctor modificado Método B agregando MgCl ₂	34
Tabla 19. Contenido de Humedad Óptima vs NaCl.....	34
Tabla 20. CBR vs MgCl ₂	35
Tabla 21. Esponjamiento del suelo en estado natural y con la adición del MgCl ₂ ...	35
Tabla 22. Esponjamiento del suelo en estado natural y con la adición del NaCl.....	36
Tabla 23. Granulometría	64
Tabla 24. Contenido de Humedad.....	65

Tabla 25. Límites de Atterberg	66
Tabla 26. Gravedad específica	67
Tabla 27. Próctor modificado del suelo en estado natural	68
Tabla 28. Próctor modificado del suelo en estado natural + MgCl ₂ al 3%	69
Tabla 29. Próctor modificado del suelo en estado natural + MgCl ₂ al 6%	70
Tabla 30. Próctor modificado del suelo en estado natural + MgCl ₂ al 9%	71
Tabla 31. Próctor modificado del suelo en estado natural + MgCl ₂ al 12%	72
Tabla 32. Próctor modificado del suelo en estado natural + NaCl al 10%	73
Tabla 33. Próctor modificado del suelo en estado natural + NaCl al 15%	74
Tabla 34. Próctor modificado del suelo en estado natural + NaCl al 20%	75
Tabla 35. CBR del suelo en estado natural	76
Tabla 36. CBR del suelo en estado natural + MgCl ₂ al 3%	78
Tabla 37. CBR del suelo en estado natural + MgCl ₂ al 6%	80
Tabla 38. CBR del suelo en estado natural + MgCl ₂ al 9%	82
Tabla 39. CBR del suelo en estado natural + MgCl ₂ al 12%	84
Tabla 40. CBR del suelo en estado natural + NaCl al 10%	86
Tabla 41. CBR del suelo en estado natural + NaCl al 15%	88
Tabla 42. CBR del suelo en estado natural + NaCl al 20%	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pozo a cielo abierto.....	8
Figura 2. Ensayo de contenido de humedad	9
Figura 3. Curva Granulométrica	11
Figura 4. Ensayo de granulometría	12
Figura 5. Ensayo de gravedad específica	13
Figura 6. Carta de Plasticidad SUCS	15
Figura 7. Rango del índice de plasticidad y límite líquido de los suelos correspondientes a los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7	18
Figura 8. Ensayo de límite líquido.....	20
Figura 9. Ensayo de límite plástico.....	21
Figura 10. Ensayo de próctor modificado método B	23
Figura 11. Presión vs penetración	25
Figura 12. Ensayo de “CBR”	25
Figura 13. Determinación del esponjamiento	26
Figura 14. Carta de plasticidad Sistema SUCS.....	31
Figura 15. Carta de plasticidad Sistema AASHTO.....	32
Figura 16. Contenido de Humedad Óptima vs NaCl	37
Figura 17. Contenido de Humedad Óptima vs MgCl ₂	37
Figura 18. Densidad Seca Máxima vs NaCl	38
Figura 19. Densidad Seca Máxima vs MgCl ₂	39
Figura 20. CBR vs NaCl	39
Figura 21. CBR vs MgCl ₂	40
Figura 22. CBR MgCl ₂ Óptimo.....	41
Figura 23. CBR NaCl Óptimo.....	41
Figura 24. Esponjamiento lineal relativo (%) CBR	42

Figura 25. Esponjamiento lineal relativo (%) CBR + MgCl ₂	42
Figura 26. Esponjamiento lineal relativo (%) CBR + NaCl	43
Figura 27. Densidad seca máxima del suelo limoso vs MgCl ₂ 3%	44
Figura 28. Densidad seca máxima del suelo limoso vs MgCl ₂ 6%	44
Figura 29. Densidad seca máxima del suelo limoso vs MgCl ₂ 9%	45
Figura 30. Densidad seca máxima del suelo limoso vs MgCl ₂ 12%	45
Figura 31. Humedad óptima del suelo limoso vs MgCl ₂ 3%	46
Figura 32. Humedad óptima del suelo limoso vs MgCl ₂ 6%	46
Figura 33. Humedad óptima del suelo limoso vs MgCl ₂ 9%	46
Figura 34. Humedad óptima del suelo limoso vs MgCl ₂ 12%	47
Figura 35. Densidad seca máxima del suelo limoso vs NaCl 10%	47
Figura 36. Densidad seca máxima del suelo limoso vs NaCl 15%	48
Figura 37. Densidad seca máxima del suelo limoso vs NaCl 20%	48
Figura 38. Humedad óptima del suelo limoso vs NaCl 10%	49
Figura 39. Humedad óptima del suelo limoso vs NaCl 15%	49
Figura 40. Humedad óptima del suelo limoso vs NaCl 20%	50
Figura 41. CBR del suelo limoso vs MgCl ₂ al 3%	50
Figura 42. CBR del suelo limoso vs MgCl ₂ al 6%	51
Figura 43. CBR del suelo limoso vs MgCl ₂ al 9%	51
Figura 44. CBR del suelo limoso vs MgCl ₂ al 12%	52
Figura 45. CBR del suelo limoso vs NaCl al 10%	53
Figura 46. CBR del suelo limoso vs NaCl 15%	53
Figura 47. CBR del suelo limoso vs NaCl 20%	54
Figura 48. Análisis comparativo del CBR del suelo limoso + MgCl ₂ y NaCl	54
Figura 49. Densidad seca máxima del suelo limoso + MgCl ₂ y NaCl	55
Figura 50. Esponjamiento lineal relativo del suelo limoso + MgCl ₂ y NaCl	55

RESUMEN EJECUTIVO

El propósito de este estudio, surge como una alternativa estabilizar el suelo ya que mejora las propiedades mecánicas del suelo incorporando Cloruro de Sodio y Cloruro de Magnesio, estos químicos son conocidos como delicuescentes, lo que significa que tienen la capacidad de absorber la humedad del aire. La estabilización del suelo permite el uso de suelos locales en lugar de importar materiales, lo que reduce costos y minimiza la huella ambiental. Los delicuescentes se trabajaron de forma pulverizada para una mejor reacción con las partículas del suelo.

Con el propósito de conocer sus propiedades índice se realizó diversos ensayos, como: contenido de humedad, granulometría, límites de Atterberg, gravedad específica, y mediante las propiedades mecánicas se llevó a cabo el ensayo de próctor modificado y California Bearing Ratio (CBR) comparando el suelo en estado natural y con la adición de los agentes estabilizadores. Se agregó Cloruro de Sodio al 10 por ciento, 15 por ciento y 20 por ciento, así como el Cloruro de Magnesio al 3 por ciento, 6 por ciento, 9 por ciento y 12 por ciento. Los datos obtenidos revelaron que existe una mejora significativa del CBR, con la adición del 7.9 por ciento de Cloruro de Magnesio incrementó al 32.70 por ciento y con el agregado del 15.6 por ciento de Cloruro de Sodio aumentó al 17.2 por ciento.

Por lo tanto, los derivados de este proyecto experimental podrían servir como punto de inicio para el avance de métodos y materiales innovadores destinados a la estabilización del suelo.

Palabras clave: suelo limoso, agentes estabilizadores, Cloruro de Sodio, Cloruro de Magnesio, CBR, porcentaje óptimo.

ABSTRACT

The purpose of this study arises as an alternative to stabilize the soil since it improves the mechanical properties of the soil by incorporating Sodium Chloride and Magnesium Chloride, these chemicals are known as deliquescent, which means that they have the ability to absorb moisture from the air. . Soil stabilization allows the use of local soils instead of importing materials, reducing costs and minimizing the environmental footprint. The deliquescents were worked in a pulverized form for a better reaction with soil particles.

In order to know its index properties, various tests were carried out, such as: moisture content, granulometry, Atterberg limits, specific gravity, and using the mechanical properties, the modified proctor test and California Bearing Ratio (CBR) were carried out comparing the soil in its natural state and with the addition of stabilizing agents. Sodium Chloride was added at 10 percent, 15 percent and 20 percent, as well as Magnesium Chloride at 3 percent, 6 percent, 9 percent and 12 percent. The data obtained revealed that there is a significant improvement in the CBR, with the addition of 7.9 percent of Magnesium Chloride it increased to 32.70 percent and with the addition of 15.6 percent of Sodium Chloride it increased to 17.2 percent.

Therefore, the derivatives of this experimental project could serve as a starting point for the advancement of innovative methods and materials aimed at soil stabilization.

Keywords: silty soil, stabilizing agents, Sodium Chloride, Magnesium Chloride, CBR, optimal percentage.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

Existen diversas clases de suelos en las que se complican una construcción por su baja resistencia, estas se ejecutan de forma común ya sea en vías, edificaciones, entre otras; es decir, no se usan aditivos para estabilizar un suelo cohesivo.

En las ciudades costeras de Ecuador, se encuentran suelos expansivos compuestos principalmente de limos y arcillas en las capas inferiores del suelo. Estos suelos suelen ser inadecuados para soportar cargas significativas. Por lo tanto, la estabilización del suelo podría ser una solución más efectiva desde las perspectivas económica y ambiental. [1]

En este contexto, se exploran técnicas de estabilización del suelo con el propósito de prevenir desafíos constructivos relacionados con la alta plasticidad y la variabilidad volumétrica que dependen de las condiciones de humedad. Este enfoque busca no solo comprender las limitaciones actuales, sino también desarrollar estrategias efectivas para abordar los problemas inherentes a la plasticidad del suelo y a los cambios en el volumen en función de las variaciones en la humedad. [2]- [3]

Los suelos son en agrupaciones de partículas que varían en su disposición y estructura. Estas partículas presentan características individuales que se ven afectadas por los procesos de meteorización de las rocas originales y por los eventos relacionados con la formación de los depósitos de suelo. Como resultado, se ha generado una amplia diversidad de suelos que pueden ser identificados y caracterizados en función de ciertas propiedades distintivas. Estas propiedades se conocen como "propiedades índice" y se determinan a través de la realización de pruebas en muestras representativas. [4]

El comportamiento de las propiedades mecánicas de los suelos ha sido una preocupación persistente al llevar a cabo proyectos de ingeniería civil. Estos estudios son esenciales, ya que permiten determinar con precisión, a través de diversos ensayos experimentales, si las propiedades del suelo en cuestión son adecuadas para el tipo específico de obra que se pretende realizar. [5]

Según Rodríguez R. & Del Castillo H. en su libro [6] establece que las propiedades del suelo que se examinan con mayor frecuencia en situaciones de estabilización abarcan la estabilidad en términos de volumen, la resistencia, la permeabilidad, la compresibilidad y la durabilidad. A veces, se puede lograr una mejora en algunas de estas propiedades; sin embargo, es importante estar consciente de que, en ocasiones, la modificación de una propiedad puede dar lugar al deterioro de otra, lo que sugiere la existencia de cambios contradictorios.

Según S. Zolfeghari *et al* en su artículo [7], revela un incremento sustancial en la resistencia del suelo, obteniendo su punto máximo de manera notable después de un período de 14 días. Este acierto resalta la evolución progresiva y significativa en la capacidad de resistencia del suelo a lo largo del tiempo.

Según M. Yunus, *et al* en su artículo [8] obtiene unos resultados en usando Cloruro de Sodio en la cual observó un significativo incremento en la resistencia del suelo, que varió entre un 147% y un 450%, además, se destacó que el Cloruro de Sodio actúa como un agente catalizador para lograr una mayor resistencia en suelos que han experimentado alteraciones.

De acuerdo con Wilson, A. & Vasudevan, A. en su artículo [9] señala que se llevaron a cabo en tres tipos de suelos (arcilloso, arcilla marina y laterítico). Estos suelos se clasificaron como arcillas de alta plasticidad (CH). Se prepararon muestras de suelo con diferentes niveles de salinidad en el agua, utilizando soluciones de cloruro de sodio en concentraciones variables (0%, 0.1%, 0.25%, 2.3% y 2.5%). Luego, se realizaron ensayos de compresión triaxial para evaluar la resistencia del suelo, que depende de dos parámetros, la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (ϕ), que juntos determinan la capacidad del suelo para resistir fuerzas de corte. Estos ensayos se llevaron a cabo en diferentes condiciones de salinidad, tiempos de curado y presiones de confinamiento (50, 100 y 150 kPa). En resumen, el estudio destaca que se puede mejorar la resistencia y las propiedades geotécnicas del suelo mediante la adición de sal, pero existe un límite a partir del cual no se observan mejoras adicionales.

Según Guamán I. en su investigación [10] como objetivo fue examinar el comportamiento de un suelo arcilloso que se estabilizó en el laboratorio utilizando componentes químicos como la cal y el cloruro de sodio, se llevaron a cabo tres experimentos con la adición de 2,5%, 7,5% y 12,5% de cloruro de sodio. En el caso

de la muestra estándar, se obtuvo una densidad seca de 1.531 gr/cm³ con un contenido de humedad del 35,3% y un índice de capacidad de soporte (CBR) de 4,85%. Sin embargo, al añadir un 2,5% de cloruro de sodio, la densidad seca aumentó a 1.549 gr/cm³ con un contenido de humedad del 32,5%, y el CBR se elevó significativamente a un 9,3%.

Según Irigoin H. & Tarrillo F. [11], mediante ensayos de laboratorio demostró que existen mejoras en los resultados al incorporar cloruro de sodio en proporciones del 3%, 5% y 7% en los especímenes extraídos mediante calicatas. Esto llevo a cabo un aumento en las características mencionadas anteriormente, como es el contenido óptimo de humedad, la densidad seca máxima, obtuvo mejoras en la capacidad de soporte y a su vez, en la resistencia CBR, obteniendo así un promedio de incremento del 0,68%, 1,33% y 2,20% respectivamente.

Por otra parte, Quiroz [12] mediante estudios y ensayos de laboratorio obtuvo resultados que al aumentar porcentajes de NaCl en 1%, 1.5% y 2% en la muestra el Límite Líquido (LL%) se reduce en promedio 0.70%; el Límite Plástico (LP%) se reduce en 0.43%; el Índice de Plasticidad se reduce en 0.45% por cada incremento de NaCl; por tanto, se determinó que la adición de Cloruro de Sodio disminuyo ligeramente el LL, LP e IP de un suelo arenoso arcilloso (SC) reduciendo su plasticidad.

El Cloruro de Magnesio se presenta como una solución eficaz para la estabilización del suelo. Contribuye a mejorar tanto las características físicas como las propiedades químicas del suelo, lo que resulta beneficioso para su calidad. [13]

Según Muthumani, A., *et al* en su artículo científico [14] concluye que no existe un ensayo de laboratorio estándar que ofrezca una orientación exhaustiva para los profesionales, considerando las incitaciones reales que surgen en el terreno en relación con el rendimiento de los productos químicos. Este hallazgo manifiesta la necesidad de desarrollar métodos de prueba más holísticos y adaptados a las condiciones del mundo real, que aborden de manera efectiva los diversos factores que influyen en la utilidad de estos químicos.

Según Habibbeygi F. & Nikraz H., en su investigación [15] emplea la bischofita (Cloruro de Magnesio) con el fin de mejorar las características geotécnicas de los

suelos arcillosos expansivos y reducir eficazmente su tendencia a hincharse. El método empleado se basó en un ensayo de consolidación unidimensional en el que se utilizaron diferentes concentraciones de cloruro de magnesio, específicamente 2%, 4%, 6%, 8%, 10% y 12%. Los resultados obtenidos revelaron que la incorporación de Cloruro de Magnesio provocó una disminución en el límite líquido en comparación con el límite plástico, y redujo la presión de hinchamiento del suelo estabilizado. Además, se observó que con una concentración del 8% de cloruro de magnesio, la presión de hinchamiento disminuyó desde 83 kPa a 16 kPa.

Según Sumi S. & Nurmunira M., en su investigación [16] concluye que mediante la adición de bischofita (Cloruro de Magnesio) en las pruebas de compactación convencionales y ensayos de compresión simple, los resultados demostraron que se emplearon concentraciones de Bischofita del 3%, 5% y 10% en la cual se observó que el suelo estabilizado alcanzó una resistencia a la compresión de 300 kPa.

En la misma línea, Briones B. [17], demuestra en un suelo en su estado natural, al agregar un 5% de cloruro de magnesio permite cumplir con ciertos requisitos de calidad mínimos establecidos en la EG-2013. Por ejemplo, el límite líquido se aproxima al máximo permitido del 35% al alcanzar un valor de aproximadamente 28%. Sin embargo, el índice de plasticidad, que se ubica en el 11.36%, se encuentra fuera del rango de 4% a 9% especificado por la normativa.

De acuerdo con Solminihac H. *et al* en su libro [18] afirma que, la característica principal del Cloruro de Magnesio es retener o liberar la humedad según las circunstancias ambientales. Además, se trata de una sal delicuescente, lo que significa que puede absorber la humedad presente en el entorno, transformándose lentamente en un líquido.

Según Fonseca K. *et al* en su artículo [19] menciona que la aplicación diferentes dosificaciones demostró que se tiene un límite sobre proporción de estabilizante por cantidad de suelo, pues el añadirle una proporción mayor o menor al óptimo tiende a disminuir la resistencia, entre otros aspectos que determinar también es la cantidad de estabilizante aplicable.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Verificar el comportamiento de un suelo cohesivo estabilizado mediante dos productos químicos: Cloruro de Sodio y Cloruro de Magnesio.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar las propiedades del índice y mecánica de suelo natural (Contenido de humedad, granulometría, límites de Atterberg, próctor modificado y California Bearing Ratio “CBR”).
- Determinar un porcentaje óptimo de Cloruro de Sodio y Cloruro de Magnesio con el fin de mejorar la capacidad de soporte del suelo
- Comparar los resultados obtenidos de las propiedades y la estabilización de un suelo cohesivo aplicando dos productos químicos.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

Para el presente trabajo experimental, se usó los siguientes equipos y materiales con el objetivo de cumplir los ensayos previstos, a continuación, se van a describir los materiales y métodos utilizados para los ensayos de laboratorio, cabe señalar que los equipos que se mencionan a continuación, son propios del laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato de la carrera de Ingeniería Civil.

2.1. Materiales

El ensayo de Contenido de humedad, se usó la balanza Digital (marca Radwag, modelo PS 6100 RIM) y el Horno (marca Humbolt, modelo 300°F -149°C), además, se usó una tamizadora (marca Retsch, modelo AS 200 control) y un juego de tamices (marca Fisher, modelo estándar) con el fin de realizar el ensayo de granulometría en la que se realizó una muestra cuadrada.

El ensayo de límites de Atterberg se usó un mortero (marca, grout, modelo NTC 121) y un pistilo de porcelana/caucho (marca COORS. SKU, modelo DIN 12906); el ensayo de límite líquido (Copa casa grande) y límite plástico se analizó con una muestra de suelo que pasa el tamiz #40.

Para el ensayo de Gravedad específica se usó un Picnómetro (marca MICROTRAC, modelo ASTM D854), una pipeta (marca 7085-10, modelo ISO 648), un termómetro (marca IDOIT, modelo NOM-008-SCFI-2002), un embudo y un tamiz #4.

El ensayo de próctor modificado, se empleó un juego de molde cilíndrico (marca DPX, modelo ASTM D1557) y un Martillo compactador (marca DPX, modelo ASTM D1557) y se analizó una muestra de suelo que pasa el tamiz #4.

El ensayo California Bearing Ratio “CBR”; se agregó un juego de molde cilíndrico (marca DPX, modelo ASTM D1557), un Martillo compactador (marca DPX, modelo ASTM D1557) y una tamizadora (marca Retsch, modelo AS 200 control) y se experimentó con una muestra de suelo que pasa el tamiz #4.

Se empleó en un suelo en estado natural delicuescentes como es el Cloruro de Sodio adquirido en ECUASAL y el Cloruro de Magnesio obtenido de AMBAQUIM (GTM Ecuador Av. De los Shyris N32-218 y Eloy Alfaro, Ed. Parque Central, Of. 1207).

El software que se usó en la tabulación de datos es Microsoft Excel.

2.2. Métodos

Este trabajo aborda una investigación experimental que conlleva a cabo diversos procedimientos con el fin de llevar una correcta ejecución. Se clasifica en una fase preliminar y tres fases, las cuales se describen detalladamente a continuación:

2.2.1. Fase preliminar

Durante esta etapa, se realizaron investigaciones preliminares mediante la recolección de documentos y la recopilación de datos en el terreno. Estas actividades posibilitaron la adquisición de la materia prima y la información requerida para llevar a cabo los diversos ensayos en cumplimiento con los objetivos de este trabajo.

2.2.1.1. Población y muestra

2.2.1.1.1. Población

La parroquia Quisapincha se encuentra ubicada al suroeste con una distancia de 12 km de la Ciudad de Ambato, tiene una altitud de 3000 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte con la Provincia de Cotopaxi, al Sur con las parroquias de Pasa y Santa Rosa, al Este con las parroquias Ambatillo y San Bartolomé de Pinlo, y al Oeste con las parroquias de San Fernando y Pasa. Quisapincha tiene una superficie de 119.9 Km². Conecta por una carretera asfaltada que forma parte del anillo vial de la provincia de Tungurahua. Cuenta con un clima templado y frío, abarca una temperatura promedio de 12°C.

2.2.1.1.2. Muestra

El estudio tiene lugar en la parroquia Quisapincha, Provincia de Tungurahua, como se muestra en la siguiente tabla de coordenadas:

Tabla 1. Localización de los puntos de muestreo

Zona	Parroquia	Coordenada
-------------	------------------	-------------------

		Este	Norte
17 M	Quisapincha	756696.24	9865083.13
		758099.00	9863287.00
		756760.00	9862702.00

Mediante la norma NTE INEN 686, el método de pozos a cielo (PCA) excavando calicatas de 1.5 m x 1.5 m x 1 m de profundidad, se extrae las muestras de suelo.

Figura 1. Pozo a cielo abierto



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

-Cloruro de Sodio

El Cloruro de Sodio (NaCl) es un producto conformado por cristales muy finos de color blanco cristalino, homogéneo, inodoro, sabor salino característico, soluble en agua e higroscópico. Su proceso de fabricación se basa partiendo del agua de mar y mediante un proceso de precipitación se obtiene el cloruro de sodio. La sal se lava y limpia de impurezas, posteriormente el producto se centrifuga y se somete a secado, molienda, tamizado, finalmente se ensaca. El producto no es inflamable ni combustible, no es explosivo y no provoca reacciones peligrosas si se manipula y se almacena con arreglo a las normas.

- **Cloruro de Magnesio**

El Cloruro de Magnesio (MgCl₂) es una solución para infusión, soluciones para hemodiálisis y suplementos minerales. La sustancia no está clasificada como peligrosa según la Directiva 1272/2008/ES, además, es una sustancia no combustible, a temperaturas superiores a 135°C se produce una descomposición con liberación de cloruro de hidrógeno gaseoso. A temperaturas superiores a 300°C se produce una

descomposición con liberación de cloro. Tras el consumo de una cantidad mayor pueden aparecer vómitos y diarrea, irritación del tracto alimentario. Síntomas: piel roja, ojos, visión borrosa.

2.2.2. Fase 1

Con la finalidad de dar cumplimiento a la fase 1 del presente proyecto, la cual consiste en identificar las propiedades del índice como es el Contenido de humedad, granulometría, límites de Atterberg y gravedad específica, extrayendo una muestra de suelo usando calicata de 1.5 m x 1.5 m x 1.0 m según la norma NTE INEN 686. En las propiedades mecánicas se usaron el Próctor modificado método “B” y CBR.

2.2.2.1. Contenido de humedad

Este ensayo se realizó según la norma AASHTO T 265 2015, para lo cual se colocó aproximadamente 25 gramos de suelo en cuatro recipientes metálicos previamente pesados y limpios, después se pesa con la muestra y se introduce al horno mediante 24 horas a una temperatura de 110°C, pasado este tiempo, se retiró los dos recipientes metálicos del horno y nuevamente se los pesó con el fin de obtener su contenido de humedad.

Figura 2. Ensayo de contenido de humedad



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

2.2.2.2. Granulometría

La granulometría se determinó usando la norma AASHTO T 88 2013, se aplicó 1000 gramos de muestra en estado seco aplicando a un juego de tamices, 4, 8, 10 ,16, 30, 40, 50, 60, 100, 200 y la base (fuente).

Posteriormente, se coloca el juego de tamices incluida la muestra en la máquina tamizadora con un tiempo estimado de 15 minutos con el fin de que las partículas de suelo pasen correctamente según el tamaño de suelo por cada uno de sus tamices, concluido el tiempo, se apagó el equipo y se sacó el juego de tamices y se pesó el material retenido en cada tamiz y la base (fuente).

Tabla 2. Abertura estándar de tamices

# TAMIZ	ABERTURA (mm)
4	4.760
8	2.380
10	2.000
16	1.180
30	0.595
40	0.420
50	0.297
60	0.250
100	0.149
200	0.074

Fuente: Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica, Braja M Das. [20]

Una vez obtenido los pesos retenidos según el tamiz se realiza la curva de distribución granulométrica, usando los siguientes criterios:

- **Coefficiente de Uniformidad (Cu)**

Se interpreta con la siguiente ecuación:

$$Cu = \frac{D60}{D10} \quad (\text{Ec. 1})$$

La relación entre el diámetro dimensional (D60) y el diámetro efectivo (D10) se conoce como coeficiente de uniformidad (CU). Cuando el número del coeficiente de uniformidad disminuye, la uniformidad del suelo aumenta, es decir, si el CU es mayor que tres, los suelos tienden a ser bien graduados, mientras que, si es menor a 3, los

suelos estarán mal graduados. [20]

- **Coeficiente de Curvatura (Cc)**

Se determina usando la siguiente ecuación:

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \quad (\text{Ec. 2})$$

El coeficiente de curvatura se utiliza para evaluar la graduación del material en suelos. Es importante destacar que cuando el coeficiente de curvatura se encuentra en el rango de 1 a 3, indica que los suelos están bien graduados. Por el contrario, si el coeficiente de curvatura es menor que 1 o mayor a 3, sugiere que los suelos son mal graduados. [21]

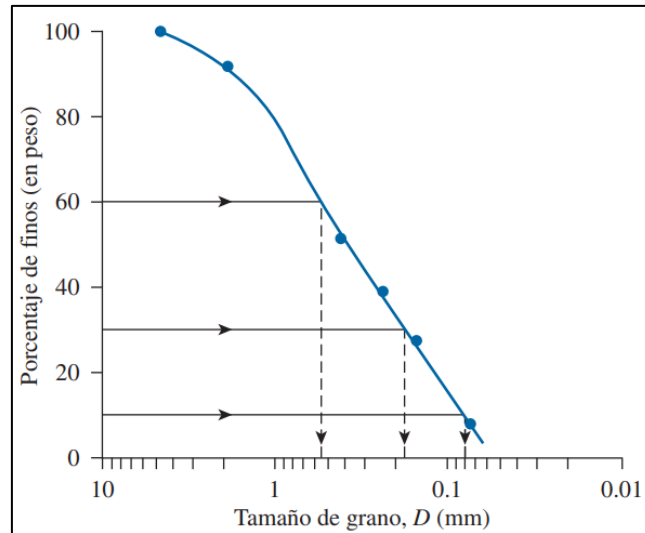
- **Diámetros característicos**

“D” hace alusión al diámetro aparente o tamaño de grano de las partículas del suelo, el subíndice (10, 60, 30) indica el porcentaje de material más fino.

- D10: Es el diámetro o tamaño eficaz de un suelo se refiere al 10% de la muestra de suelo que atraviesa el tamiz número 10.
- D30: Es el diámetro equivalente se refiere al tamaño de partículas del suelo que atraviesa el tamiz número 30.
- D60: Es el diámetro dimensional hace referencia al tamaño de las partículas del suelo que atraviesan el tamiz número 60.

Con estos valores identificamos los coeficientes de uniformidad y curvatura.

Figura 3. Curva Granulométrica



Fuente: Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica, Braja M Das. [22]

Figura 4. Ensayo de granulometría



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

2.2.2.3. Gravedad Específica

El ensayo de gravedad específica se aplicó la norma AASHTO T 100-2015, se recalca que tenemos dos métodos; “método A” que son muestras húmedas y para muestras secas “método B”; en este caso se aplicó el método B, realizando de la siguiente manera, se usó una muestra de suelo en estado natural alrededor de 200 gramos y se lo deja secar en el horno, luego de 24 horas usamos el tamiz N°40 y con lo que haya pasado se usa 50 gramos y se coloca en el picnómetro hasta la marca de aforo con agua, después, se introduce al baño maría por 5 minutos con el fin de eliminar vacíos, luego, se retira el picnómetro del baño maría realizando movimientos giratorios con el

fin de liberar vacíos que quedaron en la muestra de suelo, si este quedó libre de vacíos, el agua del picnómetro deberá quedar bajo la marca de aforo, en la cual se usa una pipeta y se le llena de agua hasta la marca de aforo.

A continuación, se pesó el picnómetro con agua más la muestra de suelo y se midió la temperatura dentro del picnómetro. La temperatura se mantiene entre la normalidad de agua de 20°C. Luego, se vertió el contenido en un recipiente de cerámica y se coloca en un horno. Después de 24 horas, se retiró el recipiente, se pesó con el suelo seco y se pesó solo el recipiente, anotando ambos pesos. Este proceso sugiere un análisis, probablemente relacionado con la determinación del contenido de agua o propiedades del suelo después de un período de secado controlado.

Tabla 3. Clasificación en base a la gravedad específica

TIPO DE SUELO	Gs
arena	2.65-2.67
arena limosa	2.67-2.70
arena inorgánica	2.70-2.75
suelos con micas o hierros	2.75-3.0
suelos orgánicos	Variable, puede ser inferior a 2.00

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Joseph E. Bowles.

[23]

Figura 5. Ensayo de gravedad específica



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

2.2.2.4. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg, también conocidos como límites de consistencia, se fundamentan en la idea de que los suelos finos que se encuentran en la naturaleza pueden experimentar diversos estados, los cuales están determinados por su propia composición y la proporción de agua que contengan.

Albert Atterberg definió la plasticidad como la capacidad de un suelo para deformarse sin agrietarse ni experimentar rebote elástico.

2.2.2.4.1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Los suelos se clasifican en dos fracciones: gruesos y finos. La fracción gruesa consiste en partículas retenidas en el tamiz #200 (0.074 mm), este se subdivide en gravas y arenas. En el caso de suelos de grano grueso, se considera que más del 50% de las partículas son retenidas por el tamiz #200, mientras que, en el caso de arenas o suelos de grano fino, se considera que más del 50% de las partículas pasan a través del tamiz #200. [21]

Tanto gravas como arenas pueden ser clasificadas de la manera siguiente:

W = bien gradada

P = mal gradada

M = limosas

C = arcillosas

Los suelos con cohesión se categorizan mediante los siguientes sufijos:

C = arcilla

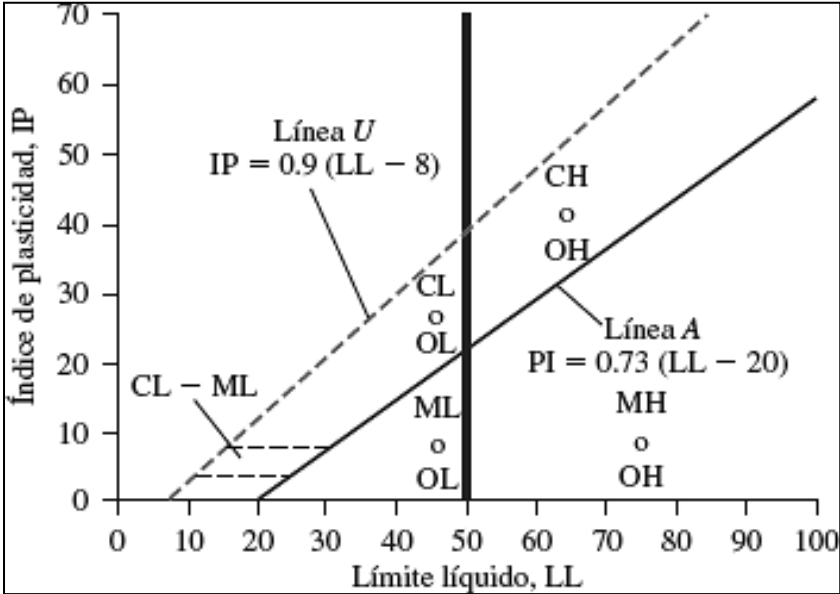
M = limo

O = suelo orgánico

L = baja plasticidad

H = alta plasticidad

Figura 6. Carta de Plasticidad SUCS



Fuente: Fundamentos de la Ingeniería de Cimentaciones. Braja M. Das

[22]

Tabla 4. Sistema de Clasificación SUCS

Divisiones Mayores		Simbolo de grupo	Nombres Típicos	Criterios de clasificación para Suelos granulares		
Suelos de grano grueso (más del 50% de la fracción gruesa es menor que el tamiz N° 200)	Gravas (más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz N° 4)	Gravas Limpias (Pocos o ningún fino)	GW	Gravas bien graduadas, mezcladas gravosas, pocos o ningún fino.	$C_u = D_{60} / D_{10} > 4$ $C_c = 1 < D_{30}^2 / D_{10} * D_{60} < 3$	
			GP	Gravas pobremente graduadas, mezcladas grava-arena, pocos o ningún fino.		No cumplir todo los requisitos de gradación para GW
		Gravas con finos (Cantidad apreciable de finos)	GM	Gravas limosas, mezcla grava arena-limo.	Limite de Atterberg por debajo de la línea A ó $I_p < 4$	A los materiales sobre la línea A con $4 < I_p < 7$ se considera de frontera y se les asigna doble símbolo.
			GC	Grava arcillosas, mezcla grava-arena-arcillosa.		
	Arenas (más de la mitad de la fracción gruesa es menor que el tamiz N°4)	Arenas Limpias (Poco o ningún fino)	SW	Arenas bien graduadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino.	$C_u = D_{60} / D_{10} > 6$ $C_c = 1 < D_{30}^2 / D_{10} * D_{60} < 3$	
			SP	Arenas pobremente graduadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino.		No cumplir todos los requisitos de gradación para SW
		Arenas con finos (Cantidad apreciable de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas arena - limo.	Limite de Atterberg por debajo de la línea A ó $I_p < 4$	Si el material esta con $4 < I_p < 7$ se considera de frontera y se les asigna doble símbolo.
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena -arcilla.		
	Suelos de grano fino (más del 50 % del material pasa el tamiz N° 200)	Limos y arcillas (limite liquido WL < 50)	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con poca plasticidad.	1. Determinar el porcentaje de arenas y gravas de la curva de granulometría. 2. Dependiendo del porcentaje de fino (fracción menor que el tamiz N° 200) los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos del 5% - GW, GP, SW, SP Más del 12% - GM, GC, SM, SC De 5 a 12% - Casos de frontera que requieren doble símbolo.	
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a mediana, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.		
OL			Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad			
Limos y arcillas (limite liquido WL > 50)		MH	Limos inorgánicos, suelos limosos arenosos finos, suelos elásticos.			
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.			
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.			
Suelos altamente orgánicos		Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos.			

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Joseph E. Bowles [23]

2.2.2.4.2. Sistema de Clasificación de suelos AASHTO

El sistema AASHTO fue establecido en 1929 con el propósito de evaluar la idoneidad de un material para su aplicación en la construcción de carreteras, facilitando la evaluación de la calidad de los suelos destinados a ser utilizados como subrasantes, subbases y bases.

Los suelos inorgánicos se dividen en siete grupos, designados del A-1 al A-7. El grupo A-1 se considera el más adecuado para utilizar como material de subrasante, ya que es un suelo bien graduado que comprende diversos tipos de suelos como arena y grava, con proporciones pequeñas de arcilla. Los grupos A-1, A-2 y A-3 son suelos granulares, con un porcentaje del 35% o menos que pasa por el tamiz N° 200. En contraste, los grupos restantes, A-4, A-5, A-6 y A-7, tienen más del 35% que pasa por el tamiz N° 200. Los suelos inorgánicos se clasifican en el grupo A-8. [24]

Los suelos que contienen finos se categorizan mediante su Índice de Grupo (IG), donde, a mayor IG indica una menor calidad del suelo. El sistema AASHTO lleva a cabo la clasificación de los suelos utilizando los siguientes criterios:

Tamaño de partícula (% que pasa a través de los tamices N° 10, N° 40 y N° 200)

Plasticidad (límite líquido, índice de plasticidad)

Sobre tamaños (no se toman en cuenta, pero se registran)

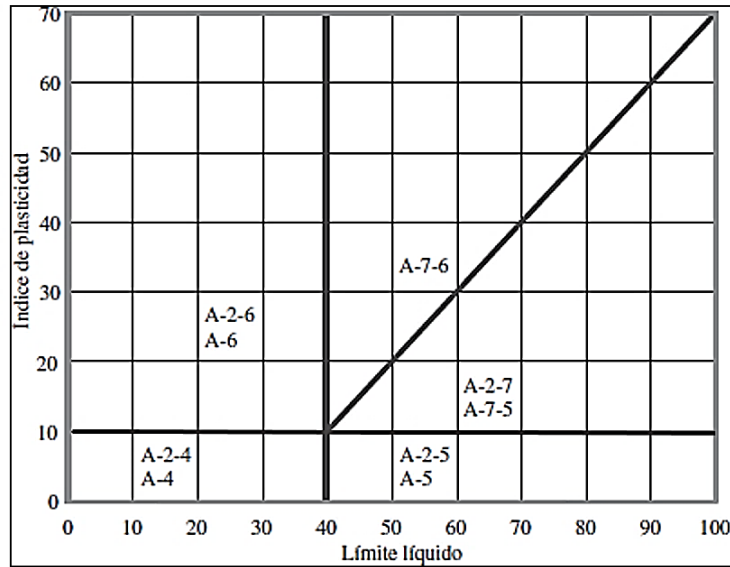
A continuación, se presenta la tabla que se usa para clasificar los suelos:

Tabla 5. Sistema de Clasificación de Suelos –AASHTO

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (MENOS DEL 35% PASA POR EL TAMIZ N° 200)							MATERIALES DE LIMO Y ARCILLA (MÁS DE 35% DE LA MUESTRA TOTAL PASA EL TAMIZ N° 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
Análisis pormallas (% que pasa)											
Malla núm. 10	50 máx										
Malla núm. 40	30 máx	50 máx	51 mín								
Malla núm. 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Para la fricción que pasa											
Malla núm. 40											
Límite Líquido (LL)				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidad (IP)	6 máx	No plástico		10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipo usual de material	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa				Principalmente suelos limosos		Principalmente suelos arcillosos	
Clasificación de la capa	Excelente a buena							Regular a malo			

Fuente: Fundamentos de la Ingeniería de Cimentaciones. Braja M. Das [22]

Figura 7. Rango del índice de plasticidad y límite líquido de los suelos correspondientes a los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7



Fuente: Fundamentos de la Ingeniería de Geotécnica. Braja M. Das [20]

2.2.2.4.1. Límite líquido

El ensayo de límite líquido se mantiene bajo la norma AASHTO T 89 2013 y se usó los materiales de la siguiente tabla:

Tabla 6. Límites de separación de tamaño de suelo

Nombre de la organización	Tamaño de grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de E.U. (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U., Oficina de Reclamación de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (p.ej., limos y arcillas) <0.075	

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Braja M. Das [20]

El proceso para llevar a cabo este ensayo comienza con la colocación de aproximadamente 100 gramos de una muestra representativa de suelo del área de estudio en un horno para su secado. Una vez que la muestra se ha secado por completo, se somete al tamizado mediante un tamiz N°40. Posteriormente, se coloca una porción de esta muestra tamizada y un poco de agua en una cápsula de porcelana. Usando el pistilo de caucho, se procede a mezclar la muestra tamizada con agua hasta obtener una pasta homogénea. Luego, con la asistencia de una espátula plana, se coloca esta pasta en la cuchara de la copa de Casagrande, asegurándose de que su espesor no exceda 1 cm, luego con el acanalador plano o curvo, se procede a cortar deslizándolo hacia la mitad de la cuchara, esto es constante y el acanalador no se lo pasa por más de 6 ocasiones como explica en la normativa, después, se conecta el equipo Casagrande y se contó los golpes relacionados con la muestra hasta que estas mismas se unan, repetimos 2 veces más si el número de golpes es el correcto y se apunta los datos, hay que considerar que los golpes no infieren por más de 1 golpe entre las 2 ocasiones y sus intervalos son de 0 a 10, de 10 a 20, de 20 a 30 y de 30 a 40 golpes, luego, tomamos una muestra de suelo en la parte donde se unieron, dividimos la muestra en 4 partes iguales y tomamos muestra de las 2 partes en la que chocaron, pesamos y lo dejamos secar en el horno por 24 para obtener el contenido de humedad de la misma.

Figura 8. Ensayo de límite líquido



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

2.2.2.4.2. Límite Plástico

Para este ensayo se usó la norma AASHTO T 90 2016, el ensayo implica la creación de rollitos de unos 3 milímetros de diámetro y 5 centímetros de longitud. Se utiliza una muestra representativa de aproximadamente 100 gramos que ha pasado por el tamiz N°40, o se puede utilizar la muestra restante del ensayo de límite líquido, la muestra se coloca en una cápsula de porcelana y se mezcla con agua hasta obtener una masa consistente y moldeable. La masa debe tener la consistencia adecuada para no adherirse a la palma de la mano. Luego, se toma una porción pequeña y se amasa sobre una placa de vidrio con movimientos giratorios a una velocidad de 80 a 90 recorrida, este proceso se repite cinco veces para calcular un promedio del contenido de humedad de cada rollito, permitiendo así determinar el límite plástico.

Cuando el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido se considera al índice plástico como no plástico.

Tabla 7. Valores referenciales del índice plástico

IP>20	Suelos muy arcillosos
IP>10	Suelos arcillosos
IP<4	Suelos poco arcillosos
IP=0	Suelos exentos de arcilla

Fuente: Badillo E. Mecánica de suelos. [25]

Figura 9. Ensayo de límite plástico



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

2.2.2.4.3. Índice de Plasticidad

El índice de plasticidad en un suelo cohesivo se define como la disparidad numérica entre su límite líquido y límite plástico, y su cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$I_p = LL - LP$$

(Ec. 3)

2.2.2.6. Próctor modificado

Este ensayo se basó en la norma AASHTO T 180 2018, En el ensayo, se emplearon 6000 gramos de suelo representativo tamizado con el tamiz N°4. Este suelo se dispuso en una bandeja y se le agregó agua en una proporción específica, siendo importante destacar que la muestra de suelo debía encontrarse completamente seca, de esta manera, se logra controlar la humedad añadida, manteniendo el porcentaje de agua entre un 3% y un 4%, según lo estipulado por la normativa, después de agregar el agua con un palustre, se procede a mezclar la muestra. Posteriormente, la mezcla se divide en cinco partes iguales, correspondientes a capas individuales de suelo. La fracción inicial de la muestra se ubica en el molde, el cual debe reposar sobre una base estable junto con la retorta y el collarín. A través de golpes aplicados con un martillo, se compacta el suelo con 56 golpes por capa, distribuidos en espiral a lo largo de toda la

superficie del suelo, y así se repite de manera continua hasta conformar las 5 capas de suelo. En la última capa, se elimina el collarín y, utilizando un enrazador, se retira cualquier material sobrante en el borde del molde. Después, se procede a pesar solo del molde con la retorta, seguidamente, se extraen dos muestras, una de la parte superior y otra de la parte inferior del molde, para determinar el contenido de humedad. Estas muestras se introducen en el horno y se repite el proceso, incrementando gradualmente el porcentaje de humedad en cada instancia. Este procedimiento se realiza con el objetivo de obtener una curva de compactación claramente definida.

Tabla 8. Datos ensayo Próctor Modificado

Ensayo:	Próctor Modificado			
Norma:	AASHTO T-180			
Pisón (w):	Martillo cilíndrico de 10 lb			
Impacto (b):	Altura de caída 18"			
MÉTODOS	A	B	C	D
Material que pasa	Tamiz #4	Tamiz #4	Tamiz 3/4"	Tamiz 3/4"
Diámetro molde	4"	6"	4"	6"
de capas (n)	5	5	5	5
de golpes (N)	25	56	25	56
estándar (V)	1/30 ft ³	1/13,33 ft ³	1/30 ft ³	1/13,33 ft ³
Energía de compactación (Ec)	$Ec = \frac{N * n * w * h}{V}$			

Fuente: AASHTO T-180. [26]

Figura 10. Ensayo de próctor modificado método B



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

2.2.2.7. California Bearing Ratio (CBR)

El ensayo de CBR se llevó a cabo siguiendo la norma AASHTO T 193 2013. Para este procedimiento, se emplearon 18,000 gramos de suelo representativo, previamente secado y tamizado con el tamiz #4. Se utilizaron también los datos obtenidos en el ensayo de Próctor modificado y el ensayo se realizó de la siguiente manera. Se vierten 6000 gramos de muestra sobre una bandeja y se añade agua en una cantidad equivalente a la humedad óptima determinada en el ensayo de Próctor modificado. Utilizando un palustre, se mezcla la muestra con el agua hasta lograr una consistencia uniforme, esta mezcla se ubica en el molde y se compacta, siguiendo un procedimiento similar al del Próctor modificado. Se forman 5 capas sucesivas, compactando cada una con la ayuda de un martillo, La distinción clave en el ensayo de CBR reside en la cantidad de golpes. En el Próctor, se ejecutan 56 golpes por capa, repitiendo el ensayo 5 veces con diversos porcentajes de humedad. En contraste, en el ensayo de CBR, se emplea la humedad óptima y 3 moldes, en cada molde se disponen de 5 capas de muestra, variando el número de golpes. El primer molde se compacto con 11 golpes, el segundo con 27 golpes y el tercero con 56 golpes. Cada molde contiene 5 capas de suelo y 6000 gramos de muestra, Una vez completada la compactación en cada molde, se extraen dos muestras para determinar el contenido de humedad. En este caso, una muestra se toma de la bandeja y la otra del suelo compactado restante que permanece

en el collarín. Ambas muestras se colocan en el horno durante 24 horas. Después de este período, se retirarán del horno y se pesan.

Siguiendo con los moldes, se elimina la retorta en cada uno y se gira el molde. En el espacio resultante, se colocan las pesas, las cuales deben cumplir con la normativa para simular las cargas de tráfico que soportará el suelo. Posteriormente, los moldes se sumergen durante 72 horas. Después de este período, los moldes saturados se retirarán con precaución y se dejarán secar durante 40 minutos. Una vez secos, se someten a un ensayo en el equipo California Bearing Ratio “CBR” (Multispeed), que proporciona datos en forma de una gráfica de esfuerzo versus deformación. Al concluir el ensayo, se extraen dos muestras: una de la parte superior del molde y otra de la parte inferior, con el objetivo de determinar el contenido de humedad después de saturar la muestra.

Para la interpretación de datos se usa la siguiente fórmula:

$$CBR\% = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} \times 100$$

(Ec. 4)

A continuación, se presentan los valores de carga unitaria que se deben usar en la ecuación:

Tabla 9. Valores de penetración y carga unitaria patrón

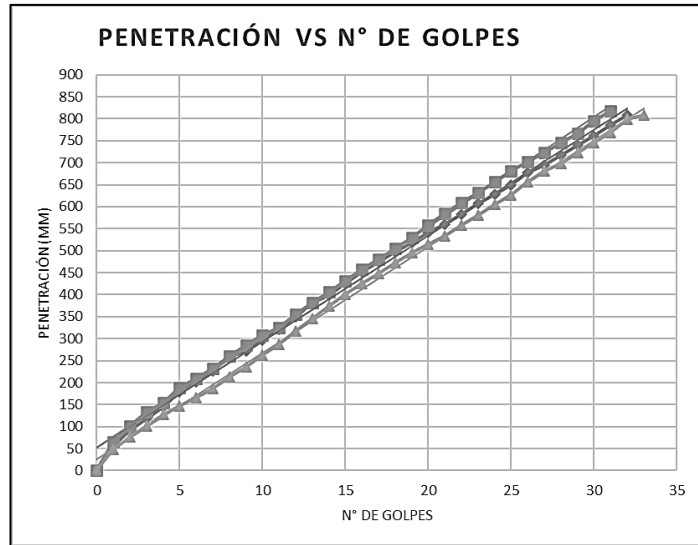
Penetración n pulg	Carga unitaria patrón lb/pulg²
0,1	1000
0,2	1500
0,3	1900
0,4	2300
0,5	2600

Fuente: Bowles. Manual de laboratorio de suelos. [23]

Una vez obtenidos los valores del ensayo California Bearing Ratio “CBR” se procede a dibujar la curva tensiones-penetraciones sobre la cual se leerá el valor de la perforación

para las pulgadas 1/10 y 1/20.

Figura 11. Presión vs penetración



Fuente: Agreda F. El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos. [27]

Tabla 10. Clasificación General de acuerdo con el número CBR

No. CBR	Clasificación general	Usos	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN	
			Unificado	AASHTO
0-3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	Pobre a regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7-20	Regular	Subbase	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20-50	Bueno	Base, subbase	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

Fuente: Joseph E. Bowles. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [23]

Figura 12. Ensayo de “CBR”



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Además, otro resultado derivado del ensayo CBR es el índice de esponjamiento, usamos un Dial en el cual se calcula al sumergir la muestra en agua utilizando la ecuación 4 y se espera que el valor obtenido sea inferior al 2%.

$$E\% = ((Lf - Li)/Hi) \times 100$$

(Ec. 5)

Donde:

E (%): expansión %

Lf: Lectura final

Li: lectura inicial

Hi: Altura inicial de la muestra

Figura 13. Determinación del esponjamiento



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

2.2.3. Fase 2

En la fase dos del proyecto tiene como objetivo determinar un porcentaje óptimo de Cloruro de Sodio y Cloruro de Magnesio con el fin de mejorar la capacidad de soporte del suelo, realizaremos la estabilización de la muestra del suelo cohesivo extraído en la zona alta del cantón Ambato

Los porcentajes a usar para estabilizar un suelo cohesivo con Cloruro de Sodio será del 10, 15 y 20 por ciento y para el Cloruro de Magnesio será del 3, 6, 9 y 12 por ciento, estos valores se toman mediante investigaciones realizadas y que en sus resultados obtenidos calcaron que se puede mejorar las características mecánicas del suelo.

La estabilización de un suelo se desarrollará con los productos químicos con un porcentaje. Su finalidad es desarrollar nuevos materiales que se usen en un futuro referente a la estabilización de suelos, alcanzando una óptima resistencia al corte.

La investigación se lleva a cabo mediante el análisis de libros, bases de datos, artículos científicos, normas, y otros recursos con el objetivo de obtener datos confiables y relevantes. Este enfoque se aplicará en las fases uno y dos del proyecto, ya que cada ensayo de laboratorio sigue su respectiva norma, procedimiento y metodología.

2.2.4. Fase 3

En la fase tres del proyecto, se busca comparar los resultados obtenidos de las propiedades y la estabilización de un suelo cohesivo al aplicar dos productos químicos (Cloruro de Sodio y Cloruro de Magnesio) con las propiedades de las muestras de suelo cohesivo no estabilizadas.

A través de los ensayos, se llevará a cabo una tabulación de datos con el propósito de comparar los resultados y destacar cualquier mejora en las propiedades del suelo gracias a la aplicación de los deliquescentes como son el Cloruro de Sodio (NaCl) y Cloruro de Magnesio (MgCl₂)

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados.

Antes de detallar los experimentos llevados a cabo, se indica la nomenclatura y unidades utilizadas en esta investigación experimental.

Tabla 11. Nomenclatura de variables usadas en los ensayos

N°	Nomenclatura	Descripción	Unidad
1	ω	Contenido de humedad natural	%
2	LL	Límite líquido	%
3	LP	Límite plástico	%
4	IP	Índice de plasticidad	%
5	Gs	Gravedad específica	-
6	G	Porcentaje de grava	%
7	A	Porcentaje de arena	%
8	F	Porcentaje de fino	%
9	γ_m in situ	Densidad húmeda in situ	gr/cm ³
10	γ_d in situ	Densidad seca in situ	gr/cm ³
11	Gc	Grado de compactación	%

12	W óptimo	Contenido de humedad óptimo	%
13	CBR	CBR	%
14	DN	Índice de penetración	%
15	Pasa 200	Suelo que pasa el tamiz 200	mm/golpe
16	Cu	Coefficiente de uniformidad	-
17	Cc	Coefficiente de curvatura	-
18	SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos	-
19	AASHTO	Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transporte Oficial	-

Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

A continuación, se presentan los resultados de las propiedades índice y mecánicas, utilizando la muestra de suelo representativas de la parroquia Quisapincha, provincia de Tungurahua.

3.1.1. Propiedades índice del suelo en estado natural

3.1.1.1. Contenido de humedad

En los datos obtenidos del contenido de humedad se muestra que se obtiene un promedio de 26.76%

Tabla 12. Promedio del contenido de humedad

PARROQUIA	Contenido de humedad (ω %)
Quisapincha	26.76

Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

3.1.1.2. Granulometría

A través del análisis granulométrico, en la tabla 13 se determinaron los valores del diámetro eficaz, diámetro equivalente y diámetro dimensional de 0.025, 0.041 y 0.086 respectivamente.

Tabla 13. Coeficientes del suelo

COEFICIENTES DEL SUELO	
D10 (mm)	0.025
D30 (mm)	0.041
D60 (mm)	0.086

Además, en la tabla 14 se observó que hay una presencia mínima de gravas, representando un 0.79% del material total. En cuanto a las arenas, constituyen el 45.34%, mientras que los suelos finos representan el 53.87% del total.

Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Tabla 14. Resultados del ensayo de Granulometría

GRANULOMETRÍA					
PARROQUIA	GRAVA (G) (%)	ARENA (A) (%)	FINOS (F) (%)	Cu	Cc
Quisapincha	0.79	45.34	53.87	3.48	0.78

Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Después de obtener los porcentajes de grava, arena y finos, se determinó el coeficiente de uniformidad (Cu) obteniendo un valor de 3.48, haciendo referencia a un suelo muy uniforme. En cuanto al coeficiente de curvatura (Cc), su valor de 0.78 sugiere que el suelo está mal graduado, ya que se encuentra fuera del rango establecido de 1-3. [21]

3.1.1.3. Gravedad específica

En este ensayo obtuvimos un valor de 2.684, encontrándose en un rango entre 2.67-2.70 siendo un tipo de suelo arena limosa como lo indica en la tabla 3.

Tabla 15. Resultados del ensayo de Gravedad Específica

PARROQUIA	TEMPERATURA (°C)	GRAVEDAD ESPECÍFICA (Gs)
Quisapincha	20	2.684

Fuente: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

3.1.1.4. Límites de Atterberg

En los resultados de los límites de Atterberg, se identificaron datos para el límite líquido, siendo este de 25.34%. Este valor indica que el suelo analizado posee baja plasticidad, al ser inferior al 50%. Además, el límite plástico registra un valor de 21.53%, y el índice de plasticidad se sitúa en 3.81%. Según las cartas de plasticidad de la Clasificación SUCS y AASHTO, estos valores son menores al 50%, lo que clasifica al suelo como de baja plasticidad y con presencia de arcilla, arena y limo.

Tabla 16. Resultados del ensayo de Límites de Atterberg

PARROQUIA	Límite Líquido (LL) (%)	Límite Plástico (LP) (%)	Índice de Plasticidad (IP) (%)
Quisapincha	25.34	21.53	3.81

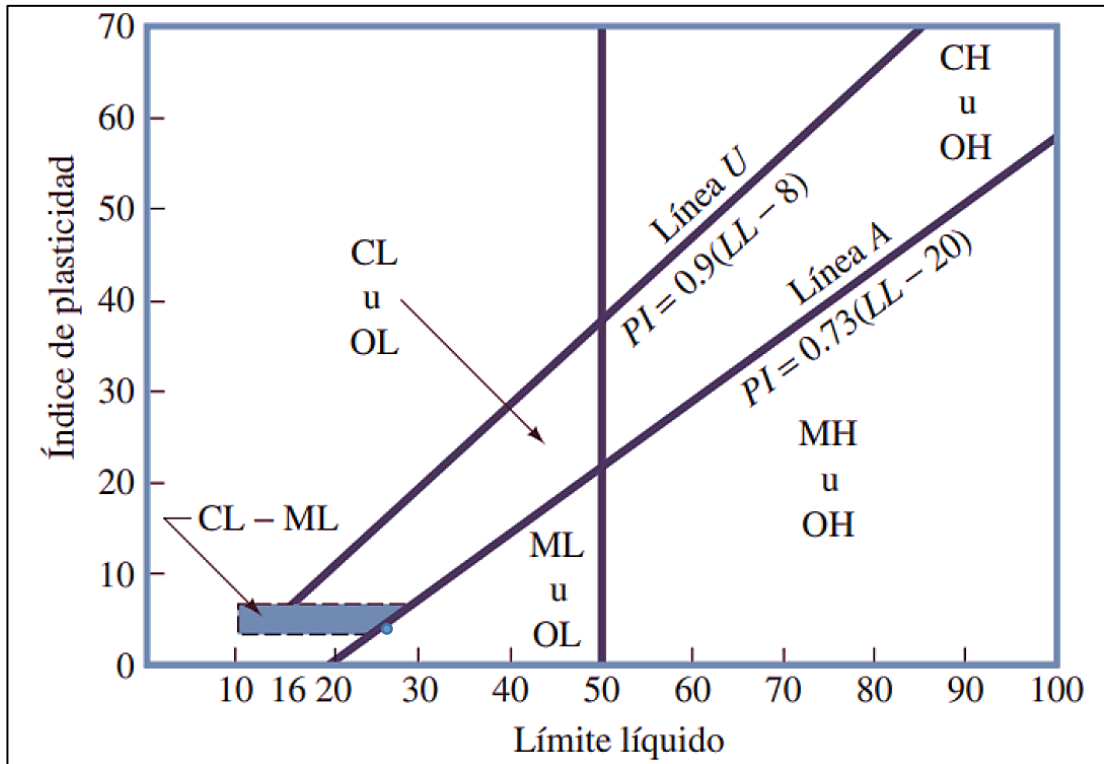
Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

3.1.1.4.1 Clasificación de los suelos

La categorización de los suelos se efectuó teniendo en cuenta los sistemas AASHTO y SUCS, empleando los resultados obtenidos en los análisis de granulometría y límites de Atterberg.

En la figura 14 subsiguiente de la carta de plasticidad según el sistema SUCS, se evidencia que la muestra representativa de suelos se encuentra clasificada en el grupo ML.

Figura 14. Carta de plasticidad Sistema SUCS

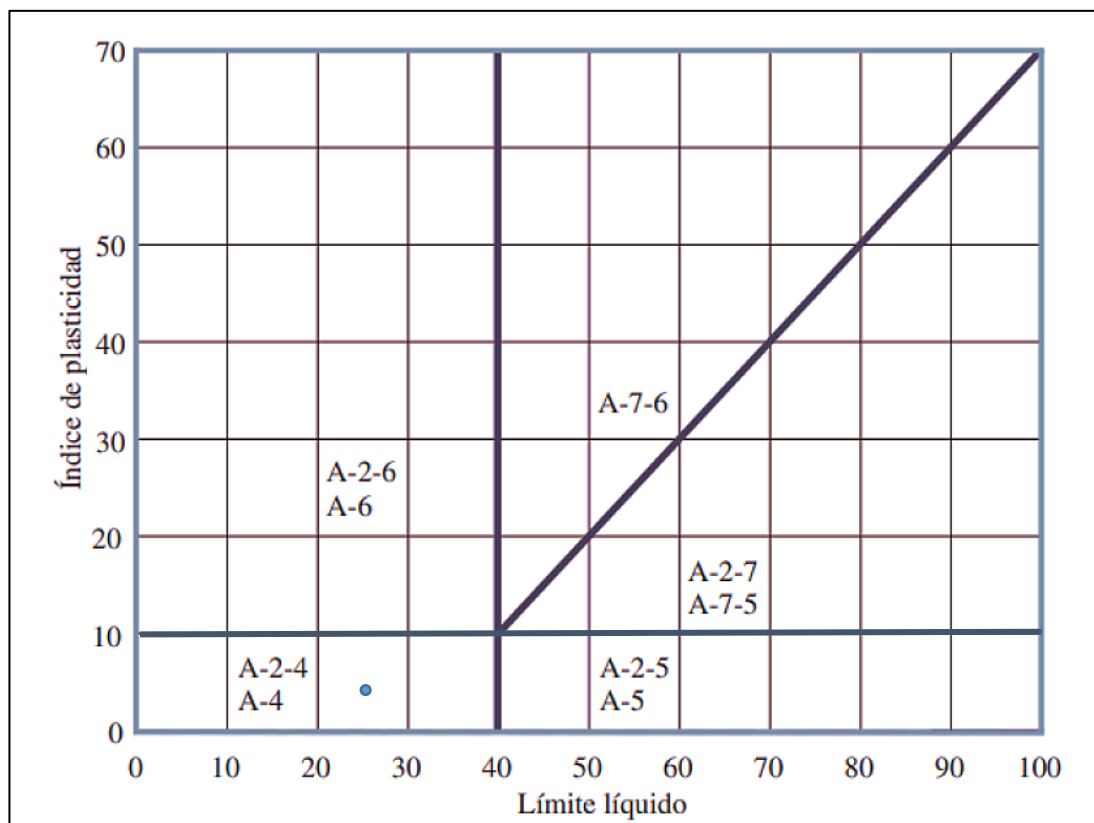


Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se observa que la muestra representativa de suelo de la parroquia Quisapincha está clasificada como limos y arcillas, suelo de grano fino.

En la figura siguiente de la carta de plasticidad según el sistema AASHTO, muestra la representación del suelo ubicada en el grupo A-4.

Figura 15. Carta de plasticidad Sistema AASHTO



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Según el sistema AASHTO, se determinó que la muestra de suelo de la parroquia Quisapincha se clasifica en el grupo A-4, lo que indica que es un material limoso.

3.1.2. Propiedades Mecánicas del suelo en estado natural y estabilizado

3.1.2.1. Próctor Modificado

A través de la realización del ensayo de Próctor Modificado, se identificó tanto el contenido de humedad óptimo como la densidad seca máxima con la adición de Cloruro de Sodio (10%, 15%, 20%) y Cloruro de Magnesio (3%, 6%, 9% y 12%).

Tabla 17. Resultados del ensayo Próctor modificado Método B y agregado de NaCl

-	Suelo Natural	NaCl 10%	NaCl 15%	NaCl 20%
Densidad seca máxima ($\gamma_{m\acute{a}x}$) (g/cm ³)	1.622	1.702	1.739	1.710

Humedad Óptima (W% óptimo)	21.00	18.50	17.00	18.18
---------------------------------------	-------	-------	-------	-------

Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

En la tabla 17 se aprecian los resultados dados para un suelo en estado natural con un valor de 1.622 g/cm³ de densidad seca máxima y 21.00% de humedad óptima, incorporando Cloruro de Sodio, varía entre 1.702 g/cm³ y 1.739 g/cm³ de densidad seca máxima y de humedad óptima en un rango de 17.00% y 18.50%.

En la Tabla 18 se aprecia datos obtenidos tanto en el suelo natural, como incorporando Cloruro de Magnesio:

Tabla 18. Resultados del ensayo Próctor modificado Método B agregando MgCl₂

-	MgCl ₂ 3%	MgCl ₂ 6%	MgCl ₂ 9%	MgCl ₂ 12%
Densidad seca máxima ($\gamma_{\text{máx}}$) (g/cm³)	1.644	1.721	1.742	1.560
Humedad Óptima (W% óptimo)	19.48	21.20	20.00	21.00

Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Los resultados obtenidos agregando Cloruro de Magnesio a un suelo en estado natural se encuentra entre 1.644 g/cm³ y 1.742 g/cm³ de densidad seca máxima y de humedad óptima en un rango de 19.48% a 21.20%.

3.1.2.2. California Bearing Ratio (CBR)

Tabla 19. Contenido de Humedad Óptima vs NaCl

CBR		Suelo Natural (%)	NaCl 10%	NaCl 15%	NaCl 20%
95% (máx)	0.1 in	14.30	14.70	15.60	12.20
	0.2 in	13.99	15.00	17.00	13.50
	Máx	14.30	15.00	17.00	13.50

Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

El resultado del CBR de un suelo en estado natural se obtiene de 14.30%, incorporando Cloruro de Sodio a un suelo en estado natural se obtiene valores que varían de 15.00% y 33.50% lo que indica que va de regular a buena según la Tabla 10. [23]

Tabla 20. CBR vs MgCl₂

CBR		MgCl ₂	MgCl ₂	MgCl ₂	MgCl ₂
		3%	6%	9%	12%
95% (máx)	0.1 in	14.10	29.10	28.90	24.30
	0.2 in	14.60	24.10	31.80	22.90
	Máx	14.60	29.10	31.80	24.30

Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Los resultados del ensayo CBR con agregado de Cloruro de Magnesio se encuentra en el rango de 14.60% y 31.80 %, lo que indica que va de regular a buena según la Tabla 10. [23]

3.1.2.2.1. Esponjamiento

A continuación, se presentan los datos obtenidos en la medición del esponjamiento de un suelo y con la adición de delicuescentes.

En la tabla 21 se detallan los resultados obtenidos del esponjamiento de un suelo en estado natural y con la incorporación del Cloruro de Magnesio:

Tabla 21. Esponjamiento del suelo en estado natural y con la adición del MgCl₂

ESPONJAMIENTO			
Suelo limoso	Esponjamiento lineal relativo (%)		
	56	27	11
Suelo en estado natural	0.70	0.73	0.80
Cloruro de Magnesio 3%	0.63	0.65	0.66
Cloruro de Magnesio 6%	0.64	0.65	0.68
Cloruro de Magnesio 9%	0.63	0.65	0.68
Cloruro de Magnesio 12%	0.66	0.71	0.77

Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

El suelo en estado natural se tiene un esponjamiento lineal relativo de 0.70%, 0.73% y 0.80% al ser ensayado con 56 golpes, 27 golpes y 11 golpes respectivamente, el resultado más alto se tiene al agregar 12% de Cloruro de Magnesio dando 0.66% con 56 golpes, 0.71% con 27 golpes y 0.77% con 11 golpes.

Tabla 22. Esponjamiento del suelo en estado natural y con la adición del NaCl

ESPONJAMIENTO			
Suelo limoso	Esponjamiento lineal relativo (%)		
	56	27	11
Suelo en estado natural	0.70	0.73	0.80
Cloruro de Sodio 10%	0.40	0.49	0.61
Cloruro de Sodio 15%	0.44	0.50	0.60
Cloruro de Sodio 20%	0.62	0.68	0.70

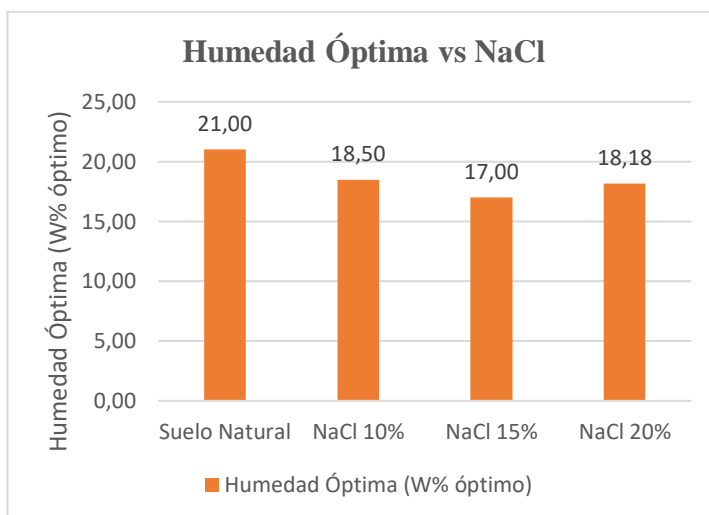
Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

En la tabla 22 se aprecia los datos obtenidos incorporando Cloruro de Sodio a un suelo cohesivo en estado natural siendo el valor más alto agregando 20% de Cloruro de Sodio, el esponjamiento lineal relativo es de 0.70% al ser ensayado con 11 golpes, 0.68% con 27 golpes y 0.62% con 56 golpes.

3.1.3. Contenido de Humedad Óptimo

En la Figura 16 resaltan valores del contenido de humedad óptima en estado natural e incorporando Cloruro de Sodio:

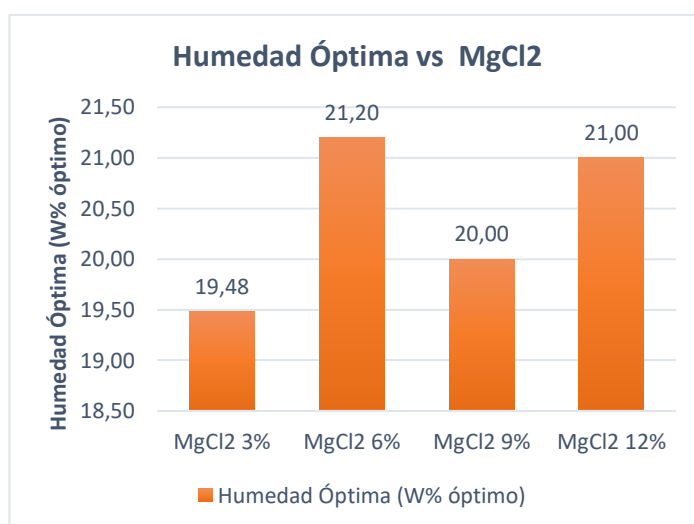
Figura 16. Contenido de Humedad Óptima vs NaCl



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se identifica el contenido óptimo de humedad de un suelo limoso en estado natural de 21%. Al incorporar 15% se establece la humedad óptima de Cloruro de Sodio con un porcentaje de 17.00%.

Figura 17. Contenido de Humedad Óptima vs MgCl2



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

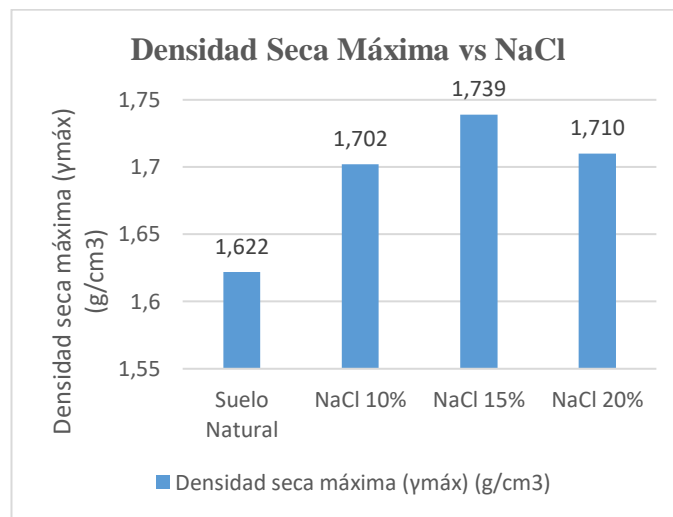
En la figura 17, se observa que para llegar a un porcentaje óptimo de humedad se necesita de 6% de Cloruro de Magnesio dando un porcentaje 21.20%. Se establece que la adición progresiva de este compuesto tiene un impacto negativo en el contenido

óptimo de humedad, disminuyendo al 20.00% con una incorporación del 9% del químico y al agregar un 12% este químico alcanza un valor de 21.00%.

3.1.4. Densidad Seca Máxima

Se analiza el porcentaje de suelo natural con la adición de cloruro de Magnesio como se indica en la figura 18:

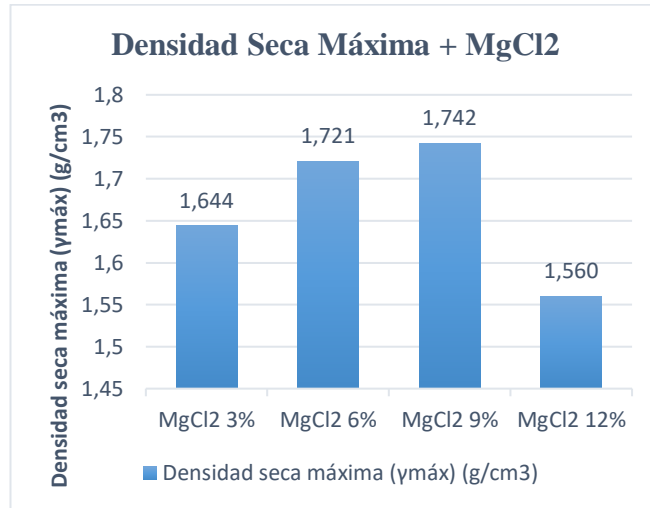
Figura 18. Densidad Seca Máxima vs NaCl



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se puede apreciar la variación de la máxima densidad seca, para un suelo natural se obtiene un valor de 1.622 g/cm³. Agregando 10% se tiene una densidad seca máxima de 1.705 g/cm³ siendo el óptimo de Cloruro de Sodio, incorporando 15% se obtiene un valor de 1.739 g/cm³, pero, incorporando 20% de este compuesto, disminuye a 1.710 g/cm³.

Figura 19. Densidad Seca Máxima vs MgCl2



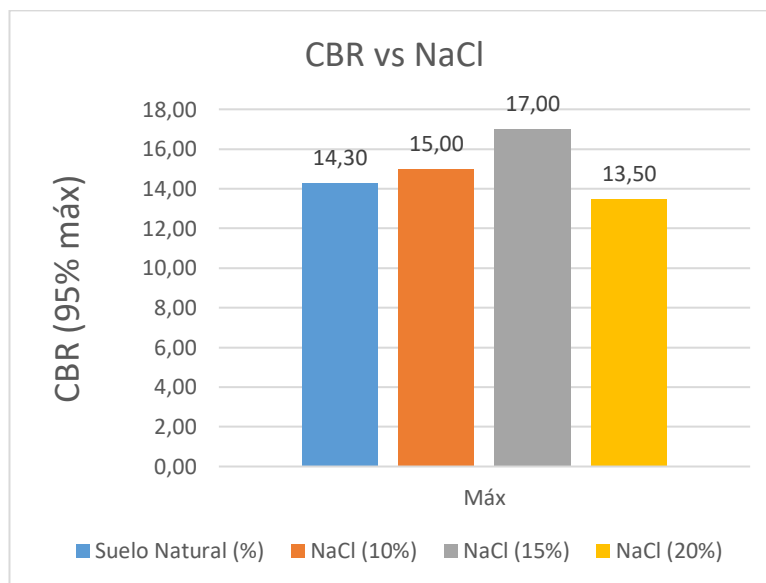
Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

En la figura 19, se detalla la densidad seca máxima de 1.742 al agregar un 9% de Cloruro de Magnesio en su mayor valor, además, al incorporar este compuesto reduce al 1.560 con una adición del 12% de Cloruro de Magnesio.

3.1.5. CBR Óptimo

En la figura 20 se analiza el CBR de un suelo en estado natural y con la adición del Cloruro de Sodio:

Figura 20. CBR vs NaCl

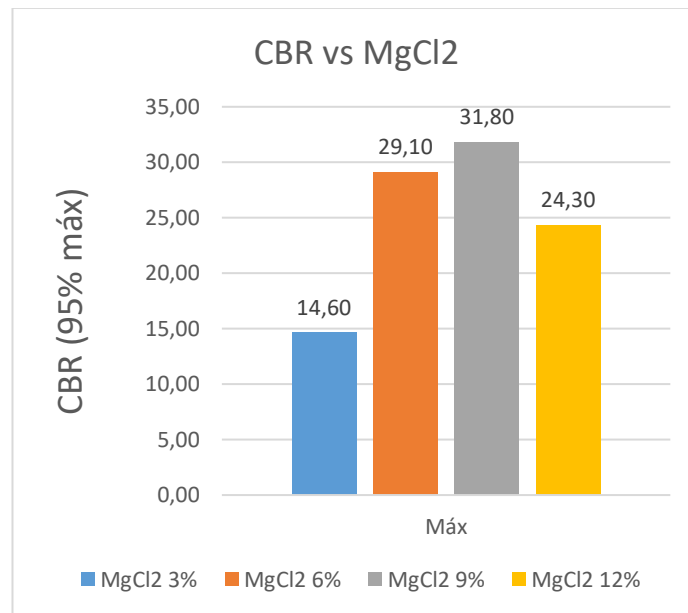


Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se detalla el CBR de un suelo en estado natural siendo el valor mayor de 14.30%, con la adición del Cloruro de Sodio al 15% se obtiene un porcentaje óptimo, obteniendo un valor de 17.00%, si se aumenta al 20% este disminuye al 13.50% disminuyendo drásticamente.

Se analiza el CBR óptimo con la utilización de delicuescentes como es el Cloruro de Magnesio tal y como se aprecia en la figura 21:

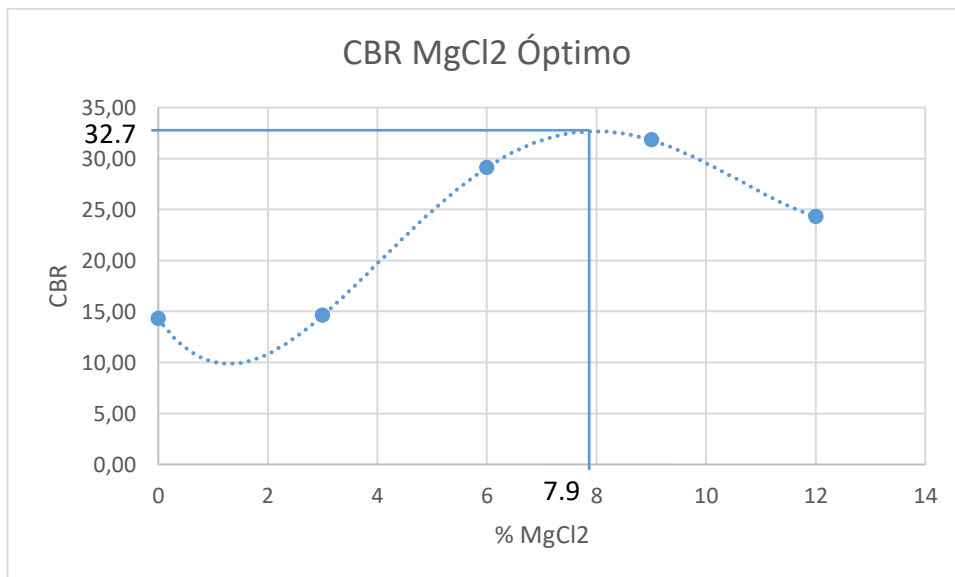
Figura 21. CBR vs MgCl2



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se detalla el CBR óptimo adicionando 9% Cloruro de Magnesio, se obtiene un porcentaje óptimo de 31.80%, si se aumenta al 12% se obtiene un valor de 24.30% experimentando una disminución.

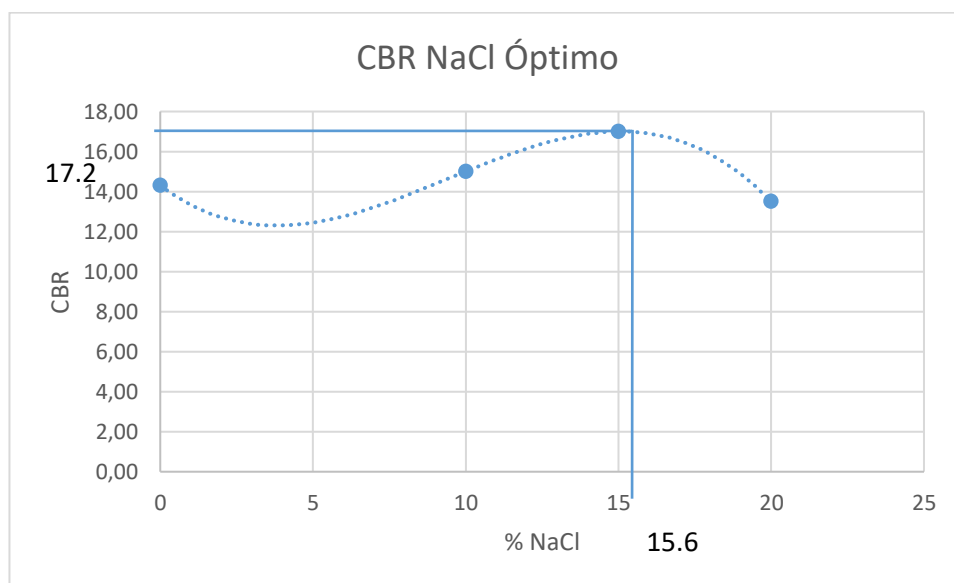
Figura 22. CBR MgCl₂ Óptimo



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

En la figura 22 se determina que con el 7.9% de adición a un suelo limoso se obtiene una mejora del 32.7% de CBR.

Figura 23. CBR NaCl Óptimo

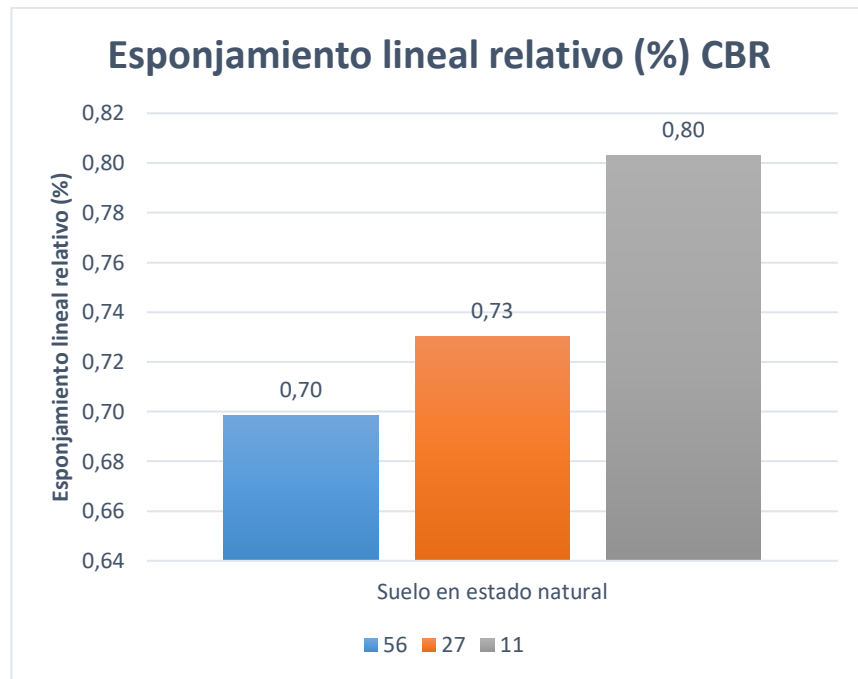


Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

En la figura 23, se establece que con el 15.6% de adición a un suelo limoso se obtiene una mejora del 17.2% de CBR.

3.1.5.1. Esponjamiento lineal relativo

Figura 24. Esponjamiento lineal relativo (%) CBR



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

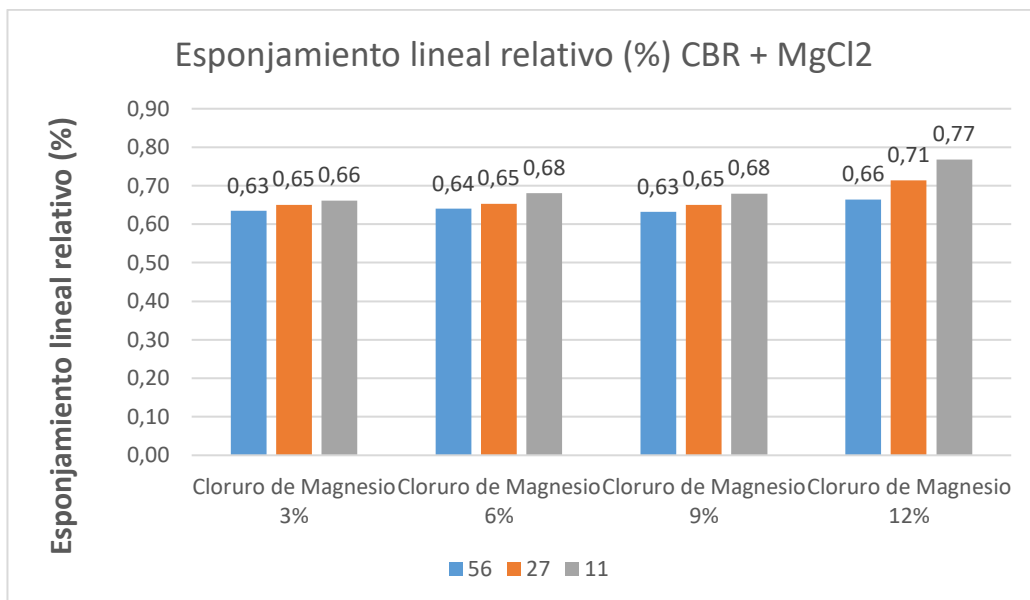
En la figura 24, se puede apreciar cómo la expansión aumenta en un suelo en estado natural a medida que transcurre el período de inmersión. En las muestras evaluadas al tercer día de inmersión se tiene el valor más alto. A continuación, se proporcionan los detalles correspondientes:

Con 56 golpes se obtiene esponjamiento de 0.70

Con 27 golpes se obtiene esponjamiento de 0.73

Con 11 golpes se obtiene esponjamiento de 0.80

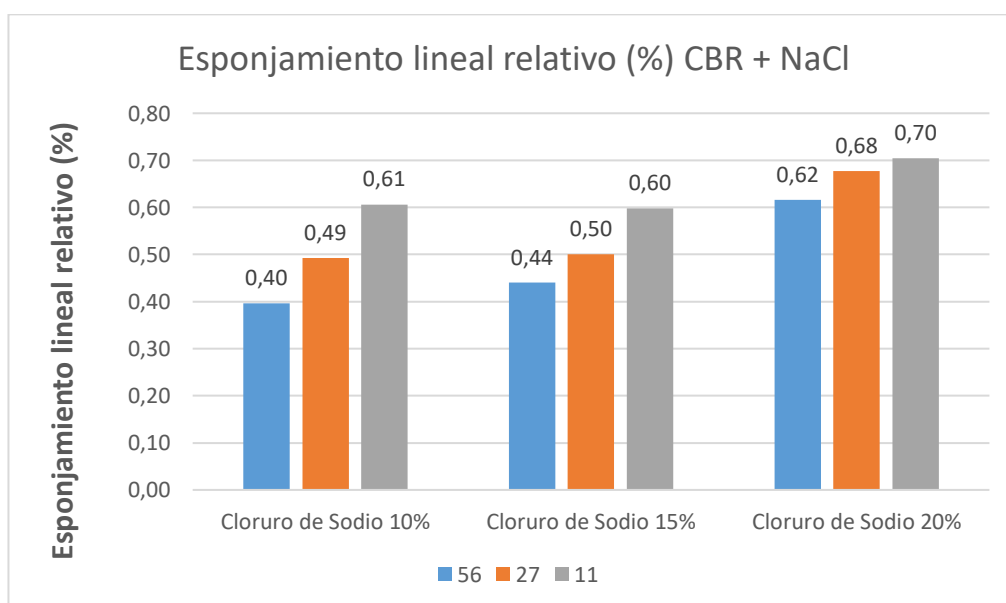
Figura 25. Esponjamiento lineal relativo (%) CBR + MgCl₂



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

En la figura 25 se observa como el esponjamiento incrementa a medida que pasa el tiempo de sumersión. Se analiza que la combinación de un suelo en estado natural + 9% de Cloruro de Magnesio tiene un esponjamiento óptimo, incrementando al 12% de Cloruro de Magnesio, el esponjamiento aumenta su volumen siendo el más alto con 11 golpes con un porcentaje de 0.77%.

Figura 26. Esponjamiento lineal relativo (%) CBR + NaCl



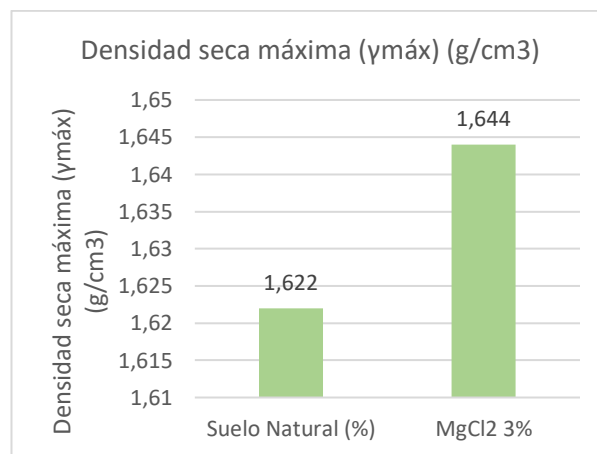
Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

En la figura 26, se evidencia un aumento en la expansión a medida que transcurre el tiempo de inmersión. Se destaca que la combinación de un suelo en su estado natural con un 15% de Cloruro de Sodio muestra un menor esponjamiento, siendo éste el valor óptimo. Sin embargo, la concentración de Cloruro de Sodio al 20%, se observa un aumento en el esponjamiento, con incrementos de 0.62%, 0.68% y 70% aplicando 56, 27 y 11 golpes.

3.1.6. Análisis comparativo del suelo limoso y con la adición de los agentes estabilizadores

3.1.6.1. Densidad seca máxima vs MgCl

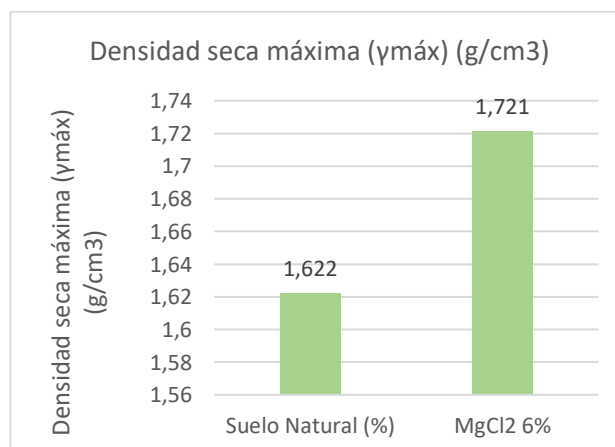
Figura 27. Densidad seca máxima del suelo limoso vs MgCl₂ 3%



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se establece mediante la figura 27 que el valor de la densidad seca máxima del suelo limoso con respecto al 3% de Cloruro de Magnesio, presenta un aumento del 101.36%.

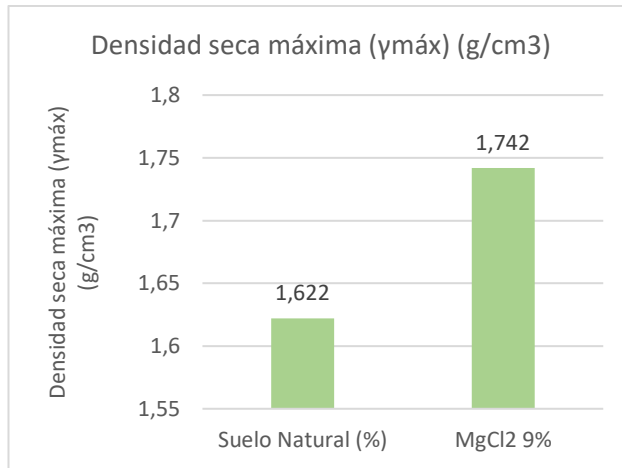
Figura 28. Densidad seca máxima del suelo limoso vs MgCl₂ 6%



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

La figura 28 indica que la densidad seca máxima del suelo limoso aumenta en un 106.10% en relación con el 6% de Cloruro de Magnesio.

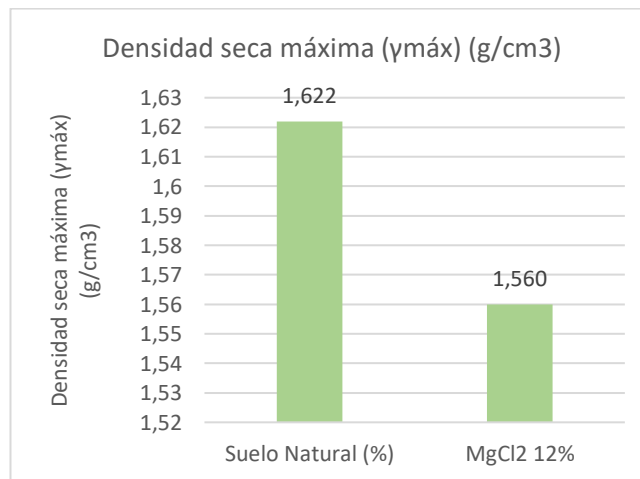
Figura 29. Densidad seca máxima del suelo limoso vs MgCl₂ 9%



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

La figura 29 muestra un incremento del 107.40% en el valor de la densidad seca máxima del suelo limoso en incorporando el 9% de Cloruro de Magnesio.

Figura 30. Densidad seca máxima del suelo limoso vs MgCl₂ 12%

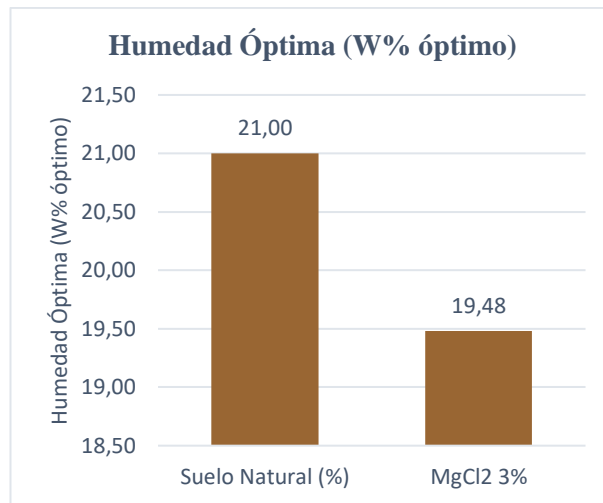


Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

La figura 30 indica que la densidad seca máxima del suelo limoso experimenta una disminución del 96.18% en relación con el 12% de Cloruro de Magnesio.

3.1.6.2. Humedad óptima vs MgCl

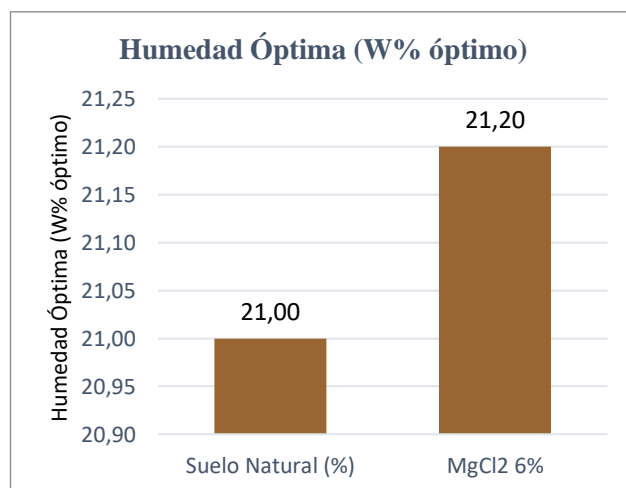
Figura 31. Humedad óptima del suelo limoso vs MgCl₂ 3%



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se establece mediante la figura 31 que el valor de la humedad óptima del suelo limoso con respecto al 3% de Cloruro de Magnesio, presenta un decrecimiento del 92.76%.

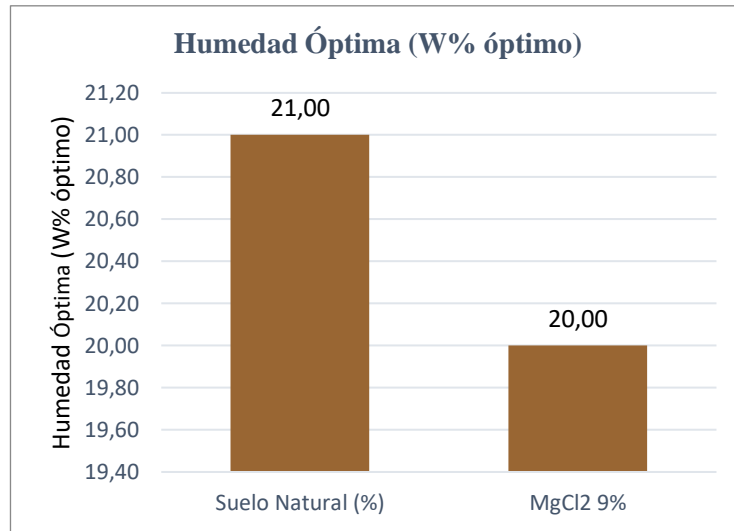
Figura 32. Humedad óptima del suelo limoso vs MgCl₂ 6%



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

La figura 32 indica que el valor de la humedad óptima del suelo limoso, en comparación con el 6% de Cloruro de Magnesio, experimenta un incremento del 100.95%.

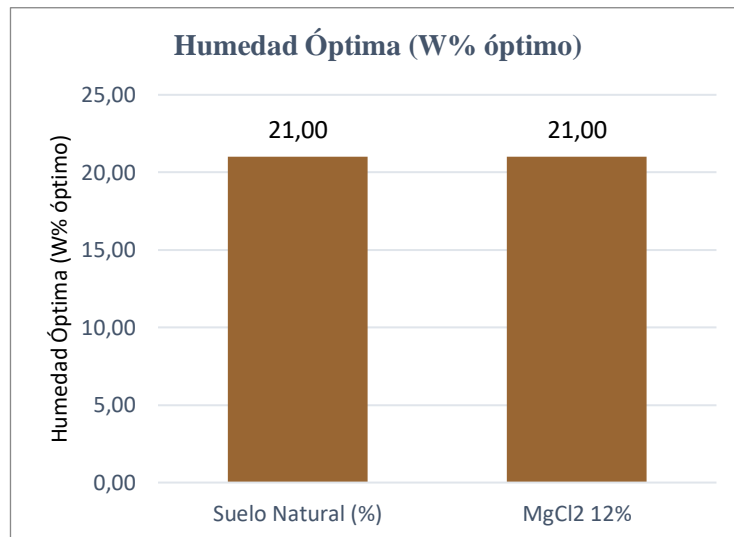
Figura 33. Humedad óptima del suelo limoso vs MgCl₂ 9%



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se establece mediante la figura 33 que el valor de la humedad óptima del suelo limoso con respecto al 9% de Cloruro de Magnesio, presenta una reducción del 95.24%.

Figura 34. Humedad óptima del suelo limoso vs MgCl2 12%

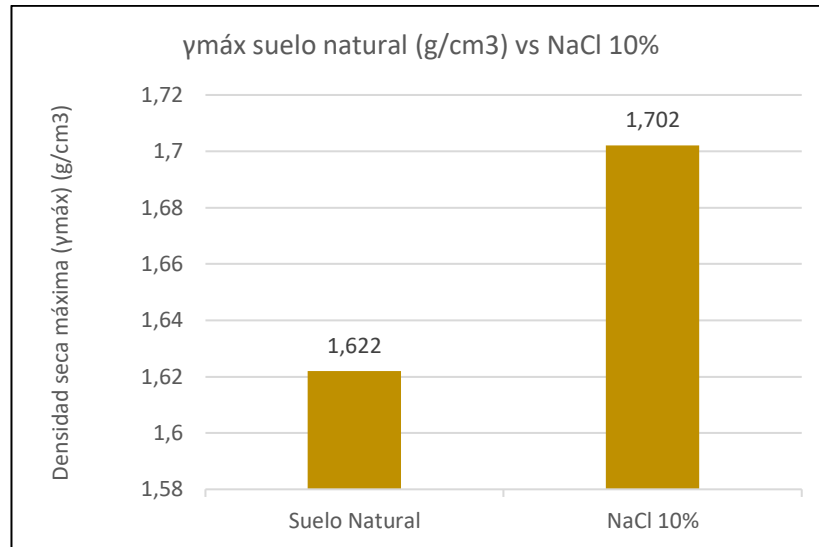


Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se establece mediante la figura 34 que el valor de la humedad óptima del suelo limoso con respecto al 12% de Cloruro de Magnesio, presenta una igualdad sin afectar al suelo limoso.

3.1.6.3. Densidad seca máxima vs NaCl

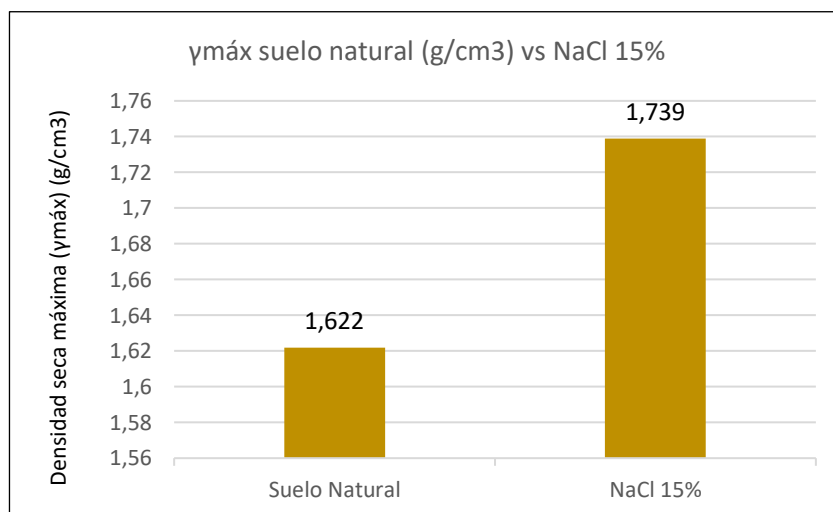
Figura 35. Densidad seca máxima del suelo limoso vs NaCl 10%



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se establece mediante la figura 35 que el valor de la densidad seca máxima del suelo limoso con respecto al 10% de Cloruro de Sodio, presenta un aumento del 104.93%.

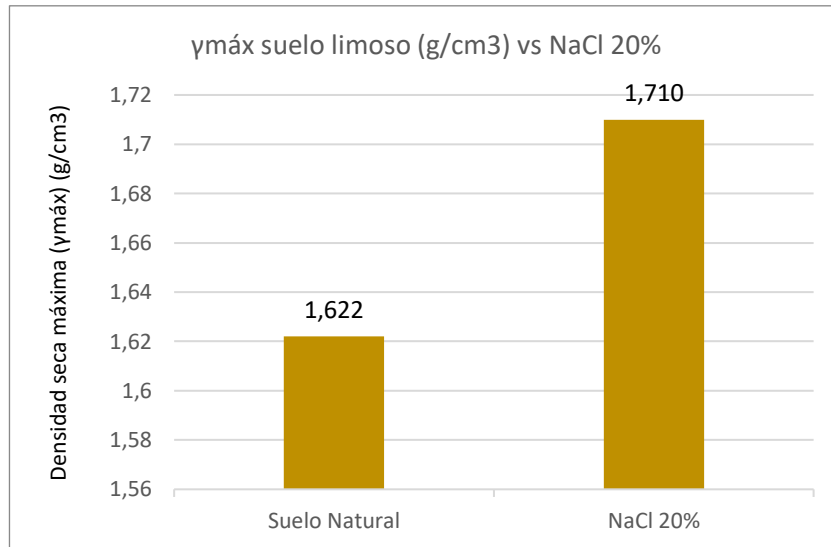
Figura 36. Densidad seca máxima del suelo limoso vs NaCl 15%



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se establece mediante la figura 36 que el valor de la densidad seca máxima del suelo limoso con respecto al 15% de Cloruro de Sodio, presenta un aumento del 107.21%.

Figura 37. Densidad seca máxima del suelo limoso vs NaCl 20%

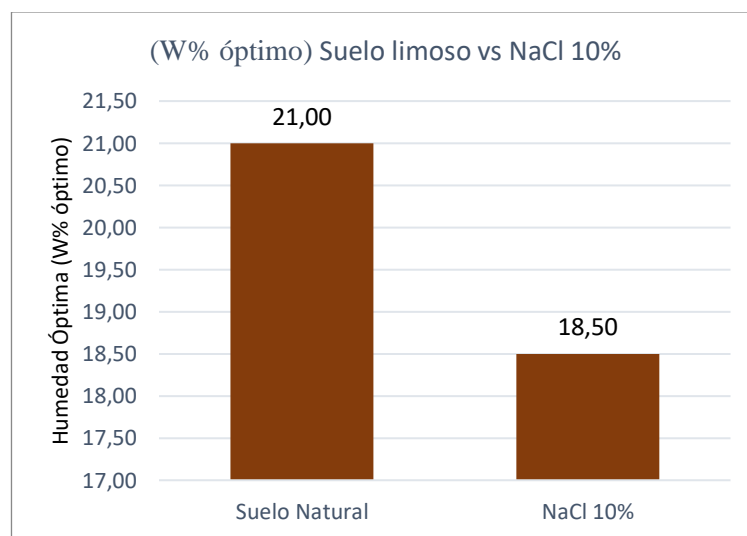


Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se establece mediante la figura 37 que el valor de la densidad seca máxima del suelo limoso con respecto al 20% de Cloruro de Sodio, presenta un aumento del 105.43%.

3.1.6.4. Humedad óptima vs NaCl

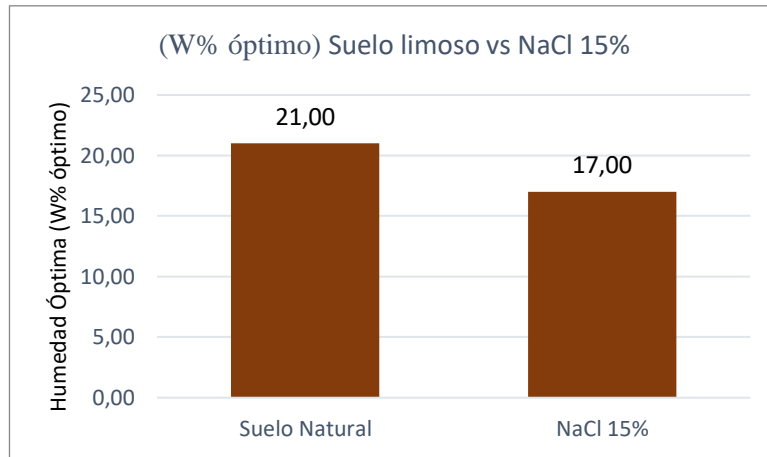
Figura 38. Humedad óptima del suelo limoso vs NaCl 10%



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se establece mediante la figura 38 que el valor de la humedad óptima del suelo limoso con respecto al 10% de Cloruro de Sodio, experimenta una disminución del 88.10%

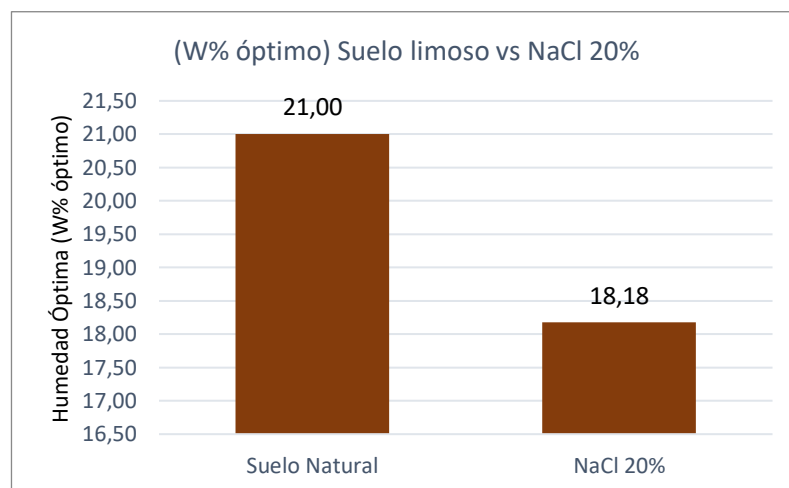
Figura 39. Humedad óptima del suelo limoso vs NaCl 15%



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se establece mediante la figura 39 que el valor de la humedad óptima del suelo limoso con respecto al 15% de Cloruro de Sodio, presenta una disminución del 80.95%

Figura 40. Humedad óptima del suelo limoso vs NaCl 20%

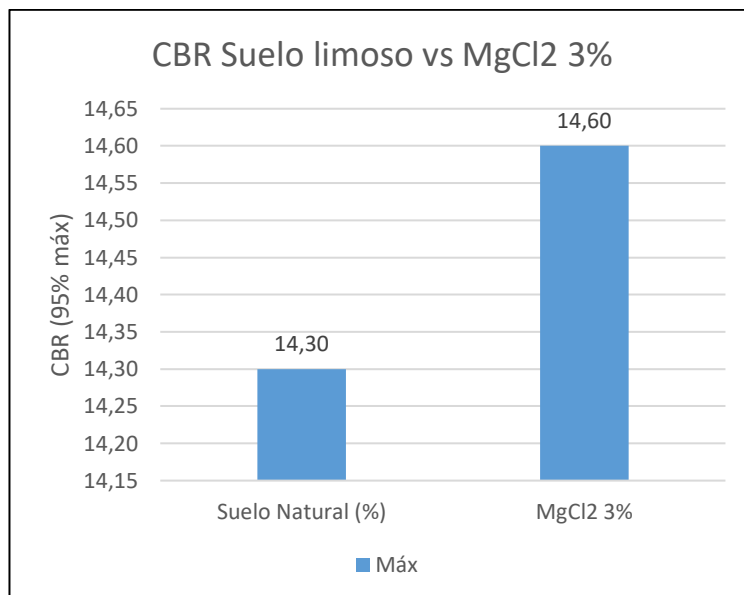


Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se establece mediante la figura 40 que el valor de la humedad óptima del suelo limoso con respecto al 20% de Cloruro de Sodio, experimenta una disminución del 86.57%.

3.1.6.5. CBR vs MgCl₂

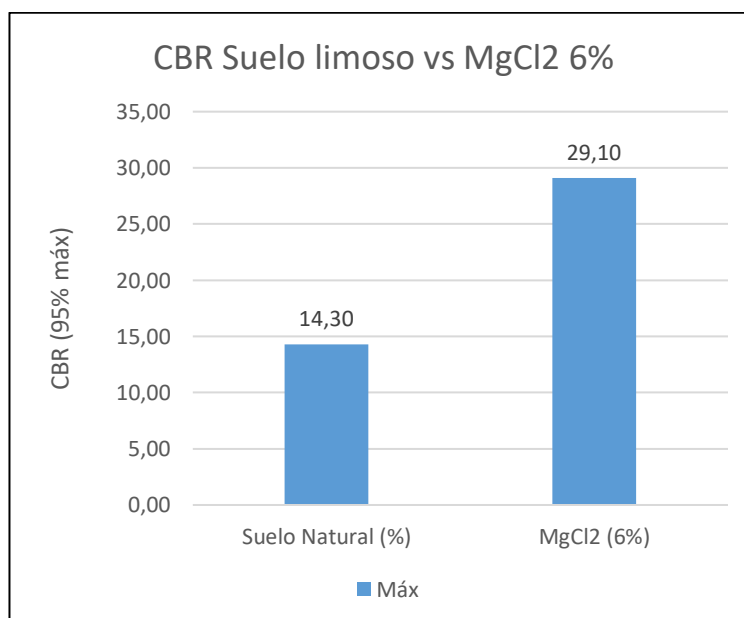
Figura 41. CBR del suelo limoso vs MgCl₂ al 3%



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se establece mediante la figura 41 que el valor del CBR del suelo limoso con el agregado del 3% de Cloruro de Magnesio, presenta un aumento del 102.10%.

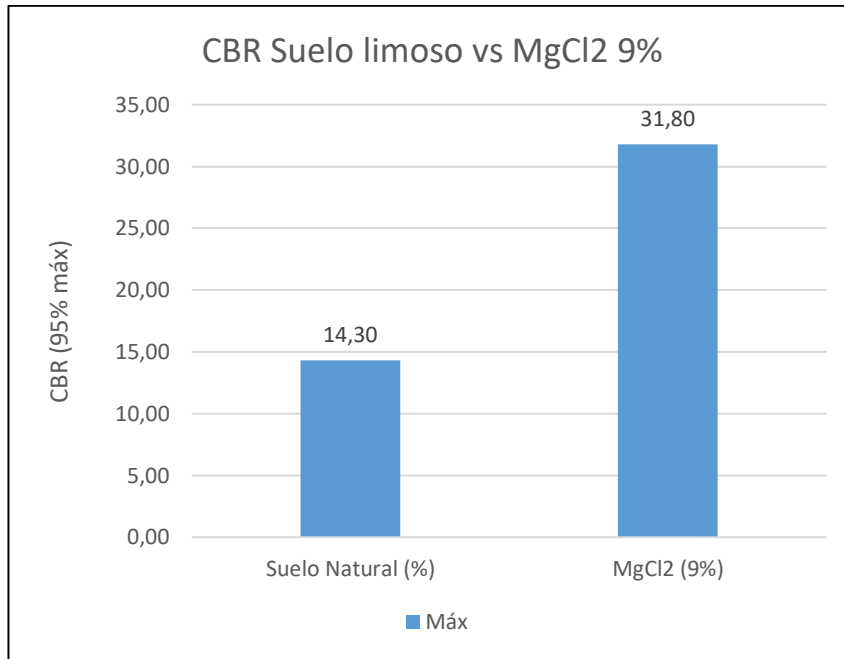
Figura 42. CBR del suelo limoso vs MgCl2 al 6%



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se establece mediante la figura 42 que el valor del CBR del suelo limoso con el agregado del 6% de Cloruro de Magnesio, presenta un aumento del 203.50%.

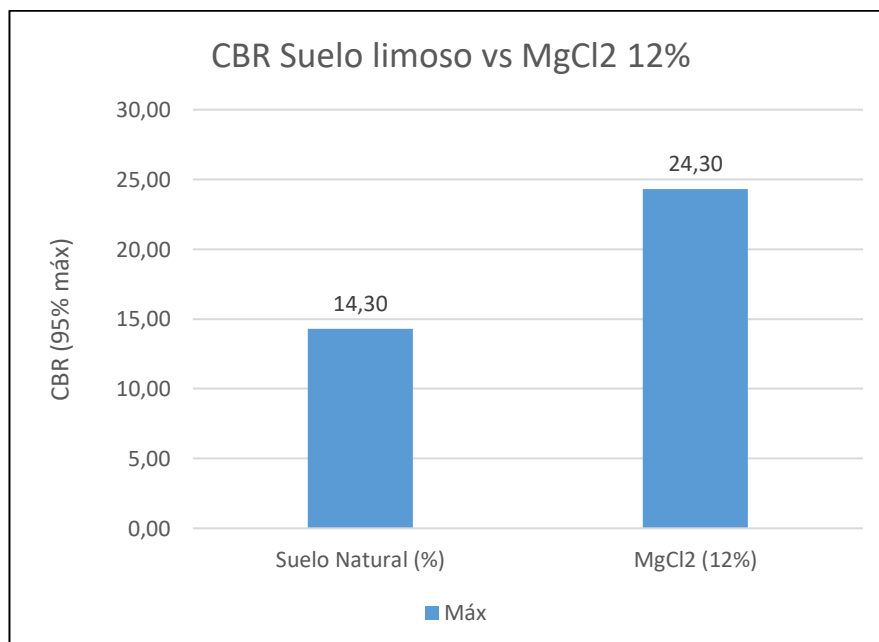
Figura 43. CBR del suelo limoso vs MgCl2 al 9%



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se establece mediante la figura 43 que el valor del CBR del suelo limoso con el agregado del 9% de Cloruro de Magnesio, presenta un aumento del 222.38%.

Figura 44. CBR del suelo limoso vs MgCl2 al 12%

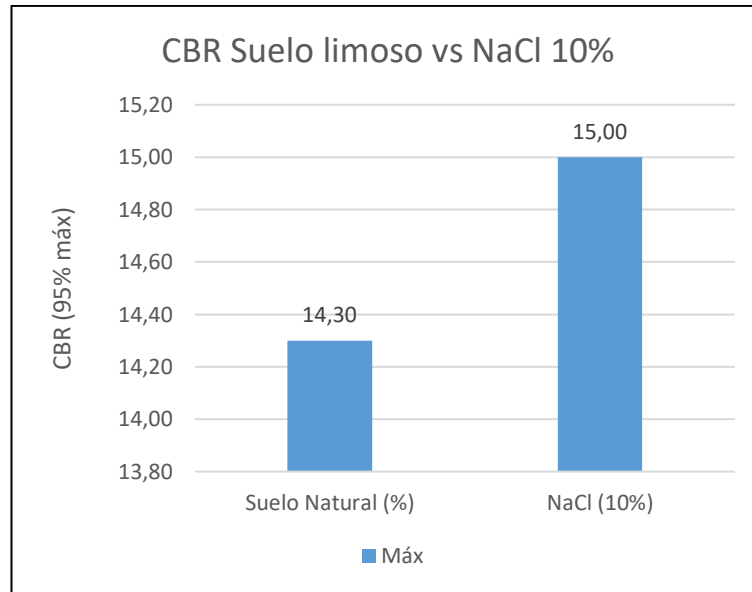


Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se establece mediante la figura 44 que el valor del CBR del suelo limoso con el agregado del 12% de Cloruro de Magnesio, presenta un aumento del 169.93%.

3.1.6.6. CBR vs NaCl

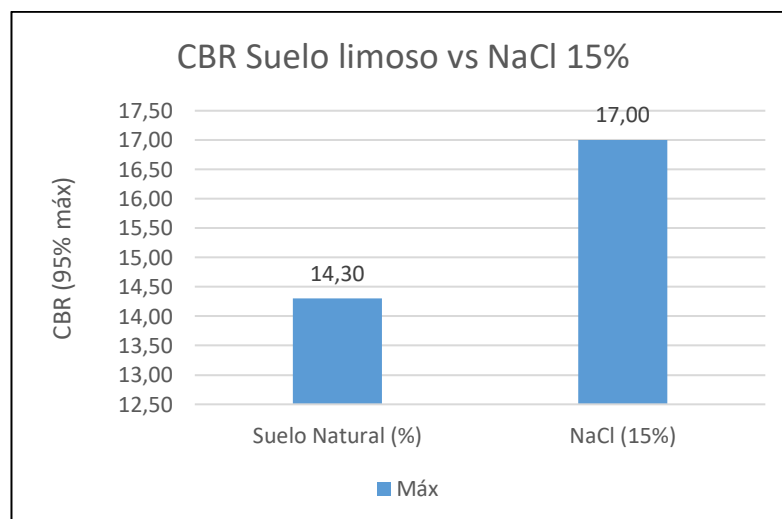
Figura 45. CBR del suelo limoso vs NaCl al 10%



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se establece mediante la figura 45 que el valor del CBR del suelo limoso con el agregado del 10% de Cloruro de Sodio, presenta un aumento del 104.90%.

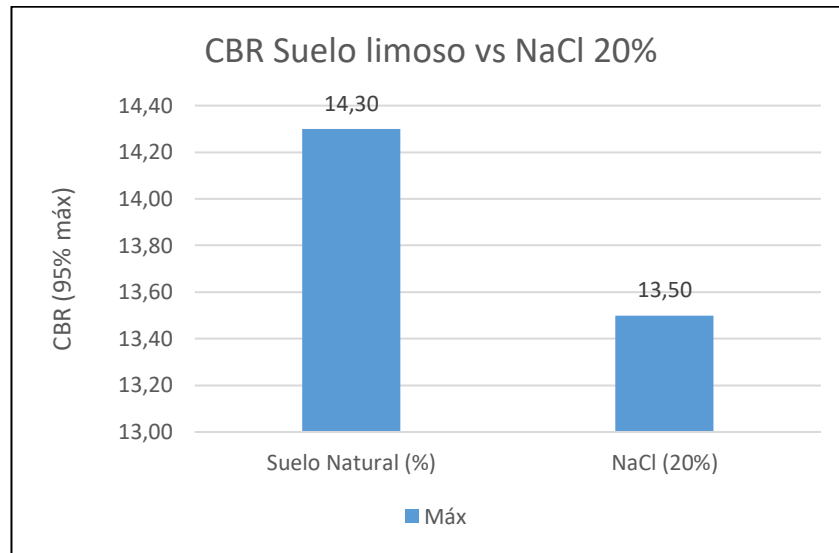
Figura 46. CBR del suelo limoso vs NaCl 15%



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Se establece mediante la figura 46 que el valor del CBR del suelo limoso con el agregado del 15% de Cloruro de Sodio, presenta un aumento del 118.88%.

Figura 47. CBR del suelo limoso vs NaCl 20%



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

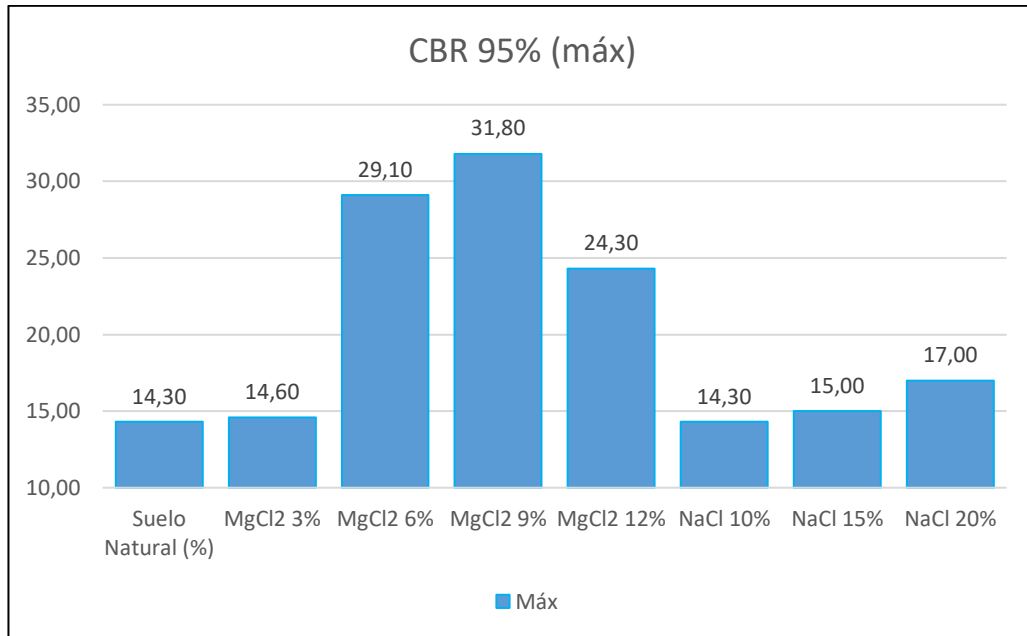
Se establece mediante la figura 47 que el valor del CBR del suelo limoso con el agregado del 20% de Cloruro de Sodio, experimenta una reducción del 94.41%.

3.2 Verificación de hipótesis

Después de identificar la resistencia al corte, aplicando el ensayo CBR con sus respectivas combinaciones con el Cloruro de Sodio y Cloruro de Magnesio, se realiza una comparación de resultados como lo indica en la figura 48 y 49.

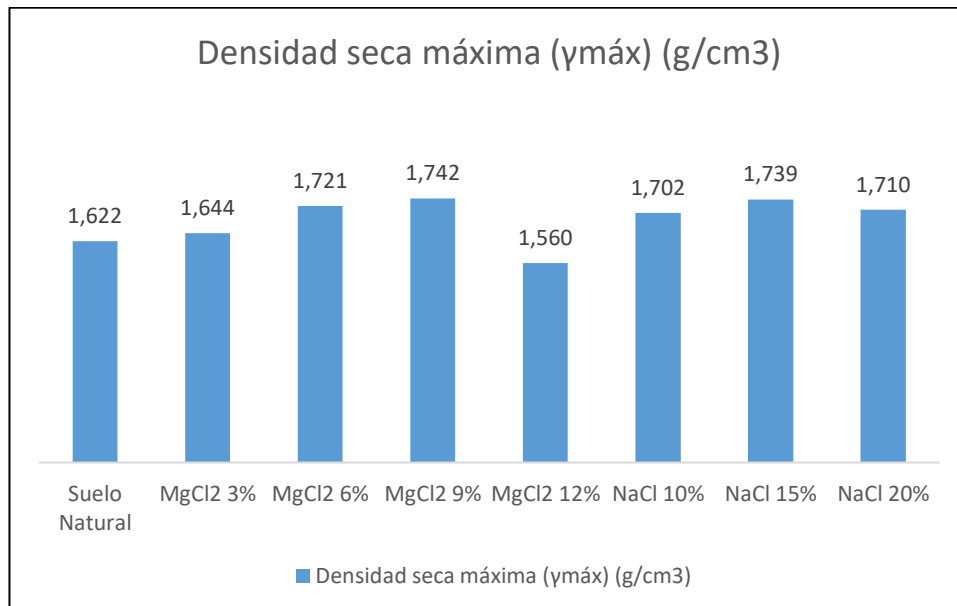
Se observa una mejora significativa en las propiedades mecánicas del suelo limoso al incorporar Cloruro de Sodio y Cloruro de Magnesio como se evidencia en la figura 48, 49 y 50.

Figura 48. Análisis comparativo del CBR del suelo limoso + MgCl₂ y NaCl



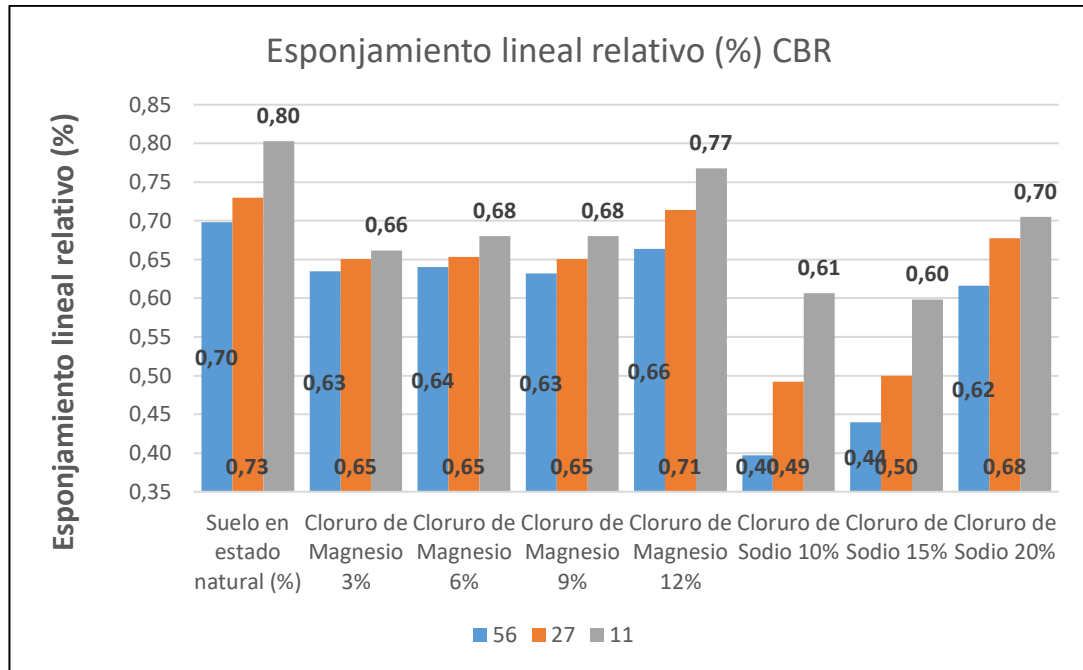
Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Figura 49. Densidad seca máxima del suelo limoso + MgCl₂ y NaCl



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Figura 50. Esponjamiento lineal relativo del suelo limoso + MgCl₂ y NaCl



Autor: Fabricio Xavier Sánchez Zambrano

Ho: Hipótesis Nula **Hi:** Hipótesis Alternativa

Ho: La estabilización de suelos cohesivos por adición del Cloruro de Sodio y Cloruro de Magnesio no mejora la capacidad de soporte relativa, su densidad seca máxima y esponjamiento.

Hi: La estabilización de suelos cohesivos por adición del Cloruro de Sodio y Cloruro de Magnesio mejora la capacidad de soporte relativa, su densidad seca máxima y esponjamiento.

El uso del Cloruro de Magnesio mejoró significativamente el suelo limoso, mediante el ensayo de "CBR" se comparó los resultados del suelo en estado natural con el valor del suelo estabilizado al igual que su densidad seca máxima y esponjamiento del mismo.

La capacidad de soporte relativa del suelo limoso aumentó al ser agregado el 15% de Cloruro de Sodio con una mejora del 118.88% y con 9% de Cloruro de Magnesio se obtuvo un aumento mayor del 222.38%.

La densidad seca máxima experimenta un incremento significativo agregando 15% de Cloruro de Sodio con una mejora del 118.88% y con 9% de Cloruro de Magnesio se obtuvo un aumento mayor del 222.38%.

En el esponjamiento existe una mejora en todos sus porcentajes de agregado aplicando los delicuescentes ya que, mejora la estructura del suelo y ayuda a disminuir la compactación, esta compactación limita la capacidad de expansión y contracción.

Con el análisis realizado se acepta la Hipótesis Alternativa (**Hi**) el uso del Cloruro de Magnesio, mejora las propiedades mecánicas de un suelo limoso.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se observó que al estabilizar el suelo con Cloruro de Sodio y adicionar porcentajes superiores a los del Cloruro de Magnesio, se mejora la trabajabilidad y la eficacia de compactación al realizar el ensayo CBR, es importante tener en cuenta que estos delicuescentes se vuelven perjudiciales a medida que incrementa su porcentaje.
- Se identificó el tipo de suelo en estado natural, usando la carta de plasticidad según el sistema SUCS, se evidencia que la muestra representativa de suelos se encuentra clasificada en el grupo ML en la cual está clasificada como limos y arcillas, suelo de grano fino, además, en el sistema AASHTO, se determinó que la muestra de suelo de la parroquia Quisapincha se clasifica en el grupo A-4, lo que indica que es un material limoso.
- Se concluyó que la adición óptima de Cloruro de Sodio es del 15%, lo que representa una mejora del 118.88%, mientras que, en el caso de Cloruro de Magnesio, la adición óptima es del 9%, con una mejora del 222.38% en comparación con el suelo en estado natural.
- Se analizó la cantidad ideal de humedad en un suelo limoso adicionando 9% de Cloruro de Magnesio y 15% de Cloruro de Sodio, dando un porcentaje del 20% y 17.00% respectivamente.
- Se determinó que con la adición del 15% de Cloruro de Sodio se obtiene una densidad seca máxima de 1.739 g/cm³ y 9% de Cloruro de Magnesio, una densidad seca máxima de 1.742 g/cm³, además, al incrementar 20% de Cloruro de Sodio la densidad seca máxima disminuye a 1.710 g/cm³ y 12% de Cloruro de Magnesio, la densidad seca máxima reduce a 1.560 g/cm³, esto ocurre ya que los materiales delicuescentes absorben el agua de su entorno, cuando se agregan a un suelo, este aumenta significativamente su contenido de agua, un exceso de agua dificulta la expulsión del aire entre las partículas del suelo, reduciendo así la eficacia del proceso y afectando la densidad seca máxima que se puede lograr.

- Se analizó que el Cloruro de Sodio y Cloruro de Magnesio al ser incorporados a un suelo limoso, mejora la densidad seca máxima en un 107.40% y 107.21% respectivamente.
- Se concluyó que los porcentajes óptimos para mejorar el CBR son el 15% de Cloruro de Sodio obteniendo un porcentaje de 17% y 12% de Cloruro de Magnesio se obtiene 31.80%, además, al incrementar 20% de Cloruro de Sodio y 12% de Cloruro de Magnesio el CBR disminuye al 13.50% y 24.30% respectivamente, esto ocurre ya que, al agregar un porcentaje alto de estos materiales al suelo, se introduce más agua al sistema, al aumentar el contenido de agua, hace que el suelo sea más difícil de compactar de manera efectiva.
- Se determinó que el CBR de un suelo limoso mejora al 118.88% al ser agregado 15% de Cloruro de Sodio, además, con la adición del 9% de Cloruro de Magnesio aumenta al 222.38%, Estos porcentajes destacan como los más significativos.

4.2. Recomendaciones

- La adición de los deliquescentes puede tener efectos secundarios en la corrosión de las infraestructuras metálicas, por lo que es importante considerar este factor.
- El uso de cloruros tiene impactos ambientales, especialmente en la lixiviación hacia las masas de centros de agua que se encuentren cerca. Con el fin de que no tenga un daño en el ecosistema, se debe evaluar ambientalmente para su efectiva aplicación.
- Antes de abordar el proyecto experimental, se debe realizar una investigación a fondo de la literatura científica existente, buscar investigaciones previas, estudios de casos y artículos científicos sobre la estabilización del suelo con cloruro de sodio y cloruro de magnesio, esto proporcionará una mejor comprensión.
- Las aplicaciones de los deliquescentes pueden llegar a tener impactos en la calidad del aire y del agua, llegando a afectar la salud de los seres vivos. Es fundamental realizar evaluaciones de impacto en la salud y establecer medidas de mitigación para reducir cualquier riesgo potencial.
- La estabilización de un suelo puede afectar considerablemente las tierras agrícolas y la flora local. Evaluar y comunicar cómo se verán afectadas las actividades agrícolas locales y cómo se mitigarán los impactos negativos es primordial, además, se deben implementar medidas para proteger la biodiversidad y la vegetación.

Referencias Bibliográficas

- [1] A. A. Celi Macías, J. P. Mendoza Alcívar y E. Tejeda Piusseaut, «Mejoramiento de subrasante mediante la estabilización con cemento en obras viales del cantón Portoviejo,» *Dominio de Las Ciencias*, vol. 9, n° 2, pp. 3-15, 2023.
- [2] D. M. Rezabala Leones y E. Ortiz Hernández, «Propuesta de estabilización con cal y cemento para subrasantes con presencia de suelos arcillosos ubicada en la vía tosaagua-chone sector bachillero,» *Dominio de la Ciencia*, vol. 9, n° 3, pp. 3-18, 2023.
- [3] M. Llano Serna y M. Farias, «Validación numérica, teórica y experimental del método del punto material para resolver problemas geotécnicos,» *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, p. 6, 2014.
- [4] . M. Ing. Del Santo y R. Ing Sandoval, *Propiedades Índices de los suelos*, La Plata - Argentina, 2013.
- [5] B. M. Gamarra Marino, «Análisis de las Propiedades Mecánicas de los Suelos Arcillosos con Adición de Escoria de Metales, Perú 2021,» *Universidad Privada del Norte*, p. 195, 2021.
- [6] A. Rico Rodriguez y H. Del Castillo, *Artists, La Ingeniería De Suelos en las Vías Terrestres; Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas*. [Art]. LIMUSA.
- [7] S. Y. Zolfeghari Far, K. A. Kassim, A. Eisazadeh y M. Khari, «An Evaluation of the Tropical Soils Subjected Physicochemical Stabilization for Remote Rural Roads,» *Procedia Engineering*, vol. 54, pp. 817-826, 2013.
- [8] N. Z. Mohd Yunus, D. Wanatowski, A. Marto y S. N. Jusoh, «Strength improvement of lime treated clay with sod,» *ice*, vol. 4, n° GR4, p. 12, 2017.
- [9] W. Anju y A. K. Vasudevan, «Strength and Stiffness of Soils Under Salinity Conditions,» *Indian Geotechnical Conference 2019 GeoIndus*, p. 13, 2019.



- [10] I. I. GUAMÁN ILER, «Estudio del Comportamiento de un Suelo Arcilloso Estabilizado por Dos Métodos Químicos (Cal y Cloruro de Sodio),» *Universidad Técnica de Ambato*, p. 138, 2016.
- [11] H. A. Irigoín Bustamante y F. O. A. Tarrillo Vásquez, «Estabilización de Suelos Cohesivos con Cloruro de Sodio para fines de Pavimentación de la Av. Agricultura en la Ciudad de Chota-Región de Cajamarca,» *Universidad de San Martín de Porres*, p. 279, 2021.
- [12] A. Quiroz Alcántara, Artist, *Estabilización de suelos con cloruro de sodio, en el camino de bajo volumen de tránsito desde el caserío Los Tubos hasta el caserío Pozo Cuarenta, Distrito de Mórrop, Provincia de Lambayeque, Departamento Lambayeque*". [Art]. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2020.
- [13] M. E. Jiménez Lagos, Artist, *Diagnóstico estructural de afirmado estabilizado con cloruro de magnesio mediante el modelo matemático de Hogg y Viga Benkelman*. [Art]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2014.
- [14] A. Muthumani, L. Fay, M. Akin, S. Wang, J. Gong y X. Shi, «Correlating lab and field tests for evaluation of deicing and anti-icing chemicals: A review of potential approaches,» *Cold Regions Science and Technology*, vol. 97, pp. 21-32, 2014.
- [15] F. Habibbeygi y H. Nikraz, «Compression behavior of highly expansive clays stabilised with a green stabiliser of magnesium chloride,» *International Journal of Geomate*, vol. 14, n° 45, pp. 144-150, 2018.
- [16] S. Siddiqua y N. Muhammad, «"Investigation of the strength development using Madnesium Alkalinization for Subgrade,» *ResearchGate*, vol. 2, n° 590-599, p. 11, 2017.
- [17] B. A. B. Martínez, «Influencia del Cloruro de Magnesio en Comparación con el Cloruro de Calcio en la Estabilización de Suelos Arcillosos para Afirmados,» *Universidad Privada del Norte*, p. 90, 2018.

- [18] H. Solminihaç, T. Echaveguren y A. Chamorro, Artists, *Gestión de Infraestructura Vial*. [Art]. Universidad Católica de Chile, 2018.
- [19] K. Fonseca Sanchez, Y. Becerra Eneque y S. Muñoz Perez, «Uso de Estabilizadores para Suelos Arcillosos una Revisión Literaria,» *Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo*, vol. 1 y 2, pp. 54-69, 2020.
- [20] B. M. Das, «Ingeniería Geotécnica,» 2013.
- [21] E. Juárez Badillo y A. Rico Rodríguez, «Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos,» p. 642, 2014.
- [22] B. M. Das, «Fundamentos de ingeniería de cimentaciones,» 2012.
- [23] J. E. Bowles, «Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil,» 1981.
- [24] P. L. Berry y D. Reid, «Mecánica de suelos,» 1993.
- [25] E. Juárez Badillo y A. Rico Rodríguez, «Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos,» p. 644, 2005.
- [26] M. a. o. Of Sciences Engineering, «Precision Estimates of AASHTO T 180: Moisture-Density RELations of Soils Using a 4.54-Kg (10-lb) Rammer and a 457-mm (18-in.) Drop,» 2010.
- [27] F. Viscarra Agreda, «El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos,» *Universidad Privada Boliviana*, p. 16, 2006.

ANEXOS

TABLAS DE RESULTADOS

Tabla 23. Granulometría

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO 					
Proyecto: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO					
Provincia:	Tungurahua	Coordenadas:	756696.24 E ; 9865083.13 N		
Cantón:	Ambato	Ensayado por:	Fabricio Sánchez		
Parroquia:	Quisapincha	Revisado por:	Ing. M.Sc. Lorena Pérez		
NORMA: AASHTO T-87-70; ASTM D-421-58; D-422-63					
# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
4	4.760	7.92	7.92	0.79	99.21
8	2.380	17.66	25.58	2.56	97.44
10	2.000	10.1	35.68	3.57	96.43
16	1.180	11.9	47.58	4.76	95.24
30	0.595	19.42	67.00	6.71	93.29
40	0.420	12.35	79.35	7.94	92.06
50	0.297	14.5	93.85	9.39	90.61
60	0.250	13.15	107.00	10.71	89.29
100	0.149	73.6	180.60	18.08	81.92
200	0.074	280.35	460.95	46.13	53.87
Fuente		538.2	538.20	53.87	
Masa de suelo		999.15			

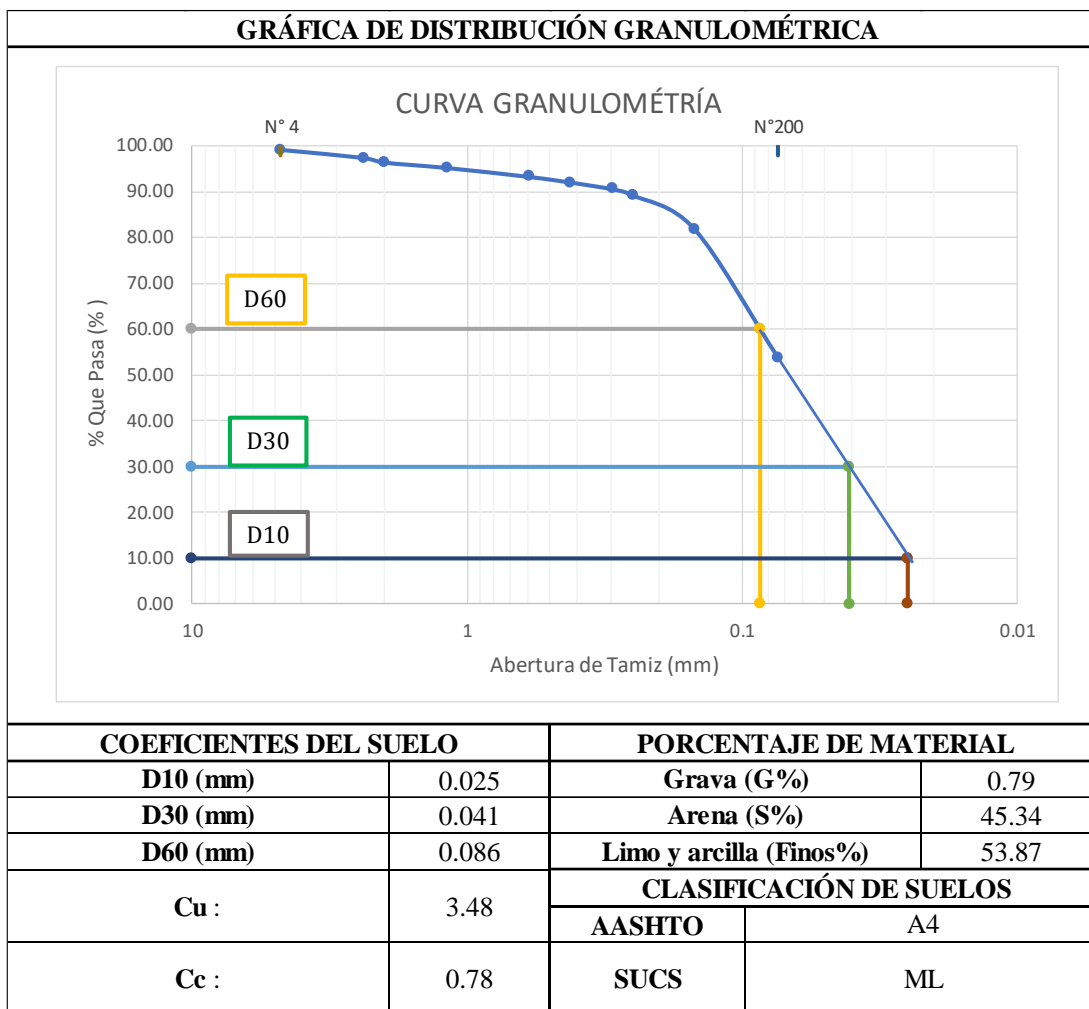


Tabla 24. Contenido de Humedad

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
	LÍMITES DE ATTERBERG			
Proyecto: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO				
Provincia:	Tungurahua	Coordenadas: 756696.24 E ; 9865083.13 N		
Cantón:	Ambato	Ensayado por: Fabricio Sánchez		
Parroquia:	Quisapincha	Revisado por: Ing. M. Sc. Lorena Pérez		
N° Recipiente	F1	F2	F3	F4
Peso del recipiente + suelo húmedo	21.164	20.641	19.104	21.924
Peso del recipiente + suelo seco	18.641	18.321	16.971	19.286
Peso agua (Ww)	2.523	2.32	2.133	2.638

Peso del recipiente	9.124	9.221	9.258	9.651
Peso suelo seco (Ws)	9.517	9.1	7.713	9.635
Contenido de humedad (ω %)	26.51	25.49	27.65	27.38
ω % Promedio	26.76			

Tabla 25. Límites de Atterberg



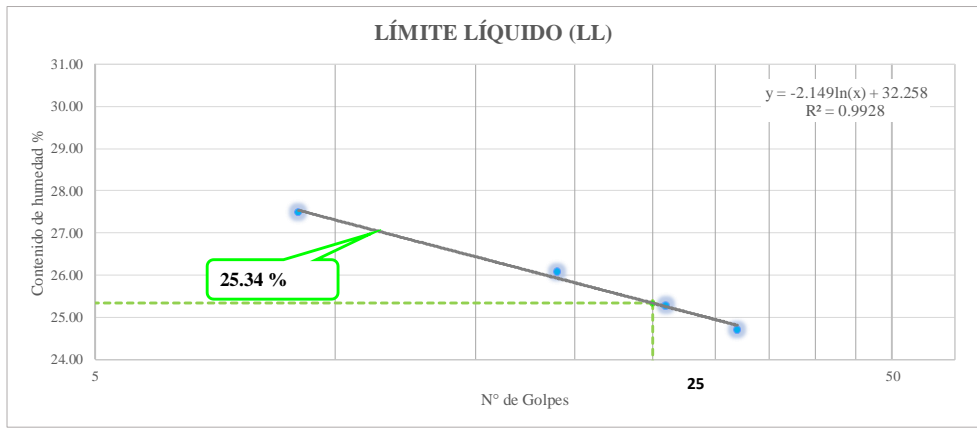
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LÍMITES DE ATTERBERG 								
Proyecto: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO								
Provincia:	Tungurahua							
Cantón:	Ambato							
Parroquia:	Quisapincha							
Coordenadas:	756696.24 E ; 9865083.13 N							
Ensayado por:	Fabricio Sánchez							
Revisado por:	Ing. M.Sc. Lorena Pérez							
LÍMITE LÍQUIDO(LL) - AASHTO T-89-2013								
N° de golpes	9	19	26	32				
N° Recipiente	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F1	F2
Peso del recipiente + suelo húmedo	20.323	20.547	19.107	22.077	20.988	18.975	16.046	18.1
Peso del recipiente + suelo seco	17.982	18.033	16.899	19.735	18.954	16.892	14.501	16.74
Peso agua (Ww)	2.341	2.514	2.208	2.342	2.034	2.083	1.545	1.36
Peso del recipiente	9.124	9.221	9.258	9.651	9.729	9.588	9.469	9.462
Peso suelo seco (Ws)	8.858	8.812	7.641	10.084	9.225	7.304	5.032	7.28
Contenido de humedad (ω %)	26.43	28.53	28.90	23.22	22.05	28.52	30.70	18.72
ω % Promedio	27.48		26.06		25.28		24.71	
Límite Líquido (LL%)	25.34							
								
LÍMITE PLÁSTICO(LP) - AASHTO T-90-2013								
N° Cápsula	F1	F2	F3	F4	F5			
Peso del recipiente + suelo húmedo	7.60	7.54	6.76	6.823	7.778			
Peso del recipiente + suelo seco	7.361	7.292	6.64	6.682	7.525			
Peso agua (Ww)	0.237	0.248	0.13	0.141	0.253			
Peso del recipiente	6.01	6.099	6.16	6.136	5.994			
Peso suelo seco (Ws)	1.353	1.193	0.48	0.546	1.531			
Contenido de humedad (ω %)	17.52	20.79	26.99	25.82	16.53			
ω % Promedio	22							
LÍMITES DE ATTERBERG					CLASIFICACIÓN DE SUELOS			
Límite Líquido (LL%)	25.34				AASHTO		A4	
Límite Plástico (LP%)	21.53				SUCS		ML	
Índice de Plasticidad (IP)	3.81							

Tabla 26. Gravedad específica





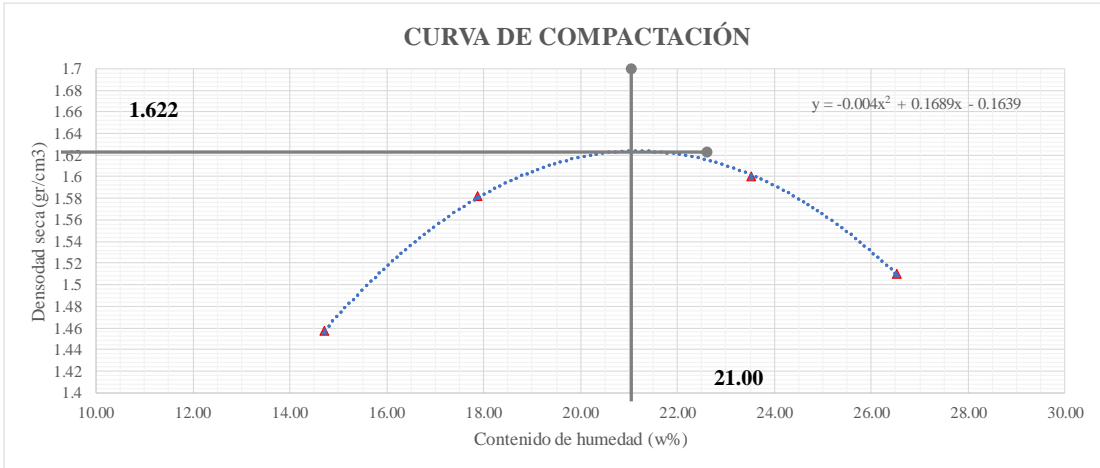
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS 			
Provincia:	Tungurahua	Coordenadas:	756696.24 E ; 9865083.13 N
Cantón:	Ambato	Ensayado por:	Fabricio Sánchez
Parroquia:	Quisapincha	Revisado por:	Ing. M.Sc. Lorena Pérez
NORMA: AASHTO T-100-70; ASTM 0854-58			
Peso del picnómetro + agua (W_{bw})	640.73		gr
Picnómetro + agua + suelo sumergido (W_{bws})	672.1		gr
Desplazamiento del agua (W_s + W_{bw}) - W_{bws}	18.576		gr
Temperatura de agua y suelo °C	20		°C
Factor por corrección por temperatura (K)	0.9982		-
Recipiente + Peso de suelo seco	190.65		gr
Peso del recipiente (W_r)	140.704		gr
Peso del suelo seco (W_s)	49.946		gr
Gravedad específica (G_s)	2.684		-

Tabla 27. Próctor modificado del suelo en estado natural



		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Proyecto: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO								
Provincia:	Tungurahua	Coordenadas:	756696.24 E ; 9865083.13 N					
Cantón:	Ambato	Ensayado por:	Fabricio Sánchez					
Parroquia:	Quisapincha	Revisado por:	Ing. M.Sc. Lorena Pérez					
PROCTOR MODIFICADO "B" -AASHTO T - 180; ASTM D1557								
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS								
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 in	Peso del molde:	15588 gr			
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10 lb	Volumen del molde:	2208.93 cm ³			
Peso inicial deseado:	6000		6000		6000			
1) PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Número de ensayo	1	2	3	4				
Humedad inicial añadida en %	4	8	12	16				
Peso molde + suelo húmedo (gr)	19280	19708	19953	19810				
Peso suelo húmedo (Wm) (gr)	3692	4120	4365	4222				
Peso unitario húmedo (γ _m) (gr/cm ³)	1.671	1.865	1.976	1.911				
2) DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD								
Número de recipiente	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Peso del recipiente (Wr) (gr)	7.68	9.265	9.124	9.136	7.62	7.32	9.673	7.641
Suelo húmedo + recipiente (Wm + Wr) (gr)	50.876	61.012	70.555	67.417	62.011	53.781	79.069	55.379
Suelo seco + recipiente (Ws + Wr) (gr)	45.299	54.41	61.059	58.748	52.317	44.376	64.504	45.381
Peso de los sólidos (Ws) (gr)	37.619	45.145	51.935	49.612	44.697	37.056	54.831	37.74
Peso del agua (Ww) (gr)	5.577	6.602	9.496	8.669	9.694	9.405	14.565	9.998
Contenido de humedad (ω %) (gr/cm ³)	14.82	14.62	18.28	17.47	21.69	25.38	26.56	26.49
Contenido de humedad promedio ω %	14.72		17.88		23.53		26.53	
Peso volumétrico seco (γ _d) (gr/cm ³)	1.457		1.582		1.600		1.510	
3) GRÁFICA DE DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Densidad seca máxima (γ _d máx):	1.622	gr/cm ³	Humedad Óptima (W% óptimo):		21.00	%		

CURVA DE COMPACTACIÓN

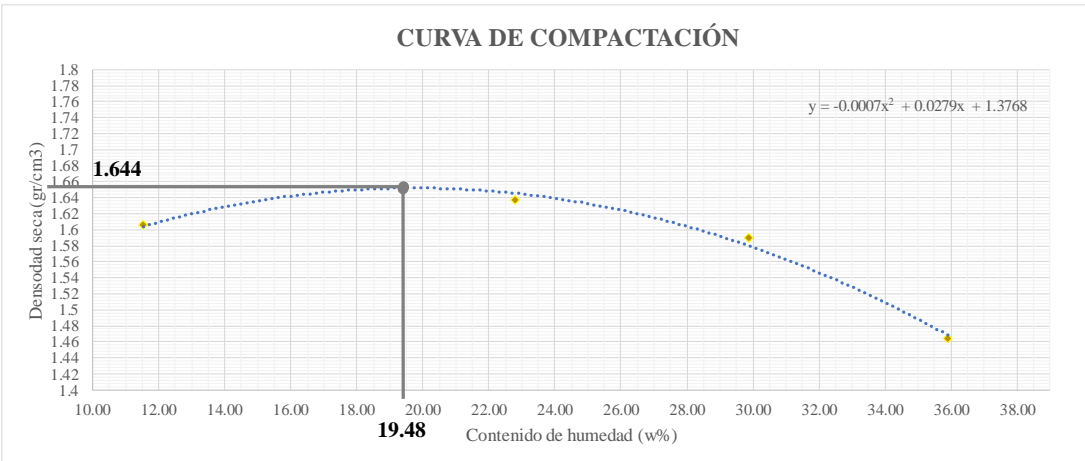


The graph plots Dry Density (γ_d) in gr/cm³ on the y-axis (ranging from 1.4 to 1.7) against Moisture Content (w%) on the x-axis (ranging from 10.00 to 30.00). A blue dotted parabolic curve represents the compaction data. The peak of the curve is marked with a vertical line extending to the x-axis at 21.00% and a horizontal line to the y-axis at 1.622 gr/cm³. The equation of the curve is given as $y = -0.004x^2 + 0.1689x - 0.1639$.

Tabla 28. Próctor modificado del suelo en estado natural + MgCl₂ al 3%



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE COMPACTACIÓN			
Proyecto: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO			
Provincia:	Tungurahua	Coordenadas:	756696.24 E ; 9865083.13 N
Cantón:	Ambato	Ensayado por:	Fabricio Sánchez
Parroquia:	Quisapincha	Revisado por:	Ing. M.Sc. Lorena Pérez
PROCTOR MODIFICADO "B" -AASHTO T - 180; ASTM D1557			
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 in
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10 lb
Peso inicial deseado:	6000		6000
			6000
			6000
1) PROCESO DE COMPACTACIÓN			
Número de ensayo	1	2	3
Humedad inicial añadida en %	4	6	8
Peso molde + suelo húmedo (gr)	20732	21219	21337
Peso suelo húmedo (Wm) (gr)	3956	4443	4561
Peso unitario húmedo (γ _m) (gr/cm ³)	1.791	2.011	2.065
			1.990
2) DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
Número de recipiente	F1	F2	F3
	F4	F5	F6
	F7	F8	
Peso del recipiente (W _r) (gr)	9.673	9.265	9.462
Suelo húmedo + recipiente (W _m + W _r) (gr)	63.499	65.093	53.209
Suelo seco + recipiente (W _s + W _r) (gr)	57.864	59.39	43.996
Peso de los sólidos (W _s) (gr)	48.191	50.125	34.534
Peso del agua (W _w) (gr)	5.635	5.703	9.213
Contenido de humedad (ω %) (gr/cm ³)	11.69	11.38	26.68
			18.92
			30.48
			29.26
			36.27
			35.55
Contenido de humedad promedio ω %	11.54		22.80
			29.87
			35.91
Peso volumétrico seco (γ _d) (gr/cm ³)	1.606		1.638
			1.59
			1.464
3) GRÁFICA DE DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
Densidad seca máxima (γ _{máx}):	1.644	gr/cm ³	Humedad Óptima (W% óptimo):
			19.48 %

CURVA DE COMPACTACIÓN

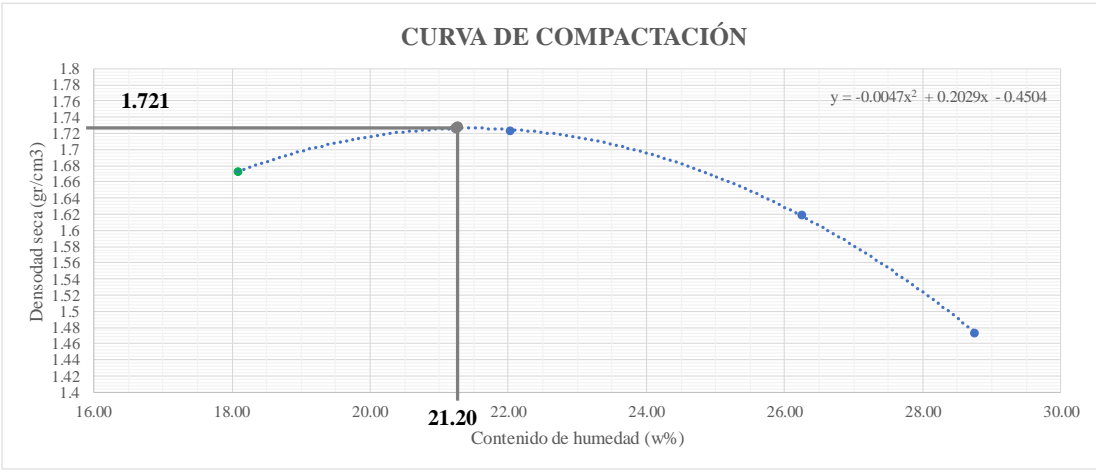


The graph plots Dry Density (γ_d) in gr/cm³ on the y-axis (ranging from 1.4 to 1.8) against Moisture Content (ω) in % on the x-axis (ranging from 10.00 to 38.00). A series of data points are connected by a dotted blue line, forming a parabolic curve that peaks at a dry density of 1.644 gr/cm³ and a moisture content of 19.48%. A vertical line drops from this peak to the x-axis. The equation of the curve is given as $y = -0.0007x^2 + 0.0279x + 1.3768$.

Tabla 29. Próctor modificado del suelo en estado natural + MgCl₂ al 6%

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Proyecto: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO								
Provincia:	Tungurahua	Coordenadas:	756696.24 E ; 9865083.13 N					
Cantón:	Ambato	Ensayado por:	Fabricio Sánchez					
Parroquia:	Quisapincha	Revisado por:	Ing. M.Sc. Lorena Pérez					
PROCTOR MODIFICADO "B" -AASHTO T - 180; ASTM D1557								
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS								
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 in	Peso del molde:	16763 gr			
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10 lb	Volumen del molde:	2208.93 cm ³			
Peso inicial deseado:	6000	6000	6000	6000	6000			
1) PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Número de ensayo	1	2	3	4				
Humedad inicial añadida en %	3	6	9	12				
Peso molde + suelo húmedo (gr)	21127	21409	21279	20951				
Peso suelo húmedo (Wm) (gr)	4364	4646	4516	4188				
Peso unitario húmedo (γ _m) (gr/cm ³)	1.976	2.103	2.044	1.896				
2) DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD								
Número de recipiente	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Peso del recipiente (Wr) (gr)	9.462	9.469	9.265	9.64	9.327	9.656	9.673	9.64
Suelo húmedo + recipiente (Wm + Wr) (gr)	58.172	68.677	62.157	61.403	65.62	60.235	69.896	64.284
Suelo seco + recipiente (Ws + Wr) (gr)	50.237	60.208	52.162	52.496	52.905	50.655	55.637	52.838
Peso de los sólidos (Ws) (gr)	40.775	50.739	42.897	42.856	43.578	40.999	45.964	43.198
Peso del agua (Ww) (gr)	7.935	8.469	9.995	8.907	12.715	9.58	14.259	11.446
Contenido de humedad (ω %) (gr/gr)	19.46	16.69	23.30	20.78	29.18	23.37	31.02	26.50
Contenido de humedad promedio ω %	18.08		22.04		26.27		28.76	
Peso volumétrico seco (γ _d) (gr/cm ³)	1.673		1.723		1.619		1.473	
3) GRÁFICA DE DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Densidad seca máxima (γ _d máx):	1.721	gr/cm ³	Humedad Óptima (W% óptimo):		21.20	%		

CURVA DE COMPACTACIÓN



The graph plots Dry Density (γ_d) in gr/cm³ on the y-axis (ranging from 1.4 to 1.8) against Moisture Content (w%) on the x-axis (ranging from 16.00 to 30.00). A series of data points are connected by a dotted line, forming a parabolic curve that peaks at 21.20% moisture content and 1.721 gr/cm³ dry density. A horizontal line is drawn at the peak density, and a vertical line drops from the peak to the x-axis. The equation of the curve is given as $y = -0.0047x^2 + 0.2029x - 0.4504$.

Tabla 30. Próctor modificado del suelo en estado natural + MgCl2 al 9%



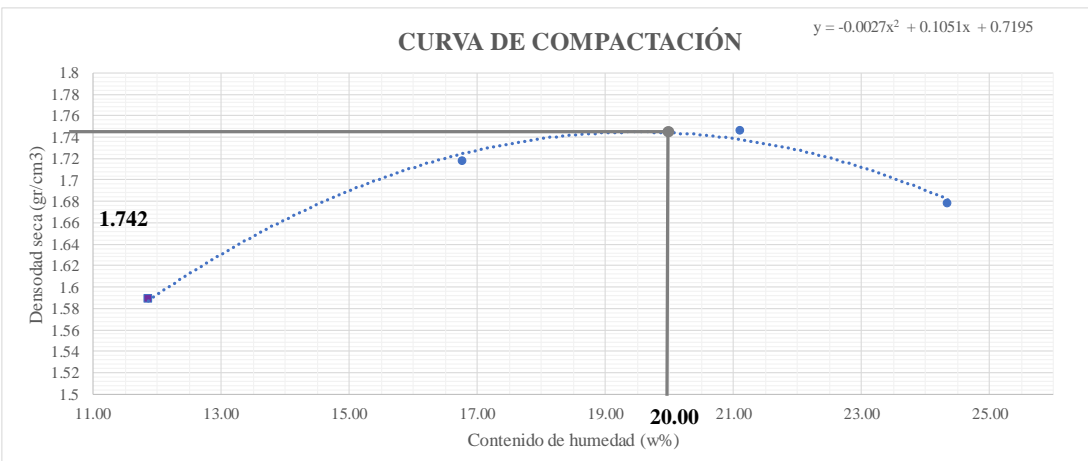


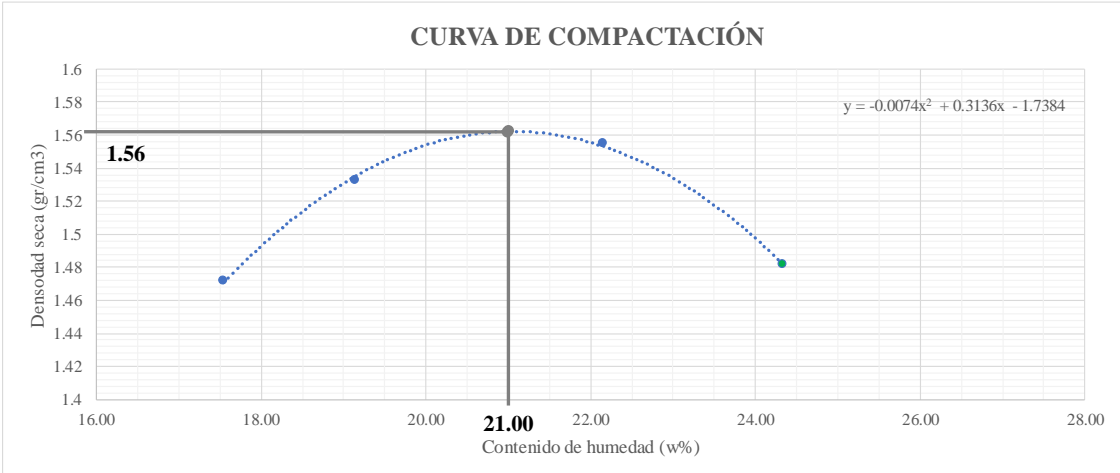
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Proyecto: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO								
Provincia:	Tungurahua	Coordenadas:	756696.24 E ; 9865083.13 N					
Cantón:	Ambato	Ensayado por:	Fabricio Sánchez					
Parroquia:	Quisapincha	Revisado por:	Ing. M.Sc. Lorena Pérez					
PROCTOR MODIFICADO "B" -AASHTO T - 180; ASTM D1557								
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS								
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 in	Peso del molde:	16776 gr			
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10 lb	Volumen del molde:	2208.93 cm ³			
Peso inicial deseado:	6000	6000	6000	6000	6000			
1) PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Número de ensayo	1	2	3	4				
Humedad inicial añadida en %	2	4	6	8				
Peso molde + suelo húmedo (gr)	20704	21207	21448	21385				
Peso suelo húmedo (Wm) (gr)	3928	4431	4672	4609				
Peso unitario húmedo (γm) (gr/cm ³)	1.778	2.006	2.115	2.087				
2) DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD								
Número de recipiente	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Peso del recipiente (Wr) (gr)	7.62	7.68	7.63	9.265	9.469	7.641	9.127	9.583
Suelo húmedo + recipiente (Wm +Wr)	45.467	44.119	50.648	57.834	54.665	43.447	53.769	56.284
Suelo seco + recipiente (Ws + Wr) (gr)	41.511	40.199	44.056	51.333	47.998	36.305	44.747	47.434
Peso de los sólidos (Ws) (gr)	33.891	32.519	36.426	42.068	38.529	28.664	35.62	37.851
Peso del agua (Ww) (gr)	3.956	3.92	6.592	6.501	6.667	7.142	9.022	8.85
Contenido de humedad (ω %)	11.67	12.05	18.10	15.45	17.30	24.92	25.33	23.38
Contenido de humedad promedio ω %	11.86		16.78		21.11		24.35	
Peso volumétrico seco (γd) (gr/cm ³)	1.589		1.718		1.746		1.678	
3) GRÁFICA DE DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Densidad seca máxima (γ _{máx}):		1.742	gr/cm ³	Humedad Óptima (W% óptimo):		20.00	%	
								

Tabla 31. Próctor modificado del suelo en estado natural + MgCl₂ al 12%

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Proyecto: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO								
Provincia:	Tungurahua	Coordenadas:	756696.24 E ; 9865083.13 N					
Cantón:	Ambato	Ensayado por:	Fabricio Sánchez					
Parroquia:	Quisapincha	Revisado por:	Ing. M.Sc. Lorena Pérez					
PROCTOR MODIFICADO "B" -AASHTO T - 180; ASTM D1557								
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS								
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 in	Peso del molde:	14955	gr		
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10 lb	Volumen del molde:	2208.93	cm ³		
Peso inicial deseado:	6000	6000	6000	6000				
1) PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Número de ensayo	1	2	3	4				
Humedad inicial añadida en %	2	4	6	8				
Peso molde + suelo húmedo (gr)	18776	18991	19150	19026				
Peso suelo húmedo (Wm) (gr)	3821	4036	4195	4071				
Peso unitario húmedo (γm) (gr/cm ³)	1.730	1.827	1.899	1.843				
2) DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD								
Número de recipiente	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Peso del recipiente (Wr) (gr)	9.673	9.265	7.62	9.127	9.67	7.68	9.327	9.638
Suelo húmedo + recipiente (Wm + Wr) (gr)	69.367	65.121	51.527	55.714	64.841	46.841	58.841	67.547
Suelo seco + recipiente (Ws + Wr) (gr)	60.691	56.559	43.948	48.798	55.914	39.007	49.277	56.074
Peso de los sólidos (Ws) (gr)	51.018	47.294	36.328	39.671	46.244	31.327	39.95	46.436
Peso del agua (Ww) (gr)	8.676	8.562	7.579	6.916	8.927	7.834	9.564	11.473
Contenido de humedad (ω %) (gr/cm ³)	17.01	18.10	20.86	17.43	19.30	25.01	23.94	24.71
Contenido de humedad promedio ω %	17.55		19.15		22.16		24.32	
Peso volumétrico seco (γd) (gr/cm ³)	1.472		1.533		1.555		1.482	
3) GRÁFICA DE DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Densidad seca máxima (γ _{máx}):	1.56	gr/cm ³	Humedad Óptima (W% óptimo):			21.00	%	

CURVA DE COMPACTACIÓN



The graph plots Dry Density (γ_d) in gr/cm³ on the y-axis (ranging from 1.4 to 1.6) against Moisture Content (ω) in % on the x-axis (ranging from 16.00 to 28.00). A series of data points are connected by a dotted blue line, forming a parabolic curve. A vertical line is drawn from the peak of the curve down to the x-axis, indicating the Optimum Moisture Content (ω_{óptimo}) of 21.00% and the Maximum Dry Density (γ_{máx}) of 1.56 gr/cm³. The equation of the curve is given as $y = -0.0074x^2 + 0.3136x - 1.7384$.

Tabla 32. Próctor modificado del suelo en estado natural + NaCl al 10%



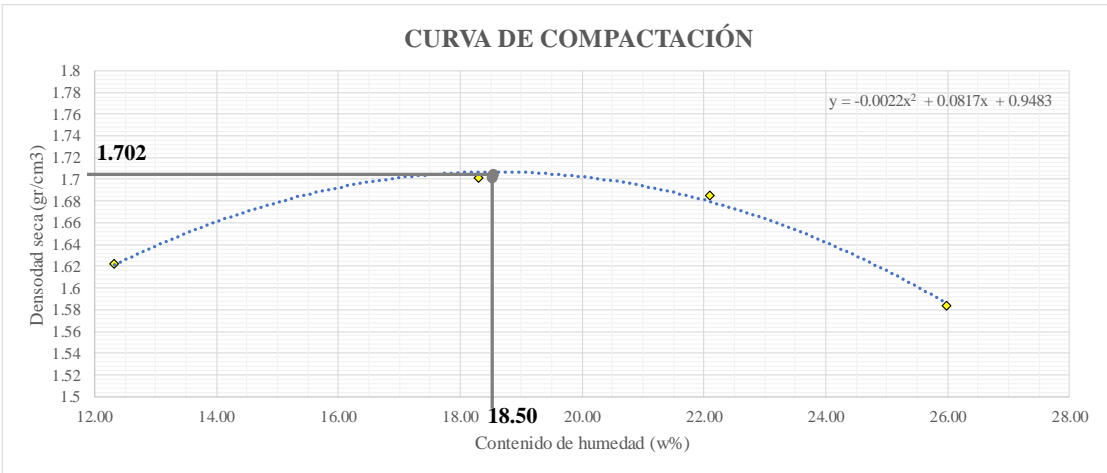


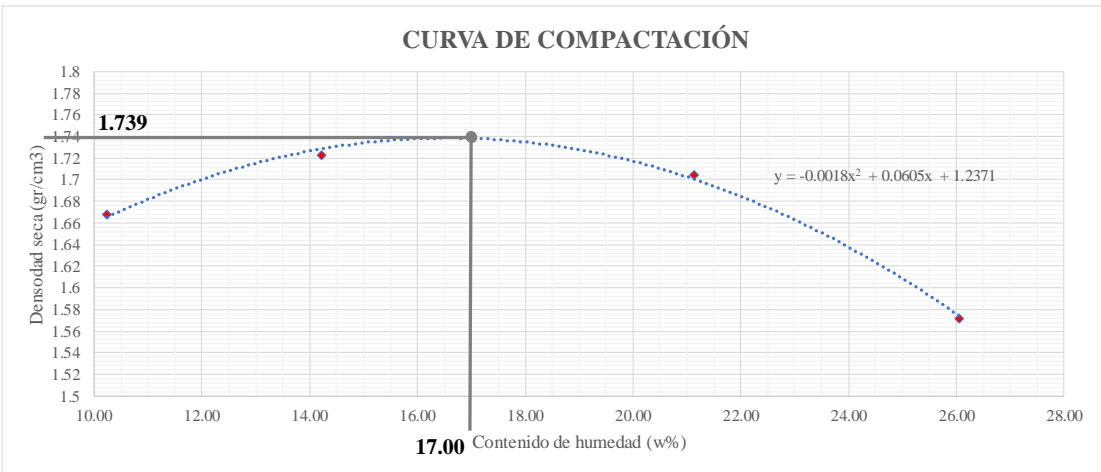
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE COMPACTACIÓN			
Proyecto: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO			
Provincia:	Tungurahua	Coordenadas:	756696.24 E ; 9865083.13 N
Cantón:	Ambato	Ensayado por:	Fabrizio Sánchez
Parroquia:	Quisapincha	Revisado por:	Ing. M.Sc. Lorena Pérez
PROCTOR MODIFICADO "B" -AASHTO T - 180; ASTM D1557			
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 in
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10 lb
Peso inicial deseado:	6000		6000
			6000
			6000
1) PROCESO DE COMPACTACIÓN			
Número de ensayo	1	2	3
Humedad inicial añadida en %	8	12	16
Peso molde + suelo húmedo (gr)	20767	21189	21288
Peso suelo húmedo (Wm) (gr)	4025	4447	4546
Peso unitario húmedo (γ_m) (gr/cm ³)	1.822	2.013	2.058
			1.996
2) DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
Número de recipiente	F1	F2	F3
Peso del recipiente (Wr) (gr)	9.124	9.583	9.621
Suelo húmedo + recipiente (Wm + Wr) (gr)	60.117	53.753	38.746
Suelo seco + recipiente (Ws + Wr) (gr)	54.318	49.086	34.074
Peso de los sólidos (Ws) (gr)	45.194	39.503	24.453
Peso del agua (Ww) (gr)	5.799	4.667	4.672
Contenido de humedad (ω %)	12.83	11.81	19.11
Contenido de humedad promedio ω %	12.32		18.30
Peso volumétrico seco (γ_d) (gr/cm ³)	1.622		1.702
			1.685
			1.584
3) GRÁFICA DE DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA			
Densidad seca máxima ($\gamma_{máx}$):	1.702	gr/cm ³	Humedad Óptima (W% óptimo): 18.50 %
			

Tabla 33. Próctor modificado del suelo en estado natural + NaCl al 15%



		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Proyecto: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO								
Provincia:	Tungurahua	Coordenadas:	756696.24 E ; 9865083.13 N					
Cantón:	Ambato	Ensayado por:	Fabricio Sánchez					
Parroquia:	Quisapincha	Revisado por:	Ing. M.Sc. Lorena Pérez					
PROCTOR MODIFICADO "B" -AASHTO T - 180; ASTM D1557								
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS								
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 in	Peso del molde:	16626 gr			
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10 lb	Volumen del molde:	2208.93 cm ³			
Peso inicial deseado:	6000	6000	6000	6000	6000			
1) PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Número de ensayo	1	2	3	4				
Humedad inicial añadida en %	4	8	12	16				
Peso molde + suelo húmedo (gr)	20689	20973	21189	21005				
Peso suelo húmedo (Wm) (gr)	4063	4347	4563	4379				
Peso unitario húmedo (γ _m) (gr/cm ³)	1.839	1.968	2.066	1.982				
2) DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD								
Número de recipiente	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Peso del recipiente (Wr) (gr)	7.531	7.62	9.462	9.265	7.32	9.673	7.641	9.327
Suelo húmedo + recipiente (Wm + Wr) (gr)	56.824	64.3	57.167	58.614	54.176	66.06	67.697	73.122
Suelo seco + recipiente (Ws + Wr) (gr)	52.245	59.038	51.605	52.09	44.844	57.694	54.727	60.538
Peso de los sólidos (Ws) (gr)	44.714	51.418	42.143	42.825	37.524	48.021	47.086	51.211
Peso del agua (Ww) (gr)	4.579	5.262	5.562	6.524	9.332	8.366	12.97	12.584
Contenido de humedad (ω %) (gr/cm ³)	10.24	10.23	13.20	15.23	24.87	17.42	27.55	24.57
Contenido de humedad promedio ω %	10.24		14.22		21.15		26.06	
Peso volumétrico seco (γ _d) (gr/cm ³)	1.668		1.723		1.705		1.572	
3) GRÁFICA DE DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Densidad seca máxima (γ _d máx):	1.739	gr/cm ³	Humedad Óptima (W% óptimo):		17.00	%		

CURVA DE COMPACTACIÓN

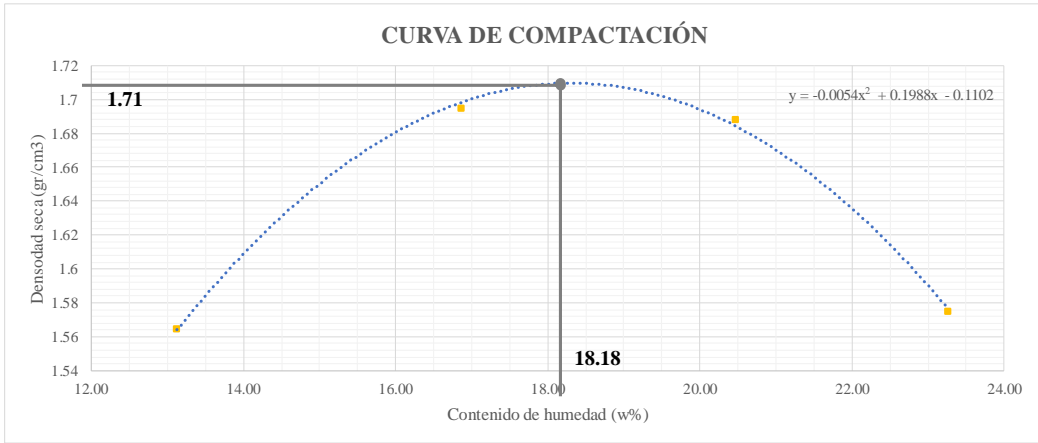


The graph plots Dry Density (γ_d) in gr/cm³ on the y-axis (ranging from 1.5 to 1.8) against Moisture Content (w%) on the x-axis (ranging from 10.00 to 28.00). A blue dotted curve represents the compaction data points. A vertical line marks the peak of the curve at 17.00% moisture content, corresponding to a maximum dry density of 1.739 gr/cm³. The equation of the curve is given as $y = -0.0018x^2 + 0.0605x + 1.2371$.

Tabla 34. Próctor modificado del suelo en estado natural + NaCl al 20%

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Proyecto: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO								
Provincia:	Tungurahua	Coordenadas:	756696.24 E ; 9865083.13 N					
Cantón:	Ambato	Ensayado por:	Fabricio Sánchez					
Parroquia:	Quisapincha	Revisado por:	Ing. M.Sc. Lorena Pérez					
PROCTOR MODIFICADO "B" -AASHTO T - 180; ASTM D1557								
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS								
Número de golpes:	56	Altura de caída:	18 in	Peso del molde:	14119 gr			
Número de capas:	5	Peso del martillo:	10 lb	Volumen del molde:	2261.95 cm ³			
Peso inicial deseado:	6000	6000	6000	6000	6000			
1) PROCESO DE COMPACTACIÓN								
Número de ensayo	1	2	3	4				
Humedad inicial añadida en %	8	12	16	20				
Peso molde + suelo húmedo (gr)	18123	18601	18720	18509				
Peso suelo húmedo (Wm) (gr)	4004	4482	4601	4390				
Peso unitario húmedo (γ_m) (gr/cm ³)	1.770	1.981	2.034	1.941				
2) DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD								
Número de recipiente	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Peso del recipiente (Wr) (gr)	9.673	9.265	9.127	9.67	9.456	9.327	9.638	9.589
Suelo húmedo + recipiente (Wm + Wr) (gr)	58.822	61.543	63.392	54.85	68.244	55.533	80.922	82.938
Suelo seco + recipiente (Ws + Wr) (gr)	51.883	56.864	55.009	48.803	58.859	47.219	67.203	69.377
Peso de los sólidos (Ws) (gr)	42.21	47.599	45.882	39.133	49.403	37.892	57.565	59.788
Peso del agua (Ww) (gr)	6.939	4.679	8.383	6.047	9.385	8.314	13.719	13.561
Contenido de humedad (ω %)	16.44	9.83	18.27	15.45	19.00	21.94	23.83	22.68
Contenido de humedad promedio ω %	13.13		16.86		20.47		23.26	
Peso volumétrico seco (γ_d) (gr/cm ³)	1.565		1.695		1.688		1.575	
3) GRÁFICA DE DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA								
Densidad seca máxima ($\gamma_{m\acute{a}x}$):	1.71	gr/cm ³	Humedad Óptima (W% óptimo):	18.18	%			

CURVA DE COMPACTACIÓN

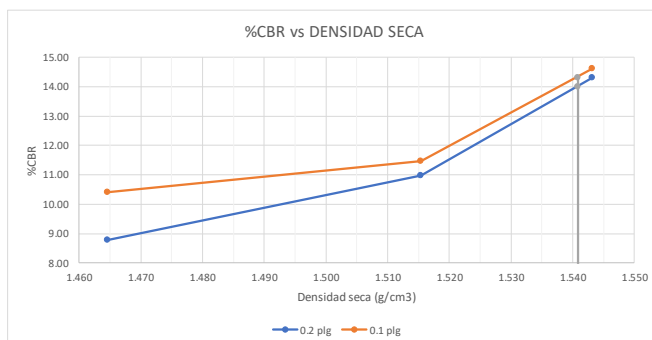
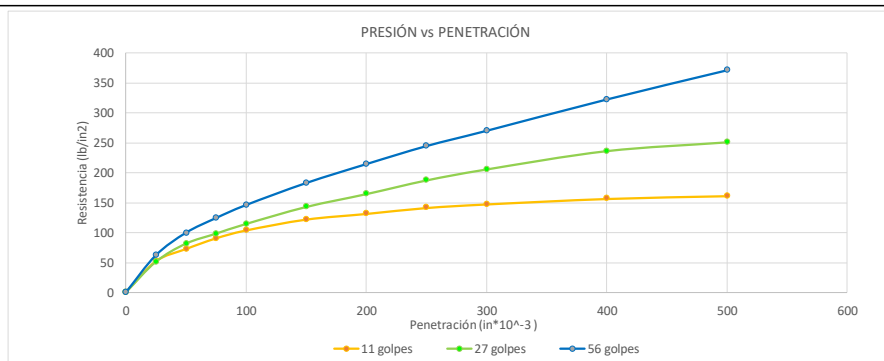


The graph displays a series of data points connected by a dotted blue line, forming a parabolic shape. The x-axis represents 'Contenido de humedad (w%)' ranging from 12.00 to 24.00. The y-axis represents 'Densidad seca (gr/cm³)' ranging from 1.54 to 1.72. A vertical line marks the peak of the curve at 18.18% moisture content, corresponding to a maximum dry density of 1.71 gr/cm³. The equation of the curve is given as $y = -0.0054x^2 + 0.1988x - 0.1102$.

Tabla 35. CBR del suelo en estado natural

PROYECTO:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO						
	NORMAS			AASHTO T 193 2013			
Provincia:	Tungurahua	Coordenadas	756696.24 E ; 9865083.13 N				
Cantón:	Ambato	Ensayado por:	Fabricio Sánchez				
Parroquia:	Quisapincha	Revisado por:	Ing. M.Sc. Lorena Pérez				
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO							
Peso Muestra	6000	g	Densidad Máx. Seca	1.622		g/cm³	
Peso Martillo	10	lb		W% Óptimo	21.00		%
Altura de Caída	18	in					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR							
DIMENSIONES	Diámetro	15.2	Diámetro	15.2	Diámetro	15.3	cm
	Altura	12.6	Altura	12.6	Altura	12.7	cm
Nº de Capas	5		5		5		
Nº de Golpes	56		27		11		
Peso Húmeda + Molde	11196		10731		12988		g
Peso Molde	6940		6423		8731		g
Peso de Muestra Húmeda	4256		4308		4257		g
Volumen Muestra	2286.38		2286.38		2334.94		cm³
Peso unitario Húmedo γm	1.861		1.884		1.823		g/cm³
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente Número	A	B	C	D	E	F	
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	69.618	71.879	64.584	62.637	64.032	62.456	g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	59.872	60.716	53.375	52.705	54.103	51.326	g
Peso del agua (Ww)	9.746	11.163	11.209	9.932	9.929	11.130	g
Peso del recipiente (Wr)	9.583	9.656	9.589	9.670	9.501	9.638	g
Peso de la muestra seca (Ws)	50.289	51.060	43.786	43.035	44.602	41.688	g
Contenido de humedad (ω)	19.38	21.86	25.60	23.08	22.26	26.70	%
Promedio contenido de humedad (ω)	20.62		24.34		24.48		%
Peso Volumétrico Seco γd	1.543		1.515		1.465		g/cm³
DESPÚES DE LA SATURACIÓN							
Peso Húmeda + Molde	11295		11712		13158		g
Peso Molde	6940		6423		8731		g
Peso de Muestra Húmeda	4355		5289		4427		g
Volumen Muestra	2286.37		2286.37		2334.94		cm³
Peso unitario Húmedo γm	1.905		2.313		1.896		g/cm³
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente Número	A	B	C	D	E	F	
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	72.336	84.075	77.056	76.746	76.397	78.184	g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	57.735	65.444	60.742	60.671	58.781	60.156	g
Peso del agua (Ww)	14.601	18.631	16.314	16.075	17.616	18.028	g
Peso del recipiente (Wr)	9.115	9.638	9.655	9.395	9.456	9.656	g
Peso de la muestra seca (Ws)	48.620	55.806	51.087	51.276	49.325	50.500	g
Contenido de humedad (ω)	30.03	33.39	31.93	31.35	35.71	35.70	%
Promedio contenido de humedad (ω)	31.71		31.64		35.71		%
Peso Volumétrico Seco γd	1.446		1.757		1.397		g/cm³
DATOS DEL ESPONJAMIENTO							
FECHA	HORA	LECTURA DIAL (x10 ⁻²)					
		56		27		11	
		mm	in	mm	in	mm	in
21/11/2023	16:45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22/11/2023	16:42	0.86	3.38582	0.880	3.46456	0.990	3.89763
23/11/2023	16:44	0.87	3.42519	0.900	3.5433	1.000	3.937
24/11/2023	16:40	0.88	3.46456	0.920	3.62204	1.020	4.01574
Altura de la muestra (in)		4.96		4.96		5.00	
Esponjamiento lineal absoluto (in x10 ⁻²)		3.46		3.62		4.02	
Esponjamiento lineal relativo (%)		0.70		0.73		0.80	

MÁQUINA DE COMPRESIÓN SIMPLE (CONTROLS)										
Área de Pistón		3		in²		Velocida de carga		1.270		
								0.05		
								mm/min		
								in/min		
PENETRACIÓN in *10-3	Q Estándar (lb/in²)	MOLDE N° 1 (56 Golpes)			MOLDE N° 2 (27 Golpes)			MOLDE N° 3 (11 Golpes)		
		Q Carga	Leída	CBR%	Q Carga	Leída	CBR%	Q Carga	Leída	CBR%
0		0	0		0	0		0	0	
25	1000	186.2	62.1	14.61	153.9	51.3	11.46	156.8	52.3	10.42
50		299.2	99.7		245.1	81.7		218.9	73.0	
75		373.1	124.4		295.2	98.4		272.7	90.9	
100		438.3	146.1		343.9	114.6		312.6	104.2	
150		548.6	182.9		429.1	143.0		367.3	122.4	
200		643.4	214.5		493.6	164.5		395.8	131.9	
250		733.7	244.6		562.3	187.4		425.6	141.9	
300		810.3	270.1		617.4	205.8		443.7	147.9	
400		967.3	322.4		709.4	236.5		471.2	157.1	
500		1113.6	371.2		753.6	251.2		485.4	161.8	

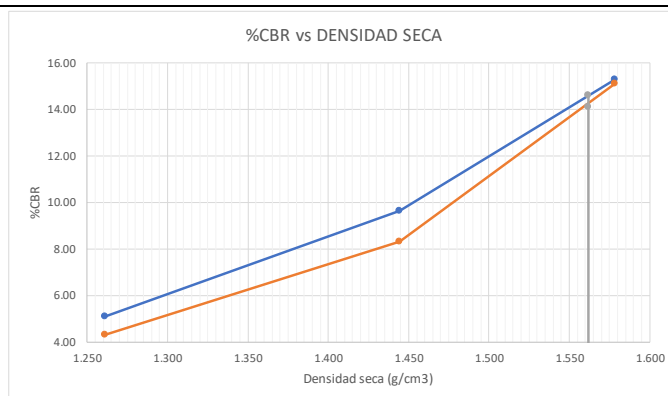
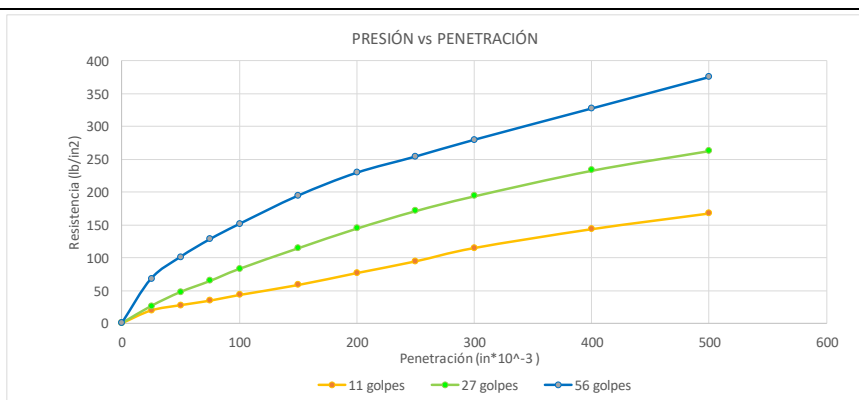


MOLDE		1	2	3
CBR %	0,1"	14.61	11.46	10.42
	0,2"	14.30	10.97	8.80
Densida Seca	g/cm3	1.543	1.515	1.465
Densidad seca máx		%CBR-0,1 in	%CBR-0,2 in	MAYOR %CBR
95% DSM= 1.541		14.3	13.99	14.3

Tabla 36. CBR del suelo en estado natural + MgCl2 al 3%

PROYECTO:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO						
	NORMAS				AASHTO T 193 2013		
Provincia:	Tungurahua	Coordenadas:		756696.24 E ; 9865083.13 N			
Cantón:	Ambato	Ensayado por:		Fabricio Sánchez			
Parroquia:	Quisapincha	Revisado por:		Ing. M.Sc. Lorena Pérez			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO							
Peso Muestra	6000	g	Densidad Máx. Seca	1.644		g/cm ³	
Peso Martillo	10	lb		W% Óptimo		19.48 %	
Altura de Caída	18	in					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR							
DIMENSIONES	Diámetro	15.2	Diámetro	15.2	Diámetro	15.3	cm
	Altura	12.6	Altura	12.6	Altura	12.7	cm
Nº de Capas	5		5		5		
Nº de Golpes	56		27		11		
Peso Húmeda + Molde	11254		10400		12323		
Peso Molde	6940		6423		8731		
Peso de Muestra Húmeda	4314		3977		3592		
Volumen Muestra	2286.38		2286.38		2334.94		
Peso unitario Húmedo γ _m	1.887		1.739		1.538		
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente Número	A	B	C	D	E	F	
Peso muestra húmeda + recipiente (W _m + W _r)	73.862	77.945	76.705	66.398	76.463	66.638	g
Peso muestra seca + recipiente (W _s + W _r)	64.158	65.969	66.417	55.793	65.225	55.009	g
Peso del agua (W _w)	9.704	11.976	10.288	10.605	11.238	11.629	g
Peso del recipiente (W _r)	9.673	9.583	9.127	9.462	9.589	6.100	g
Peso de la muestra seca (W _s)	54.485	56.386	57.290	46.331	55.636	48.909	g
Contenido de humedad (ω)	17.81	21.24	17.96	22.89	20.20	23.78	%
Promedio contenido de humedad (ω)	19.52		20.42		21.99		
Peso Volumétrico Seco γ _d	1.579		1.444		1.261		
DESPUÉS DE LA SATURACIÓN							
Peso Húmeda + Molde	11322		10739		12766		
Peso Molde	6940		6423		8731		
Peso de Muestra Húmeda	4382		4316		4035		
Volumen Muestra	2286.37		2286.37		2334.94		
Peso unitario Húmedo γ _m	1.917		1.888		1.728		
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente Número	A	B	C	D	E	F	
Peso muestra húmeda + recipiente (W _m + W _r)	69.948	65.478	75.737	79.574	67.553	64.514	g
Peso muestra seca + recipiente (W _s + W _r)	58.875	54.547	60.742	67.812	54.157	61.571	g
Peso del agua (W _w)	11.073	10.931	14.995	11.762	13.396	2.943	g
Peso del recipiente (W _r)	9.115	9.456	9.670	9.640	9.656	9.638	g
Peso de la muestra seca (W _s)	49.760	45.091	51.072	58.172	44.501	51.933	g
Contenido de humedad (ω)	22.25	24.24	29.36	20.22	30.10	5.67	%
Promedio contenido de humedad (ω)	23.25		24.79		17.88		
Peso Volumétrico Seco γ _d	1.555		1.513		1.466		
DATOS DEL ESPONJAMIENTO							
FECHA	HORA	LECTURA DIAL (x10 ⁻²)					
		56		27		11	
		mm	in	mm	in	mm	in
21/11/2023	16:42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22/11/2023	16:43	0.80	3.1496	0.600	2.3622	0.700	2.7559
23/11/2023	16:43	0.80	3.1496	0.800	3.1496	0.820	3.22834
24/11/2023	16:45	0.80	3.1496	0.820	3.22834	0.840	3.30708
Altura de la muestra (in)		4.96		4.96		5.00	
Esponjamiento lineal absoluto (in x10 ⁻²)		3.15		3.23		3.31	
Esponjamiento lineal relativo (%)		0.63		0.65		0.66	

MÁQUINA DE COMPRESIÓN SIMPLE (CONTROLS)										
Área de Pistón		3		in ²	Velocidad de carga			1.270	mm/min	
								0.05	in/min	
PENETRACIÓN in *10-3	Q Estándar (lb/in ²)	MOLDE N° 1 (56 Golpes)			MOLDE N° 2 (27 Golpes)			MOLDE N° 3 (11 Golpes)		
		Q Carga	Presiones Leída		Q Carga	Presiones Leída		Q Carga	Presiones Leída	
0		0	0		0	0		0	0	
25	1000	203.6	67.9	15.11	79.0	26.3	8.30	58.6	19.5	4.30
50		303.2	101.1		143.5	47.8		82.8	27.6	
75		383.8	127.9		193.7	64.6		103.2	34.4	
100		453.2	151.1		249.1	83.0		129.1	43.0	
150		582.6	194.2		343.4	114.5		174.6	58.2	
200		687.4	229.1		433.6	144.5		229.2	76.4	
250		761.3	253.8		513.7	171.2		282.6	94.2	
300		837.8	279.3		581.6	193.9		343.6	114.5	
400		980.7	326.9		698.9	233.0		429.7	143.2	
500		1124.1	374.7		789.3	263.1		501.4	167.1	
	1500			15.28			9.64			5.09

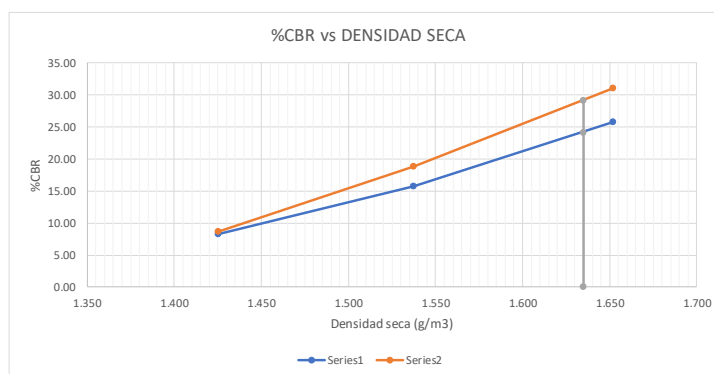
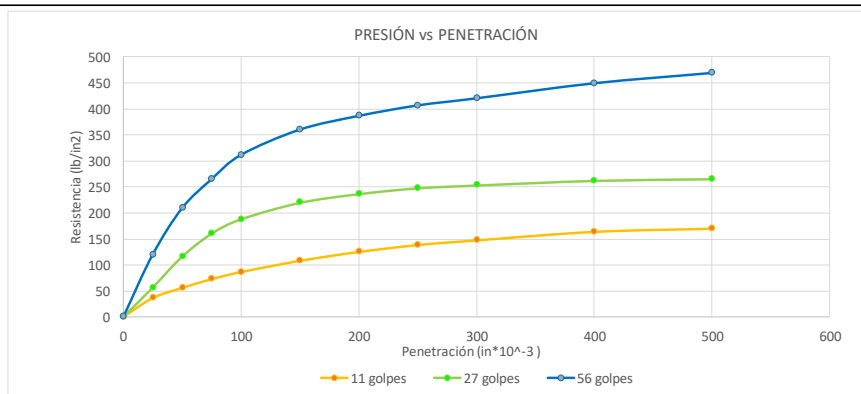


MOLDE		1	2	3
CBR %	0,1"	15.11	8.30	4.30
	0,2"	15.28	9.64	5.09
Densida Seca	g/cm3	1.579	1.444	1.261
Densida seca máx		%CBR-0,1 in	%CBR-0,2 in	MAYOR %CBR
95% DSM= 1.562		14.1	14.6	14.6

Tabla 37. CBR del suelo en estado natural + MgCl2 al 6%

PROYECTO:		ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO					
		NORMAS			AASHTO T 193 2013		
Provincia:	Tungurahua	Coordenadas:		756696.24 E ; 9865083.13 N			
Cantón:	Ambato	Ensayado por:		Fabricio Sánchez			
Parroquia:	Quisapíncha	Revisado por:		Ing. M.Sc. Lorena Pérez			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO							
Peso Muestra	6000	g	Densidad Máx. Seca		1.721	g/cm ³	
Peso Martillo	10	lb	W% Óptimo		21.20	%	
Altura de Caída	18	in					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR							
DIMENSIONES	Diámetro	15.1	Diámetro	15.3	Diámetro	15.1	cm
	Altura	12.5	Altura	12.4	Altura	12.2	cm
N° de Capas	5		5		5		
N° de Golpes	56		27		11		
Peso Húmeda + Molde	12331		12426		11100		g
Peso Molde	8266		8478		7543		g
Peso de Muestra Húmeda	4065		3948		3557		g
Volumen Muestra	2238.48		2279.79		2184.76		cm ³
Peso unitario Húmedo γ_m	1.816		1.732		1.628		g/cm ³
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente Número	A	B	C	D	E	F	
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	90.860	86.461	84.974	83.169	95.177	68.345	g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	83.914	78.950	75.719	75.719	84.829	60.746	g
Peso del agua (Ww)	6.946	7.511	9.255	7.450	10.348	7.599	g
Peso del recipiente (Wr)	9.456	7.620	9.655	9.501	9.395	9.115	g
Peso de la muestra seca (Ws)	74.458	71.330	66.064	66.218	75.434	51.631	g
Contenido de humedad (ω)	9.33	10.53	14.01	11.25	13.72	14.72	%
Promedio contenido de humedad (ω)	9.93		12.63		14.22		%
Peso Volumétrico Seco γ_d	1.652		1.538		1.425		g/cm ³
DESPUÉS DE LA SATURACIÓN							
Peso Húmeda + Molde	12648		12830		11615		g
Peso Molde	8266		8478		7543		g
Peso de Muestra Húmeda	4382		4352		4072		g
Volumen Muestra	2238.48		2279.79		2184.76		cm ³
Peso unitario Húmedo γ_m	1.958		1.909		1.864		g/cm ³
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente Número	A	B	C	D	E	F	
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	64.971	57.548	59.095	56.841	55.436	58.973	g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	50.745	47.914	48.691	46.970	45.149	47.868	g
Peso del agua (Ww)	14.226	9.634	10.404	9.871	10.287	11.105	g
Peso del recipiente (Wr)	9.115	9.456	9.670	9.640	9.656	9.638	g
Peso de la muestra seca (Ws)	41.630	38.458	39.021	37.330	35.493	38.230	g
Contenido de humedad (ω)	34.17	25.05	26.66	26.44	28.98	29.05	%
Promedio contenido de humedad (ω)	29.61		26.55		29.02		%
Peso Volumétrico Seco γ_d	1.510		1.508		1.445		g/cm ³
DATOS DEL ESPONJAMIENTO							
FECHA	HORA	LECTURA DIAL ($\times 10^{-2}$)					
		56		27		11	
		mm	in	mm	in	mm	in
27/11/2023	15:30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28/11/2023	15:32	0.79	3.11023	0.800	3.1496	0.820	3.22834
29/11/2023	15:35	0.79	3.11023	0.800	3.1496	0.820	3.22834
30/11/2023	15:28	0.80	3.1496	0.810	3.18897	0.830	3.26771
Altura de la muestra (in)		4.92		4.88		4.80	
Esponjamiento lineal absoluto (in $\times 10^{-2}$)		3.15		3.19		3.27	
Esponjamiento lineal relativo (%)		0.64		0.65		0.68	

MÁQUINA DE COMPRESIÓN SIMPLE (CONTROLS)										
Área de Pistón		3		in ²	Velocidad de carga		1.270		mm/min	
							0.05		in/min	
PENETRACIÓN in *10 ⁻³	Q Estándar (lb/in ²)	MOLDE N° 1 (56 Golpes)			MOLDE N° 2 (27 Golpes)			MOLDE N° 3 (11 Golpes)		
		Q Carga	Presiones Leída CBR%		Q Carga	Presiones Leída CBR%		Q Carga	Presiones Leída CBR%	
0		0	0		0	0		0	0	
25	1000	359.8	119.9	31.12	169.6	56.5	18.80	109.3	36.4	8.66
50		627.3	209.1		348.5	116.2		167.8	55.9	
75		793.8	264.6		480.8	160.3		218.7	72.9	
100		933.7	311.2		563.9	188.0		259.7	86.6	
150		1079.3	359.8		659.3	219.8		324.8	108.3	
200		1158.3	386.1		709.6	236.5		376.1	125.4	
250		1218.6	406.2		743.3	247.8		416.2	138.7	
300		1259.6	419.9		759.6	253.2		443.2	147.7	
400		1346.2	448.7		786.4	262.1		492.6	164.2	
500		1405.7	468.6		796.2	265.4		511.2	170.4	
	1500			25.74			15.77			8.36

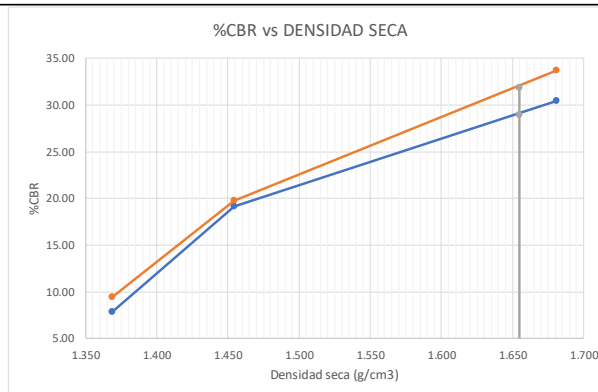
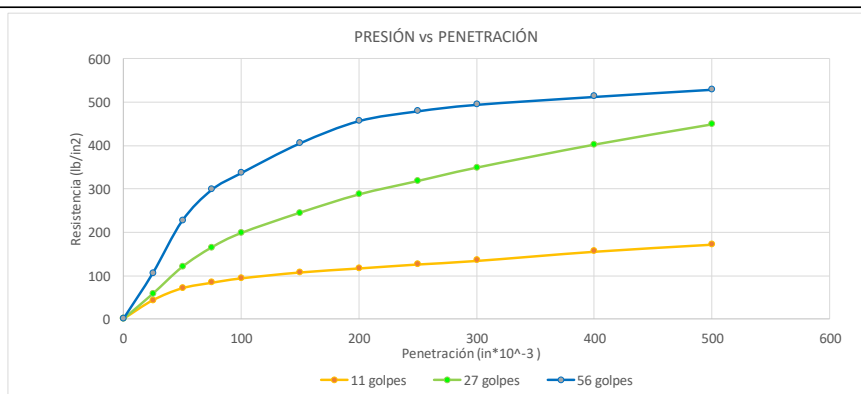


MOLDE		1	2	3
CBR %	0,1"	31.12	18.80	8.66
	0,2"	25.74	15.77	8.36
Densida Seca	g/cm3	1.652	1.538	1.425
Densidad seca máx		%CBR-0,1 in	%CBR-0,2 in	MAYOR %CBR
95% DSM= 1.635		29.1	24.1	29.1

Tabla 38. CBR del suelo en estado natural + MgCl2 al 9%

PROYECTO:		ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO					
		NORMAS			AASHTO T 193 2013		
Provincia:	Tungurahua	Coordenadas:		756696.24 E ; 9865083.13 N			
Cantón:	Ambato	Ensayado por:		Fabricio Sánchez			
Parroquia:	Quisapíncha	Revisado por:		Ing. M.Sc. Lorena Pérez			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO							
Peso Muestra	6000	g	Densidad Máx. Seca		1.742	g/cm³	
Peso Martillo	10	lb	W% Óptimo		20.00	%	
Altura de Caída	18	in					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR							
DIMENSIONES	Diámetro	15.2	Diámetro	15.3	Diámetro	15.4	cm
	Altura	12.5	Altura	12.6	Altura	12.5	cm
Nº de Capas	5		5		5		
Nº de Golpes	56		27		11		
Peso Húmeda + Molde	12455		13745		13331		g
Peso Molde	7863		9627		9428		g
Peso de Muestra Húmeda	4592		4118		3903		g
Volumen Muestra	2268.23		2316.56		2328.31		cm³
Peso unitario Húmedo γ _m	2.024		1.778		1.676		g/cm³
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente Número	A	B	C	D	E	F	
Peso muestra húmeda + recipiente (W _m + W _r)	57.170	62.264	55.285	52.471	44.028	52.693	g
Peso muestra seca + recipiente (W _s + W _r)	48.999	53.443	47.438	44.141	36.743	45.982	g
Peso del agua (W _w)	8.171	8.821	7.847	8.330	7.285	6.711	g
Peso del recipiente (W _r)	9.638	9.589	9.115	9.456	9.324	9.541	g
Peso de la muestra seca (W _s)	39.361	43.854	38.323	34.685	27.419	36.441	g
Contenido de humedad (ω)	20.76	20.11	20.48	24.02	26.57	18.42	%
Promedio contenido de humedad (ω)	20.44		22.25		22.49		%
Peso Volumétrico Seco γ _d	1.681		1.454		1.369		g/cm³
DESPUÉS DE LA SATURACIÓN							
Peso Húmeda + Molde	12271		14065		13730		g
Peso Molde	7863		9627		9428		g
Peso de Muestra Húmeda	4408		4438		4302		g
Volumen Muestra	2268.23		2316.56		2328.31		cm³
Peso unitario Húmedo γ _m	1.943		1.916		1.848		g/cm³
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente Número	A	B	C	D	E	F	
Peso muestra húmeda + recipiente (W _m + W _r)	81.674	77.390	69.232	78.038	82.243	67.206	g
Peso muestra seca + recipiente (W _s + W _r)	67.240	64.371	56.108	63.160	67.035	54.064	g
Peso del agua (W _w)	14.434	13.019	13.124	14.878	15.208	13.142	g
Peso del recipiente (W _r)	9.656	9.670	9.670	7.680	7.320	7.630	g
Peso de la muestra seca (W _s)	57.584	54.701	46.438	55.480	59.715	46.434	g
Contenido de humedad (ω)	25.07	23.80	28.26	26.82	25.47	28.30	%
Promedio contenido de humedad (ω)	24.43		27.54		26.89		%
Peso Volumétrico Seco γ _d	1.562		1.502		1.456		g/cm³
DATOS DEL ESPONJAMIENTO							
FECHA	HORA	LECTURA DIAL (x10 ⁻²)					
		56		27		11	
		mm	in	mm	in	mm	in
27/11/2023	15:20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28/11/2023	15:21	0.78	3.07086	0.600	2.3622	0.820	3.22834
29/11/2023	15:25	0.78	3.07086	0.800	3.1496	0.830	3.26771
30/11/2023	15:22	0.79	3.11023	0.820	3.22834	0.850	3.34645
Altura de la muestra (in)		4.92		4.96		4.92	
Esponjamiento lineal absoluto (in x10 ⁻²)		3.11		3.23		3.35	
Esponjamiento lineal relativo (%)		0.63		0.65		0.68	

MÁQUINA DE COMPRESIÓN SIMPLE (CONTROLS)										
Área de Pistón		3		in ²	Velocida de carga		1.270		mm/min	
							0.05		in/min	
PENETRACIÓN in *10 ⁻³	Q Estándar (lb/in ²)	MOLDE N° 1 (56 Golpes)			MOLDE N° 2 (27 Golpes)			MOLDE N° 3 (11 Golpes)		
		Q Carga	Presiones Leída CBR%		Q Carga	Presiones Leída CBR%		Q Carga	Presiones Leída CBR%	
0		0	0		0	0		0	0	
25		316.6	105.5		173.3	57.8		129.8	43.3	
50		679.6	226.5		358.8	119.6		213.6	71.2	
75		893.7	297.9		493.7	164.6		251.5	83.8	
100	1000	1009.8	336.6	33.66	592.8	197.6	19.76	282.3	94.1	9.41
150		1216.6	405.5		733.6	244.5		323.5	107.8	
200	1500	1370.7	456.9	30.46	859.6	286.5	19.10	351.4	117.1	7.81
250		1438.8	479.6		952.4	317.5		379.1	126.4	
300		1483.9	494.6		1044.6	348.2		403.8	134.6	
400		1538.8	512.9		1203.6	401.2		467.8	155.9	
500		1588.6	529.5		1343.8	447.9		517.3	172.4	

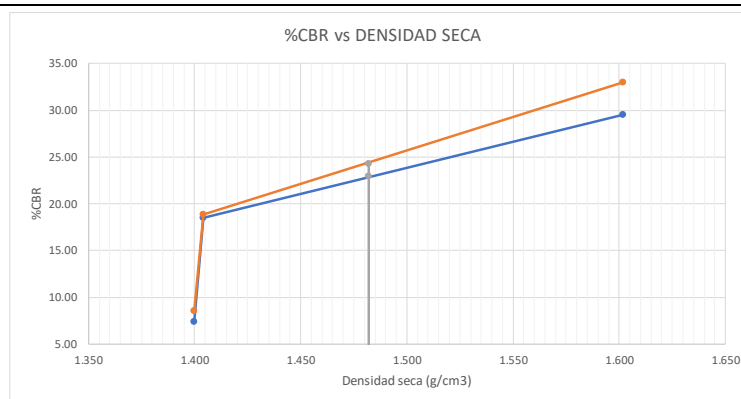
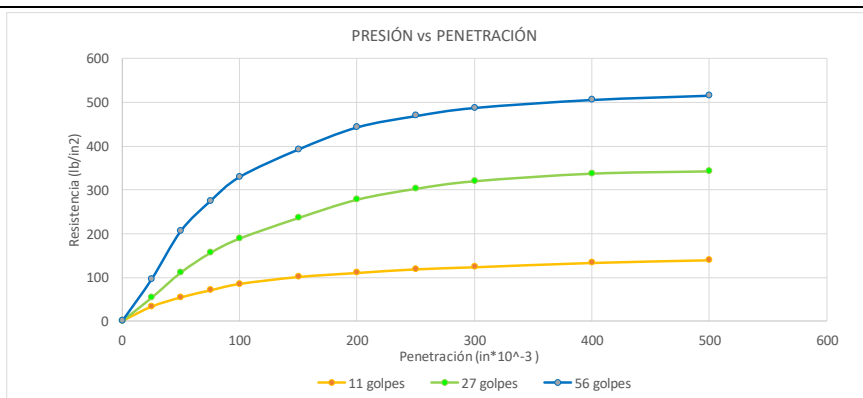


MOLDE	1			2			3		
	CBR %	0,1"	33.66	19.76	9.41	0,2"	30.46	19.10	7.81
Densida Seca	g/cm3	1.681	1.454	1.369					
Densidad seca máx		%CBR-0,1 in	%CBR-0,2 in	MAYOR %CBR					
95% DSM=	1.655	28.9	31.8	31.8					

Tabla 39. CBR del suelo en estado natural + MgCl2 al 12%

PROYECTO:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO						
	NORMAS				AASHTO T 193 2013		
Provincia:	Tungurahua	Coordenadas:		756696.24 E ; 9865083.13 N			
Cantón:	Ambato	Ensayado por:		Fabricio Sánchez			
Parroquia:	Quisapincha	Revisado por:		Ing. M.Sc. Lorena Pérez			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO							
Peso Muestra	6000	g	Densidad Máx. Seca	1.560		g/cm ³	
Peso Martillo	10	lb		W% Óptimo	21.00		%
Altura de Caída	18	in					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR							
DIMENSIONES	Diámetro	15.2	Diámetro	15.3	Diámetro	15.4	cm
	Altura	12.5	Altura	12.6	Altura	12.5	cm
Nº de Capas	5		5		5		
Nº de Golpes	56		27		11		
Peso Húmeda + Molde	12317		13691		13407		g
Peso Molde	7863		9627		9428		g
Peso de Muestra Húmeda	4454		4064		3979		g
Volumen Muestra	2268.23		2316.56		2328.31		cm ³
Peso unitario Húmedo γ _m	1.964		1.754		1.709		g/cm ³
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente Número	A	B	C	D	E	F	
Peso muestra húmeda + recipiente (W _m + W _r)	65.870	66.974	66.814	61.847	67.904	67.901	g
Peso muestra seca + recipiente (W _s + W _r)	55.999	55.844	54.917	51.207	58.691	56.071	g
Peso del agua (W _w)	9.871	11.130	11.897	10.640	9.213	11.830	g
Peso del recipiente (W _r)	9.673	9.265	9.641	6.127	9.583	9.469	g
Peso de la muestra seca (W _s)	46.326	46.579	45.276	45.080	49.108	46.602	g
Contenido de humedad (ω)	21.31	23.89	26.28	23.60	18.76	25.39	%
Promedio contenido de humedad (ω)	22.60		24.94		22.07		%
Peso Volumétrico Seco γ _d	1.602		1.404		1.400		g/cm ³
DESPÚES DE LA SATURACIÓN							
Peso Húmeda + Molde	12314		14171		13698		g
Peso Molde	7863		9627		9428		g
Peso de Muestra Húmeda	4451		4544		4270		g
Volumen Muestra	2268.23		2316.56		2328.31		cm ³
Peso unitario Húmedo γ _m	1.962		1.962		1.834		g/cm ³
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente Número	A	B	C	D	E	F	
Peso muestra húmeda + recipiente (W _m + W _r)	71.011	76.971	68.191	77.391	73.701	68.924	g
Peso muestra seca + recipiente (W _s + W _r)	59.914	65.814	56.927	65.938	62.871	57.814	g
Peso del agua (W _w)	11.097	11.157	11.264	11.453	10.830	11.110	g
Peso del recipiente (W _r)	9.365	9.456	9.115	9.655	9.462	9.124	g
Peso de la muestra seca (W _s)	50.549	56.358	47.812	56.283	53.409	48.690	g
Contenido de humedad (ω)	21.95	19.80	23.56	20.35	20.28	22.82	%
Promedio contenido de humedad (ω)	20.87		21.95		21.55		%
Peso Volumétrico Seco γ _d	1.623		1.608		1.509		g/cm ³
DATOS DEL ESPONJAMIENTO							
FECHA	HORA	LECTURA DIAL (x10 ⁻²)					
		56		27		11	
		mm	in	mm	in	mm	in
11/12/2023	16:55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12/12/2023	16:52	0.82	3.22834	0.890	3.50393	0.950	3.74015
13/12/2023	16:54	0.83	3.26771	0.890	3.50393	0.950	3.74015
14/12/2023	16:53	0.83	3.26771	0.900	3.5433	0.960	3.77952
Altura de la muestra (in)		4.92		4.96		4.92	
Esponjamiento lineal absoluto (in x10 ⁻²)		3.27		3.54		3.78	
Esponjamiento lineal relativo (%)		0.66		0.71		0.77	

MÁQUINA DE COMPRESIÓN SIMPLE (CONTROLS)										
Área de Pistón		3		in ²	Velocidad de carga			1.270		mm/min
								0.05		in/min
PENETRACIÓN in *10 ⁻³	Q Estándar (lb/in ²)	MOLDE N° 1 (56 Golpes)			MOLDE N° 2 (27 Golpes)			MOLDE N° 3 (11 Golpes)		
		Q Carga	Presiones Leída		Q Carga	Presiones Leída		Q Carga	Presiones Leída	
				CBR%			CBR%			CBR%
0		0	0		0	0		0	0	
25	1000	286.7	95.6	32.98	159.2	53.1	18.86	98.9	33.0	8.50
50		619.2	206.4		332.7	110.9		162.7	54.2	
75		823.2	274.4		466.8	155.6		210.7	70.2	
100		989.3	329.8		565.9	188.6		254.9	85.0	
150		1177.9	392.6		706.9	235.6		302.6	100.9	
200		1329.7	443.2		832.8	277.6		330.5	110.2	
250		1407.4	469.1		907.4	302.5		355.4	118.5	
300		1463.4	487.8		959.7	319.9		369.8	123.3	
400		1518.3	506.1		1011.9	337.3		399.4	133.1	
500		1547.8	515.9		1027.8	342.6		417.9	139.3	
	1500			29.55			18.51			7.34

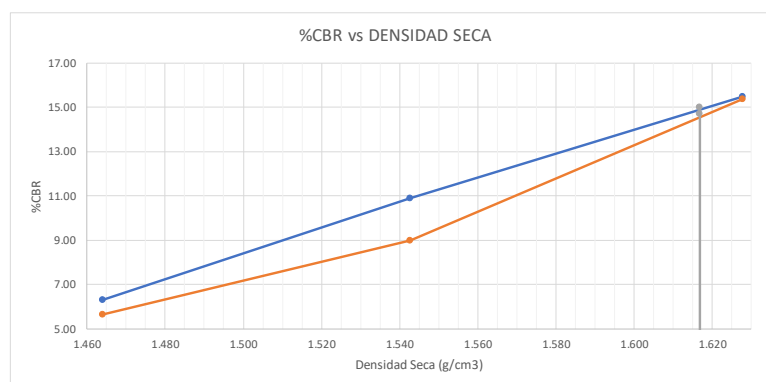
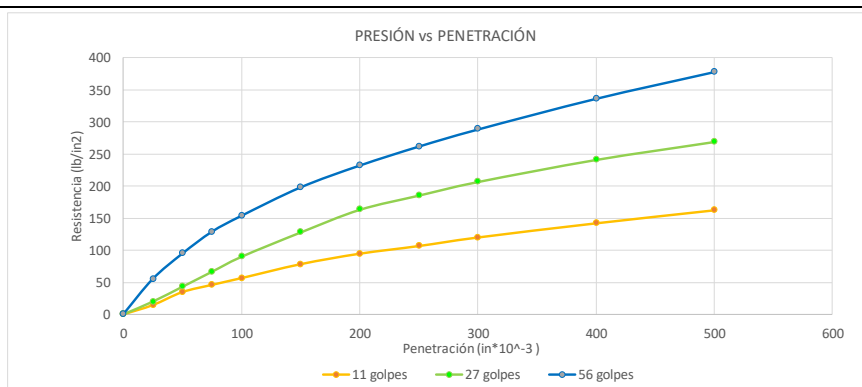


MOLDE		1	2	3
CBR %	0,1"	32.98	18.86	8.50
	0,2"	29.55	18.51	7.34
Densida Seca	g/cm ³	1.602	1.404	1.400
Densidad seca máx		%CBR-0,1 in	%CBR-0,2 in	MAYOR %CBR
95% DSM=	1.482	24.3	22.9	24.3

Tabla 40. CBR del suelo en estado natural + NaCl al 10%

PROYECTO:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO						
	NORMAS				AASHTO T 193 2013		
Provincia:	Tungurahua	Coordenadas:		756696.24 E ; 9865083.13 N			
Cantón:	Ambato	Ensayado por:		Fabricio Sánchez			
Parroquia:	Quisapincha	Revisado por:		Ing. M.Sc. Lorena Pérez			
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO							
Peso Muestra	6000	g		Densidad Máx. Seca	1.702	g/cm ³	
Peso Martillo	10	lb		W% Óptimo	18.50	%	
Altura de Caída	18	in					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR							
DIMENSIONES	Diámetro	15.2	Diámetro	15.2	Diámetro	15.3	cm
	Altura	12.6	Altura	12.6	Altura	12.7	cm
Nº de Capas	5		5		5		
Nº de Golpes	56		27		11		
Peso Húmeda + Molde	11344		10651		12849		
Peso Molde	6940		6423		8731		
Peso de Muestra Húmeda	4404		4228		4118		
Volumen Muestra	2286.38		2286.38		2334.94		
Peso unitario Húmedo γ _m	1.926		1.849		1.764		
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente Número	A	B	C	D	E	F	
Peso muestra húmeda + recipiente (W _m + W _r)	69.214	69.204	51.278	58.178	60.767	68.823	g
Peso muestra seca + recipiente (W _s + W _r)	60.054	59.912	44.089	50.054	51.782	59.077	g
Peso del agua (W _w)	9.160	9.292	7.189	8.124	8.985	9.746	g
Peso del recipiente (W _r)	9.673	9.548	7.630	9.462	9.673	9.327	g
Peso de la muestra seca (W _s)	50.381	50.364	36.459	40.592	42.109	49.750	g
Contenido de humedad (ω)	18.18	18.45	19.72	20.01	21.34	19.59	%
Promedio contenido de humedad (ω)	18.32		19.87		20.46		%
Peso Volumétrico Seco γ _d	1.628		1.543		1.464		
DESPÚES DE LA SATURACIÓN							
Peso Húmeda + Molde	11304		10752		13031		
Peso Molde	6940		6423		8731		
Peso de Muestra Húmeda	4364		4329		4300		
Volumen Muestra	2286.37		2286.37		2334.94		
Peso unitario Húmedo γ _m	1.909		1.893		1.842		
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente Número	A	B	C	D	E	F	
Peso muestra húmeda + recipiente (W _m + W _r)	66.407	65.394	87.507	73.931	70.430	87.329	g
Peso muestra seca + recipiente (W _s + W _r)	55.911	56.123	71.238	60.584	57.068	69.381	g
Peso del agua (W _w)	10.496	9.271	16.269	13.347	13.362	17.948	g
Peso del recipiente (W _r)	7.620	7.531	9.395	9.640	9.548	9.327	g
Peso de la muestra seca (W _s)	48.291	48.592	61.843	50.944	47.520	60.054	g
Contenido de humedad (ω)	21.73	19.08	26.31	26.20	28.12	29.89	%
Promedio contenido de humedad (ω)	20.41		26.25		29.00		%
Peso Volumétrico Seco γ _d	1.585		1.500		1.428		
DATOS DEL ESPONJAMIENTO							
FECHA	HORA	LECTURA DIAL (x10 ⁻²)					
		56		27		11	
		mm	in	mm	in	mm	in
4/12/2023	16:52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5/12/2023	16:53	0.470	1.85039	0.40	1.5748	0.600	2.3622
6/12/2023	16:55	0.480	1.88976	0.60	2.3622	0.770	3.03149
7/12/2023	16:54	0.500	1.9685	0.62	2.44094	0.770	3.03149
Altura de la muestra (in)		4.96		4.96		5.00	
Espojamiento lineal absoluto (in x10 ⁻²)		1.97		2.44		3.03	
Espojamiento lineal relativo (%)		0.40		0.49		0.61	

MÁQUINA DE COMPRESIÓN SIMPLE (CONTROLS)											
Área de Pistón		3		in²		Velocidad de carga		1.270		mm/min	
								0.05		in/min	
PENETRACIÓN in *10-3	Q Estándar (lb/in²)	MOLDE N° 1 (56 Golpes)			MOLDE N° 2 (27 Golpes)			MOLDE N° 3 (11 Golpes)			
		Q Carga	Presiones Leída CBR%		Q Carga	Presiones Leída CBR%		Q Carga	Presiones Leída CBR%		
0		0	0		0	0		0	0		
25	1000	165.7	55.2		59.6	19.9		43.4	14.5		
50		284.4	94.8		129.1	43.0		104.1	34.7		
75		386.8	128.9		199.3	66.4		137.9	46.0		
100		461.5	153.8		269.6	89.9		169.5	56.5		
150		1500	594.6	198.2		383.4	127.8		234.6	78.2	
200			696.8	232.3		489.7	163.2		283.6	94.5	
250			785.6	261.9		556.3	185.4		319.4	106.5	
300			865.6	288.5		620.1	206.7		359.4	119.8	
400			1009.4	336.5		723.6	241.2		425.6	141.9	
500			1134.7	378.2		807.8	269.3		486.4	162.1	

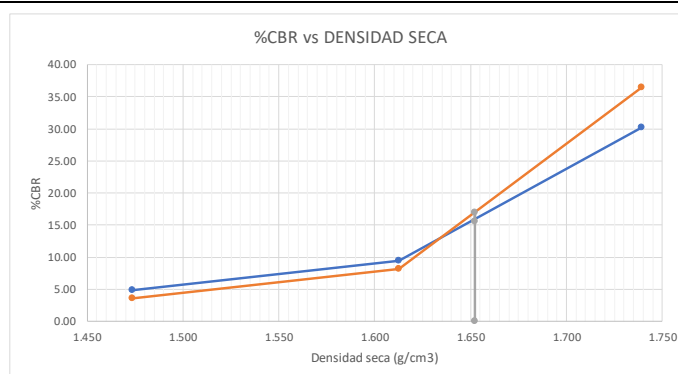
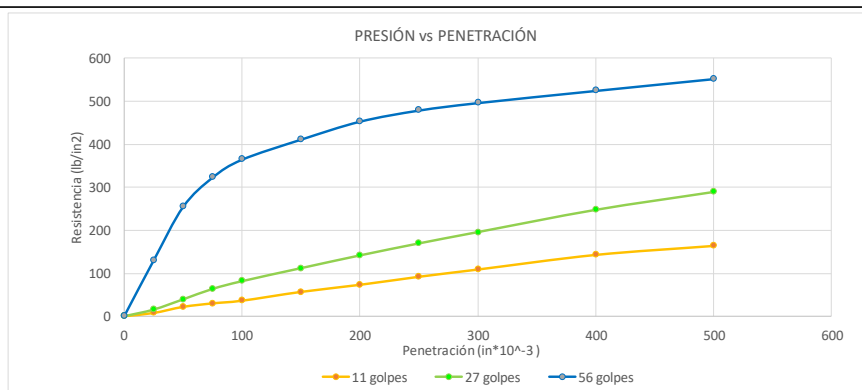


MOLDE		1	2	3	
CBR %	0.1"	15.38	8.99	5.65	
	0.2"	15.48	10.88	6.30	
Densida Seca	g/cm3	1.628	1.543	1.464	
Densidad seca máx		%CBR-0,1 in	%CBR-0,2 in	MAYOR %CBR	
95% DSM= 1.617		14.7	15	15	

Tabla 41. CBR del suelo en estado natural + NaCl al 15%

PROYECTO:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO						
	NORMAS			AASHTO T 193 2013			
Provincia:	Tungurahua	Coordenadas:	756696.24 E ; 9865083.13 N				
Cantón:	Ambato	Ensayado por:	Fabricio Sánchez				
Parroquia:	Quisapincha	Revisado por:	Ing. M.Sc. Lorena Pérez				
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO							
Peso Muestra	6000	g	Densidad Máx. Seca	1.739		g/cm ³	
Peso Martillo	10	lb		W% Óptimo	17.00		%
Altura de Caída	18	in					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR							
DIMENSIONES	Diámetro	15.1	Diámetro	15.3	Diámetro	15.1	cm
	Altura	12.5	Altura	12.4	Altura	12.2	cm
Nº de Capas	5		5		5		
Nº de Golpes	56		27		11		
Peso Húmeda + Molde	12825		12998		11568		g
Peso Molde	8266		8478		7543		g
Peso de Muestra Húmeda	4559		4520		4025		g
Volumen Muestra	2238.48		2279.79		2184.76		cm ³
Peso unitario Húmedo γ _m	2.037		1.983		1.842		g/cm ³
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente Número	A	B	C	D	E	F	
Peso muestra húmeda + recipiente (W _m + W _r)	73.036	69.852	59.873	60.251	60.253	60.964	g
Peso muestra seca + recipiente (W _s + W _r)	64.922	60.039	50.025	51.106	50.318	49.678	g
Peso del agua (W _w)	8.114	9.813	9.848	9.145	9.935	11.286	g
Peso del recipiente (W _r)	9.673	9.826	9.115	9.254	7.620	7.531	g
Peso de la muestra seca (W _s)	55.249	50.213	40.910	41.852	42.698	42.147	g
Contenido de humedad (ω)	14.69	19.54	24.07	21.85	23.27	26.78	%
Promedio contenido de humedad (ω)	17.11		22.96		25.02		%
Peso Volumétrico Seco γ _d	1.739		1.612		1.474		g/cm ³
DESPÚES DE LA SATURACIÓN							
Peso Húmeda + Molde	12682		12865		11551		g
Peso Molde	8266		8478		7543		g
Peso de Muestra Húmeda	4416		4387		4008		g
Volumen Muestra	2238.48		2279.79		2184.76		cm ³
Peso unitario Húmedo γ _m	1.973		1.924		1.835		g/cm ³
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente Número	A	B	C	D	E	F	
Peso muestra húmeda + recipiente (W _m + W _r)	62.648	70.017	74.301	66.426	87.042	68.105	g
Peso muestra seca + recipiente (W _s + W _r)	52.563	57.235	59.293	53.433	68.660	55.187	g
Peso del agua (W _w)	10.085	12.782	15.008	12.993	18.382	12.918	g
Peso del recipiente (W _r)	9.127	9.583	9.501	9.456	9.655	9.589	g
Peso de la muestra seca (W _s)	43.436	47.652	49.792	43.977	59.005	45.598	g
Contenido de humedad (ω)	23.22	26.82	30.14	29.54	31.15	28.33	%
Promedio contenido de humedad (ω)	25.02		29.84		29.74		%
Peso Volumétrico Seco γ _d	1.578		1.482		1.414		g/cm ³
DATOS DEL ESPONJAMIENTO							
FECHA	HORA	LECTURA DIAL (x10 ⁻²)					
		56		27		11	
		mm	in	mm	in	mm	in
4/12/2023	16:41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5/12/2023	16:43	0.340	1.33858	0.50	1.9685	0.700	2.7559
6/12/2023	16:45	0.500	1.9685	0.60	2.3622	0.720	2.83464
7/12/2023	16:43	0.550	2.16535	0.62	2.44094	0.730	2.87401
Altura de la muestra (in)		4.92		4.88		4.80	
Esponjamiento lineal absoluto (in x10 ⁻²)		2.17		2.44		2.87	
Esponjamiento lineal relativo (%)		0.44		0.50		0.60	

MÁQUINA DE COMPRESIÓN SIMPLE (CONTROLS)										
Área de Pistón		3		in²		Velocidad de carga		1.270		mm/min
								0.05		in/min
PENETRACIÓN in *10-3	Q Estándar (lb/in²)	MOLDE N° 1 (56 Golpes)			MOLDE N° 2 (27 Golpes)			MOLDE N° 3 (11 Golpes)		
		Q Carga	Presiones Leída CBR%		Q Carga	Presiones Leída CBR%		Q Carga	Presiones Leída CBR%	
0		0	0		0	0		0	0	
25		389.6	129.9		46.45	15.5		22.8	7.6	
50		763.5	254.5		117.64	39.2		65.4	21.8	
75		968.1	322.7		190.4	63.5		89.7	29.9	
100	1000	1093.3	364.4		244.2	81.4		108.3	36.1	
150		1233.3	411.1		334.85	111.6		169.7	56.6	
200	1500	1358.9	453.0		423.62	141.2		219.1	73.0	
250		1436.5	478.8		507.12	169.0		275.1	91.7	
300		1488.6	496.2		585.85	195.3		325.7	108.6	
400		1573.6	524.5		740.7	246.9		427.6	142.5	
500		1656.2	552.1		865.2	288.4		490.4	163.5	

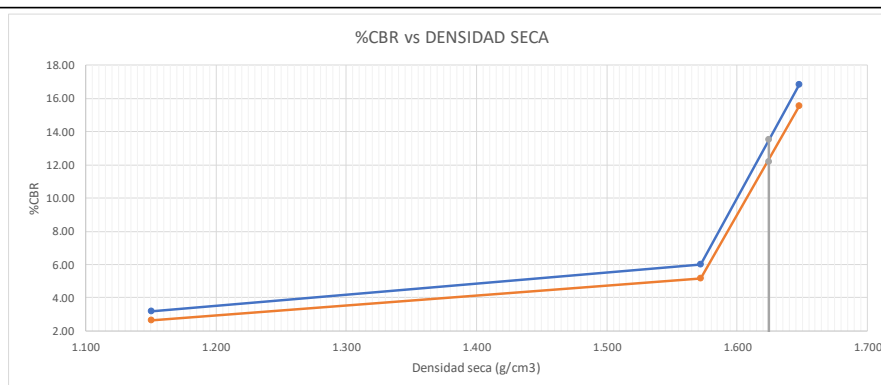
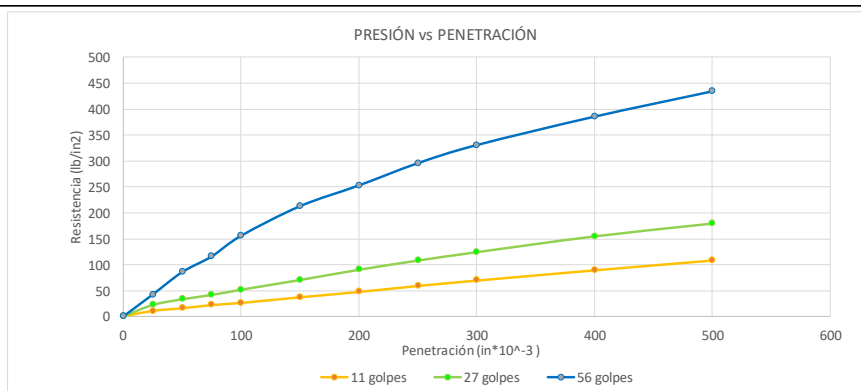


MOLDE		1	2	3
CBR %	0,1"	36.44	8.14	3.61
	0,2"	30.20	9.41	4.87
Densida Seca	g/cm3	1.739	1.612	1.474
Densida seca máx		%CBR-0,1 in	%CBR-0,2 in	MAYOR %CBR
95% DSM= 1.652		15.6	17	17

Tabla 42. CBR del suelo en estado natural + NaCl al 20%

PROYECTO:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO COHESIVO MEDIANTE DOS PRODUCTOS QUÍMICOS CLORURO DE SODIO Y CLORURO DE MAGNESIO						
	NORMAS			AASHTO T 193 2013			
Provincia:	Tungurahua	Coordenadas:	756696.24 E ; 9865083.13 N				
Cantón:	Ambato	Ensayado por:	Fabricio Sánchez				
Parroquia:	Quisapincha	Revisado por:	Ing. M.Sc. Lorena Pérez				
ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO							
Peso Muestra	6000	g	Densidad Máx. Seca	1.710		g/cm ³	
Peso Martillo	10	lb		W% Óptimo	18.18		%
Altura de Caída	18	in					
ENSAYO DE COMPACTACIÓN CBR							
DIMENSIONES	Diámetro	15.1	Diámetro	15.3	Diámetro	15.1	cm
	Altura	12.5	Altura	12.4	Altura	12.2	cm
Nº de Capas	5		5		5		
Nº de Golpes	56		27		11		
Peso Húmeda + Molde	12635		12864		10558		g
Peso Molde	8266		8478		7543		g
Peso de Muestra Húmeda	4369		4386		3015		g
Volumen Muestra	2238.48		2279.79		2184.76		cm ³
Peso unitario Húmedo γ _m	1.952		1.924		1.380		g/cm ³
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente Número	A	B	C	D	E	F	
Peso muestra húmeda + recipiente (W _m + W _r)	76.535	85.998	76.169	76.601	71.568	64.224	g
Peso muestra seca + recipiente (W _s + W _r)	65.729	74.538	63.093	65.129	61.253	55.082	g
Peso del agua (W _w)	10.806	11.460	13.076	11.472	10.315	9.142	g
Peso del recipiente (W _r)	9.655	9.395	9.115	9.254	9.456	9.327	g
Peso de la muestra seca (W _s)	56.074	65.143	53.978	55.875	51.797	45.755	g
Contenido de humedad (ω)	19.27	17.59	24.22	20.53	19.91	19.98	%
Promedio contenido de humedad (ω)	18.43		22.38		19.95		%
Peso Volumétrico Seco γ _d	1.648		1.572		1.151		g/cm ³
DESPÚES DE LA SATURACIÓN							
Peso Húmeda + Molde	12595		12922		10637		g
Peso Molde	8266		8478		7543		g
Peso de Muestra Húmeda	4329		4444		3094		g
Volumen Muestra	2238.48		2279.79		2184.76		cm ³
Peso unitario Húmedo γ _m	1.934		1.949		1.416		g/cm ³
CONTENIDO DE HUMEDAD							
Recipiente Número	A	B	C	D	E	F	
Peso muestra húmeda + recipiente (W _m + W _r)	75.226	80.469	81.542	55.152	76.928	75.804	g
Peso muestra seca + recipiente (W _s + W _r)	60.650	65.877	66.749	45.575	63.695	62.448	g
Peso del agua (W _w)	14.576	14.592	14.793	9.577	13.233	13.356	g
Peso del recipiente (W _r)	9.583	9.501	7.680	7.541	9.127	9.640	g
Peso de la muestra seca (W _s)	51.067	56.376	59.069	38.034	54.568	52.808	g
Contenido de humedad (ω)	28.54	25.88	25.04	25.18	24.25	25.29	%
Promedio contenido de humedad (ω)	27.21		25.11		24.77		%
Peso Volumétrico Seco γ _d	1.520		1.558		1.135		g/cm ³
DATOS DEL ESPONJAMIENTO							
FECHA	HORA	LECTURA DIAL (x10 ⁻²)					
		56		27		11	
		mm	in	mm	in	mm	in
4/12/2023	16:53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5/12/2023	16:50	0.740	2.91	0.790	3.11	0.81	3.19
6/12/2023	16:52	0.760	2.99	0.820	3.23	0.84	3.31
7/12/2023	16:53	0.770	3.03	0.840	3.31	0.86	3.39
Altura de la muestra (in)		4.92		4.88		4.80	
Esponjamiento lineal absoluto (in x10 ⁻²)		3.03		3.31		3.39	
Esponjamiento lineal relativo (%)		0.62		0.68		0.70	

MÁQUINA DE COMPRESIÓN SIMPLE (CONTROLS)										
Área de Pistón		3		in²	Velocida de carga		1.270		mm/min	
							0.05		in/min	
PENETRACIÓN in *10-3	Q Estándar (lb/in²)	MOLDE N° 1 (56 Golpes)			MOLDE N° 2 (27 Golpes)			MOLDE N° 3 (11 Golpes)		
		Q Carga	Presiones Leída CBR%		Q Carga	Presiones Leída CBR%		Q Carga	Presiones Leída CBR%	
0	1000	0	0		0	0		0	0	
25		126.8	42.3		66.4	22.1		32.2	10.7	
50		256.4	85.5		99.2	33.1		47.2	15.7	
75		346.8	115.6		124.2	41.4		66.0	22.0	
100		466.4	155.5	15.55	154.6	51.5	5.15	78.6	26.2	2.62
150		637.6	212.5		211.2	70.4		111.2	37.1	
200		757.8	252.6	16.84	270.4	90.1	6.01	142.4	47.5	3.16
250		886.4	295.5		323.8	107.9		177.2	59.1	
300		991.2	330.4		372.4	124.1		208.6	69.5	
400		1155.8	385.3		464.2	154.7		268.4	89.5	
500		1302.2	434.1		538.6	179.5		325.8	108.6	



MOLDE		1	2	3
CBR %	0,1"	15.55	5.15	2.62
	0,2"	16.84	6.01	3.16
Densida Seca	g/cm3	1.648	1.572	1.151
Densidad seca máx		%CBR-0,1 in	%CBR-0,2 in	MAYOR %CBR
95% DSM= 1.625		12.2	13.5	13.5

FICHAS TÉCNICAS

CLORURO DE SODIO

	FICHA TÉCNICA SAL INDUSTRIAL No. 5 Anexo al Procedimiento de Control de Calidad		
	ES.2C2G.15	Rev. 2.0	Fecha: 2017-02-21

1. IDENTIFICACIÓN:

Nombre comercial: Sal Industrial No. 5
Marca: ECUASAL
Nombre Químico: Cloruro de Sodio (NaCl)

2. DESCRIPCIÓN:

Producto conformado por cristales muy finos de color blanco cristalino, homogéneo, inodoro, sabor salino característico, soluble en agua e higroscópico.

3. PROCESO DE FABRICACIÓN:

Partiendo del agua de mar y mediante un proceso de precipitación se obtiene el cloruro de sodio. La sal se lava y limpia de impurezas, posteriormente el producto se centrifuga y se somete a secado, molienda, tamizado, finalmente se ensaca.

4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

PARÁMETRO	UNIDAD	ESPECIFICACIÓN
Cloruro de Sodio, NaCl	% m/m base seca	97,50 mín.
Sulfatos, SO ₄ [•]	mg/kg	9500 máx.
Magnesio, Mg ²⁺	mg/kg	1200 máx.
Calcio, Ca ²⁺	mg/kg	2800 máx.
Humedad	%m/m	0,50 máx.
Insolubles	%m/m	0,30 máx.
Granulometría	% m/m	Ret. Malla 100: 5,0 máx.

Requisitos para contaminantes

CONTAMINANTES	LÍMITE MÁXIMO mg/kg
Arsénico, As	0,5
Cobre, Cu	2
Plomo, Pb	2
Cadmio, Cd	0,5
Mercurio, Hg	0,1

Requisitos Microbiológicos

Ausencia de coliformes, microorganismos patógenos y cromogénicos, bacterias halófilas (reportadas bajo el límite de detección cuantificable) y el recuento de aerobios mesófilos no debe ser mayor a $2,0 \times 10^4$ UFC/g.

	FICHA TÉCNICA SAL INDUSTRIAL No. 5 Anexo al Procedimiento de Control de Calidad		
	ES.2C2G.15	Rev. 2.0	Fecha: 2017-02-21

5. USO:

Esta sal es utilizada como ingrediente de los alimentos ya sea para la preparación o aderezo.

6. GMO:

N/A

7. DECLARACIÓN ALÉRGENOS

N/A

8. PRESENTACIÓN

PESO DEL PRODUCTO POR EMPAQUE	MATERIAL DE EMPAQUE	PRESENTACIÓN
50 kg	Polipropileno laminado	Saco

9. TIEMPO DE VIDA:

El producto posee vida útil ilimitada en cuanto a sus características químicas, pero por regulación se considera 1 año a partir de la fecha de producción.

10. ALMACENAMIENTO Y CONSERVACIÓN

Se realiza sobre estibas en bodegas cubiertas y secas, evitando el contacto con cualquier tipo de contaminantes e insalubridad de tal forma que se vea afectada la calidad del producto, se recomienda su conservación **en el saco** cerrado y en un lugar seco.

11. TRANSPORTE

El transporte de sal para consumo humano se realiza en condiciones tales que excluyan el riesgo de contaminación y/o modificación de sus características físico-químicas u organolépticas del producto.

12. PRECAUCIONES Y RESTRICCIONES

La aceptación de la presente especificación y el uso final del producto es de absoluta responsabilidad del cliente.

COLORURO DE MAGNESIO

Safety Data Sheet		Page : 1/7
According to Regulation (EC) No 1907/2006		
Issue date : September 17.1999	Revision # 7, date : August 13., 2018	

1: Identification of the substance / mixture and of the company / undertaking					
1.1 Identification of the substance :					
Trade name:	Magnesium chloride hexahydrate				
Chemical name:	Magnesium chloride hexahydrate				
Identification number:	CAS No: 7791-18-6				
Registration number:	01-2119485597-19-0001				
1.2 Use of the substance :					
Identified uses:	infusion solutions, hemodialysis solutions, mineral supplement				
Unrecommended uses:	---				
1.3 Company/undertaking identification :					
Macco Organiques, s. r.o. Zahradní 46c, 792 01 Bruntál, Czech Republic IČ : 26819210 , phone: +420 – 555 – 530 334 SDS provider's contact: Jaroslav Zavadil , phone: +420 – 555 – 530 340, jaroslav.zavadil@macco.cz					
1.4 Emergency telephone:					
The first aid details may be consulted with toxicological information centre (TIS): Job-related illness clinic, Na Bojišti 1, 128 08 Praha 2, tel. 2 24 91 92 93 or 2 24 91 54 02. Permanent poisoning information.					
2: Hazard identification					
The substance is NOT classified as dangerous according to Directive 1272/2008/ES.					
2.1 Classification of the substance:					
Acc. to Directive 1272/2008/ES	---				
The most important adverse physicochemical, human health and environmental effects and symptoms :					
May be harmful on ingestion. May cause irritation of skin, eyes and respiratory tract.					
The information shown on the label shall be given under heading 15.					
2.2 Information on the label:					
Hazard pictogram	---	Signal word	---		
Hazard statements	---				
Precautionary statements	---				
Additional information on label	none				
2.3 Other dangerousness:					
Substance is NOT classified as PBT or vPvB.					
3: Composition / information on ingredients					
3.1 Substance					
3.1.1 Constituent					
Chemical identity	Index No.	CAS	EINECS	concentration	classification list number
Magnesium chloride hexahydrate	none	7791-18-6	616-575-1	99 – 101%	So far none
3.1.2 Impurities, stabilizers,					
Chemical identity	Index No.	CAS	EINECS	concentration	classification list number
none	---	---	---	---	---
4: First aid measures					
In all cases provide the physical and mental rest and avoid of getting chilled. In case of health problems or doubts					

Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No 1907/2006

Page : 2/7

Issue date : September 17.1999

Revision # 7, date : August 13., 2018

inform physician and provide him with the information contained in this safety data sheet. Never pass a medication to a unconscious person. Maintain personal safeness during rescue operation.

4.1 First aid description:

If inhaled:

Stop exposition, move the afflicted person to the fresh air, keep him warm and at rest. If symptoms persist seek medical attention. In case of unconsciousness start with resuscitation (artificial respiration, cardiac massage) and call for medical attention.

In the event of skin contact:

Remove contaminated clothes and footwear. Wash of any skin contamination with cool water and soap. Launder clothes before re-use. In case of persisting irritation contact physician .

In the event of eye contact:

Remove contact lenses if present. Rinse with a small amount of water for at least 10 minutes. Eyelids should be held away from the eyeball to ensure thorough rinsing. Seek medical attention.

Do not use neutralization solution!

If swallowed:

Wash out mouth with water and give plenty of water to drink (at least 300 ml). Do not induce vomiting. Seek medical attention. When vomiting, maintain supervision until the help arrives. Obtain medical advice if symptoms persist.

4.2 The most important acute and belated symptoms and effects:

Skin , airways or eye irritation. After consumption of a bigger amount vomiting and diarrhoea, alimentary tract irritation may appear. Symptoms: red skin, eyes, blurred vision.

4.3 Immediate medical help instruction and special treatment:

Calcium Tartrate treatment partly eliminates the effects of acute toxicity of Magnesium. Ventriculous support along with Calcium Chloride infusion and forced urination by means of mannitol can also be successful.

5: Fire fighting measures

5.1 Extinguishing media:

Suitable extinguishing media:

Non-combustible substance . All extinguishing media are allowed, select the appropriate extinguishing media depending on the surrounding fire and environment.

Not suitable extinguishing media :

Strong water jet

5.2 Specific hazards :

Non-combustible substance. At temperatures over 135 °C decomposition occurs with the release of gaseous hydrogen chloride. At temperatures over 300 °C decomposition occurs with the release of chlorine.

5.3 Special protective actions for fire-fighters:

Use individual breathing apparatus, anti-gas safety clothing.

6: Accidental release measures

6.1 Personal precautions:

Use personal safety working clothes – section 8. Prevent from skin and eye contact. Do not inhale dust. Well ventilate areas. Prevent from dust making. Other safety precautions – section 7.

6.2 Environmental precautions:

Prevent from escape to watercourses and soil and from their contamination. If there is no way to avoid it, immediately inform appropriate authority (police and firemen).

6.3 Methods for cleaning up:

Clean up contamination/spillages as soon as they occur. Collect as much as possible in a suitable clean container, preferably for re-use, otherwise for disposal (according section 13). Avoid generation of dust. Wash the spillage area with large quantities of water. When packaging is damaged, replace the amount into a new packaging with

Safety Data Sheet		Page : 3/7
According to Regulation (EC) No 1907/2006		
Issue date : September 17.1999	Revision # 7, date : August 13., 2018	

proper marking.

Safety Data Sheet		Page : 4/7
According to Regulation (EC) No 1907/2006		
Issue date : September 17.1999	Revision # 7, date : August 13., 2018	

6.4 Other sections references: Also follow the regulations in sections 8 and 13 of this safety data sheet.	
7: Handling and storage	
7.1 Handling: Use the personal safety tools (section 8). Ensure fresh water for the first aid. Maintain the cleanness and tidiness on the working area. Provide basic employee training to prevent / minimize exposures and to report any healthy problems that may develop. Do not eat, drink or smoke during work. Avoid contact with skin and eyes. Wash hands duly with soap and water, take a shower. Use a body lotion.	
7.2 Storage: Store at a dry place, not above normal room temperature. Avoid excessive ventilation as the product can absorb moisture from the air. Magnesium chloride liquors can cause pitting of and corrosion of some grades of stainless steel and under high temperature and stress conditions can promote stress corrosion cracking. Magnesium chloride is highly hygroscopic.	
7.3 Specific uses: Industrial chemical, component of infusion and dialysis solutions and food supplements	
8: Exposure controls / personal protection	
8.1 Exposure limit values	
8.1.1 Exposure limits - not specified	
8.1.2 Biological limit values: - not specified	
8.1.3 DNEL and PNEC values: - not specified	
8.2 Exposure control	
8.2.1 Occupational exposure control: Operate in a well-ventilated area, avoid inhalation of dusts or mists (for liquids). Atmospheric levels should be controlled in compliance with the exposure scenarios and occupational exposure limits. Ensure shower and area for eyes rinsing. The mentioned personal safety instruments should be in compliance with EN standards.	
Personal protective equipment:	
<i>Respiratory protection:</i>	In the case of high dust levels wear suitable respiratory protective equipment, ie. dust mask or respirator conforming to EN standards. Recommended filter = particle filter,P2.
<i>Hand protection:</i>	Wear suitable chemical resistant protective gloves for frequent or prolonged operations tested to EN374 with an acceptable permeation test. Suitable materials include neoprene (chloroprene), PVC and nitrile rubber. Break through time is > 480 min. Contaminated gloves should be carefully rinsed with water before reuse. Non suitable materials: Leather gloves.
<i>Eye / face protection:</i>	Wear suitable eye/face protection. Most materials for protective goggles and face visors will probably be suitable eg. polycarbonate.
<i>Skin and body protection:</i>	Normal working clothes is suitable.
Do not eat, drink or smoke during work. Immediately remove contaminated clothing. Wash hands duly with soap and water, take a shower. Use a body lotion.	
8.2.2 Environmental exposure controls: Prevent from escape to environment.	
9: Physical and chemical properties	
9.1 General information :	
<i>Physical state (at 20 °C):</i>	Solid - crystals
<i>Colour:</i>	Colorless up to white

Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No 1907/2006

Page : 5/7

Issue date : September 17.1999

Revision # 7, date : August 13., 2018

Odour (fragrance):	odourless
Threshold odour value:	odourless
9.2 Important health, safety and environmental information :	
pH (at 20 °C):	5,5 – 7,0 (5 % solution at 20 °C)
Melting point:	118 °C
Boiling point:	160 °C
Flash point:	Not applicable, incombustible matter
Evaporation rate:	Not applicable
Flamability (solid, gas) :	The substance is non-flammable
Explosion limits	<i>lower:</i> Not available, non-explosive matter <i>upper:</i> Not available, non-explosive matter
Vapour pressure:	irrelevant
Vapour density:	irrelevant
Relative density:	1,57 g/cm ³
Water solubility (at 20 °C) :	164 g / 100 ml
Solubility in solvents:	Not available
Partition coefficient n-octanol/water:	Not available
Self-ignition temperature:	Not applicable
Decomposition temperature:	135 °C
Viscosity:	Not applicable
Explosive properties:	The substance is non-explosive
Oxidizing properties:	The substance is non-oxidizing
9.3 Other information:	
Fat solubility:	Not available
Conductivity:	Not available
Gas group:	Not applicable
10: Stability and reactivity	
Stable under recommended storage and handling conditions. Strong oxidizing agents generates chlorine.	
10.1 Conditions to avoid: Humidity and moisture.	
10.2 Materials to avoid: Strong oxidizing agents, releasing chlorine.	
10.3 Hazardous decomposition products: None at normal use. Irritant or toxic gases can be generated at higher temperature (hydrochloric acid over 135 °C, chlorine over 300 °C). Generates dangerous gases or fumes in contact with metals, zinc (generation of hydrogen).	
11: Toxicological information	
Acute toxicity:	
- LD ₅₀ oral, rat (mg.kg ⁻¹):	8100 (mouse 4700)
- LD ₅₀ dermal, rabbit (mg.kg ⁻¹):	> 2000
- LC ₅₀ inhalation, rat, for aerosols or particles (mg.l ⁻¹):	Not specified
Skin irritation:	No irritation
Eye irritation:	Can cause eye irritation
Sensitisation:	Substance does not have sensitive effects on skin and respiratory system
Carcinogenicity:	Not carcinogenic substance
Mutagenicity:	Not mutagenic substance
Toxicity for reproduction:	Not toxic substance for reproduction
Toxicity for specific target body – single exposition	Substance does not have toxic effects within single exposition

Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No 1907/2006

Page : 6/7

Issue date : September 17.1999

Revision # 7, date : August 13., 2018

<i>Toxicity for specific target body – repeated exposition:</i>	Substance does not have toxic effects within repeated exposition
<i>Irritation if inhaled:</i>	Substance does not have irritable effects
<i>Other information:</i> none	
12: Ecological information	
12.1 Ecotoxicity:	
- LC ₅₀ 96 hr., fish (mg.l ⁻¹):	2 119
- EC ₅₀ 48 hr., daphnia (mg.l ⁻¹):	548
- EC ₅₀ 72 hr. algae (mg.l ⁻¹):	100
12.2 Mobility :	Not specified
12.3 Persistence and degradability:	Not specified (not relevant for inorganic substances)
12.4 Bioaccumulative potential:	Not specified
12.5 Results of PBT assessment:	Substance is not classified as PBT or vPvB.
12.6 Other adverse effects: Not specified.	
13: Disposal considerations	
13.1 Product: If recycling or reuse is not practical then the product must be disposed of by authorized personnel in accordance with local, state or national regulations. Never dispose by flushing into the drainage! Waste former is responsible for its sorting and disposal. Special safety precaution for recommended waste treatment: Preferably dispose in independent container. Do not dispose of with acids.	
13.2 Packaging: If recycling or reuse is not practical then packaging must be disposed of by authorized personnel in accordance with local, state or national regulations. Clean packaging with water and dispose of washings in accordance to local regulations. Packaging can be passed to a packaging return system after the cleaning.	
13.3 Legal waste regulations: Directive 2008/98/ES National or regional provisions may be in force !	
14: Transport information	
14.1 ADR/RID (Land Transport) :	Not classified as hazardous for transportation.
14.2 ADN/ADNR (Inland Waterway Transport):	Not classified as hazardous for transportation.
14.3 IMDG (Marine Transport) :	Not classified as hazardous for transportation.
14.4 ICAO/IATA (Air Transport) :	Not classified as hazardous for transportation.
15: Regulatory Information	
15.1 Health, safety and environmental information on the label : --	
15.2 Chemical Safety Assessment: Chemical safety Report (CSR) has been carried out for the substance.	
15.3 National legislation: Regulation (EC) No. 1907 / 2006 / ES, REACH Regulation (EC) No. 1272 / 2008 / ES, CLP National laws or provisions may be in force !	
16: Other information	

Safety Data Sheet

According to Regulation (EC) No 1907/2006

Page : 7/7

Issue date : September 17.1999

Revision # 7, date : August 13., 2018

Changes made in Safety Data Sheet in terms of revision:

Revision of Safety data sheet in terms of avoidance of Directive 67/548/EHS.

Key or explanation for abbreviations:

DNEL	Derived No Effect Level (derived concentration of substance, at which no unfavourable effects occur)
PNEC	Predicted No Effect Concentration (prediction of substance concentration, at which no unfavourable effects occur)
PEL	Acceptable exposure limit, long-term (8 hours)
CSR	Chemical Safety Report

Important literature references and data sources:

CSR, elaborated in terms of registration process in accordance with REACH regulation, special literature.

Training instructions:

According to Safety Data Sheet.

Recommended restrictions of use:

Not specified

Other :

The information contained herein were processed and compiled in accordance with the latest state-of-the-art. Although having been compiled in an utmost good faith, they do not deliver or guarantee any of the product properties, thus they cannot constitute an official base for any contract or legal relation. Various factors may affect the properties under certain conditions. It is the user sole responsibility to assess and consider the accuracy and veracity of the above-indicated information in particular application and/or environment.