



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS COMPARATIVO DE METODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.

TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.

AUTORES: DIANA LISSETH BARROS TUAPANTE.

PABLO ANDRÉS VINTIMILLA CHALCO.

DIRECTOR: ING. MSC. LUIS MARIO ALMACHE SÁNCHEZ, IV

CUENCA-ECUADOR

2020

*Yo me gradué en los
50 años de La Cato!*

AUTORÍA

Nosotros, Diana Lisseth Barros Tuapante, con CI. 0105111231 y Pablo Andrés Vintimilla Chalco, con CI. 0106544745, Egresados de la Facultad de Ingeniería Civil pertenecientes a la Unidad Académica De Ingeniería, Industria y Construcción, certificamos por medio de la presente que el trabajo con el tema: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE METODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.” es de nuestra completa autoría.



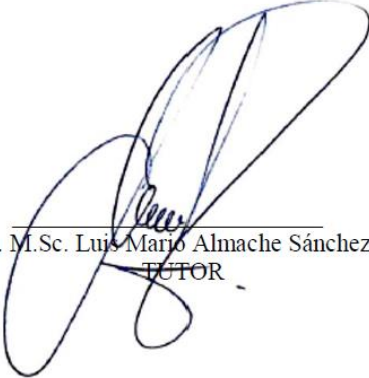
Pablo Andrés Vintimilla Chalco.
0106544745
AUTOR



Diana Lisseth Barros Tuapante.
0105111231
AUTOR

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. M.Sc. Luis Mario Almache Sánchez certifico la presente investigación “ANÁLISIS COMPARATIVO DE METODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.” realizado por el señor Pablo Andrés Vintimilla Chalco y la señorita Diana Lisseth Barros Tuapante Egresados de la Facultad de Ingeniería Civil, perteneciente a la Unidad Académica De Ingeniería, Industria Y Construcción, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría, siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédita.



Ing. M.Sc. Luis Mario Almache Sánchez
TUTOR

DEDICATORIA

- Dios** Por darme la fuerza y sabiduría en cada momento que lo necesitaba, por ser mi guía en el sendero y forjarme como la persona que soy ahora.
- Mis Padres** Efraín Vintimilla y María Chalco que han estado en todo momento de mi vida, brindándome su amor, sacrificio y tiempo, inculcándome siempre el esfuerzo y dedicación, sin importar lo difícil que sea el camino, encarando las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Muchos de mis metas cumplidas se las debo a ustedes, esta es una más.
- Mis Hermanos** Fernando Vintimilla, Fabián Vintimilla, Juan Vintimilla y Michelle Vintimilla, por su amor incondicional y ser el motivo de siempre esforzarme al máximo, demostrando todo lo que soy capaz, derrotando a mis miedos y dificultades que se presentan en mi camino.
- Mis Abuelos** Que fueron las personas después de mis padres, que se preocuparon por mí, viéndome crecer y aportando su amor y cariño siempre tan sincero e incondicional. Gerardina Bustamante, Miguel Chalco y a mis ángeles que están en el cielo guiando y protegiéndome Zoila Toledo y Leoncismo Vintimilla.
- Mi Novia** En el camino te encuentras personas que te dan una nueva perspectiva de la vida, que te enseñan nuevas cosas, que te apoyan y que te brindan su paciencia, su comprensión, su empeño, su fuerza y sobre todo su amor. Tu eres una de esas personas que llego a mi vida que, a través de sus consejos, tu compañía y amor, me ayudó a concluir un sueño más de mi vida.

Mis Amigos

Por todos sus consejos y ayuda desinteresada, que me ayudado en todo momento que lo he necesitado y sobre todo por enseñarme el significado de amistad y lealdad.

Pablo Andrés Vintimilla Chalco
AUTOR

DEDICATORIA

- Dios** Por ser la luz de mi vida y permitir que se hagan realidad mis sueños haciendo que me levante en toda caída siendo mi fortaleza y guía en el camino.
- Mis Padres** Miguel Barros (+) y Yolanda Tuapante por su comprensión paciencia y confianza por creer en mí por todo su sacrificio y dedicación por estar siempre presentes en mi vida nunca permitieron que me rindiera hasta que lo logramos juntos siempre han estado conmigo en todo lo que he necesitado esto es por Uds., Espero que me puedas mirar desde el cielo y siempre seas mi ángel y te sientas orgulloso de mí hubiese querido aprender muchas cosas más de ti, como quisiera que estuvieras a mi lado.
- Mis Hermanos** Diego y Daysi, por creer que todo lo que hago está bien por su apoyo y comprensión y aun siendo menores a mí los admiro tanto me han enseñado muchas cosas esto es por Uds. Han hecho que cada día me supere más para que se sientan orgullosos de mí.
- Mi Abuela** Rosa Prado por todo el cariño consejos y amor tan sincero que me ha brindado.
- Mi Tía** Blanca Tuapante por ser mi ángel sin alas que hizo que mi sueño se convierta en realidad por todo tu cariño y confianza por haber creído en mí por darme la oportunidad de superarme.

Mi Suegra

Dorita es más que una amiga para mí siempre ha estado conmigo apoyándome de una u otra forma por creer en mí y siempre incentivarme a crecer abriéndome un espacio en su vida y en su corazón.

Mi Novio

Santi mi eterno novio llevamos 10 años juntos luchando por los mismos sueños hasta que logramos uno de ellos has sido mi inspiración para poder superarme tus consejos tu forma de creer en mí de hacerme sentir fuerte hemos vivido tantas cosas y hemos podido cumplir un sueño más juntos.

Mi Hijo

Joaquín finalmente a ti te debo todo lo que soy y he logrado ser por tu amor por tus detalles por tus risas por creer que soy lo mejor en tu mundo y por ser tú lo mejor en mi mundo has alegrado cada día de mi vida por esas largas noches de desvelo luchando juntos eres mi sol nunca permitiste que me rindiera ni me diera por vencida esto te lo debo a ti.

Diana Lisseth Barros Tuapante
AUTOR

AGRADECIMIENTOS

- Dios** Por brindarme la sabiduría y fuerza para culminar una meta más en mi vida. Además de la protección de su manto en los momentos difíciles presentados a largo de este camino, siendo mi apoyo y mi fortaleza.
- Mi Tutor** Al Ing. M.Sc. Luis Mario Almache por ser nuestro guía tanto en el aula de clases, como en la elaboración de este trabajo de investigación, que con su esfuerzo, dedicación, experiencias y consejos he llegado a la culminación de mi carrera universitaria.
- Mis Docentes** Los que, durante mi vida universitaria me supieron enseñar y brindar conocimientos dentro y fuera de las aulas de clase, ya que ellos han sido los responsables directos de la formación de un profesional con principios, valores y ética. Al personal del Laboratorio de Mecánica de Suelos Ing. Marcos González, por su gran ayuda, conocimiento, y guía, sin la cual hubiera sido posible desarrollar esta investigación. Además, a la Universidad Católica de Cuenca por acogerme durante estos 5 años.
- Mis Padres** Por brindarme la educación y enseñarme a perseverar ante todas las dificultades que se han presentado en mi camino, ya que siempre han estado al pie del cañón conmigo.
- Mis Hermanos** Por siempre arrancarme una sonrisa, cuando más lo necesitaba y ser siempre mi consuelo y fuerza para ser un ejemplo para ellos.
- Mi Familia** Por brindarme su apoyo incondicional, por todos los momentos gratos que, compartido, en los cuales siempre me han brindado un consejo y su amor sincero.

Mi Novia Por estar durante todo este tiempo, exigiéndome siempre a dar lo mejor de mí, brindarme su tiempo y paciencia y sobre todo por nunca dejarme caminar solo dándome su mano y fuerzas para seguir siempre adelante.

Mi Compañera Por brindarme su tiempo, esfuerzo y perseverancia, que este camino que hemos pasado no ha sido nada fácil, pero lo hemos logrado. Agradecerle por su amistad tan sincera, leal y desinteresada que me ha obsequiado, desde que le conozco formando una gran amistad y gratos recuerdos.

Mis Amigos Que he formado durante todo este proceso de mi vida universitaria, que siempre han estado para brindarme un consejo o para vivir momentos inolvidables, agradecerles por el granito de arena que han puesto en mí para llegar a ser quien soy ahora. Además, a mi grupo de amigos “CH’S” con los cuales he vivido grandes momentos y siempre han demostrado su amistad sincera y leal.

Pablo Andrés Vintimilla Chalco
AUTOR

AGRADECIMIENTOS

- Dios** Por permitirme cumplir un sueño y una meta más en mi vida levantándome en cada caída dándome fortaleza y sabiduría para seguir.
- Mi Tutor** Al Ing. M.Sc. Luis Mario Almache por ser mi maestro brindándome enseñanzas en las aulas de la universidad en las horas de clase y por guiarme en la presente investigación depositando su confianza, sus conocimientos y experiencias para poder culminar mi carrera.
- Mis Profesores** Por las enseñanzas y consejos impartidos durante estos cinco años dentro y fuera de las aulas de clase, a la Universidad Católica de Cuenca por darme la apertura de obtener mi título de tercer nivel, al personal del Laboratorio de Mecánica de Suelos en especial al Ing. Marcos González, por su gran ayuda, conocimiento y experiencia aportados en la investigación, sin ellos no hubiera sido posible culminar con la misma.
- Mis Padres** Por darme la oportunidad de superarme otorgándome sus experiencias su tiempo, paciencia y dedicación en todo lo que he hecho y sobre todo por el apoyo en todo momento de mi vida gracias por creer en mí.
- Mis Hermanos** Por toda su ayuda en este trayecto de mi vida por creer y estar conmigo siempre apoyándome en todo.
- Mi Tía** Por permitir que mi sueño se haga realidad brindándome la oportunidad de superarme quiero agradecerte por tu apoyo incondicional.
- Mi Suegra** Por todos los consejos y experiencias impartidas por su apoyo y cariño por todos los momentos compartidos durante este trayecto.

- Mi Novio** Por apoyarme en cada momento de mi vida, permitiéndome dar lo mejor de mi llegando hacer posible mi sueño te agradezco por estar junto a mí en esta etapa de mi vida.
- Mi Hijo** Por ser la luz en mi vida y la razón principal para cada día poder superarme alcanzando una más de las metas deseadas te amo con mi vida.
- Mi Compañero** Por su comprensión paciencia y esfuerzo durante esta etapa de mi vida desde que nos encontramos en el trayecto académico hemos construido una amistad, gracias por depositar tu confianza en mí y juntos alcanzar esta meta que no ha sido fácil fue llena de esfuerzos y grandes recuerdos lo logramos juntos Pablito.
- Mis amigos** Por luchar junto a mí y nunca dejarnos vencer por todas las experiencias compartidas y vividas cada uno de nosotros hemos ido cumpliendo nuestros sueños siempre los recordare.

Diana Lisseth Barros Tuapante
AUTOR

RESUMEN

La investigación presente busco estabilizar los suelos, de dos zonas consideradas geotécnicamente inestables del cantón Cuenca, empleando el uso de agentes químicos como: cal, cloruro de sodio y cenizas volantes en diferentes porcentajes y añadiéndolos al suelo. Para lo cual se utilizó ensayos de laboratorio, se analizó el comportamiento del suelo en estado natural y con el uso de estos agentes, comparando las propiedades físico – mecánicas, llegando a determinar el agente adecuado para cada zona, dependiendo de la mejora en el rango plástico, analizando la variabilidad de la densidad y el aumento de su capacidad de carga, adicional a esto se hizo un análisis de costos.

Mediante la investigación se obtuvo como resultado, el uso de la cal al 3% como agente estabilizante óptimo para la zona de Nulti, ya que incremento todos sus parámetros físico-mecánicos en relación al suelo en estado natural, logrando que el suelo trabaje en un rango elástico, permitiendo que pueda soportar cargas sin deformarse, aumento su densidad debido a que existe una nueva reagrupación de las partículas generando una nueva estructura de suelo, e incremento su capacidad portante ya que aumenta su ángulo de fricción; mientras que, en la zona de Paccha se repitió el resultado, pero al 7% de su adhesión. En este caso solo se presentó un incremento en su rango plástico y en su capacidad portante, su densidad fue menor en relación al suelo en estado natural, por lo que de acuerdo al tipo de suelo de esta zona se recomendó usar otro tipo de agente pudiendo ser el cemento ya que con los agentes utilizados en la investigación ninguno le favoreció en todos sus parámetros.

PALABRAS CLAVES: ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUELOS, MEJORAMIENTO DE SUELOS, PARÁMETROS GEOMECAÑICOS, FORMACIONES GEOLÓGICAS.

ABSTRACT

The following research seeks the stabilization of the soil in areas considered geotechnically unstable in the canton Cuenca, employing chemical agents such as lime, sodium chloride, and fly ash in different percentages, adding them to the soil through laboratory tests; the soil behavior was analyzed in its natural state, and with the use of these agents, comparing the physical-mechanical properties coming to determining the adequate agent for each area, depending on the improvement of the plastic range, analyzing the density variability and the increase of its load capacity. Likewise, a cost analysis was made.

As a result of the research, it was obtained that the use of lime at 3% as an optimal stabilizing agent for the area of Nulti since all its physical-mechanical parameters were increased concerning the soil in its natural state; having as a result the soil works in an elastic range, withstanding loads without causing deformation. Its density increased given that there exist new particles regrouping, generating a new structure of the soil; its carrying capacity increased since its friction angles increases as well, whereas in the area of Paccha the result was the same, except for being at 7% of its adherence. In this case, it was shown an increase in its plastic range as well as in its carrying capacity. Its density was lower compared to the soil in a natural state, for which according to the type of soil in this area, it was recommended using a different kind of agent like cement since with the prior utilized agents in the research, neither of them favored in all of its parameters.

KEYWORDS: SOIL CHEMICAL STABILIZATION, SOIL IMPROVEMENT, GEOMECHANICAL PARAMETERS, GEOLOGICAL FORMATIONS.

INDICE DE CONTENIDO

AUTORÍA.....	2
CERTIFICACIÓN	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS	8
RESUMEN.....	12
ABSTRACT.....	13
INDICE DE TABLAS	1
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	5
CAPÍTULO 1	9
1 GENERALIDADES	9
1.1 Introducción.....	9
1.2 Formulación del problema.....	10
1.3 Delimitación del problema.	10
1.4 Justificación.....	11
1.5 Objetivos.....	12
1.5.1 General	12
1.5.2 Específicos	12
1.6 Marco Teórico.	13

1.6.1	Definición de suelo.....	13
1.6.2	Fases en la composición del Suelo.....	13
1.6.3	Tipos de suelos.....	14
1.7	Origen y características de las muestras de cada zona.	15
1.7.1	Origen de las muestras analizar.....	15
1.7.2	Situación geográfica Nulti.....	16
1.7.3	Límites geográficos de Nulti.....	16
1.7.4	Ubicación de la muestra.	16
1.7.5	Geomorfológica de la Zona Nulti.....	17
1.7.6	Fenómenos geológicos de Nulti.....	18
1.7.7	Geología de Nulti.....	21
1.7.8	Formaciones Geológicas de la Zona.	21
1.7.9	Formación Azogues (Maz).....	24
1.7.10	Formación Loyola (ML).....	26
1.7.11	Situación geográfica de Paccha.	28
1.7.12	Límites geográficos de Paccha.....	28
1.7.13	Ubicación de la muestra en la parroquia Paccha.	28
1.7.14	Geomorfológica de Paccha.....	30
1.7.15	Fenómenos geológicos de Paccha.	30
1.7.16	Geología de la Parroquia Paccha.....	30

1.7.17	Formaciones Geológicas de la parroquia Paccha. –	30
1.8	Suelos Expansivos.	36
1.8.1	Reconocimiento e identificación de suelos expansivos.	38
1.8.2	Identificación por Métodos Directos de la expansión del suelo.....	42
CAPÍTULO 2.		43
2	ESTABILIZACIÓN.....	43
2.1	Generalidades de la estabilización.....	43
2.2	Causas de los movimientos de las masas de tierra.	43
2.3	Mecanismos de estabilización de suelos.	45
2.3.1	Requisitos de la estabilización.	45
2.3.2	Alternativas de estabilización.....	46
CAPÍTULO 3.		72
3	ENSAYOS DE LABORATORIO.	72
3.1	Procesos de caracterización geotécnicas de las zonas de estudio.	72
3.1.1	Muestra inalterada.	72
3.1.2	Muestras alteradas.	73
3.2	Normativa utilizada para los ensayos de laboratorio.....	74
3.3	Contenido de humedad natural del Suelo.	75
3.3.1	Equipo a Utilizar en el ensayo de la humedad natural del suelo.....	75
3.3.2	Preparación de la muestra.	76

3.3.3	Procedimiento para el ensayo de la humedad natural.	77
3.3.4	Cálculos.	78
3.4	Propiedades mecánicas del suelo.	78
3.4.1	Análisis Granulométrico.	78
3.5	Clasificación del Suelo.	85
3.5.1	Sistema de Clasificación AASHTO.	85
3.5.1.3	<i>Cantos y guijarros.</i>	85
3.5.2	Sistema Unificado de Clasificación de un Suelo (SUCS).	90
3.6	Límites de Atterberg.	93
3.6.1	Estados de consistencia.	93
3.6.2	Limite Liquido.	94
3.6.3	Límite Plástico.	100
3.7	Índice de plasticidad.	103
3.8	Límite de contracción.	103
3.9	Compactación.	104
3.9.1	Compactación Proctor Estándar.	106
3.10	Resistencia al corte del suelo mediante el ensayo de Corte Directo.	117
CAPITULO 4.		124
4	ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.	124
4.1	Suelo Natural.	124

4.1.1	Características Físicas	124
4.1.2	Estratigrafía de las zonas de estudio.	129
4.1.3	Clasificación de Suelos	131
4.1.4	Características Mecánicas	133
4.2	Estabilización Zona Nulti	142
4.2.1	Suelo-Cal.....	142
4.2.2	Suelo – Cloruro de Sodio	148
4.2.3	Suelo- Ceniza Volante.....	153
4.3	Estabilización Zona Paccha	158
4.3.1	Suelo-Cal.....	158
4.3.2	Suelo- Cloruro de Sodio.....	163
4.3.3	Suelo- Ceniza Volante.....	168
4.4	Análisis de costos	173
4.5	Conclusiones.....	175
4.6	Recomendaciones.	182
	Bibliografía	184
	Anexos.....	188
4.7	Anexos A fotográficos.....	188
4.8	Anexos B Ensayos de Laboratorio Zona de Estudio Paccha Estado Natural	198
4.9	Anexos C Ensayos de Laboratorio Zona de Estudio Paccha Estabilizado Cal	203

4.10	Anexos D Ensayos de Laboratorio Zona de Estudio Paccha Estabilizado Cloruro de Sodio	215
4.11	Anexos E Ensayos de Laboratorio Zona de Estudio Paccha Estabilizado Ceniza Volante	227
4.12	Anexos F Ensayos de Laboratorio Zona de Estudio Nulti Estado Natural.....	239
4.13	Anexos G Ensayos de Laboratorio Zona de Estudio Paccha Estabilizado Cal.....	244
4.14	Anexos H Ensayos de Laboratorio Zona de Estudio Paccha Estabilizado Cloruro de Sodio	256
4.15	Anexos I Ensayos de Laboratorio Zona de Estudio Paccha Estabilizado Ceniza Volante	268

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clases principales de suelos para Ingeniería.....	14
Tabla 2 Ubicación de la calicata en la Parroquia Nulti.....	16
Tabla 3 Geomorfología existente de la Parroquia Nulti.....	18
Tabla 4 Duración de cada era.....	21
Tabla 5 Formaciones existentes en la parroquia Nulti.....	22
Tabla 6 Parámetros Físico –Mecánicos de la Formación Azogues.....	25
Tabla 7 Parámetros-Físico Mecánicos de la Formación Loyola.....	27
Tabla 8 Ubicación de la calicata en la Parroquia Paccha.....	29
Tabla 9 Formaciones de la parroquia Paccha.....	31
Tabla 10 Parámetros Físico - Mecánicos del Depósito Coluvial.....	34
Tabla 11 Clasificación de los Grados de Expansión de acuerdo a su Índice de Plasticidad....	39
Tabla 12 Identificación de Suelos Expansivos de acuerdo al número de coloides.....	41
Tabla 13 Causas de la Inestabilidad.....	44
Tabla 14 Sistema de Clasificación de un relleno.....	51
Tabla 15 Ventajas e inconvenientes de la cal viva y apagada de acuerdo a su presentación...	57
Tabla 16 Factores condicionantes para la estabilización con cal.....	61
Tabla 17 Propiedades del Cloruro de Sodio.....	66
Tabla 18 Características del cloruro de sodio (NaCl).....	67
Tabla 19 Ventajas y desventajas del uso de cloruro de sodio.....	69
Tabla 20 Normativa utilizada para la ejecución de los ensayos realizados en el laboratorio ..	74
Tabla 21 Masa de muestra según el tamaño del material.....	76
Tabla 22 Abertura de tamices.....	79

Tabla 23 Abertura de tamices granulometría de gruesos	80
Tabla 24 Abertura de tamices granulometría de finos	82
Tabla 25 Clasificación de materiales de carreteras subrasante.	87
Tabla 26 Clasificación por el Sistema Unificado.....	92
Tabla 27 Contenido de humedad del suelo en estado natural de las zonas de estudio	124
Tabla 28 Granulometría del material extraído en la zona de estudio de Nulti.....	125
Tabla 29 Granulometría del material extraído en la zona de estudio de Paccha.....	127
Tabla 30 Limites de Atterberg de las Zonas de Estudio	128
Tabla 31 Potencial de Expansividad de las Zonas de Estudio	129
Tabla 32 Estratigrafía obtenida para la zona de estudio de Paccha	130
Tabla 33 Estratigrafía obtenida para la zona de estudio de Nulti	131
Tabla 34 Clasificación de suelos SUCS y AASHTO.....	132
Tabla 35 Datos obtenidos del ensayo de compactación estándar de suelo en estado natural	133
Tabla 36 Resultados obtenidos del ensayo de corte directo realizados a las zonas de estudio en estado natural	135
Tabla 37 Factores de Capacidad de carga Terzaghi N_c, N_q, N_γ	140
Tabla 38 Determinación de la capacidad de carga y sus factores	142
Tabla 39 Resumen de datos de Limites de Atterberg con Cal	143
Tabla 40 Resultados de datos de compactación estabilizada Suelo-Cal	144
Tabla 41 Resultados de cohesión, ángulo de fricción con Cal en sus distintos porcentajes ..	146
Tabla 42 Resultados de la capacidad portante con Cal	146
Tabla 43 Resumen de datos obtenidos de ensayo de Limites de Atterberg con Cloruro de Sodio	148

Tabla 44 Resultados de compactación estabilizada Suelo-Cloruro de Sodio	150
Tabla 45 Resultados de cohesión, ángulo de fricción con Cloruro de Sodio en sus distintos porcentajes	152
Tabla 46 Resultados de la capacidad portante con Cloruro de Sodio	153
Tabla 47 Resultados de los ensayos de límites de Atterberg estabilización Suelo-Ceniza Volante	154
Tabla 48 Resultados de compactación estabilizada Suelo-Ceniza Volante	155
Tabla 49 Resultados de cohesión, ángulo de fricción con Ceniza Volante y Cal en sus distintos porcentajes.....	157
Tabla 50 Resultados de la capacidad portante con Ceniza Volante y Cal	158
Tabla 51 Resultados de datos de Limites de Atterberg estabilización Suelo-Cal.....	158
Tabla 52 Resultados de datos de ensayo Compactación estabilizada Suelo-Cal	160
Tabla 53 Resultados de cohesión, ángulo de fricción con Cal en sus distintos porcentajes ..	162
Tabla 54 Resultados de la capacidad portante con Cal	163
Tabla 55 Resumen de datos obtenidos de ensayo de Limites de Atterberg con Cloruro de Sodio	164
Tabla 56 Resultados de datos de ensayo Compactación estabilizada Suelo-Cloruro de Sodio	165
Tabla 57 Resultados de cohesión, ángulo de fricción con Cloruro de Sodio en sus distintos porcentajes	167
Tabla 58 Resultados de la capacidad portante con Cloruro de Sodio	168
Tabla 59 Resultados de datos de ensayo Compactación estabilizada Suelo-Ceniza Volante	169
Tabla 60 Resultados de datos de ensayo Compactación estabilizada Suelo-Ceniza Volante	170

Tabla 61 Resultados de cohesión, ángulo de fricción con Ceniza Volante y Cal en sus distintos porcentajes.....	172
Tabla 62 Resultados de la capacidad portante con Ceniza Volante y Cal	173
Tabla 63 Costos de los diferentes agentes estabilizadores de acuerdo al porcentaje.....	174

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ubicación de la muestra en la parroquia Nulti.....	17
Ilustración 2: Extracción de la calicata en la parroquia Nulti.	17
Ilustración 3: Mapas de Pendientes.....	20
Ilustración 4: Formaciones Geológicas Parroquia Nulti.	23
Ilustración 5: Ubicación de la muestra en la parroquia Paccha.....	29
Ilustración 6: Extracción de la calicata en la Parroquia Paccha.	29
Ilustración 7:Formaciones Geológicas de la Parroquia Paccha con la zona de estudio.....	32
Ilustración 8: Fenómeno de la reptación presentes en las zonas de estudio Nulti y Paccha. ...	36
Ilustración 9: Principios de Compactación.	48
Ilustración 10: Principio de la vibro flotación.....	49
Ilustración 11: Etapas de Vibro Flotación.....	50
Ilustración 12: Principios de Pre-compresión.	53
Ilustración 13: Drenes de Arena sección en planta.	54
Ilustración 14: Drenes de arena Sección Transversal.....	54
Ilustración 15:Ciclo del Carbón en una Central Termoeléctrica.....	63
Ilustración 16: Aplicación de cloruro de sodio en forma de grano al suelo.....	70
Ilustración 17: Salmuera.	71
Ilustración 18:Determinación del Peso húmedo más el tarro para la determinación del contenido de humedad natural del suelo.	77
Ilustración 19: Tamizadora granulometría gruesos.....	81
Ilustración 20: Abertura de tamiz.....	81
Ilustración 21. Material pasante tamiz No. 4.	83

Ilustración 22. Lavado de material pasante tamiz No.4	84
Ilustración 23: Tamizadora de finos.....	84
Ilustración 24: Retención del suelo por tamaños de partículas en los diferentes tamices.....	84
Ilustración 25 Rango del límite Líquido y del Índice de Plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5,A-6 Y A-7.....	88
Ilustración 26: grafica de plasticidad.	91
Ilustración 27: Límites de Atterberg.	93
Ilustración 28: Mescal del Suelo pasante el tamiz No. 4 con cal.	95
Ilustración 29: Muestra de suelo mezclada con cal y pasada a través del tamiz No. 40.	95
Ilustración 30: Ensayo del límite líquido con estabilización de Cloruro de Sodio.	95
Ilustración 31: Tamizado de la muestra por el tamiz No.40.	96
Ilustración 32: Muestra estabilizada con Cenizas Volantes y cal.	96
Ilustración 33: Curva de flujo para la determinación del límite líquido.	98
Ilustración 34: Tamiz No.4 para pasar la muestra de suelo para el ensayo de límites.....	99
Ilustración 35. Cuchara de Casa Grande y envases para mezclado.....	99
Ilustración 36: Muestra tomada del Limite Líquido cerrado a los 40 golpes.....	100
Ilustración 37: Formación de bolitas para realizar el ensayo de limite plástico.	100
Ilustración 38: Muestras salidas del horno estabilizadas con cloruro de sodio, Limite líquido y limite plástico.....	101
Ilustración 39: procedimiento del límite plástico estabilizado con cenizas volantes y cal. ...	101
Ilustración 40: Muestras de Limite Líquido y del Limite plástico.....	102
Ilustración 41 : Procedimiento de límite plástico.....	103

Ilustración 42: Curvas de humedad - Densidad seca para diferentes energías de compactación.	105
Ilustración 43: Equipo para la prueba de Proctor estándar.....	109
Ilustración 44 Conformación de la funda con el material a compactar.....	109
Ilustración 45 Fundas para la compactación	110
Ilustración 46 Secado de la muestra.....	110
Ilustración 47 Determinación del peso del molde sin el collarín.	111
Ilustración 48 Mezclado de la muestra agua-suelo	111
Ilustración 49 Obtención de las muestras para el cálculo de sus humedades respectivas.....	112
Ilustración 50 Armado completo del molde para Proctor estándar.....	112
Ilustración 51 Ejecución del ensayo Proctor estándar.....	113
Ilustración 52 Pesado de la muestra compactada sin su collarín.....	113
Ilustración 53 Prensa manual desmolde de material.	114
Ilustración 54 Compactación de la muestra 4 con un alto contenido de agua.	114
Ilustración 55 Muestras de compactaciones con humedades diferentes.	115
Ilustración 56 Muestras de compactación estándar secadas al horno	115
Ilustración 57 Curva de Compactación	117
Ilustración 58 Diagrama de arreglo de prueba de Corte Directo.....	118
Ilustración 59:Tallado de Especímenes para Corte Directo.	119
Ilustración 60 Muestra de suelo remoldeado para Corte Directo.....	120
Ilustración 61 Equipo de Corte Directo	120
Ilustración 62 Representación de las fuerzas ejercidas en el ensayo de Corte Directo.....	121
Ilustración 63 Equipo de Corte Directo con masa para ejercer la presión normal.....	121

Ilustración 64 Tablero de control del equipo de corte directo.....	122
Ilustración 65 Equipo de Corte Directo ejecutando el ensayo.	123
Ilustración 66 Muestras para determinar humedades luego del ensayo de corte directo.	123
Ilustración 67: Curva Granulometría del Materia de NULTI.	126
Ilustración 68: Curva Granulometría del Materia de PACCHA.	128
Ilustración 69: Desarrollo de la falla por esfuerzo cortante por debajo de la cimentación. ...	136
Ilustración 70: Falla de la capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación continua rígida en grava.....	137
Ilustración 71 Análisis de las Curvas de Compactación Cal-Suelo	144
Ilustración 72: Reordenación de las partículas del suelo con la agregación de calo.....	147
Ilustración 73: Comparación de limite líquido y plástico suelo natural y estabilizado.	149
Ilustración 74: Análisis de las Curvas de Compactación Cloruro de Sodio-Suelo	151
Ilustración 75: Análisis de las Curvas de Compactación Ceniza Volante -Suelo.....	156
Ilustración 76: Comparación de limite líquido y plástico suelo natural y estabilizado.	159
Ilustración 77: Análisis de las Curvas de Compactación Cal-Suelo.....	161
Ilustración 78: Comparación de limite líquido y plástico suelo natural y estabilizado.	164
Ilustración 79: Análisis de las Curvas de Compactación Cloruro de Sodio-Suelo.....	166
Ilustración 80: Análisis de las Curvas de Compactación Ceniza Volante –Suelo	170

CAPÍTULO 1

1 GENERALIDADES

1.1 Introducción.

El suelo en la construcción genera una gran problemática, por lo que los profesionales se han visto obligados a tomar decisiones sobre si utilizarlo en su estado natural, cambiarlo o mejorarlo; estas alternativas aumentan sus propiedades físico-mecánicas y consecuentemente su capacidad de carga, con el objetivo de que el suelo cumpla los requerimientos de diseño de acuerdo al tipo de obra civil que se necesite.

Una de las alternativas más económicas a comparación de la sustitución del suelo, es la estabilización, que consiste en el cambio de sus propiedades físicas in situ, con el fin de que pueda “reducir el asentamiento, mejorar la resistencia a cortante, así como también incrementar su capacidad de carga y a la vez disminuir la contracción y reducción de los suelos.” (Das, 2015)

En la presente investigación, para brindar una mejoría a las propiedades físicas y mecánicas del suelo, se ha seleccionado, la aplicación de la estabilización química con tres diferentes métodos: cal, cenizas volantes y cloruro de sodio, con tres porcentajes diferentes de adicción de cada uno de estos materiales.

Las zonas de estudio planteadas están ubicadas en el cantón Cuenca, en las parroquias: Nulti y Paccha, consideradas geotécnicamente inestables, en estas zonas se obtuvieron muestras para determinar sus propiedades en estado natural y con la adición de dichos agentes químicos, se analizó y comparo parámetros como son: límites de Atterberg, peso unitario seco máximo, ángulo de fricción, cohesión y por ultimo su capacidad de carga, el objetivo de esta investigación, es seleccionar que agente químico es adecuado en cada zona, basándose en criterios económicos y en el incremento de sus propiedades.

1.2 Formulación del problema.

A lo largo de la historia, la ciudad de Cuenca ha presentado asentamientos urbanos que se han expandido hacia zonas rurales periféricas, debido al crecimiento poblacional como indica la INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), en el último censo realizado en el 2010 en la cual señala la población del cantón es de 505.585 habitantes, en cambio en la proyección poblacional argumenta que para este año 2020 el número de habitantes será de 636.996, observando un incremento en la densidad poblacional, generando una demanda habitacional, lo que esta ha conllevado a establecerse en lugares geotécnicamente inestables. A partir de estudios realizados y que están plasmados en el geo-portal del Municipio de Cuenca, se evidencia una problemática para los moradores situados en estas zonas como son las parroquias de Nulti y Paccha, debido a que las propiedades físicas y mecánicas del suelo, no son aptas para la construcción, por su capacidad de carga, provocando fisuras y agrietamientos en los elementos estructurales, así como el fracaso total de las mismas a través del tiempo, lo que generaría pérdidas económicas y humanas.

1.3 Delimitación del problema.

En la presente investigación para poder mejorar las propiedades de un suelo se aplica tres métodos de estabilización química a dos sectores ubicados en la parroquia Paccha y Nulti respectivamente a través de la combinación de agentes químicos como: cal, cenizas volantes y cloruro de sodio. Con esto se determinará los parámetros físico-mecánicos tanto en el suelo natural, como en el suelo estabilizado, comparando el porcentaje de mejoramiento de las propiedades en cada zona.

1.4 Justificación.

El conocer el tipo y las propiedades físicas-mecánicas que un suelo presenta, es de gran importancia, ya que sobre este se van asentar diferentes obras civiles, muchas de las veces estos no son aptos para las construcciones y sin un determinado estudio o conocimiento del mismo, las estructuras fracasarían, ya que son asentadas sobre suelos considerados inestables, afectando a sus propietarios y moradores del lugar causando daños económicos y pérdidas de vidas. Mediante el uso de métodos de estabilización se puede lograr el cambio de las propiedades del mismo y lograr que estos sean aptos para las diferentes obras; por lo cual, en la presente investigación, se va comparar tres métodos a través del uso de agentes químicos como: cal, cenizas volantes y cloruro de sodio en dos zonas rurales del cantón Cuenca, determinando así cuál de los agentes químicos mencionados es el más adecuado al comparar la carga de soporte y las propiedades del mismo, en suelo natural y en suelo ya estabilizado. Para la toma de muestras se hizo visitas a los GADS de las parroquias Nulti y Paccha respectivamente, indicándoles del estudio y análisis que se pretende realizar y en qué punto sería factible tomar las muestras por lo que nos pusieron en contacto con los dueños de lotes afectados ubicados en cada parroquia permitiéndonos acceder a dichos lugares; concomitantemente, se hará un análisis de costos determinando la facilidad de obtención del agente químico y su costo económico.

1.5 Objetivos.

1.5.1 General

- Analizar y comparar los métodos de estabilización química en dos zonas consideradas geotécnicamente inestables del cantón Cuenca.

1.5.2 Específicos

- Determinar las zonas a estudiar en el Cantón Cuenca
- Extraer una calicata a cielo abierto de cada una de las zonas seleccionadas para la investigación.
- Ejecutar ensayos normados con el fin de determinar los parámetros físico-mecánicos de cada muestra.
- Comparar los parámetros obtenidos en suelo en estado natural y con los diferentes agentes químicos agregados en cada una de las zonas.
- Redactar conclusiones.

1.6 Marco Teórico.

1.6.1 Definición de suelo.

El suelo desde el ámbito de la ingeniería se puede definir como un material no consolidado formado de distintas partículas sólidas, con gases o líquidos entre los espacios vacíos, que se derivan de la separación o alteración física, química o ambas, de las rocas.

La desintegración física es el proceso de quiebre de la masa de roca, resultado de esfuerzos generados por agentes físicos, tales como la congelación del agua en los poros, expansión y contracción de la roca por los cambios de temperatura, el desgaste generado por las gravas que transportan los ríos y torrentes, el choque de las olas en las playas o farallones, etc.

Mientras la descomposición química es un fenómeno que consiste en la actuación de factores que agreden a las rocas, cambiando su composición mineralógica, el agua es el componente principal cuyos factores de ataques más importantes son la carbonatación, oxidación e hidratación, dados por la variación de temperatura.

Se debe tener en cuenta la diferencia entre los términos roca y suelo. "Roca es un conjunto natural de granos minerales enlazados por fuerzas de cohesión. Y suelo es un agregado natural de granos minerales con o sin componentes orgánicos que se dividen por medios mecánicos habituales." (Peck, 1983)

1.6.2 Fases en la composición del Suelo.

La composición de un suelo generalmente está formada de tres fases: Fase Solida, líquida y gaseosa.

Fase Solida: Está formada por fracciones de roca, granos minerales y de materia orgánica más conocida como humus que es una mezcla compleja de compuestos orgánicos. Esta fase constituye el soporte de la estructura del suelo.

Fase Líquida: Conformada por agua, sales disueltas, etc.

Fase Gaseosa: Constituida de aire y vapor de agua.

1.6.3 Tipos de suelos.

Para poder referir los distintos tipos de material que existen en un lugar es necesario partir de una categorización convencional, la mayor parte de clasificaciones divide al suelo en tres grupos: gruesos, finos y orgánicos, como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1
Clases principales de suelos para Ingeniería.

	Gruesos	Finos	Orgánicos
Tipos de suelos inclusivos	Piedra Grava Arena	Limo Arcilla	Turbas
Forma de la partícula	Redondeada a angular	Laminado	Fibroso
Tamaño de la partícula o grano	Grueso	Fino	---
Porosidad o relación de vacíos	Baja	Alta	Alta
Permeabilidad	Alta	Baja a impermeable	Variable
Cohesión Interparticular	Carente a muy baja	Alta	Baja
Fricción Interparticular	Alta	Baja	Carente a baja

Plasticidad	Carente	Baja a Alta	Baja a moderada
Compresibilidad	Muy baja	Moderada a muy Alta	En general muy alta
Velocidad de compresión	Inmediata	Moderada a baja	Moderada a rápida

Fuente: Elaboración propia basado en (Das, 2015)

Los suelos según sus propiedades mecánicas y a través de la ASTM se clasifican en:

Arenas y Gravas: Son suelos de fragmentos granulares, redondos o angulosos, alterados con una mínima cantidad de rocas minerales o sin estas, no poseen cohesión.

Los limos: Son suelos finos que atraviesan la malla No 200, tiene menor plasticidad que las arcillas que presentan materia orgánica, algunas veces visible.

Arcillas: Se forman por la desintegración química y mineral que sufren las rocas, por la intemperie a la que están expuestas, son suelos que al estar con un contenido de humedad alto se muestran plásticos y cuando están secos son duros, por lo general son suelos impermeables.

1.7 Origen y características de las muestras de cada zona.

1.7.1 Origen de las muestras analizar.

Las muestras se obtuvieron en la provincia del Azuay, en el cantón Cuenca. El primer punto está ubicado en la parroquia Nulti en el centro de la misma frente al cementerio y el punto dos está ubicado en la parroquia Paccha sector Guagualzhumi. Estas dos zonas fueron escogidas como objeto de estudio por medio de la información que se encuentra en el geo-portal del municipio de la ciudad de Cuenca, y por medio del proyecto P.R.E.C.U.P.A. que indican que son zonas geotécnicamente inestables, por los estudios que se han realizado, sumado a esto las versiones de moradores que residen en estos lugares y por verificación mediante visitas

realizadas. A estas zonas se determinarán mediante ensayos de laboratorio las propiedades físicas y mecánicas, para saber con certeza si es un suelo óptimo para una construcción o es un suelo de mala calidad y de ser el caso brindar opciones de mejorarlo.

1.7.2 Situación geográfica Nulti.

La parroquia Nulti está ubicada a 11.5 Km al noreste del cantón Cuenca provincia del Azuay, en la región andina a 2577 m.s.n.m., es una parroquia rural, que tiene una extensión de 30 kilómetros cuadrados de superficie.

1.7.3 Límites geográficos de Nulti.

Al Norte con las Parroquias Llacao del Cantón Cuenca y San Cristóbal del Cantón Paute

Al Sur con las parroquias Paccha del cantón Cuenca y Jadán del cantón Gualaceo

Al este con la parroquia Jadán y

Al Oeste con la parroquia Ricaurte del cantón Cuenca.

1.7.4 Ubicación de la muestra.

La muestra fue extraída del centro parroquial frente al cementerio municipal en un lote privado se extrajo una sola calicata con ayuda de una retroexcavadora a una profundidad de 2m que se indica en el capítulo tres. Las coordenadas de la zona de estudio en la parroquia Nulti, se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Ubicación de la calicata en la Parroquia Nulti.

Punto	Latitud	Longitud
1	730222.2	9683037.7

Fuente: Elaboración Propia

La Ilustración 1 presenta la ubicación del punto de estudio en el mapa de la parroquia Nulti, mientras que la Ilustración 2 indica la forma de extracción de la calicata en el lugar.



Ilustración 1: Ubicación de la muestra en la parroquia Nulti.

Fuente: Propia



Ilustración 2: Extracción de la calicata en la parroquia Nulti.

Fuente: Propia

1.7.5 Geomorfológica de la Zona Nulti.

En cuanto a la geomorfología, de esta parroquia se indica que el río Cuenca, forma parte de la cuenca alta del río Paute, en el cual se obtienen tres zonas geomorfológicas, producto de la interacción de procesos denotativos y acumulativos, los cuales son: mesetas, cuenca intramontaña y relieves colinados.

“ La parroquia cuenta con un relieve muy irregular, donde las vertientes convexas ocupan el 40.88%, en cambio con el 39.22% están a las vertientes irregulares, que son valores más considerables y que prevalecen en el territorio parroquial.” (Nulti, 2015)

La Tabla 3 indica la geomorfología de la zona en área y en porcentaje respectivamente.

Tabla 3
Geomorfología existente de la Parroquia Nulti

GEOMORFOLOGIA	AREA (Ha)	%
Relieve Escarpado	61.99	2.23 %
Terraza Baja	126.22	4.53 %
Vertientes Convexas	1138.85	40.88 %
Vertientes Cóncavas	366.05	13.14 %
Vertientes Irregulares	1092.46	39.22 %
Total	2785.57	100 %

Fuente: Propia basado en (Nulti, 2015)

1.7.6 Fenómenos geológicos de Nulti.

La parroquia de Nulti está ubicada sobre una zona donde existen deslizamientos, que están activos y otros que se han reactivado con el tiempo. lo que ha generado preocupación a los moradores, por los daños causados por este fenómeno, como daños en viviendas, red vial, sistemas de agua potable y alcantarillado por mencionar los más importantes.

El 15 de mayo del 2009 la Ilustre Municipalidad de Cuenca suscribió un contrato, para realizar un estudio de estabilización de suelos en las zonas más vulnerables de la parroquia incluyendo al Centro Parroquial, en donde se reactivó un deslizamiento en el año 2007, dando como resultado a estos estudios, que los deslizamientos tienen relación con factores como indica el Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial. (Nulti, 2015)

Niveles freáticos altos y profundos generados por aguas subterráneas, que se llenan en ciclos de lluvia y por las aguas servidas productos de pozos sépticos, eventos naturales y otros generados por los moradores del lugar han actuado probablemente sobre un movimiento antiguo de masa observándose la dependencia que existe entre la superficie de ruptura del actual y antiguo deslizamiento, y el estar en contacto con formaciones como la Formación Loyola y la Formación Azogues. Los materiales de la Formación Loyola son más vulnerables a deslizamientos en este lugar ya que la mayor actividad del deslizamiento se visualiza en los materiales de esta Formación, la Ilustración 3 presenta el mapa de pendientes de Nulti mostrando la zona de estudio.

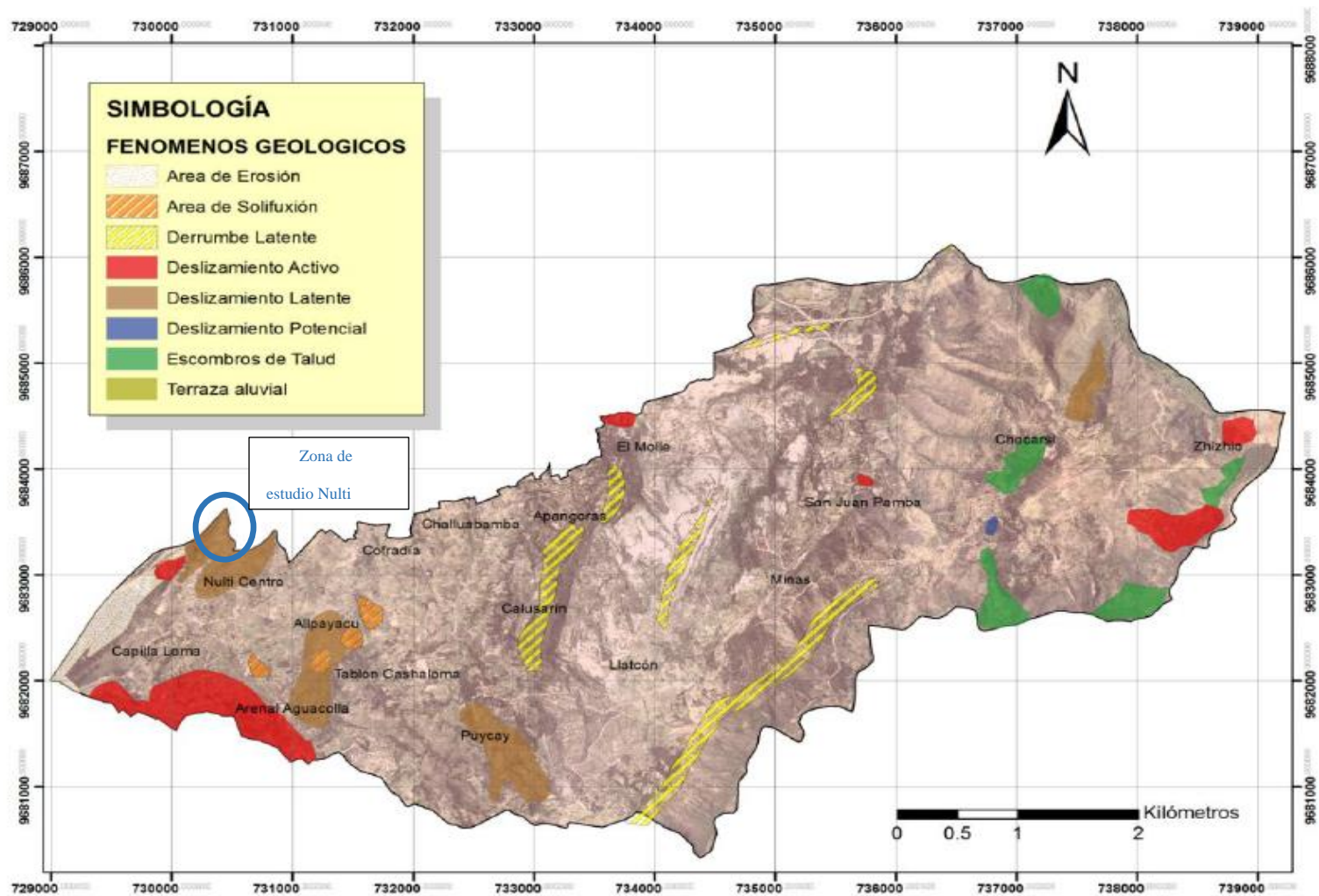


Ilustración 3: Mapas de Pendientes.

Fuente: (P.R.E.C.U.P.A, 1998)

1.7.7 Geología de Nulti.

La parroquia de Nulti ha mostrado cambios en su morfología en los últimos años, esto se puede evidenciar en forma visual ya que es muy notorio el cambio de relieves que presenta, lo que ha provocado daños e incomodidad a sus moradores causando pérdidas materiales de viviendas y terrenos, estando expuestos los moradores del lugar a accidentes y a peligrar su propia vida, por lo que es importante determinar las formaciones geológicas de la zona ya que cada una presenta distintos comportamientos, composición litológica, edad de formación, etc. Para de esta manera clasificar adecuadamente el tipo de suelo y determinar si el sitio donde se quiera ejecutar una obra civil es apto o no para la construcción.

1.7.8 Formaciones Geológicas de la Zona.

Es importante citar las formaciones geológicas que conforman el suelo de Nulti, ya que estas actúan de diferente forma, se citan de acuerdo a su orden cronológico desde la más actual a la más antigua, siendo las formaciones más recientes las más peligrosas, ya que tienden a sufrir un riesgo alto de ruptura por motivos de inestabilidad del terreno.

Es necesario establecer el tiempo de duración de cada era como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4
Duración de cada era

Periodo	Inicio	Fin
Cretáceo	140 millones de años	65 millones de años
Terciario	65 millones de años	1.8 millones de años
Cuaternario	Aproximadamente 2 o 1.65 millones de años	Hasta la actualidad, desarrollo de la inteligencia.

Fuente: Propia basado en Cartas Geológicas 1:100k, SENPLADES.

En la Tabla 5 se presenta las formaciones y su periodo respectivo.

Tabla 5
Formaciones existentes en la parroquia Nulti

Periodo	Formación	Área (Ha)	%
Cuaternario	Aluvial	56.68	2.03
	Coluvial	502.01	18.02
	F. Llacao	424.77	15.25
Terciario	F. Tarqui	386.05	13.86
	F. Loyola	403.85	14.50
	F. Azogues	353.17	12.68
Cretáceo	F. Biblián	197.62	7.09
	F. Yunguilla	461.41	16.56
	Total	2785.57	100

Fuente: Propia basado en Cartas Geológicas 1:100k, SENPLADES.

La Ilustración 4 indica la zona de estudio planteada para la investigación y las Formaciones geológicas existentes en este punto, siendo la Formación Azogues, muy cerca de esta se encuentra la Formación Loyola por lo que se concidero pertinente citar las dos Formaciones.

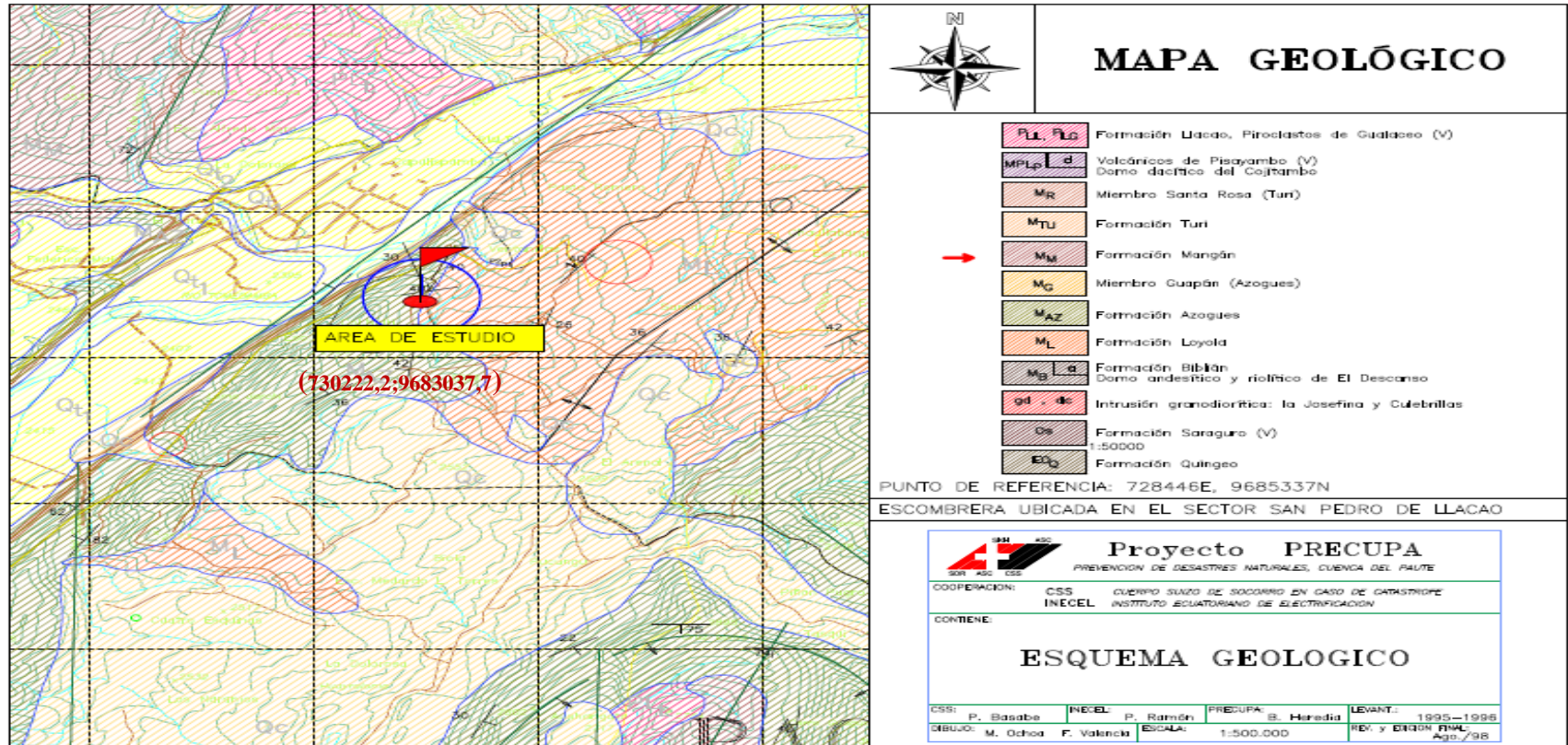


Ilustración 4: Formaciones Geológicas Parroquia Nulti.

Fuente: (P.R.E.C.U.P.A, 1998)

Las Formaciones más grandes presentes en esta parroquia son: el Deposito Coluvial, seguido de la Formación Yunguilla, Llaqueo y Azogues, la zona de estudio analizada está ubicada en el centro parroquial Nulti perteneciente a la Formación Azogues que se describe a continuación:

1.7.9 Formación Azogues (Maz).

El Proyecto P.R.E.C.U.P.A ejecutado en 1998 establece que la Formación Azogues es una sucesión sedimentaria comúnmente clástica que presenta areniscas tobáceas de grano medio a grueso, café amarillentas con capas de lutitas, limolitas y pocas inserciones de conglomerados, se localiza fauna de moluscos y restos de plantas, su grosor es de 600 m aproximadamente, formación afectada por deformaciones sedimentarias mostrando fuertes fallas. (P.R.E.C.U.P.A, 1998)

1.7.9.1 Comportamiento geotécnico.

Sobre el comportamiento geotécnico de esta formación (P.R.E.C.U.P.A, 1998), indica las siguientes condiciones:

Condiciones geodinámicas. - Los derrumbes y caídas de bloques son comunes en suelos de fuertes pendientes, estos integran la parte fina de los sedimentos.

Condiciones estructurales. - Las areniscas conglomeradas se muestran regularmente fracturadas, rellenas de arena y bordes rugosos, las tobas y limolitas se muestran muy fracturadas, con relleno limo arenoso y bordes suaves y oxidados. Estas condiciones estructurales son principales para la caída de bloques.

Comportamiento geotécnico. - Son calificados como rocas, estables en pendientes menores a 30°, caída de bloques en fuertes pendientes o taludes de corte. En algunos niveles lutíticos se disminuye su resistencia al corte en condiciones húmedas, algunos suelos muestran alta expansibilidad.

Los resultados a muestreos analizados durante el desarrollo del Proyecto P.R.E.C.U.P.A en 1998 en varios puntos de la parroquia Nulti dentro de la Formación Azogues expone los siguientes datos indicados en la Tabla 6.

Tabla 6
Parámetros Físico –Mecánicos de la Formación Azogues

CLASI	PARAMETROS FISICO-MECANICOS							CLASI
FIC.	K	γ	C'	ϕ'	C _u	ϕ_u	σ_c	FIC.
SUCS	(m/s)	(KN /m ³)	(M N/m ²)	(°)	(M N/m ²)	(°)	(MN /m ²)	Bieniawski
	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁶	13 - 26	0.1 - 0.15	35 - 45				III
	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁸	19 - 21	0.05 - 0.1	30			4.5	IV

Fuente: (P.R.E.C.U.P.A, 1998)

Materiales con comportamiento rocoso, parámetros estimados a partir de las características físicas.

III: Areniscas y conglomerados.

IV: Facies finas: tobas y lutitas.

1.7.9.2 Susceptibilidad de terrenos inestables de la Formación Azogues.

Se determina una susceptibilidad de baja a mediana en suelos inestables con grandes pendientes que sufren desprendimientos y caídas de bloques. Esto se debe a la mayor facturación del macizo en general. Los taludes requieren tratamiento con gunitización y enmallado, algunos estratos menos rocosos y zonas de fisuras aceptarán vegetación con especies nativas.

(P.R.E.C.U.P.A, 1998)

1.7.10 Formación Loyola (ML).

Es una formación sedimentaria que contiene lutitas gris oscuro muy visibles, limolitas que se meteorizan a arcillas de color blanco y habano, y areniscas limosas estratificadas con cemento calcáreo, su espesor en la parte central es de 500 m, esta Formación es afectada por deformaciones y fallas sedimentarias, presenta fauna con abundantes peces y escamas, que establecen un ambiente marino con sedimentos depositados al nivel del mar en planicie costera. (P.R.E.C.U.P.A, 1998)

1.7.10.1 Comportamiento geotécnico.

Sobre el comportamiento geotécnico de esta formación (P.R.E.C.U.P.A, 1998), indica las siguientes condiciones:

Condiciones estructurales. – La parte arenosas es muy localizada está fragmentada con varias estratificaciones de media a alta que puede ocasionar roturas de bloques, en la parte arenosa se muestra fracturas cerradas con cemento calcáreo y yeso abiertas hasta 2mm, con relleno areno arcilloso y óxidos, caras planas, bordes rugosos, en la parte fina se presenta fracturas cerradas con relleno arcilloso y bordes blandos.

Trabajabilidad y posible uso del material. – Es trabajable y fácil de escavar con equipo liviano en estado seco, las arcillas se vuelven sensibles en estado húmedo, y la expansividad que muestra no permite su uso para relleno.

Comportamiento geotécnico. - La parte arenosa es poco representativa, la parte fina, es más visible, pero presenta una alteración residual hasta 3m de espesor, con una expansividad de media a alta, muestra escasa propiedades mecánicas con respecto a la resistencia al corte; el material es colapsable en condiciones saturadas.

De igual forma el Proyecto P.R.E.C.U.P.A expone parámetros Físico- Mecánicos, para la Formación Loyola del análisis de varios muestreos, estos parámetros se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7
Parámetros-Físico Mecánicos de la Formación Loyola

CLASI	PARAMETROS FISICO-MECANICOS							CLASI
FIC.	K	γ	C'	ϕ'	C _u	ϕ_u	σ_c	FIC.
SUC	(m/s)	(KN/m	(MN/m	(°)	(MN/m	(°)	(MN/m	Bieni
S		³⁾	²⁾		²⁾		²⁾	awski
ML-	10 ⁻⁸ -	18 - 21	0.01 -	20 - 25	0.02 -	7 - 15		
CL-CH	10 ⁻¹⁰		0.03		0.04			
SM	10 ⁻⁴ -	*19 -	0.05 -	30 *	-	-		IV
	10 ⁻⁶	21	0.1					

Fuente: (P.R.E.C.U.P.A, 1998)

Valores considerados de características físicas

ML - CL – CH: Facie fina fisil e incompetente.

SM: Areniscas con comportamiento similar a material rocoso.

1.7.10.2 Susceptibilidad a terrenos inestable de la formación Loyola.

Los suelos residuales de la Formación Loyola aplacan reptaciones en secuencias temporales: desecación-infiltración-deformación-desecación, en una susceptibilidad de moderada a alta, incluyendo sedimentos competentes de Azogues, en la superficie predomina la desecación, fragmentación y erosión laminar. Los Sedimentos fino granulares fragmentados de Loyola, muestran condiciones no drenadas, deslizamientos profundos en bajas a medias pendientes,. (P.R.E.C.U.P.A, 1998)

Esta formación muestra el mayor número de deslizamientos y de grandes intensidades. Un tema en particular es el deslizamiento Paccha, que es el más grande de la región estudiado, cubre un área de 17 millones de m². Es una de las formaciones inadecuada para la construcción. En épocas de lluvia permanecen saturados los estratos, un caso típico es el de Paccha donde le designan como terremoto lento. (P.R.E.C.U.P.A, 1998)

1.7.11 Situación geográfica de Paccha.

La parroquia Paccha está ubicada a 11 km de cantón Cuenca provincia del Azuay en la parte nororiental en la región Andina, siendo una parroquia rural, su superficie total es de 26,4 kilómetros cuadrados, se encuentra entre los 2.421 y 3.060 m.s.n.m.

1.7.12 Límites geográficos de Paccha.

Al norte limita con la parroquia rural Nulti,

Al Sur con la parroquia rural el Valle,

Al este con la parroquia rural de Santa Ana y el cantón Gualaceo.

Al Oeste se encuentran las parroquias urbanas de Monay y Machángara, y la parroquia rural de Ricaurte.

1.7.13 Ubicación de la muestra en la parroquia Paccha.

La calicata que se extrajo de esta parroquia pertenece al caserío Guagualzhumi localizado en la vía a Toreos, fue tomada en un lote privado a 2m de profundidad, esta profundidad se explica en el Capítulo 3.

Las coordenadas del punto para la extracción de la calicata de la Parroquia Paccha se indican en la Tabla 8.

Tabla 8
Ubicación de la calicata en la Parroquia Paccha.

Punto	Latitud	Longitud
1	732735.1	9680383.9

Fuente: Elaboración Propia

La Ilustración 5 muestra la ubicación de la zona de estudio en el mapa de la Parroquia Paccha, mientras que la ilustración 6 muestra la extracción de la calicata.



Ilustración 5: Ubicación de la muestra en la parroquia Paccha.

Fuente: Propia



Ilustración 6: Extracción de la calicata en la Parroquia Paccha.

Fuente: Propia.

1.7.14 Geomorfológica de Paccha.

(Paccha, 2015), expresa que la zona de Paccha tiene tres zonas geomorfológicas: mesetas, cuencas intramontañosas y relieves colinados, que han sido productos de la interacción de procesos denotativos y acumulativos. Localmente, hacia el sur se encuentra la parte más elevada representada por la loma de Guagualzhumi, constituida por los sedimentos aluviales de la Formación Azogues y aflora en el escarpe vertical con una dirección noroeste – sureste. La morfología está representada por pendientes abruptas a suaves. Se desarrolla entre un rango altitudinal de 2600 y 3000 m.s.n.m. Las abruptas están conformadas por material rocoso de origen sedimentario, que afloran en el escarpe (sur), las moderadas a suaves por material heterogéneo producto del deslizamiento.

1.7.15 Fenómenos geológicos de Paccha.

Entre los fenómenos geológicos de esta zona, se destaca los hechos sucedidos en noviembre de 1994 y abril de 1995 “donde se pudo obtener con precisión un desplazamiento de 359cm”. Estos deslizamientos afectan a todos los sectores aledaños por su dinámica constante y destructiva, causando daños en viviendas, en redes eléctricas, sistemas de alcantarillado, etc. (Paccha, 2015).

1.7.16 Geología de la Parroquia Paccha.

En la parroquia el punto más alto es el cerro Guagualzhumi, el cual es apreciable desde diferentes puntos de la parroquia y de la ciudad. La geología de esta parroquia se comienza a formar en el periodo terciario, hace 23 millones de años hasta llegar a dar oportunidad a nuevas Formaciones del periodo cuaternario hace 2.5 millones de años. (Paccha, 2015).

1.7.17 Formaciones Geológicas de la parroquia Paccha. –

Las formaciones geológicas de la parroquia Paccha se presentan en la Tabla 9:

Tabla 9
Formaciones de la parroquia Paccha.

Periodo	Formación
Cuaternario	Depósitos Coluviales
	F. Llacao
Terciario	F. Mangan
	F. Azogues
	F. Loyola
	F. Biblián
	F. Yunguilla

Fuente: P.R.E.C.U.P.A (1998)

La formación geológica que predomina en esta zona es “El Depósito Coluvial”, que está asentado sobre la Formación Azogues, según información cartográfica del proyecto P.R.E.C.U.P.A realizado en 1998.

La Ilustración 7 presenta el mapa de formaciones geológicas de la Parroquia Paccha, señalando la zona de estudio que indica que esta sobre un Depósito Coluvial y este a su vez sobre la Formación Azogues.

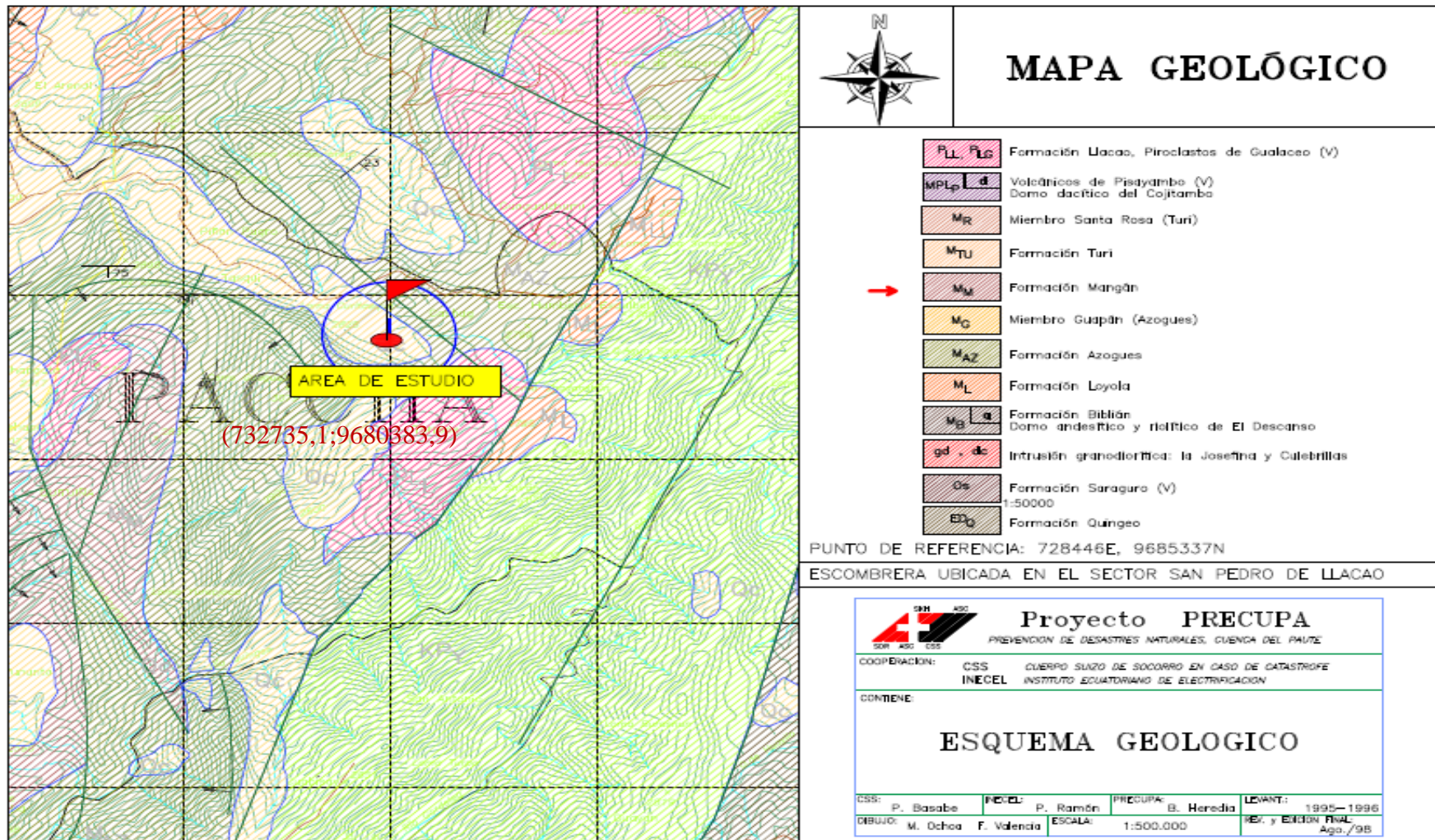


Ilustración 7: Formaciones Geológicas de la Parroquia Paccha con la zona de estudio

Fuente: (P.R.E.C.U.P.A, 1998)

1.7.17.1 Depósitos Coluviales (QC).

1.7.17.1.1 Descripción geológica.

Son considerados como depósitos de ladera con materiales que han sufrido poca transferencia, son muy heterogéneos de acuerdo a la zona y el fenómeno inestable que les dio origen como son los deslizamientos, derrumbes, flujos, etc. Están formados por bloques y fragmentos angulares y subangulares limoso arcilloso con micro fragmentos. Los Depósitos Coluviales más actuales son los generados por el desagüe del lago de “La Josefina” localizado en Challuabamba, “La Josefina”, Shishío, Chicticay etc. (P.R.E.C.U.P.A, 1998)

1.7.17.1.2 Comportamiento geotécnico.

Los depósitos Coluviales tienen un comportamiento geotécnico de acuerdo a la información de (P.R.E.C.U.P.A, 1998), que nos indica lo siguiente:

Condiciones geodinámicas. - Los depósitos antiguos por lo general ya son estables, pero la presencia de escorrentía permite que se presente erosión, drenaje y reactivación del terreno. Los depósitos recientes son zonas totalmente inestables, sin sistema de drenaje, susceptibles a la erosión hídrica, deslizamientos y flujos.

Trabajabilidad y posible uso del material. - Se puede explotar escombros con poco material fino, excavación con maquinaria liviana y muy casual uso de explosivos. Este material puede utilizarse en subbase de vías. El uso de este suelo depende de la estabilidad general, contenido de finos y el tiempo de formación del Depósito.

Comportamiento. – Presentan una permeabilidad variable, en Depósitos antiguos con pendientes mínimas puede aceptarse construir obras, los Depósitos recientes son peligrosos y no se recomienda para la construcción.

La Tabla 10 indica los parámetros físico mecánicos de varios ensayos realizados durante la ejecución del proyecto P.R.E.C.U.P.A en 1998 en los depósitos Coluviales de la Parroquia Paccha.

Tabla 10
Parámetros Físico - Mecánicos del Depósito Coluvial.

CLASI	PARAMETROS FISICO-MECANICOS							CLASIFI
	K	γ	C'	ϕ'	C _u	ϕ_u	σ_c	
FIC.	(m/s)	(KN/m ³)	(MN/m ²)	(°)	(MN/m ²)	(°)	(MN/m ²)	C.
SUC								Bieniawsk
S								i
CL-SC	10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁸	17 - 21	0 - 0.01	15–28	0.03- 0.05	0–20 *		
*SC -	10 ⁻³ –	19 - 22	0 –	25–35	f(finós)	f(finós)		
GW	10 ⁻⁴		0.05					

Fuente: (P.R.E.C.U.P.A, 1998)

(CL -SC) Depósitos Coluviales con predominio de finos.

(SW-GW) Depósitos Coluviales con predominio de gruesos.

1.7.17.1.3 Susceptibilidad a terrenos inestables y recomendaciones para los depósitos Coluviales.

Los depósitos Coluviales antiguos compactos y estables, aceptan pendientes naturales hasta 15-25°. Mientras que los depósitos actuales son totalmente susceptibles, dependiendo de ciertas condiciones como son (saturación del terreno, fracturación), desencadenantes (pluviosidad extrema y/o sismo) y antrópicas (cortes, rellenos, construcciones y explotaciones inadecuadas, deforestación, etc.). (P.R.E.C.U.P.A, 1998)

En la actualidad aún se puede evidenciar deslizamientos de tierra, derrumbes, obras civiles con daños estructurales, como casas cuarteadas, vías colapsadas, etc. Al verificar los puntos de estudio a que Formación pertenecen, en el caso de la zona de estudio de Nulti se localiza sobre la Formación Azogues y la Formación Loyola descritas anteriormente que exponen que las mismas presentan fuertes fallas con derrumbes y caídas de bloques, si están expuestas a condiciones de humedad, como fuertes lluvias o saturación de pozos sépticos, ya que

disminuyen considerablemente su resistencia a corte, presenta alta expansibilidad. La formación Loyola está compuesta de areniscas limosas y arcillas, es afectada por fallas sedimentarias y deformaciones presenta una expansibilidad de media a alta y una baja resistencia al corte, esta formación tiene el mayor número de deslizamientos de grandes intensidades, lo cual no es apta para la construcción. En épocas de lluvia permanece totalmente saturada, mientras que en épocas de sequía el suelo sufre cambios volumétricos debido a que pierde humedad debido a la evaporación. En el caso de la zona de estudio en Paccha se encuentra sobre un Depósito Coluvial, estos se dan origen por un fenómeno inestable como deslizamientos, derrumbes y flujos, está formado por limos arcillosos, son zonas potencialmente inestables susceptibles a erosión y a deslizamientos.

Lo que nos lleva a la conclusión que las zonas de estudio, al estar ubicadas en formaciones geológicas que presentan deslizamientos o derrumbes, ocasionados por la composición del suelo, que tienen un factor en común que son las arcillas y limos, son materiales que tienen características de expansión, además las causas de estos deslizamientos o derrumbes, se los puede asociar a fenómenos como la reptación Suarez en el 2009 indico que “consiste en movimientos del suelo subsuperficial desde muy lentos a extremadamente lentos sin una superficie definida de falla. La profundidad del movimiento puede ser desde pocos centímetros hasta varios metros. Generalmente, el desplazamiento horizontal es de unos pocos centímetros al año y afecta a grandes áreas de terreno” (Suarez, 2009).

Este fenómeno ocurre por alteraciones climáticas, es decir presencia de cambios volumétricos debido a procesos como son la humedad y el secado de los suelos, como ocurre con los suelos arcillosos, que tienen características expansivas. Los procesos de expansión y contracción son características de estos suelos, que afectan a la reptación, pero no son necesarios para que esto ocurra, se puede observar la existencia de procesos de reptación en

inclinaciones de postes, troncos, arboles, que se puede evidenciar en la Ilustración 8, es por eso que es importante conocer el compartimiento de los suelos expansivos.



Ilustración 8: Fenómeno de la reptación presentes en las zonas de estudio Nulti y Paccha.

Fuente: Propia

1.8 Suelos Expansivos.

Los suelos expansivos están considerados como inestables, son suelos que sufren cambios volumétricos, es decir que presentan fenómenos de expansión o contracción, por la variación en el contenido de humedad, que depende del clima o condiciones en las que se encuentre el agua del subsuelo. Este tipo de suelos están formados por arcillas, constituidas por silicatos de aluminio hidratados, en algunos casos también están formados por silicatos de hierro, magnesio y otros metales, también hidratados. Estos minerales presentan una estructura molecular definida por una organización laminar. Los minerales arcillosos más importantes son: illita, caolinita y montmorillonita, están compuestos básicamente por hidroaluminosilicatos.

Este tipo de suelos son una problemática para la ejecución de obras civiles, por el aumento del volumen que no se muestra de una manera uniforme, sino al contrario al producirse

incrementos en diferentes zonas y al contraerse causan asentamientos, que pueden ocasionar daños a las estructuras de manera drástica hasta el punto de hacerlas colapsar. Es por eso la necesidad de estudiar este tipo de suelos, por los daños que generan a las estructuras que están asentadas sobre estos suelos, otro motivo fue el crecimiento de la población, en las ciudades ya no hay espacio suficiente, obligando a las personas a migrar a zonas rurales y asentarse en lugares con este tipo de suelos, ya que no hay una planificación adecuada en las ciudades.

Estos incrementos o contracciones de volumen son respuestas a las alteraciones de las fuerzas que ejercen sobre las partículas como:

- La tensión superficial en los meniscos del agua contenida entre sus partículas, la cual tiende a comprimir el suelo
- Las presiones osmóticas, que atraen a el agua al interior del suelo, generando una expansión.
- Las presiones generadas en las burbujas de aire atrapadas en el suelo, originan una expansión.
- Los esfuerzos provocados por las cargas externas que ocasionan una compresión en el suelo.
- Las fuerzas intermoleculares de Van de Waals, que comprimen al suelo.

Un fenómeno que se da en estos suelos es la reptación (“Creep”), “que consiste en movimientos del suelo subsuperficial desde muy lentos a extremadamente lentos sin una superficie definida de falla. La profundidad del movimiento puede ser desde pocos centímetros hasta varios metros” (Suarez, 2009).

1.8.1 Reconocimiento e identificación de suelos expansivos.

Para identificar este tipo de suelos, existen varios métodos, que varían de acuerdo a diferentes parámetros que se indica continuación:

1.8.1.1 Identificación Visual.

Este método de identificación, se lo realiza observando ciertas características del suelo como:

- Si en el terreno, existe presencia de grietas o partiduras, generadas por el fenómeno de palpitación, que sufre la superficie de estos suelos cuando varía el contenido de humedad en estos.
- Por la plasticidad del suelo, es decir si se toma un puñado de suelo y se lo aplasta, este no se desmorona, es un indicativo de un suelo arcilloso.

1.8.1.2 Identificación Mineralógica.

En este tipo de métodos detecta la presencia de los minerales arcillosos, pero se enfoca más a identificar la presencia de la montmorillonita, que es el mineral más expansivo en este tipo de suelos. Estos tipos de ensayos son usados comúnmente en trabajos de investigación científica, ya que para el ambiente de la ingeniería son muy costosos y muy poco prácticos, por lo que se necesita un personal y equipamiento especializado.

“La presencia de cargas eléctricas negativas en la superficie de los minerales arcillosos, así como la capacidad de intercambio catiónico resultan fundamentales para la magnitud de la expansión.” (Patrone & Prefumo, 2000)

- Difracción por rayos X
- Análisis Térmico Diferencial
- Análisis de absorción de colorantes
- Análisis químicos
- Análisis por microscopio electrónico

1.8.1.3 Identificación del potencial expansivo del suelo por Métodos Indirectos.

La identificación por métodos indirectos, se da cuantificando ciertas propiedades que ayuden a determinar el potencial de expansividad de estos suelos como:

- Límite líquido y Límite Plástico

“Investigadores como Lundgren, Woodward y Seed, argumentaron que las características plásticas de los suelos pueden ser utilizados como un indicador primario de las características expansivas de las arcillas. (Patrone & Prefumo, 2000).

Los grados de expansión de acuerdo al índice de Plasticidad se exponen en la Tabla 11.

Tabla 11

Clasificación de los Grados de Expansión de acuerdo a su Índice de Plasticidad.

Grado de Potencial Expansivo	Índice Plástico
Bajo	0-15
Medio	10 -35
Alto	20-55

Fuente: Elaboración propia basado en (Patrone & Prefumo, 2000)

- Contenido de coloides

Cuando existe la presencia de arcillas o limos es necesario la realizar un ensayo hidrométrico, ya que la expansión de una arcilla está relacionada con la cantidad de partículas de tamaño arcilla presente en el suelo que indica la Ecuación 1

Se ha establecido una relación del tipo:

$$S = k * C^x$$

Ecuación 1 Relación la cantidad de arcillas para la determinación del hinchamiento potencial.

Fuente: (Patrone & Prefumo, 2000)

Dónde:

S = Hinchamiento potencial, expresado como el porcentaje de hinchamiento de una muestra compactada con el ensayo Proctor Estándar al peso unitario seco máximo con su respectiva humedad óptima.

C = Porcentaje de fracción de arcilla (partículas < 0.002mm)

x = Exponente que depende del tipo de arcilla

k = Coeficiente que depende del tipo de arcilla

Los parámetros “x” y “k”, indican el tipo de arcillas coloidales presentes que se determinan a partir de un ensayo de difracción de rayos X.

- Expansión libre del suelo.

El método de expansión libre se basa en colocar en una probeta cilíndrica un volumen determinado de suelo “seco” y sumergirlo en agua sin la aplicación de sobrecarga alguna, mientras se mide la expansión. La diferencia generada entre el volumen final e inicial, expresado como un porcentaje del volumen inicial es la expansión libre. Esta medida de determinación de la expansión se realiza bajo condiciones muy desfavorables. En la actualidad existen métodos más adecuados para estos efectos. (Patrone & Prefumo, 2000).

Existen métodos de evaluación del potencial expansivo del suelo, los cuales son:

- Método desarrollado por Holtz y Gibbs.

Este método relaciona el contenido de coloides, índice plástico y el límite de contracción, que están basadas en curvas e identifica a los suelos expansivos de la siguiente manera:

La Tabla 12 expone los diferentes parámetros de acuerdo al contenido de coloides:

Tabla 12
Identificación de Suelos Expansivos de acuerdo al número de coloides.

Contenido de Coloide (< 0.001m) en %	Índice Plástico	Shrinkage Limit	% Expansión bajo carga de 1.0 psi	Grado de Expansión
> 28	> 35	<11	>30	Muy Alto
20-13	25-41	7-12	20-30	Alto
13-23	15-28	10-16	10-30	Medio
>15	<18	>15	<10	Bajo

Fuente: (Patrone & Prefumo, 2000)

- Método del “Índice de la actividad de la arcilla” propuesto por Seed, Woodward y Lundgren.

“Está basado en muestras remoldeadas de suelo compuestos por mezcla de arcillas, bentonita, illita, caolinita y arena fina. La expansión se midió como un % del hinchamiento que experimentan probetas compactadas al 100 % del P.U.S.M. del Proctor Estándar y con el contenido de humedad óptimo y sometidas a una sobrecarga de 1 Psi” (Patrone & Prefumo, 2000)

La actividad de la arcilla se define como:

$$A = \frac{IP}{(C - 10)}$$

Donde:

C = Porcentaje de fracción de arcilla (partículas < 0.002mm)

IP = Índice de Plasticidad

1.8.2 Identificación por Métodos Directos de la expansión del suelo.

Los métodos directos están enfocados en cuantificar la expansión del suelo en condiciones saturadas, bajo diferentes condiciones de carga, con el objetivo de graficar las variaciones del hinchamiento del suelo, con la aplicación de diferentes presiones a este. Existen dos métodos tanto en campo como en el laboratorio que se mencionan a continuación:

- Método de campo

El método se basa en una prueba de carga de expansión, donde se trata de encontrar la presión que causa la expansión para un determinado cambio de volumen.

- Método de laboratorio

Existen dos métodos de laboratorio que se rigen a las normas ASTM, el primero es el ensayo de expansión o asentamiento unidimensional de suelos cohesivos basado en la norma ASTM D-4546 y el último es el ensayo expansión o método de índice de expansión guiado por la ASTM D-4829.

CAPÍTULO 2.

2 ESTABILIZACIÓN.

2.1 Generalidades de la estabilización.

Todos los suelos son diferentes al mencionar sus propiedades físicas-mecánicas y su capacidad de carga, debido a que cada suelo presenta variación en estos factores. Esto demanda que exista un estudio de suelos previo a la edificación de una obra civil, con el objetivo de lograr una cimentación adecuada para la construcción. Si el suelo no cumple con los requisitos necesarios para la ejecución de una obra, existen alternativas que el constructor puede tomarlas como:

- 1) Reemplazar el suelo;
- 2) Estabilización del suelo por métodos físicos o químicos;
- 3) Cimentación profunda.

Cada una de estas opciones son viables, pero la primera implica una fuerte inversión económica a comparación de la segunda alternativa, que es un método que se ha empleado desde la antigüedad empíricamente y que en la actualidad se basan en estudios geotécnicos e investigaciones generadas por métodos experimentales, con la finalidad de que suelos expansivos, plásticos, o que tengan una baja capacidad portante del suelo, sean tratados y utilizados. Para que un suelo sea “adecuado”, es decir; apto para la construcción éste debe presentar gran resistencia, sin que presente deformaciones, desgastes causados por agentes atmosféricos y conservarse bajo los efectos climatológicos de la zona, cuando un suelo no cumple con estas condiciones se le denomina “suelo inestable”.

2.2 Causas de los movimientos de las masas de tierra.

Los movimientos de las masas de tierra, “suceden cuando la resistencia al esfuerzo cortante de la masa del suelo, es excedida por los esfuerzos cortantes que se produce en una superficie relativamente continua” (Sowers & Sowers, 1972)

Es difícil determinar la principal causa de los movimientos de la tierra, ya que cualquier evento que disminuya la resistencia de suelo o incremente los esfuerzos en el suelo, deriva a la inestabilidad; una vez que se da el movimiento se debe buscar una alternativa de estabilización, que más adelante analizaremos de los tipos de estabilización. La Tabla 13 expone las causas de la inestabilidad.

Tabla 13
Causas de la Inestabilidad.

Causas que producen aumento de esfuerzos	Causas que producen disminución de resistencia
Cargas externas como edificios, agua o nieve	Expansión de las arcillas por adsorción de agua
Aumento del peso de la tierra por aumento de humedad	Presión de agua intersticial (Esfuerzo neutro)
Remoción por excavación de parte de la masa de tierra	Dstrucción de la estructura, suelta o de panal, del suelo por choque, vibración o actividad sísmica
Socavaciones producidas por perforaciones de túneles, derrumbes de cavernas o erosión por filtraciones	Fisuras capilares producidas por las alternativas de expansión y retracción por tracción
Choques producidos por terremotos o voladuras	Deformación y falla progresiva en suelos sensibles
Grietas de tracción	Deshielo de suelos helados o de lentes de hielo
Presión de agua en las grietas	Deterioro del material cementante Perdida de la tensión capilar por secamiento

Fuente: Elaboración propia basado en (Sowers & Sowers, 1972)

La falla es consecuencia de cualquiera de estos factores mencionados, que pueden ser aislados o combinados, aunque por lo general estas fallas son independientes, pero también se relacionan entre sí. Cuando existen daños en estructuras o pérdida de vidas, se solicita a un ingeniero, para que determine el causante de la falla, aunque es muy dificultoso determinar con exactitud cuál fue la causa verdadera de esta, puesto que en gran parte de casos existen varias causas que producen un movimiento de tierras.

2.3 Mecanismos de estabilización de suelos.

Es un conjunto de proceso que tiene como objeto el de mejorar las propiedades mecánicas de un suelo existente, con el fin de que cumpla con los requisitos que demanda la obra civil a ser ejecutada.

“Para estabilizar un suelo se deben aplicar varios procesos que cambian sus propiedades iniciales, y se consigue una mejoría en el comportamiento del material, en la resistencia, aumentando sus características mecánicas, estabilidad de volumen, capacidad de drenaje, entre otras”. (Fratelli, 1993)

“El tipo de estabilización que se vaya a emplear dependerá de las características del suelo y de la clase de propiedades que se requieran mejorar.” (ALBÁ, 2014).

Es preciso tener en consideración, que la estabilización no se puede aplicar a cualquier tipo de suelo, dependen de las condiciones en la que se encuentra.

2.3.1 Requisitos de la estabilización.

La forma y el grado de mejoramiento necesario, depende del tipo de suelo y de las carencias que puede presentar el mismo. En la mayoría de suelos se tiene por objetivo aumentar la resistencia. Si el suelo no tiene cohesividad, esto se puede lograr por confinamiento u ofreciéndole cohesión a través de un agente cementante o ligante. Todo lo contrario; sucede cuando el suelo es cohesivo, se puede lograr mejorar su resistencia haciéndolo invulnerable a la humedad, afectando el agua absorbida, generando el aumento de

la cohesión por medio de un agente cementador y consecuentemente el ángulo de fricción interna. Para prevenir los fenómenos de retracción y expansión, se utiliza de la misma manera un material cementante, con el fin de modificar la capacidad del mineral arcilloso, evitando la impregnación de agua, y creando un suelo resistente a las variaciones de humedad. En cambio, si se trata de la permeabilidad de un suelo, se puede disminuir este parámetro, colmando los poros con material impermeable o alterando la estructura mineral de la arcilla para paralizar el proceso de floculación.

Para que un agente estabilizador sea el correcto, deberá presentar las siguientes condiciones de acuerdo a (Sowers & Sowers, 1972):

- Compatible con el material del suelo
- Debe ser permanente
- Fácil manejo y preparación
- El costo debe ser el mínimo

Cabe recalcar que no hay material que cumpla con todas las exigencias, casi todos son deficientes, la gran mayoría no cumplen el requisito de tener un bajo costo.

2.3.2 Alternativas de estabilización.

Existen algunas opciones que se pueden emplear para mejorar un suelo, la elección correcta dependerá de las condiciones iniciales en la que está el suelo, y las propiedades que se requieran mejorar del mismo, con el objeto de presentar un suelo que brinde las características físico-mecánicas estables y adecuadas, para ejecutar la obra civil deseada.

Entre los métodos de estabilización las más comunes son:

2.3.2.1 Estabilización física

Este tipo de estabilización, se enfoca a mejorar el suelo ocasionando cambios físicos.

Mezcla de Suelos: Consiste en la unión de dos o más suelos que se integran, con el objetivo de lograr un nuevo material de mejores características.

Utilización de materiales Geo sintéticos: Estos materiales son de procesos industriales, compuestas por polímeros, que transforma su forma elemental de polvos o gránulos a mallas tejidos, perfiles, laminas, etc. La aplicación de estos materiales está destinada a controlar la erosión de los suelos, permitir la filtración, reforzar la masa de suelos, facilitar el drenaje, impermeabilizar contra posibles punzonamientos, entre sus funciones más importantes.

2.3.2.2 *Estabilización Mecánica*

Se utiliza para mejorar las propiedades del suelo sin la unión de agentes químicos que cambien las propiedades del mismo.

Existen diferentes tipos de estabilización mecánica que se describen a continuación:

2.3.2.2.1 *Compactación.*

Es el proceso de densificar un material a través de medios mecánicos, el aumento de densidad se logra al reducir el contenido de vacíos mientras el contenido de humedad continua constante. (Reid, 1993)

La compactación es la consolidación del suelo por la eliminación de aire, que se logra a través de energía mecánica, el grado de compactación de un suelo se mide mediante su peso unitario seco. (Das, 2015)

(Reid, 1993), expone que el motivo fundamental que busca la compactación es:

a) Incrementar la resistencia a corte del suelo, mejorando la estabilidad de terraplenes y su capacidad portante.

b) Disminuye la compresibilidad reduciendo los asentamientos,

c) Disminuye la relación de vacíos reduciendo la permeabilidad y

d) Disminuye el potencial de expansión, contracción o expansión por congelamiento.

(Das,2013) indica que el peso unitario seco luego de la compactación se incrementa a medida que se aumenta el contenido de humedad, como se indica en la Ilustración 9.

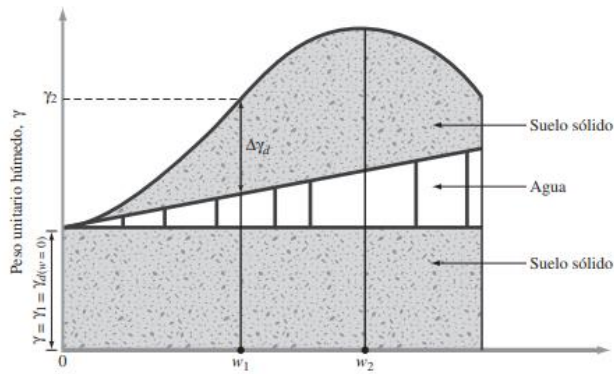


Ilustración 9: Principios de Compactación.

Fuente: (Das, 2015)

Esta práctica se efectúa a menudo sobre materiales que se usan para relleno en la construcción (Reid, 1993).

El proceso in situ se efectúa mediante rodillos de ruedas lisas, rodillos compactadores de suelo, rodillos neumáticos de goma y rodillos vibratorios utilizados generalmente en suelos granulares.

Para encontrar el peso unitario seco máximo de compactación y el contenido óptimo de humedad es necesario realizar las pruebas mediante un laboratorio a través de:

- 1) Prueba Próctor estándar (ASTM D-698) o
- 2) Prueba Próctor modificada (ASTM D- 1557)

Y con los resultados del laboratorio como es el peso específico seco máximo (γ_d) y la humedad óptima (W_{op}), se puede ejecutar la compactación en campo, dependiendo del proyecto que se vaya a realizar. Para encontrar la compactación relativa a la que debe llegar el material se utiliza la Ecuación 2:

$$CR = \frac{\gamma_d \text{ campo}}{\gamma_d \text{ laboratorio}}$$

Ecuación 2: Compactación Relativa.

Fuente: (Braja, Estabilizacion con ceniza volante, 2015)

Donde:

CR: Densidad relativa

γ_d campo: Densidad de campo

γ_d laboratorio: Densidad de Laboratorio

2.3.2.2.2 Vibro flotación.

Es una técnica in situ que se utiliza en suelos granulares sueltos, consiste en insertar una sonda grande o vibroflot, que está formada por un tubo cilíndrico a través del cual se inyectan chorros de agua, contiene pesas que giran excéntricamente para producir un movimiento vibratorio en el plano horizontal. La sonda tiene unos 400 mm de diámetro, 2m de largo y una masa de alrededor de 2 toneladas como muestra la Ilustración 10. (Reid, 1993)

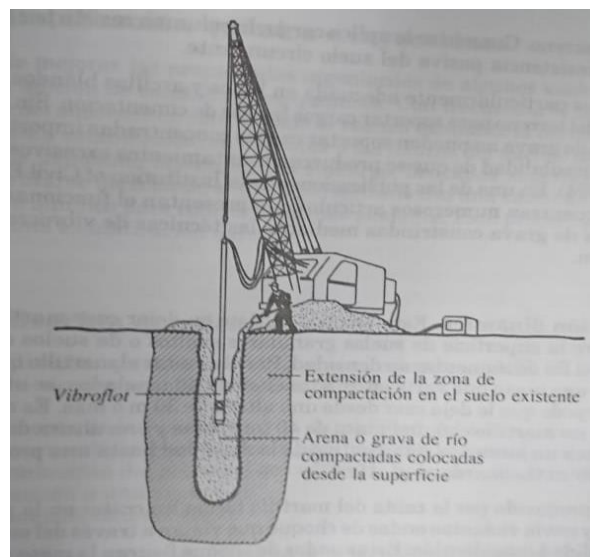


Ilustración 10: Principio de la vibro flotación.

Fuente: Peter L. Mecánica de Suelos 1993

La sonda vibratoria se sujeta de una grúa y se implanta en el suelo hasta llegar a la profundidad deseada, en ese instante se envía el agua por los chorros superiores hasta lograr un espacio vacío entre el suelo y la sonda, ese espacio se puede llenar con arena o grava de río que se coloca desde el suelo superior, la dimensión de la zona compactada tiene un radio de 2 a 3m. (Reid, 1993). Las etapas de este método se pueden observar en la Ilustración 11 expuesta a continuación.

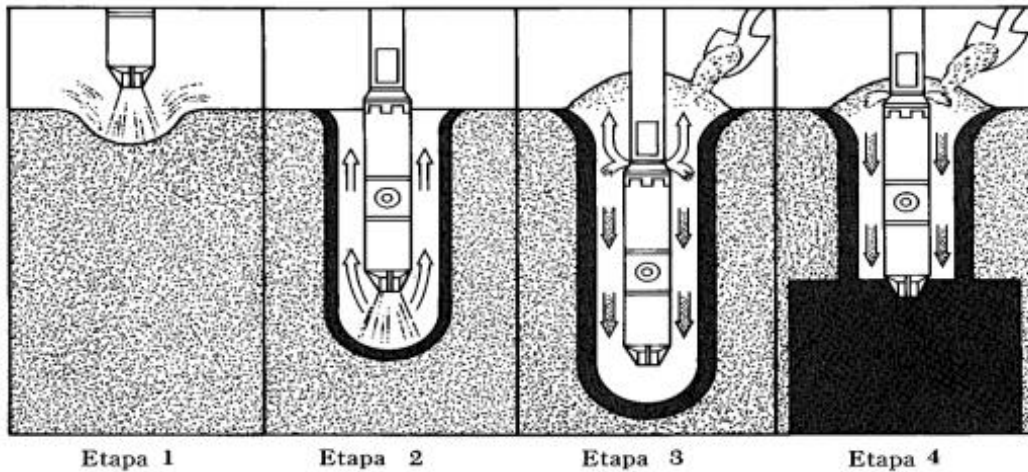


Ilustración 11: Etapas de Vibro Flotación.

Fuente: (Braja D. , Principio de ingeniería de cimentaciones, 1999)

Este método se ejecuta con varias separaciones de la sonda, dependiendo donde se vaya a compactar. La densificación exitosa en suelos in situ puede variar por diferentes factores (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013) indica que puede ser por las siguientes condiciones:

- a) Distribución de tamaño de grano del suelo.
- b) Tipo de relleno utilizado para llenar los agujeros durante el proceso de retiro del vibroflot.

Los suelos que tiene gran cantidad de arena fina y partículas de tamaño de limos son dificultosos al compactar, se necesita de mucho esfuerzo para lograr la densidad relativa adecuada de compactación; por otra parte, en suelos que contienen cantidades apreciables de gravas, el ingreso de la sonda es lento, esto resulta muy costoso, por lo que el tamaño de grano del material de relleno es un elemento importante ya que de este depende el proceso para densificar.

Brown 1977 definió un numero llamado número aptitud para la clasificación de relleno a través de la aplicación de la Ecuación 3:

$$S_N = \sqrt{\frac{3}{(D_{50})^2} + \frac{1}{(D_{20})^2} + \frac{1}{(D_{10})^2}}$$

Donde:

S_N : Numero de aptitud.

D_{50} : Diámetro en mm pasa el 50% del material.

D_{20} : Diámetro en mm pasa el 20% del material.

D_{10} : Diámetro en mm pasa el 10% del material.

Mientras más pequeño sea el valor de S_N , es mejor el material de relleno, en la Tabla 14 se expone una clasificación según Brown.

Tabla 14
Sistema de Clasificación de un relleno.

Rango de S_N	Calificación como relleno
0-10	Excelente
10-20	Bueno
20-30	Razonable
30-50	Pobre
≥ 50	Inadecuado

Fuente: (Brown, 1977)

2.3.2.2.3 Compactación dinámica

Es una práctica utilizada de forma más común en Estados Unidos en la compactación de suelos granulares.

Es un proceso mediante el cual se deja caer un gran peso sobre el suelo varias veces en intervalos regulares, el peso del martillo puede variar de 80 a 360 KN y la altura de caída del mismo va desde 7.5 a 30.5 m. (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013)

(Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013), expone que el grado de compactación conseguido depende de tres factores:

- a) Peso del martillo,
- b) Altura de caída del martillo,
- c) Separación de los lugares en los que cae el martillo.

La profundidad significativa para la compactación se puede aproximar a través del uso de la Ecuación 4:

$$D = \left(\frac{1}{2}\right) \sqrt{W_n h}$$

Ecuación 4: Profundidad significativa de densificación.

Fuente: (Holtz, 1980)

Donde:

D = Profundidad significativa de densificación (m).

W_n = Peso que se deja caer (toneladas métricas).

H = Altura de caída (m).

2.3.2.2.4 Voladura o blasting.

Este método se utiliza en suelos granulares, consiste en la denotar cargas explosivas de dinamita por debajo de la superficie del suelo. Las cargas son separadas lateralmente de 3 a 10 m. Por lo general es necesario de 3 a 5 detonaciones exitosas para llegar a la compactación deseada, colocando las cargas explosivas a los dos tercios del espesor de la capa de suelo que se desea compactar. (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013). Con esta técnica es casi seguro llegar a una compactación del ochenta por ciento.

2.3.2.2.5 Pre compresión.

Se utiliza para reducir al mínimo el asentamiento post construcción ocasionados por grandes edificaciones, carreteras, presas de tierra, etc., que provocan grandes asentamientos en suelos con estratos arcillosos altamente compresibles. (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013)

Para realizar la pre-compresión se coloca un volumen significativo de tierra en capas continuas de 1 a 2 m de espesor, sobre el suelo que se quiere mejorar esta carga se mantiene

durante un tiempo necesario para lograr el asentamiento esta técnica se usa principalmente en suelos arcillosos normalmente consolidados.

A través de esta técnica se puede conseguir que un suelo con baja capacidad portante se transforme en un estrato consolidado, aumentando la resistencia y disminuyendo su compresibilidad, hay que tener cuidado con la carga que se aplica sobre el mismo ya que puede superar la admisible ocasionando una fractura interna de la masa, produciendo el fenómeno de licuefacción (los suelos fluyen por exceso de cargas).

El tiempo que se debe aplicar la carga se encuentra por medio de un análisis de compresibilidad del suelo, la sobrecarga que se aplica al suelo se muestra en la Ilustración 12.

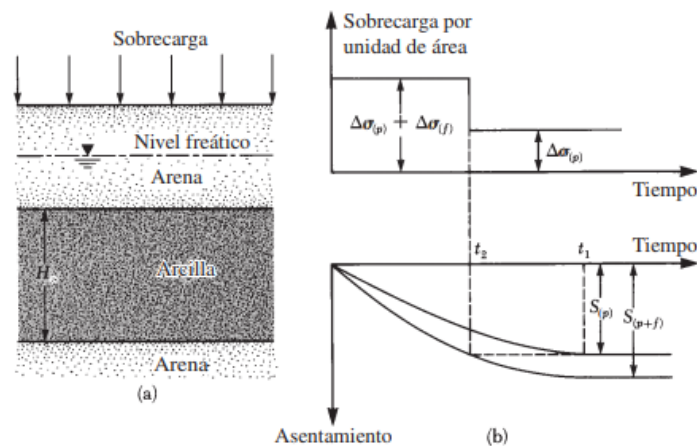


Ilustración 12: Principios de Pre-compresión.

Fuente: (Das, 2015)

2.3.2.2.6 Drenes de Arena

Sirven para acelerar el proceso de asentamiento provocado por la consolidación de las capas de arcillas blandas normalmente consolidadas y para obtener la pre compresión antes de la cimentación. Se logra por medio de la perforación de agujeros como se indica en la Ilustración 13 en las capas de arcilla en campo, los orificios se llenan con arena permeable, después se emplea una carga en el suelo como se muestra en la Ilustración 14, esta carga incrementa la presión de poros en la arcilla, este aumento de presión se disipa por el drenaje

de forma vertical y radial lo que acelera el asentamiento de la capa de arcilla. (Das, Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica, 2013)

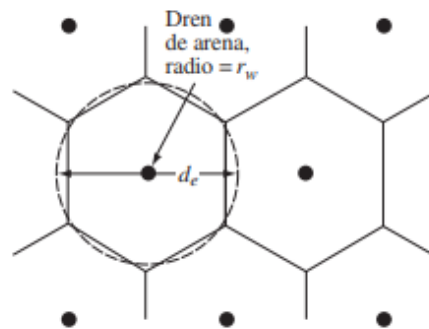


Ilustración 13: Drenes de Arena sección en planta.

Fuente: (Das, 2015)

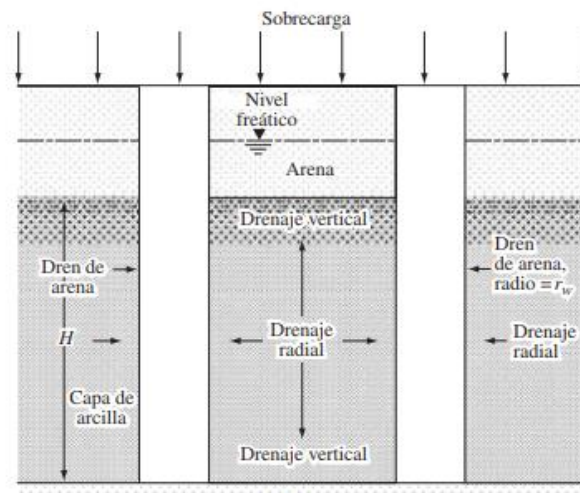


Ilustración 14: Drenes de arena Sección Transversal.

Fuente: (Das, 2015)

Se construye drenes verticales con el fin de incrementar el drenaje en suelos relativamente impermeables, estos drenes son comúnmente columnas de arena de 0.6m de diámetro, dispuestos en cuadros o formando triángulos con separaciones de 3 a 5 metros.

La superficie del terreno sobre los drenes se tapa con una capa de material permeable, y la estructura o terraplén se construye en la parte superior de esta capa, con el aumento de peso se elimina el agua del subsuelo hacia los drenes, de los cuales fluye por la capa permeable hacia la cuneta. (Peck, 1983)

2.3.2.3 *Estabilización Química.*

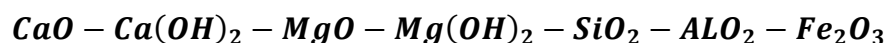
Este método de estabilización se basa en la aplicación de aditivos químicos, con el objetivo de mejorar el comportamiento y la manejabilidad del suelo, logrando que este sea más fácil de utilizar como material de construcción, otra de las ventajas que ofrece es la disminución del potencial de expansión-contracción y la reducción en la plasticidad, esto se puede lograr por medio del uso de materiales como: cal, cemento, cenizas volantes, cloruro de sodio, cloruro de calcio entre otros:

2.3.2.3.1 *Estabilización con Cal.*

Es uno de los agentes hidráulicos con mayor historia en el mundo de la construcción, ya que por varios siglos se ha utilizado de diferentes modos como: morteros de albañilería o enlucidos de muros. En los últimos años el uso de este material se ha extendido gracias a las investigaciones que se han generado, llegando a utilizarse en el mejoramiento de suelos, para distintas obras civiles.

2.3.2.3.1.1 *Clasificación de la Cal.*

La cal es un producto formado de óxidos e hidróxidos de calcio y magnesio, procedentes de la calcinación de minerales calizos y dolomíticos. En ciertos casos existen la presencia de hidróxidos de silicio, hierro y aluminio en función de su material básico de procedencia:



Durante el proceso de calcinación de los minerales compuestos por carbonatos de calcio y magnesio, en relaciones variables de calidad y tipología del mineral base, con el uso de calor, se origina óxidos de cal o magnesio, que se deriva de la liberación de dióxido de carbono.

“La temperatura es un factor esencial, puesto que la reacción debe ser suficientemente alta para lograr la separación de los carbonatos, llegando a ser necesarias temperaturas superiores a 1300°C, que además esta debe extenderse por un tiempo para que se logre asegurar la reacción”. (Bauza, 2015)

A continuación, se presentan los tipos de cal:

Cales Hidráulicas: Se obtiene a partir de calizas, con contenido de minerales arcillosos (sílice y alúmina), que provienen de procesos de la calcinación y posterior hidratación. Este tipo de cal se puede fraguar y endurecer con o sin la presencia de aire e incluso bajo el agua.

Cales Aéreas: Están conformadas principalmente por óxido o hidróxido de calcio, que se van endureciendo lentamente al aire, gracias al efecto del dióxido de carbono presente en el mismo. Este tipo de cal no presenta propiedades hidráulicas, es decir no se endurece con la presencia de agua. Su obtención proviene de rocas calizas con más del 95% de carbonatos.

Entre los tipos de cales aéreas según su contenido de cal tenemos:

- **Cales aéreas cálcicas:** Está compuesta fundamental de óxido de calcio (CaO), su componente de óxido de magnesio no supera el 5%. Este tipo de cal se divide a su vez en:
- **Cal viva:** También llamadas como cales grasas. Se consigue a partir de la incineración de la caliza, que al momento de desprender dióxido de carbono da como resultado el óxido de calcio. Esta se presenta de forma granular o de polvo molido.
- **Cal apagada:** Procedente de la cal viva que, al mezclarse con agua, se transforma de óxido a hidróxido de calcio. Este tipo se presenta en forma de pasta, lechada, suspensión de cal en agua, etc.
- **Cales aéreas dolomíticas:** Este tipo de cal se da cuando, el contenido de óxido de magnesio MgO se encuentra en rangos del 5 al 30%. Este tipo de cal no se usa en los tratamientos de suelos expansivos puesto que tiene menor reactividad que la cal cálcica.

En la Tabla 15 se expone las ventajas e inconvenientes de estos tipos de presentación de la cal.

Tabla 15

Ventajas e inconvenientes de la cal viva y apagada de acuerdo a su presentación.

Forma	Ventajas	Inconvenientes
Cal viva (polvo)	<p>La proporción de óxido de calcio es más alta para igual peso.</p> <p>Se puede usar para el secado del soporte o medio</p> <p>Permite trabajar en más épocas del año (la cal “calienta” el suelo)</p> <p>Ahorra costes de transporte.</p> <p>Al tener mayor densidad aparente su almacenamiento es más económico.</p> <p>Su aplicación es más rápida que en lechada</p>	<p>Es un material inestable para su almacenamiento.</p> <p>Su aplicación es peligrosa.</p> <p>Genera la emisión de polvo en la extensión.</p> <p>Requiere normalmente la aplicación de agua posterior para su empleo y para su apagado.</p>
Cal apagada en polvo	<p>No presenta riesgos de aplicación.</p> <p>Su aplicación es más rápida que en lechada.</p>	<p>Requiere más cantidad para proporcionar la misma actividad que la cal viva</p> <p>Genera la emisión de polvo en la extensión</p>
Cal apagada en lechada	<p>Sirve para humectar el soporte o medio que lo recibe a la vez que se aplica.</p> <p>Es más fácil asegurar una distribución homogénea.</p>	<p>Su transporte se encarece porque se mueve agua.</p> <p>Requiere incorporar medios especiales de almacenamiento y extensión.</p>

Fuente: Elaboración propia basado en (Bauza, 2015).

2.3.2.3.1.2 *Reacción Química generada por la estabilización con cal.*

Un agente químico como es la cal se usa en suelos que contengan un porcentaje de minerales arcillosos, que ocasionan cambios volumétricos, este tipo de estabilización se da para suelos de grano fino, donde se aplica “cal hidratada de alto calcio [$Ca(OH)_2$], la cal viva

calcítica (CaO), la cal dolomítica monohidratada [$Ca(OH)_2MgO$] y la cal viva dolomítica” (Braja D. , Principio de ingeniería de cimentaciones, 1999)

Cuando se agrega cal a suelos expansivos (arcillosos), genera una serie de reacciones químicas, intercambio de catiónico, la floculación y aglomeración de las partículas. “En el intercambio de cationes y las reacciones de floculación-aglomeración los cationes monovalentes generalmente asociados con las arcillas son reemplazados por los iones de calcio divalentes” (Das, 2015, pág. 267), generando una disminución en el límite líquido, incremento en el límite plástico, que por ende disminuirá el índice de plasticidad, incrementar el límite de contracción y la manejabilidad, con el objetivo de mejorar las propiedades de resistencia y deformación de un suelo.

“Las dosificaciones varían usualmente entre el 5% y el 10%” (Das, Mejoramiento de Suelo, 2015). La aplicación de la estabilización con cal es cada vez más usada en las obras de ingeniería debido a factores económicos, ya que resulta mejor que reemplazar el suelo.

2.3.2.3.1.3 *Interacción de la cal en el suelo.*

Existen dos tipos de reacción, que alteran al suelo a través del uso de la cal, de acuerdo al tiempo de manifestación que genere este en el suelo.

Modificación Inmediata: Cambia las condiciones de textura, granulometría y su compacidad que es generada por reacciones químicas ya mencionadas que se explicaron a continuación:

- a. **Intercambio Iónico:** La cal al mezclarse con la arcilla, los cationes de calcio reemplazan aquellos que están adsorbidos en la superficie de sus partículas, que se ubican en lo que se denomina capa doble, los mismos que se encuentra dispersos. “Esta sustitución es un fenómeno que está gobernado fundamentalmente por criterios de valencia de los cationes y de tamaño de los mismos. De manera genérica se puede decir que cuando ante una partícula de arcilla con un tipo de

cationes adsorbidos en su superficie se presentan otros de mayor valencia o tamaño existe una propensión a dicha sustitución. Esto se debe a que esta sustitución compensa de manera más efectiva los desequilibrios eléctricos de las partículas arcillosas y reduce la concentración diferencial de iones en la capa doble. Como consecuencia clara de ello, además, se reduce el espesor de la capa doble”.

(Bauza, 2015, pág. 55)

- b. Floculación y aglomeración de partículas: La manifestación del intercambio iónico causado por los cationes de mayor valencia disminuye el espesor de la capa doble de la arcilla. Esto produce una reducción en la zona de alta presencia de cationes que separa una partícula de otra, tanto por concentración como por repulsión eléctrica. Por tanto, se obtiene que se aproximen las partículas y esto da lugar a nuevas fuerzas de atracción entre ellas. (Bauza, 2015, pág. 56)

Modificación de mediano a largo plazo: Mejora las características resistentes del suelo en función del tiempo producidas por la reacción puzolánica de cementación y carbonatación.

- a. Reacción puzolánica: Los minerales predominantes en las arcillas son el sílice y la alúmina y otros elementos tales como el hierro, magnesio, etc. En estas condiciones, se puede decir que las arcillas tienen propiedades puzolánicas, ya que se basan en condiciones de pH altos, que provocan un efecto en la reacción de la cal con la sílice y alúmina, generando productos cementantes
- b. Carbonatación de la Cal: Este fenómeno no está asociado con la interacción del suelo con la cal, es importante mencionarlo que se presente en el final de la mezcla sino más bien al tratamiento. El proceso de carbonatación de la cal es un proceso lento e inconcluso, debido a que puede conllevar a un error si se toma como un fenómeno de mejora, puesto que reduce al proceso al eliminar parte de la cal disponible.

2.3.2.3.1.4 Propiedades mejoradas del suelo estabilizados con cal.

Una vez estabilizado el suelo, se altera las propiedades físico-mecánicas del mismo, generado por las reacciones químicas al momento de mezclarse el suelo con la cal, entre las propiedades que se modifican dependerán de la mineralogía del suelo y la porción y formación de la cal.

La humedad natural del suelo se modifica por la cal que absorbe el agua, que está presente en el suelo, generando un desprendimiento de calor, esto hace que la humedad del suelo se reduzca por hidratación y evaporación.

La reducción de la humedad en el suelo, produce que el índice de plasticidad disminuya, más concretamente el uso de la cal causa un aumento en el límite plástico, y en menor proporción al límite líquido, en algunos casos se logra eliminar totalmente la plasticidad del suelo.

La alteración granulometría es otro de los parámetros que se afectan, por los procesos ya mencionados de floculación y aglomeración de las partículas, que se origina por el intercambio iónico. Una de las consecuencias de esta alteración es la compactación que depende de la densidad y del estado de humedad del suelo, esto sucede por una redistribución de las partículas en fracciones de mayor tamaño que ante una misma energía de compactación sea posible obtener una menor densidad máxima.

Los efectos a largo o mediano plazo se generan cuando la cal toma contacto con los minerales que generan la arcilla (alúmina y sílice) conformando silicatos y aluminatos cálcicos hidratados, produciendo una reacción puzolánica que causa un incremento en la resistencia a compresión simple, incremento en el índice de CBR y una mayor estabilidad al incremento volumétrico del material.

2.3.2.3.1.5 Factores condicionantes para la estabilización con cal.

Para que la estabilización cumpla su objetivo, existen una serie de factores que se debe tener en cuenta como se expresa en la Tabla 16:

Tabla 16
Factores condicionantes para la estabilización con cal

<u>Composición del suelo:</u> Contenido de Arcilla, Características mineralógicas de la arcilla, Contenido de materia orgánica y de sulfatos solubles	Ph del medio en que se produce el tratamiento
<u>Plasticidad del Suelo</u> <u>Presencia de Agua:</u> Por su agresividad Fenómenos de Lixiviados	<u>Proceso de Ejecución de la mezcla:</u> Disgregación y homogeneidad de la mezcla, Dificultada de Compactación, Humedad de Compactación

Fuente: Elaboración propia basado en (Bauza, 2015)

2.3.2.3.1.6 Tipos de Aplicación.

Para la estabilización con este agente químico existen dos formas:

Mezcla planta móvil o central: La mezcla en planta se utiliza cuando se requiere material de préstamo, en este caso se puede mezclar el suelo con la cal y almacenarlo para luego realizar la mezcla suelo-cal y extenderla donde se lo requiera.

Mezcla in situ: Es tipo de aplicación es el más utilizado, puesto que la maquinaria existente actualmente para la estabilización de suelos es adecuada para obtener resultados apropiados. Este proceso cuenta con 4 fases según (ALBÁ, 2014) que se exponen a continuación:

- a) Preparación del suelo y almacenamiento de la cal.
- b) Extendido de la cal.
- c) Mezclado del material (suelo – cal).
- d) Compactación y terminación.

2.3.2.3.2 *Estabilización con Cenizas Volantes.*

La estabilización con ceniza volante, “es producto secundario, del proceso de combustión del carbón pulverizado por lo general asociada con las plantas de generación de energía eléctrica” (Braja, Estabilización con ceniza volante, 2015, pág. 270) Este producto es un polvo de grano fino, cuyos componentes principales son: silicio, aluminio, varios óxidos y álcalis. Esta ceniza es de naturaleza puzolánica y reacciona con cal hidratada para generar productos cementantes. “En el caso de que se quiera estabilizar bases y sub-bases este método con cenizas volantes es adecuado con mezclas de entre el 10%-35% de ceniza volante y el 2% - 10% de cal”. (Braja, Estabilización con ceniza volante, 2015, pág. 270)

2.3.2.3.2.1 *Origen de las Cenizas.*

El carbón destinado al uso en las centrales termoeléctricas es triturado, pulverizado, para posteriormente ser introducido en la cámara de combustión. Los componentes orgánicos son oxidados y volatilizados durante el proceso de combustión, mientras que una gran parte de la materia mineral se modifica en subproductos residuales sólidos como: cenizas volantes y escorias. La formación de las cenizas volantes está constituida por partículas que debido a su pequeño tamaño son arrastradas por el flujo de gases que se generan durante la combustión del carbón. En cambio las escorias constituyen la parte del subproducto residual que no puede ser arrastrado por dicho flujo gaseoso y caen depositadas en el fondo de la cámara de combustión. El porcentaje de cada uno de estos residuos dependen de la configuración de la central, especialmente del tipo de caldera empleado. (Peña, 2002, pág. 1)

La Ilustración 15 indica el ciclo del carbón en una central hidroeléctrica.

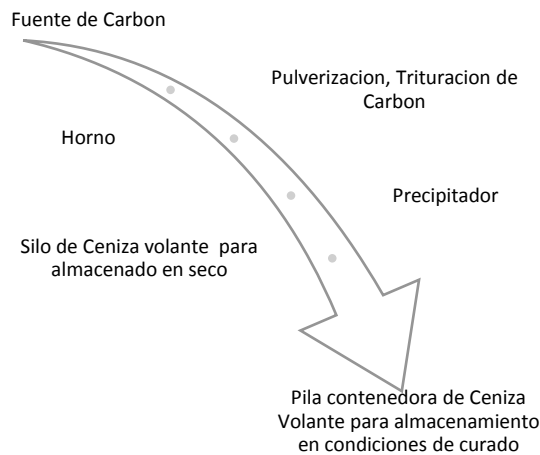


Ilustración 15: Ciclo del Carbón en una Central Termoeléctrica.

Fuente: Propia

2.3.2.3.2.2 Clasificación de las Cenizas Volantes.

La norma ASTM C-618 (American Society for Testing and Materials), indica las clases de cenizas volantes que son:

Clase N: Puzolanas naturales compuestas de diatomeas, tobas y cenizas volcánicas que necesitan calcinación para activar sus propiedades como arcillas y lutitas.

Clase F: Se obtiene en grandes cantidades ya que es el producto de la combustión de antracitas, lignito y carbón bituminoso, el cual contiene óxidos ácidos mayores al 70%.

Tienen bajo contenido de cal aproximadamente inferior al 15%

Clase C: Derivadas de la combustión de lignito y carbones sub-bituminosos con un contenido de óxidos ácidos del 50%. Su utilización depende de las circunstancias en los que se necesite altas resistencias iniciales, como en el caso del hormigón pretensado, otro uso que se le da es para la estabilización de suelos, ya que este tipo no requiere la adición de otro material como es la cal.

2.3.2.3.2.3 *Propiedades de la Ceniza Volante.*

(Alonso & Luxán, 1995), menciona las propiedades que brinda las cenizas volantes las cuales son:

- Generan un aumento en la trabajabilidad del material en estado plástico, provocado por el incremento en la dispersión de las partículas del sistema.
- En el caso de morteros causa una disminución en las expansiones, relacionadas a la reacción árido-álcalis, causando una pérdida por durabilidad.
- El contenido de agua libre (que no reacciona con el cemento) es mayor en presencia de cenizas volantes a primeras edades, originando que la porosidad del sistema sea también. Sin embargo, dado que las cenizas volantes generan un aumento en la trabajabilidad, es posible reducir la relación agua/cemento, contrarrestando la mayor porosidad.
- Las resistencias mecánicas serán inferiores en las primeras edades, en comparación con las alcanzadas en cementos Portland, puesto que actúan como un diluyente inerte, durante el tiempo de incubación de la reacción puzolánica. En cambio, a edades largas se genera un refinamiento de la estructura porosa provocadas por la evolución de la actividad puzolánica.

2.3.2.3.3 *Estabilización con Cloruro de Sodio.*

El cloruro de sodio o más conocida como sal es un método de estabilización natural, compuesto aproximadamente por 98% de NaCl y un 2% de Arcillas y limos, cuya característica fundamental al ser higroscópico, es de absorber la humedad del aire y los materiales que lo rodean, con el fin de reducir el punto de evaporación debido al incremento de la tensión superficial, para mejorar la cohesión del suelo. “La mezcla del cloruro de sodio con el suelo, produce una mezcla cementante, esto se da por el intercambio iónico entre el sodio y los minerales que conforman el suelo” (Jairon, 2010, pág. 20). Entre las principales

ventajas de la estabilización con cloruro se encuentra: La reducción del índice de plasticidad, así como también la reducción potencial de contracción y de hinchamiento; Incremento de la capacidad portante del suelo y de la resistencia a la tracción del suelo.

Para realizar una correcta dosificación se debe establecer proporciones apropiadas de los materiales con el objetivo de tener una trabajabilidad y valor de soporte esperados para una estabilización adecuada, por lo que este tipo de estabilización depende una buena dosificación.

Una estabilización correcta se dará con dosificaciones a partir de porcentajes consecutivos desde del 2%, hasta alcanzar un porcentaje optimo en la cual el cloruro de sodio no afecte las condiciones mecánicas del suelo. No obstante, varios estudios conllevan a la conclusión, que el máximo porcentaje de cloruro de sodio no debe ser muy alto y que las dosificaciones dependerán del tipo de cloruro de sodio utilizado- (Jairon, 2010, pág. 46)

2.3.2.3.3.1 *Cloruro de Sodio.*

El cloruro de sodio denominada en su forma mineral como halita, es un compuesto químico de formula $NaCl$, constituida por un catión de sodio (Na^+) y un anión cloruro (Cl^-). Estas se caracterizan por sus enlaces iónicos, por lo que da lugar a puntos de fusión relativamente altos, conductibilidad eléctrica en disolución o fundidas y con una estructura cristalina en estado sólido parecida al hielo es decir incoloro, en este estado es soluble en agua fría o caliente, ligeramente soluble en alcohol e insoluble en ácido clorhídrico concentrado.

Generalmente, contiene impurezas de sulfato de magnesio ($MgSO_4$), sulfato de calcio ($CaSO_4$), cloruro de magnesio ($MgCl_2$), cloruro de potasio (KCl) y bromuro de magnesio ($MgBr_2$).

El cloruro de sodio, se puede encontrar distribuida en la naturaleza, como en el caso del agua que forma los océanos que está presente de manera diluida, que alcanzan

concentraciones de 30 gramos por cada litro de agua de este, además constituye un 3% de la masa de agua de los océanos. También puede estar presente en lechos de ríos y lagos generados por la deshidratación de antiguas masas de agua salada.

Para obtener la sal en zonas cercanas a los mares, se realizan procesos de evaporación del agua salada, aunque este método es muy costoso, lo que conlleva a buscar otras formas de obtener este material como técnicas mineras o a través de pozos excavados en depósitos subterráneos, la Tabla 17 expone las propiedades y el riesgo del cloruro de sodio.

Tabla 17
Propiedades del Cloruro de Sodio.

Cloruro de Sodio	
Nombre Comercial	Cloruro de Sodio
Sinónimos	Sal de mesa, halita, sal de mar
Peso Molecular	58.44
Familia Química	Haluros, sal inorgánica
Formula	NaCl
Propiedades físicas	
Estado de agregación	Sólido
Apariencia	Incoloro; aunque parece blanco si son cristales finos o pulverizados
Olor	Incoloro
Densidad	2200 kg/m ³ , 2.2 gr/cm ³
Masa	58.4 uma
Punto de Fusión	1074K (801 °C)
Punto de ebullición	1738 K (1465 °C)
Punto de Descomposición	0K (-273.16°C)
Temperatura Crítica	0K (-273.16°C)
Presión de Vapor	1 atm @ 463 °C
Densidad Relativa	1.165
Solubilidad en agua	Muy Soluble
Reactividad en agua	Ninguna
Riesgo	
Salud	Ligero
Inflamabilidad	Ninguno
Reactividad	Ninguno

Fuente: (Jairon, 2010)

La Tabla 18 expone las características del cloruro de sodio.

Tabla 18
Características del cloruro de sodio (NaCl)

Características	Limites
Cloruro de Sodio %	98.00-99.70
Humedad %	2.00 – 3.60
Materia insoluble %	0.007 – 0.175
Ion Calcio %	0.035 – 0.910
Ion Magnesio %	0.002 – 0.074
Ion Sulfato %	0.125 – 0.355
Tamiz 4.75 mm (N.º 4)	20 – 55%
Tamiz 1.18 mm (N.º 16)	50 -70%
% Pasa Tamiz 1.18 mm (N.º 16)	13% máx.

Fuente: www.itson.mx/laboratorios

2.3.2.3.3.2 *Comportamiento de los suelos estabilizados con cloruro de sodio.*

(Jairon, 2010), indica que las investigaciones sobre el ámbito de la estabilización de suelos con la aplicación de cloruro de sodio que presentan un detalle del comportamiento esfuerzo deformación son insuficientes. Existen varios autores que han estudiado el efecto de este material en las propiedades de los suelos, principalmente las físicas y entre las principales observaciones, se pueden citar las siguientes:

- Un incremento en el peso volumétrico y a la resistencia a la compresión con la adición no mayor al 3% de cloruro de sodio
- Reducción en el límite líquido e índice de plasticidad
- Propiedades mecánicas como la cohesión y el ángulo de fricción interna disminuyen al agregar cloruro de sodio en especímenes en los que no se genere una pérdida de humedad. Si se permite el secado antes de ensayar en los especímenes, estos parámetros tendrán un incremento considerable.

- Partículas de roca caliza pueden mostrarse solubles ante soluciones de cloruro de sodio.
- Aumento en la capacidad de retención de humedad de suelos estabilizados con cloruro de sodio.
- Se genera un aumento representativo en la tensión superficial del agua que causa, después del endurecimiento. Además, el incremento de la densidad del suelo hasta un 15% a comparación de suelo sin tratar.
- La cristalización causa una cementación en las partículas de suelo durante el tiempo seco. La expansión de estos cristales, conllevan a llenar los espacios vacíos del suelo y reduce el secado posterior.

Varios estudios realizados, evidencian que no cualquier suelo responde de manera positiva con el uso del cloruro de sodio. pág. (26)

2.3.2.3.3.3 *Ventajas y Desventajas de la estabilización con sal.*

(TRIVIÑOS, 2005), menciona las ventajas y desventajas de la aplicación de cloruro de sodio en vías terrestres y mediante la Tabla 19:

Tabla 19
Ventajas y desventajas del uso de cloruro de sodio.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>El cloruro de sodio a comparación de otros agentes estabilizadores, este es de bajo costo, aplicación relativamente fácil y sobre todo de bajo costo.</p> <p>Aumento en la resistencia. La fricción interna y la cohesión, disminuyen al adicionar cloruro de sodio, en especímenes que no se dé una pérdida de humedad. En cambio, si se da dicha perdida estos parámetros mencionados aumentaran de manera considerable.</p> <p>Evita la generación de polvo, calamina, material suelto y ahuellamiento del camino ganando una mejora en la calidad de la vía.</p> <p>Bajo punto de congelación</p> <p>El periodo de curado requerido es de 15 días, en el caso de que este expuesta a lluvias se requerirá una capa de imprimación de 0.5g cada metro cuadrado después de cada lluvia</p>	<p>En situaciones en la cual la humedad ambiental es alta, las superficies se vuelven resbaladizas, generalmente si presentan algún grado de plasticidad, incrementando el riesgo de accidentes</p> <p>Una mala elección de materiales y de una mala homogenización de los componentes de la mezcla, puede generar a una perdida, es decir, que forma un desgaste, calamina con hoyos y dispareja</p> <p>Impactos ambientales significativos por el uso del cloruro de sodio, ya que las altas concentraciones generan un daño a la vegetación, fauna, suelo, agua superficial y agua potable.</p> <p>Causa corrosión en los vehículos.</p>

Fuente: Elaboración propia basado en (TRIVIÑOS, 2005)

2.3.2.3.3.4 *Formas de Aplicación del Cloruro de Sodio.*

Existen dos maneras de aplicación del cloruro de sodio, las cuales se aplican directamente en el suelo a tratarse y encontrar una relación en porcentaje que permita obtener una estabilización adecuada.

Las formas de aplicación del cloruro de sodio son:

- a. En grano: Se aplica un porcentaje de cloruro de sodio con el suelo como se muestra en la Ilustración 16, este método no es 100% eficaz, ya que al momento de homogenizar la mezcla suelo – cloruro de sodio quedan porciones de suelo, con un porcentaje de cloruro de sodio menor al resto de la masa de suelo. Sin la realización de ensayos de laboratorio se torna fácil la homogenización con métodos prácticos, haciendo que la mezcla sea la correcta.



Ilustración 16: Aplicación de cloruro de sodio en forma de grano al suelo.

Fuente: (Jairon, 2010)

- b. En Salmuera: Este método consiste en mezclar el agua con cloruro de sodio, lo que se denomina salmuera, ya este se disuelve fácilmente con la presencia de agua como se muestra en la Ilustración 17, esto representa una ventaja para aplicar de manera satisfactoria el porcentaje adecuado al suelo, ya que al tenerlo diluido al cloruro de sodio en agua es más fácil la aplicación al suelo y su homogenización, puesto que llena los espacios que existen entre las partículas de suelo y dispone un mecanismo eficiente donde se añade la humedad óptima para el suelo al mismo tiempo.



Ilustración 17: Salmuera.

Fuente: (Jairon, 2010)

En la cual, para la investigación, se utilizará el método de cloruro de sodio en grano, para analizar y comparar las 3 dosificaciones presentadas a fin de entender el comportamiento de cada uno de ellos en las dos zonas de estudios. Aunque este método no es 100% eficaz, es el más utilizado para generar la estabilización, por lo que el otro método depende de la cantidad de agua añadida para que exista la disolución de este agente químico y esto afectaría a la humedad del suelo y variarían los resultados.

CAPÍTULO 3.

3 ENSAYOS DE LABORATORIO.

3.1 Procesos de caracterización geotécnicas de las zonas de estudio.

Las Características Geotécnicas de un suelo determina la morfología de las zonas de estudio, detallándolos y catalogándolos a través de pruebas de laboratorio y de campo mediante pozos, calicatas, sondeos, etc.

Los estudios geotécnicos permiten caracterizar los suelos desde el ámbito físico-mecánico de los mismos, el conocer estas propiedades es de total interés en el ámbito de la construcción ya que a través de estas se puede saber si un suelo es apto o no para el emplazamiento de una obra civil por lo que es necesario tomar muestras del lugar donde se desea realizar dichas obras y proceder a realizar los diferentes ensayos en laboratorio, la extracción de las muestras puede ser de dos formas, muestras inalteradas o alteradas.

3.1.1 Muestra inalterada.

Una muestra inalterada es aquella que intenta conservar las condiciones actuales del terreno de donde es obtenida, puede obtenerse mediante el uso de una retro excavadora que debe extraer una porción entera de suelo o del lateral de una calicata tallando un cubo, esta muestra debe conservarse tal y como es extraída del lugar e inmediatamente se la envuelve en un plástico para que conserve sus propiedades físicas como el caso de la humedad, hasta que se realice las respectivas pruebas en el laboratorio; del cubo extraído se talla con total cuidado un cilindro el cual puede ser sometido a las diferentes pruebas como son: compresión simple, corte directo o el ensayo triaxial que se utiliza para obtener la capacidad portante del suelo, estas muestras también pueden ser obtenidas mediante el Ensayo de Penetración Estándar o SPT.

Ensayo de Penetración Estándar: Se realiza en el sitio y sirve para encontrar las propiedades geotécnicas de un suelo se basa en la norma ASTM D-1586. Se realiza mediante

la Penetración de un tubo por lo general a intervalos de 1.5 m, los martillos SPT más utilizados en campo son el martillo de seguridad y el martillo de anillos, estos se dejan caer por una cuerda con dos vueltas mediante una polea. El objetivo más común de este ensayo es el de tomar una muestra representativa de suelo. (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotecnica, 2013)

3.1.2 Muestras alteradas.

Son muestras donde no se mantienen las condiciones actuales del terreno, como es el caso de la humedad ya que al extraerse de la calicata a cielo abierto mediante retro excavadora o de forma manual y ser almacenada en sacos para ser transportado al laboratorio pierde humedad, el material sufre esponjamiento y ya no está sometida a la misma presión que en el sitio, de forma general se utiliza para la caracterización del suelo; se basa en la norma ASTM D-420 Caracterización: toma de muestras en pozos calicatas o trincheras, donde se indica que las calicatas permiten la inspección directa del suelo.

Las muestras fueron extraídas a dos metros de profundidad en cada zona de estudio (Nulti y Paccha), "Se debe realizar mínimo una calicata por cada tres unidades construidas o por cada 300m² de construcción, hasta una profundidad mínima de 2.0m, en la que se constate la calidad razonable del suelo de cimentación." (NEC, 2014).

Las muestras fueron extraídas con una retro excavadora en las dos zonas de estudio a 2m de profundidad como lo indica el Capítulo 5 de la NEC expuesto anteriormente, también esta profundidad se sustenta con el Capítulo 7 de la misma norma, NEC-SE-GC: Geotecnia y Cimentaciones en la Tabla 3: Profundidad mínima de los sondeos de acuerdo al tipo de cimentación, indica que en base a las zapatas la profundidad será de "2.5 veces el ancho de la zapata de mayor dimensión ", las zapatas serian cuadradas de 0.80m, lo que da una profundidad de 2m para la toma de la muestra, tomando como modelo una estructura de 2 pisos con luces de hasta 5 metros establecido en el Capítulo 12 de la NEC-SE-VIVIENDA.

el material de esta profundidad en sentido horizontal fue almacenado en saquillos para ser transportado al laboratorio. Para el cálculo de la humedad natural se almacenó muestras en fundas plásticas, para que permanezcan de igual forma como si estuviese en el sitio conservando su humedad.

Una vez que el material estuvo en el laboratorio fue tendido sobre un plástico para que se pueda secar al aire libre debido a la cantidad de humedad que presentaba para que fuera de fácil manejo, siete días después se comenzó con los ensayos, determinando su nueva humedad para luego proceder con los siguientes ensayos. El procedimiento fue el mismo para las dos zonas en estudio.

3.2 Normativa utilizada para los ensayos de laboratorio.

La Tabla 20 indica el resumen de ensayos realizados para el estudio en base a la normativa utilizada para la ejecución de los mismos.

Tabla 20
Normativa utilizada para la ejecución de los ensayos realizados en el laboratorio

ENSAYO	NORMA UTILIZADA
Contenido de humedad natural del suelo	ASTM D-2216. Métodos de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca en mas
Granulometría.	ASTM C-136-01. Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso.
Límites de Atterberg.	ASTM D4318-84. INEN 691 y 692- Método Estándar de Ensayos para: limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad de suelos
Clasificación del Suelo.	ASTM D-3282; Método AASTHO M145; ASTM D-2487; Método SUCS; NTE INEN-ISO 14688-1; NTE INEN-ISO 14688-2
Proctor Estándar.	ASTM D-698; AASTHO T-99. Métodos de prueba estándar para Laboratorio de compactación Características del Uso del Suelo Esfuerzo normal

ASTM D 3080 – 98; AASHTO T 236 – 03. Método de prueba
estándar para la prueba de corte directo de suelos en condiciones de
Corte Directo. drenaje consolidado

Fuente: Elaboración propia

3.3 Contenido de humedad natural del Suelo.

Establece la cantidad de agua presente en la muestra de suelo obtenida, está representado por una relación de porcentaje de acuerdo al peso de partículas sólidas y de agua. El encontrar este parámetro es fundamental, ya que a través de éste se puede determinar de qué manera la humedad del suelo puede causar daños en la cimentación, por lo que un suelo muy húmedo puede contener sales y sulfatos que dañen las cimentaciones, además la variación de este parámetro afecta su consistencia, ya que a partir de los límites de Atterberg que se explicara posteriormente, marcan una separación o frontera en el cual el suelo puede tener 4 estados: Solido, semisólido, plástico y viscoso, más conocidos como estados de consistencia que varían de acuerdo a la cantidad de agua que contiene el suelo. El procedimiento a seguir para este ensayo se basa en la norma ASTM D-2216.

3.3.1 Equipo a Utilizar en el ensayo de la humedad natural del suelo.

- Horno de Secado a temperatura constante 110 ± 5 °C
- Balanzas que tengan aproximaciones de 0.1 gramos.
- Recipientes fabricados con material resistente a la corrosión, cambio de peso cuando están sujetos a enfriamientos o calentamientos. De preferencia recipientes de aluminio.
- Herramientas para el manejo de recipientes como: guantes, pinzas o un sujetador apto para mover y manipular los recipientes sacados del horno que están calientes
- Otras Herramientas como: espátulas, lona para cuarteo, picos, palas, y otros que ayudan a la preparación de la muestra.

3.3.2 Preparación de la muestra.

Para establecer la cantidad de muestra para el ensayo, se necesita realizar un procedimiento previo, que ayude a determinar el tamaño máximo de las partículas que pasa el 100% por un tamiz determinado. Para las muestras de suelos ensayadas, se procedió a realizar una granulometría del material basada en la norma ASTM D-422, donde se estableció que se debía utilizar para las dos zonas de estudio el tamiz de una abertura de los agujeros de la malla de un tamaño de 38.1 mm (tamiz 1 ½ “), para el tamaño máximo de material que pasa por ese tamiz el 100% del material.

La norma ASTM D-2216 indica las masas que se deben ensayar de acuerdo al tamiz que pase el 100%. Esto se puede observar en la Tabla 21. La cantidad de material tamizada por el tamiz 1 ½” nos indica que es de 10 kg.

Tabla 21

Masa de muestra según el tamaño del material

Máximo tamaño de partículas (pasa el 100%)	Tama de malla estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo de húmedo para contenidos de humedad reportados a \pm 0.1%	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo de húmedo para contenidos de humedad reportados a \pm 1%
2 mm o menos	2.00 mm (#10)	20 g	10 g*
4.75mm	4.760 mm (#4)	100 g	20 g*
9.5 mm	9.525 mm (3/8")	500 g	50 g
19.0 mm	19.050 mm (3/4")	2.5 kg	250 g
37.5 mm	38.1 mm (1 ½ “)	10 kg	1 kg
75.0 mm	76.200 mm (3")	50 kg	5 kg

Fuente: Elaboración propia basado en (ASTM-D2216, 2019)

3.3.3 Procedimiento para el ensayo de la humedad natural.

1. Se registra el peso del recipiente observando que esté limpio y seco, ya que este alojara a la muestra del suelo. Se identificará por números o letras los recipientes a utilizar para evitar confusiones.
2. Seleccionar la cantidad correcta de material para realizar el ensayo de acuerdo a los criterios antes mencionados.
3. Colocar la muestra húmeda en el recipiente, para posteriormente ser pesado con la balanza y registrarlo.
4. Se coloca el recipiente con la muestra en el horno a una temperatura 110 ± 5 °C a un tiempo determinado. En la norma ASTM respecto al contenido de humedad en general se pretende secar la muestra hasta que su peso sea constante.
5. Extraer el recipiente del horno mediante el uso de guantes, pinzas o herramientas que permitan la sujeción y manipulación del recipiente. Se deja enfriar la muestra para luego ser pesada y realizar los cálculos.



Ilustración 18: Determinación del Peso húmedo más el tarro para la determinación del contenido de humedad natural del suelo.

Fuente: Propia.

3.3.4 Cálculos.

Para la determinación del contenido de humedad o más conocido como el contenido de agua, “se define por la razón del peso del agua al peso de los sólidos en un volumen dado de suelo” (Das, 2015), la Ecuación 5 indica la determinación del contenido de humedad.

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

Ecuación 5: Contenido de humedad.

Fuente: (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013)

Donde:

W = Contenido de Humedad

W_w = Peso del Agua

W_s = Peso de sólidos en un volumen dado de suelo

3.4 Propiedades mecánicas del suelo.

3.4.1 Análisis Granulométrico.

Determina el tamaño de las partículas que conforman el suelo. Se realiza mediante el uso de tamices de diferentes aberturas por los cuales se debe pasar la muestra.

La muestra se agita mediante un grupo de tamices que están conformados de acuerdo a su abertura, las cuales se ubican de mayor a menor, para luego determinar la cantidad de suelo que permanece en cada tamiz, para la determinación granulométrica de cada zona se utilizaron muestras de 5000 a 8000 gramos.

La norma utilizada fue la (ASTM D-422) para Análisis del tamaño de las partículas del suelo en donde el último tamiz que debe pasar es el número 200, el procedimiento que brinda la norma permite clasificar el suelo de acuerdo al tamaño de sus partículas. La Tabla 22 expone la abertura de los tamices desde el más grande al más pequeño:

Tabla 22
Abertura de tamices

Tamiz número en pulgadas	Abertura en (mm)
3	75
2	50
1½	37.5
1	25.0
¾	19.0
3/8	9.5
No. 4	4.75
No. 8	2.36
No. 10	2.00
No.16	1.18
No.20	850 um
No.30	600 um
No.40	425 um
No.50	300 um
No.60	250 um
No.100	150 um
No.140	106 um
No.200	75 um

Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que para el análisis granulométrico se hace la granulometría de gruesos y la de finos.

3.4.1.1 Granulometría de gruesos.

El material debe pasar por las siguientes mallas que se indican en la Tabla 23:

Tabla 23
Abertura de tamices granulometría de gruesos

Tamiz número en pulgadas	Mm
3	75
2	50
1½	37.5
1	25.0
¾	19.0
⅜	9.5
No. 4	4.75
Pasa No. 4	

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.1.1 Preparación de la muestra.

Se toma una porción de suelo debidamente cuarteada de la muestra total almacenada en el laboratorio que pesa de 5000 a 10000 kg y se almacena en una bandeja para luego derramar la muestra sobre la tamizadora.

3.4.1.1.2 Procedimiento.

Los tamices o mallas se colocan de menor a mayor y se vierte el material por la parte superior, a la tamizadora se deja vibrar durante cinco minutos, posteriormente se toma el peso del material que se retiene en cada malla y también el material del fondo de la tamizadora.

3.4.1.1.3 Equipo a utilizar.

- Tamices o mallas de abertura: tamiz No. 3, tamiz No. 2, tamiz No. 1½, tamiz No. 1, tamiz No. ¾, tamiz No. ⅜, tamiz No.4.
- Equipo: Tamizadora mecánica.
- Balanza con precisión de 0.1 gramos.
- Bandejas para pesaje del material retenido en los tamices, Brochas.

3.4.1.1.4 Cálculos.

Al material que se utiliza para la granulometría total se considera como el 100 %, luego se pesa el material que se retiene en cada tamiz o malla a esto se le considera como peso retenido, para el peso acumulado al primer valor del retenido se considera el mismo y para los siguientes valores del retenido acumulado se le va sumando el valor anterior del peso retenido, luego se calcula el porcentaje retenido que se obtiene a través de una regla de tres obteniendo como nuevo valor del cien por ciento el peso retenido en la malla No. 4 y el material pasante por el No. 4 menos 500, porcentaje del peso retenido se calcula con los pesos retenidos acumulados y el porcentaje que pasa es el porcentaje retenido menos 100.



Ilustración 19: Tamizadora granulometría gruesos.

Fuente: Propia.



Ilustración 20: Abertura de tamiz.

Fuente: Propia.

3.4.1.2 Granulometría de finos.

Al material que se almacena al fondo de las mallas de la granulometría de gruesos (pasante el tamiz número 4) se extrae 500 gramos que tiene que lavarse y ponerse a secar al horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, al siguiente día se vuelve a pesar dicho material.

3.4.1.2.1 Preparación de la muestra.

Se saca del horno los 500 gramos de la muestra pasante el tamiz No.4. Que fue previamente lavada y se vuelve a pesar en una bandeja con la balanza enserada y con esta nueva cantidad de suelo se procederá hacer la granulometría de finos.

3.4.1.2.2 Procedimiento

Se coloca el material por la parte superior de los tamices luego de que estén ordenados de menor a mayor como se indica en la Tabla 24, se cubre con una tapa y se deja vibrar durante 3 minutos, transcurrido este tiempo se pesa los materiales retenidos en cada tamiz.

Tabla 24
Abertura de tamices granulometría de finos

Tamiz	mm
No. 4	4.75
No. 10	2.00
No.40	425 um
No.200	75 um
Fondo	

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.2.3 Equipo a utilizar.

- Tamices: Tamiz No. 4, Tamiz No.10, Tamiz No. 40, Tamiz No.200, tapa y fondo.
- Equipo: Tamizador.
- Balanza con precisión de 0.01 gramos.
- Horno de Secado a temperatura constante $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ Bandeja: lavado de material

- Otras Herramientas: Bandejas para pesaje del material retenido en los tamices, Brochas.

3.4.1.2.4 Cálculos.

A los 500 gramos del material extraído del pasante por la malla número 4 se lava y se deja al horno al día siguiente se vuelve a pesar y este valor será el nuevo 100 %, se pesa la cantidad de suelo retenido en cada tamiz y para el peso acumulado es el primer valor del retenido y la suma de los siguientes retenidos, se calcula el porcentaje del peso retenido con los valores retenidos acumulados y el porcentaje que pasa que es la resta de 100 menos el porcentaje retenido.

De esta forma tenemos la composición de partículas que conforman los suelos de estudio.



Ilustración 21. Material pasante tamiz No. 4.

Fuente: Propia.



Ilustración 22. Lavado de material pasante tamiz No.4.

Fuente: Propia.



Ilustración 23: Tamizadora de finos.

Fuente: Propia



Ilustración 24: Retención del suelo por tamaños de partículas en los diferentes tamices.

Fuente: Propia

3.5 Clasificación del Suelo.

Para la clasificación del suelo en cada zona se utilizó los siguientes métodos:

-Sistema de Clasificación AASHTO, Norma ASTM D-3282.

-Sistema Unificado de Clasificación de un Suelo (SUCS), Norma ASTM D-2487.

3.5.1 Sistema de Clasificación AASHTO.

El sistema de clasificación AASHTO utilizado actualmente clasifica en siete grupos principales, A-1, A- 2, A-3, para materiales granulares donde el 35 % o menos pasa por el tamiz número 200, a los suelos que pasan más del 35 % en este tamiz, se clasifican como limo o arcilla y se designan los siguientes grupos A- 4, A- 5, A- 6, A- 7.

(Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013). Indica que el suelo se puede clasificar en base al: tamaño del grano, la plasticidad, cantos y guijarros.

3.5.1.1 *Tamaño del grano.*

Grava: Cantidad del suelo que pasa el tamiz de 3 pulgadas y es detenida en el tamiz #4.

Arena: Cantidad que atraviesa el tamiz #4 y es detenido por el tamiz número 200.

Limo y Arcilla: Todo lo que atraviesa el tamiz número 200.

3.5.1.2 *Plasticidad.*

Termino limoso: Se utiliza para las porciones finas del suelo que presentan un índice de plasticidad de 10 o menor.

Termino Arcilloso: Para porciones finas con un índice de plasticidad de 11 o mayor.

3.5.1.3 *Cantos y guijarros.*

Para cantos y guijarros mayores a 75mm se descarta de la fracción de la muestra de suelo en el que se realizó la clasificación, pero también se toma el porcentaje de esta clase de material.

Para catalogar los suelos mediante la Tabla 25, los datos se deben aplicar de izquierda a derecha, por proceso de exclusión, el primer conjunto de la izquierda en la que abarquen los

datos de prueba es la categorización adecuada. (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013)

Tabla 25

Clasificación de materiales de carreteras subrasante.

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO

Clasificación	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N.º 200)							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N.º 200)			
Grupo:	A-1		A-3	A-2-4			A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Porcentaje que pasa:											
Nº 10 (2mm)	50 máx	-	-					-			
Nº 40 (0,425mm)	30 máx	50 máx	51 mín					-			
Nº 200 (0,075mm)	15 máx	25 máx	10 máx			35 máx		36 mín			
Características de la fracción que pasa por el tamiz Nº 40											
Límite líquido	-	-	-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín (2)
Índice de plasticidad	6 máx		NP (1)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado.	Excelente a bueno							Pobre a malo			

Fuente: (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013)

La Ilustración 25 indica un gráfico del rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos que se fragmentan en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 Y A-7. (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotecnica, 2013).

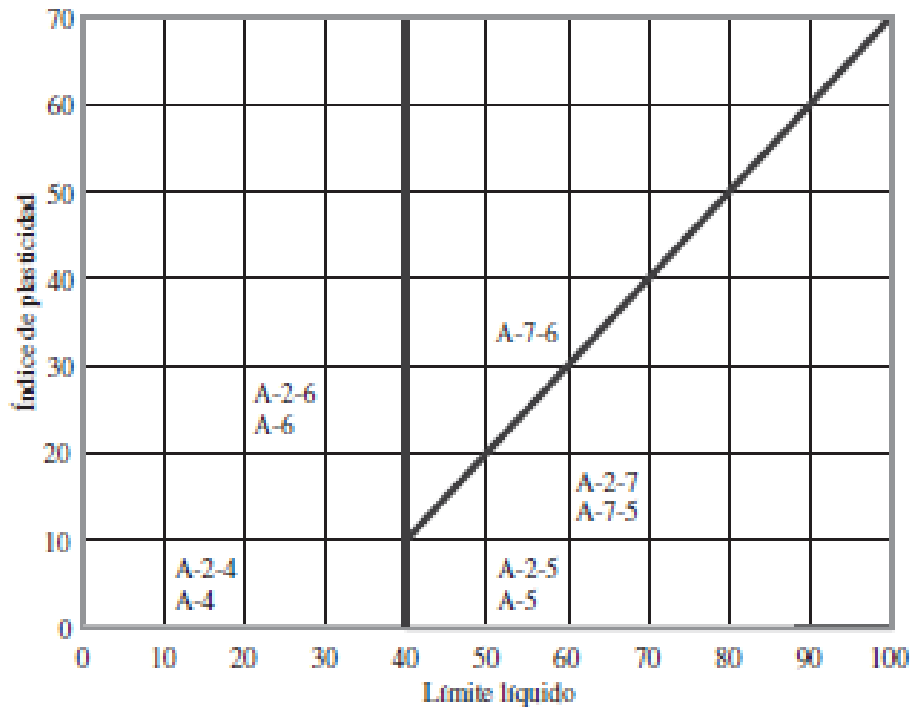


Ilustración 25 Rango del límite Líquido y del Índice de Plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 Y A-7.

Fuente: (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotecnica, 2013).

Para determinar la calidad de un suelo de subrasante se agrega un número llamado Índice de Grupo o conocido como (IG) que se escribe seguido de los grupos y subgrupos del suelo entre paréntesis.

(Das, Fundamentos de Ingeniería Geotecnica, 2013) , determino que se puede calcular mediante la Ecuación 6:

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

Ecuación 6: Índice de grupo.

Fuente: (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotecnica, 2013)

Dónde:

IG: Índice de grupo.

F: Porcentaje pasado por el tamiz número 200.

LL: Limite Liquido.

PI: Índice de plasticidad.

El término de la Ecuación $(F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)]$, es el índice de grupo parcial definido por el límite líquido, el siguiente término $0.01(F - 15)(PI - 10)$ es el índice de grupo parcial dado a partir del índice de plasticidad.

(Das, 2015), Indica que existen reglas que se deben seguir para el cálculo del índice de grupo:

- 1.- Si la primera Ecuación $(F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)]$ muestra un valor negativo se debe tomar como 0.
- 2.- Si IG nos muestra un valor con decimal se redondea.
- 3.- No existe límite superior para el índice de grupo
- 4.- El índice que corresponde a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5, y A-3 siempre es 0.
- 5.- Para encontrar el índice de grupo de los suelos que están en las categorías A-2-6 y A-2-7 se utiliza solo la Ecuación 7:

$$IG = 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

Ecuación 7: Índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7.

Fuente: (Das, Fundamentos de Ingenieria Geotecnica, 2013)

Dónde:

IG: Índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7

F: Porcentaje pasado por el tamiz número 200.

PI: Índice de plasticidad.

La calidad de rendimiento de un suelo como material de subrasante es inversamente proporcional al índice de grupo. (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013)

3.5.2 Sistema Unificado de Clasificación de un Suelo (SUCS).

(Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013) indica que clasifica mediante este método al suelo en 2 categorías.

Suelos de grano grueso que son de grava y arena en estado natural con menos de 50% que pasa a través del tamiz número 200. Los símbolos de grupo inician con un prefijo de G o S, G es para el suelo de grava, y S para la arena o suelo arenoso. (Das, 2015)

Suelos de grano fino con 50% o más que atraviesan el tamiz núm. 200. Los símbolos de grupo empiezan con un prefijo de M, que es sinónimo de limo inorgánico, C para la arcilla inorgánica y O para limos orgánicos y arcillas. El símbolo Pt se utiliza para la turba, lodo y otros suelos altamente orgánicos. (Das, 2015)

Del mismo modo se puede utilizar para la clasificación otros símbolos como:

W: Bien clasificado.

P: Mal clasificado.

L: Baja plasticidad (límite líquido < de 50)

H: Alta plasticidad (límite líquido > de 50)

(Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013), mediante la Tabla 26 indica la Clasificación por el Sistema Unificado.

Para una clasificación adecuada mediante este sistema (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013) también recomienda conocer la siguiente información.

Cantidad de grava es la porción que atraviesa el tamiz de 76.2 mm y es detenida en el tamiz número cuatro.

La cantidad de arena es la porción que atraviesa el tamiz número 4 y es detenida en el tamiz número 200.

La cantidad de limo y arcilla es la cantidad más fina que el tamiz número 200.

El coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de gradación (Cc).

El límite líquido y el índice de plasticidad de la cantidad de suelo que pasa el tamiz número 40.

Los símbolos de los grupos de los suelos de grava de grano grueso son GW, GP, GM, GC, GC-GM, GW-GM, GW-GC, GP-GM y GP-GC. Del mismo modo, los símbolos de los grupos

de suelos de grano fino son CL, ML, OL, CH, MH, OH, CL-ML y Pt.

- Porción fina = % que atraviesa el tamiz número 200.
- Porción gruesa = % detenido en el tamiz número 200.
- Porción grava = % detenido en el tamiz número 4.
- Porción arena = (% detenido en el tamiz número 200) – (% detenido en el tamiz #4).

Mediante la ilustración 26 a través del límite líquido y del índice de plasticidad se puede encontrar la clasificación del suelo, para el caso de materiales finos.

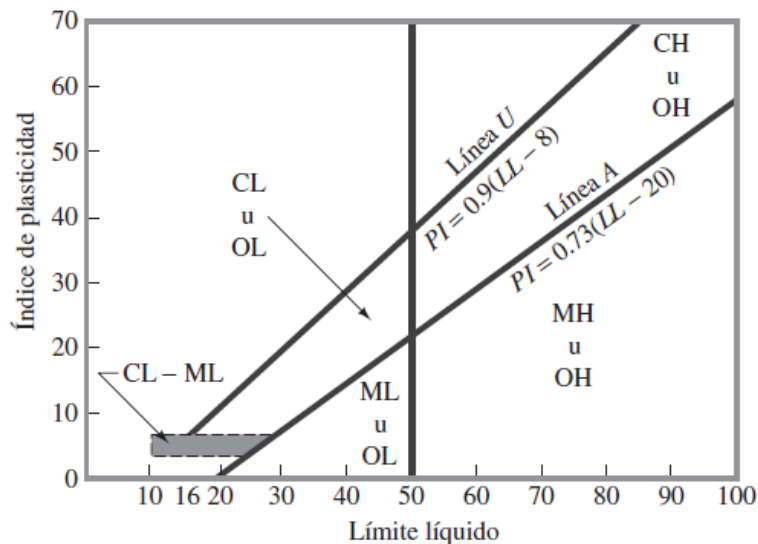


Ilustración 26: grafica de plasticidad.

Fuente: (Das, Fundamentos de Ingenieria Geotecnica, 2013)

Tabla 26
Clasificación por el Sistema Unificado

DIVISIONES PRINCIPALES		SIMBOLOS DE GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO		
SUELOS DE GRANO GRUESO Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% ->GW,GP,SW,SP. >12% ->GM,GC,SM,SC. 5 al 12% ->casos límite que requieren usar doble símbolo.	Cu= $D_{60}/D_{10}>4$ Cc= $(D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3
		Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	GP	No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.		
		Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.	GM	Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.		Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.
		Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.	GC	Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.		
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	Cu= $D_{60}/D_{10}>6$ Cc= $(D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3	
			SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.	
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.	Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble.
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.	Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.	

Fuente: (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013).

3.6 Límites de Atterberg.

Se utiliza para representar la consistencia de los suelos de grano fino con distintos tipos de humedad, formando cuatro estados diferentes que puede ser un sólido, un semisólido, un plástico y un líquido, esto puede hacer que cambie la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. El cambio de un estado al siguiente es paulatino, pero es conveniente mencionar los límites de acuerdo con la cantidad de agua que contenga el suelo pudiendo ser: el límite líquido, límite plástico y el límite de contracción descritos a continuación.

La norma que rige estos ensayos es la ASTM D-4318 y la INEN 691 y 692- Método Estándar de Ensayos para: límite líquido, límite plástico, límite de contracción e índice de plasticidad de suelos. La ilustración 27 indica el orden de los límites según la cantidad de humedad del suelo y sus estados de consistencia.

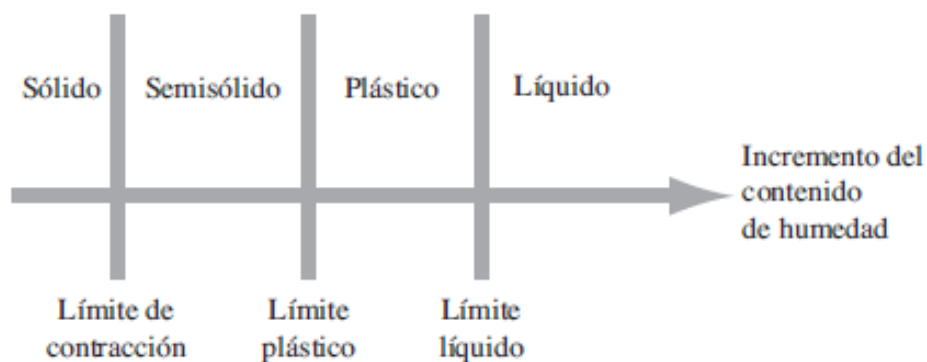


Ilustración 27: Límites de Atterberg.

Fuente: (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013)

3.6.1 Estados de consistencia.

- Estado líquido: Presenta el aspecto de un fluido.
- Estado plástico: El suelo actúa plásticamente, este asume esfuerzos causando deformaciones sin dañar su composición inicial.

- Estado semisólido: El suelo presenta el aspecto de un sólido, pero si se seca aún más su volumen decrece, por lo que al soportar cargas este tiende a deformarse sin regresar a su estado original, presentando grietas.
- Estado sólido: El volumen del suelo ya no cambia, aunque se vuelva a exponer al secado. En este estado el suelo al ser sometido a cargas se deforma y puede fallar.

3.6.2 Limite Liquido.

El límite líquido permite encontrar la frontera mediante el contenido de humedad, en el cual por encima de este se comportaría como un fluido viscoso, ya que entra en el rango líquido, mientras si se encuentra por debajo, el suelo actuaría como un material plástico.

3.6.2.1 Preparación de las muestras sin estabilizar de las zonas de estudio de Nulti y Paccha.

Para este ensayo se toma una porción de suelo que se hace pasar por el tamiz No.4 ya que este ensayo solo se realiza a materiales finos, luego a esta muestra se pasa por el tamiz No. 40 y al material pasante se lo almacena en un pozuelo mezclador, es el mismo procedimiento para las dos zonas de estudio.

3.6.2.2 Preparación de las muestras estabilizadas con cal.

Tomamos tres porciones de suelo en estado natural que pase el tamiz No. 4, a estas muestras se le resta en porcentaje el 3 % el 7 % y 12 % respectivamente del peso para agregar estas cantidades del agente estabilizador como la cal, almacenamos la mezcla en tres bandejas diferentes para luego pasar por el tamiz número 40, este ensayo se realiza solo a materiales finos, una vez almacenadas las muestras en los pozuelos mezcladores se procede con el ensayo de la misma manera que la muestra sin estabilizar.



Ilustración 28: Mescal del Suelo pasante el tamiz No. 4 con cal.

Fuente: Propia.



Ilustración 29: Muestra de suelo mezclada con cal y pasada a través del tamiz No. 40.

Fuente: Propia.

3.6.2.3 Preparación de las muestras estabilizadas con cloruro de sodio.

Se tomó tres porciones de suelo en estado natural que pase el tamiz No. 4, a estas muestras se resta en porcentaje el 1% el 3% y 5% respectivamente para agregar estas cantidades del agente estabilizador en este caso el cloruro de sodio, se almaceno la mezcla en tres bandejas diferentes para luego pasarlas por el tamiz número 40 y colocarlas en los pozuelos mezcladores se procede con el ensayo de la misma forma indicada anteriormente.



Ilustración 30: Ensayo del límite líquido con estabilización de Cloruro de Sodio.

Fuente: Propia.

3.6.2.4 *Preparación de las muestras estabilizadas con cenizas volantes con la adición de cal.*

Se tomó tres porciones de suelo en estado natural que pase el tamiz No. 4, a estas muestras se las peso y se restó en porcentaje de peso el 6%, el 26% y el 52% para agregar el agente estabilizador de la siguiente manera a la primera muestra 1% de ceniza volante y el 5% de cal, a la segunda muestra le agregamos el 6% de ceniza volante y el 20% de cal y a la tercera el 12% de ceniza volante y el 40% de cal respectivamente, se almacenó las mezclas en tres bandejas diferentes para luego pasarlas por el tamiz número 40, este ensayo se realiza solo a materiales finos, una vez almacenadas las muestras en los pozuelos mezcladores se procede con el ensayo.



Ilustración 31: Tamizado de la muestra por el tamiz No.40.

Fuente: Propia.

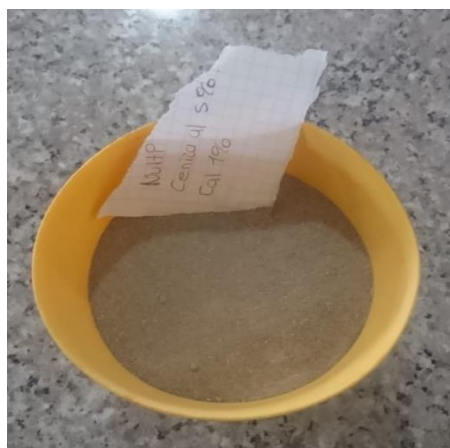


Ilustración 32: Muestra estabilizada con Cenizas Volantes y cal.

Fuente: Propia.

3.6.2.5 Procedimiento para el límite líquido.

Se realiza en una copa de bronce y una base, donde se deja caer la copa de bronce sobre la base por medio de una manivela, en esta copa se coloca una pasta de suelo a la que se hace una ranura en el centro con una herramienta de corte estándar, la copa se eleva y se suelta desde una altura de 10mm, 25 veces hasta observar que el suelo se vaya cerrando, este número de golpes representa el contenido de agua del límite líquido.

Al material almacenado en el pozuelo mezclador se lo mezcla con agua almacenada en la pipeta y se unta con una espátula, esta masa se pone en la copa de bronce formando un ángulo de 90 grados entre la pared de la cuchara y el suelo, se hace una abertura en el centro con la herramienta de ranurado estándar y se procede a realizar los golpes, esperando que se cierre en los 40 golpes como máximo, este procedimiento se realiza 5 veces disminuyendo el número de golpes de entre 5 a 7 y aumentando cada vez más la cantidad de agua, a cada cierre de la abertura sobre la cuchara se toma una muestra y se pesa, al material pesado se lo lleva al horno hasta el día siguiente que se vuelve a tomar los pesos del material ya seco.

Para localizar el límite líquido se debe graficar el número de golpes y el contenido de humedad como se indica en la Ilustración 33.

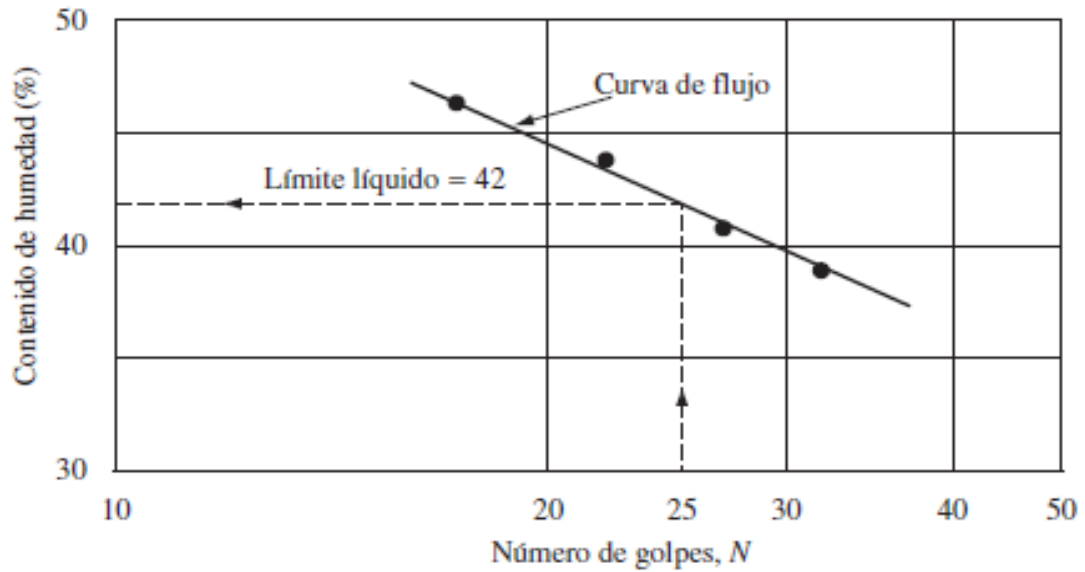


Ilustración 33: Curva de flujo para la determinación del límite líquido.

Fuente: (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013)

El contenido de humedad se encuentra a través de la Ecuación 5 que está en función del peso de la muestra seca y del peso del agua que se obtienen mediante la Ecuación 8:

$$W_w = \frac{M_H - M_S}{M_S} \times 100$$

Ecuación 8: Contenido de humedad.

Fuente: (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013)

Donde:

W_w : Contenido de humedad.

M_H : Muestra húmeda.

M_S : Muestra seca.

3.6.2.6 Equipo a utilizar.

- Equipo límite líquido: Cuchara de casa grande, ranurador estándar
- Balanza con precisión de 0.01g
- Tamices: Tamiz 40#

- Recipientes fabricados con material resistente a la corrosión, cambio de peso cuando están sujetos a enfriamientos o calentamientos. De preferencia recipientes de aluminio.
- Herramientas para el manejo de recipientes como: guantes, pinzas o un sujetador apto para mover y manipular los recipientes sacados del horno que están calientes
- Herramientas de Mezcla tales como: espátulas, pipeta, pozuelo mezclador, papel periódico. Aquí se incluye las herramientas como franelas, guaipe, cepillo de cerdas, que ayuda a la limpieza de las herramientas.



Ilustración 34: Tamiz No.4 para pasar la muestra de suelo para el ensayo de límites.

Fuente: Propia.



Ilustración 35. Cuchara de Casa Grande y envases para mezclado.

Fuente: Propia.

3.6.3 Límite Plástico.

Es la frontera entre el estado plástico y semisólido, mediante el cual, a través del contenido de humedad, se establecerá en qué estado de consistencia se encuentra actuando, puede encontrarse en un rango semisólido, en el caso de que el contenido de humedad sea menor al límite y comportándose en un rango plástico cuando el contenido de humedad sea mayor al del límite.

3.6.3.1 *Preparación de las muestras sin estabilizar de las zonas de Nulti y Paccha para el ensayo del límite plástico.*

Se realiza con una porción de material extraída del ensayo del límite líquido del suelo que se cerró a los 40 golpes, esta se almacena en otro recipiente.

3.6.3.2 *Preparación de las muestras estabilizadas con Cal.*

Se realiza con la muestra del suelo del límite líquido que se cerró a los 40 golpes de las muestras ya estabilizadas con los diferentes porcentajes de cal al 3% al 7% y al 12%, esta porción de suelo se separa en otro recipiente hasta culminar con el ensayo del límite líquido.



Ilustración 36: Muestra tomada del Límite Líquido cerrado a los 40 golpes.

Fuente: Propia.



Ilustración 37: Formación de bolitas para realizar el ensayo de límite plástico.

Fuente: Propia.

3.6.3.3 Preparación de las muestras estabilizadas con cloruro de sodio.

Se realiza con la muestra del suelo del límite líquido que se cerró a los 40 golpes de la muestra ya estabilizada en los diferentes porcentajes de cloruro de sodio al 1%, al 3% al 5%, esta porción de suelo se separa en otro recipiente hasta culminar con el ensayo del límite líquido y luego se procede a ejecutar el ensayo del límite plástico.



Ilustración 38: Muestras salidas del horno estabilizadas con cloruro de sodio, Limite líquido y limite plástico.

Fuente: Propia.

3.6.3.4 Preparación de las muestras estabilizadas con cenizas volantes con la adición de cal.

Se realiza con la muestra del suelo del límite líquido que se cerró a los 40 golpes de la muestra ya estabilizada en los diferentes porcentajes de cenizas volantes con la adición de cal que fue almacenado en diferentes recipientes.



Ilustración 39: procedimiento del límite plástico estabilizado con cenizas volantes y cal.

Fuente: Propia.

3.6.3.5 Procedimiento para el ensayo del límite plástico.

Se realiza cinco bolitas similares pequeñas de la porción extraída del límite líquido y se enrollan cada una de estas hasta que presenten fracturas, estas se colocan en envases que se pesan y se llevan al horno, luego de secarse se vuelve a pesar para encontrar valores como son el peso de la muestra seca, el peso del agua, para encontrar el contenido de humedad de cada punto. Luego se hace un promedio de cuatro de los cinco valores más similares del contenido de humedad (W%) y este será el valor del límite plástico.

3.6.3.6 Equipo a utilizar.

- Balanza con precisión de 0.01g.
- Horno de Secado a temperatura constante 110 ± 5 °C
- Recipientes que sean fabricados de material resistente a la corrosión, de preferencia recipientes de aluminio.
- Herramientas de Mezcla tales como: espátulas, pipeta, pozuelo mezclador, papel periódico. Aquí se incluye las herramientas como franelas, guaipe, cepillo de cerdas, que ayuda a la limpieza de las herramientas.



Ilustración 40: Muestras de Limite Liquido y del Limite plástico.

Fuente: Propia.



Ilustración 41 : Procedimiento de límite plástico.

Fuente: Propia

3.7 Índice de plasticidad.

(Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013) identifica que es la resta del límite líquido y el límite plástico de un suelo. se expresa en la Ecuación 9:

$$IP = LL - PL \quad \text{Ecuación 9}$$

Ecuación 9: Índice de plasticidad.

Fuente: (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013)

Donde:

PI: Índice de plasticidad.

LL: Límite líquido.

PL: Límite plástico.

3.8 Límite de contracción.

La masa del suelo se contrae mientras pierde humedad alcanzando un estado de equilibrio, llegando a la mayor pérdida de humedad que ya no dará lugar a ningún cambio de volumen extra. (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013)

3.9 Compactación.

En la construcción de cualquier obra civil, se requiere que los suelos sueltos sean compactados con el objetivo de generar un aumento en sus pesos unitarios, resistencia al corte, disminuir los asentamientos, obteniendo con esto el incremento de la capacidad de carga de las cimentaciones construidas sobre ellos. Los factores que afectan el grado de compactación de un suelo son: contenido de agua, tipo de suelo por ende su granulometría y la energía de compactación. (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013), menciona que: La compactación es la consolidación del suelo con la finalidad de eliminar el aire que existe en la masa de suelo, con lo que requiere la aplicación de energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se determina en términos de su peso unitario seco. Cuando se agrega agua a la tierra durante el proceso de compactación este ejerce como un agente suavizante sobre las partículas de la masa de suelo. Estas se deslizan una sobre la otra y se mueven en unas posiciones densamente empaquetadas. El peso unitario seco después de la compactación aumenta de acuerdo al contenido de humedad que contenga el suelo.

Existen dos tipos de ensayos compactación las cuales son: Estándar y Modificada. La diferencia entre las dos es la energía de compactación y la cantidad del material utilizado. En la investigación se realiza los ensayos de compactación del Proctor estándar, debido a que los puntos de estudio, están situadas en formaciones geológicas, que han presentado deslizamientos e inestabilidad. En el caso del punto estudio ubicado en Paccha, se localiza en un depósito Coluvial reciente, el cual se caracteriza generalmente, composición suelta debido a que son producto de “materiales sueltos y heterogéneos, de suelo o fragmentos de roca depositados por lavado de la lluvia, reptación o deslizamiento, los cuales comúnmente se depositan en la base de las laderas” (Suarez, 2009, pág. 178). Debido a su composición, utilizar una alta energía de compactación arrojaría resultados erróneos, ya que estos suelos no han sufrido un proceso de consolidación y no han estado expuestos a esfuerzos más que

los de su peso propio, es por eso que para simular las condiciones del suelo en esta zona, se utilizara el método Proctor estándar, puesto que este método tiene una baja energía de compactación y por lo tanto la reducción de vacíos simulara las condiciones en las que está el suelo, dando como resultados densidades menores pero con mayor cantidad de humedad a comparación de realizar el Proctor modificado en el cual la reducción de vacíos es mayor, por este motivo la densidad aumenta y reduce la humedad óptima. Como se puede observar en la Ilustración 42, en la cual la densidad aumenta o disminuye de acuerdo a la energía de compactación.

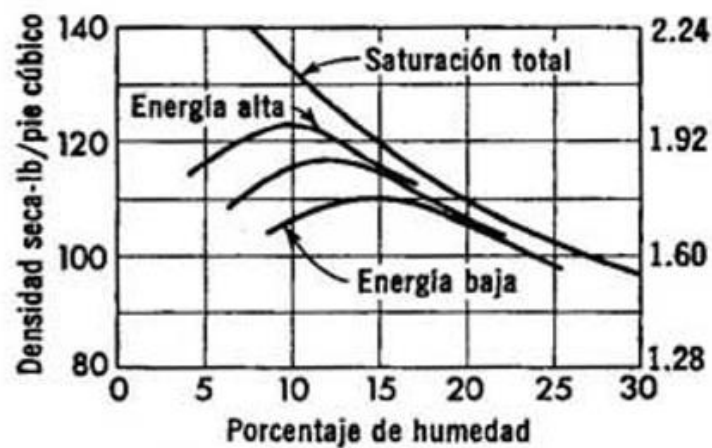


Ilustración 42: Curvas de humedad - Densidad seca para diferentes energías de compactación.

Fuente: (SOWERS, 1972)

En cambio, para la zona de estudio de Nulti, se encuentra localizada en la formación Azogues, además está influenciada de la formación Loyola, en la cual de igual manera que la zona de estudio anterior mencionada presenta deslizamientos e inestabilidad “debido a la fracturación del macizo en general y a la rotura de niveles de lutitas saturados de la misma formación o de la Formación Loyola” (P.R.E.C.U.P.A, 1998).

Al estar la zona de estudio influenciada por la formación Loyola, tiene características de suelos residuales, que propician reptaciones en secuencias temporales: desecación-infiltración-deformación-desecación como indica el documento (P.R.E.C.U.P.A, 1998).

(Suarez, 2009), indica que los suelos residuales son los que se forman en el sitio por procesos de meteorización física y química y se desarrollan principalmente, en condiciones tropicales húmedas, de meteorización química intensa, sin embargo, debe tenerse en cuenta que los suelos residuales también se encuentran en zonas no tropicales, aunque en menor proporción. Además, señala que la mayoría de estos suelos son susceptibles a la descomposición física por la manipulación de los “terrones o racimos” que se forman. El rompimiento de estos racimos dificulta la determinación exacta de sus propiedades físicas y complica el proceso de compactación en el campo. Es por esto, que por seguridad al observar las complicaciones que presentan estos tipos de suelos se opta por trabajar con condiciones desfavorables y se decide la ejecución del ensayo Proctor estándar, ya que dará resultados de densidades y humedades menores que utilizar el Proctor modificado. (pag.390)

3.9.1 Compactación Proctor Estándar.

Este ensayo permite determinar la relación entre el peso seco máximo de los suelos (γ_{DMAX}) y el contenido de humedad óptimo ($W_{opt}\%$), obteniendo con estos parámetros la curva de compactación $W_{opt} vs \gamma_{DMAX}$.

3.9.1.1 Equipo a Utilizar.

- Molde: Con diámetro de 101.6 mm y volumen de 943.3 cm³
- Tamices: Tamiz 1 ½” (38.1 mm) Tamiz ¾ “(19.1 mm); Tamiz #4 (4.76mm);
Fondo
- Martillo de Compactación: La masa del martillo será $5,5 \pm 0,02$ lb-m ($2,5 \pm 0,01$ kg); Caída libre de $12 \pm 0,05$ pulg ($304.8 \pm 1,3$ mm)
- Extractor de Muestras: Puede ser una gata, o algún mecanismo que cumpla el propósito de extraer los especímenes compactados del molde.
- Balanzas que tengan aproximaciones de 0.1 gramos.

- Recipientes fabricados con material resistente a la corrosión, cambio de peso cuando están sujetos a enfriamientos o calentamientos. De preferencia recipientes de aluminio. Determinación de humedades.
- Herramientas para el manejo de recipientes como: guantes, pinzas o un sujetador apto para mover y manipular los recipientes sacados del horno que están calientes.
- Herramientas de Mezcla tales como: probetas, espátula, machetes, bandejas, fundas. Aquí se incluye las herramientas como franelas, guaipe, cepillo de cerdas, que ayuda a la limpieza del molde.
- Horno de Secado a temperatura constante $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$
- Herramientas de medición: Calibrador.

3.9.1.2 Preparación de la muestra.

3.9.1.2.1 Métodos de Compactación.

Las especificaciones de la prueba de Proctor estándar según la ASTM 698 son:

Método A: Cuando el 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz #4 (4.75mm)

- Diámetro del Molde; 101.6mm.
- Volumen del Molde: 943.3 cm³.
- Peso del Martillo: 24.4N.
- Altura: 304.8 mm.
- Capas: Tres Capas.
- Golpes: 25.
- Material: Pasante por el tamiz #4 (4.75mm).
- Cantidad de Material: 2500 gramos.

Método B: Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz # 4 (4.75mm) y 20% o menos de peso del material es retenido en el tamiz 3/8 plg (9.5mm).

- Diámetro del Molde; 101.6mm.
- Volumen del Molde: 943.3 cm³.
- Altura de la caída del martillo: 304.8 mm.
- Peso del Martillo: 24.4N.
- Capas: Tres Capas.
- Golpes: 25.
- Material: El pasante por el tamiz de 3/8 plg (9.5mm)
- Cantidad de Material: 2500 gramos.

Método C: Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 3/8 plg (9.53mm) y menos del 30% en peso retenido del tamiz 3/4 plg (19.00mm)

- Diámetro del Molde; 152.4 mm.
- Volumen del Molde: 2124 cm³.
- Altura de la caída del martillo: 304.8 mm.
- Peso del Martillo: 24.4N.
- Capas: Tres Capas.
- Golpes: 56.
- Material: Pasante por el tamiz 3/4 plg (19.00mm).
- Cantidad: 2500 gramos.

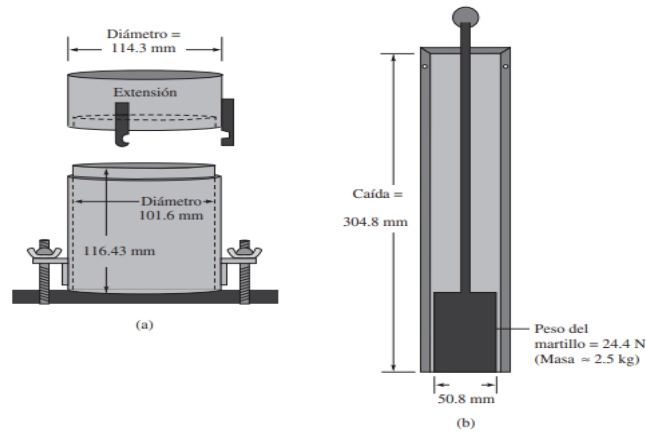


Ilustración 43: Equipo para la prueba de Proctor estándar.

Fuente: (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013)

3.9.1.3 Procedimiento.

1. Se forman 5 fundas con el material a compactar, escogiendo el método que se vaya utilizar para ejecutar la misma. Cada una de estas debe tener una masa de 2500 gramos. Para las dos zonas de estudio se utilizó la porción gruesa compuesta por el material pasante $\frac{3}{4}$ " y que retiene el tamiz # 4, mientras que la porción fina, está conformada por el material pasante el tamiz # 4. Para las muestras estabilizadas, se retira el material fino y se agrega el agente estabilizador de acuerdo a los porcentajes correspondientes del mismo. Mientras que el material grueso este compuesto por el material pasante $\frac{3}{4}$ " y que retiene el tamiz # 4.



Ilustración 44 Conformación de la funda con el material a compactar.

Fuente: Propia.



Ilustración 45 Fundas para la compactación

Fuente: Propia

2. Se determina la humedad que contienen las muestras, con el fin de ir aumentando este parámetro para encontrar la óptima con la agregación de agua. Para esto se pesa el tarro vacío, luego se coloca la porción de suelo en el tarro y se pesa. Por último, se coloca al horno por 24 horas o se coloca en la hornilla para calentar la muestra y vaya perdiendo la humedad, se deja enfriar una vez que se observe que no se empañe el vidrio y con mucho cuidado se pesa. Y se aplica la fórmula para obtener la humedad.



Ilustración 46 Secado de la muestra

Fuente: Propia.

3. Se procede a obtener datos del molde como: Peso y Volumen. Esto se hace solo del molde sin el collarín.



Ilustración 47 Determinación del peso del molde sin el collarín.

Fuente: Propia.

4. Posteriormente, se pasa el material de funda de 2500 gramos a una bandeja y se coloca la cantidad de agua que se haya calculado a partir de la humedad del material que haya presentado para luego mezclarlo y homogenizarlo.



Ilustración 48 Mezclado de la muestra agua-suelo

Fuente: Propia.

5. Se procede a tomar dos muestras del suelo mezclado con el porcentaje de agua que se ha agregado con el objetivo de obtener la humedad de ese suelo. Las muestras se deben pasar por el tamiz #4. Estas muestras se colocan en tarros que deben estar pesados vacíos y con la muestra.



Ilustración 49 Obtención de las muestras para el cálculo de sus humedades respectivas.

Fuente: Propia.

6. Se arma el molde con su respectivo collarín. El material que está en la bandeja se coloca en el molde en 3 capas y se va compactando cada capa con 25 golpes.



Ilustración 50 Armado completo del molde para Proctor estándar.

Fuente: Propia



Ilustración 51 Ejecución del ensayo Proctor estándar

Fuente: Propia.

7. Una vez compactada las 3 capas, se procede a remover el material que está en el collarín, con el fin se sacar el mismo y enrazar. Una vez retirado el collarín se pesa y se toma el valor, solo del molde con el material.



Ilustración 52 Pesado de la muestra compactada sin su collarín.

Fuente: Propia.

8. Posteriormente se procede a retirar el material del molde. Para esto se utiliza la prensa manual para el desmolde del material.



Ilustración 53 Prensa manual desmolde de material.

Fuente: Propia.

9. El procedimiento se repite desde el punto 4 hasta al 8 para el resto de las fundas. La única diferencia es que se va aumentando un porcentaje de agua y este varía en el peso, hasta a llegar a valores que tiendan a decrecer. Con la finalidad de ir formando una curva de compactación. En donde el peso va creciendo hasta un punto y luego decrece por la cantidad de agua presenten en cada muestra.



Ilustración 54 Compactación de la muestra 4 con un alto contenido de agua.

Fuente: Propia.

10. Las muestras que se obtiene en el punto 5 por cada compactación, se colocan al horno y se dejan por 24 horas secadas.



Ilustración 55 Muestras de compactaciones con humedades diferentes.

Fuente: Propia.

11. Las muestras secadas al horno, se dejan enfriar, para luego ser pesadas y anotadas.



Ilustración 56 Muestras de compactación estándar secadas al horno

Fuente: Propia

3.9.1.4 Cálculos

Se determina el peso unitario seco y el contenido de agua para cada muestra que haya sido compactada con la aplicación de las siguientes formulas:

La determinación del peso unitario húmedo para la compactación se utilizará la Ecuación 10.

$$\gamma = \frac{W}{Vm}$$

Ecuación 10 Determinación del peso unitario húmedo

Fuente: (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013)

Donde:

W = Peso del suelo compactado.

Vm = Volumen del molde.

En cambio, para la determinación de la densidad seca unitaria o peso unitario seco se utilizará la Ecuación 11.

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W(\%)}{100}}$$

Ecuación 11 Determinación del Peso seco unitario

Fuente: (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013)

Donde:

W(%) = Porcentaje de contenido de humedad

Una vez calculados los pesos unitarios secos de todas las muestras ensayadas y teniendo los valores de las humedades de las mismas, se procede a graficar la curva de compactación, lo cual comparan estos parámetros, logrando obtener valores de peso unitario seco máximo y contenido de humedad óptimo de la muestra de suelo analizado.

En el caso de que no exista coherencia en los resultados obtenidos, se repetirá los puntos, que se crean convenientes, con el fin de obtener una tendencia correcta de la curva de

compactación. La Ilustración 57 muestra la curva de compactación con su debido contenido óptimo de humedad y el peso unitario seco máximo.

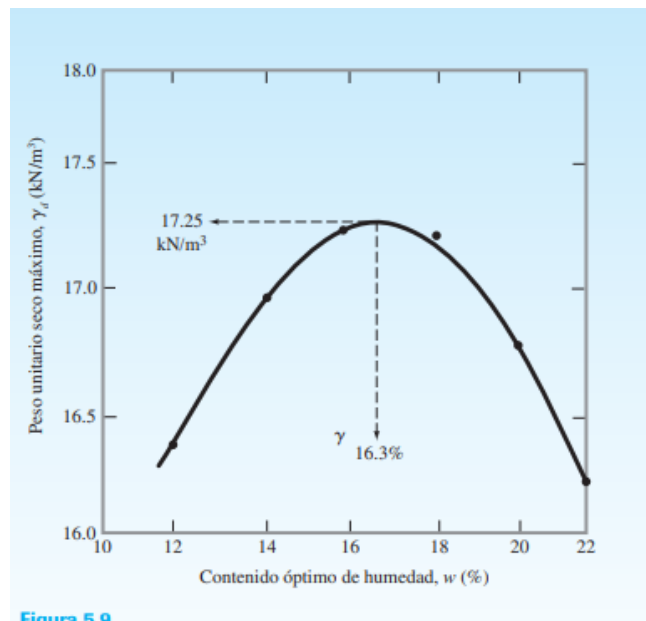


Ilustración 57 Curva de Compactación

Fuente: (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013)

3.10 Resistencia al corte del suelo mediante el ensayo de Corte Directo

Este ensayo nos permite obtener de manera simple los parámetros de corte (Cohesión y ángulo de fricción) de un suelo granular y/o cohesivo tanto en estado natural como saturado. Cabe recalcar que la “resistencia cortante de un suelo es la resistencia interna por unidad de área que la masa de suelo puede ofrecer a la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano en su interior” (Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2013, pág. 212).

Este ensayo se realiza mediante la obtención de tres muestras, que pueden ser cuadradas o circulares, pero la primera es la más utilizada para ejecutar los mismos. Las muestras son sometidas a estados de carga normales y cortantes con el fin de producir una falla por corte del suelo.

Para las muestras alteradas es necesario obtener el parámetro de la densidad en estado natural, con el objetivo de que los parámetros iniciales del mismo no se afecten y se puedan relacionar los resultados de los ensayos ejecutados.

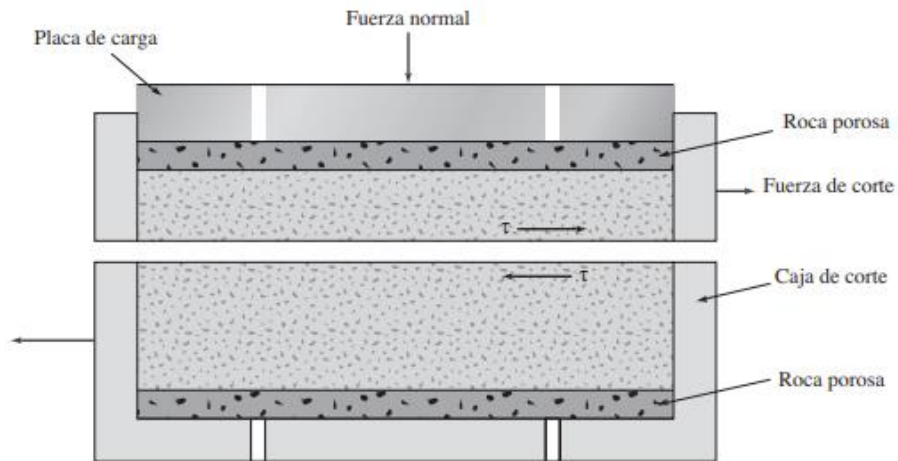


Ilustración 58 Diagrama de arreglo de prueba de Corte Directo.

Fuente: (Das, 2015).

3.10.1.1 Equipo a Utilizar

3.10.1.1.1 Muestras inalteradas.

3.10.1.1.2 Muestras alteradas.

- Molde metálico cuadrado (L= 6.33 cm; Alto:2.1 cm)
- Martillo de compactación miniatura
- Herramientas para el tallado de muestras: Espátulas, Brocha, Cuchillos.
- Recipientes fabricados con material resistente a la corrosión, cambio de peso cuando están sujetos a enfriamientos o calentamientos. De preferencia recipientes de aluminio. Determinación de humedades.
- Balanzas que tengan aproximaciones de 0.1 gramos.
- Máquina de Corte Directo (Esfuerzo Controlado).

3.10.1.2 Preparación de la muestra

3.10.1.2.1 Para muestras Inalteradas

Del bloque de material obtenido de la calicata se procede a obtener 3 muestras, que se tallaran de acuerdo a las dimensiones del anillo a utilizar para el ensayo.



Ilustración 59: Tallado de Especímenes para Corte Directo.

Fuente: Propia

3.10.1.2.2 Para muestras Alteradas

Se comienza con la determinación de la humedad del material a ensayar antes de ser moldeado, luego se establece la cantidad de material necesario que cumpla con la densidad del suelo en estado natural, que se colocara en la caja de corte. Este material será compactado en distintas capas con la ayuda del martillo de compactación miniatura. Finalmente se enrasa la muestra dentro de la caja de corte con la ayuda de espátulas, se debe tener cuidado de no dañar la muestra de suelo al realizar este proceso. Estos pasos de obtención de la muestra se deben realizar para los 3 especímenes que se van a realizar el ensayo. En este caso las muestras alteradas son las que están mezcladas con los agentes estabilizadores: cal, cloruro de sodio y ceniza volante. En los porcentajes indicados anteriormente.



Ilustración 60 Muestra de suelo remoldeado para Corte Directo.

Fuente: Propia

3.10.1.3 Procedimiento

1. Determinación de las dimensiones de la muestra de suelo a ensayar: Alto, ancho y espesor.
2. La muestra a ensayar se lleva a la máquina de corte directo y se coloca la tapa. Se ajustan todos los tornillos para asegurar la muestra con el objetivo que se quede confinada.

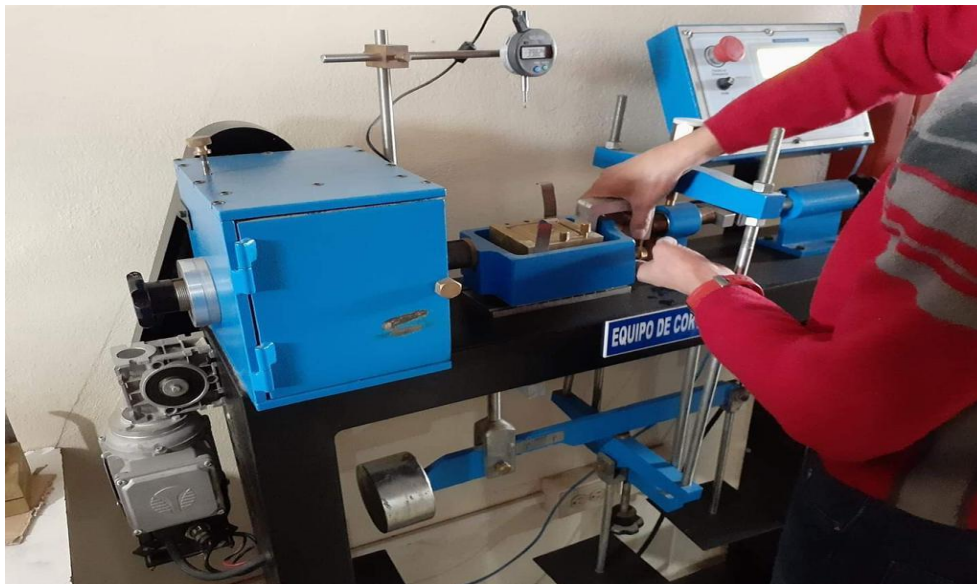


Ilustración 61 Equipo de Corte Directo

Fuente: Propia.

- Es importante revisar que los tornillos, ya que pueden causar un cizallamiento a estos y causar daños al equipo. También con la ayuda de los tornillos separadores se pueda lograr que las dos mitades de la caja de corte se encuentre separadas con el fin de que solo la muestra de suelo se encuentre trabajando.

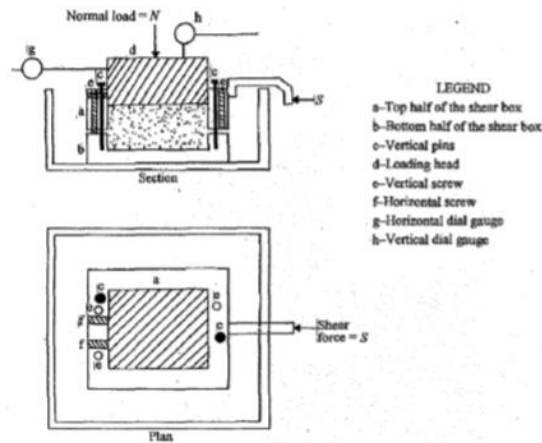


Ilustración 62 Representación de las fuerzas ejercidas en el ensayo de Corte Directo

Fuente: (Reid, 1993)

- Aplicación del primer estado de carga a la muestra de suelo ensayada, la cual ejercerá una presión normal (vertical) al suelo de 100 kPa. Esto se obtiene colocando masas en la barra vertical de la máquina de corte directo.



Ilustración 63 Equipo de Corte Directo con masa para ejercer la presión normal

Fuente: Propia.

5. Se verifica que los medidores de fuerza aplicada y deformación del equipo de corte directo se encuentren en cero, con el objetivo de evitar errores en las medidas que toma el ensayo. Otro parámetro importante es revisar que la velocidad del ensayo debe ser capaz de cizallar la muestra a una velocidad uniforme de desplazamiento con una desviación menor de $\pm 5\%$, y debe permitir el ajuste de la velocidad de desplazamiento desde 0.0025 a 1.0 mm/min. La velocidad que se aplique depende de las características de consolidación de los suelos. La velocidad normalmente se mantiene con un motor eléctrico y un motorreductor y la fuerza de cizalladura se determina por un instrumento indicador de carga como una celda o un anillo de carga.



Ilustración 64 Tablero de control del equipo de corte directo

Fuente: Propia

6. Comienza el ensayo ejerciendo la carga con la finalidad de desplazar la mitad del suelo que se encuentra en la caja de corte directo, respecto a la otra. Se va realizando poco a poco hasta obtener una fuerza máxima y luego va a proceder a disminuir.



Ilustración 65 Equipo de Corte Directo ejecutando el ensayo.

Fuente: Propia.

7. Se extrae la muestra de suelo de la caja de corte directo y se coloca en un pozuelo metálico para determinar su contenido de humedad. El ensayo se repite en 3 muestras con distintas cargas que se ejercerán que son: 100, 200 y 400 kPa)



Ilustración 66 Muestras para determinar humedades luego del ensayo de corte directo.

Fuente: Propia.

CAPITULO 4.

4 ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.

En este capítulo, se muestra los resultados obtenidos de los ensayos ejecutados en el laboratorio, tanto de las muestras de suelo en estado natural, en las dos zonas de estudio (NULTI y PACCHA), así como las muestras estabilizadas, con sus distintos porcentajes de agregado, de acuerdo a su agente químico (CAL, CLORURO DE SODIO y CENIZA VOLANTE)

Además, se realizó las comparaciones entre los resultados obtenidos en el laboratorio, para determinar qué porcentaje de los distintos agentes estabilizadores brinda mejores resultados, desde el ámbito de mejorar los parámetros físico-mecánicos de cada zona y en el aspecto económico que conlleva el uso de dicho agente en sus diferentes porcentajes.

4.1 Suelo Natural.

4.1.1 Características Físicas.

4.1.1.1 *Contenido de Humedad.*

El parámetro del contenido de humedad del suelo, se determinó, para entender en qué estado de consistencia el suelo está trabajando, con la ayuda de los límites de Atterberg que establece las fronteras, para cada estado, como se explicó en el capítulo 2. La Tabla 27 indica los valores de este parámetro obtenidos en el laboratorio.

Tabla 27

Contenido de humedad del suelo en estado natural de las zonas de estudio

ZONA DE ESTUDIO	CONTENIDO DE HUMEDAD
NULTI	25.4
PACCHA	29.41

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.2 Granulometría Nulti

La distribución de la granulometría de la zona de estudio de Nulti, se presenta en la Tabla 28, a través de la cual se observa, que en esta zona el suelo tiene gran presencia de material grueso (material pasante el tamiz de abertura #4). Además, se presenta la curva granulométrica, en la cual se utiliza el método de la faja de granulometría, con el objetivo de mostrar el comportamiento del material fino y grueso que se puede observar en la Ilustración 67. Este suelo está formado por 49.96% de material grueso, 33.72% de arena y por 16.32% de material fino.

Tabla 28

Granulometría del material extraído en la zona de estudio de Nulti

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%
TAMIZ N°	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA
3"	76,2	0	0	0	100,00%
2 1/2"	63,5	0	0	0	100,00%
2"	50,8	0	0	0	100,00%
1 1/2"	38,1	98,5	98,5	0	100,00%
1"	25,4	436	534,5	11,64%	88,36%
3/4"	19,1	180	714,5	15,55%	84,45%
1/2"	12,7	499,5	1214	26,43%	73,57%
3/8"	9,52	198	1412	30,74%	69,26%
N°4	4,76	883	2295	49,96%	50,04%
PASA No4		2681,5	2298,64		
10	2	31	31	53,58%	46,42%
40	0,42	170,5	201,5	73,49%	26,51%
200	0,074	87	288,5	83,64%	16,32%
FONDO		1	289,5	83,76%	16,24%
TOTAL			4593,64		

Fuente: Elaboración propia

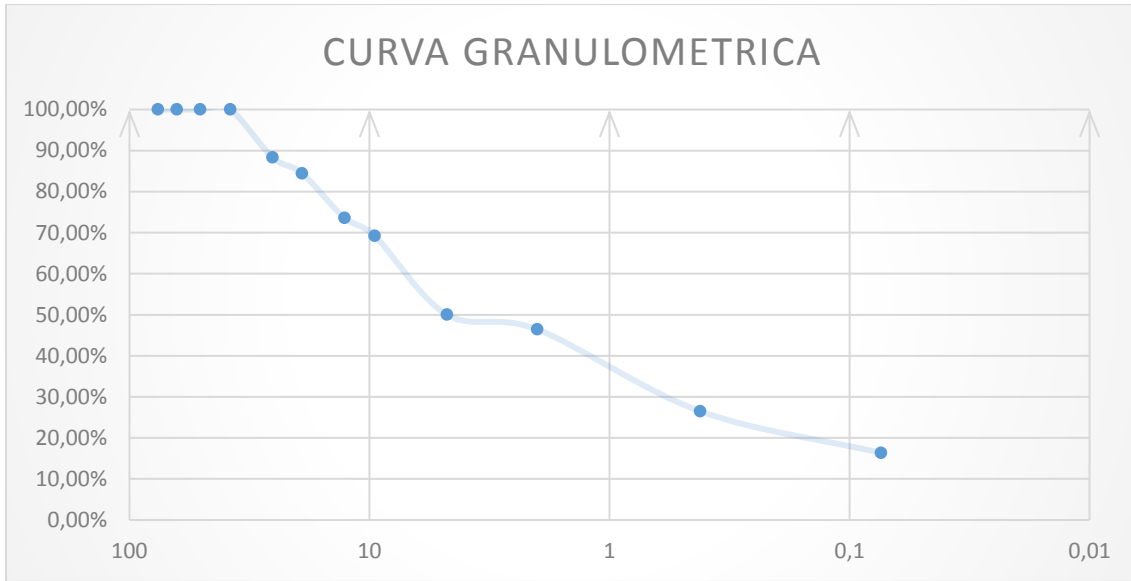


Ilustración 67: Curva Granulométrica del Materia de NULTI.

Fuente: Propia.

De igual manera, se realizó la granulometría de la zona de Paccha para ver la composición de material que tiene este suelo, la cual se puede observar en la Tabla 29. Además, se presenta la curva granulométrica indicada en la Ilustración 68. La zona de estudio planteada en este caso está formada por el 25.90% de material grueso, el 40.92% corresponde a material arenoso y el 33.18% de material fino.

Tabla 29
Granulometría del material extraído en la zona de estudio de Paccha

	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%
TAMIZ N.º	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA
3"	76,2	0	0	0,00%	100,00%
2 1/2"	63,5	0	0	0,00%	100,00%
2"	50,8	0	0	0,00%	100,00%
1 1/2"	38,1	0	0	0,00%	100,00%
1"	25,4	108	108	1,46%	98,54%
3/4"	19,1	204	312	4,22%	95,78%
1/2"	12,7	246,5	558,5	7,55%	92,45%
3/8"	9,52	295,5	854	11,55%	88,45%
Nº4	4,76	1061	1915	25,90%	74,10%
PASA Nº4		5948,5	5478,45		
10	2	41,5	41,5	32,58%	67,42%
40	0,42	99,4	140,9	48,57%	51,43%
200	0,074	113,4	254,3	66,82%	33,18%
FONDO		3,7	258	67,42%	32,58%
TOTAL			7393,45		

Fuente: Elaboración propia

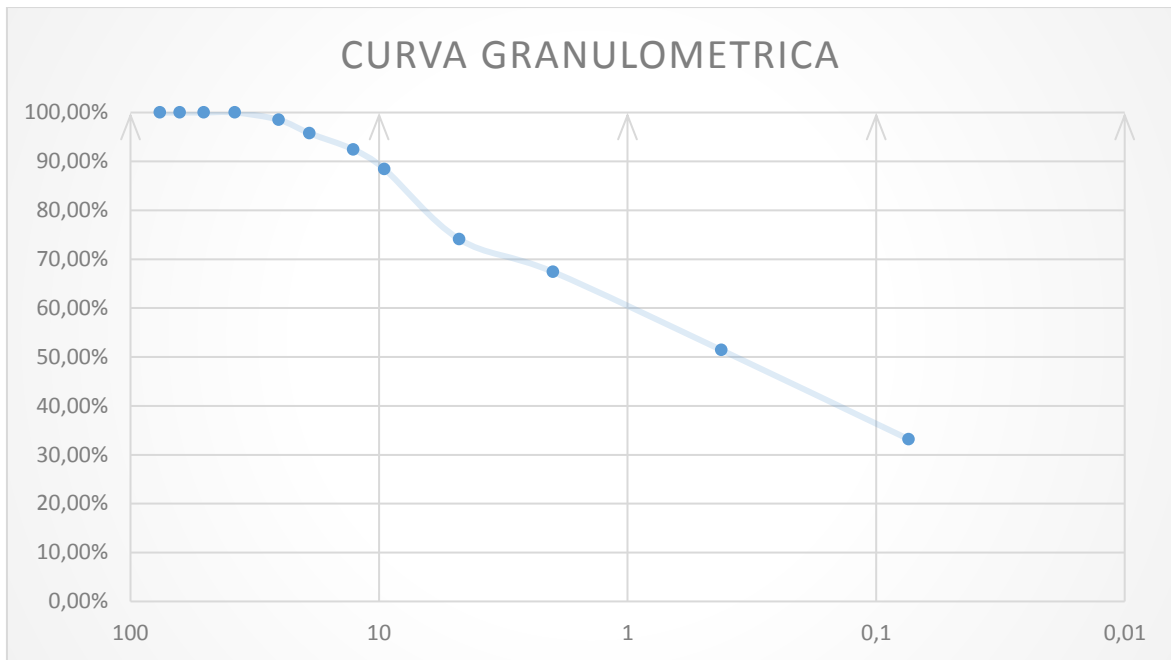


Ilustración 68: Curva Granulométría del Materia de PACCHA.

Fuente: Propia.

4.1.1.3 Límites de Atterberg.

Se realizó este ensayo en las dos zonas de estudio para tener los parámetros de límite líquido y plástico, además de su índice de plasticidad, para ver en condiciones naturales que tan plásticas son las muestras de los suelos extraídos en las zonas de estudio, luego compararlas con los resultados obtenidos con los agentes estabilizadores y observar cómo afectan al suelo. La Tabla 30 indican los valores obtenidos de los parámetros mencionados.

Tabla 30
Límites de Atterberg de las Zonas de Estudio

LIMITES DE ATTERBERG (METODO DE CASAGRANDE)			
ZONADE	LIMITE	LIMITE	INDICE DE
ESTUDIO	LIQUIDO	PLASTICO	PLASTICIDAD
NULTI	37.50	22.64	14.86
PACCHA	51,50	30,34	21,16

Fuente: Elaboración propia

Cabe recalcar, que estos resultados ayudaran a encontrar el grado de expansividad del suelo, por el método indirecto, que se basa en criterios del índice de plasticidad, para dar una clasificación de acuerdo al contenido de este parámetro (Ver Tabla 11 Clasificación de los Grados de Expansión de acuerdo a su Índice de Plasticidad). De acuerdo a este método las zonas de estudio tienen un grado de expansividad que se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 31
Potencial de Expansividad de las Zonas de Estudio


ZONA DE ESTUDIO	POTENCIAL DE EXPANSIVIDAD
NULTI	Bajo
PACCHA	Alto

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Estratigrafía de las zonas de estudio.

La zona de Paccha presenta una estratigrafía de un suelo SM (Arena limosa con grava) hasta los 2.00m, según la calicata para realizada, cuyos resultados se puede observar en la Tabla 32.


Tabla 32
Estratigrafía obtenida para la zona de estudio de Paccha

Profundidad(cm)	Estrato	Clasificación	Esquema	Fotografía
20				
40			Arena limosa -	
60			mezcla con arena	
80			limo % que pasa	
100			por la malla N°	
120			200 es 16.32 % (
140			es % mayor al	
160			12% que pasa por	
180			la malla N° 200).	
200			Limite Liquido	
	Zona Paccha	SM	=51,50 Material	
			plástico	
			LL>50%.	
			Composición;	
			Material Grueso=	
			25,90%; Arena=	
			40,92;	
			Fino=33,18%.	

Fuente: Elaboración propia.

En cambio, para la zona de Nulti se presentó un suelo GM (grava limosa con arena). Para lo cual se excavo de igual manera 2.00m, en los cuales el estrato se mantuvo constante. La Tabla 33 indica la estratigrafía obtenida para esta zona.

Tabla 33
Estratigrafía obtenida para la zona de estudio de Nulti

Profundidad(cm)	Estrato	Clasificación	Esquema	Fotografía
20				
40				
60				
80				
100				
120				
140	Zona Nulti	GM	Grava limosa-- mezclada con arena % que pasa por la malla N° 200 es 16.36 %(es % mayor al 12% que pasa por la malla N° 200). Limite Liquido =32,50. Composición; Material Grueso= 49,96%; Arena= 33,68; Fino=16,36%.	
160				
180				
200				

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Clasificación de Suelos

Mediante los parámetros físicos del suelo, se puede dar una clasificación utilizando los métodos y procedimientos mencionados en el capítulo 3 según (SUCS Y AASTHO). La clasificación del suelo de las zonas de estudio se indica en la Tabla 34.

Tabla 34

Clasificación de suelos SUCS y AASHTO

Zona de Estudio	Límites de Atterberg			GRANULOMETRIA				SISTEMA DE CLASIFACACION	
	LL	LP	IP	%PASA #4	%PASA #10	%PASA #40	%PASA #200	SUCS	AASHTO
Nulti	32.50	25.57	6.93	50.04	69.26	100	16.36	A-2-4 GRAVA Y ARENA ARCILLOSA O LIMOSA	GM - GRAVA LIMOSA CON ARENA
Paccha	51.50	30.34	21.16	74.10	88.45	100	33.18	A-2-7-2 GRAVA Y ARCILLA ARENOSA O LIMOSA	SM ARENA LIMOSA CON GRAVA

Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Características Mecánicas

4.1.4.1 Parámetros de Compactación

Para determinar los parámetros de compactación de las zonas de estudio se utilizó el método del Proctor modificado método A (máximo porcentaje de material retenido en el tamiz N°4 es 25%). En estos ensayos se estableció que la densidad seca máxima se encuentra sobre los 1500 kg/m³ para ambas zonas de estudios, con humedades óptimas casi similares. En la Tabla 35 se indican los valores de cada zona de estudio.

Tabla 35

Datos obtenidos del ensayo de compactación estándar de suelo en estado natural

RESULTADOS DE PROCTOR ESTÁNDAR PARA LAS		
ZONAS DE ESTUDIO EN ESTADO NATURAL		
ZONA DE ESTUDIO	γ_d Max (KG/M³)	HUMEDAD OPTIMA %
Paccha	1509	26
Nulti	1585	22

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4.2 Parámetros de Cohesión y Angulo de Fricción

La cohesión es la unión entre las partículas del suelo, cuyo origen se da por fuerzas moleculares y películas de agua es decir que de acuerdo al contenido de humedad la cohesión varia; también depende del porcentaje de arcilla presente, se lo puede denominar suelos cohesivos y no cohesivos. La problemática se genera cuando la cohesión es muy baja en los suelos, por lo que se generarían derrumbes o colapsos. La fricción interna de un suelo viene definida por el ángulo cuya tangente está en relación entre la fuerza que soporta el deslizamiento a lo largo de un plano y la fuerza normal "p" aplicada a dicho plano. A estos valores se denominan "ángulo de fricción interna" ϕ , que varían desde 0° para arcillas plásticas cuya consistencia este aproximada a su límite líquido; mientras tanto, para gravas, son iguales o superiores a los 45° y para las

arenas compactadas o secas y de partículas angulares, regularmente este ángulo esta alrededor de 30° (Civil, 2011).

Estos parámetros forman parte de la resistencia al cortante de suelo, que es la resistencia interna por unidad de área en la masa de suelo que puede ofrecer a la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano en su interior. Analizar la resistencia al corte permite entender y analizar de mejor manera problemas como: Capacidades de carga de cimentaciones superficiales, estabilidad de taludes ya sea de origen humano o naturales, estimación de la presión lateral de tierra para el diseño de estructuras de retención de tierras, etc. (Das, 2015, pág. 228)

Para determinar estos parámetros mecánicos, se utilizó el ensayo de corte directo, para el caso de la zona de Paccha la muestra que se obtuvo fue inalterada, mientras que en la zona de Nulti se obtuvo muestras alteradas, puesto que el material se desmoronaba al momento de obtener la muestra inalterada. La carga normal aplicada para el ensayo fue de 10,20 y 40 kg de acuerdo a la norma aplicada del ensayo de corte directo mencionada en el capítulo 3. La Tabla 36 indica varios parámetros mencionados anteriormente que son de suma importancia para determinar la capacidad portante que tienen las zonas de estudio.

Tabla 36

Resultados obtenidos del ensayo de corte directo realizados a las zonas de estudio en estado natural

ENSAYO DE CORTE DIRECTO: SUELO EN ESTADO NATURAL								
Ensa yo	Zona de Estu dio	Descrip ción	Esfuerzo de Confinami ento Kg/cm ²	Esfue rzo Corta nte Kg/c m ²	Densi dad final Kg/m ³	Hume dad Final %	Cohes ión C Kg/cm ²	Angu lo de Fricci ón ϕ (°)
1			0.25	0.311	1910	26.2		
2	Pacch a	Muestras inalterad as	0.5	0.543	1901	26.1		34.60
3			1	0.852	1896	25.9	0	
1				0.25	0.643	188	22.09	
2	Nulti s	Muestras Alterada	0.5	0.937	1896	22.14	0	38.65
3			1	1.361	1898	22.06		

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4.3 Capacidad Portante.

Es la capacidad del suelo para soportar cargas, sin producir deformaciones que conlleven a causar fallos dentro de la masa del mismo. George & George, señala que:

La capacidad para soportar una carga depende no solamente de la resistencia del suelo, sino como parámetros tales como la magnitud y distribución de la carga. Si se observa el suelo durante la aplicación de la carga, se verificará que existe una falla se produce generalmente, en tres etapas. Primero, el suelo que se encuentra debajo de la cimentación esforzado hacia abajo, produciendo una formación de cono o una cuña; el suelo que está debajo de la cuña es forzado hacia abajo y hacia afuera; suponiendo unas líneas imaginarias en el suelo que al inicio eran verticales ahora aparecerían combadas hacia a fuera, como la forma de un barril. Segunda, el suelo alrededor del perímetro del cimiento se separa del mismo y la superficie de esfuerzo cortantes se propaga hacia afuera desde el vértice del cono o cuña. Si el suelo es muy compresible o puede llegar a tolerar grandes deformaciones sin causar la fluencia, la falla queda circunscrita a zonas

en forma de abanico, de esfuerzo cortante local. Tercera, la cimentación se desplazará hacia abajo con un ligero aumento de carga: una forma de falla por capacidad de carga; si el suelo en cambio es más rígido, la zona de esfuerzo cortante se propaga hacia a fuera, llegando a formar una superficie continua de falla que se extiende hasta la superficie del terreno, generando un levantamiento; a este tipo de falla, se la denomina generalmente por esfuerzo cortante; la falla puede llegar a ser simétrica, especialmente si la rotación está restringida, ya sea por la columna que esta empotrada en el cimiento o puede inclinarse, este tipo de falla por capacidad de carga no es común, pero la mayoría de casos que en que se produce, tienen como resultado el colapso total de la estructura. (1972, pag.485)

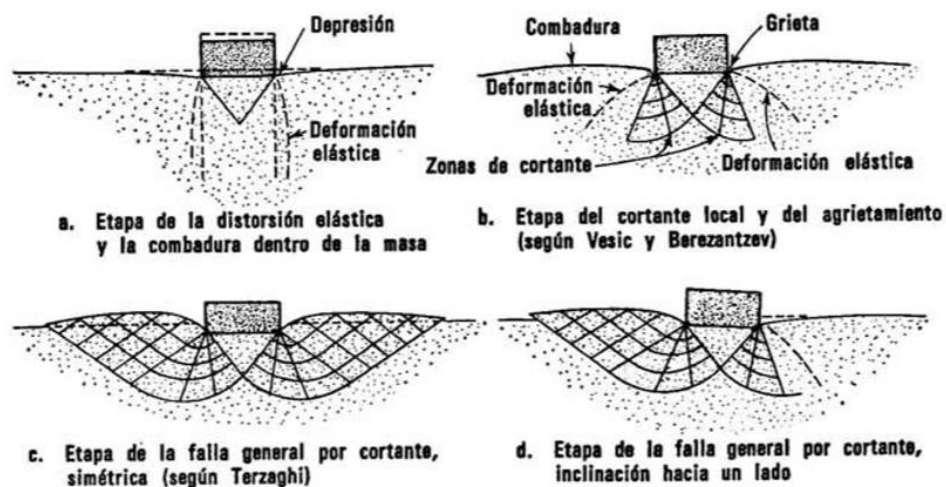


Ilustración 69: Desarrollo de la falla por esfuerzo cortante por debajo de la cimentación.

Fuente: (George & George, 1972)

Para la determinación de la capacidad de carga, existen varias teorías, para la presente investigación se utilizará la teoría de Terzaghi, para determinar este parámetro en cimentaciones poco profundas. Braja D., indica sobre esta teoría que:

Una cimentación es poco profunda si la profundidad, denominada D_f (Ilustración 70) es menor o igual que el ancho de la cimentación. Sin embargo, tras varias

investigaciones han sugerido que las cimentaciones con D_f igual a 3 a 4 veces el ancho de la cimentación se pueden clasificar como un tipo de cimentaciones poco profundas. Terzaghi sugirió que para una cimentación continua o de franja (es decir, la razón de ancho a largo de la cimentación tiende a 0), la superficie de falla en el suelo a carga máxima puede suponerse similar a la mostrada en la Ilustración 69. (2015, pag.481)

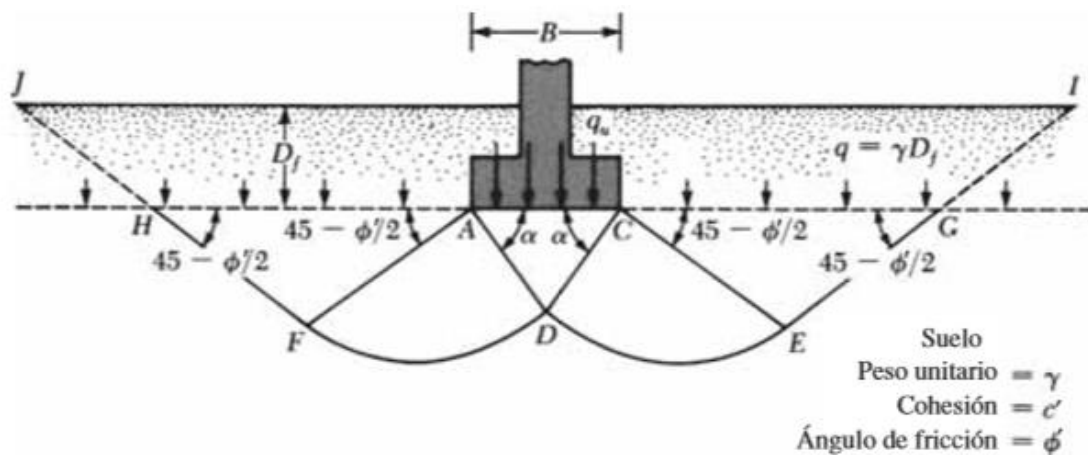


Ilustración 70: Falla de la capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación continua rígida en grava.

Fuente: (Das, 2015)

En la Ilustración 70, se pueden observar las 3 zonas de falla bajo la cimentación las cuales son:

1. La zona ADC triangular, ubicada debajo de la cimentación
2. Las zonas DAF y DCE que, son zonas radiales, acompañadas de arcos espirales logarítmicas DE y DF
3. Dos zonas pasivas Rankine triangulares CEG y AFH

Los ángulos ADC y ACD son iguales al ángulo de fricción del suelo (es decir, $\alpha = \phi$).

Observe que con la sustitución del suelo por encima del fondo de la cimentación por un suplemento q equivalente, se desprecia la resistencia al corte del suelo a lo largo de las superficies de falla GI y HJ. (Das, 2015, pág. 482)

Terzaghi expresa una ecuación, para la determinación de la capacidad ultima de carga para diferentes tipos de cimentaciones que son las siguientes:

Para una cimentación en franja se utilizará la Ecuación 10, para la determinación de la capacidad ultima de carga, mientras que la Ecuación 11 se aplicara cuando la zapata sea cuadrada y por último la ecuación 12 para la determinación de zapatas circulares si es el caso

$$q_u = c'Nc + qNq + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma$$

Ecuación 10: Capacidad ultima de carga

Fuente: (Das, 2015)

$$q_u = 1.3c'Nc + qNq + 0.4\gamma BN_\gamma$$

Ecuación 11: Capacidad ultima de carga para zapatas cuadradas.

Fuente: (Das, 2015)

$$q_u = 1.3c'Nc + qNq + 0.3\gamma BN_\gamma$$

Ecuación 12: Capacidad ultima de carga para zapatas circulares.

Fuente: (Das, 2015)

Donde:

γ = Peso unitario del suelo

c' =Cohesión del suelo

$q = \gamma D_f$

Nc, Nq, N_γ = Factores de capacidad de carga adimensionales y sólo son funciones del ángulo de fricción del suelo (ϕ)

B= Diámetro de la Zapata

Para la determinación de los factores de capacidad adimensionales, se utilizará la
Tabla 37.

Tabla 37
Factores de Capacidad de carga Terzaghi N_c , N_q , N_γ .

ANGULO DE FRICCIÓN (Φ) (GRADOS)	N_c	N_q	N_γ	ANGULO DE FRICCIÓN (Φ) (GRADOS)	N_c	N_q	N_γ
0	5,7	1	0	26	27,09	14,21	9,84
1	6	1,1	0,01	27	29,24	15,9	11,6
2	6,3	1,22	0,04	28	31,61	17,81	13,7
3	6,62	1,35	0,06	29	34,24	19,98	16,18
4	6,97	1,49	0,1	30	37,16	22,46	19,13
5	7,34	1,64	0,14	31	40,41	25,28	22,65
6	7,73	1,81	0,2	32	44,04	28,52	26,87
7	8,15	2	0,27	33	48,09	32,23	31,94
8	8,6	2,21	0,35	34	52,64	36,5	38,04
9	9,09	2,44	0,44	35	57,75	41,44	45,41
10	9,61	2,69	0,56	36	63,53	47,16	54,36
11	10,16	2,98	0,69	37	70,01	53,8	65,27
12	10,76	3,29	0,85	38	77,5	61,55	78,61
13	11,41	3,69	1,04	39	85,97	70,61	95,03
14	12,11	4,02	1,26	40	95,66	81,27	115,31
15	12,86	4,45	1,52	41	106,81	93,85	140,51
16	13,68	4,92	1,82	42	119,67	108,75	171,99
17	14,6	5,45	2,18	43	134,58	126,5	211,56
18	15,12	6,04	2,59	44	151,95	147,74	261,6
19	16,56	6,7	3,07	45	172,28	173,28	325,34
20	17,69	7,44	3,64	46	196,22	204,19	407,11
21	18,92	8,26	4,31	47	224,55	241,8	512,84
22	20,27	9,19	5,09	48	258,28	287,85	650,67
23	21,75	10,23	6	49	298,71	344,63	831,99
24	23,36	11,4	7,08	50	347,5	415,14	1072,8
25	25,12	12,72	8,34				

Fuente: (Das, 2015)

Para determinar la capacidad portante del suelo la investigación se basó en la normativa ecuatoriana de la construcción (NEC) Capítulo 5 Geotecnia y Cimentaciones, donde se expone que la zapata mínima a construirse es de 1 metro por 1 metro, o menor siempre y cuando el estudio geotécnico lo disponga, en este caso se utiliza una zapata cuadrada de 0.8m de lado y profundidad, que es común en la construcción de casas de dos plantas, siendo casas pequeñas y con el objetivo de determinar de forma cuantitativa este parámetro y poder apreciar si mejora o no con los agentes químicos agregados al suelo en cada zona. Este parámetro se calcula mediante la Ecuación 13, que indica la capacidad de carga permisible bruta en cimentaciones poco profundas, se aplica un factor de seguridad (FS) a la capacidad última de carga (q_u), expresada en la Ecuación 13

$$q_{adm} = \frac{q_u}{FS}$$

Ecuación 13: Capacidad de carga permisible bruta en cimentaciones poco profundas.

Fuente: (Das, 2015)

El factor de seguridad (FS), según recomiendan varios autores, puede ser de al menos 3 en todos los casos; por lo que el valor de este parámetro en la presente investigación será de 3.

La capacidad portante de las zonas de estudio se presenta en la Tabla 38, en la cual también se indica sus factores de capacidad de carga, su carga última y la carga admisible, que permite inferir en la calidad del suelo.

Tabla 38
Determinación de la capacidad de carga y sus factores

Zona de estudio	Factores de capacidad de carga			Capacidad ultima de carga (q_u) Kg/cm ²	Capacidad admisible de carga (q_{adm}) Kg/cm ²
	N_c	N_q	N_γ		
Nulti	63.53	47.16	54.36	12.28	4.09
Paccha	52.64	36.50	38.04	8.14	3.08

Fuente: *Elaboración propia.*

En la zona de Nulti, se puede apreciar gracias a los datos obtenidos, que tiene una buena capacidad portante; es decir que, si se emplazara una vivienda, esta no tendría fallos al cortante en la cimentación. Posteriormente se verificará si los agentes químicos utilizados, brindan una mejora en este parámetro y en qué porcentaje se da esta mejoría del suelo.

4.2 Estabilización Zona Nulti

4.2.1 Suelo-Cal

4.2.1.1 Características Físicas

4.2.1.1.1 Límites de Atterberg

Como se mencionó en el capítulo anterior, se utilizaron 3 porcentajes distintos para realizar la estabilización del suelo, en este caso el agente químico utilizado fue la cal con porcentajes del 3%, 7% y 12%, en el cual se obtuvieron cambios muy evidentes en la plasticidad del suelo con este agregado, ya que al agregar este material el suelo se vuelve no plástico; es decir, causa que el suelo se comporte de manera elástica como se puede observar en la Tabla 39. Esto se debe a que el suelo en estado natural no presenta un índice de plasticidad alto, caso contrario es muy bajo este parámetro, se puede observar en la Tabla 30 Límites de Atterberg de las Zonas de Estudio. Un agente como la cal entre uno de sus beneficios tiene el de disminuir la plasticidad al suelo, por lo que a este suelo que tiene una plasticidad baja lo convierte en no plástico.

Tabla 39
Resumen de datos de Limites de Atterberg con Cal

LIMITES DE ATTEBERG (METODO DE CASAGRANDE)			
Porcentaje de cal agregado	Limite líquido (LL)	Limite plástico (LP)	Índice de plasticidad (IP)
3%	-	NP	-
7%	-	NP	-
12%	-	NP	-

Fuente: Elaboración propia.

A través de la Tabla 39 se observa que con todos los porcentajes mencionados con anterioridad al tipo de suelo de esta zona lo transforma en no plástico ya que mediante la clasificación utilizada en la Tabla 34 muestra que es un suelo GM - GRAVA LIMOSA CON ARENA, mediante estudios y ensayos realizados a este tipo de suelos por la cantidad de limos que presenta el mismo, un agente como la cal lo estabiliza totalmente, por motivos de costo se escoge el menor porcentaje en este caso el del 3% ya que todos los porcentajes lo convierten en no plástico logrando que el suelo trabaje en un rango elástico, es decir soportando cargas sin fracasar, debido a que el presente estudio se centra en estructuras pequeñas como casa de dos plantas, si de ser el caso se planifica construir una estructura que transmita mayor peso al suelo nos convendría los siguientes porcentajes de cal como el 7% o el 12% de acuerdo a la capacidad de carga que se vaya a transmitir al suelo será el porcentaje escogido.

4.2.1.2 Características Mecánicas

4.2.1.2.1 Parámetros de Compactación

En los ensayos de compactación del suelo-cal, se encontró que el material presenta una densidad seca máxima oscilante entre 1500 a 1750 kg/m³, en la Tabla 40 se aprecia las densidades secas máximas con sus humedades respectivas de acuerdo a su porcentaje de cal agregado.

Tabla 40
Resultados de datos de compactación estabilizada Suelo-Cal

RESULTADOS DE PROCTOR ESTÁNDAR PARA SUELO-CAL						
Porcentaje de cal agregado	yd Max Suelo estado natural (kg/m3)	yd Max Suelo estabilizado (kg/m3)	Porcentaje de mejoramiento densidad seca %	Humedad optima del suelo en estado natural %	Humedad optima estabilizada %	Porcentaje de humedad aumentado %
3%		1725	8.83		15.1	-34.50
7%	1585	1668	5.23	22	17	-25.00
12%		1563	-1.38		20	-9.09

Fuentes: Elaboracion propia.

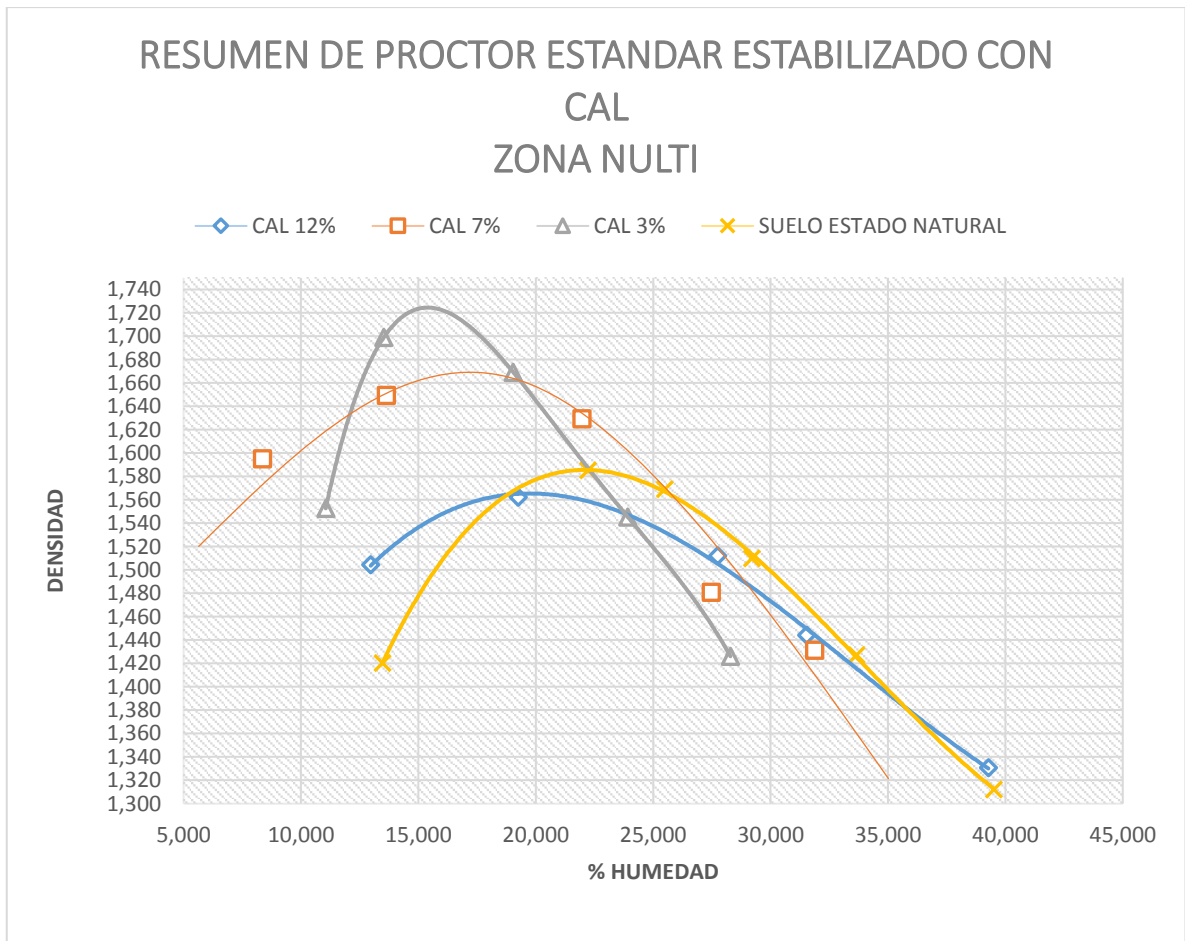


Ilustración 71 Análisis de las Curvas de Compactación Cal-Suelo

Fuente: Autores

En la Ilustración 71 se observa el comportamiento del suelo con la mezcla de la cal, de acuerdo a su porcentaje agregado, se observa que el porcentaje que presenta mayores valores de densidades seca a comparación del suelo natural es al 3%, y al 7%, mientras que al 12% este parámetro es mucho menor. Es importante mencionar que la densidad seca máxima va disminuyendo en función del porcentaje de cal agregado. Laura Parra, María Santana y José Estaire exponen que al añadir cal a un suelo que contenga un porcentaje mínimo de arcilla y sea plástico, son numerosos los efectos que se producen, tanto a corto como a largo plazo, como consecuencia de las reacciones químicas producidas, específicamente a los fenómenos de floculación y aglomeración de las partículas, que hace que exista una nueva reagrupación de las mismas generando una nueva estructura de suelo. Entre una de estas modificaciones es la disminución de la densidad máxima y aumento de la humedad óptimo en el ensayo Proctor, ya que el mismo autor menciona que para mejorar el suelo y obtener mejoras a corto plazo con cal apagada se recomienda dosificaciones del 2 al 4%. (Parra, Santana & Estaire;2009). Esto tiene sentido ya que el porcentaje que brinda mayor densidad seca máxima es al 3% corroborando las dosificaciones que menciona el autor. Además, es importante mencionar que, al existir pérdida de humedad, la cohesión disminuirá del suelo estabilizado por la falta de adherencia de las partículas conforme se aumentó el agente químico, es decir entre más presencia de cal, existirá más pérdida de humedad.

4.2.1.2.2 Parámetros de Cohesión y Angulo de Fricción.

Sobre estos parámetros se puede observar los datos obtenidos en la Tabla 41, la cual indica que el ángulo de fricción aumenta en todos sus porcentajes, Bauza 2015, señala que:

La pérdida de las fuerzas de unión entre partículas de arcilla y de la alteración de la disposición ordenada y laminar de la misma suele ser un aumento de la trabajabilidad de los suelos arcillosos por la aplicación de la cal. Los efectos de estas

modificaciones se traducen como se ha dicho en una pérdida de cohesión y un incremento de rozamiento interno. (pag.75)

Este suelo al ser clasificado como una grava y arena arcillosa o limosa, genera un aumento en el ángulo de fricción, por la presencia de arcilla.

Tabla 41
Resultados de cohesión, ángulo de fricción con Cal en sus distintos porcentajes

ENSAYO DE CORTE DIRECTO: SUELO ESTABILIZADO CON CAL NULTI						
Porcentaje de cal agregado	Descripción	Densidad final	Humedad Final Promedio	Cohesión C	Angulo de Fricción Estado Natural ϕ	Angulo de Fricción Suelo Estabilizado ϕ
		Kg/m3	%	Kg/cm2	(°)	(°)
3%	Muestras alteradas	1986	15.08	0	38.65	40.03
7%		1950	17.00	0		41.59
12%		1867	19.92	0		42.76

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.2.3 Capacidad Portante

La capacidad portante, aumenta con la agregación de este agente químico, como se puede observar en la Tabla 42, indica los valores obtenidos de este parámetro.

Tabla 42
Resultados de la capacidad portante con Cal

DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE CARGA								
Porcentaje de cal agregado	Factores de capacidad de carga			Capacidad última de carga Suelo Estado Natural (q_u) Kg/cm2	Capacidad admisible de carga Suelo Estado Natural (q_{adm}) Kg/cm2	Capacidad última de carga Suelo Estabilizado (q_u) Kg/cm2	Capacidad admisible de carga Suelo Estabilizado (q_{adm}) Kg/cm2	Porcentaje de Mejora genera en la capacidad admisible de carga %
	N_c	N_q	N_γ					
3%	95.66	12.28	4.09			23.47	7.82	91.20
7%	106.81	93.85	140.51	12.28	4.09	27.07	9.02	120.54
12%	108.75	119.67	117.99			30.58	10.19	149.14

Fuente: Elaboración propia.

Sobre el aumento de la capacidad portante, se puede apreciar el aumento del ángulo de fricción; en cada porcentaje de cal agregado, este aumenta considerablemente mientras mayor sea el porcentaje del agregado, además Bauza, afirma:

La nueva distribución de partículas del suelo permite obtener una mejor redistribución de las tensiones ante sollicitaciones exteriores, que se indica en la Ilustración 72. El desorden introducido en la masa del suelo hace que el reparto se pueda producir entre más partículas y en direcciones diferentes a las simplemente ortogonales que se generan ante una estructura laminar. Además, ello hace que incluso intervenga la resistencia propia de las partículas, mientras que en la estructura laminar sólo colaboran las fuerzas entre ellas. (2015, pag.86).

Conforme se agregue el contenido de cal al suelo, esto generara un aumento en la capacidad portante del suelo.

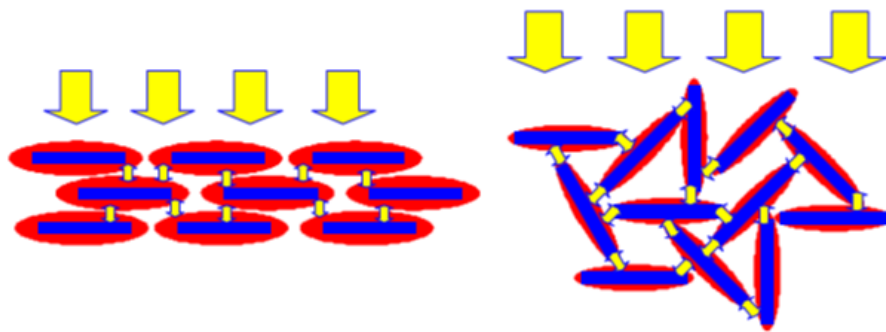


Ilustración 72: Reordenación de las partículas del suelo con la agregación de cal.

Fuente: (Castelló, 2015)

4.2.2 Suelo – Cloruro de Sodio

4.2.2.1 Características Físicas

4.2.2.1.1 Límites de Atterberg

En el caso del cloruro de sodio se ocuparon porcentajes del 1%,3% y 5%, respectivamente del agregado de este agente químico, estos porcentajes se añadieron a diferentes muestras del suelo mediante el peso de la muestra que se trabajó, en la Tabla 43 se observa que aumenta el límite líquido y el límite plástico en todos los porcentajes en relación al suelo en estado natural como se observa en la Ilustración 73.

Tabla 43

Resumen de datos obtenidos de ensayo de Límites de Atterberg con Cloruro de Sodio

LIMITES DE ATTEBERG (METODO DE CASAGRANDE)			
Porcentaje de cloruro de sodio agregado	Limite líquido (LL)	Limite plástico (LP)	Índice de plasticidad (IP)
1%	37.25	29.83	7.42
3%	39.00	30.04	8.96
5%	34.79	26.48	8.22

Fuente: Elaboración propia.

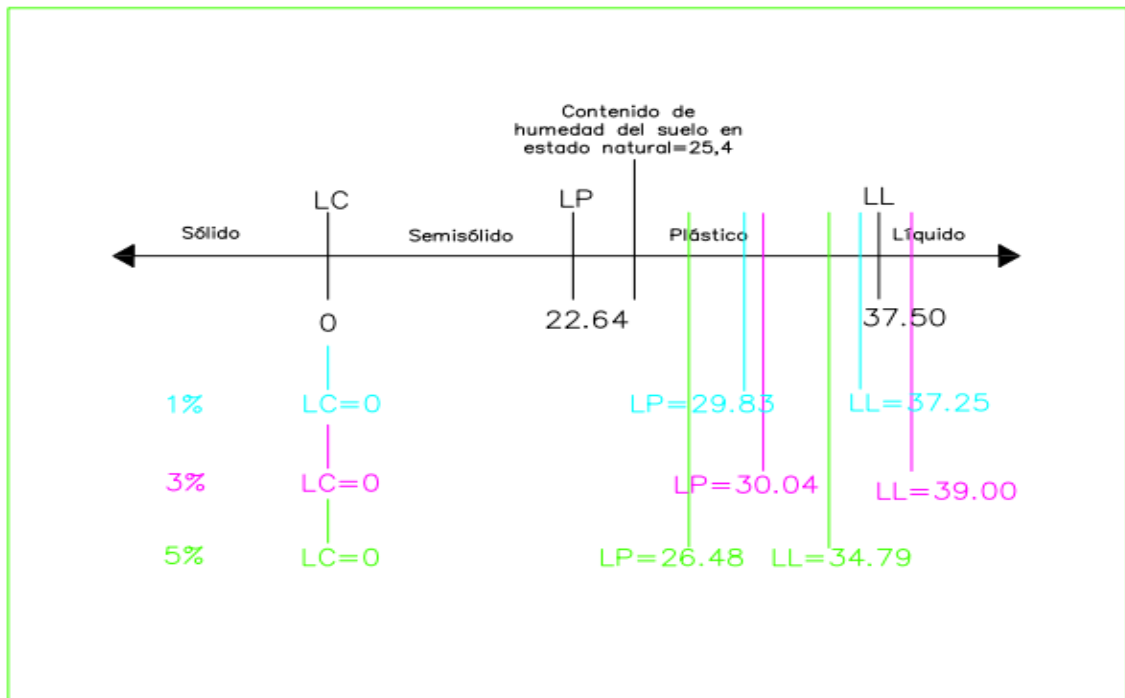


Ilustración 73: Comparación de límite líquido y plástico suelo natural y estabilizado.

Fuente: Propio.

Como análisis para la zona de Nulti con la estabilización de cloruro de sodio, se recomienda el 3% de este agente, debido a que mediante el ensayo de los límites de Atterberg, el suelo que en estado natural presenta: límite plástico de 22.64, límite líquido de 37.50, índice de plasticidad de 14.86 y humedad natural de 22%; con la estabilización de cloruro de sodio muestra: límite plástico de 30.04, límite líquido de 39.0, índice de plasticidad de 8.96; con este porcentaje con la aplicación de la Ilustración 73, se observa que el suelo deja de trabajar de un estado plástico como se encuentra en estado natural y empieza a trabajar en un estado elástico donde puede soportar cargas sin deformarse o fracasar, al igual que incrementa su límite líquido de su estado natural; lo mismo ocurre con los demás porcentajes, se observa un aumento en el límite plástico, pero el porcentaje apto para este tipo de suelo sería el 3% del agente, ya que porcentajes al 1% y al 5% no incrementa su límite líquido en relación al límite en estado natural; en el porcentaje del 5% ocurre esto ya que el porcentaje de cloruro de sodio es mayor y este tiende a absorber la humedad del material, en la Ilustración 73 se

observa que mientras mayor es el porcentaje de cloruro de sodio menor es su límite líquido, por lo que adecuadamente trabaja al 3%.

4.2.2.2 Características Mecánicas

4.2.2.2.1 Parámetros de Compactación

En los ensayos Proctor estándar para la mezcla suelo-cloruro de sodio, se obtuvieron resultados casi similares en el parámetro de la densidad seca máxima y humedades óptimas en las 3 dosificaciones. Los valores de las densidades están en un rango de 1660 a 1680, en cambio en el caso de la humedad óptima esta del 22% al 19%. La Tabla 44 indica los valores obtenidos del ensayo Proctor para cada uno de sus dosificaciones.

Tabla 44

Resultados de compactación estabilizada Suelo-Cloruro de Sodio

RESULTADOS DE PROCTOR ESTÁNDAR PARA SUELO-CLORURO DE SODIO

Porcentaje de cloruro de sodio agregado	γ_d Max Suelo estado natural (kg/m ³)	γ_d Max Suelo estabilizado (kg/m ³)	Porcentaje de mejoramiento Densidad seca %	Humedad óptima del suelo en estado natural %	Humedad óptima estabilizado %	Porcentaje de humedad aumentado%
1%		1662	4.85		22	0
3%	1585	1680	5.99	22	20	2.27
5%		1691	6.69		19	13.63

Fuentes: Elaboración propia.

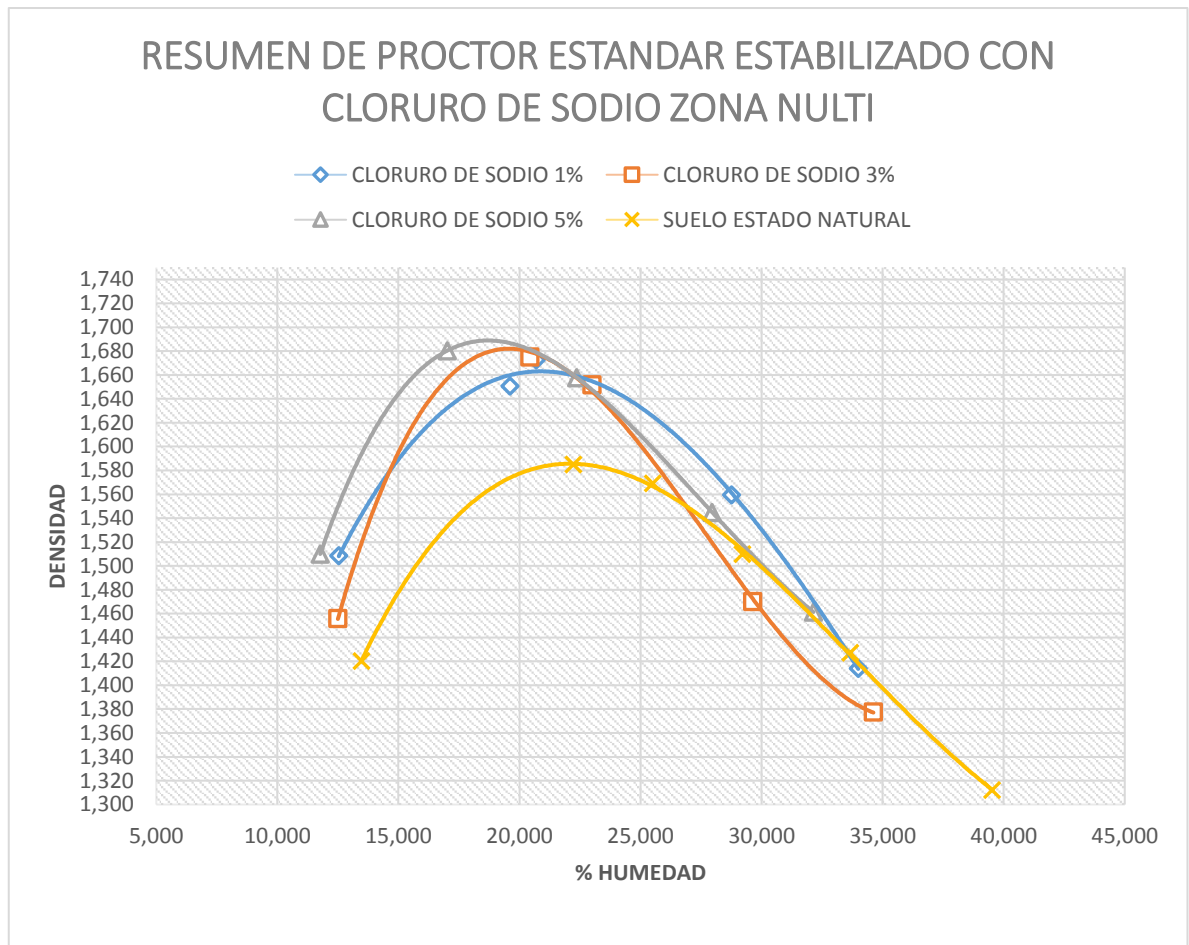


Ilustración 74: Análisis de las Curvas de Compactación Cloruro de Sodio-Suelo

Fuente: Propia.

En la Ilustración 74, se puede observar las curvas de compactación para cada dosificación realizada en la investigación, en la cual se observan que los 3 porcentajes mejoran los parámetros de la densidad seca y disminuye la humedad óptima, a comparación del suelo en estado natural. La variación de los resultados obtenidos es insignificante, puesto que los valores obtenidos tanto de densidad como de humedad óptima son muy parecidos. (Cochachin Mendoza, 2018), menciona que: las variaciones de la humedad óptima y la densidad máxima, se debe a que el cloruro de sodio es higroscópico, es decir tiene la capacidad de absorber la humedad del material y al reducir la humedad generando un aumento o disminución en las densidades, el motivo de esto es que el agua llena los espacios del suelo ocupados por el aire, obteniendo como resultado una mejor acomodación de las partículas, generando un aumento en la

compacidad. En este caso presenta mejores valores de densidad y de humedad optima al 5% de cloruro de sodio. (pag.36)

4.2.2.2.2 *Parámetros de Cohesión y Angulo de Fricción*

La agregación del cloruro de sodio, en este tipo de suelos causa la disminución del ángulo de fricción, conforme se agrega el agente químico, como lo indica la Tabla 45.

Mientras que aumenta su densidad con respecto a la de su estado natural que es de 1585 kg/m³, esta empieza a crecer mientras mayor es el porcentaje del cloruro de sodio como se puede observar en la Tabla 45.

Tabla 45

Resultados de cohesión, ángulo de fricción con Cloruro de Sodio en sus distintos porcentajes

ENSAYO DE CORTE DIRECTO: SUELO ESTABILIZADO CON CLORURO DE SODIO						
Porcentaje de cloruro de sodio agregado	Descripción	Densidad final	Humedad Final Promedio	Cohesión C	Angulo de Fricción Estado Natural	Angulo de Fricción Suelo Estabilizado
		Kg/m³	%	Kg/cm²	φ (°)	φ (°)
1%	Muestras	2027	22.02	0		31.59
3%	alteradas	2040	21.50	0	38.65	30.96
5%		2008	18.79	0		29.89

Fuente: Elaboración propia.

El porqué de la disminución del ángulo de fricción, se explica en el capítulo 2, donde se trata el comportamiento suelo-cloruro de sodio, en el cual Jairon, explica detalladamente que:

El acomodo de las partículas, en un suelo que se ha tratado de mejorar, no sólo va a depender de las características del dispositivo que se usó para compactar, sino más bien de la humedad que tenía en ese momento el material, siendo fundamental este parámetro. Si las partículas están secas, las fricciones intergranulares oponen una resistencia mayor al desplazamiento relativo de ellas, en cambio sí se encuentran

lubricadas por una partícula de agua, la masa de suelo adquiere humedad, el agua llena los vacíos que podrían ser ocupados por partículas en un arreglo más denso, es por eso que es necesario controlar el contenido de agua al momento de la compactación, si la presencia de agua es poca no existirá lubricación; por lo tanto, disminuirá la fricción existente entre las partículas, en cambio si la humedad está en exceso las partículas serán separadas por el agua. (2010, pag.34.)

4.2.2.2.3 Capacidad Portante.

El cloruro de sodio al presentar una disminución en el ángulo de fricción del suelo, causa una pérdida importante de capacidad de resistencia al cortante, a tal punto que disminuye este parámetro a comparación del suelo sin estabilizar. Los valores obtenidos del suelo estabilizado con cloruro de sodio están expresados en la Tabla 46.

Tabla 46

Resultados de la capacidad portante con Cloruro de Sodio

DETERMINACION DE LA CAPACIDAD PORTANTE								
Porcentaje de cloruro de sodio agregado	Factores de capacidad de carga			Capacidad última de carga Suelo Estado Natural (q_u) Kg/cm ²	Capacidad admisible de carga Suelo Estado Natural (q_{adm}) Kg/cm ²	Capacidad última de carga (q_u) Kg/cm ²	Capacidad admisible de carga (q_{adm}) Kg/cm ²	Porcentaje de Mejora genera en la capacidad admisible de carga %
	N_c	N_q	N_γ					
1%	40.4	25.2	22.6			6.59	2.20	-46.21
	1	8	5					
3%	37.1	22.4	19.1	12.28	4.09	5.82	1.94	-52.56
	6	6	3					
5%	34.2	19.9	16.1			5.05	1.68	-58.92
	4	8	8					

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Suelo- Ceniza Volante.

4.2.3.1 Características Físicas.

4.2.3.1.1 Límites de Atterberg.

En el caso de la estabilización con ceniza volante, se incluyó cal, para realizar el proceso de la estabilización que se menciona en el capítulo 2. En la cual, se utilizaron

porcentajes de ceniza volante de 5%, 20% y 40% con su porcentaje de cal del 1%, 6% y 12% respectivamente. Los resultados brindados son parecidos a los de la estabilización con cal, ya que al tener dos agentes químicos cuyas ventajas es la de disminuir la plasticidad en los suelos y este al presentar características de plasticidad bajas, lo convierte en un suelo no plástico, tal como sucede con la agregación solamente de la cal, más aún si el agente estabilizador consiste en la mezcla de cal y cenizas volantes que son agentes que disminuyen la plasticidad en suelos con presencia de limos. En la Tabla 47 se indican los porcentajes de cal y ceniza volante utilizados y los resultados obtenidos.

Tabla 47
Resultados de los ensayos de límites de Atterberg estabilización Suelo-Ceniza Volante

LIMITES DE ATTEBERG (METODO DE CASAGRANDE)				
Porcentaje de cal agregado	Porcentaje de ceniza volante agregado	Límite líquido (LL)	Límite plástico (LP)	Índice de plasticidad (IP)
1%	5%	-	NP	-
6%	20%	-	NP	-
12%	40%	-	NP	-

Fuentes: Elaboración propia

Debido a las características que muestra este suelo a través de la clasificación del mismo con todos los porcentajes expuestos en la Tabla 46 se evidencia que el suelo que en estado natural mostraba un límite plástico de 22.64 un límite líquido de 37.50 y un índice de plasticidad de 14.86 se convierte en no plástico por motivos de costo se recomienda el uso del primer porcentaje 1% de cal con 5% de ceniza volante como agente estabilizador.

4.2.3.2 Características Mecánicas.

4.2.3.2.1 Parámetros de Compactación.

En el caso del parámetro de compactación tenemos un panorama muy distinto, puesto que las densidades secas máximas son menores a las del suelo en estado natural, los cuales están entre 1400 a 1650 kg/cm³, siendo el caso que la dosificación al 1% de cal y 5% de ceniza volante mejora los parámetros mencionados, las demás dosificaciones también presentan valores menores los cuales se pueden observar en la Tabla 48.

Tabla 48

Resultados de compactación estabilizada Suelo-Ceniza Volante

RESULTADOS DE PROCTOR ESTÁNDAR PARA SUELO-CENIZA VOLANTE

Porcentaje de cal agregado	Porcentaje de ceniza volante agregado	γ_d Max (kg/m ³) Suelo estado natural	γ_d Max Suelo estabilizado (kg/m ³)	Porcentaje de mejoramiento Densidad Seca %	Humedad optima del suelo en estado natural %	Humedad optima estabilizado %	Porcentaje de humedad aumentado %
1%	5%		1620	2.83		22,5	2.27
6%	20%	1585	1500	-5.36	22	22,5	2.27
12%	40%		1440	-9.14		23,5	6.81

Fuente: Elaboración propia

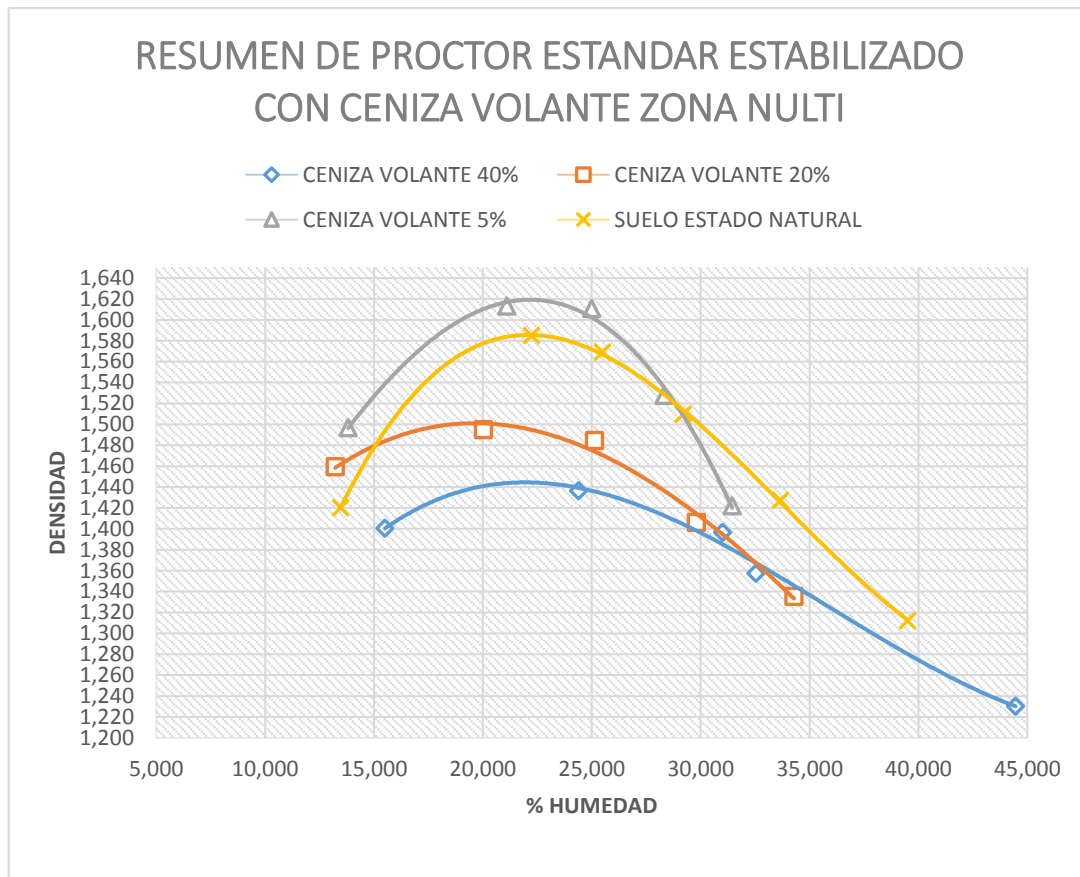


Ilustración 75: Análisis de las Curvas de Compactación Ceniza Volante -Suelo

Fuente: Propia.

La Ilustración 75, indica las curvas de compactación obtenidas mediante la ejecución del ensayo Proctor estándar, como se mencionó anteriormente con la dosificación del 1% de cal y 5% de ceniza volante se obtuvo una mejora en los parámetros de densidad seca máxima, mientras que en el caso de las humedades óptimas se mantienen similares en todas las dosificaciones al igual que el suelo en estado natural. La disminución de las densidades en el caso de las otras 2 dosificaciones se debe las reacciones químicas que se producen tanto por cal y la ceniza volante que va disminuyendo de acuerdo a cuanto se vaya agregando estos aditivos.

4.2.3.2.2 *Parámetros de Cohesión y Angulo de Fricción.*

La mezcla de ceniza volante y cal a este tipo de suelo, ha generado una pérdida del ángulo de fricción, conforme se agregue estos materiales al suelo, presentando solo dos mezclas el aumento de este parámetro en base al del suelo en estado natural expresado

en la Tabla 49. Cabe recalcar que la influencia de la cal ha sido explicada anteriormente. Además de la pérdida de estos parámetros se puede apreciar como la densidad del suelo va disminuyendo paulatinamente.

Tabla 49

Resultados de cohesión, ángulo de fricción con Ceniza Volante y Cal en sus distintos porcentajes

ENSAYO DE CORTE DIRECTO: SUELO ESTABILIZADO CON CENIZA VOLANTE							
Porcentaje de ceniza volante agregado	Porcentaje de cal agregado	Descripción	Densidad final	Humedad Final Promedio	Cohesión C	Ángulo de Fricción Estado Natural ϕ	Ángulo de Fricción ϕ
			Kg/m³	%	Kg/cm²	(°)	(°)
5%	1%		2004	22.65	0		45.07
20%	6%	Muestras	1915	22.24	0	38.65	40.36
40%	12%	alteradas	1779	23.68	0		37.77

Fuente: Elaboración propia

4.2.3.2.3 Capacidad Portante.

En el caso de la resistencia al cortante del suelo, se observa que brinda una mejora significativa comparado con el suelo en estado natural, expresada en la Tabla 50. En la cual genera un aumento significativo en sus dos primeros porcentajes estabilizados. En el caso de la cal se debe a la reorganización de las partículas, que permite soportar mayores solicitaciones, en cambio con la ceniza volante al ser un material puzolánico con la presencia de agua, causa que permita una mayor adherencia entre las partículas y mayor dureza entre ellas.

Tabla 50
Resultados de la capacidad portante con Ceniza Volante y Cal

DETERMINACION DE LA CAPACIDAD PORTANTE									
Porcentaje de ceniza volante agregado	Porcentaje de cal agregado	Factores de capacidad de carga			Capacidad última de carga Suelo Estado Natural (q_u) Kg/cm ²	Capacidad admisible de carga Suelo Estado Natural (q_{adm}) Kg/cm ²	Capacidad última de carga ()	Capacidad admisible de carga (q_{adm}) Kg/cm ²	Porcentaje de Mejora genera en la capacidad admisible de carga %
		N_c	N_q	N_γ					
5%	1%	172.2	173.	325.	12.27	4.09	21.80	7.27	77.75
		8	28	34					
20%	6%	95.66	81.2	115.	13.29	4.43	18.53	55.59	353.06
		7	31	7					
40%	12%	70.01	53.8	65.2					
			7						

Fuente: Elaboración propia

4.3 Estabilización Zona Paccha

4.3.1 Suelo-Cal.

4.3.1.1 Características Físicas.

4.3.1.1.1 Límites de Atterberg.

De la misma forma que en la zona de Nulti expuesta anteriormente para esta zona se utilizan los mismos agentes estabilizadores con los mismos porcentajes, para la estabilización con cal porcentajes del 3%,7% y 12% respectivamente del peso de cada muestra para cada ensayo, los resultados se presentan en la Tabla 51.

Tabla 51
Resultados de datos de Límites de Atterberg estabilización Suelo-Cal

LÍMITES DE ATTEBERG (METODO DE CASAGRANDE)			
Porcentaje de cal agregado	Límite líquido (LL)	Límite plástico (LP)	Índice de plasticidad (IP)
3%	34.10	29.69	4.41
7%	43.00	36.73	6.27
12%	42.4	36.31	6.09

Fuente: Elaboración propia

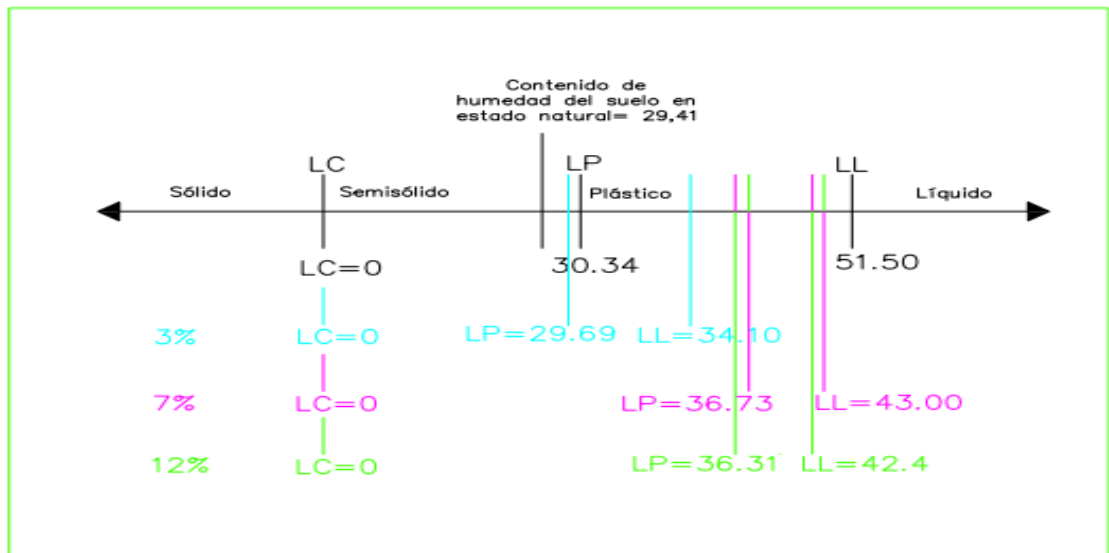


Ilustración 76: Comparación de límite líquido y plástico suelo natural y estabilizado.

Fuente: Propio.

En base a la Ilustración 76 se observa que el porcentaje óptimo para la estabilización de esta zona con cal es el de 7% ya que con el porcentaje del 3% el suelo no incrementa el límite plástico, con el agente al 7% el suelo logra trabajar en un estado elástico pudiendo soportar cargas sin deformarse ya que incrementa notablemente su límite plástico y disminuye su límite líquido en relación al suelo en estado natural, este tipo de suelo es un SM ARENA LIMOSA CON GRAVA, por la cantidad de arena que se encuentra en este suelo se requiere un porcentaje más elevado del agente estabilizador como es el caso del 7% que resulta ser el porcentaje óptimo porque si le agregamos una mayor dosificación del agente estabilizador como en el caso del 12% sus límites líquido y plástico se observan que son menores en relación a los límites al 7%, por lo que este sería el porcentaje óptimo tanto en costo como en mejorar las características del suelo.

4.3.1.2 Características Mecánicas.

4.3.1.2.1 Parámetros de Compactación.

Para la zona de Paccha, las mezclas estabilizantes en los distintos porcentajes presentan una densidad seca máxima que oscilan entre 1380 a 1470 kg/m³, en la Tabla 52 se puede apreciar las densidades secas máximas obtenidas con sus humedades

respectivas. En la cual estos valores son menores al suelo en estado natural Ver Tabla 35 (Datos obtenidos del ensayo de compactación estándar de suelo en estado natural).

Tabla 52

Resultados de datos de ensayo Compactación estabilizada Suelo-Cal

RESULTADOS DE PROCTOR ESTÁNDAR PARA SUELO-CAL PACCHA						
Porcenta je de cal agregado	γ_d Max (kg/m³) suelo estado natura l	γ_d Max Suelo estabiliza do (kg/m³)	Porcentaje de mejoramien to Densidad Seca %	Humeda d optima del suelo en estado natural %	Humedad optima estabiliza do %	Porcentaj e de humedad aumenta do %
3%		1430	-5.23		25	-3.84
7%	1509	1382	-8.42	26	30	15.38
12%		1470	-2.58		27	3.84

Fuente: Elaboración propia

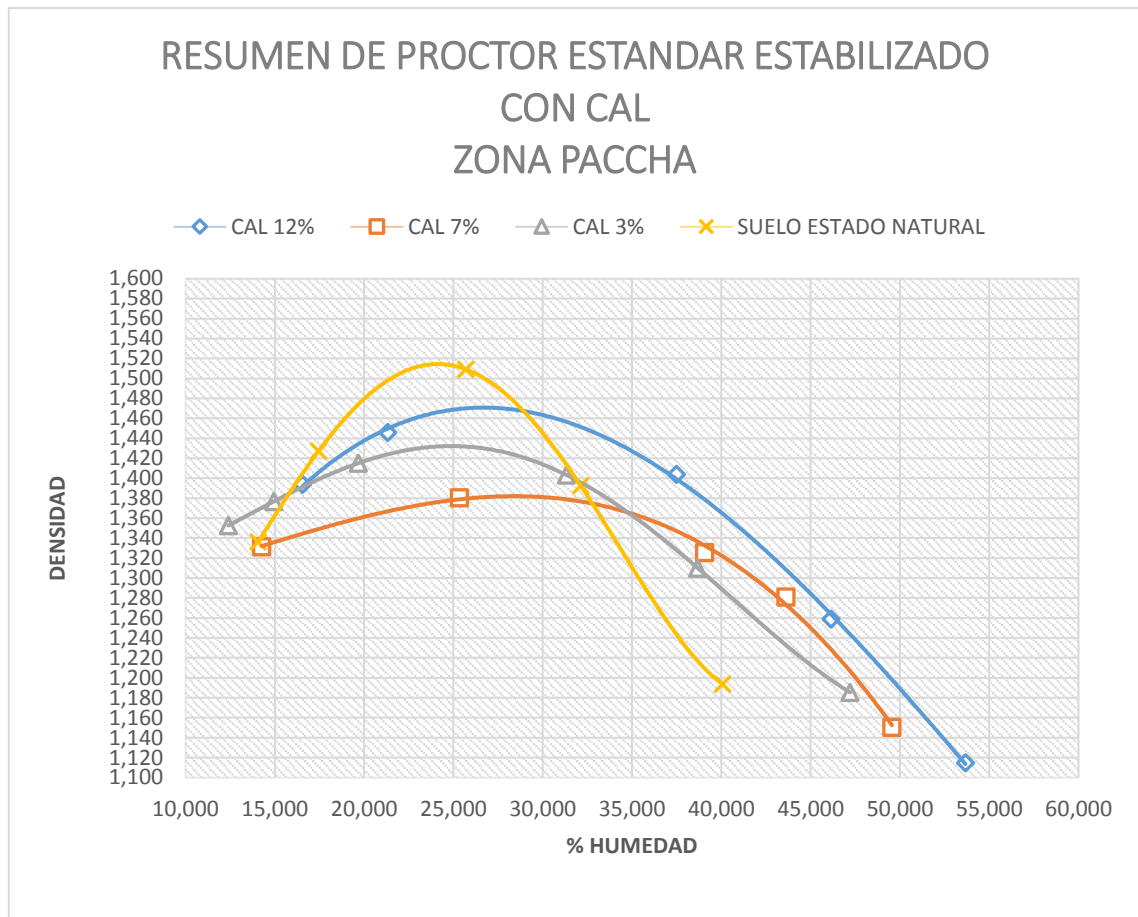


Ilustración 77: Análisis de las Curvas de Compactación Cal-Suelo.

Fuente: Propia.

Mediante la ilustración 77, se puede interpretar los resultados de las curvas de compactación, en la cual se puede observar que el agente estabilizador, no mejora las características de densidad seca sino más bien las disminuye en los 3 porcentajes propuestos para la investigación. Como se mencionó anteriormente en la zona de Nulti, esta disminución se puede asociar a que la arena como tal no tiene cohesión, el limo es el material ligante en este suelo, si se coloca cal, se disminuye el efecto cohesivo del limo con la arena, es decir las partículas de arena y limo no tienen un ligante, trabajan aisladas, por lo cual aumenta la humedad para que se produzca adherencia entre estos dos tipos de suelo. La redistribución de las partículas en fracciones de mayor tamaño hace que ante una misma energía de compactación la densidad máxima que puede obtenerse sea menor. Un mayor tamaño de partícula media se traduce en un menor

número de partículas que ocupan espacios más grandes por unidad de volumen y que conducen a una disminución en la densidad seca, incluso una vez que éstas han llegado a poner todas en contacto y distribuirse de la manera más eficiente, lo que justificaría el porqué de la disminución de este parámetro. Además, un factor que puede estar relacionado es el tipo de suelo, en este caso el material predominante es la arena, por lo que este agente químico no es el adecuado para realizar la estabilización. (Bauza, 2015, pág. 83)

4.3.1.2.2 *Parámetros de Cohesión y Angulo de Fricción*

La utilización de cal, en esta zona de estudio ocasiono un comportamiento inusual, en el primer porcentaje se reduce el ángulo de fricción, respecto al suelo en estado natural, mientras que para los demás porcentajes aumenta este parámetro el cual se puede observar en la Tabla 53.

Tabla 53

Resultados de cohesión, ángulo de fricción con Cal en sus distintos porcentajes

ENSAYO DE CORTE DIRECTO: SUELO ESTABILIZADO CON CAL						
Porcentaje de cal agregado	Descripción	Densidad final	Humedad Final Promedio	Cohesión C	Angulo de Fricción Estado Natural ϕ	Angulo de Fricción Suelo Estabilizado ϕ
		Kg/m3	%	Kg/cm2	(°)	(°)
3%	Muestras	1796	25.47	0	34.60	31.38
7%	alteradas	1803	30.14	0		37.09
12%		1881	26.89	0		39.17

Fuente: Elaboración propia

El aumento del ángulo de fricción se debe a la composición del suelo, que es una arena con presencia de materiales arcillosos y limosos, que como se explicó en la anterior zona, donde se da una pérdida en la cohesión de las partículas, es decir que disminuye la fuerza de unión entre las partículas de arcilla, generando un aumento en la trabajabilidad es decir un aumento en el rozamiento interno del suelo estabilizado.

4.3.1.2.3 Capacidad Portante.

En el caso de la capacidad portante del suelo, este parámetro va aumentando de acuerdo al porcentaje utilizado al generar la estabilización, en el primer porcentaje existe una disminución de este parámetro debido a la pérdida de la fricción interna del suelo. En los demás casos aumenta la resistencia al cortante del suelo, debido a la recuperación del ángulo de fricción generado. La explicación del porque se genera un aumento de la capacidad portante del suelo se explicó en la zona anterior donde se utilizó este agente químico para la investigación. La Tabla 54 indica los resultados obtenidos con el uso de la cal.

Tabla 54
Resultados de la capacidad portante con Cal

DETERMINACION DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO								
Porcentaje de cal agregado	Factores de capacidad de carga			Capacidad ultima de carga Estado Natural (q_u) Kg/cm2	Capacidad admisible de carga Estado Natural (q_{adm}) Kg/cm2	Capacidad ultima de carga (q_u) Kg/cm2	Capacidad admisible de carga (q_{adm}) Kg/cm2	Porcentaje de Mejora genera en la capacidad admisible de carga %
	N_c	N_q	N_γ					
3%	40.41	25.28	22.65			5.84	1.95	-36.69
7%	70.01	53.80	65.27	8.14	3.08	13.46	4.49	45.78
12%	85.97	70.61	19.00			19.00	6.33	105.52

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Suelo- Cloruro de Sodio.

4.3.2.1 Características Físicas.

4.3.2.1.1 Límites de Atterberg.

En la estabilización con cloruro de sodio se utilizó porcentajes del 1, 3 y 5% respectivamente al igual que la zona anteriormente estudiada, porcentajes que se sacan del peso de la muestra a ser estudiada como se explicó en el capítulo 3 para proceder con el ensayo de los límites de Atterberg, mostrando lo resultados expuestos en la Tabla 55.

Tabla 55

Resumen de datos obtenidos de ensayo de Limites de Atterberg con Cloruro de Sodio

LIMITES DE ATTEBERG (METODO DE CASAGRANDE)			
Porcentaje de cloruro de sodio agregado	Limite líquido (LL)	Limite plástico (LP)	Índice de plasticidad (IP)
1%	37.37	30.01	7.36
3%	26.35	33.90	7.55
5%	34.50	26.44	8.06

Fuente: Elaboración propia

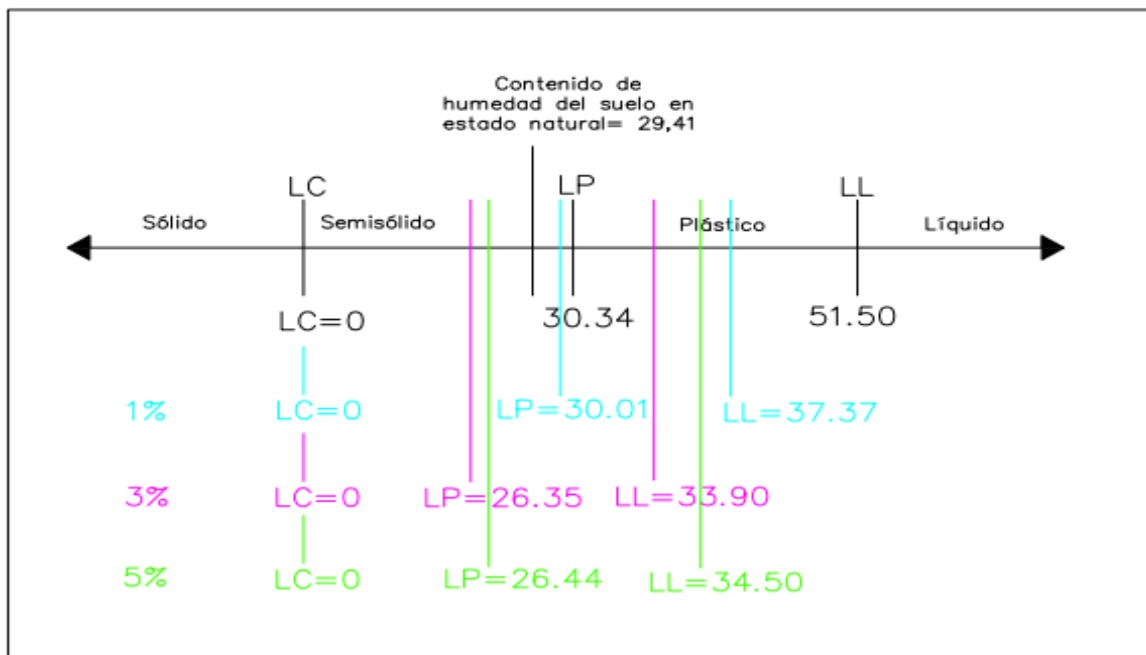


Ilustración 78: Comparación de limite líquido y plástico suelo natural y estabilizado.

Fuente: Propio.

Mediante la ilustración 78 se puede observar que en esta zona el cloruro de sodio como agente estabilizador no funciona con ninguno de los porcentajes antes mencionados ya que ningún límite plástico es mayor al límite plástico en estado natural que es de 30.34 por lo que es innecesario estabilizar a esta zona con este agente debido al tipo de suelo de la zona que según la clasificación dada en la Tabla 33 indica que es un suelo SM ARENA LIMOSA CON GRAVA y debido a la cantidad de humedad que presenta el suelo en estado natural y a la cantidad de arena que este presenta el estabilizante no actúa adecuadamente.

4.3.2.2 Características Mecánicas.

4.3.2.2.1 Parámetros de Compactación.

En el caso de la zona de Paccha, se obtuvieron los resultados del ensayo del Proctor estándar, que se puede observar en la Tabla 56, indica los valores de densidades secas máximas y sus húmedas óptimas correspondientes, para cada caso de dosificación, en la cual se tienen valores de densidades secas que varían desde 1550 0 1650 kg/m³. En este caso el cloruro de sodio aumenta la densidad y reduce la humedad óptima necesaria a comparación del suelo en estado natural.

Tabla 56

Resultados de datos de ensayo Compactación estabilizada Suelo-Cloruro de Sodio

RESULTADOS DE PROCTOR ESTÁNDAR PARA SUELO-CLORURO DE SODIO						
Porcentaje de cloruro de sodio agregado	γ_d Max (kg/m³) suelo estado natural	γ_d Max Suelo estabilizado (kg/m³)	Porcentaje de mejoramiento Densidad Seca %	Humedad óptima del suelo en estado natural %	Humedad óptima estabilizado %	Porcentaje de humedad aumentado %
1%		1570	4.04		23.2	-10.77
3%	1509	1600	6.03	26	22	-15.38
5%		1620	7.35		20	-23.07

Fuentes: Elaboración propia

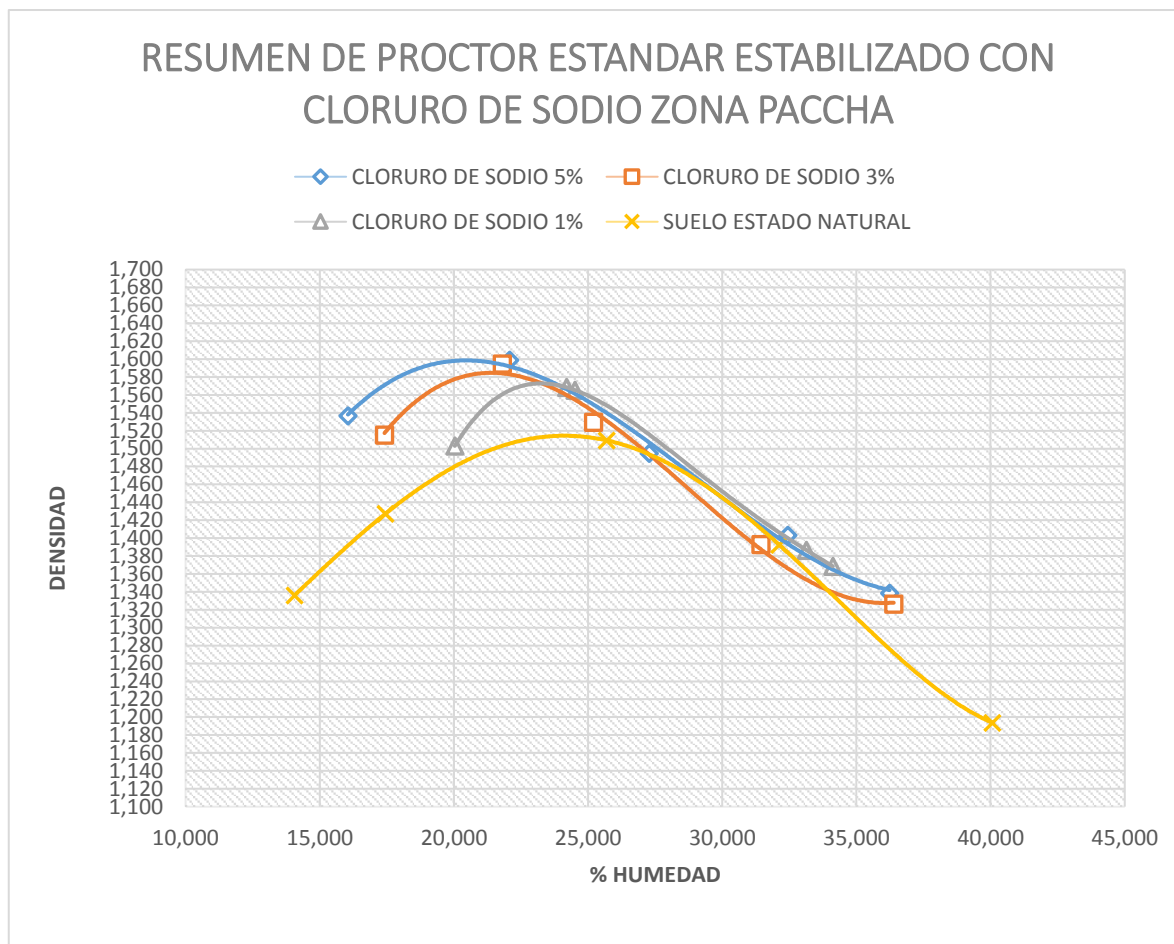


Ilustración 79: Análisis de las Curvas de Compactación Cloruro de Sodio-Suelo.

Fuente: Propia.

En el análisis de las curvas de compactación que presenta la Ilustración 79, se puede observar que, de acuerdo al porcentaje agregado de cloruro de sodio, la curva de compactación aumenta es decir se obtiene mayor densidad y reduce la humedad óptima necesaria. Esto se debe a que el cloruro de sodio es higroscópico, que se explicó en la interpretación de la Ilustración 74 (Análisis de las Curvas de Compactación Cloruro de Sodio-Suelo) de la zona de estudio de Nulti. En este caso el porcentaje que brinda mejores resultados es igual al de la anterior zona la agregación de 5% de cloruro de sodio.

4.3.2.2.2 Parámetros de Cohesión y Angulo de Fricción.

El cloruro de sodio, utilizado como agente estabilizador, ha generado un aumento en la fricción interna del suelo, que de acuerdo al porcentaje agregado de este agente se

puede ver el aumento de este parámetro, como también genera un aumento en la densidad del suelo. En La Tabla 57 se puede observar las densidades y el ángulo de fricción obtenido para esta zona estabilizada.

Tabla 57

Resultados de cohesión, ángulo de fricción con Cloruro de Sodio en sus distintos porcentajes

ENSAYO DE CORTE DIRECTO: SUELO ESTABILIZADO CON CLORURO DE SODIO						
Porcentaje de cloruro de sodio agregado	Descripción	Densidad final	Humedad Final Promedio	Cohesión C	Ángulo de Fricción Estado Natural ϕ	Ángulo de Fricción Suelo Estabilizado ϕ
		Kg/m³	%	Kg/cm²	(°)	(°)
1%	Muestras	1931	23.21	0	34.60	36.27
3%	alteradas	1956	22.06	0		40.31
5%		1950	20.11	0		43.07

Fuente: Elaboración propia

El aumento o la disminución de la fricción interna de un suelo, se basa netamente en la compactación que el suelo a sufrido y la humedad que contiene el mismo, como se explicó anteriormente en el uso del cloruro de sodio para la otra zona de estudio. En el cual se indica, que las partículas del suelo al presentar poca humedad, no generarían una lubricación entre ellas lo que causaría una disminución de la fricción de las mismas, en cambio con un exceso de agua las partículas sufren una separación, por el espacio que este usa, por lo que ocuparía los espacios vacíos. En este caso es visible el aumento del ángulo de fricción del suelo, ya que la humedad y la compactación han sido las adecuadas, también se debe a las propiedades del suelo, que genera que el suelo que no pierda humedad rápidamente si no se mantenga en la adecuada.

4.3.2.2.3 Capacidad Portante.

En la capacidad portante, el cloruro de sodio al existir un incremento en el ángulo de fricción genera un aumento al soporte del cortante del suelo, que va creciendo de acuerdo al porcentaje utilizado para la estabilización. Cabe recalcar que este agente químico, es el que mejor comportamiento ha tenido con este tipo de suelo, ya que en los otros materiales han causado la disminución del parámetro analizado. Como se muestra en la Tabla 58.

Tabla 58

Resultados de la capacidad portante con Cloruro de Sodio

DETERMINACION DE LA CAPACIDAD PORTANTE								
Porcentaje de cloruro de sodio agregado	Factores de capacidad de carga			Capacidad última de carga Suelo Estado Natural (q_u)	Capacidad admisible de carga Suelo Estado Natural (q_{adm})	Capacidad última de carga (q_u)	Capacidad admisible de carga (q_{adm})	Porcentaje de Mejora genera en la capacidad admisible de carga %
	N_c	N_q	N_γ	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	
1%	63.53	47.16	54.36	8.14	3.08	12.47	4.16	35.06
3%	95.66	81.27	115.31			23.12	7.71	150.32
5%	134.58	126.5	211.56			37.88	12.63	310.06

Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Suelo- Ceniza Volante.

4.3.3.1 Características Físicas.

4.3.3.1.1 Límites de Atterberg.

En la estabilización con ceniza volante, se incluyó cal, en los siguientes porcentajes, ceniza volante al 5%, 20% y 40% con su porcentaje de cal respectivo del 1%, 6% y 12%. De la misma forma que en la zona estudiada anteriormente, al transformarse en un

agente más fuerte, los resultados obtenidos le transforman al suelo en no plástico, ya que al contener dos agentes que tienen como ventaja el disminuir la plasticidad de un suelo y aun que presenta una expansividad alta catalogada mediante la Tabla 31, se observa que este suelo con este agente se estabiliza muy bien. En la Tabla 59 se indican los porcentajes de cal y ceniza volante utilizados y los resultados obtenidos.

Tabla 59
Resultados de datos de ensayo Compactación estabilizada Suelo-Ceniza Volante

LIMITES DE ATTEBERG (METODO DE CASAGRANDE)				
Porcentaje de cal agregado	Porcentaje de ceniza volante agregado	Limite Liquido (LL)	Limite Plástico (LP)	Índice de Plasticidad (IP)
1%	5%	-	NP	-
6%	20%	-	NP	-
12%	40%	-	NP	-

Fuente: Elaboración propia

Por medio de la Tabla 58 se observa que con todos los porcentajes de estabilización el suelo se convirtió en no plástico debido a que según su clasificación es un suelo SM ARENA LIMOSA CON GRAVA, al contener una presencia de limos la cal y la ceniza volante actúan adecuadamente ya que absorben la mayor cantidad de agua del suelo disminuyendo notablemente su índice de plasticidad, la cal y la ceniza volante puede ayudar a estabilizar suelos con esta clasificación.

4.3.3.2 Características Mecánicas.

4.3.3.2.1 Parámetros de Compactación.

Los resultados obtenidos del ensayo Proctor estándar para la zona de estudio Paccha se indica en la Tabla 60 en la cual se puede observar que las densidades son menores a la del suelo en estado natural ya que las densidades están alrededor de los 1300 a 1500 kg/cm³, además del aumento de las humedades óptimas.

Tabla 60

Resultados de datos de ensayo Compactación estabilizada Suelo-Ceniza Volante

RESULTADOS DE PROCTOR ESTÁNDAR PARA SUELO-CENIZA VOLANTE							
Porcentaje de cal agregado	Porcentaje de ceniza volante agregado	γ_d Ma. (kg/m ³) suelo estado natural	γ_d Max Suelo estabilizado (kg/m ³)	Porcentaje de mejoramiento Densidad Seca %	Humedad óptima del suelo en estado natural %	Humedad óptima estabilizado %	Porcentaje de humedad aumentado %
1%	5%		1500	-0.60		22,5	-13.46
6%	20%	1509	1455	-3.58	26	24.1	-7.31
12%	40%		1375	-8.88		25	-3.84

Fuente: Elaboración propia

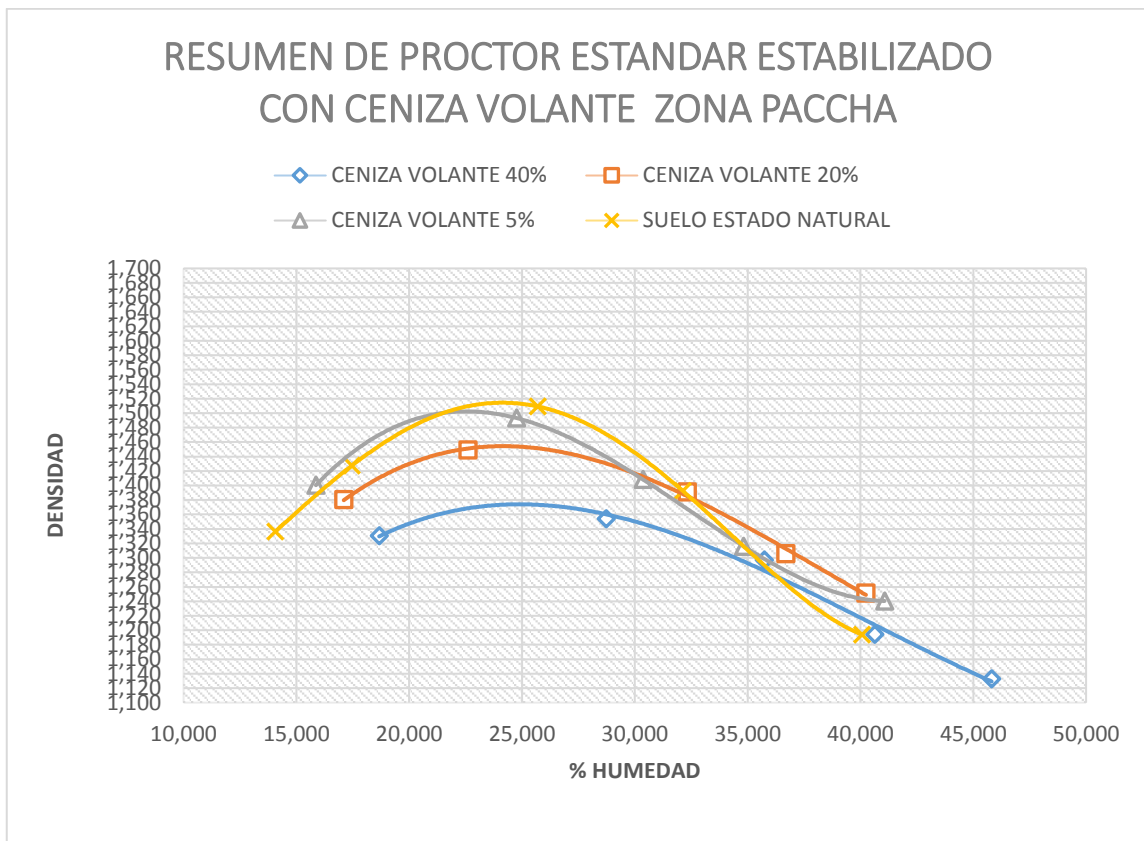


Ilustración 80: Análisis de las Curvas de Compactación Ceniza Volante –Suelo

Fuente: Propia.

Mediante la Ilustración 80, se puede observar que las curvas de compactación de la mezcla estabilizada con ceniza volante, son menores a la del suelo en estado natural, en todas las dosificaciones presentadas para el estudio. Las causas de esta disminución son por el tipo de suelo y las reacciones químicas que se producen, ya que este tipo de estabilización no es apto para suelos arenosos. La reducción de la densidad puede ser también por que las partículas de las cenizas, tiene menor peso que las partículas de arena, es decir cómo se retira un porcentaje de suelo original (arena y limo) y este se reemplaza por la misma cantidad en porcentaje de ceniza, el peso del suelo original resulta ser mayor al peso del suelo reemplazado. El peso específico es igual al peso para el volumen, por lo que al hacer esta relación disminuye el peso con el que se va a trabajar siendo el mismo volumen por lo que consecuentemente baja el peso específico.

4.3.3.2.2 Parámetros de Cohesión y Angulo de Fricción.

El uso de la ceniza volante con cal, no ha generado ningún beneficio en este parámetro analizado, ya que el ángulo de fricción en el primer caso lo ha reducido significativamente, en cambio para los demás porcentajes no genera un aumento significativo, pese a las bondades de la cal y de la ceniza volante. Los resultados obtenidos se aprecian en la Tabla 61.

Tabla 61

Resultados de cohesión, ángulo de fricción con Ceniza Volante y Cal en sus distintos porcentajes

ENSAYO DE CORTE DIRECTO: SUELO ESTABILIZADO CON CENIZA							
VOLANTE							
Porcentaje de ceniza volante agregado	Porcentaje de cal agregado	Descripción	Densidad final	Humedad Final Promedio	Cohesión C	Ángulo de Fricción Estado Natural ϕ	Ángulo de Fricción ϕ
			Kg/m ³	%	Kg/cm ²	(°)	(°)
5%	1%		1842	22.61	0		20.55
20%	6%	Muestras	1813	24.08	0	34.60	36.86
40%	12%	alteradas	1741	25.23	0		38.66

Fuente: Elaboración propia

4.3.3.2.3 Capacidad Portante.

Al estar ligados parámetros de cohesión y ángulo de fricción estrechamente con la determinación de la resistencia al cortante del suelo, ha causado que, en el primer caso de porcentaje utilizado para la estabilización, se genere una drástica disminución en el parámetro analizado, mientras que en los otros dos casos genera un pequeño aumento que se puede apreciar en la Tabla 62.

Tabla 62
 Resultados de la capacidad portante con Ceniza Volante y Cal

DETERMINACION DE LA CAPACIDAD PORTANTE									
Porcentaje de ceniza volante agregado	Porcentaje de cal agregado	Factores de capacidad de carga			Capacidad última de carga Suelo Estado Natural (q_u) Kg/cm ²	Capacidad admisible de carga Suelo Estado Natural (q_{adm}) Kg/cm ²	Capacidad última de carga (q_u) Kg/cm ²	Capacidad admisible de carga (q_{adm}) Kg/cm ²	Porcentaje de Mejora generada en la capacidad admisible de carga %
		N_c	N_q	N_γ					
5%	1%	17.69	7.44	3.64	8.14	3.08	1.60	0.53	-
20%	6%	63.53	47.16	54.36			11.71	3.90	26.62
40%	12%	77.50	61.55	78.61			15.09	5.03	63.31

Fuente: Elaboración propia

4.4 Análisis de costos

Para el análisis de costos, se hace una valoración en función de estabilizar un metro cubico de suelo; con lo cual, se encuentra el peso respectivo para cada zona en función a su densidad en estado natural y en relación a este con los debidos porcentajes del análisis de resultados obtenidos se encuentra el peso de cada estabilizante, este procedimiento se realiza para las dos zonas de estudio, donde se podrá comparar entre los agentes de mejora del suelo el más conveniente respecto al ámbito económico, este valor se obtuvo en función del costo comercial de cada agente. La Tabla 63 expone el costo de cada agente estabilizador que se debe agregar para la estabilización en cada zona de estudio.

Tabla 63

Costos de los diferentes agentes estabilizadores de acuerdo al porcentaje

Zona de Estudio	Agente Estabilizante	Porcentaje del agente estabilizador (%).	Peso del agente estabilizador en un metro cubico (Kg).	Costo del agente por metro cubico (\$).
PACCHA	Cal	3%	45.27	\$8.62
		7%	105.63	\$20.11
		12%	181.08	\$34.48
	Cloruro de Sodio	1%	15.09	\$ 12.10
		3%	45.27	\$ 36.22
		5%	75.45	\$ 60.36
	Cenizas Volantes más la adición de	Cenizas Volantes 5% más Cal 1%	Cenizas Volantes 75.45, Cal 15.09	\$ 7.13
		Cenizas Volantes más la adición de 20% más Cal 6%	Cenizas Volantes 301.8, Cal 90.54	\$ 34.25
		Cenizas volantes 40% más Cal 12%	Cenizas Volantes 603.6, Cal 181.08	\$ 68.52
	NULTI	Cal	3%	47.55
7%			110.95	\$ 21.12
12%			190.2	\$ 36.22
Cloruro de Sodio		1%	15.85	\$ 12.68
		3%	47.55	\$ 38.04
		5%	79.25	\$ 63.4
Cenizas Volantes más la adición de Cal.		Cenizas Volantes 5% más Cal 1%	Cenizas Volantes 79,25 Cal 15.85	\$ 6.19
		Cenizas volantes 20% más Cal 6%	Cenizas Volantes 317 Cal 95.1	\$ 35.99
		Cenizas volantes 40% más Cal 12%	Cenizas Volantes 634 Cal 190.2	\$ 71.97

Fuente: Elaboración propia.

4.5 Conclusiones.

- A. Se pudo observar que la humedad natural de las dos zonas de estudio es parecida Nulti tiene 25.4 y Paccha 29.41 pero de acuerdo a los límites de Atterberg el índice de plasticidad de los dos suelos es muy diferente Nulti 14.86% y Paccha 21.16%, de acuerdo a este índice se pudo encontrar el grado de expansividad para Nulti un potencial de expansividad bajo y Paccha un potencial de expansividad alto.
- B. Según la compactación del suelo en estado natural se muestra densidades semejantes para las dos zonas de estudio: Nulti 1585 kg/m³ y Paccha 1509 kg/m³ con humedades optimas respectivas de 22% y 26%. La clasificación mediante la norma AASHTO para Paccha es un suelo SM arena limosa con grava y mediante SUCS es una grava y arcilla arenosa o limosa; para Nulti mediante AASHTO es un suelo GM (grava limosa con arena) y mediante SUCS es una grava y arena arcillosa o limosa.
- C. La capacidad admisible de carga q_{adm} en Kg/cm² a 2m de profundidad es de 4.09 Kg/cm² para Nulti y 3.08 Kg/cm² para Paccha, se puede observar que la capacidad portante de Nulti es muy buena, pero pese a esto se debe estudiar los antecedentes de terrenos cercanos y su comportamiento no solo geotécnico si no también geológico, ya que en esta zona se encuentra la Formación Azogues y la Formación Loyola que son Formaciones inestables y susceptibles a deslizamientos, formando Depósitos Coluviales.
- D. En el caso de las estabilizaciones de Nulti con los tres porcentajes de cal mediante el ensayo de los límites de Atterberg se evidencia que el material se convierte en no plástico es decir empieza a trabajar en un rango elástico por lo que le fue favorable todos los porcentajes de cal añadidos al suelo, para el

ensayo de compactación se observó a través de la Tabla 40 que con todos los porcentaje incremento su densidad en relación a la densidad del suelo en estado natural, pero el porcentaje que más le favoreció fue el del 3% de cal ya que fue el que más aumento su densidad y disminuyo su humedad óptima. Para el caso de la capacidad portante, también se observa que con todos sus porcentajes incrementa notablemente esta, mientras mayor es el porcentaje de cal agregado al suelo este aumenta notablemente sin embargo con el menor porcentaje también se observa que incrementa su capacidad admisible de carga de 4.09 Kg/cm² a 7.82 kg/cm²; por lo que, el porcentaje que más le favorece a este tipo de suelo es el 3% en este caso ya que se tomó como modelo para la cimentación una vivienda de dos pisos, esto también coincide con el porcentaje que se escogería por motivos de costo del agente estabilizador, si se desea que el suelo soporte más carga se puede aplicar los porcentajes al 7% o al 12%.

- E. En la estabilizaciones con Cloruro de Sodio en Nulti en el ensayo de los límites de Atterberg, se observa que con los tres porcentajes aplicados incrementa su límite plástico en relación al suelo en estado natural, el porcentaje del agente que más le favorece a este tipo de suelo es el del 3%; en el ensayo de compactación se observó que todas las densidades incrementan en relación a la densidad del suelo en estado natural, siendo la densidad mayor la del 5% con una humedad optima de 19%, en el ensayo de la capacidad portante todas disminuyen en relación a la del suelo en estado natural que presentaba una capacidad de 4.09 kg/cm², mediante la Tabla 45 se puede observar que mientras mayor sea el porcentaje del cloruro de sodio agregado al suelo este disminuye su resistencia al corte; por lo que, este

agente estabilizador se puede evidenciar que no genera ningún beneficio en suelos de clasificación GM (grava limosa con arena) o grava y arena arcillosa o limosa como es el caso del suelo de Nulti, ya que pese a que incrementa su densidad y sus límites plástico sea mayor al del suelo en estado natural y comience a trabajar en un rango elástico este tampoco mejora su capacidad portante al contrario la disminuye notablemente por lo que este tipo de agente no es adecuado para el tipo de suelo que se tiene.

- F. En la estabilización del suelo de Nulti con cenizas volantes con la adición de cal mediante el ensayo de los límites de Atterberg, para todos los porcentajes de este estabilizante al suelo lo convierte en no plástico; es decir, logra que trabaje en un rango elástico, soportando cargas sin deformarse, en el ensayo de compactación, mediante la Tabla 48 se puede evidenciar que la densidad del suelo aumenta solo con el primer porcentaje en relación a la densidad del suelo en estado natural, con los siguientes porcentajes esta densidad disminuye, mientras tanto para el ensayo de la capacidad portante con todos los porcentajes se incrementa, notando a través de la Tabla 50 que con el menor porcentaje de ceniza volante y cal incrementa notablemente la capacidad admisible de carga de 4.09 a 18.53 kg/cm², no así con los porcentajes superiores del agente estabilizador, evidenciando que mientras mayor es el porcentaje del agente estabilizador deja de aumentar la capacidad portante del suelo, tendiendo a disminuir en relación a la capacidad portante en estado natural por lo que se evidencia que el porcentaje óptimo es del 5% de ceniza y 1% de cal ya que el suelo trabaja en un rango elástico que tiene mayor densidad e incrementa su capacidad portante en relación al suelo en

estado natural; en cuanto a costos sería el más adecuado en el caso de que la estabilización se realice con este tipo de agentes.

- G. Para la zona de Paccha la estabilización con los tres porcentajes de cal para el ensayo de los límites de Atterberg mostrados en la ilustración 76, se puede observar que los porcentajes más factibles son el del 7% y 12% del agente estabilizador ya que estos logran que este tipo de suelo, que por clasificación sin estabilizar es un SM arena limosa con grava o también clasificado como una grava y arcilla arenosa o limosa deje de trabajar en un rango plástico y comience a trabajar en un rango elástico, esto no sucede con el porcentaje del 3% debido a la presencia de arena que presenta el suelo, en el ensayo de compactación se observa que, con ninguno de los porcentajes de estabilización aumenta la densidad en relación a la densidad del suelo sin estabilizar que es de 1509 kg/m³, para el ensayo de la capacidad portante al igual que en los límites esta aumenta con el porcentaje de 7% y 12% con relación al porcentaje de 3% la capacidad portante que es menor a la del suelo sin estabilizar; por lo que, el porcentaje recomendado de cal en este tipo de suelo es al 7% ya que con este trabaja en un rango elástico, incrementa su capacidad y aun que su densidad no aumente en relación a la del suelo en estado natural, esto se puede dar debido a que el peso específico es igual al peso para el volumen, pudiendo tener el mismo volumen pero disminuye su peso debido a que la cal y la ceniza absorbe humedad, teniendo un suelo que pueda soportar cargas y que trabaje en un rango elástico, la densidad puede sustentarse con una mejor cimentación, se observa que mientras mayor es el porcentaje del estabilizante aumenta su capacidad portante, por motivos de

costo se escoge el porcentaje del 7%. Si se desea implementar una estructura de mayor peso se debería estabilizar con el 12% de cal.

- H. En la zona de Paccha se pudo observar que en la estabilización con cloruro de sodio mediante la Ilustración 78 muestra que en este tipo de suelo con ninguno de los tres porcentajes deja de trabajar en rango plástico, trabajando con un límite líquido y plástico menores al del suelo en estado natural, en el caso del ensayo de compactación la densidad con todos los tres porcentajes incrementa en relación al suelo en estado natural como se pudo observar en la Tabla 56, también disminuye la humedad óptima, en el caso del ensayo de la capacidad portante esta también incrementa con el aumento del porcentaje del agente estabilizador, sin embargo pese a que la densidad y la capacidad portante aumenten el suelo sigue trabajando en estado plástico, esto no asegura que el suelo soporte cargas sin deformarse, por lo que este agente no sería adecuado para este tipo de suelo ya que al trabajar en un rango plástico al momento de estar sometido a cargas puede fracasar.
- I. En la estabilización con cenizas volantes con la adición de cal para la zona de Paccha en el ensayo de los límites de Atterberg este se vuelve no plástico, en el ensayo de compactación con todos los porcentajes las densidades son menores a la densidad del suelo sin estabilizar mientras que en el caso de la capacidad portante esta disminuye con el primer porcentaje e incrementa con los porcentajes siguientes por lo que podemos decir que a mayor cantidad del estabilizante tiende a subir la capacidad portante del suelo pero a disminuir su densidad, en este caso el porcentaje óptimo que se podría escoger sería el de 20% de ceniza volante con la adición del 6% de cal, ya que este porcentaje

incrementa la capacidad portante y hace que el suelo trabaje en un rango elástico asegurando que el suelo soporte carga.

- J. Se determinó que para las dos zonas de estudio el agente que más le favorece a la zona de estudio de Nulti es la cal al 3% seguido de la estabilización con cenizas volantes al 5% con adición de cal al 1% y para la zona de Paccha el agente estabilizador que más le favorece es la cal al 7% seguido de la estabilización con ceniza volante al 20% con la adición de cal al 6%.
- K. En función del tipo de suelo se puede concluir para el caso de Nulti que es un suelo de clasificación GM Grava limosa con arena, por la cantidad de limos que presenta, la estabilización que más le favorece es el 3% de Cal ya que su límite líquido que en estado natural es del 37.50 y el límite plástico de 22.64 mediante la estabilización se convierte en un suelo NP es decir no plástico. En el caso de la densidad en estado natural es de 1585 kg/m³ esta aumenta a 1722 kg/m³ y su capacidad admisible de carga que en estado natural es de 4.09 kg/cm² incrementa a 7.82 kg/cm². Respecto al análisis de costos por metro cubico es de \$9.1 siendo una de las estabilizaciones menos costosas en relación a los diferentes agentes y sus diferentes porcentajes, el porcentaje escogido se puede avalar con bibliografía citada de Laura Parra, María Santana y José Estire que recomiendan porcentajes del 2% al 4% coincidiendo con el valor recomendado que es del 3%.
- L. Para el caso de Paccha que es un suelo SM arena limosa con grava, sus límites que en estado natural son de limite liquido 51.50 y limite plástico 30.34 se recomienda la estabilización con cal al 7% ya que su límite plástico incrementa a 36.73 y su límite liquido disminuye a 43.0 haciendo trabajar al suelo en un rango elástico, su densidad disminuye, pero eso se puede

sustentar con una cimentación un tanto más grande ya que no existe mayor inconvenientes si baja la densidad, su capacidad admisible de carga sin estabilizar es de 3.08 kg/cm² y su capacidad admisible del suelo estabilizado es de 4.49 kg/cm². Pero en general se puede notar que ninguna de las estabilizaciones probadas en este tipo de suelo le favorece en todos sus aspectos como límites, densidad y capacidad de carga debido a la cantidad de arena que presenta el suelo por lo que bibliografía citada recomienda en este tipo de suelos con presencia de arenas el uso de cemento como estabilizante.

4.6 Recomendaciones.

- A. Los suelos deben ser clasificados por el método de (SUCS Y AASTHO), ya que de esta forma los resultados que se obtienen por el método de SUCS que se utiliza generalmente para cimentaciones, serán confirmados a través del método de la AASTHO y se tendrá una clasificación precisa.
- B. Para encontrar la capacidad portante de un suelo en el medio local es recomendable basarse en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) en el apartado de Geotecnia y Cimentaciones ya que es una norma establecida y comprobada a nivel nacional que se fundamenta en la seguridad de las estructuras.
- C. Una vez extraídas las muestras de la zona de estudio se debe tomar una pequeña muestra y guardarla en una funda plástica sellada para que conserve la humedad natural del suelo, ya que las muestras tomadas para los demás ensayos tienden a perder humedad más rápido.
- D. Realizar más estudios en diferentes porcentajes a los mencionados en el presente estudio con los mismos agentes estabilizadores para futuras comparaciones.
- E. Realizar un análisis más profundo en el caso de la ceniza volante y utilizarla sola como agente estabilizador de suelos a diferentes porcentajes, pudiendo ser valores intermedios a los utilizados en la presente investigación.
- F. Se recomienda estabilizar con cloruro de sodio suelos de una clasificación diferente a los estudiados para poder determinar su alcance como agente.
- G. Estabilizar las zonas de estudio con cemento en diferentes porcentajes ya que, en la clasificación del tipo de suelo de las dos zonas, las dos contienen un porcentaje de arena que bibliografía como la de Braja Das en el libro de

fundamentos de la Ingeniería Geotécnica recomienda el uso de cemento para este tipo de suelos.

- H. En los mismos suelos estudiados estabilizarlos mecánicamente pudiendo ser a través de compactación, comparar cuál de los dos métodos de estabilización le favorece a este tipo de suelo si la estabilización mecánica o química.
- I. Realizar la presente investigación en un tipo de suelo diferente pudiendo ser estos cohesivos con los mismos agentes y porcentajes de la presente investigación, comparar en que suelo presenta mayores beneficios ya que el estudio se realizó en suelos granulares.
- J. Se recomienda el uso de la investigación presente a los GADS de las parroquias de Nulti y Paccha para trabajos que se fuesen a realizar en las zonas de estudios o en sectores cercanos a la misma.

Bibliografía

- ALBÁ, M. A. (2014). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS CON CAL Y CEMENTO EN EL SECTOR CALCICAL DEL CANTÓN TOSAGUA PROVINCIA DE MANABÍ*. DISERTACIÓN DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR , Escuela Civil, Manabí.
- Alonso, M., & Luxán, M. (1995). *APLICACIONES DE LAS CENIZAS VOLANTES EN EL CAMPO DE LA CONSTRUCCIÓN*. (A. d. Eléctrica, Ed.) Madrid, España.
- ASTM-D2216. (2019). *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*,. Obtenido de ASTM INTERNATIONAL: <https://www.astm.org/Standards/D2216>
- Bauza, J. D. (2015). *El tratamiento de los suelos arcillosos con cal*. Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, Departamento de Mecánica de Medios Continuos, Teoría de Estructuras e Ingeniería del Terreno, Sevilla.
- Braja, D. (1999). *Principio de ingeniería de cimentaciones*. Mexico.
- Braja, D. (2015). Estabilización con ceniza volante. En B. M. Das, *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (pág. 270). México: CENGAGE LEARNING.
- Brown. (1977). *Clasificación de un relleno*. DAIA.
- Civil, I. (22 de 02 de 2011). *Apuntes Ingeniería Civil*. Obtenido de Apuntes Ingeniería Civil: <https://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2011/02/cohesion-y-friccion-interna-propiedades.html>
- Cochachin Mendoza, R. C. (2018). *Estabilización y durabilidad de sub base usando la cantera de Challhua con adición de cloruro de sodio en 2, 4 y 6% - Huaraz – 2017*. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil,

UNIVERSIDAD SAN PEDRO , FACULTAD DE INGENIERÍA , Huaraz.

Recuperado el 18 de 03 de 2020

- Das, B. (2013). *Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica*. Mexico: Cengage Learning.
- Das, B. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (Vol. 4). (J. L. Cardenas, Trad.) Mexico: Cengage Learning.
- Fratelli, M. G. (1993). Procesos de Mejoramiento de Suelos. En M. G. Fratelli, *Suelos, Fundaciones y Muros* (pág. 93). Venezuela.
- George, B. S., & George, F. S. (1972). Cimentaciones. En B. S. George, & F. S. George, *Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones* (pág. 71). Mexico: Limusa.
- George, S. G. (1972). LA NATURALEZA DE LOS SUELOS Y DE LAS ROCAS. En S. G. F., *INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES* (pág. 71). Mexico: Limusa.
- Jairon, R. d. (2010). *Estabilización de suelos con cloruro de sodio*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Laura Parra, María Santana & José Estaire. (2009). ANÁLISIS DE VARIOS PLIEGOS, NORMATIVAS Y RECOMENDACIONES DE SUELOS. *Conferencia: III Jornadas Hispano Portuguesas sobre Geotecnia en Infraestructuras Ferroviarias*. Madrid.
- NEC. (10 de enero de 2014). *Vivienda de 2 pisos con luces de hasta 5 m parte 2*. Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- Nulti, G. A. (Mayo de 2015). Diagnóstico por componentes. *ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA NULTI*. Cuenca, Azuay, Ecuador.

- P.R.E.C.U.P.A. (1998). *Geología y Geotecnia*. Estudios , Cuerpo Suizo de Socorro; Instituto Ecuatoriano de Electrificación, Cuenca.
- Paccha, G. a. (2015). *ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE PACCHA*.
- Patrone, J., & Prefumo, J. E. (2000). La acción de lo suelos expansivos sobre las cimentaciones, métodos de prevención y control. *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*. Montevideo, Montevideo, Uruguay: Universidad de Montevideo, Facultad de Ingeniería.
- Peck. (1983). *Identificación y clasificación de suelos y de rocas*. Mexico: Limusa.
- Peña, J. C. (2002). *Síntesis de zeolitas a partir de cenizas volantes de centrales termoeléctricas de carbón*. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Naturals, Barcelona.
- Reid, P. B.-D. (1993). *MECANICA DE SUELOS* . Bogota: McGRAW-HILL.
- SOWERS, G. B. (1972). CONSTRUCCIONES DE TIERRA: COMPACTACION Y ESTABILIZACION. En G. B. SOWERS, *INTRODUCCION A LA MECANICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES* (pág. 267). México: Limusa.
- Sowers, G. B., & Sowers, G. F. (1972). En *INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES* (pág. 618). Mexico: Limusa.
- Suarez, J. (2009). *Deslizamientos volumen I. Análisis geotécnico*. Universidad Industrial de Santander.
- TRIVIÑOS, N. N. (2005). *ESTUDIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELO ESTABILIZADO CON SAL: FRENTE A LA ACCIÓN DEL AGUA, PARA DISTINTAS MEZCLAS* ESTUDIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELO ESTABILIZADO CON SAL: FRENTE A LA ACCIÓN DEL AGUA, PARA DISTINTAS MEZCLAS. Tesis para optar al Título de: Ingeniero Civil en Obras

Civiles, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería,
Valdivia.

Anexos

4.7 Anexos A fotográficos



Mezcla de suelo estabilizado con Cal.



Extracción de Muestra Zona de estudio Paccha.



Tendido de muestra de la Zona de estudio de Paccha.



Muestra de Ensayo de Compactación.



Mezclado de la muestra de suelo con Ceniza Volante.



Equipo tamizador para materiales finos.



Muestra Inalterada Zona Paccha para ensayo de Corte Directo.



Muestra tallada para ensayo de Corte Directo.



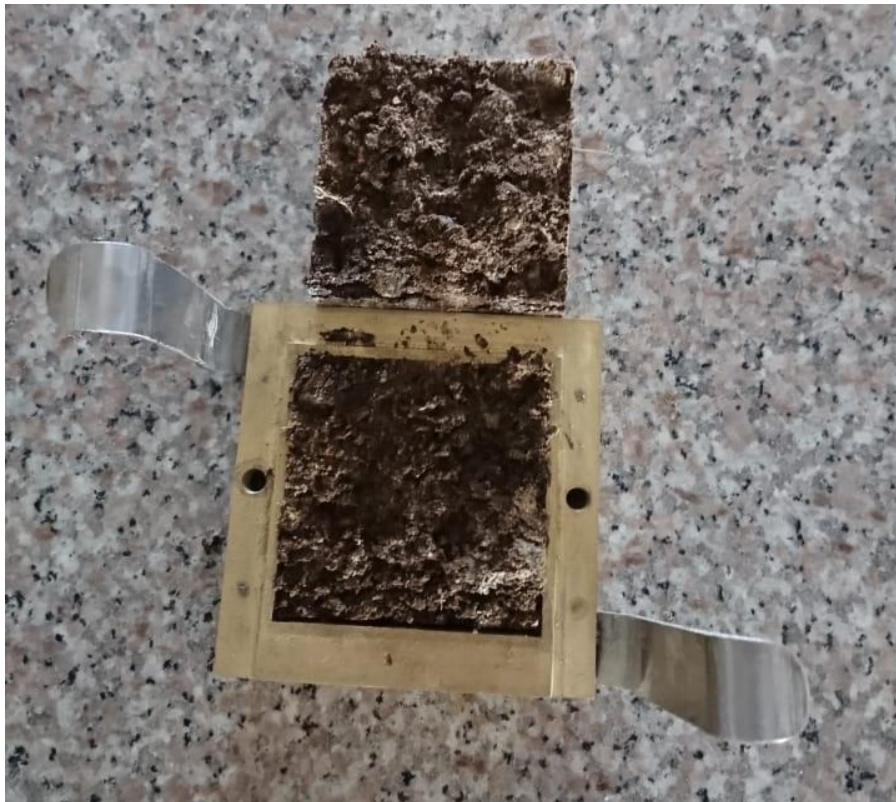
Muestra de Ensayo de Compactación con Cloruro de Sodio.



Extracción de muestra de la zona de estudio Nulti.



Extracción de muestra de la zona de estudio Nulti.



Ensayo de Corte Directo muestra sin estabilizar Zona Nulti.



Muestras ensayadas de Corte Directo Zona Nulti.



Muestras ensayadas de compactación estándar Zona Nulti.



Muestras de Ensayos de Limites de Atterberg Cal 3%.



Cuchara de Casagrande



Muestras de Ensayos de Limites de Atterberg Cloruro de Sodio 1%.



Muestra para determinación de límites de atteberg cal 3%.


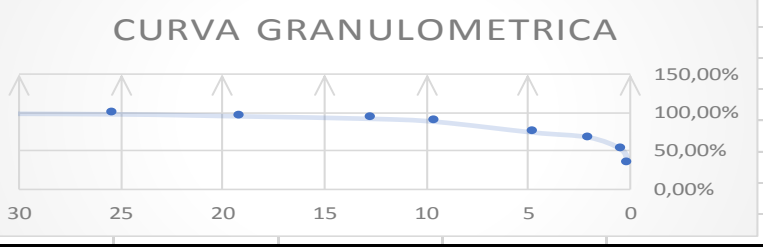


Muestra con Cal 12% para ensayo de compactación.



Preparación de la muestra con Cal 7% para ensayo de compactación

4.8 Anexos B Ensayos de Laboratorio Zona de Estudio Paccha Estado Natural

 Universidad Católica de Cuenca														
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL														
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN														
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO														
PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE													
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO PACCHA													
SOLICITADO POR :	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA													
FECHA	26/08/2019													
	ABERTURA	PESO RET.	RET. ACUM.	%	%	%								
TAMIZ Nº	MM.	GM.	GM.	RETENIDO	PASA	ESPECIF.								
3"	76,2	0	0	0,00%	100,00%									
2 1/2"	63,5	0	0	0,00%	100,00%									
2"	50,8	0	0	0,00%	100,00%									
1 1/2"	38,1	0	0	0,00%	100,00%									
1"	25,4	108	108	1,46%	98,54%									
3/4"	19,1	204	312	4,22%	95,78%									
1/2"	12,7	246,5	558,5	7,55%	92,45%									
3/8"	9,52	295,5	854	11,55%	88,45%									
Nº4	4,76	1061	1915	25,90%	74,10%									
PASA Nº4		5948,5	5478,45											
10	2	41,5	41,5	32,58%	67,42%									
40	0,42	99,4	140,9	48,57%	51,43%									
200	0,074	113,4	254,3	66,82%	33,18%									
FONDO		3,7	258	67,42%	32,58%									
TOTAL			7393,45											
PESO ANTES DEL ENSAYO		500	PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO	=		500								
PESO DESPUES DEL ENSAYO		240,8	PESO SECO ANTES DEL LAVADO	=		460,49								
% DE HUMEDD		8,58	PESO SECO DESPUES DEL LAVADO	=		258								
<p style="text-align: center;">CURVA GRANULOMETRICA</p>  <table border="1" style="float: right; margin-top: 10px;"> <tr> <td>G=</td> <td>25,90%</td> </tr> <tr> <td>S=</td> <td>40,92%</td> </tr> <tr> <td>F=</td> <td>33,18%</td> </tr> <tr> <td></td> <td>100,0%</td> </tr> </table>							G=	25,90%	S=	40,92%	F=	33,18%		100,0%
G=	25,90%													
S=	40,92%													
F=	33,18%													
	100,0%													
	AASTHO	SUCS												
ASIFICACION	A-2-7-2 Grava y Arcilla arenosa o limosa	SM ARENA LIMOSA CON GRAVA												
Ing. Luis Mario Almache					Ing. Marcos González									
Jefe de Laboratorio					Laboratorista									



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

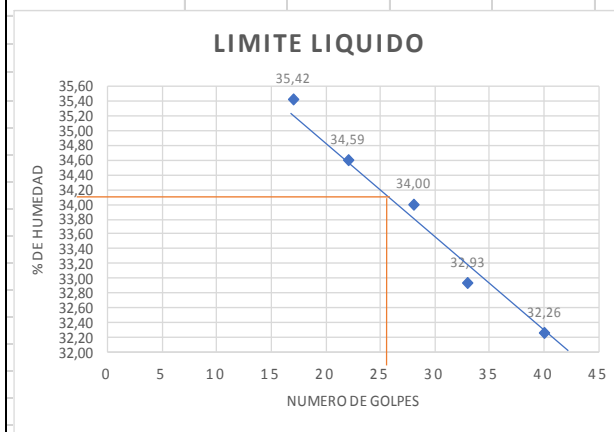
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONNA PACCHA ESTABILIZADA CON CAL 7%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	28/08/2019

LÍMITES DE ATERBERG

TARRO #	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
	10	14	50	7	3	6	26	2	7	1
# DE GOLPES	40	33	28	22	17					
PESO HUM.+ TARRO	37,8	42,8	44,18	44,95	45,47	23,6	23,1	22,4	24,7	22,25
PESO SEC. + TARRO	33,8	37,3	38,4	39,8	39,2	23,22	22,6	22,22	24,45	21,95
PESO AGUA	4	5,5	5,78	5,15	6,27	0,38	0,5	0,18	0,25	0,3
PESO TARRO	21,4	20,6	21,4	24,91	21,5	21,94	20,9	21,6	23,6	20,98
PESO MUESTRA SECA	12,4	16,7	17	14,89	17,7	1,28	1,7	0,62	0,85	0,97
% DE HUMEDAD	32,26	32,93	34,00	34,59	35,42	29,69	29,41	29,03	29,41	30,93

GRAFICA LIMITE LIQUIDO



LIMITE PLASTICO = 29,69

LIMITE LIQUIDO = 34,10

INDICE DE PLASTICIDAD = 4,41

FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

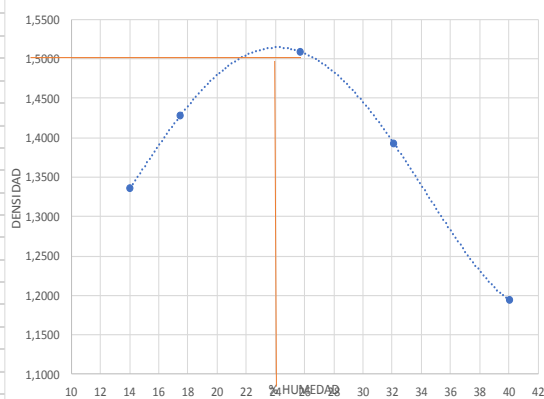
ENSAYO	ESTADO NATURAL	MUESTRA	ESTADO NATURAL ZONA PACCHA
MOLDE N°	5275	SOLICITADO	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
VOLUMEN DEL MOLDE	929,39	NÚMERO DE CAPAS	25
PESO DEL MOLDE	4256,5	GOLPES POR CAPA	3

MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	17,66	23,66	32,66	41,66	50,66
AGUA AUMENTADA EN C.C	165	275	440	605	770
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5673	5814,5	6019,5	5975,5	5810,5
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4256,5	4256,5	4256,5	4256,5	4256,5
PESO SUELO HUMEDO	1416,5	1558	1763	1710	1554
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	929,39	929,39	929,39	929,39	929,39
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,524	1,676	1,897	1,840	1,672

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRAS	1		2		3		4		5	
NUMERO DE TARRO	14	88	35	18	13	16	11	8	7	10
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	94,2	95,6	119,4	130,7	75,6	114,5	117,5	106,6	107,5	135
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	88	89,2	111,6	120,3	69,1	104,7	104,8	93,9	91,7	115,4
PESO AGUA	6,2	6,4	7,8	10,4	6,5	9,8	12,7	12,7	15,8	19,6
PESO DEL TARRO	43,8	43,8	70	55,9	43,7	66,7	66,8	52,7	52,8	65,8
PESO DEL SUELO SECO	44,2	45,4	41,6	64,4	25,4	38	38	41,2	38,9	49,6
CONTENIDO DE AGUA EN %	14,03	14,10	18,75	16,15	25,59	25,79	33,42	30,83	40,62	39,52
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	14,06		17,45		25,69		32,12		40,07	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,3362		1,42731		1,50922		1,3926		1,1938	

CURVA DE COMPACTACION



Densidad Seca Máxima	
kg/m³=	1509
Humedad optima %=	26



FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO PACCA ESTADO NATURAL
SOLICITADO POR	DIANA BARRÓS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	16/09/2019

DETERMINACION DE HUMEDAD					
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
PesoH	179,5	PesoH	189,94	PesoH	194,83
PesoC	156,6	PesoC	165,1	PesoC	171,3
PesoT	52,94	PesoT	52,91	PesoT	64,65
%W	22,09	%W	22,14	%W	22,06

DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD					
Peso Anillo	Phumed o1	Phumedo2	Volumen Anillo		
139,7	300,1	300,8	303	86,02	
Pesoinal	160,4	161,1	163,3		
Densidad	1,8647	1,8728	1,8984	gr/cm3	
		1,8786			

Ensayo 1											Ensayo 2											Ensayo 3										
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kpa	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kpa			
6,4	40,96	0	0	0	0	0	10	98,1	0,24	6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	20	196,2	0,49	6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	40	392,4	0,98			
6,4	40,96	0,38	0,094	2,54841998	25	0,062	10	98,1	0,24	6,4	40,96	0,75	1,172	4,65	45,6	0,113	20	196,2	0,49	6,4	40,96	0,4	0,625	15,19	149	0,371	40	392,4	0,98			
6,4	40,96	0,58	0,096	8,03261978	78,8	0,196	10	98,1	0,24	6,4	40,96	1,96	3,063	13,76	135	0,336	20	196,2	0,49	6,4	40,96	0,92	1,438	26,30	258	0,642	40	392,4	0,98			
6,4	40,96	1,91	2,984	9,78593272	96	0,239	10	98,1	0,24	6,4	40,96	2,87	4,484	17,49	171,6	0,427	20	196,2	0,49	6,4	40,96	1,64	2,563	31,07	304,8	0,759	40	392,4	0,98			
6,4	40,96	3,79	5,922	12,1304791	119	0,296	10	98,1	0,24	6,4	40,96	3,56	5,563	19,51	191,4	0,476	20	196,2	0,49	6,4	40,96	2,38	3,719	33,13	325	0,809	40	392,4	0,98			
6,4	40,96	5,89	9,203	12,7420999	125	0,311	10	98,1	0,24	6,4	40,96	4,56	7,125	20,69	203	0,505	20	196,2	0,49	6,4	40,96	5	7,813	34,90	342,4	0,852	40	392,4	0,98			
6,4	40,96	6,18	9,656	12,6401631	124	0,309	10	98,1	0,24	6,4	40,96	4,77	7,453	20,55	201,6	0,502	20	196,2	0,49	6,4	40,96	5,54	8,656	34,72	340,6	0,848	40	392,4	0,98			
6,4	40,96	6,38	9,969	12,5993884	123,6	0,308	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5,17	8,078	20,04	196,64	0,489	20	196,2	0,49	6,4	40,96	5,79	9,047	34,56	339	0,844	40	392,4	0,98			
6,4	40,96	6,72	10,5	12,5178389	122,8	0,306	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5,3	8,281	19,92	195,4	0,486	20	196,2	0,49	6,4	40,96	6,18	9,656	34,15	335	0,834	40	392,4	0,98			
6,4	40,96	7,36	11,5	12,3139653	120,8	0,301	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5,47	8,547	19,65	192,8	0,48	20	196,2	0,49	6,4	40,96	6,29	9,828	34,09	334,4	0,832	40	392,4	0,98			
6,4	40,96	7,52	11,75	12,2120285	119,8	0,298	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5,67	8,859	19,37	190	0,473	20	196,2	0,49	6,4	40,96	6,38	9,969	34,01	333,6	0,83	40	392,4	0,98			

0,311	
N/cm2	125
Kg/cm2	12,7420999
Fuerza	40,96
Area	40,96
Esfuerzo	3,051758
0,311	
0,24414063	

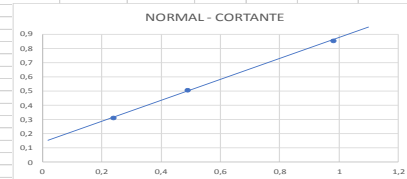
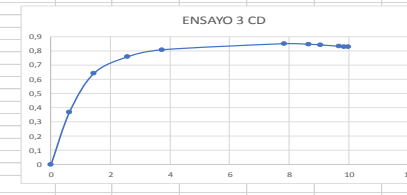
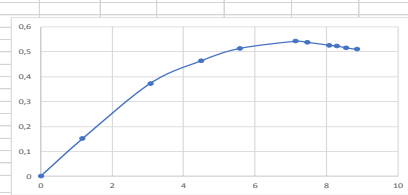
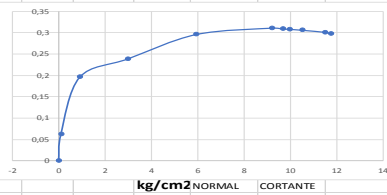
0,24

0,505	
N/cm2	203
Kg/cm2	20,6931702
Fuerza	40,96
Area	40,96
Esfuerzo	4,95605469
0,505	
0,48828125	

0,49

0,852	
N/cm2	342,4
Kg/cm2	34,90316
Fuerza	40,96
Area	40,96
Esfuerzo	8,359375
0,852	
0,9765625	

0,98



Densidad (kg/m3)	1901,15
COHESION (KG/CM2)	0,15
ANGULO DE FRICCION (GRADOS)	34,60
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM2	2,090



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO PACCHA ESTADO NATURAL
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	16/09/2019

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

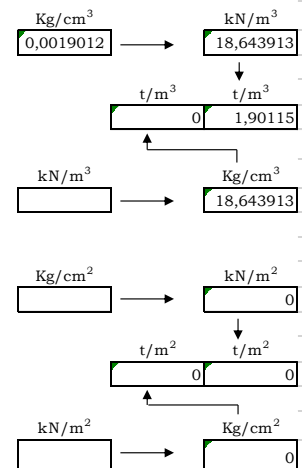
B	0,8m	ϕ	34,6°	$q_v =$	0	
L	0,8m	β	0°	$q_b =$	0	
Df	1m	c	0	kN/m^2	$\eta =$	0
e. B	0m	γ	18,64391265	kN/m^3	$\delta =$	0
e. L	0m	FS	3			
		π	3,14		1350,76923	

Método de Terzaghi


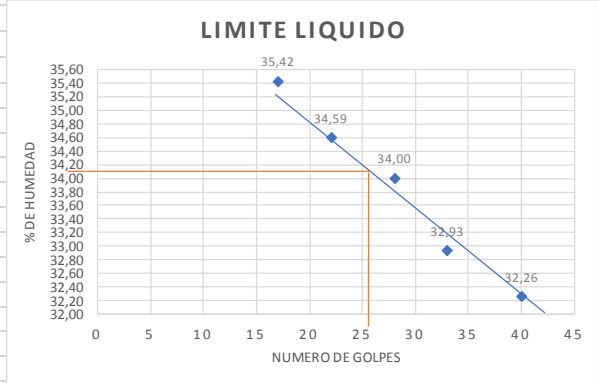
N_q	36,5
N_c	52,64
N_g	38,04

Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m^2		kN/m^2
qult	907,45	qadm	302,48
	t/m^2		t/m^2
qult	90,75	qadm	30,25
	kg/cm^2		kg/cm^2
qult	9,25	qadm	3,08



4.9 Anexos C Ensayos de Laboratorio Zona de Estudio Paccha Estabilizado Cal

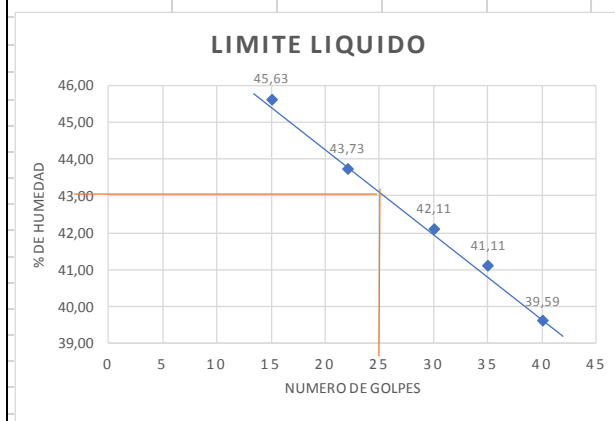
 Universidad Católica de Cuenca FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN										
PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.									
MUESTRA	ZONNA PACCHA ESTABILIZADA CON CAL 3%									
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA									
FECHA	28/08/2019									
LÍMITES DE ATERBERG										
	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
TARRO #	10	14	50	7	3	6	26	2	7	1
# DE GOLPES	40	33	28	22	17					
PESO HUM.+ TARRO	37,8	42,8	44,18	44,95	45,47	23,6	23,1	22,4	24,7	22,25
PESO SEC. + TARRO	33,8	37,3	38,4	39,8	39,2	23,22	22,6	22,22	24,45	21,95
PESO AGUA	4	5,5	5,78	5,15	6,27	0,38	0,5	0,18	0,25	0,3
PESO TARRO	21,4	20,6	21,4	24,91	21,5	21,94	20,9	21,6	23,6	20,98
PESO MUESTRA SECA	12,4	16,7	17	14,89	17,7	1,28	1,7	0,62	0,85	0,97
% DE HUMEDAD	32,26	32,93	34,00	34,59	35,42	29,69	29,41	29,03	29,41	30,93
GRAFICA LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO =		29,69		
						LIMITE LIQUIDO =		34,10		
						INDICE DE PLASTICIDAD =		4,41		

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONNA PACCHA ESTABILIZADA CON CAL 7%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	29/08/2019

LÍMITES DE ATERBERG

TARRO #	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
	G6	5	202	42	63	9	206	19	52	207
# DE GOLPES	40	35	30	22	15					
PESO HUM.+ TARRO	29,43	27,44	35,19	31,1	35,6	13,92	13,14	14,58	14,21	13,19
PESO SEC. + TARRO	24,6	23	28,2	25,35	28,3	13,43	12,7	13,95	13,7	12,7
PESO AGUA	4,83	4,44	6,99	5,75	7,3	0,49	0,44	0,63	0,51	0,49
PESO TARRO	12,4	12,2	11,6	12,2	12,3	12,1	11,5	12,2	12,3	11,4
PESO MUESTRA SEC	12,2	10,8	16,6	13,15	16	1,33	1,2	1,75	1,4	1,3
% DE HUMEDAD	39,59	41,11	42,11	43,73	45,63	36,84	36,67	36,00	36,43	37,69

GRAFICA LIMITE LIQUIDO



LIMITE PLASTICO = 36,73

LIMITE LIQUIDO = 43,00

INDICE DE PLASTICIDAD = 6,27



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

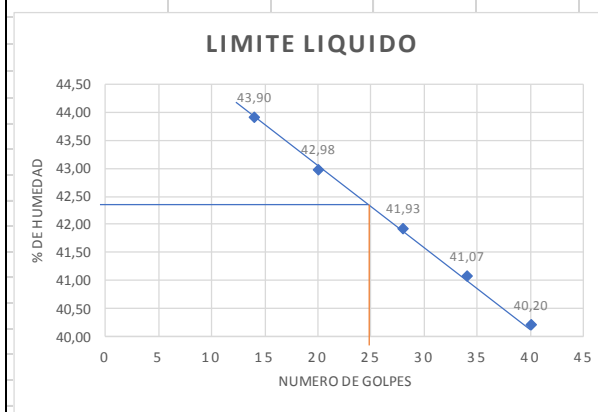
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONNA PACCHA ESTABILIZADA CON CAL 12%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	30/08/2019

LÍMITES DE ATERBERG

TARRO #	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
	203	2	191	302	B1	JP6	JP7	60	1169	209
# DE GOLPES	40	34	28	20	14					
PESO HUM.+ TARRO	32,81	32,32	36,47	36,89	35,9	14,08	16,96	14,36	14,59	13,99
PESO SEC. + TARRO	26,7	26,55	29,3	30,25	28,7	13,6	16,3	13,8	13,75	13,25
PESO AGUA	6,11	5,77	7,17	6,64	7,2	0,48	0,66	0,56	0,84	0,74
PESO TARRO	11,5	12,5	12,2	14,8	12,3	12,3	14,5	12,25	11,4	11,2
PESO MUESTRA SEC	15,2	14,05	17,1	15,45	16,4	1,3	1,8	1,55	2,35	2,05
% DE HUMEDAD	40,20	41,07	41,93	42,98	43,90	36,92	36,67	36,13	35,74	36,10

GRAFICA LIMITE LIQUIDO



LIMITE PLASTICO = 36,31

LIMITE LIQUIDO = 42,40

INDICE DE PLASTICIDAD = 6,09

FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

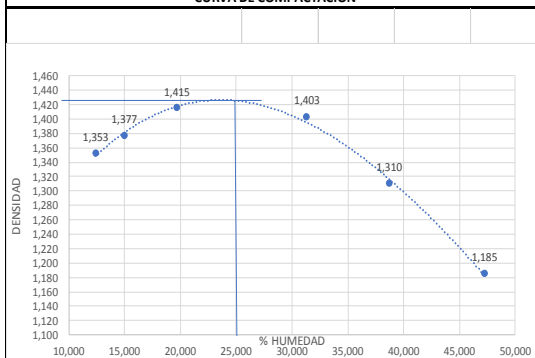
ENSAYO	ESTABILIZACION CAL		MUESTRA		CAL 3%	
MOLDE Nº	5275		SOLICITADO		DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA	
VOLUMEN DEL MOLDE	1,520178368		NÚMERO DE CAPAS		25	
PESO DEL MOLDE	1425		GOLPES POR CAPA		3	

MUESTRA	1	2	3	4	5	6
HUMEDAD AÑADIDA EN %	17,47	20,47	26,47	38,47	50,47	65,47
AGUA AUMENTADA EN C.C	165	220	330	550	770	1045
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5677,5	5736	5840	5980	5955,5	5890
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4252,5	4252,5	4252,5	4252,5	4252,5	4252,5
PESO SUELO HUMEDO	1425	1483,5	1587,5	1727,5	1703	1637,5
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	937,39	937,39	937,39	937,39	937,39	938,39
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,520	1,583	1,694	1,843	1,817	1,745

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRAS	1		2		3		4		5		6	
NUMERO DE TARRO	KN	AS	86	41	M1	7	A1	5	26	A9	K1	G34
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	156,04	156,52	113,08	156,12	127,76	127,73	120,64	120,94	108,99	140,19	117,55	128,5
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	146,6	146,5	104	144,4	115,8	115,3	103,6	103,5	94	121	93,9	101,1
PESO AGUA	9,44	10,02	9,08	11,72	11,96	12,43	17,04	17,44	14,99	19,19	23,65	27,4
PESO DEL TARRO	69,68	66,46	43,98	65	54,33	52,82	53,04	43,23	55,73	70,74	43,01	43,95
PESO DEL SUELO SECO	76,92	80,04	60,02	79,4	61,47	62,48	50,56	60,27	38,27	50,26	50,89	57,15
CONTENIDO DE AGUA EN %	12,27	12,52	15,13	14,76	19,46	19,89	33,70	28,94	39,17	38,18	46,47	47,94
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	12,396		14,944		19,676		31,319		38,675		47,208	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,353		1,377		1,415		1,403		1,310		1,185	

CURVA DE COMPACTACION



Densidad Seca Máxima kg/m³=	1430
Humedad óptima %=	25

FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

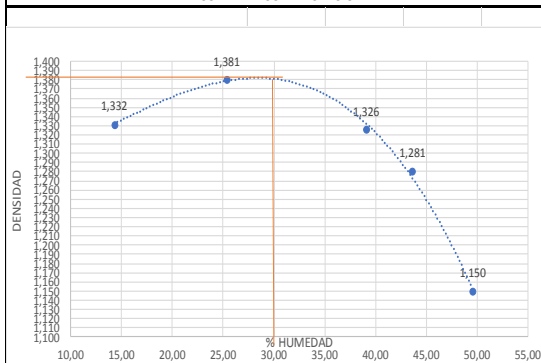
ENSAYO DE COMPACTACIÓN

ENSAYO	ESTABILIZACION CAL		MUESTRA			CAL 7%
MOLDE N°	5275		SOLICITADO			DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
VOLUMEN DEL MOLDE	1,521428033		NÚMERO DE CAPAS			25
PESO DEL MOLDE	1414		GOLPES POR CAPA			3
MUESTRA	1	2	3	4	5	
HUMEDAD AÑADIDA EN %	12,22	24,22	39,22	48,22	57,22	
AGUA AUMENTADA EN C.C	180	420	720	900	1080	
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5670,5	5864,5	5970	5867	5855,5	
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4256,5	4256,5	4256,5	4256,5	4256,5	
PESO SUELO HUMEDO	1414	1608	1713,5	1710	1599	
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	929,39	929,39	929,39	929,39	929,39	
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,521	1,730	1,844	1,840	1,720	

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRAS	1		2		3		4		5	
NUMERO DE TARRO	15	K1	6	8	CH	5	A5	86	26	KN
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	122,7	109,6	94,3	89,5	116,5	142,5	140,9	98,1	125,7	173,7
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	115,4	102,5	84,1	80,3	98,8	121,3	118,4	81,6	101,9	138,7
PESO AGUA	7,3	7,1	10,2	9,2	17,7	21,2	22,5	16,5	23,8	35
PESO DEL TARRO	64,7	52,2	43,8	44	53,1	67,5	66,5	44	52,7	69,7
PESO DEL SUELO SECO	50,7	50,3	40,3	36,3	45,7	53,8	51,9	37,6	49,2	69
CONTENIDO DE AGUA EN %	14,40	14,12	25,31	25,34	38,73	39,41	43,35	43,88	48,37	50,72
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	14,26		25,33		39,07		43,62		49,55	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,332		1,381		1,326		1,281		1,150	

CURVA DE COMPACTACION



Densidad Seca Máxima kg/m³=	1382
Humedad optima %=	30

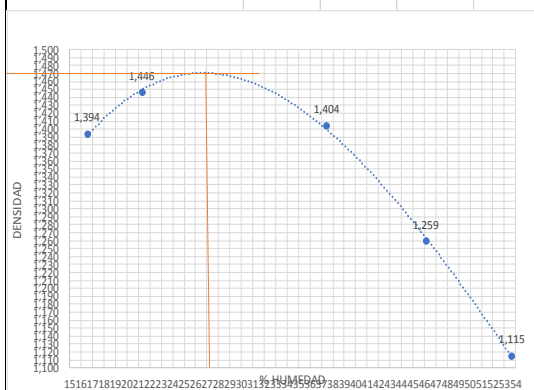
ENSAYO DE COMPACTACIÓN

ENSAYO	ESTABILIZACION CAL	MUESTRA	CAL 12%
MOLDE N°	5275	SOLICITADO	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
VOLUMEN DEL MOLDE	0	NÚMERO DE CAPAS	25
PESO DEL MOLDE	929,39	GOLPES POR CAPA	3

MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	17,98	29,68	44,98	59,98	68,98
AGUA AUMENTADA EN C.C	220	440	715	935	1100
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5766,5	5887	6050,5	5862	5849
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4256,5	4256,5	4256,5	4256,5	4256,5
PESO SUELO HUMEDO	1510	1630,5	1794	1710	1592,5
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	929,39	929,39	929,39	929,39	929,39
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,625	1,754	1,930	1,840	1,713

CONTENIDO DE HUMEDAD										
MUESTRAS	1		2		3		4		5	
NUMERO DE TARRO	1	6	9A	A1	1G6	11	2G6	A4	A7	4
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	101,78	102,4	87,6	97	93,5	115,9	112,1	139,1	122,1	115,5
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	94,8	94,1	82,1	88,4	80	102,9	93,6	115,8	97,8	91
PESO AGUA	6,98	8,3	5,5	8,6	13,5	13	18,5	23,3	24,3	24,5
PESO DEL TARRO	52,9	43,6	52,1	53	44,1	68,1	52,7	66,3	53,7	44,1
PESO DEL SUELO SECO	41,9	50,5	30	35,4	35,9	34,8	40,9	49,5	44,1	46,9
CONTENIDO DE AGUA EN %	16,66	16,44	18,33	24,29	37,60	37,36	45,23	47,07	55,10	52,24
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	16,55		21,31		37,48		46,15		53,67	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,394		1,446		1,404		1,259		1,115	

CURVA DE COMPACTACION



Densidad Seca Máxima kg/m³=	1470
Humedad optima %=	27

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

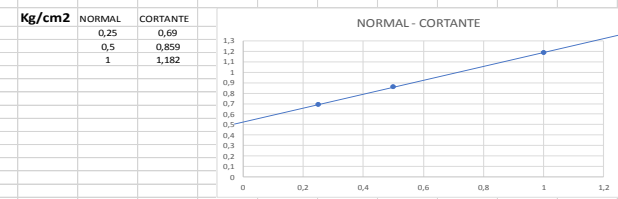
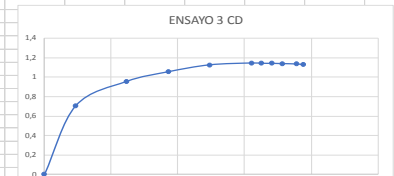
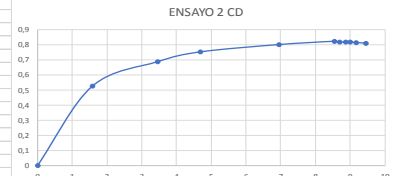
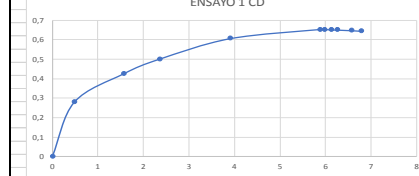
DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD				
Peso Anillo	Phumedo1	Phumedo2	Phumedo3	Volumen Anillo
139,7	294,3	293,3	294,4	86,02
Pesoinanillo	154,8	154,2	154,7	
Densidad Promedio	1,7996	1,7926	1,7984	gr/cm3

PROYECTO		ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.	
MUESTRA		ZONA DE ESTUDIO PACCA ESTABILIZADO CAL 3%	
SOLICITADO POR		DIANA BARRIOS, PABLO VINTIMILLA	
FECHA		16/09/2019	

DETERMINACION DE HUMEDAD					
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
PesoH	169,1	PesoH	181,7	PesoH	149,9
PesoC	145,6	PesoC	155,6	PesoC	128,2
PesoT	52,2	PesoT	53	PesoT	43,2
%W	25,16	%W	25,44	%W	25,53

Ensayo 1										Ensayo 2										Ensayo 3									
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kpa	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2
6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	10	98,1	0,24	6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	20	196,2	0,49	6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	40	392,4	0,98
6,4	40,96	0,31	0,484	12,99	127,4	0,317	10	98,1	0,24	6,4	40,96	1,01	1,578	23,04	226	0,562	20	196,2	0,49	6,4	40,96	1,5	2,344	30,42	298,4	0,743	40	392,4	0,98
6,4	40,96	1	1,563	39,94	385,8	0,462	10	98,1	0,24	6,4	40,96	2,21	3,453	29,68	291,2	0,725	20	196,2	0,49	6,4	40,96	3,93	6,141	40,61	398,4	0,991	40	392,4	0,98
6,4	40,96	1,51	2,359	22,06	216,4	0,539	10	98,1	0,24	6,4	40,96	3	4,689	32,31	317	0,789	20	196,2	0,49	6,4	40,96	5,94	9,281	44,71	438,6	1,092	40	392,4	0,98
6,4	40,96	2,5	3,906	26,36	258,6	0,654	10	98,1	0,24	6,4	40,96	4,44	6,938	34,31	336,6	0,838	20	196,2	0,49	6,4	40,96	7,93	12,391	47,62	467,2	1,163	40	392,4	0,98
6,4	40,96	3,76	5,875	28,28	277,4	0,69	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5,47	8,547	35,19	345,2	0,859	20	196,2	0,49	6,4	40,96	9,93	15,516	48,40	474,8	1,182	40	392,4	0,98
6,4	40,96	3,83	5,984	28,26	277,2	0,69	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5,57	8,703	34,98	343,2	0,854	20	196,2	0,49	6,4	40,96	10,42	16,281	48,26	473,4	1,178	40	392,4	0,98
6,4	40,96	3,92	6,125	28,20	276,6	0,688	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5,67	8,859	35,05	343,8	0,856	20	196,2	0,49	6,4	40,96	10,92	17,063	48,24	473,2	1,178	40	392,4	0,98
6,4	40,96	4	6,25	28,15	276,2	0,687	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5,76	9	35,01	343,4	0,855	20	196,2	0,49	6,4	40,96	11,41	17,828	48,15	472,4	1,176	40	392,4	0,98
6,4	40,96	4,2	6,563	28,03	275	0,684	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5,87	9,172	34,88	342,2	0,852	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,1	18,906	47,97	470,6	1,171	40	392,4	0,98
6,4	40,96	4,34	6,781	27,89	273,6	0,681	10	98,1	0,24	6,4	40,96	6,04	9,438	34,70	340,4	0,847	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,42	19,406	47,75	468,4	1,166	40	392,4	0,98

N/cm2	Kg/cm2	0,69	0,25	N/cm2	Kg/cm2	0,859	0,5	N/cm2	Kg/cm2	1,182	1		
Fuerza	277,4	28,2772681	10	Fuerza	345,2	35,1885831	20	Fuerza	474,8	48,3995923	40		
Área	40,96	40,96	40,96	Área	40,96	40,96	40,96	Área	40,96	40,96	40,96		
Esfuerzo	6,77246094	0,69036299	0,24414063	Esfuerzo	8,42773438	0,859	0,48828125	1	9,81	Esfuerzo	11,5917969	1,18163067	0,9765625



DENSIDAD KG/CM3	1,797
COHESION (KG/CM2)	0,31
ANGULO DE FRICCION (GRADOS)	31,380
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM2	1,948



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS

GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.

ZONA DE ESTUDIO PACCHA ESTABILIZADO CAL 3%

DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA

16/09/2019

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

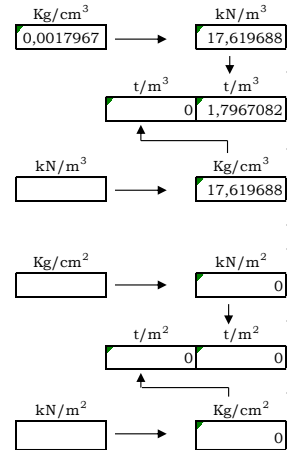
B	0,8m	ϕ	31,38°	$c_u =$	0
L	0,8m	β	0°	$c_h =$	0
Df	1m	c	0 kN/m ²	$\eta =$	0
e. B	0m	γ	17,61968835 kN/m ³	$\delta =$	0
e. L	0m	FS	3		
		π	3,14		1350,76923

Método de Terzaghi

Nq	25,28
Nc	40,41
Ng	22,65

Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m ²		kN/m ²
qult	573,13	qadm	191,04
	t/m ²		t/m ²
qult	57,31	qadm	19,10
	kg/cm ²		kg/cm ²
qult	5,84	qadm	1,95



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD					PROYECTO		ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.		DETERMINACION DE HUMEDAD					
Peso Anillo	Phumedo1	Phumedo2	Phumedo3	Volumen Anillo	MUESTRA		ZONA DE ESTUDIO PACCA ESTABILIZADO CAL 7%		Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
139,7	294,5	295,2	294,8	86,02	SOLICITADO POR		DIANA BARRROS; PABLO VINTIMILLA		PesoH	249,3	PesoH	289,6	PesoH	197,1
Pesoinanillo	154,8	155,5	155,1		FECHA		19/09/2019		PesoC	200,3	PesoC	238,4	PesoC	163,6
Densidad	1,7996	1,8077	1,8031	gr/cm3					PesoT	43,8	PesoT	65,9	PesoT	52,2
Densidad Promedio	1,803								%W	31,31	%W	29,68	%W	30,07

Ensayo 1										Ensayo 2										Ensayo 3									
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kpa	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	
6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	10	98,1	0,24	6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	20	196,2	0,49	6,4	40,96	0	0	0	0	0	40	392,4	
6,4	40,96	0,6	0,938	18,41	186,6	0,449	10	98,1	0,24	6,4	40,96	1,5	2,344	27,44	269,2	0,67	20	196,2	0,49	6,4	40,96	2,1	3,281	38,0632008	373,4	0,929	40	392,4	
6,4	40,96	1,2	1,875	21,86	214,4	0,534	10	98,1	0,24	6,4	40,96	4	6,25	31,95	313,4	0,78	20	196,2	0,49	6,4	40,96	3,51	5,484	43,8124363	429,8	1,07	40	392,4	
6,4	40,96	1,81	2,828	23,34	229	0,57	10	98,1	0,24	6,4	40,96	6,01	9,391	32,56	319,4	0,795	20	196,2	0,49	6,4	40,96	5,01	7,828	45,2803262	444,2	1,105	40	392,4	
6,4	40,96	2,4	3,75	24,18	237,2	0,59	10	98,1	0,24	6,4	40,96	8,02	12,531	32,66	320,4	0,797	20	196,2	0,49	6,4	40,96	8,4	13,125	48,1345566	472,2	1,175	40	392,4	
6,4	40,96	3,04	4,75	24,71	242,4	0,603	10	98,1	0,24	6,4	40,96	9,99	15,609	32,86	322,4	0,802	20	196,2	0,49	6,4	40,96	10,69	16,703	48,7054027	477,8	1,189	40	392,4	
6,4	40,96	3,31	5,172	24,44	239,8	0,597	10	98,1	0,24	6,4	40,96	10,51	16,422	32,66	320,4	0,797	20	196,2	0,49	6,4	40,96	11,1	17,344	48,4811417	475,6	1,184	40	392,4	
6,4	40,96	3,51	5,484	24,34	238,8	0,594	10	98,1	0,24	6,4	40,96	11	17,188	32,42	318	0,791	20	196,2	0,49	6,4	40,96	11,5	17,969	48,3792049	474,6	1,181	40	392,4	
6,4	40,96	3,75	5,859	24,40	239,4	0,596	10	98,1	0,24	6,4	40,96	11,52	18	32,29	316,8	0,788	20	196,2	0,49	6,4	40,96	11,9	18,594	48,1957187	472,8	1,177	40	392,4	
6,4	40,96	4,3	6,719	23,93	234,8	0,584	10	98,1	0,24	6,4	40,96	12,01	18,766	32,13	315,2	0,784	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,41	19,391	48,3588175	474,4	1,181	40	392,4	
6,4	40,96	4,71	7,359	23,49	236,4	0,573	10	98,1	0,24	6,4	40,96	12,14	18,969	32,27	316,6	0,788	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,81	20,016	48,2772681	473,6	1,179	40	392,4	

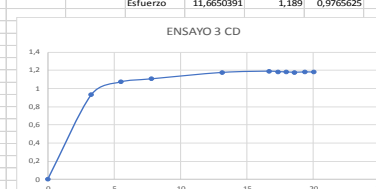
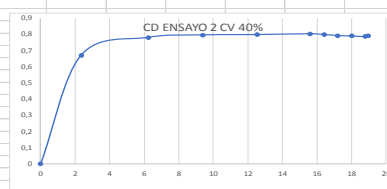
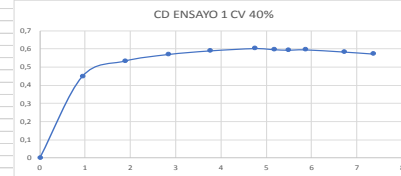
N/cm2	Kg/cm2	0,603
Fuerza	242,4	24,7094801
Area	40,96	40,96
Esfuerzo	5,91796875	0,603

0,25

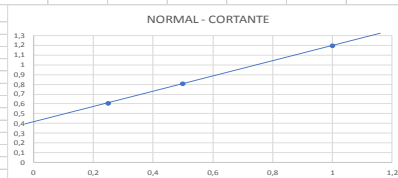
N/cm2	Kg/cm2	0,802
Fuerza	322,4	32,8644241
Area	40,96	40,96
Esfuerzo	7,87109375	0,802

0,5

N/cm2	Kg/cm2	1,189
Fuerza	477,8	48,7054027
Area	40,96	40,96
Esfuerzo	11,6650391	1,189



Kg/cm2	NORMAL	CORTANTE
0,25	0,603	
0,5	0,802	
1	1,189	



DENSIDAD GR/CM3	1,803
COHESION (KG/CM2)	0,40
ANGULO DE FRICCION (GRADOS)	37,090
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM2	4,488



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS
GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO PACCHA ESTABILIZADO CAL 7%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	19/09/2019

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

B	0,8 m	ϕ	37,09°	$q_v =$	0
L	0,8 m	β	0°	$q_h =$	0
Df	1 m	c	0 kN/m ²	$\eta =$	0
e. B	0 m	γ	17,67857612 kN/m ³	$\delta =$	0
e. L	0 m	FS	3		
		π	3,14		1350,76923

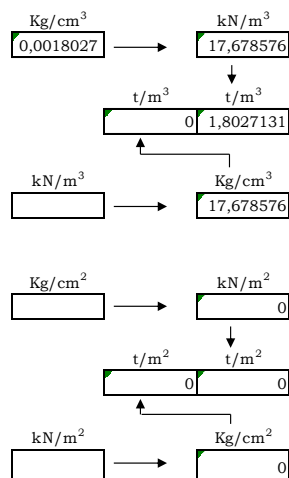
Método de Terzaghi

Nq	53,8
Nc	70,01
Ng	65,27

Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m ²		kN/m ²
qult	1320,35	qadm	440,12
	t/m ²		t/m ²
qult	132,03	qadm	44,01
	kg/cm ²		kg/cm ²
qult	13,46	qadm	4,49

Convertitore:





FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD				
Peso Anillo	Phumedo1	Phumedo2	Phumedo3	Volumen Anillo
139,7	301,7	301,4	301,5	86,02
Pesos anillos	162	161,7	161,8	
Densidad	1,883	1,880	1,881	gr/cm ³
Densidad Promedio	1,881			

PROYECTO		ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.	
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO PACCA ESTABILIZADO CAL 12%		
SOLICITADO POR	DIANA BARRÓS; PABLO VINTIMILLA		
FECHA	19/09/2019		

DETERMINACION DE HUMEDAD			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso OH	251,6	Peso OH	193,8
Peso C	212,6	Peso C	162,3
Peso T	70	Peso T	43,6
%W	27,35	%W	26,54
		%W	26,41

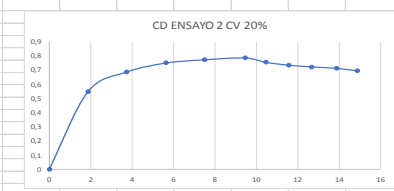
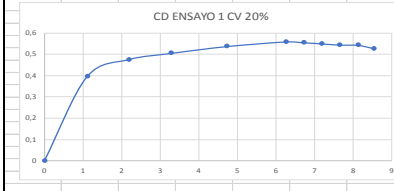
Ensayo 1										Ensayo 2										Ensayo 3									
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm ²	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm ²	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm ²	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kpa	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm ²	Carga Normal kg	Carga Normal N	
6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	10	98,1	0,24	6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	20	196,2	0,49	6,4	40,96	0	0	0	0	0	40	392,4	
6,4	40,96	0,71	1,109	16,21	159	0,396	10	98,1	0,24	6,4	40,96	1,2	1,875	22,45	220,2	0,548	20	196,2	0,49	6,4	40,96	2,6	4,063	37,3292559	366,2	0,911	40	392,4	
6,4	40,96	1,4	2,188	19,51	191,4	0,476	10	98,1	0,24	6,4	40,96	2,4	3,75	29,15	276,2	0,687	20	196,2	0,49	6,4	40,96	5,41	8,433	46,4831804	456	1,135	40	392,4	
6,4	40,96	2,1	3,281	20,69	203	0,505	10	98,1	0,24	6,4	40,96	3,61	5,641	30,72	301,4	0,75	20	196,2	0,49	6,4	40,96	8,01	12,5	48,7054027	477,8	1,189	40	392,4	
6,4	40,96	3,02	4,719	21,98	215,6	0,537	10	98,1	0,24	6,4	40,96	4,8	7,5	31,65	310,5	0,773	20	196,2	0,49	6,4	40,96	10	15,625	48,8073394	478,8	1,192	40	392,4	
6,4	40,96	4,01	6,266	22,92	224,8	0,559	10	98,1	0,24	6,4	40,96	6,05	9,453	32,19	315,8	0,786	20	196,2	0,49	6,4	40,96	11,56	18,063	49,1539246	482,2	1,2	40	392,4	
6,4	40,96	4,3	6,719	22,75	223,2	0,555	10	98,1	0,24	6,4	40,96	6,7	10,469	30,91	303,2	0,755	20	196,2	0,49	6,4	40,96	11,75	18,359	48,3384303	474,2	1,18	40	392,4	
6,4	40,96	4,6	7,187	22,53	221	0,55	10	98,1	0,24	6,4	40,96	7,41	11,578	30,09	295,2	0,735	20	196,2	0,49	6,4	40,96	11,95	18,672	47,9714577	470,6	1,171	40	392,4	
6,4	40,96	4,9	7,656	22,28	218,6	0,544	10	98,1	0,24	6,4	40,96	8,1	12,656	29,63	290,63	0,723	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,1	18,906	47,6860347	467,8	1,164	40	392,4	
6,4	40,96	5,2	8,125	22,22	218	0,543	10	98,1	0,24	6,4	40,96	8,88	13,875	29,18	286,3	0,713	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,25	19,141	47,2579001	463,6	1,154	40	392,4	
6,4	40,96	5,46	8,531	21,63	212,2	0,528	10	98,1	0,24	6,4	40,96	9,53	14,891	28,47	279,3	0,695	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,37	19,328	46,9928644	461	1,147	40	392,4	

N/cm ²	Kg/cm ²	0,559
Fuerza	224,8	22,9153925
Área	40,96	40,96
Esfuerzo	5,48828125	0,559

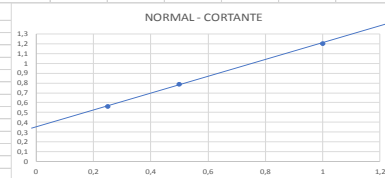
N/cm ²	Kg/cm ²	0,786
Fuerza	315,8	32,1916412
Área	40,96	40,96
Esfuerzo	7,70996094	0,786

N/cm ²	Kg/cm ²	1,2
Fuerza	482,2	49,1539246
Área	40,96	40,96
Esfuerzo	11,7724609	1,200

N/cm ²	Kg/cm ²	40
Fuerza	482,2	49,1539246
Área	40,96	40,96
Esfuerzo	11,7724609	1,200



Kg/cm ²	NORMAL	CORTANTE
0,25		0,559
0,5		0,786
1		1,2



DENSIDAD GR/CM ³	1,881
COHESION (KG/CM ²)	0,36
ANGULO DE FRICCIÓN (GRADOS)	39,170
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM ²	6,332



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS
GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA

ZONA DE ESTUDIO PACCHA ESTABILIZADO CAL 7%

DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA

19/09/2019

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

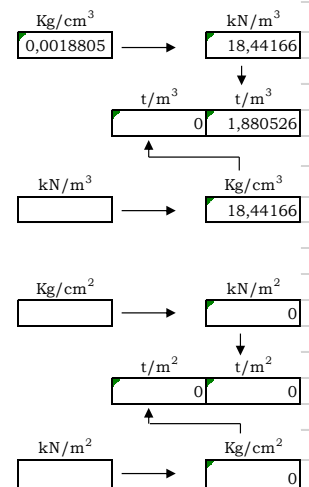
B	0,8	m	ϕ	39,17	°	$q_v =$	0
L	0,8	m	β	0	°	$q_b =$	0
Df	1	m	c	0	kN/m ²	$\eta =$	0
e. B	0	m	γ	18,44165981	kN/m ³	$\delta =$	0
e. L	0	m	FS	3			
			π	3,14		1350,76923	

Método de Terzaghi

Nq	70,61
Nc	85,97
Ng	95,03


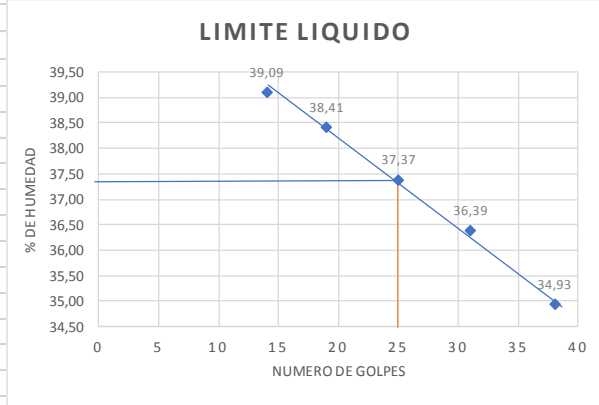
Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m ²		kN/m ²
qult	1862,97	qadm	620,99
	t/m ²		t/m ²
qult	186,30	qadm	62,10
	kg/cm ²		kg/cm ²
qult	19,00	qadm	6,33



4.10 Anexos D Ensayos de Laboratorio Zona de Estudio Paccha Estabilizado

Cloruro de Sodio

 Universidad Católica de Cuenca										
FACULTAD DE INGENIERÍA										
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN										
PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS									
MUESTRA	ZONNA PACCHA ESTABILIZADA CON CLORURO DE SODIO 1%									
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA									
FECHA	02/09/2019									
LÍMITES DE ATERBERG										
	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
TARRO #	14	1	21	6	26	11A	7	61	52	11
# DE GOLPES	38	31	25	19	14					
PESO HUM.+ TARRO	39,4	37,5	37	42,3	38,4	14,1	14,3	13,4	14,5	23,5
PESO SEC. + TARRO	34,67	33,17	32,56	36,65	33,67	13,7	13,8	13,12	14,01	23,18
PESO AGUA	4,73	4,33	4,44	5,65	4,73	0,4	0,5	0,28	0,49	0,32
PESO TARRO	21,13	21,27	20,68	21,94	21,57	12,36	12,17	12,18	12,41	22,08
PESO MUESTRA SEC	13,54	11,9	11,88	14,71	12,1	1,34	1,63	0,94	1,6	1,1
% DE HUMEDAD	34,93	36,39	37,37	38,41	39,09	29,85	30,67	29,79	30,63	29,09
GRAFICA LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO =		30,01		
						LIMITE LIQUIDO=		37,37		
						INDICE DE PLASTICIDAD=		7,36		



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

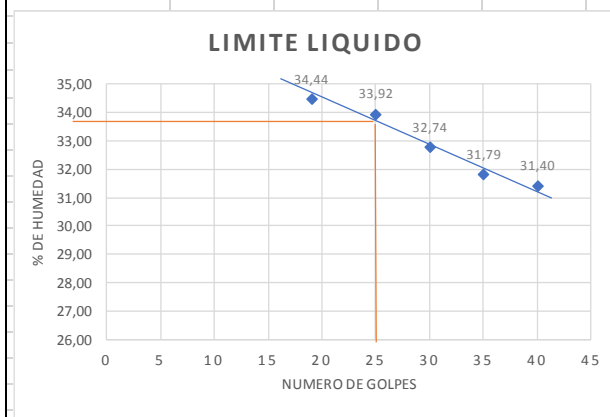
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS
MUESTRA	ZONNA PACCHA ESTABILIZADA CON CLORURO DE SODIO 3%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	03/09/2019

LÍMITES DE ATERBERG

TARRO #	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
	14	1	21	6	9	9	206	207	209	11
# DE GOLPES	40	35	30	25	19					
PESO HUM.+ TARRO	40,58	40,19	41,21	38,64	37,41	13,73	12,53	12,35	12,54	21,36
PESO SEC. + TARRO	36,14	35,74	36,4	34,21	33,47	13,4	12,33	12,17	12,3	21,26
PESO AGUA	4,44	4,45	4,81	4,43	3,94	0,33	0,2	0,18	0,24	0,1
PESO TARRO	22	21,74	21,71	21,15	22,03	12,13	11,56	11,49	11,41	20,87
PESO MUESTRA SEC	14,14	14	14,69	13,06	11,44	1,27	0,77	0,68	0,89	0,39
% DE HUMEDAD	31,40	31,79	32,74	33,92	34,44	25,98	25,97	26,47	26,97	25,64

GRAFICA LIMITE LIQUIDO



LIMITE PLASTICO = 26,35

LIMITE LIQUIDO = 33,90

INDICE DE PLASTICIDAD = 7,55



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

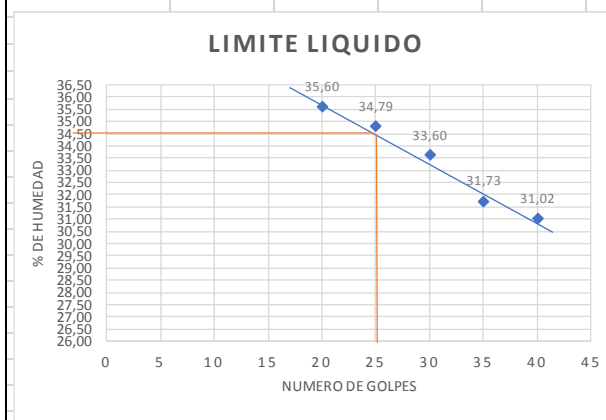
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS
MUESTRA	ZONNA PACCHA ESTABILIZADA CON CLORURO DE SODIO 5%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	04/09/2019

LÍMITES DE ATERBERG

TARRO #	LÍMITE LIQUIDO					LÍMITE PLASTICO				
	14	26	50	13	6	11	3	26	1	9
# DE GOLPES	40	35	30	25	20					
PESO HUM.+ TARRO	33,59	35,96	36,1	33,79	37,67	22,09	22,95	22,37	21,75	23,03
PESO SEC. + TARRO	30,64	32,6	32,34	30,68	33,54	21,84	22,69	22,2	21,59	22,82
PESO AGUA	2,95	3,36	3,76	3,11	4,13	0,25	0,26	0,17	0,16	0,21
PESO TARRO	21,13	22,01	21,15	21,74	21,94	20,89	21,71	21,56	20,98	22,03
PESO MUESTRA SEC	9,51	10,59	11,19	8,94	11,6	0,95	0,98	0,64	0,61	0,79
% DE HUMEDAD	31,02	31,73	33,60	34,79	35,60	26,32	26,53	26,56	26,23	26,58

GRAFICA LIMITE LIQUIDO



LIMITE PLASTICO = 26,44

LIMITE LIQUIDO= 34,50

INDICE DE PLASTICIDAD= 8,06

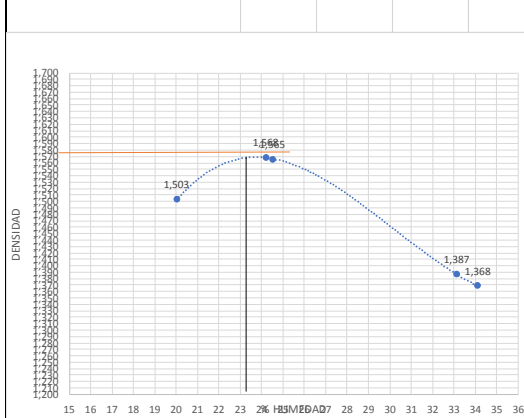
ENSAYO DE COMPACTACIÓN

ENSAYO	ESTABILIZACION CLORURO DE SODIO		MUESTRA	CLORURO DE SODIO 1%
MOLDE Nº	5275		SOLICITADO	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
VOLUMEN DEL MOLDE	0		NÚMERO DE CAPAS	25
PESO DEL MOLDE	936,83		GOLPES POR CAPA	3

MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	22,85	28,85	34,85	40,85	46,85
AGUA AUMENTADA EN C.C	165	275	385	495	605
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5945,5	6080,5	6081,5	5985	5975
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4255,5	4255,5	4255,5	4255,5	4255,5
PESO SUELO HUMEDO	1690	1825	1826	1729,5	1719,5
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	936,83	936,83	936,83	936,83	936,83
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,804	1,948	1,949	1,846	1,835

CONTENIDO DE HUMEDAD										
MUESTRAS	1		2		3		4		5	
NUMERO DE TARRO	A'	AYR	1CR	M1	10	11	A1	4	9A	F3
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	89,7	106,2	76,45	91,33	93,9	90,1	93,9	85,62	119,49	95,76
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	83,64	99,48	71,94	86,34	88,35	85,8	83,87	75,16	102,64	82,18
PESO AGUA	6,06	6,72	4,51	4,99	5,55	4,3	10,03	10,46	16,85	13,58
PESO DEL TARRO	53,2	66,14	52,92	66,13	65,81	68,18	53,1	44,1	52,2	43,2
PESO DEL SUELO SECO	30,44	33,34	19,02	20,21	22,54	17,62	30,77	31,06	50,44	38,98
CONTENIDO DE AGUA EN %	19,91	20,16	23,71	24,69	24,62	24,40	32,60	33,68	33,41	34,84
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	20,03		24,20		24,51		33,14		34,12	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,503		1,568		1,565		1,387		1,368	

CURVA DE COMPACTACION



Densidad Seca Máxima kg/m ³ =	1570
Humedad optima %=	23,2

FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

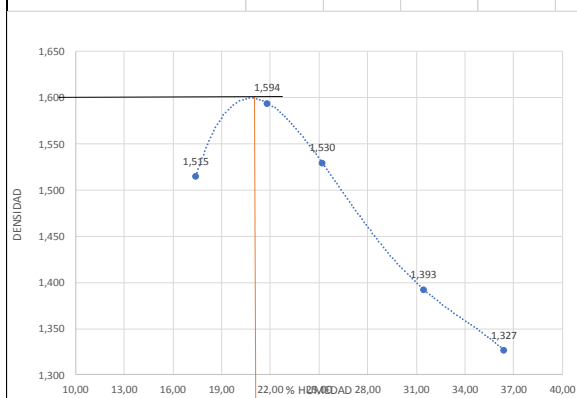
ENSAYO DE COMPACTACIÓN

ENSAYO	ESTABILIZACION CLORURO DE SODIO				MUESTRA	CLORURO DE SODIO 3%			
MOLDE Nº	5275				SOLICITADO	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA			
VOLUMEN DEL MOLDE	0				NÚMERO DE CAPAS	25			
PESO DEL MOLDE	936,83				GOLPES POR CAPA	3			
MUESTRA	1	2	3	4	5				
HUMEDAD AÑADIDA EN %	19,38	24,38	30,38	36,38	42,38				
AGUA AUMENTADA EN C.C	165	275	385	495	605				
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5922	6075	6049,5	5970,5	5950,5				
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4255,5	4255,5	4255,5	4255,5	4255,5				
PESO SUELO HUMEDO	1666,5	1819,5	1794	1715	1695				
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	936,83	936,83	936,83	936,83	936,83				
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,779	1,942	1,915	1,831	1,809				

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRAS	1		2		3		4		5	
NÚMERO DE TARRO	10	9	19	25	17	14	24	22	23	18
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	62,1	56,25	69,32	70,18	75,92	82,48	103,67	92,88	103,6	98,1
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	57,22	52,22	62,03	62,92	66,4	71,81	85,78	77,65	83,98	79,44
PESO AGUA	4,88	4,03	7,29	7,26	9,52	10,67	17,89	15,23	19,62	18,66
PESO DEL TARRO	29,19	29,08	28,89	29,33	29,05	28,98	29,01	29,09	29,04	29,1
PESO DEL SUELO SECO	28,03	23,14	33,14	33,59	37,35	42,83	56,77	48,56	54,94	50,34
CONTENIDO DE AGUA EN %	17,41	17,42	22,00	21,61	25,49	24,91	31,51	31,36	35,71	37,07
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	17,41		21,81		25,20		31,44		36,39	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,515		1,594		1,530		1,393		1,327	

CURVA DE COMPACTACION



Densidad Seca Máxima kg/m3=	1600
Humedad óptima %=	22

FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

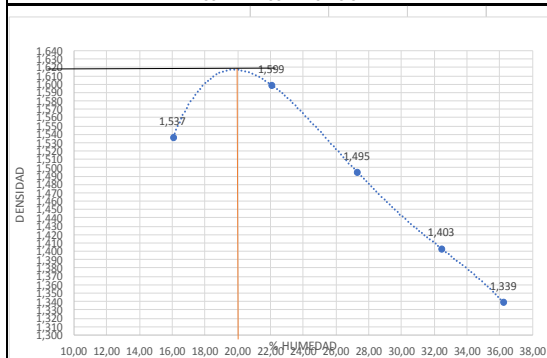
ENSAYO DE COMPACTACIÓN

ENSAYO	ESTABILIZACION CLORURO DE SODIO		MUESTRA	CLORURO DE SODIO 5%
MOLDE N°	5275		SOLICITADO	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
VOLUMEN DEL MOLDE	0		NÚMERO DE CAPAS	25
PESO DEL MOLDE	936,83		GOLPES POR CAPA	3

MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	19,04	28,04	34,04	40,04	49,04
AGUA AUMENTADA EN C.C	165	330	440	550	715
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5929	6087	6041	5999,5	5967
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4258,5	4258,5	4258,5	4258,5	4258,5
PESO SUELO HUMEDO	1670,5	1828,5	1782,5	1741	1708,5
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	936,83	936,83	936,83	936,83	936,83
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,783	1,952	1,903	1,858	1,824

CONTENIDO DE HUMEDAD										
MUESTRAS	1		2		3		4		5	
NUMERO DE TARRO	F3	1CR	9A	A1	4	86	A1	10	14	15
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	68,51	79,29	69,15	71,08	78,42	80,4	122,55	125,44	111,08	127,3
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	64,94	75,68	66	67,92	71,29	72,37	105,56	110,79	93,89	110,01
PESO AGUA	3,57	3,61	3,15	3,16	7,13	8,03	16,99	14,65	17,19	17,29
PESO DEL TARRO	42,98	52,89	52,21	53,09	44,14	44	52,97	65,82	43,84	64,66
PESO DEL SUELO SECO	21,96	22,79	13,79	14,83	27,15	28,37	52,59	44,97	50,05	45,35
CONTENIDO DE AGUA EN %	16,26	15,84	22,84	21,31	26,26	28,30	32,31	32,58	34,35	38,13
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	16,05		22,08		27,28		32,44		36,24	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,537		1,599		1,495		1,403		1,339	

CURVA DE COMPACTACION



Densidad Seca Máxima	
kg/m ³ =	1620
Humedad optima %=-	20



FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

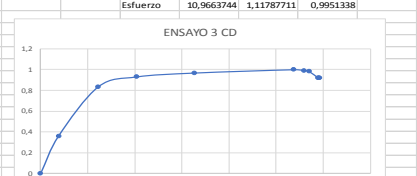
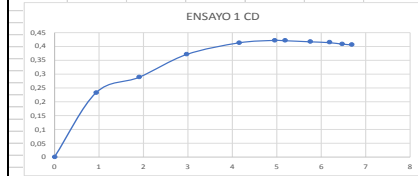
DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD				
	Phumedo1	Phumedo2	Phumedo3	Anillo
Peso Anillo	184,75	345,9	348,1	347,7
Peso sin anillo	161,15	163,35	162,95	
Densidad	1,9153	1,9414	1,9367	gr/cm3
Densidad Promedio	1,931			

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO PACCA ESTABILIZADO CLORURO DE SODIO 1%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	20/09/2019

DETERMINACION DE HUMEDAD					
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
PesoH	180,5	PesoH	177,2	PesoH	181,2
PesoC	154,6	PesoC	152,9	PesoC	155,1
PesoT	43,8	PesoT	44	PesoT	43,8
%W	23,38	%W	22,99	%W	23,45

Ensayo 1										Ensayo 2										Ensayo 3																			
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kpa	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2										
6,39	40,8321	0	0	4,08	40	0,1	98,1	0,24	98,1	6,39	40,8321	0	0	4,08	40	0,1	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	0	0	4,08	40	0,1	40	392,4	0,98										
6,39	40,8321	0,6	0,939	13,60	133,4	0,333	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	0,9	1,408	22,36	219,4	0,548	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	1,57	2,457	38,29	375,6	0,938	40	392,4	0,98										
6,39	40,8321	1,22	1,909	15,86	155,6	0,388	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	2,06	3,224	26,26	257,6	0,643	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	2,61	4,085	42,14	413,4	1,032	40	392,4	0,98										
6,39	40,8321	1,9	2,973	19,23	188,6	0,471	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	3,33	5,211	27,73	272	0,679	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	4,17	6,326	43,63	428	1,068	40	392,4	0,98										
6,39	40,8321	2,65	4,147	20,94	205,4	0,513	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	4,39	7,183	28,32	277,8	0,694	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	5,75	8,998	29,50	380,4	0,722	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	6,86	10,736	48,93	440,8	1,1	40	392,4	0,98
6,39	40,8321	3,16	4,945	21,30	209	0,522	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	5,75	8,998	29,50	380,4	0,722	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	7,15	11,189	44,65	438	1,093	40	392,4	0,98										
6,39	40,8321	3,31	5,18	21,26	208,6	0,521	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	6,07	9,499	29,36	288	0,719	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	7,28	11,393	44,24	434	1,083	40	392,4	0,98										
6,39	40,8321	3,68	5,759	21,10	207	0,517	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	6,98	10,923	28,95	284	0,709	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	7,54	11,8	43,71	409,2	1,022	40	392,4	0,98										
6,39	40,8321	3,95	6,182	20,98	205,8	0,514	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	7,62	11,612	28,48	279,4	0,698	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	7,57	11,847	41,69	409	1,021	40	392,4	0,98										
6,39	40,8321	4,13	6,463	20,77	203,8	0,509	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	7,62	11,612	28,48	279,4	0,698	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	7,57	11,847	41,69	409	1,021	40	392,4	0,98										
6,39	40,8321	4,27	6,682	20,67	202,8	0,506	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	7,62	11,612	28,48	279,4	0,698	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	7,57	11,847	41,69	409	1,021	40	392,4	0,98										

Fuerza	N/cm2	Kg/cm2	0,522	0,25	0,22	0,5	1,1	1
Área	40,8321	40,8321	40,1956	40,1956	40,1956	40,1956	40,1956	40,1956
Esfuerzo	5,11852195	0,52176574	0,24490536	289,4	29,5005097	20	440,8	44,9337411
				7,19979301	0,73392385	0,4975669	10,9663744	1,11787711



DENSIDAD GR/CM3	1,931
COHESION (KG/CM2)	0,11
ANGULO DE FRICCION (GRADOS)	36,270
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM2	4,156



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO PACCHA ESTABILIZADO CLORURO DE SODIO 1%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	20/09/2019

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

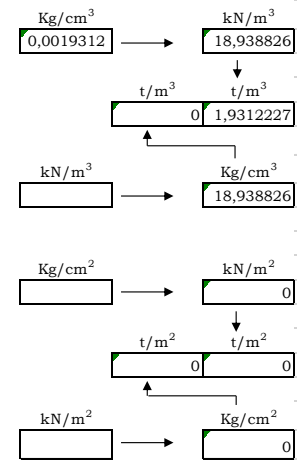
B	0,8	m	ϕ	36,27	°	$q_v =$	0
L	0,8	m	β	0	°	$q_h =$	0
Df	1	m	c	0	kN/m ²	$\eta =$	0
e. B	0	m	γ	18,93882553	kN/m ³	$\delta =$	0
e. L	0	m	FS	3			
			π	3,14			1350,76923

Método de Terzaghi

Nq	47,16
Nc	63,53
Ng	54,36

Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m ²			kN/m ²
qult	1222,60	qadm	407,53	
qult	t/m ²	qadm	t/m ²	
qult	122,26	qadm	40,75	
qult	kg/cm ²	qadm	kg/cm ²	
qult	12,47	qadm	4,16	





FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD				
Peso Anillo	Phumedo1	Phumedo2	Phumedo3	Volumen Anillo
139,7	307,8	307,6	308,5	86,02
Pesoinanillo	168,1	167,9	168,8	
Densidad	1,9542	1,9519	1,9623	gr/cm3
Densidad pr	1,956			

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO PACCA ESTABILIZADO CLORURO DE SODIO 3%
SOLICITADO POR	DIANA BARRIOS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	21/09/2019

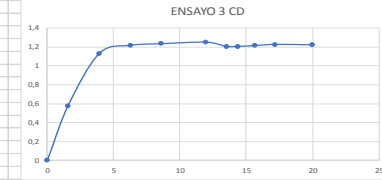
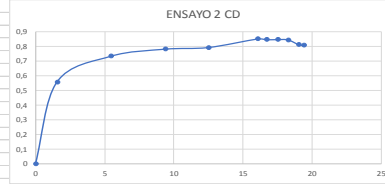
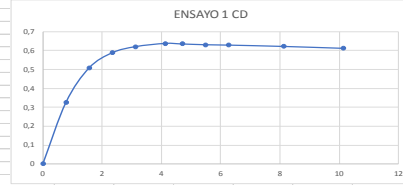
DETERMINACION DE HUMEDAD			
Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
PesoH	169,4	PesoH	180,9
PesoC	146,5	PesoC	158
PesoT	43,8	PesoT	52,7
%W	22,30	%W	21,75
			21,93

Ensayo 1										Ensayo 2										Ensayo 3									
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kpa	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2
6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	0	0	0	6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	0	0	0	6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	0	0	0
6,4	40,96	0,5	0,781	13,31	130,6	0,325	10	98,1	0,24	6,4	40,96	1	1,563	22,90	224,6	0,559	20	196,2	0,49	6,4	40,96	1	1,563	23,71	232,6	0,579	40	392,4	0,98
6,4	40,96	1	1,563	20,75	203,6	0,507	10	98,1	0,24	6,4	40,96	3,5	5,469	30,05	294,8	0,734	20	196,2	0,49	6,4	40,96	2,51	3,922	46,38	455	1,132	40	392,4	0,98
6,4	40,96	1,5	2,344	24,06	236	0,587	10	98,1	0,24	6,4	40,96	6,01	9,391	32,03	314,2	0,782	20	196,2	0,49	6,4	40,96	4,01	6,266	49,87	489,2	1,217	40	392,4	0,98
6,4	40,96	2	3,125	25,36	248,8	0,619	10	98,1	0,24	6,4	40,96	8	12,5	32,50	318,8	0,793	20	196,2	0,49	6,4	40,96	5,5	8,594	50,54	495,8	1,234	40	392,4	0,98
6,4	40,96	2,64	4,125	26,06	255,6	0,636	10	98,1	0,24	6,4	40,96	10,38	16,063	34,86	342	0,851	20	196,2	0,49	6,4	40,96	7,64	11,938	51,21	502,4	1,25	40	392,4	0,98
6,4	40,96	3,01	4,703	25,93	254,4	0,633	10	98,1	0,24	6,4	40,96	10,71	16,734	34,66	340	0,846	20	196,2	0,49	6,4	40,96	8,65	13,516	49,38	484,4	1,206	40	392,4	0,98
6,4	40,96	3,51	5,484	25,77	252,8	0,629	10	98,1	0,24	6,4	40,96	11,21	17,516	34,68	340,2	0,847	20	196,2	0,49	6,4	40,96	9,2	14,375	49,38	484,4	1,206	40	392,4	0,98
6,4	40,96	4,01	6,266	25,69	252	0,627	10	98,1	0,24	6,4	40,96	11,7	18,281	34,62	339,6	0,845	20	196,2	0,49	6,4	40,96	10	15,625	49,75	488	1,214	40	392,4	0,98
6,4	40,96	5,2	8,125	25,38	249	0,62	10	98,1	0,24	6,4	40,96	12,2	19,063	33,27	326,4	0,812	20	196,2	0,49	6,4	40,96	11	17,188	50,25	493	1,227	40	392,4	0,98
6,4	40,96	6,49	10,141	24,97	245	0,61	10	98,1	0,24	6,4	40,96	12,42	19,406	33,07	324,4	0,807	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,79	19,984	50,07	491,2	1,222	40	392,4	0,98

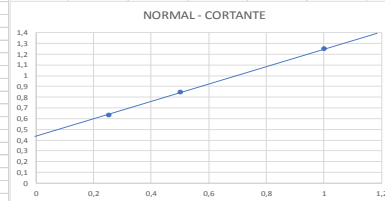
N/cm2	Kg/cm2	0,636
Fuerza	255,6	26,0550459
Área	40,96	40,96
Esfuerzo	6,24023438	0,63610952

N/cm2	Kg/cm2	0,851
Fuerza	342	34,8623853
Área	40,96	40,96
Esfuerzo	8,34960938	0,85113245

N/cm2	Kg/cm2	1,25
Fuerza	502,4	51,2130479
Área	40,96	40,96
Esfuerzo	12,265625	1,25031855



Kg/cm2	NORMAL	CORTANTE
0,25		0,636
0,5		0,851
1		1,25



DENSIDAD GR/CM3	1,956
COHESION (KG/CM2)	0
ANGULO DE FRICCION (GRADOS)	40,310
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM2	7,706



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO PACCHA ESTABILIZADO CLORURO DE SODIO 3%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	21/09/2019

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

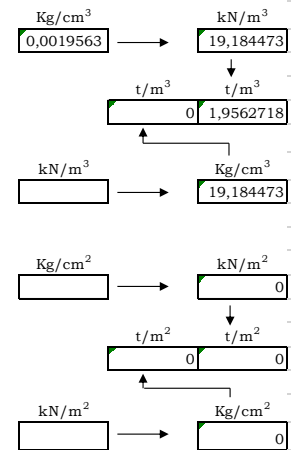
B	0,8m	ϕ	40,31°	$q_v =$	0
L	0,8m	β	0°	$q_h =$	0
Df	1m	c	0 kN/m ²	$\eta =$	0
e. B	0m	γ	19,18447263 kN/m ³	$\delta =$	0
e. L	0m	FS	3		
		π	3,14	1350,76923	

Método de Terzaghi

Nq	81,27
Nc	95,66
Ng	115,31

Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m ²		kN/m ²
qult	2267,01	qadm	755,67
	t/m ²		t/m ²
qult	226,70	qadm	75,57
	kg/cm ²		kg/cm ²
qult	23,12	qadm	7,71





**FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

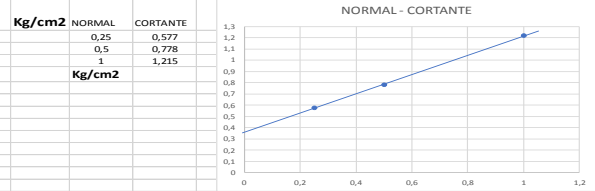
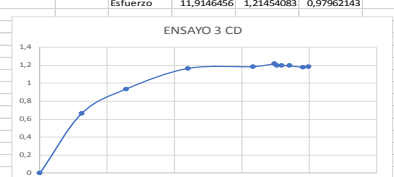
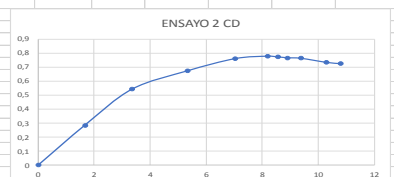
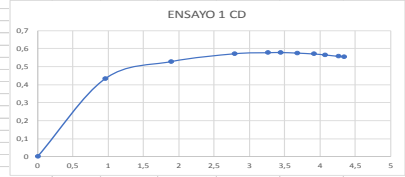
DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD				
Peso Anillo	Phumed 01	Phumed2	Phumed3	Volumen Anillo
139,7	306,8	308	307,6	86,02
Pesos (man)	167,1	168,3	167,9	
Densidad	1,9426	1,9665	1,9519	gr/cm ³
Promedio	1,9503			

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO PACCA ESTABILIZADO CLORURO DE SODIO 5%
SOLICITADO POR	DIANA BARRÓS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	22/09/2019

DETERMINACION DE HUMEDAD					
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
PesoH	179,5	PesoH	189,94	PesoH	194,83
PesoC	158,6	PesoC	166,5	PesoC	173,2
PesoT	52,94	PesoT	52,91	PesoT	64,65
%W	19,78	%W	20,64	%W	19,93

Ensayo 1										Ensayo 2										Ensayo 3									
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm ²	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm ²	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm ²	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm ²	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm ²	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm ²
6,39	40,8321	0	0	0,00	0	0	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	0	0	0,00	0	0	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	0	0	0	0	0	40	392,4	0,98
6,39	40,8321	0,61	0,955	17,59	172,6	0,431	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	1,07	1,674	11,68	114,6	0,286	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	1,97	3,083	27,0132518	245	0,662	40	392,4	0,98
6,39	40,8321	1,21	1,894	21,52	211,1	0,527	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	2,26	3,357	22,16	217,4	0,543	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	4,1	6,416	38,2466871	375,2	0,937	40	392,4	0,98
6,39	40,8321	1,78	2,786	23,28	228,4	0,57	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	3,4	5,321	27,48	269,6	0,673	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	7,03	11,02	47,6044852	467	1,166	40	392,4	0,98
6,39	40,8321	2,08	3,255	23,51	230,6	0,576	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	4,5	7,042	31,09	305	0,761	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	10,11	15,822	48,3995923	474,8	1,185	40	392,4	0,98
6,39	40,8321	2,18	3,443	23,57	231,2	0,577	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	5,23	8,185	31,78	311,8	0,778	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	11,12	17,402	49,9922528	486,5	1,215	40	392,4	0,98
6,39	40,8321	2,35	3,678	23,45	230	0,574	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	5,34	8,37	31,58	309,8	0,771	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	11,25	17,606	48,8888889	479,6	1,197	40	392,4	0,98
6,39	40,8321	2,5	3,912	23,24	228	0,569	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	5,69	8,905	31,31	307,2	0,767	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	11,49	17,981	48,9092762	479,8	1,198	40	392,4	0,98
6,39	40,8321	2,6	4,069	23,04	226	0,564	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	6	9,39	31,17	305,8	0,763	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	11,84	18,529	48,7461774	478,2	1,179	40	392,4	0,98
6,39	40,8321	2,72	4,257	22,71	222,8	0,556	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	6,58	10,297	29,99	294,2	0,734	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	12,5	19,562	48,1345566	472,2	1,179	40	392,4	0,98
6,39	40,8321	2,77	4,335	22,65	222,2	0,555	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	6,89	10,782	29,62	290,6	0,725	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	12,77	19,984	48,3792049	474,6	1,185	40	392,4	0,98

0,25		0,778		0,5		1,215	
Fuerza	231,2	23,567788	10				
Area	40,8321	40,8321	40,8321				
Esfuerzo	5,6622118	0,57718775	0,24490536				
Fuerza				311,8	31,783894	20	
Area				40,8321	40,8321	40,8321	
Esfuerzo				7,636149	0,77840459	0,48981071	



DENSIDAD GR/CM ³	1,950
COHESION (KG/CM ²)	0,27
ANGULO DE FRICCIÓN (GRADOS)	43,070
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM ²	12,625



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO PACCHA ESTABILIZADO CLORURO DE SODIO 5%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	22/09/2019

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

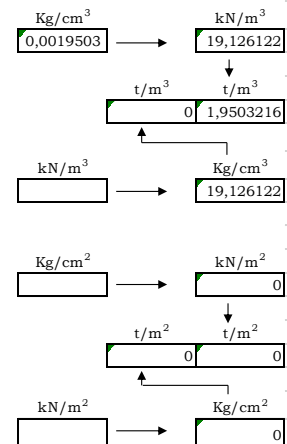
B	0,8m	ϕ	43,07°	$q_v =$	0
L	0,8m	β	0°	$q_h =$	0
Df	1 m	c	0 kN/m ²	$\eta =$	0
e. B	0 m	γ	19,12612162 kN/m ³	$\delta =$	0
e. L	0 m	FS	3		
		π	3,14		1350,76923

Método de Terzaghi

Nq	126,5
Nc	134,58
Ng	211,56


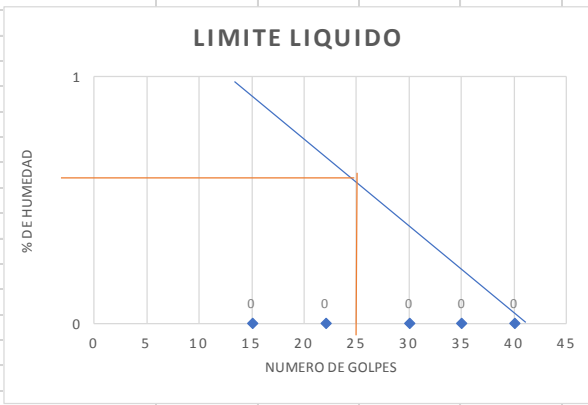
Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m ²		kN/m ²
qult	3714,28	qadm	1238,09
	t/m ²		t/m ²
qult	371,43	qadm	123,81
	kg/cm ²		kg/cm ²
qult	37,88	qadm	12,63



4.11 Anexos E Ensayos de Laboratorio Zona de Estudio Paccha Estabilizado

Ceniza Volante

																
FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN																
PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.															
MUESTRA	ZONNA PACCHA ESTABILIZADA CON CENIZA VOLANTE 5%															
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA															
FECHA	05/09/2019															
LIMITES DE ATERBERG																
	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO										
TARRO #	14	26	50	13	6	11	3	26	1	9						
# DE GOLPES	40	35	30	22	15											
PESO HUM.+ TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
PESO SEC. + TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
PESO AGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
PESO TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
PESO MUESTRA SEC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
% DE HUMEDAD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
GRAFICA LIMITE LIQUIDO						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">LIMITE PLASTICO =</td> <td style="text-align: right;">0,00</td> </tr> <tr> <td>LIMITE LIQUIDO =</td> <td style="text-align: right;">0,00</td> </tr> <tr> <td>INDICE DE PLASTICIDAD =</td> <td style="text-align: right;">0,00</td> </tr> </table>					LIMITE PLASTICO =	0,00	LIMITE LIQUIDO =	0,00	INDICE DE PLASTICIDAD =	0,00
LIMITE PLASTICO =	0,00															
LIMITE LIQUIDO =	0,00															
INDICE DE PLASTICIDAD =	0,00															
																

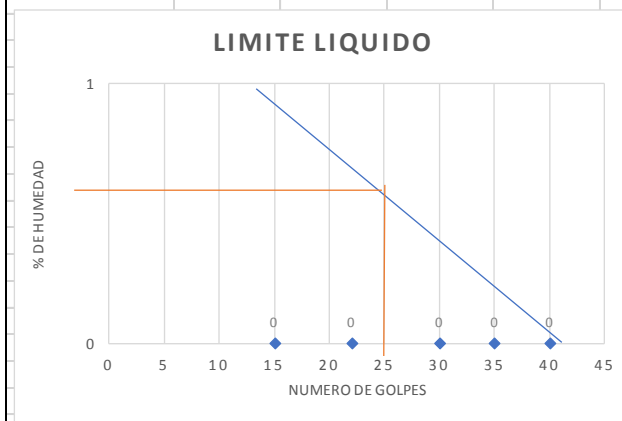
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONNA PACCHA ESTABILIZADA CON CENIZA VOLANTE 20%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	05/09/2019

LIMITES DE ATERBERG

TARRO #	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
	G6	5	202	42	63	9	206	19	52	207
# DE GOLPES	40	35	30	22	15					
PESO HUM.+ TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO SEC. + TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO AGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO MUESTRA SEC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% DE HUMEDAD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

GRAFICA LIMITE LIQUIDO



LIMITE PLASTICO = 0,00

LIMITE LIQUIDO = 0,00

INDICE DE PLASTICIDAD = 0,00

FACULTAD DE INGENIERÍA

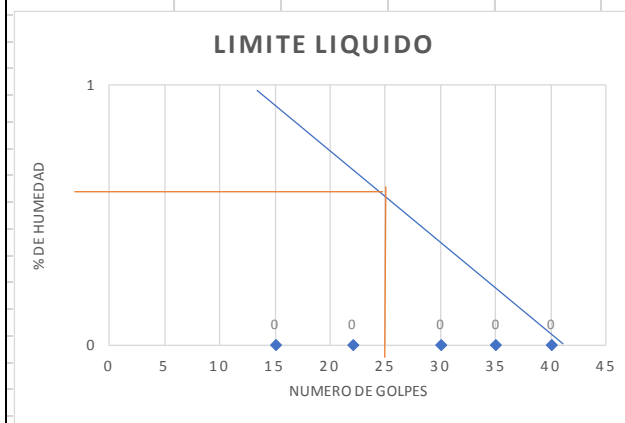
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONNA PACCHA ESTABILIZADA CON CENIZA VOLANTE 40%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	05/09/2019

LIMITES DE ATERBERG

	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
	10	14	50	7	3	6	26	2	7	1
TARRO #	10	14	50	7	3	6	26	2	7	1
# DE GOLPES	40	35	30	22	15					
PESO HUM.+ TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO SEC. + TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO AGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO MUESTRA SEC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% DE HUMEDAD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

GRAFICA LIMITE LIQUIDO



LIMITE PLASTICO = 0,00

LIMITE LIQUIDO = 0,00

INDICE DE PLASTICIDAD = 0,00

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

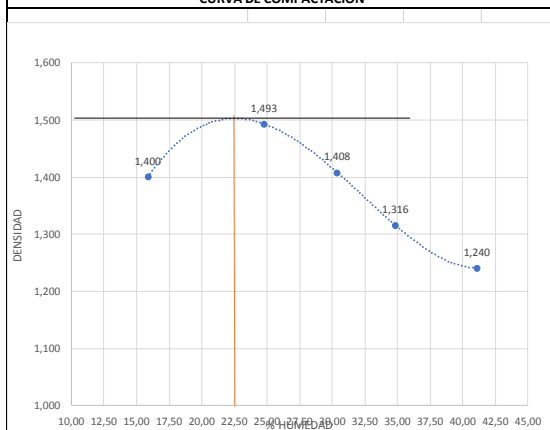
ENSAYO	ESTABILIZACION CENIZA VOLANTE	MUESTRA	CENIZA VOLANTE 5%
MOLDE N°	5275	SOLICITADO	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
VOLUMEN DEL MOLDE	0	NÚMERO DE CAPAS	25
PESO DEL MOLDE	936,83	GOLPES POR CAPA	3

MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	16,55	25,55	31,55	37,55	43,55
AGUA AUMENTADA EN C.C	210	420	560	700	840
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5821	6053	6027	5967,5	5944
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4253,5	4253,5	4253,5	4253,5	4253,5
PESO SUELO HUMEDO	1567,5	1799,5	1773,5	1714	1690,5
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	966,03	966,03	966,03	966,03	966,03
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,623	1,863	1,836	1,774	1,750

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRAS	1		2		3		4		5	
	5	1	A7	6	9A	26	A5	A6	35	M1
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	104,2	93,3	95,7	67	81,4	85,2	138,8	148,6	195,01	187,62
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	97,05	87,8	87,18	62,45	74,5	77,69	119,75	127,7	158,72	152,11
PESO AGUA	7,15	5,5	8,52	4,55	6,9	7,51	19,05	20,9	36,29	35,51
PESO DEL TARRO	52,4	52,8	53,6	43,6	52,1	52,6	66,5	66	70	66
PESO DEL SUELO SECO	44,65	35	33,58	18,85	22,4	25,09	53,25	61,7	88,72	86,11
CONTENIDO DE AGUA EN %	16,01	15,71	25,37	24,14	30,80	29,93	35,77	33,87	40,90	41,24
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	15,86		24,76		30,37		34,82		41,07	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,400		1,493		1,408		1,316		1,240	

CURVA DE COMPACTACION



Densidad Seca Máxima kg/m³=	1500
Humedad optima %=	22,5

FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

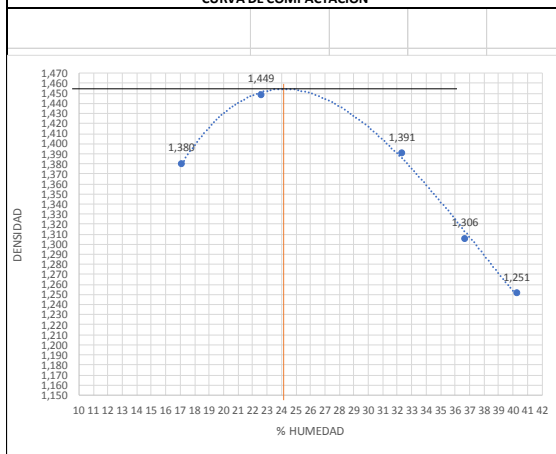
ENSAYO DE COMPACTACIÓN

ENSAYO	ESTABILIZACION CENIZA VOLANTE	MUESTRA	CENIZA VOLANTE 20%
MOLDE N°	5275	SOLICITADO	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
VOLUMEN DEL MOLDE	0	NÚMERO DE CAPAS	25
PESO DEL MOLDE	936,83	GOLPES POR CAPA	3

MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	19,14	28,14	37,14	46,14	52,14
AGUA AUMENTADA EN C.C	220	385	550	715	825
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5766,5	5916	5976	5924	5896
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4256,5	4256,5	4256,5	4256,5	4256,5
PESO SUELO HUMEDO	1510	1659,5	1719,5	1667,5	1639,5
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	934,18	934,18	934,18	934,18	934,18
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,616	1,776	1,841	1,785	1,755

CONTENIDO DE HUMEDAD											
MUESTRAS	1			2		3		4		5	
NUMERO DE TARRO	6	9A	A5	35	5	3	1	26	A7	M1	A6
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	92,65	89,69	115,47	113,63	79,83	77,25	110,88	111,69	160,27	173,52	
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	85,84	83,96	106,14	105,88	73,07	71,34	95,25	96,14	133,4	142,49	
PESO AGUA	6,81	5,73	9,33	7,75	6,76	5,91	15,63	15,55	26,87	31,03	
PESO DEL TARRO	43,64	52,23	66,48	70,13	52,39	52,85	52,72	53,68	66,07	66,02	
PESO DEL SUELO SECO	42,2	31,73	39,66	35,75	20,68	18,49	42,53	42,46	67,33	76,47	
CONTENIDO DE AGUA EN %	16,14	18,06	23,52	21,68	32,69	31,96	36,75	36,62	39,91	40,58	
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	17,10		22,60		32,33		36,69		40,24		
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,380		1,449		1,391		1,306		1,251		

CURVA DE COMPACTACION



Densidad Seca Máxima kg/m3=	1455
Humedad optima %=	24,1



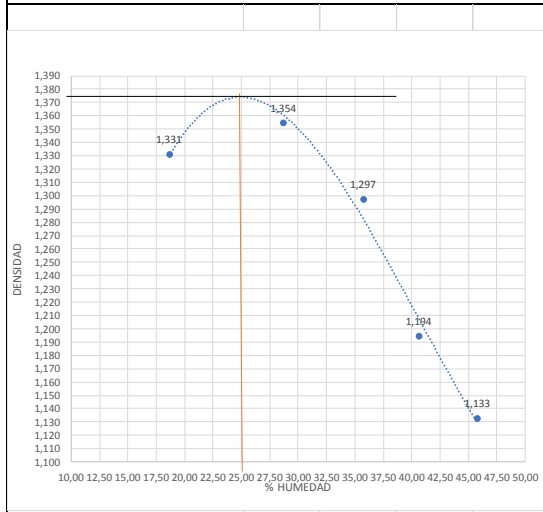
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

ENSAYO	ESTABILIZACION CENIZA VOLANTE			MUESTRA		CENIZA VOLANTE 40%	
MOLDE Nº	5275			SOLICITADO		DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA	
VOLUMEN DEL MOLDE	0			NÚMERO DE CAPAS		25	
PESO DEL MOLDE	936,83			GOLPES POR CAPA		3	
MUESTRA	1	2	3	4	5		
HUMEDAD AÑADIDA EN %	20,06	32,06	41,06	50,06	56,06		
AGUA AUMENTADA EN C.C	220	440	605	770	880		
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5731,5	5885	5901	5825,5	5799,5		
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4256,5	4256,5	4256,5	4256,5	4256,5		
PESO SUELO HUMEDO	1475	1628,5	1644,5	1569	1543		
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	934,18	934,18	934,18	934,18	934,18		
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,579	1,743	1,760	1,680	1,652		

CONTENIDO DE HUMEDAD										
MUESTRAS	1		2		3		4		5	
NUMERO DE TARRO	19	22	26	21	A1	17	2A	5A	8A	13
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	51,74	58,33	76,52	70,83	75,88	88,18	150,2	157,7	116,51	151,81
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	47,1	53,59	65,92	61,37	63,49	72,74	126,28	130,96	93,69	124,3
PESO AGUA	4,64	4,74	10,6	9,46	12,39	15,44	23,92	26,74	22,82	27,51
PESO DEL TARRO	20,97	29,38	28,94	28,51	29,09	29,2	67,25	65,36	43,45	64,76
PESO DEL SUELO SECO	26,13	24,21	36,98	32,86	34,4	43,54	59,03	65,6	50,24	59,54
CONTENIDO DE AGUA EN %	17,76	19,58	28,66	28,79	36,02	35,46	40,52	40,76	45,42	46,20
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	18,67		28,73		35,74		40,64		45,81	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,331		1,354		1,297		1,194		1,133	

CURVA DE COMPACTACION



Densidad Seca Máxima	
kg/m ³ =	1375
Humedad optima %=	25



FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD				
	Phumed g1	Phumed2	Phumed3	Volumen Anillo
Peso Anillo	340,5	340,5	338,6	84,14
Peso inani III	155,75	155,45	153,85	
Densidad Promedio	1,8511	1,8475	1,8285	gr/cm3

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE METODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO PACCA ESTABILIZADO CENIZA VOLANTE 5%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	23/09/2019

DETERMINACION DE HUMEDAD					
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
PesoH	220,31	PesoH	224,23	PesoH	205,19
PesoC	191,7	PesoC	195,6	PesoC	179,01
PesoT	63,71	PesoT	68,26	PesoT	65,11
%W	22,35	%W	22,48	%W	22,99

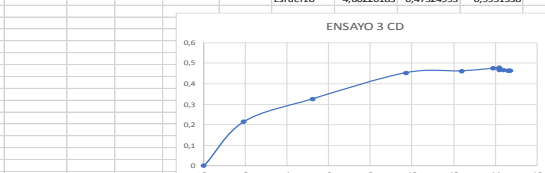
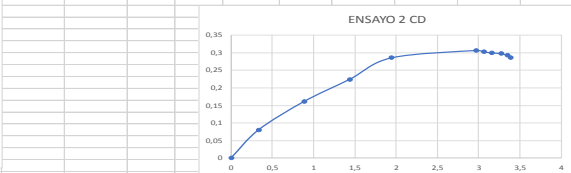
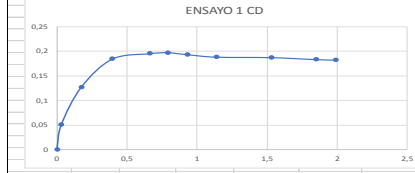
Ensayo 1										Ensayo 2										Ensayo 3									
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2
6,33	40,0689	0	0	0,00	0	0	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	0	0	0,00	0	0	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	0	0	0	0	0	40	392,4	1
6,33	40,0689	0,02	0,032	2,06	20,2	0,051	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	0,21	0,332	3,20	31,4	0,08	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	1,2	1,896	8,58307849	84,2	0,214	40	392,4	1
6,33	40,0689	0,11	0,174	5,10	50	0,127	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	0,56	0,885	6,44	63,2	0,161	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	3,3	5,213	13,0479103	128	0,326	40	392,4	1
6,33	40,0689	0,25	0,395	7,38	72,4	0,184	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	0,91	1,438	9,99	98,2	0,224	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	6,14	9,7	18,1651376	178,5	0,453	40	392,4	1
6,33	40,0689	0,42	0,664	7,81	76,6	0,195	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	1,23	1,943	11,42	112	0,285	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	7,84	12,385	18,5117227	181,6	0,462	40	392,4	1
6,33	40,0689	0,5	0,79	7,91	77,6	0,197	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	1,88	2,97	12,27	120,4	0,306	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	8,98	14,186	19,1029562	187,4	0,477	40	392,4	1
6,33	40,0689	0,59	0,932	7,75	76	0,193	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	1,94	3,065	12,11	119,8	0,302	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	8,8	13,962	19,0621814	187	0,476	40	392,4	1
6,33	40,0689	0,72	1,137	7,54	74	0,188	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	2	3,16	11,97	117,6	0,299	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	8,98	14,186	18,756371	186	0,468	40	392,4	1
6,33	40,0689	0,97	1,532	7,48	73,4	0,187	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	2,07	3,27	11,91	116,8	0,297	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	9,12	14,408	18,7155963	183,6	0,467	40	392,4	1
6,33	40,0689	1,17	1,848	7,34	72	0,183	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	2,12	3,349	11,68	114,6	0,292	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	9,25	14,613	18,6340469	182,8	0,465	40	392,4	1
6,33	40,0689	1,26	1,991	7,30	71,6	0,182	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	2,14	3,381	11,48	112,6	0,286	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	9,32	14,724	18,5321101	181,8	0,463	40	392,4	1

N/cm2	Kg/cm2	0,197
Fuerza	77,6	7,910295617
Área	40,0689	40,0689
Esfuerzo	1,9566641	0,197417339

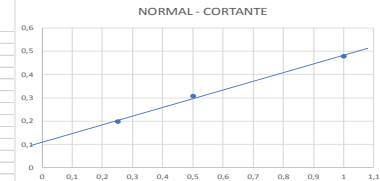
N/cm2	Kg/cm2	0,306
Fuerza	120,4	12,2731906
Área	40,1956	40,1956
Esfuerzo	2,995353	0,30533667

N/cm2	Kg/cm2	0,477
Fuerza	187,4	19,1029562
Área	40,1956	40,1956
Esfuerzo	4,66220183	0,47524993

N/cm2	Kg/cm2	40
Fuerza	187,4	19,1029562
Área	40,1956	40,1956
Esfuerzo	4,66220183	0,47524993



Kg/cm2	NORMAL	CORTANTE
0,25	0,197	
0,5	0,306	
1	0,477	



DENSIDAD GR/CM3	1,842
COHESION (KG/CM2)	0
ANGULO DE FRICCIÓN (GRADOS)	20,550
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM2	0,528



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO PACCHA ESTABILIZADO CENIZA VOLANTE 5%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	23/09/2019

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

B	0,8	m	ϕ	20,55	°	$q_v =$	0
L	0,8	m	β	0	°	$q_h =$	0
Df	1	m	c	0	kN/m ²	$\eta =$	0
e. B	0	m	γ	18,06743753	kN/m ³	$\delta =$	0
e. L	0	m	FS	3			
			π	3,14			1350,76923

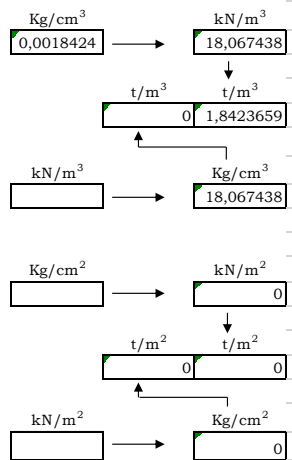
Método de Terzaghi

Nq	7,44
Nc	17,69
Ng	3,64

Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m ²		kN/m ²
qult	155,47	qadm	51,82
	t/m ²		t/m ²
qult	15,55	qadm	5,18
	kg/cm ²		kg/cm ²
qult	1,59	qadm	0,53

Convertitore:





Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD				
Peso Anillo	Phumedo1	Phumedo2	Phumedo3	Volumen Anillo
184,75	336,4	337	338,6	84,14
Pesosinan	151,65	152,25	153,85	
Densidad	1,8024	1,8095	1,8285	gr/cm ³
Densidad Promedio	1,813			

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO PACCA ESTABILIZADO CENIZA VOLANTE 20%
SOLICITADO POR	DIANA BARRIOS PABLO VINTIMILLA
FECHA	26/09/2019

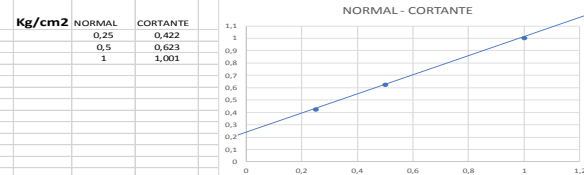
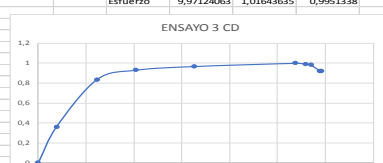
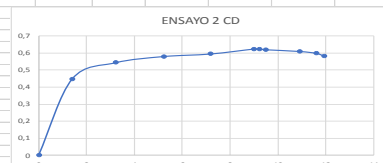
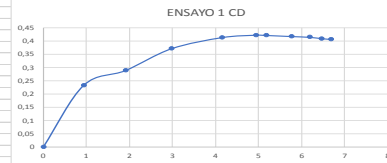
DETERMINACION DE HUMEDAD					
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
PesoH	232,19	PesoH	180,23	PesoH	210,6
PesoC	203,6	PesoC	152,94	PesoC	184,2
PesoT	85,06	PesoT	43,01	PesoT	70,99
%W	24,12	%W	24,82	%W	23,31

Ensayo 1										Ensayo 2										Ensayo 3										
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm ²	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm ²	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm ²	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm ²	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm ²	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm ²	
6,39	40,8321	0	0	0,00	0	0	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	0	0	0,00	0	0	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	0	0	0	0	0	0	40	392,4	0,98
6,39	40,8321	0,6	0,939	9,52	93,4	0,233	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	0,9	1,408	18,29	179,4	0,448	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	0,49	0,747	14,8827727	146	0,364	40	392,4	0,98	
6,39	40,8321	1,22	1,909	11,78	115,6	0,289	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	2,06	3,224	22,18	217,6	0,543	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	1,57	2,457	34,209889	335,6	0,838	40	392,4	0,98	
6,39	40,8321	1,9	2,973	15,15	148,6	0,371	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	3,33	5,211	23,65	232	0,579	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	2,61	4,085	38,0632008	373,4	0,932	40	392,4	0,98	
6,39	40,8321	2,65	4,147	16,86	165,4	0,413	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	4,59	7,183	24,24	237,8	0,594	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	4,17	6,526	39,5514781	388	0,969	40	392,4	0,98	
6,39	40,8321	3,16	4,945	17,53	169	0,422	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	5,75	8,998	25,42	249,4	0,623	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	6,86	10,736	40,8562691	406,8	1,001	40	392,4	0,98	
6,39	40,8321	3,31	5,18	17,19	168,6	0,421	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	5,9	9,233	25,38	249	0,622	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	7,15	11,189	40,8708461	398	0,994	40	392,4	0,98	
6,39	40,8321	3,68	5,759	17,02	167	0,417	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	6,07	9,499	25,28	248	0,619	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	7,28	11,393	40,1639989	394	0,984	40	392,4	0,98	
6,39	40,8321	3,95	6,162	16,50	165,8	0,414	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	6,98	10,923	24,87	244	0,609	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	7,52	11,768	37,6962263	369,8	0,923	40	392,4	0,98	
6,39	40,8321	4,13	6,463	16,70	163,8	0,409	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	7,42	11,612	24,40	239,4	0,598	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	7,54	11,8	37,6350663	369,2	0,922	40	392,4	0,98	
6,39	40,8321	4,27	6,682	16,60	162,8	0,406	10	98,1	0,24	6,39	40,8321	7,62	11,925	23,79	233,4	0,583	20	196,2	0,49	6,39	40,8321	7,57	11,847	37,6146789	369	0,921	40	392,4	0,98	

N/cm ²	169	Kg/cm ²	17,2273191	0,422
Fuerza	40,8321	Area	40,8321	40,8321
Esfuerzo	4,1389005		0,42190627	0,24490536

N/cm ²	249,4	Kg/cm ²	25,4230377	0,623
Fuerza	40,1956	Area	40,1956	40,1956
Esfuerzo	6,204659		0,6234831	0,4975669

N/cm ²	400,8	Kg/cm ²	40,8562691	1,001
Fuerza	40,1956	Area	40,1956	40,1956
Esfuerzo	9,97124063		1,01643635	0,9951388



DENSIDAD GR/CM ³	1,813
COHESION (KG/CM ²)	0,11
ANGULO DE FRICCIÓN (GRADOS)	36,860
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM ²	3,902



FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO PACCHA ESTABILIZADO CENIZA VOLANTE 20%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	26/09/2019

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

B	0,8	m	ϕ	36,86	°	$q_v =$	0
L	0,8	m	β	0	°	$q_h =$	0
Df	1	m	c	0	kN/m ²	$\eta =$	0
e. B	0	m	γ	17,78382869	kN/m ³	$\delta =$	0
e. L	0	m	FS	3			
			π	3,14			1350,76923

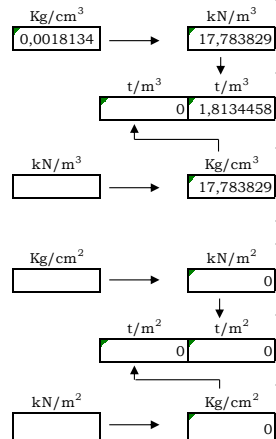
Método de Terzaghi

Nq	47,16
Nc	63,53
Ng	54,36

Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m ²		kN/m ²
quit	1148,04	qadm	382,68
	t/m ²		t/m ²
quit	114,80	qadm	38,27
	kg/cm ²		kg/cm ²
quit	11,71	qadm	3,90

Convertitore:





FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD				
Peso Anillo	Phumed o1	Phumedo2	Phumedo3	Volumen Anillo
184,75	330,9	330,8	331,9	84,14
Pesomim	146,15	146,05	147,15	
Densidad	1,7370	1,7358	1,7489	gr/cm3
Densidad Promedio	1,741			

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA SOLICITADO POR	ZONA DE ESTUDIO PACCA ESTABILIZADO CENIZA VOLANTE 40%
FECHA	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA 27/09/2019

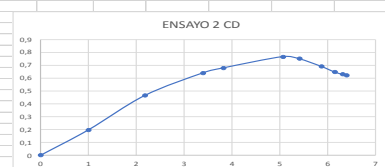
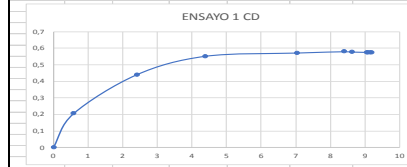
DETERMINACION DE HUMEDAD					
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
PesoH	192,53	PesoH	204,13	PesoH	201,29
PesoT	166,99	PesoC	175,72	PesoC	174,8
PesoT	65,8	PesoT	62,75	PesoT	70,09
%W	25,24	%W	25,15	%W	25,30

Ensayo 1										Ensayo 2										Ensayo 3									
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2
6,33	40,0689	0	0	0,00	0	0	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	0	0	0,00	0	0	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	0	0	0	0	0	40	392,4	1
6,33	40,0689	0,37	0,585	8,22	80,6	0,205	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	0,64	1,011	7,97	78,2	0,199	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	1,41	2,227	32,5586137	319,4	0,813	40	392,4	1
6,33	40,0689	1,52	2,401	17,89	172,6	0,439	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	1,38	2,18	18,57	182,2	0,464	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	2,77	4,376	39,6330275	388,8	0,989	40	392,4	1
6,33	40,0689	2,77	4,376	22,08	216,6	0,551	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	2,15	3,397	25,65	251,6	0,64	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	3,8	6,003	42,6299694	418,2	1,064	40	392,4	1
6,33	40,0689	4,45	7,03	22,90	226,6	0,571	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	2,42	3,823	22,20	266,8	0,679	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	5,26	8,31	45,891947	450,2	1,145	40	392,4	1
6,33	40,0689	5,32	8,404	23,18	227,4	0,579	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	3,21	5,071	30,72	301,4	0,767	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	5,78	9,131	47,0744139	461,8	1,175	40	392,4	1
6,33	40,0689	5,46	8,626	23,12	226,8	0,572	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	3,43	5,419	30,07	295	0,75	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	6,17	9,747	46,5851172	457	1,163	40	392,4	1
6,33	40,0689	5,74	9,052	23,06	226,2	0,575	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	3,72	5,877	27,71	271,8	0,691	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	6,5	10,269	46,3812436	455	1,158	40	392,4	1
6,33	40,0689	5,74	9,068	23,04	226	0,575	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	3,89	6,145	26,01	255,2	0,649	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	3,31	11,122	46,0754332	452	1,15	40	392,4	1
6,33	40,0689	5,78	9,131	23,02	225,8	0,574	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	4	6,319	25,20	247,2	0,629	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	3,36	11,611	45,4638124	446	1,135	40	392,4	1
6,33	40,0689	5,81	9,129	23,00	225,6	0,574	10	98,1	0,25	6,33	40,0689	4,05	6,398	24,87	244	0,621	20	196,2	0,5	6,33	40,0689	3,38	11,88	45,1783894	443,2	1,128	40	392,4	1

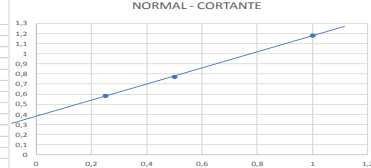
N/cm2	Kg/cm2	0,579
Fuerza	227,4	23,1804281
Área	40,0689	40,0689
Esfuerzo	5,6752244	0,57851421

N/cm2	Kg/cm2	0,767
Fuerza	301,4	30,7237513
Área	40,1956	40,1956
Esfuerzo	7,498333	0,76435608

N/cm2	Kg/cm2	1
Fuerza	461,8	47,0744139
Área	40,1956	40,1956
Esfuerzo	11,4888197	1,1711335



Kg/cm2	NORMAL	CORTANTE
0,25	0,579	
0,5	0,767	
1	1,175	



DENSIDAD GR/CM3	1,741
COHESION (KG/CM2)	0,5
ANGULO DE FRICCIÓN (GRADOS)	38,660
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM2	5,031



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO PACCHA ESTABILIZADO CENIZA VOLANTE 20%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	27/09/2019

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

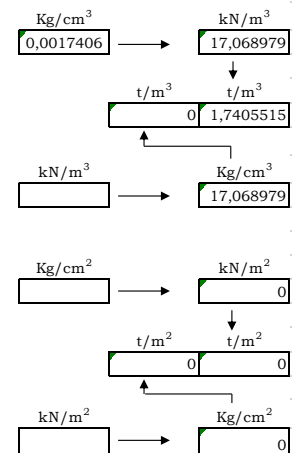
B	0,8 m	ϕ	38,66°	$q_v =$	0
L	0,8 m	β	0°	$q_b =$	0
Df	1 m	c	0 kN/m ²	$\eta =$	0
e. B	0 m	γ	17,06897899 kN/m ³	$\delta =$	0
e. L	0 m	FS	3		
		π	3,14		1350,76923

Método de Terzaghi


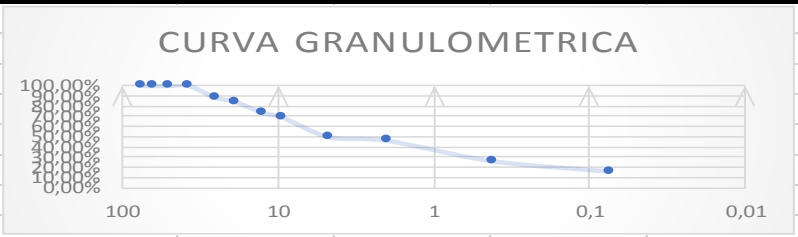
Nq	61,55
Nc	77,5
Ng	78,61

Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m ²		kN/m ²
qult	1479,97	qadm	493,32
	t/m ²		t/m ²
qult	148,00	qadm	49,33
	kg/cm ²		kg/cm ²
qult	15,09	qadm	5,03



4.12 Anexos F Ensayos de Laboratorio Zona de Estudio Nulti Estado Natural

 Universidad Católica de Cuenca						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN						
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO						
PROYECTO		ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.				
MUESTRA		ZONA DE ESTUDIO PACCHA				
SOLICITADO POR :		DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA				
FECHA		01/10/2019				
TAMIZ Nº	ABERTURA MM.	PESO RET. GM.	RET. ACUM. GM.	% RETENIDO	% PASA	% ESPECIF.
3"	76,2	0	0	0	100,00%	
2 1/2"	63,5	0	0	0	100,00%	
2"	50,8	0	0	0	100,00%	
1 1/2"	38,1	98,5	98,5	0	100,00%	
1"	25,4	436	534,5	11,64%	88,36%	
3/4"	19,1	180	714,5	15,55%	84,45%	
1/2"	12,7	499,5	1214	26,43%	73,57%	
3/8"	9,52	198	1412	30,74%	69,26%	
Nº4	4,76	883	2295	49,96%	50,04%	
PASA No4		2681,5	2298,64			
10	2	31	31	53,58%	46,42%	
40	0,42	170,5	201,5	73,49%	26,51%	
200	0,074	87	288,5	83,64%	16,36%	
FONDO		1	289,5	83,76%	16,24%	
TOTAL			4593,64			
PESO ANTES DEL ENSAYO =		500		PESO HUMEDO ANTES DEL LAVADO =		500
PESO DESPUES DEL ENSAYO =		240,8		PESO SECO ANTES DEL LAVADO =		428,61
% DE HUMEDD =		16,66		PESO SECO DESPUES DEL LAVADO =		279
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 1;"> <p>G= 49,96%</p> <p>S= 33,68%</p> <p>F= 16,36%</p> <p>100,0%</p> </div> </div>						
CLASIFICACION	AASTHO	SUCS				
	A-2-4 GRAVA Y ARENA ARCILLOSA O LIMOSA	GM - GRAVA LIMOSA CON ARENA				
Ing. Luis Mario Almache					Ing. Marcos González	
Jefe de Laboratorio					Laboratorista	

FACULTAD DE INGENIERÍA

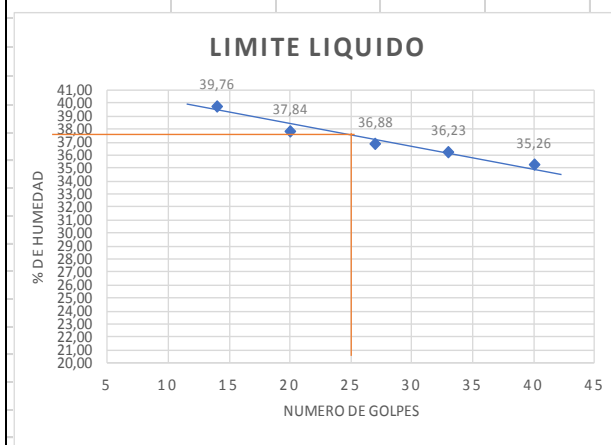
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTADO NATURAL
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	01/10/2019

LÍMITES DE ATERBERG

TARRO #	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
	7	26	5	10	4	8	6	3	37	2
# DE GOLPES	40	33	27	20	14					
PESO HUM.+ TARRO	56,67	49,8	56	57,43	46,65	21,88	23,01	22,02	22,09	22,23
PESO SEC. + TARRO	48,38	42,41	46,85	47,58	39,27	21,7	22,79	21,83	21,92	21,98
PESO AGUA	8,29	7,39	9,15	9,85	7,38	0,18	0,22	0,19	0,17	0,25
PESO TARRO	24,87	22,01	22,04	21,55	20,71	20,89	21,83	20,98	21,18	20,88
PESO MUESTRA SEC	23,51	20,4	24,81	26,03	18,56	0,81	0,96	0,85	0,74	1,1
% DE HUMEDAD	35,26	36,23	36,88	37,84	39,76	22,22	22,92	22,35	22,97	22,73

GRAFICA LIMITE LIQUIDO



LIMITE PLASTICO = 22,64

LIMITE LIQUIDO = 37,50

INDICE DE PLASTICIDAD = 14,86

FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

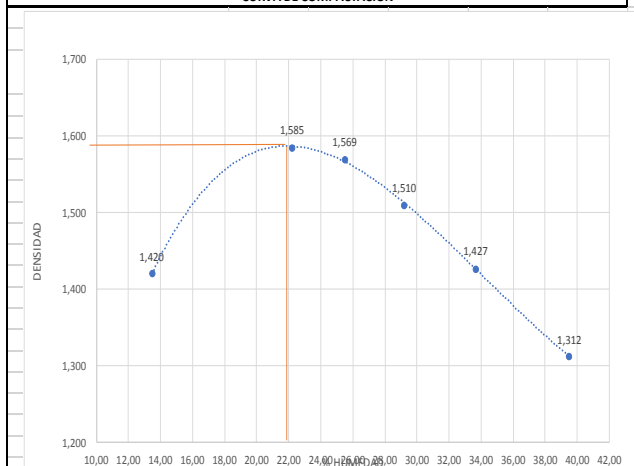
ENSAYO	1	MUESTRA	ESTADO NATURAL ZONA NULTI
MOLDE Nº	5275	SOLICITADO	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
VOLUMEN DEL MOLDE	941,39	NÚMERO DE CAPAS	25
PESO DEL MOLDE	4254	GOLPES POR CAPA	3

MUESTRA	1	2	3	4	5	6
HUMEDAD AÑADIDA EN %	24,19	30,19	36,19	45,19	54,19	11,88
AGUA AUMENTADA EN C.C	120	200	280	400	520	50
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	6078	6108	6090,5	6050	5977,5	5756
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4254	4254	4254	4254	4254	4253
PESO SUELO HUMEDO	1824	1854	1836,5	1796	1723,5	1503
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	941,39	941,39	941,39	941,39	941,39	932,58
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,9376	1,9694	1,9508	1,9078	1,8308	1,6117

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRAS	1		2		3		4		5		6	
NUMERO DE TARRO	A1	13	11	M1	K1	A1J	0	46	22	TS1	A7	A1J
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	110,67	104,74	108,06	106,95	97,9	118,92	137,8	145,33	163,55	126,55	160,85	118,2
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	102,1	97,5	99,4	98,7	85,4	104,1	120,4	125,2	136,4	109,4	149,6	109,6
PESO AGUA	8,57	7,24	8,66	8,25	12,5	14,82	17,4	20,13	27,15	17,15	11,25	8,6
PESO DEL TARRO	63,7	64,8	65,8	66	42,9	53	68,2	66	67,2	66,3	53,69	53,04
PESO DEL SUELO SECO	38,4	32,7	33,6	32,7	42,5	51,1	52,2	59,2	69,2	43,1	95,91	56,56
CONTENIDO DE AGUA EN %	22,3177	22,1407	25,7738	25,2294	29,4118	29,0020	33,3333	34,0034	39,2341	39,7912	11,7297	15,2051
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	22,229		25,502		29,207		33,668		39,513		13,467	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,585		1,569		1,510		1,427		1,312		1,420	

CURVA DE COMPACTACIÓN



Densidad Seca Máxima kg/m ³ =	1585
Humedad optima %=	22

FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD				
Peso Anillo	Phumed 01	Phumed2	Phumed3	Volúmen Anillo
139,7	300,1	300,8	303	86,02
Pesoina	160,4	161,1	163,3	
Densidad	1,8647	1,8728	1,8984	gr/cm3
		1,8786		

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTECNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO NULTI ESTADO NATURAL
SOLICITADO POR	DIANA BARRIOS: PABLO VINTIMILLA
FECHA	06/11/2019

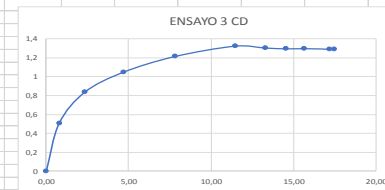
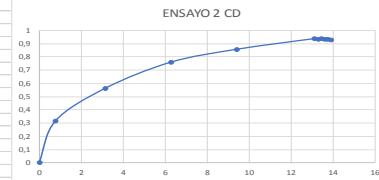
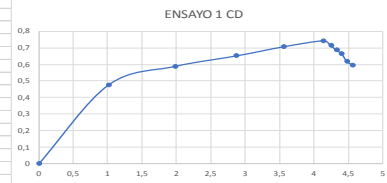
DETERMINACION DE HUMEDAD					
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
PesoH	179,5	PesoH	189,94	PesoH	194,83
PesoC	156,6	PesoC	165,1	PesoC	171,3
PesoT	52,94	PesoT	52,91	PesoT	64,65
%W	22,09	%W	22,14	%W	22,06

Ensayo 1										Ensayo 2										Ensayo 3									
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2
6,4	40,96	0	0	0	0,00	0	10	98,1	0,24	6,4	40,96	0	0	0,00	0	20	196,2	0,49	6,4	40,96	0	0,00	0	0	0	0	40	392,4	0,98
6,4	40,96	0,65	1,016	19,5107034	191,40	0,476	10	98,1	0,24	6,4	40,96	0,5	0,781	12,99	127,4	0,317	20	196,2	0,49	6,4	40,96	0,5	0,78	20,733945	203,4	0,506	40	392,4	0,98
6,4	40,96	1,27	1,984	24,0978593	236,40	0,588	10	98,1	0,24	6,4	40,96	2,01	3,141	23,04	226	0,562	20	196,2	0,49	6,4	40,96	1,5	2,34	34,2915392	336,4	0,837	40	392,4	0,98
6,4	40,96	1,84	2,875	26,6666667	261,60	0,651	10	98,1	0,24	6,4	40,96	4,01	6,266	31,07	304,8	0,759	20	196,2	0,49	6,4	40,96	3	4,69	42,9357798	421,2	1,048	40	392,4	0,98
6,4	40,96	2,28	3,562	28,9092762	283,60	0,706	10	98,1	0,24	6,4	40,96	6,01	9,391	35,05	343,8	0,856	20	196,2	0,49	6,4	40,96	5	7,81	49,745158	488	1,214	40	392,4	0,98
6,4	40,96	2,65	4,141	30,3975335	299,20	0,742	10	98,1	0,24	6,4	40,96	8,4	13,125	38,39	376,6	0,937	20	196,2	0,49	6,4	40,96	7,12	11,44	54,2098988	531,8	1,323	40	392,4	0,98
6,4	40,96	2,72	4,25	29,1539246	286,00	0,712	10	98,1	0,24	6,4	40,96	8,5	13,281	38,25	375,2	0,934	20	196,2	0,49	6,4	40,96	8,5	13,28	53,3944954	523,8	1,304	40	392,4	0,98
6,4	40,96	2,77	4,328	28,1549439	276,20	0,687	10	98,1	0,24	6,4	40,96	8,6	13,438	38,31	375,8	0,935	20	196,2	0,49	6,4	40,96	9,31	14,55	53,0479103	520,4	1,295	40	392,4	0,98
6,4	40,96	2,88	4,406	27,2171254	267,00	0,664	10	98,1	0,24	6,4	40,96	8,7	13,594	38,19	374,6	0,932	20	196,2	0,49	6,4	40,96	10	15,63	53,1294597	521,2	1,297	40	392,4	0,98
6,4	40,96	2,87	4,484	25,3211099	248,40	0,618	10	98,1	0,24	6,4	40,96	8,8	13,75	38,10	373,8	0,93	20	196,2	0,49	6,4	40,96	11	17,19	52,8644241	518,6	1,291	40	392,4	0,98
6,4	40,96	2,92	4,563	24,4036697	239,40	0,596	10	98,1	0,24	6,4	40,96	8,89	13,891	38,02	373	0,928	20	196,2	0,49	6,4	40,96	11,17	17,45	52,7624873	517,6	1,288	40	392,4	0,98

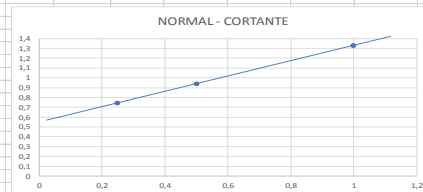
N/cm2	Kg/cm2	0,742
Fuerza	298,2	30,3975335
Área	40,96	40,96
Esfuerzo	7,2802734	0,74212777

N/cm2	Kg/cm2	0,937
Fuerza	376,6	38,3893986
Área	40,96	40,96
Esfuerzo	9,194336	0,93724118

N/cm2	Kg/cm2	1,323
Fuerza	531,8	54,2098988
Área	40,96	40,96
Esfuerzo	12,9833984	1,323



Kg/cm2	NORMAL	CORTANTE
0,25		0,742
0,5		0,937
1		1,323



DENSIDAD GR/CM3	1,879
COHESION (KG/CM2)	0
ANGULO DE FRICCION (GRADOS)	38,65
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM2	4,092



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTADO NATURAL
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	06/11/2019

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

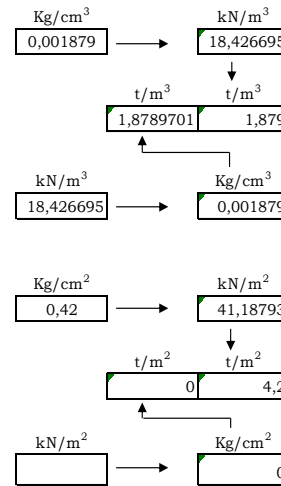
B	0,8	m	ϕ	36,85°	$c_v =$	0
L	0,8	m	β	0°	$q_b =$	0
Df	1	m	c	0	$\eta =$	0
e. B	0	m	γ	18,65	$\delta =$	0
e. L	0	m	FS	3		
			π	3,14		1350,76923

Método de Terzaghi


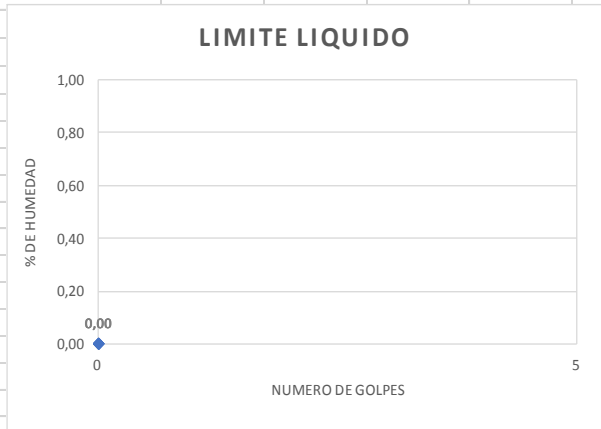
Nq	47,16
Nc	63,53
Ng	54,36

Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m ²		kN/m ²
qult	1203,95	qadm	401,32
	t/m ²		t/m ²
qult	120,40	qadm	40,13
	kg/cm ²		kg/cm ²
qult	12,28	qadm	4,09



4.13 Anexos G Ensayos de Laboratorio Zona de Estudio Paccha Estabilizado Cal

 Universidad Católica de Cuenca FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN										
PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.									
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CAL 3%									
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA									
FECHA	02/10/2019									
LÍMITES DE ATERBERG										
	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
TARRO #	10	14	50	7	3	6	26	2	7	1
# DE GOLPES	0	0	0	0	0					
PESO HUM.+ TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO SEC. + TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO AGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO MUESTRA SEC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% DE HUMEDAD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GRAFICA LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO = NP				
						LIMITE LIQUIDO= NP				
						INDICE DE PLASTICIDAD= NP				



Facultad de Ingeniería

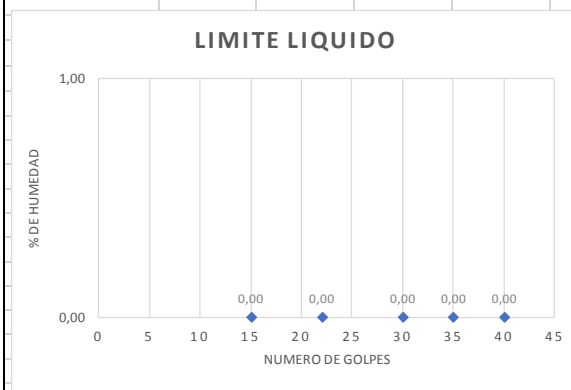
Laboratorio de Suelos y Materiales de Construcción

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CAL 7%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	03/10/2019

LÍMITES DE ATERBERG

TARRO #	LÍMITE LIQUIDO					LÍMITE PLASTICO				
	G6	5	202	42	63	9	206	19	52	207
# DE GOLPES	40	35	30	22	15					
PESO HUM.+ TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO SEC. + TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO AGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO MUESTRA SEC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% DE HUMEDAD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

GRAFICA LIMITE LIQUIDO



LIMITE PLASTICO = 0,00

LIMITE LIQUIDO = 0,00

INDICE DE PLASTICIDAD = 0,00



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

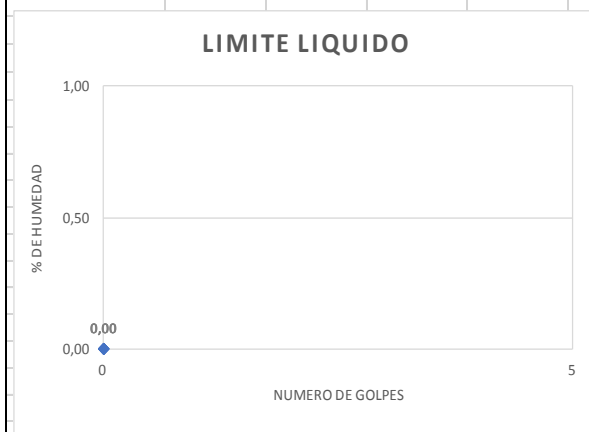
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CAL 12%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	04/10/2019

LÍMITES DE ATERBERG

TARRO #	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
	203	2	191	302	B1	JP6	JP7	60	1169	209
# DE GOLPES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO HUM.+ TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO SEC. + TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO AGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO MUESTRA SEC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% DE HUMEDAD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

GRAFICA LIMITE LIQUIDO



LIMITE PLASTICO = 0,00

LIMITE LIQUIDO = 0,00

INDICE DE PLASTICIDAD = 0,00

FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

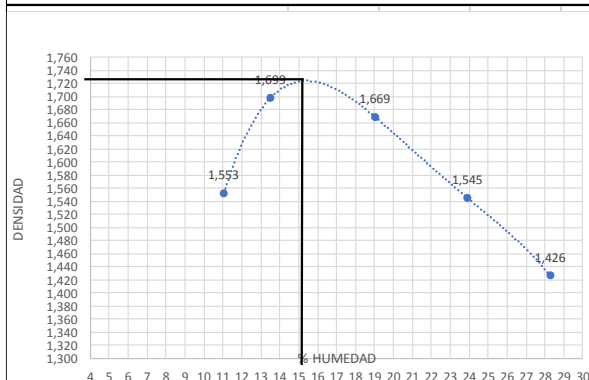
ENSAYO	ESTABILIZACION CAL		MUESTRA		CAL 3%	
MOLDE Nº	5275		SOLICITADO		DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA	
VOLUMEN DEL MOLDE	936,83		NÚMERO DE CAPAS		25	
PESO DEL MOLDE	4256		GOLPES POR CAPA		3	
MUESTRA	1	2	3	4	5	
HUMEDAD AÑADIDA EN %	16,51	25,51	31,51	50,51	59,51	
AGUA AUMENTADA EN C.C	165	220	330	495	630	
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5871,5	6063	6117,5	6050	5970	
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4256	4256	4256	4256	4256	
PESO SUELO HUMEDO	1615,5	1807	1861,5	1794	1714	
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	936,83	936,83	936,83	936,83	936,83	
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,724	1,929	1,987	1,915	1,830	

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRAS	1		2		3		4		5	
NUMERO DE TARRO	A7	A6	C1	A5	M1	0	11	13	88	16
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	81,93	111,65	114,52	116,6	118,07	105,47	114,71	124,81	108,25	91,67
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	79,74	106,6	108,51	110,79	109,59	99,64	105,31	113,22	94,25	80,96
PESO AGUA	2,19	5,05	6,01	5,81	8,48	5,83	9,4	11,59	14	10,71
PESO DEL TARRO	53,7	69,73	65,45	66,42	66,08	68,28	65,99	64,8	43,93	43,72
PESO DEL SUELO SECO	26,04	36,87	43,06	44,37	43,51	31,36	39,32	48,42	50,32	37,24
CONTENIDO DE AGUA EN %	8,41	13,70	13,96	13,09	19,49	18,59	23,91	23,94	27,82	28,76
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	11,053		13,526		19,040		23,921		28,291	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,553		1,699		1,669		1,545		1,426	

CURVA DE COMPACTACION

Densidad Seca Máxima kg/m ³ =	1725
Humedad optima %=-	15,1





Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

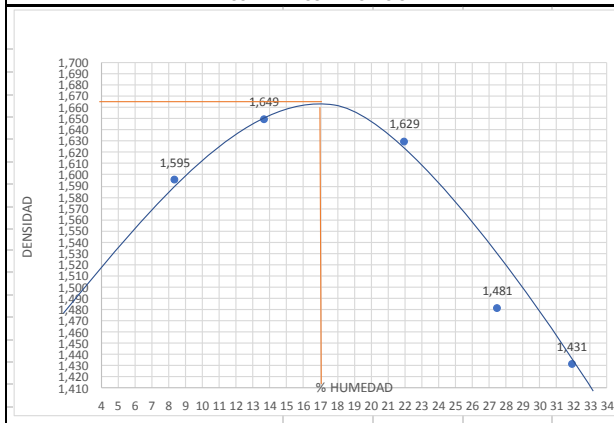
ENSAYO DE COMPACTACIÓN

ENSAYO	ESTABILIZACION CAL		MUESTRA		CAL 7%	
MOLDE N°	5275		SOLICITADO		DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA	
VOLUMEN DEL MOLDE	935,23		NÚMERO DE CAPAS		25	
PESO DEL MOLDE	4259,5		GOLPES POR CAPA		3	
MUESTRA	1	2	3	4	5	
HUMEDAD AÑADIDA EN %	16,17	24,17	33,17	44,17	53,17	
AGUA AUMENTADA EN C.C	135	270	405	585	720	
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5876	6012,5	6118	6025	6025	
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4259,5	4259,5	4259,5	4259,5	4259,5	
PESO SUELO HUMEDO	1616,5	1753	1858,5	1765,5	1765,5	
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	935,23	935,23	935,23	935,23	935,23	
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,728	1,874	1,987	1,888	1,888	

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRAS	1		2		3		4		5	
NUMERO DE TARRO	A6	41	11	18	1	K1	15	KA	A1J	A8
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	109,29	100,37	95,84	96,76	77	78,31	134,91	119,52	92,45	122,4
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	105,87	97,71	92,6	92,8	72,47	72,25	119,3	109,28	83,2	108,06
PESO AGUA	3,42	2,66	3,24	3,96	4,53	6,06	15,61	10,24	9,25	14,34
PESO DEL TARRO	66	64,99	68,2	64,52	52,95	43	65,63	69,67	53,05	64,72
PESO DEL SUELO SECO	39,87	32,72	24,4	28,28	19,52	29,25	53,67	39,61	30,15	43,34
CONTENIDO DE AGUA EN %	8,58	8,13	13,28	14,00	23,21	20,72	29,09	25,85	30,68	33,09
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	8,354		13,641		21,962		27,469		31,884	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,595		1,649		1,629		1,481		1,431	

CURVA DE COMPACTACION



Densidad Seca Máxima kg/m3=	1668
Humedad optima %=	17



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

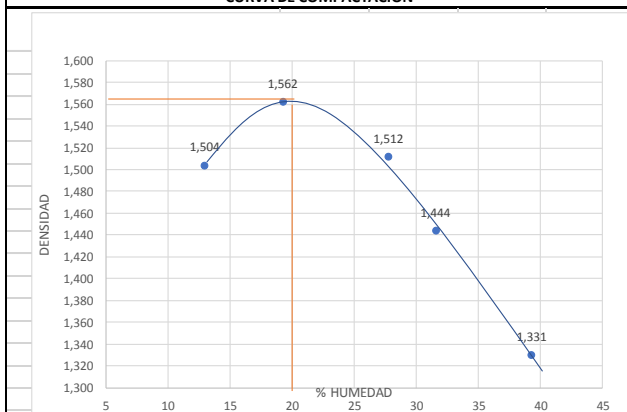
ENSAYO DE COMPACTACIÓN

ENSAYO	ESTABILIZACION CAL		MUESTRA		CAL 12%	
MOLDE N°	5275		SOLICITADO		DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA	
VOLUMEN DEL MOLDE	935,23		NÚMERO DE CAPAS		25	
PESO DEL MOLDE	4259,5		GOLPES POR CAPA		3	
MUESTRA	1	2	3	4	5	
HUMEDAD AÑADIDA EN %	16,09	25,09	37,09	47,09	62,09	
AGUA AUMENTADA EN C.C	135	270	450	585	810	
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5849	6002	6066	6036	5993	
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4259,5	4259,5	4259,5	4259,5	4259,5	
PESO SUELO HUMEDO	1589,5	1742,5	1806,5	1776,5	1733,5	
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	935,23	935,23	935,23	935,23	935,23	
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,699581921	1,863178042	1,931610406	1,899532735	1,853554741	

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRAS	1		2		3		4		5	
NUMERO DE TARRO	11	10	t0	4	13	20	5	12	a1	c2
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	65,47	56,52	84,84	85,36	77,48	63,77	127,86	101,94	142,8	148,73
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	61,22	53,44	78,27	78,64	72,06	59,24	113,38	90,19	120,77	125,06
PESO AGUA	4,25	3,08	6,57	6,72	5,42	4,53	14,48	11,75	22,03	23,67
PESO DEL TARRO	29,03	29,26	43,81	44,09	52,41	43,01	67,49	52,92	63,7	65,81
PESO DEL SUELO SECO	32,19	24,18	34,46	34,55	19,65	16,23	45,89	37,27	57,07	59,25
CONTENIDO DE AGUA EN %	13,20	12,74	19,07	19,45	27,58	27,91	31,55	31,53	38,60	39,95
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	12,970		19,258		27,747		31,540		39,276	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,504		1,562		1,512		1,444		1,331	

CURVA DE COMPACTACION



Densidad Seca Máxima kg/m³=	1563
Humedad optima %=	20



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD				
Peso	Phumedo1	Phumedo2	Phumedo3	Volumen
139,7	310,5	310,5	310,7	86,02
Pesolina	170,8	170,8	171	
Densidad	1,9856	1,9856	1,9879	gr/cm3
Densidad	1,9864			

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CAL 3%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	07/11/2019

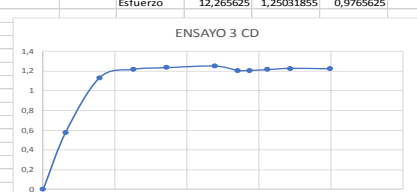
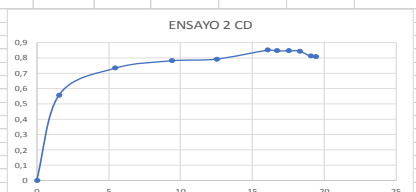
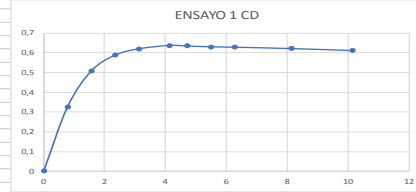
DETERMINACION DE HUMEDAD					
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
PesoH	182,53	PesoH	211,84	PesoH	202,5
PesoC	165,3	PesoC	192,75	PesoC	184,65
PesoT	52,95	PesoT	66,45	PesoT	65,68
%W	15,13	%W	15,11	%W	15,00

Ensayo 1											Ensayo 2											Ensayo 3										
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2		Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2		Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2	
6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	10	98,1	0,24		6,4	40,96	0	0	0,00	0	20	196,2	0,49		6,4	40,96	0	0	0,00	0	40	392,4	0,98			
6,4	40,96	0,5	0,781	13,31	130,6	0,325	10	98,1	0,24		6,4	40,96	1	1,563	22,90	224,6	0,559	20	196,2	0,49		6,4	40,96	1	1,563	23,71	232,6	0,579	40	392,4	0,98	
6,4	40,96	1	1,563	20,75	203,6	0,507	10	98,1	0,24		6,4	40,96	3,5	5,469	30,05	294,8	0,734	20	196,2	0,49		6,4	40,96	2,51	3,922	46,38	455	1,132	40	392,4	0,98	
6,4	40,96	1,5	2,344	24,06	236	0,587	10	98,1	0,24		6,4	40,96	6,01	9,391	32,03	314,2	0,782	20	196,2	0,49		6,4	40,96	4,01	6,266	49,87	489,2	1,217	40	392,4	0,98	
6,4	40,96	2	3,125	25,36	248,8	0,619	10	98,1	0,24		6,4	40,96	8	12,5	32,50	318,8	0,793	20	196,2	0,49		6,4	40,96	5,5	8,594	50,54	495,8	1,234	40	392,4	0,98	
6,4	40,96	2,64	4,125	26,06	255,6	0,636	10	98,1	0,24		6,4	40,96	10,28	16,063	34,86	342	0,851	20	196,2	0,49		6,4	40,96	7,64	11,938	51,21	502,4	1,25	40	392,4	0,98	
6,4	40,96	3,01	4,703	25,93	254,4	0,633	10	98,1	0,24		6,4	40,96	10,71	16,734	34,66	340	0,846	20	196,2	0,49		6,4	40,96	8,65	13,516	49,38	484,4	1,206	40	392,4	0,98	
6,4	40,96	3,51	5,484	25,77	252,8	0,629	10	98,1	0,24		6,4	40,96	11,21	17,516	34,68	340,2	0,847	20	196,2	0,49		6,4	40,96	9,2	14,375	49,38	484,4	1,206	40	392,4	0,98	
6,4	40,96	4,01	6,266	25,69	252	0,627	10	98,1	0,24		6,4	40,96	11,7	18,281	34,62	339,6	0,845	20	196,2	0,49		6,4	40,96	10	15,625	49,75	488	1,214	40	392,4	0,98	
6,4	40,96	5,2	8,125	25,38	249	0,62	10	98,1	0,24		6,4	40,96	12,2	19,063	33,27	326,4	0,812	20	196,2	0,49		6,4	40,96	11	17,188	50,25	493	1,227	40	392,4	0,98	
6,4	40,96	6,49	10,141	24,97	245	0,61	10	98,1	0,24		6,4	40,96	12,42	19,406	33,07	324,4	0,807	20	196,2	0,49		6,4	40,96	12,79	19,984	50,07	491,2	1,222	40	392,4	0,98	

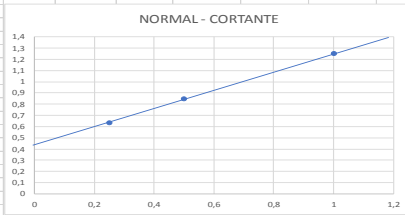
N/cm2	0,636
Kg/cm2	25,0590459
Fuerza	40,96
Área	40,96
Esfuerzo	6,2402344 0,63610952 0,24414063

N/cm2	0,851
Kg/cm2	34,8623853
Fuerza	40,96
Área	40,96
Esfuerzo	8,349609 0,85113245 0,48828125

N/cm2	1,25
Kg/cm2	51,2130479
Fuerza	502,4
Área	40,96
Esfuerzo	12,265625 1,25031855 0,9765625



Kg/cm2 NORMAL	CORTANTE
0,25	0,636
0,5	0,851
1	1,25



DENSIDAD GR/CM3	1,986
COHESION (KG/CM2)	0,3
ANGULO DE FRICCION (GRADOS)	40,030
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM2	7,823



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CAL 3%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	07/11/2019

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

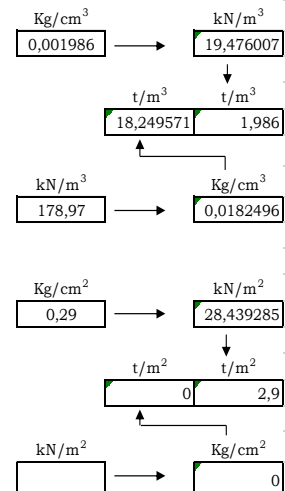
B	0,8m	ϕ	40,03°	$q_v =$	0
L	0,8m	β	0°	$q_h =$	0
Df	1m	c	0 kN/m ²	$\eta =$	0
e. B	0m	γ	19,4760069 kN/m ³	$\delta =$	0
e. L	0m	FS	3		
		π	3,14		1350,76923

Método de Terzaghi

N _q	81,27
N _c	95,66
N _g	115,31

Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m ²		kN/m ²
q _{ult}	2301,46	q _{adm}	767,15
	t/m ²		t/m ²
q _{ult}	230,15	q _{adm}	76,72
	kg/cm ²		kg/cm ²
q _{ult}	23,47	q _{adm}	7,82



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

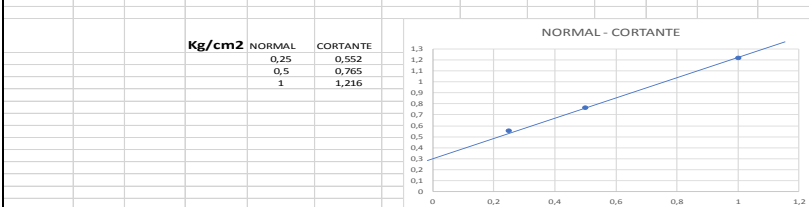
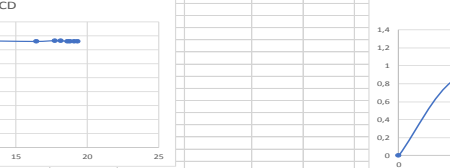
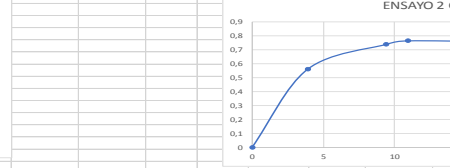
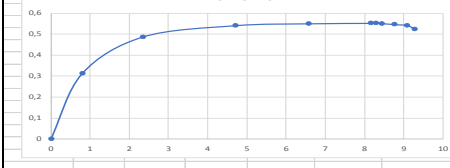
DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD				
Peso Anillo, g	Phumedo1	Phumedo2	Phumedo3	Volumen Anillo
139,7	307,2	307,6	307,1	86,02
Pesoinanillo	168	167,9	167,4	
Densidad	1,9530	1,9519	1,9461	gr/cm ³
Densidad Promedio	1,9503			

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CAL 7%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	11/11/2019

DETERMINACION DE HUMEDAD					
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
PesoH	192,76	PesoH	212,85	PesoH	225,67
PesoC	172,5	PesoC	191,2	PesoC	202,5
PesoT	52,92	PesoT	64,71	PesoT	65,81
%W	16,94	%W	17,12	%W	16,95

Ensayo 1										Ensayo 2										Ensayo 3									
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante kg/cm ²	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal kg/cm ²	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante kg/cm ²	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal kg/cm ²	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante kg/cm ²	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal kg/cm ²
6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	10	98,1	0,24	6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	20	196,2	0,49	6,4	40,96	0	0	0	0	0	40	392,4	0,98
6,4	40,96	0,51	0,797	12,76	125,2	0,312	10	98,1	0,24	6,4	40,96	2,5	3,906	22,2	0,56	20	196,2	0,49	6,4	40,96	2,51	3,922	34,8827727	342,2	0,852	40	392,4	0,98	
6,4	40,96	1,5	2,344	19,96	195,8	0,487	10	98,1	0,24	6,4	40,96	6	9,375	30,19	0,737	20	196,2	0,49	6,4	40,96	6,01	9,391	43,7716616	429,4	1,069	40	392,4	0,98	
6,4	40,96	3,01	4,703	22,14	217,2	0,541	10	98,1	0,24	6,4	40,96	7,01	10,953	31,25	0,763	20	196,2	0,49	6,4	40,96	8,5	13,281	45,4434251	445,8	1,109	40	392,4	0,98	
6,4	40,96	4,21	6,578	22,51	220,8	0,55	10	98,1	0,24	6,4	40,96	10,51	16,422	31,09	0,759	20	196,2	0,49	6,4	40,96	10,7	16,719	47,9714577	470,6	1,171	40	392,4	0,98	
6,4	40,96	5,22	8,156	22,63	222	0,552	10	98,1	0,24	6,4	40,96	11,33	17,703	31,31	0,765	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,79	19,984	49,8063201	488,6	1,216	40	392,4	0,98	
6,4	40,96	5,3	8,281	22,61	221,8	0,552	10	98,1	0,24	6,4	40,96	11,6	18,125	31,29	0,764	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,79	19,984	49,8063201	488,6	1,216	40	392,4	0,98	
6,4	40,96	5,4	8,438	22,57	221,4	0,551	10	98,1	0,24	6,4	40,96	11,9	18,594	31,15	0,761	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,79	19,984	49,8063201	488,6	1,216	40	392,4	0,98	
6,4	40,96	5,61	8,766	22,34	219,2	0,546	10	98,1	0,24	6,4	40,96	12	18,75	31,21	0,762	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,79	19,984	49,8063201	488,6	1,216	40	392,4	0,98	
6,4	40,96	5,81	9,078	22,20	217,8	0,542	10	98,1	0,24	6,4	40,96	12,21	19,078	31,07	0,759	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,79	19,984	49,8063201	488,6	1,216	40	392,4	0,98	
6,4	40,96	5,94	9,281	21,51	211	0,525	10	98,1	0,24	6,4	40,96	12,34	19,281	31,13	0,76	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,79	19,984	49,8063201	488,6	1,216	40	392,4	0,98	

N/cm ²	Kg/cm ²	0,552	0,25	0,765	0,5	1,216
Fuerza	222	22,6299694	10	307,2	31,3149847	40
Área	40,96	40,96	40,96	40,96	40,96	40,96
Esfuerzo	5,4199219	0,55248949	0,24414063	7,5	0,76452599	0,48828125
				1	9,81	
Fuerza						
Área	40,96	40,96	40,96	40,96	40,96	40,96
Esfuerzo	11,9287109	1,2160	0,9765625			



DENSIDAD GR/CM ³	1,950
COHESION (KG/CM ²)	0,3
ANGULO DE FRICCIÓN (GRADOS)	41,589
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM ²	9,023



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CAL 7%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	11/11/2019

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

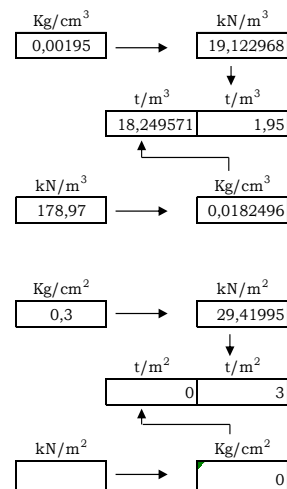
B	0,8	m	ϕ	41,59	°	$q_v =$	0
L	0,8	m	β	0	°	$q_m =$	0
Df	1	m	c	0	kN/m ²	$\eta =$	0
e. B	0	m	γ	19,1229675	kN/m ³	$\delta =$	0
e. L	0	m	FS	3			
			π	3,14		1350,76923	

Método de Terzaghi

Nq	93,85
Nc	106,81
Ng	140,51

Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m ²		kN/m ²
qult	2654,52	qadm	884,84
	t/m ²		t/m ²
qult	265,45	qadm	88,48
	kg/cm ²		kg/cm ²
qult	27,07	qadm	9,02



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD				
Peso Anillo	Phumed o1	Phumedo2	Phumedo3	Volumen Anillo
139,7	300,5	300	300,4	86,02
Pesoinanillo	160,8	160,3	160,7	
Densidad	1,8693	1,8635	1,8682	gr/cm3
Densidad Promedio	1,867			

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CAL 12%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	12/11/2019

DETERMINACION DE HUMEDAD					
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
PesoH	227,98	PesoH	223,5	PesoH	200,7
PesoC	200,91	PesoC	197,2	PesoC	176,8
PesoT	68,17	PesoT	66	PesoT	53,03
%W	20,39	%W	20,05	%W	19,31

Ensayo 1												Ensayo 2												Ensayo 3											
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kpa	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2						
6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	10	98,1	0,24	6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	20	196,2	0,49	6,4	40,96	0	0	0	0	0	0	0	0						
6,4	40,96	1,71	2,672	17,86	175,2	0,436	10	98,1	0,24	6,4	40,96	1,51	2,359	18,23	178,8	0,445	20	196,2	0,49	6,4	40,96	2	3,125	30,244456	296,6	0,738	40	392,4	0,98						
6,4	40,96	4,5	7,031	20,27	198,8	0,495	10	98,1	0,24	6,4	40,96	3	4,688	29,11	285,6	0,711	20	196,2	0,49	6,4	40,96	5	7,813	39,9184506	391,6	0,975	40	392,4	0,98						
6,4	40,96	5,1	7,969	20,61	202,2	0,503	10	98,1	0,24	6,4	40,96	4,51	7,047	29,75	291,8	0,726	20	196,2	0,49	6,4	40,96	7,5	11,719	41,1416922	403,6	1,004	40	392,4	0,98						
6,4	40,96	6,8	10,625	21,35	209,4	0,521	10	98,1	0,24	6,4	40,96	7,01	10,953	29,85	292,8	0,729	20	196,2	0,49	6,4	40,96	10	15,625	43,9959225	431,6	1,074	40	392,4	0,98						
6,4	40,96	8,11	12,672	21,81	214	0,533	10	98,1	0,24	6,4	40,96	8,45	13,203	30,15	295,8	0,736	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,64	19,75	45,9531091	450,8	1,122	40	392,4	0,98						
6,4	40,96	8,2	12,812	21,69	212,8	0,53	10	98,1	0,24	6,4	40,96	8,55	13,359	30,11	295,4	0,735	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,68	19,813	45,891947	450,2	1,12	40	392,4	0,98						
6,4	40,96	8,3	12,969	21,63	212,2	0,528	10	98,1	0,24	6,4	40,96	8,66	13,531	30,03	294,6	0,733	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,71	19,859	45,8307849	449,6	1,119	40	392,4	0,98						
6,4	40,96	8,4	13,125	21,69	212,8	0,53	10	98,1	0,24	6,4	40,96	8,77	13,703	29,83	292,6	0,728	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,74	19,906	45,8511723	449,8	1,119	40	392,4	0,98						
6,4	40,96	8,47	13,234	21,63	212,2	0,528	10	98,1	0,24	6,4	40,96	8,87	13,859	29,81	292,4	0,728	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,78	19,969	45,8307849	449,6	1,119	40	392,4	0,98						
6,4	40,96	8,54	13,344	21,57	211,6	0,527	10	98,1	0,24	6,4	40,96	8,94	13,969	29,75	291,8	0,726	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,79	19,984	45,8307849	449,6	1,119	40	392,4	0,98						

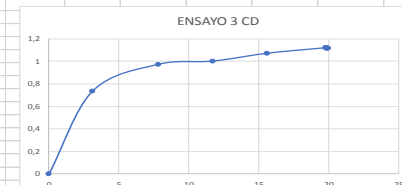
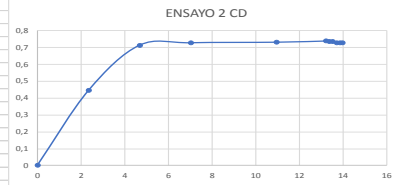
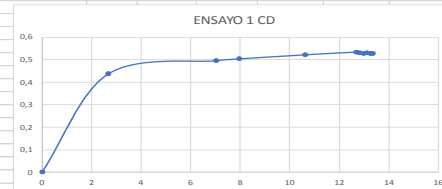
N/cm2	214	Kg/cm2	0,533
Fuerza	214	21,814475	10
Area	40,96	40,96	40,96
Esfuerzo	5,2246094	0,533	0,24414063

0,25

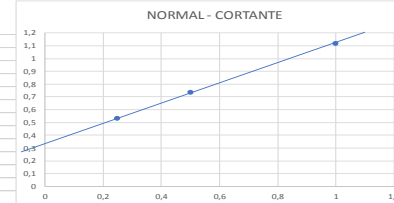
N/cm2	295,8	Kg/cm2	0,736
Fuerza	295,8	30,1529052	20
Area	40,96	40,96	40,96
Esfuerzo	7,22168	0,73615491	0,48828125

0,5

N/cm2	450,8	Kg/cm2	1,122
Fuerza	450,8	45,9531091	40
Area	40,96	40,96	40,96
Esfuerzo	11,0058594	1,12190208	0,9765625



Kg/cm2	NORMAL	CORTANTE
0,25	0,533	
0,5	0,736	
1	1,122	



DENSIDAD GR/CM3	1,867
COHESION (KG/CM2)	0,24
ANGULO DE FRICCION (GRADOS)	42,760
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM2	10,193



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CAL 12%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	12/11/2019

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

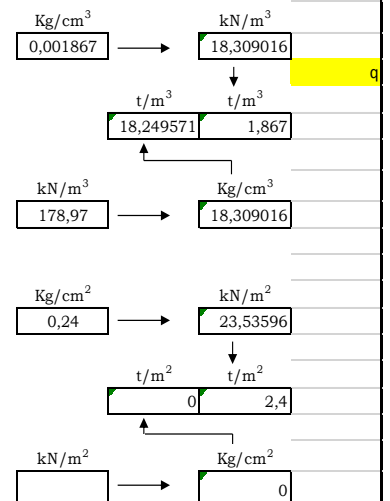
B	0,8m	ϕ	42,76°	$q_v =$	0
L	0,8m	β	0°	$q_h =$	0
Df	1m	c	0 kN/m ²	$\eta =$	0
e. B	0m	γ	18,30901555 kN/m ³	$\delta =$	0
e. L	0m	FS	3		
		π	3,14		1350,76923

Método de Terzaghi

N _q	108,75				
N _c	119,67				
N _g	171,99				


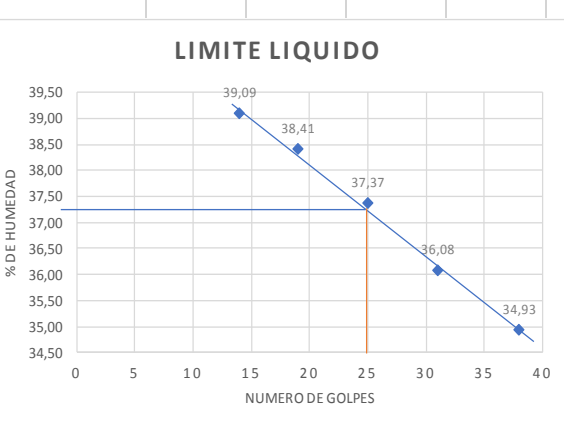
Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m ²		kN/m ²
q _{ult}	2998,78	q _{adm}	999,59
	t/m ²		t/m ²
q _{ult}	299,88	q _{adm}	99,96
	kg/cm ²		kg/cm ²
q _{ult}	30,58	q _{adm}	10,19



4.14 Anexos H Ensayos de Laboratorio Zona de Estudio Paccha Estabilizado

Cloruro de Sodio

 Universidad Católica de Cuenca										
FACULTAD DE INGENIERÍA										
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN										
PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.									
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CLORURO DE SODIO 1%									
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA									
FECHA	05/10/2019									
LÍMITES DE ATERBERG										
	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
TARRO #	14	1	21	6	26	11A	7	61	52	11
# DE GOLPES	38	31	25	19	14					
PESO HUM.+ TARRO	39,4	37,5	37	42,3	38,4	14,1	14,3	13,4	14,5	23,5
PESO SEC. + TARRO	34,67	33,12	32,56	36,65	33,67	13,78	13,85	13,12	14,01	23,18
PESO AGUA	4,73	4,38	4,44	5,65	4,73	0,32	0,45	0,28	0,49	0,32
PESO TARRO	21,13	20,98	20,68	21,94	21,57	12,36	12,17	12,18	12,41	22,08
PESO MUESTRA SEC	13,54	12,14	11,88	14,71	12,1	1,42	1,68	0,94	1,6	1,1
% DE HUMEDAD	34,93	36,08	37,37	38,41	39,09	22,54	26,79	29,79	30,63	29,09
GRÁFICA LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO =		29,83		
						LIMITE LIQUIDO=		37,25		
						INDICE DE PLASTICIDAD=		7,42		



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

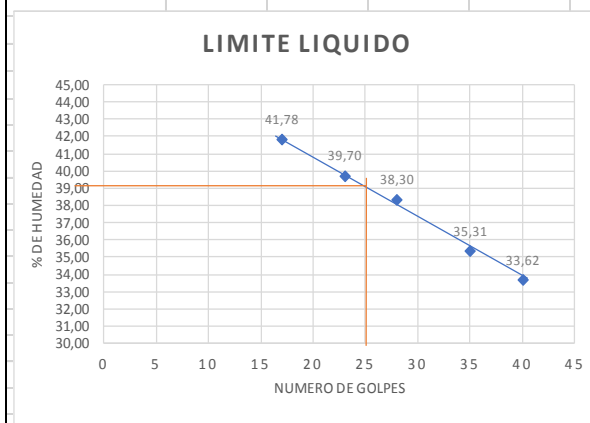
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CLORURO DE SODIO 3%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	08/10/2019

LÍMITES DE ATERBERG

TARRO #	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
	20	4	10	2	3	7	8	5	32	6
# DE GOLPES	40	35	28	23	17					
PESO HUM.+ TARRO	49,92	44,85	46,55	46,38	49,54	27,1	22,98	24,78	22,67	24,53
PESO SEC. + TARRO	42,9	38,55	39,82	39,25	41,18	26,58	22,53	24,14	22,3	23,94
PESO AGUA	7,02	6,3	6,73	7,13	8,36	0,52	0,45	0,64	0,37	0,59
PESO TARRO	22,02	20,71	22,25	21,29	21,17	24,87	21,01	22,02	21,09	21,94
PESO MUESTRA SEC	20,88	17,84	17,57	17,96	20,01	1,71	1,52	2,12	1,21	2
% DE HUMEDAD	33,62	35,31	38,30	39,70	41,78	30,41	29,61	30,19	30,58	29,50

GRÁFICA LIMITE LIQUIDO



LIMITE PLASTICO = 30,04

LIMITE LIQUIDO= 39,00

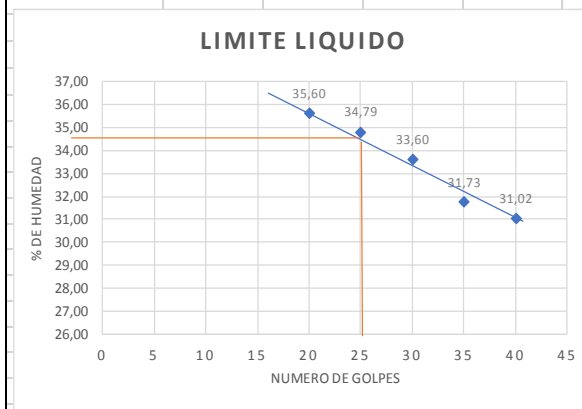
INDICE DE PLASTICIDAD= 8,96

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CLORURO DE SODIO 5%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	09/10/2019

LÍMITES DE ATERBERG

TARRO #	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
	14	26	50	13	6	11	3	26	1	9
# DE GOLPES	40	35	30	25	20					
PESO HUM.+ TARRO	33,59	35,96	36,1	33,79	37,67	22,09	22,95	22,37	21,75	23,03
PESO SEC. + TARRO	30,64	32,6	32,34	30,68	33,54	21,87	22,69	22,2	21,59	22,82
PESO AGUA	2,95	3,36	3,76	3,11	4,13	0,22	0,26	0,17	0,16	0,21
PESO TARRO	21,13	22,01	21,15	21,74	21,94	20,87	21,71	21,56	20,98	22,03
PESO MUESTRA SEC	9,51	10,59	11,19	8,94	11,6	1	0,98	0,64	0,61	0,79
% DE HUMEDAD	31,02	31,73	33,60	34,79	35,60	22,00	26,53	26,56	26,23	26,58

GRAFICA LIMITE LIQUIDO



LIMITE PLASTICO = 26,48

LIMITE LIQUIDO = 34,70

INDICE DE PLASTICIDAD = 8,22



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

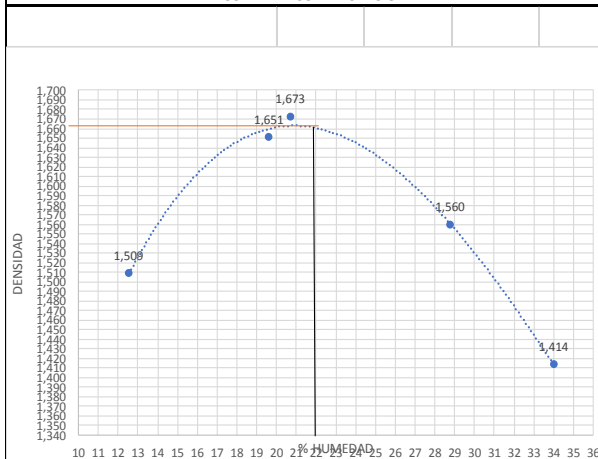
ENSAYO DE COMPACTACIÓN

ENSAYO	ESTABILIZACION CLORURO DE SODIO	MUESTRA			CLORURO DE SODIO 1%
MOLDE Nº	5275	SOLICITADO			DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
VOLUMEN DEL MOLDE	935,23	NÚMERO DE CAPAS			25
PESO DEL MOLDE	4259,5	GOLPES POR CAPA			3
MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	14,46	23,46	29,46	38,46	47,46
AGUA AUMENTADA EN C.C	100	250	350	500	600
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5840	6098,5	6140	6130	6024
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4254,5	4254,5	4254,5	4254,5	4254,5
PESO SUELO HUMEDO	1585,5	1844	1885,5	1875,5	1769,5
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	933,9	933,9	933,9	933,9	933,9
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,698	1,975	2,019	2,008	1,895

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRAS	1		2		3		4		5	
NUMERO DE TARRO	A8	KN	A7	A1J	A6	M1	A1	0	A5	13
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	87,49	90,9	73,29	80,5	86,16	85,7	99,69	121,17	140,46	131,21
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	84,96	88,57	70,12	75,95	82,17	82,05	91,46	109,64	121,81	114,25
PESO AGUA	2,53	2,33	3,17	4,55	3,99	3,65	8,23	11,53	18,65	16,96
PESO DEL TARRO	64,87	69,9	53,73	53,07	66,05	60,12	63,72	68,25	66,48	64,77
PESO DEL SUELO SECO	20,09	18,67	16,39	22,88	16,12	21,93	27,74	41,39	55,33	49,48
CONTENIDO DE AGUA EN %	12,59	12,48	19,34	19,89	24,75	16,64	29,67	27,86	33,71	34,28
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	12,537		19,614		20,698		28,763		33,992	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,509		1,651		1,673		1,560		1,414	

CURVA DE COMPACTACION



Densidad Seca Máxima kg/m³=	1673
Humedad optima %=	22



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

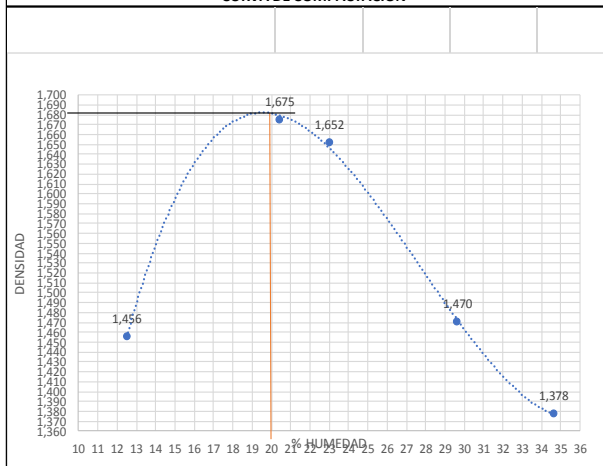
ENSAYO DE COMPACTACIÓN

ENSAYO	ESTABILIZACION		MUESTRA		
	CLORURO DE SODIO		CLORURO DE SODIO 3%		
MOLDE Nº	5275		SOLICITADO		DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
VOLUMEN DEL MOLDE	935,23		NÚMERO DE CAPAS		25
PESO DEL MOLDE	4259,5		GOLPES POR CAPA		3
MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	14,32	23,32	29,32	38,32	47,32
AGUA AUMENTADA EN C.C	100	250	350	500	650
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5788	6142,5	6156	6038,5	5990,5
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4257,5	4257,5	4257,5	4257,5	4257,5
PESO SUELO HUMEDO	1530,5	1885	1898,5	1781	1733
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	934,43	934,43	934,43	934,43	934,43
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,638	2,017	2,032	1,906	1,855

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRAS	1		2		3		4		5	
NUMERO DE TARRO	K1	41	18	15	A6	1	11	C1	11	AZUL
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	68,72	98,79	85,63	90,98	93,84	77,28	111,65	122	149,33	124,73
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	65,89	95	82,1	86,62	89,38	72,69	101,73	109,03	127,26	104,4
PESO AGUA	2,83	3,79	3,53	4,36	4,46	4,59	9,92	12,97	22,07	20,33
PESO DEL TARRO	43	65	64,54	65,6	69,75	52,96	68,16	65,39	65,8	43,4
PESO DEL SUELO SECO	22,89	30	17,56	21,02	19,63	19,73	33,57	43,64	61,46	61
CONTENIDO DE AGUA EN %	12,36	12,63	20,10	20,74	22,72	23,26	29,55	29,72	35,91	33,33
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	12,498		20,422		22,992		29,635		34,619	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,456		1,675		1,652		1,470		1,378	

CURVA DE COMPACTACION



Densidad Seca Máxima kg/m3=	1680
Humedad optima %=	21,5

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

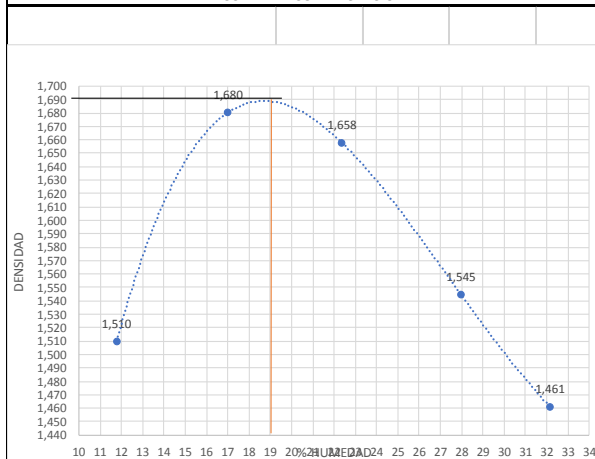
ENSAYO DE COMPACTACIÓN

ENSAYO	ESTABILIZACION CLORURO DE SODIO		MUESTRA	CLORURO DE SODIO 5%	
MOLDE Nº	5275		SOLICITADO	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA	
VOLUMEN DEL MOLDE	935,23		NÚMERO DE CAPAS	25	
PESO DEL MOLDE	4259,5		GOLPES POR CAPA	3	
MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	13,93	19,93	28,93	34,93	40,93
AGUA AUMENTADA EN C.C	100	200	350	450	550
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5837	6098	6156,5	6108	6065
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4256	4256	4256	4256	4256
PESO SUELO HUMEDO	1581	1842	1900,5	1852	1809
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	936,83	936,83	936,83	936,83	936,83
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,688	1,966	2,029	1,977	1,931

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRAS	1		2		3		4		5	
NUMERO DE TARRO	KN	A8	A6	M1	A5	A1J	0A7	A1		13
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	100,09	88,65	99,45	94,62	82,32	69,94	108,47	103,6	119,62	101,89
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	96,9	86,12	94,7	90,38	79,43	66,84	99,77	92,59	105,78	93,02
PESO AGUA	3,19	2,53	4,75	4,24	2,89	3,1	8,7	11,01	13,84	8,87
PESO DEL TARRO	69,68	64,72	66,04	66,08	66,45	53,04	68,26	53,69	63,72	64,75
PESO DEL SUELO SECO	27,22	21,4	28,66	24,3	12,98	13,8	31,51	38,9	42,06	28,27
CONTENIDO DE AGUA EN %	11,72	11,82	16,57	17,45	22,27	22,46	27,61	28,30	32,91	31,38
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	11,771		17,011		22,364		27,957		32,141	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,510		1,680		1,658		1,545		1,461	

CURVA DE COMPACTACION



Densidad Seca Máxima kg/m ³ =	1691
Humedad optima %=	19

FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD				
Peso Anillo	Phumedo1	Phumedo2	Phumedo3	Volumen Anillo
139,7	312,8	314,5	314,8	86,02
Pesoinanillo	175,1	174,8	175,1	
Densidad	2,0123	2,0321	2,0356	gr/cm3
Densidad Promedio	2,027			

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO NULTI ESTABILIZADO CLORURO DE SODIO 1%
SOLICITADO POR	DIANA BARRIOS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	13/11/2019

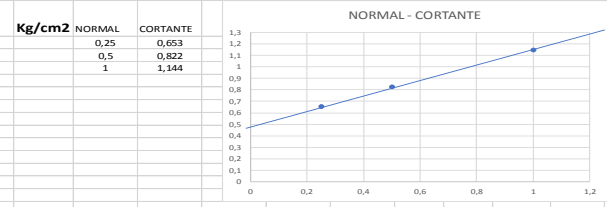
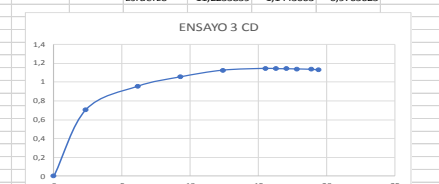
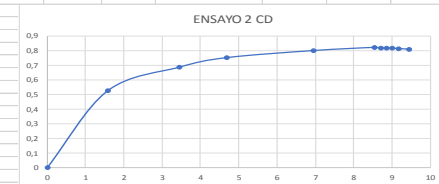
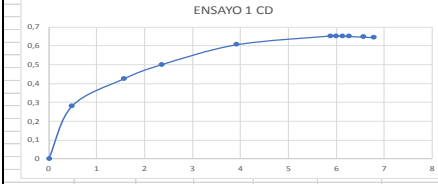
DETERMINACION DE HUMEDAD					
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
PesoH	240,52	PesoH	241,03	PesoH	234,38
PesoC	208,78	PesoC	209,04	PesoC	203,98
PesoT	64,99	PesoT	64,55	PesoT	64,76
%W	22,07	%W	22,14	%W	21,84

Ensayo 1										Ensayo 2										Ensayo 3									
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2
6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	10	98,1	0,24	6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	20	196,2	0,49	6,4	40,96	0	0	0	0	0	40	392,4	0,98
6,4	40,96	0,31	0,484	11,46	112,4	0,28	10	98,1	0,24	6,4	40,96	1,01	1,578	21,51	211	0,525	20	196,2	0,49	6,4	40,96	1,5	2,344	28,8888889	283,4	0,705	40	392,4	0,98
6,4	40,96	1	1,563	17,41	170,8	0,455	10	98,1	0,24	6,4	40,96	2,21	3,453	28,15	276,2	0,687	20	196,2	0,49	6,4	40,96	3,93	6,141	39,0825688	383,4	0,954	40	392,4	0,98
6,4	40,96	1,51	2,339	20,53	201,4	0,501	10	98,1	0,24	6,4	40,96	3	4,688	30,78	302	0,752	20	196,2	0,49	6,4	40,96	5,94	9,281	43,1804281	423,6	1,054	40	392,4	0,98
6,4	40,96	2,5	3,906	24,83	243,6	0,606	10	98,1	0,24	6,4	40,96	4,44	6,938	32,78	321,6	0,8	20	196,2	0,49	6,4	40,96	7,93	12,391	46,0958206	452,2	1,125	40	392,4	0,98
6,4	40,96	3,76	5,875	26,75	262,4	0,653	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5,47	8,547	33,66	330,2	0,822	20	196,2	0,49	6,4	40,96	9,93	15,516	46,8705403	459,8	1,144	40	392,4	0,98
6,4	40,96	3,83	5,984	26,73	262,2	0,653	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5,57	8,703	33,46	328,2	0,817	20	196,2	0,49	6,4	40,96	10,42	16,281	46,7278287	458,4	1,141	40	392,4	0,98
6,4	40,96	3,92	6,125	26,67	261,6	0,651	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5,67	8,859	33,52	328,8	0,818	20	196,2	0,49	6,4	40,96	10,92	17,063	46,7074414	458,2	1,14	40	392,4	0,98
6,4	40,96	4	6,25	26,63	261,2	0,65	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5,76	9	33,58	328,4	0,817	20	196,2	0,49	6,4	40,96	11,41	17,828	46,6258919	457,4	1,138	40	392,4	0,98
6,4	40,96	4,2	6,563	26,50	260	0,647	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5,87	9,172	33,35	327,2	0,814	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,1	18,906	46,4424057	455,6	1,134	40	392,4	0,98
6,4	40,96	4,34	6,781	26,36	258,6	0,644	10	98,1	0,24	6,4	40,96	6,04	9,438	33,17	325,4	0,81	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,42	19,406	46,2181448	453,4	1,128	40	392,4	0,98

N/cm2	Kg/cm2	0,653
Fuerza	262,4	26,7482161
Area	40,96	40,96
Esfuerzo	6,40625	0,65303262

N/cm2	Kg/cm2	0,822
Fuerza	330,2	33,65953109
Area	40,96	40,96
Esfuerzo	8,061523	0,822

N/cm2	Kg/cm2	1,144
Fuerza	459,8	46,8705403
Area	40,96	40,96
Esfuerzo	11,2255859	1,1443003



DENSIDAD KG/CM3	2,027
COHESION (KG/CM2)	0
ANGULO DE FRICCION (GRADOS)	31,590
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM2	2,198



FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO NULTI ESTABILIZADO CLORURO DE SODIO 1%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	13/11/2019

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

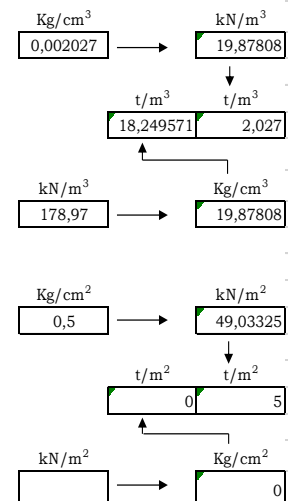
B	0,8	m	ϕ	31,59	$^{\circ}$	$q_v =$	0
L	0,8	m	β	0	$^{\circ}$	$q_h =$	0
Df	1	m	c	0	kN/m ²	$\eta =$	0
e. B	0	m	γ	19,87807955	kN/m ³	$\delta =$	0
e. L	0	m	FS	3			
			π	3,14		1350,76923	

Método de Terzaghi

Nq	25,28
Nc	40,41
Ng	22,65

Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m ²		kN/m ²
qult	646,59	qadm	215,53
	t/m ²		t/m ²
qult	64,66	qadm	21,55
	kg/cm ²		kg/cm ²
qult	6,59	qadm	2,20



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD				
Peso Anillo	Phumedo1	Phumedo2	Phumedo3	Volumen Anillo
139,7	315,2	315,2	315,2	86,02
Pesoinanillo	175,5	175,5	175,5	
Densidad	2,0402	2,0402	2,0402	gr/cm3
Densidad Promedio	2,040			

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CLORURO DE SODIO 3%
SOLICITADO POR	DIANA BARRIOS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	14/11/2019

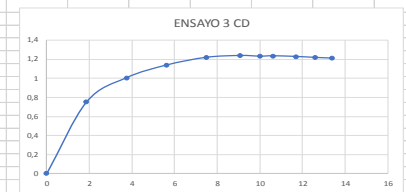
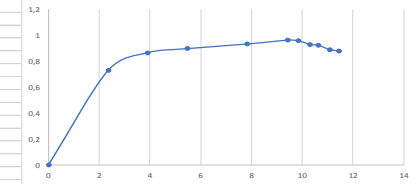
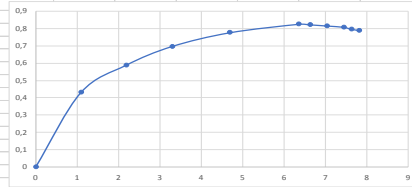
DETERMINACION DE HUMEDAD					
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
PesoH	237,92	PesoH	223,84	PesoH	233,61
PesoC	207,9	PesoC	194,2	PesoC	202,9
PesoT	65,82	PesoT	52,94	PesoT	65,8
%W	21,13	%W	20,98	%W	22,40

Ensayo 1										Ensayo 2										Ensayo 3										
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kpa	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kpa	
6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	10	98,1	0,24	6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	20	196,2	0,49	6,4	40,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,4	40,96	0,7	1,094	17,59	172,6	0,43	10	98,1	0,24	6,4	40,96	1,51	2,359	29,85	292,8	0,729	20	196,2	0,49	6,4	40,96	1,2	1,875	30,7441386	301,6	0,751	40	392,4		
6,4	40,96	1,4	2,188	24,08	236,2	0,588	10	98,1	0,24	6,4	40,96	2,5	3,906	35,41	347,4	0,865	20	196,2	0,49	6,4	40,96	2,4	3,75	41,1416922	403,6	1,004	40	392,4		
6,4	40,96	2,11	3,297	28,50	279,6	0,696	10	98,1	0,24	6,4	40,96	3,51	5,484	36,76	360,6	0,897	20	196,2	0,49	6,4	40,96	3,61	5,641	46,5851172	457	1,137	40	392,4		
6,4	40,96	3	4,688	31,76	311,6	0,775	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5	7,813	38,19	374,6	0,932	20	196,2	0,49	6,4	40,96	4,8	7,5	49,8470948	489	1,217	40	392,4		
6,4	40,96	4,07	6,359	33,74	331	0,824	10	98,1	0,24	6,4	40,96	6,04	9,438	39,39	386,4	0,962	20	196,2	0,49	6,4	40,96	5,82	9,204	50,6422018	496,8	1,256	40	392,4		
6,4	40,96	4,24	6,625	33,62	329,8	0,821	10	98,1	0,24	6,4	40,96	6,3	9,844	39,25	385	0,958	20	196,2	0,49	6,4	40,96	6,41	10,016	50,3567788	494	1,229	40	392,4		
6,4	40,96	4,51	7,047	33,35	327,2	0,814	10	98,1	0,24	6,4	40,96	6,6	10,313	38,04	373,2	0,929	20	196,2	0,49	6,4	40,96	6,81	10,641	50,4994903	495,4	1,233	40	392,4		
6,4	40,96	4,76	7,438	33,07	324,4	0,807	10	98,1	0,24	6,4	40,96	6,8	10,625	37,80	370,8	0,923	20	196,2	0,49	6,4	40,96	7,5	11,719	50,2344546	492,8	1,226	40	392,4		
6,4	40,96	4,88	7,625	32,60	319,8	0,796	10	98,1	0,24	6,4	40,96	7,1	11,094	36,45	357,6	0,89	20	196,2	0,49	6,4	40,96	8,07	12,609	49,8063201	488,6	1,216	40	392,4		
6,4	40,96	5	7,813	32,27	316,6	0,788	10	98,1	0,24	6,4	40,96	7,32	11,438	36,04	353,6	0,88	20	196,2	0,49	6,4	40,96	8,57	13,391	49,5005097	485,6	1,209	40	392,4		

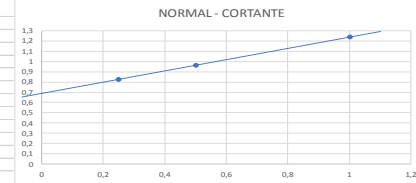
N/cm2	Kg/cm2	0,824
Fuerza	331	33,7410805
Area	40,96	40,96
Esfuerzo	8,08105469	0,24414063

N/cm2	Kg/cm2	0,962
Fuerza	386,4	39,3883792
Area	40,96	40,96
Esfuerzo	9,43359375	0,962

N/cm2	Kg/cm2	1,236
Fuerza	496,8	50,6422018
Area	40,96	40,96
Esfuerzo	12,1289063	1,23638188



Kg/cm2	NORMAL	CORTANTE
0,25	0,824	
0,5	0,962	
1	1,236	



DENSIDAD GR/CM3	2,040
COHESION (KG/CM2)	0
ANGULO DE FRICCION (GRADOS)	30,960
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM2	1,944



FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CLORURO DE SODIO 3%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	14/11/2019

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

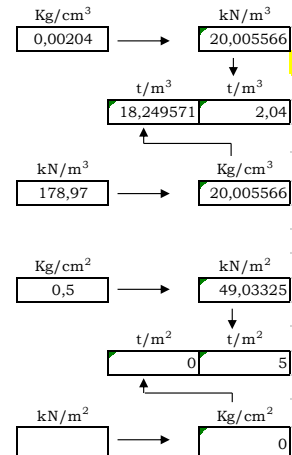
B	0,8m	ϕ	30,96°	$q_v =$	0
L	0,8m	β	0°	$q_h =$	0
Df	1 m	c	0 kN/m ²	$\eta =$	0
e. B	0m	γ	20,005566 kN/m ³	$\delta =$	0
e. L	0m	FS	3		
		π	3,14		1350,76923

Método de Terzaghi

Nq	22,46
Nc	37,16
Ng	19,13

Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m ²		kN/m ²
qult	571,79	qadm	190,60
	t/m ²		t/m ²
qult	57,18	qadm	19,06
	kg/cm ²		kg/cm ²
qult	5,83	qadm	1,94



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

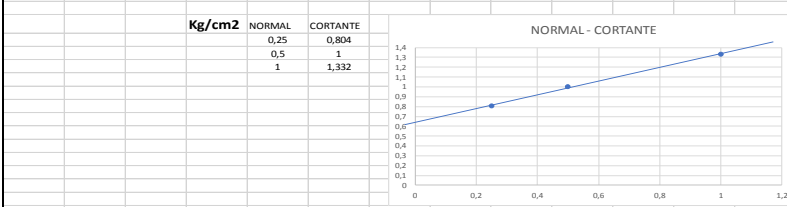
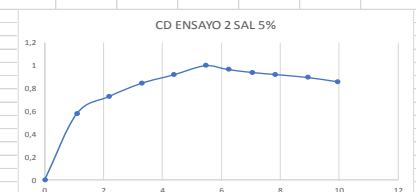
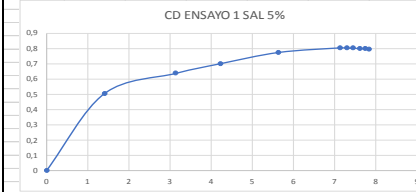
DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD				
Peso Anillo	Phumedo1	Phumedo2	Phumedo3	Volumen Anillo
139,7	312,5	312,9	312	86,02
Peso/anillo	172,8	173,2	172,3	
Densidad	2,008	2,0135	2,0030	gr/cm3
Promedio	2,008			

PROYECTO		ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CLORURO DE SODIO 5%	
SOLICITADO POR	DIANA BARRIOS; PABLO VINTIMILLA	
FECHA	15/11/2019	

DETERMINACION DE HUMEDAD					
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
PesoH	205,28	PesoH	231,03	PesoH	226,27
PesoC	183,2	PesoC	204,4	PesoC	201,8
PesoT	65,41	PesoT	65,02	PesoT	69,67
%W	18,75	%W	19,11	%W	18,52

Ensayo 1										Ensayo 2										Ensayo 3									
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kpa	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	
6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	10	98,1	0,24	6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	20	196,2	0,49	6,4	40,96	0	0	0	0	0	40	392,4	
6,4	40,96	0,9	1,406	20,65	202,6	0,504	10	98,1	0,24	6,4	40,96	0,7	1,094	23,81	233,6	0,581	20	196,2	0,49	6,4	40,96	1,5	2,344	31,9673802	313,6	0,78	40	392,4	
6,4	40,96	2,01	3,141	26,08	255,8	0,637	10	98,1	0,24	6,4	40,96	1,4	2,188	29,95	293,8	0,731	20	196,2	0,49	6,4	40,96	3	4,688	43,2415902	424,2	1,056	40	392,4	
6,4	40,96	2,7	4,219	28,69	281,4	0,7	10	98,1	0,24	6,4	40,96	2,11	3,297	34,68	340,2	0,847	20	196,2	0,49	6,4	40,96	4,51	7,047	49,8267074	488,8	1,216	40	392,4	
6,4	40,96	3,61	5,641	31,70	311	0,774	10	98,1	0,24	6,4	40,96	2,8	4,375	37,68	369,6	0,92	20	196,2	0,49	6,4	40,96	6,01	9,391	53,2110992	522	1,299	40	392,4	
6,4	40,96	4,57	7,14	32,93	323	0,804	10	98,1	0,24	6,4	40,96	3,49	5,453	40,96	401,8	1	20	196,2	0,49	6,4	40,96	7,42	11,594	54,5565749	535,2	1,332	40	392,4	
6,4	40,96	4,67	7,297	32,88	322,6	0,803	10	98,1	0,24	6,4	40,96	3,99	6,234	39,61	388,6	0,967	20	196,2	0,49	6,4	40,96	7,47	11,672	54,5565749	535,2	1,332	40	392,4	
6,4	40,96	4,77	7,453	32,80	321,8	0,801	10	98,1	0,24	6,4	40,96	4,5	7,031	38,59	378,6	0,942	20	196,2	0,49	6,4	40,96	7,52	11,75	54,4954128	534,6	1,33	40	392,4	
6,4	40,96	4,87	7,609	32,76	321,4	0,8	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5	7,813	37,86	371,4	0,924	20	196,2	0,49	6,4	40,96	7,57	11,828	54,4954128	534,6	1,33	40	392,4	
6,4	40,96	4,95	7,734	32,66	320,4	0,797	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5,71	8,922	36,78	360,8	0,898	20	196,2	0,49	6,4	40,96	7,64	11,938	54,4750255	534,4	1,33	40	392,4	
6,4	40,96	5,02	7,844	32,62	320	0,796	10	98,1	0,24	6,4	40,96	6,36	9,938	35,27	346	0,861	20	196,2	0,49	6,4	40,96	7,69	12,016	54,5361876	535	1,331	40	392,4	

Ensayo 1				Ensayo 2				Ensayo 3			
N/cm2	Kg/cm2	0,804	10	N/cm2	Kg/cm2	1	20	N/cm2	Kg/cm2	1,332	40
Fuerza	323	32,9255861	40,96	Fuerza	401,8	40,9582059	40,96	Fuerza	535,2	54,5565749	40,96
Área	40,96	40,96	40,96	Área	40,96	40,96	40,96	Área	40,96	40,96	40,96
Esfuerzo	7,88574219	0,804	0,24414063	Esfuerzo	9,80957031	1,000	0,48828125	Esfuerzo	13,0664063	1,332	0,9765625



DENSIDAD GR/CM3	2,008
COHESION (KG/CM2)	0,65
ANGULO DE FRICCION (GRADOS)	29,890
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM2	1,684



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CLORURO DE SODIO 5%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	15/11/2019

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

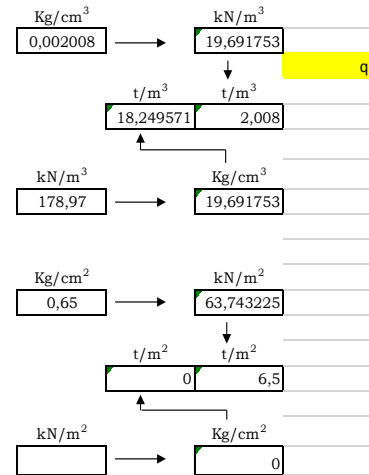
B	0,8m	ϕ	29,89°	$q_v =$	0
L	0,8m	β	0°	$q_h =$	0
Df	1 m	c	0 kN/m ²	$\eta =$	0
e. B	0 m	γ	19,6917532 kN/m ³	$\delta =$	0
e. L	0 m	FS	3		
		π	3,14		

Método de Terzaghi

Nq	19,98
Nc	34,24
Ng	16,18


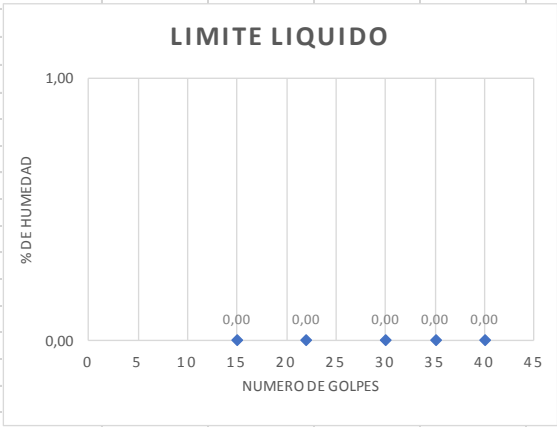
Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m ²		kN/m ²
qult	495,40	qadm	165,13
	t/m ²		t/m ²
qult	49,54	qadm	16,51
	kg/cm ²		kg/cm ²
qult	5,05	qadm	1,68



4.15 Anexos I Ensayos de Laboratorio Zona de Estudio Paccha Estabilizado

Ceniza Volante

										
FACULTAD DE INGENIERÍA										
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN										
PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS									
MUESTRA	ZONNA PACCHA ESTABILIZADA CON CENIZA VOLANTE 5%									
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA									
FECHA	10/09/2019									
LÍMITES DE ATERBERG										
	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
TARRO #	14	26	50	13	6	11	3	26	1	9
# DE GOLPES	40	35	30	22	15					
PESO HUM. +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO SEC. +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO AGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO MUEST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% DE HUMEDI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GRAFICA LIMITE LIQUIDO						LIMITE PLASTICO = 0,00				
						LIMITE LIQUIDO= 0,00				
						INDICE DE PLASTICIDAD= 0,00				



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS
MUESTRA	ZONNA PACCHA ESTABILIZADA CON CENIZA VOLANTE 5%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	10/09/2019

LÍMITES DE ATERBERG

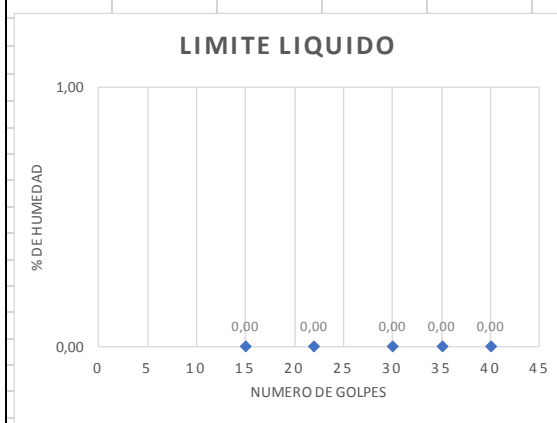
	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
	14	26	50	13	6	11	3	26	1	9
TARRO #	14	26	50	13	6	11	3	26	1	9
# DE GOLPES	40	35	30	22	15					
PESO HUM. +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO SEC. +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO AGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO MUEST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% DE HUMED	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

GRAFICA LIMITE LIQUIDO

LIMITE PLASTICO = 0,00

LIMITE LIQUIDO = 0,00

INDICE DE PLASTICIDAD = 0,00





Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

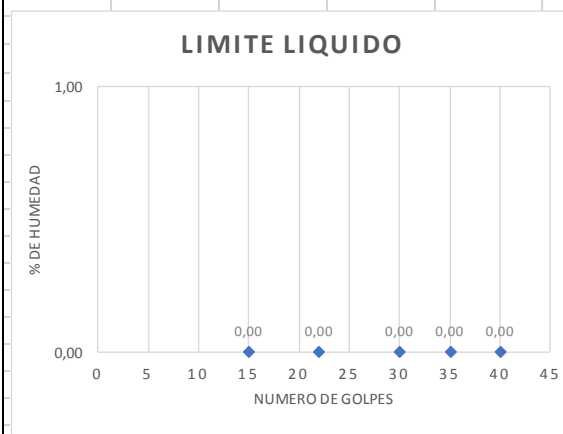
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS
MUESTRA	ZONNA PACCHA ESTABILIZADA CON CENIZA VOLANTE 5%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	10/09/2019

LÍMITES DE ATERBERG

	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO				
TARRO #	14	26	50	13	6	11	3	26	1	9
# DE GOLPES	40	35	30	22	15					
PESO HUM. +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO SEC. +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO AGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO TARRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PESO MUEST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% DE HUMED	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

GRAFICA LIMITE LIQUIDO



LIMITE PLASTICO = 0,00

LIMITE LIQUIDO = 0,00

INDICE DE PLASTICIDAD = 0,00



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

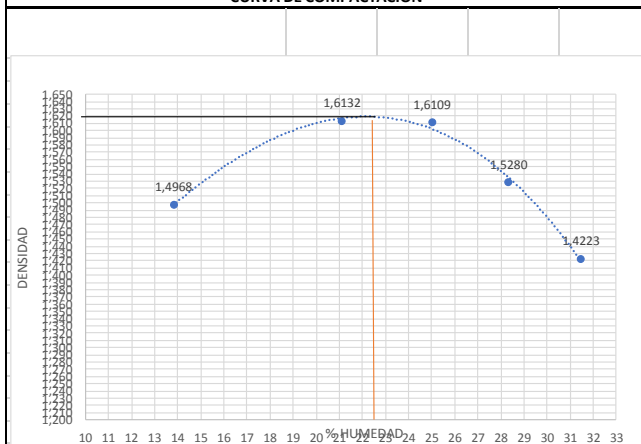
ENSAYO DE COMPACTACIÓN

ENSAYO	ESTABILIZACION CENIZA VOLANTE		MUESTRA		CENIZA VOLANTE 5%	
MOLDE Nº	5275		SOLICITADO		DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA	
VOLUMEN DEL MOLDE	935,23		NÚMERO DE CAPAS		25	
PESO DEL MOLDE	4259,5		GOLPES POR CAPA		3	
MUESTRA	1	2	3	4	5	
HUMEDAD AÑADIDA EN %	16,02	25,02	31,02	40,02	49,02	
AGUA AUMENTADA EN C.C	135	270	360	495	630	
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5850	6083,5	6139,5	6090	6005	
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4259,5	4259,5	4259,5	4259,5	4259,5	
PESO SUELO HUMEDO	1590,5	1824	1880	1830,5	1745,5	
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	933,62	933,62	933,62	933,62	933,62	
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,703583899	1,953685654	2,013667231	1,960647801	1,869604336	

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRAS	1		2		3		4		5	
NUMERO DE TARRO	A5	1	2Y	A7	A8	C2	11	KN	41	90
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	110,4	85,5	93,5	86	109,8	107,2	127,31	143,4	142	163
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	105,3	80,3	86,3	80,4	100,8	98,9	113,6	127,3	120,1	145
PESO AGUA	5,1	5,2	7,2	5,6	9	8,3	13,71	16,1	21,9	18
PESO DEL TARRO	66,5	44,4	52,4	53,7	64,7	65,8	65,8	69,7	52,9	85,6
PESO DEL SUELO SECO	38,8	35,9	33,9	26,7	36,1	33,1	47,8	57,6	67,2	59,4
CONTENIDO DE AGUA EN %	13,14	14,48	21,24	20,97	24,93	25,08	28,68	27,95	32,59	30,30
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	13,8145		21,1064		25,0031		28,3167		31,4462	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,4968		1,6132		1,6109		1,5280		1,4223	

CURVA DE COMPACTACION



Densidad Seca Máxima kg/m ³ =	1630
Humedad optima %=	22,5

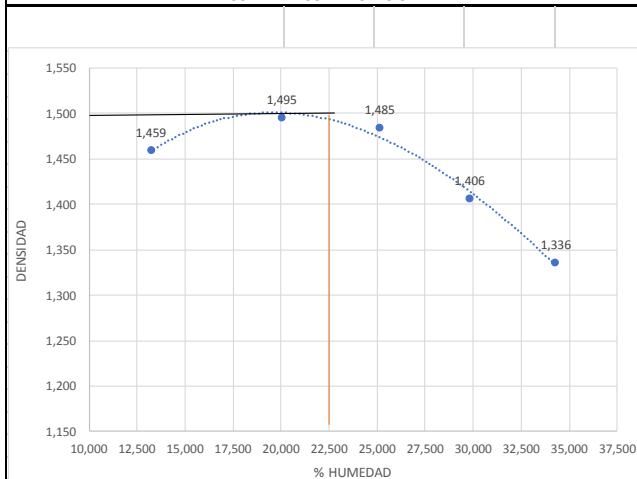
ENSAYO DE COMPACTACIÓN

ENSAYO	ESTABILIZACION CENIZA VOLANTE		MUESTRA		CENIZA VOLANTE 20% DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
			SOLICITADO		
MOLDE Nº	5275				
VOLUMEN DEL MOLDE	935,23		NÚMERO DE CAPAS		25
PESO DEL MOLDE	4259,5		GOLPES POR CAPA		3
MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	15,37	24,73	33,73	42,73	51,73
AGUA AUMENTADA EN C.C	135	270	405	540	675
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5807,5	5941	6000,5	5970	5940
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4255,5	4255,5	4255,5	4255,5	4255,5
PESO SUELO HUMEDO	1552	1685,5	1745	1714,5	1684,5
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	939,24	939,24	939,24	939,24	939,24
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,652	1,795	1,858	1,825	1,793

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRAS	1		2		3		4		5	
NUMERO DE TARRO	18	11	15	C1	41	A6	A1T	TT	A1	13
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	103,6	121,4	115,4	110,9	115	115,1	104,6	92,2	119,5	132,7
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	99,1	115,1	107,1	103,3	104,9	105,3	92,8	77,7	100,5	114,9
PESO AGUA	4,5	6,3	8,3	7,6	10,1	9,8	11,8	14,5	19	17,8
PESO DEL TARRO	64,5	68,2	65,6	65,4	65	66	53	29,3	43	64,8
PESO DEL SUELO SECO	34,6	46,9	41,5	37,9	39,9	39,3	39,8	48,4	57,5	50,1
CONTENIDO DE AGUA EN %	13,01	13,43	20,00	20,05	25,31	24,94	29,65	29,96	33,04	35,53
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	13,219		20,026		25,125		29,803		34,286	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,459		1,495		1,485		1,406		1,336	

CURVA DE COMPACTACION



Densidad Seca Máxima kg/m³=	1500
Humedad óptima %=	22,5



FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

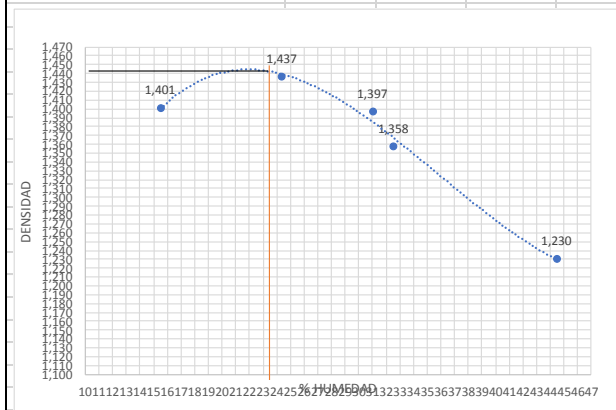
ENSAYO	ESTABILIZACION CENIZA		MUESTRA			CENIZA VOLANTE 40%				
	VOLANTE		SOLICITADO			DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA				
MOLDE Nº	5275		NÚMERO DE CAPAS			25				
VOLUMEN DEL MOLDE	935,23		GOLPES POR CAPA			3				
PESO DEL MOLDE	4259,5									
MUESTRA	1		2		3		4		5	
HUMEDAD AÑADIDA EN %	18,96		27,96		39,96		48,96		57,96	
AGUA AUMENTADA EN C.C	135		270		450		585		720	
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5770		5928		5968		5939,5		5919	
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4259,5		4259,5		4259,5		4259,5		4259,5	
PESO SUELO HUMEDO	1510,5		1668,5		1708,5		1680		1659,5	
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	933,62		933,62		933,62		933,62		933,62	
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,617895932		1,787129667		1,829973651		1,799447313		1,777489771	

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRAS	1		2		3		4		5	
NUMERO DE TARRO	13	18	9	181	TG2	26	20	K1	M	3
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	80,5	104,6	61,9	63,2	88	88,5	105,8	113,9	153,3	176,7
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	76,8	99,4	55,5	56,5	79,6	80	90,9	98,3	124,1	150,6
PESO AGUA	3,7	5,2	6,4	6,7	8,4	8,5	14,9	15,6	29,2	26,1
PESO DEL TARRO	52,9	65,9	29,1	29,2	52,3	52,8	43,1	52,3	64,6	85,1
PESO DEL SUELO SECO	23,9	33,5	26,4	27,3	27,3	27,2	47,8	46	59,5	65,5
CONTENIDO DE AGUA EN %	15,48	15,52	24,24	24,54	30,77	31,25	31,17	33,91	49,08	39,85
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	15,502		24,392		31,010		32,542		44,461	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,401		1,437		1,397		1,358		1,230	

CURVA DE COMPACTACION

Densidad Seca Máxima	
kg/m ³ =	1440
Humedad optima %=-	23,5



FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD				
Peso Anillo	Phumedo1	Phumedo2	Phumedo3	Volumen Anillo
139,7	311,9	312,5	311,85	86,02
Pesosin anillo	172,2	172,8	172,15	
Densidad	2,0019	2,0088	2,0013	gr/cm ³
Densidad Promedio	2,0040			

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CENIZA VOLANTE 5%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	18/11/2019

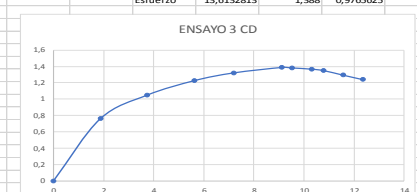
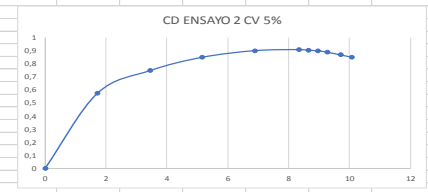
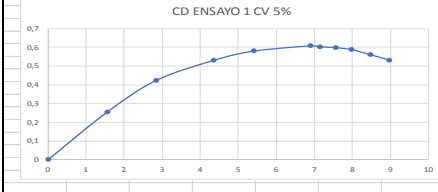
DETERMINACION DE HUMEDAD					
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
PesoH	242,48	PesoH	234,19	PesoH	236,8
PesoC	210,4	PesoC	202,4	PesoC	205,4
PesoT	65,91	PesoT	65,98	PesoT	65,61
%W	22,20	%W	23,30	%W	22,46

Ensayo 1							Ensayo 2							Ensayo 3														
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm ²	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm ²	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm ²	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kpa	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm ²	Carga Normal kg	Carga Normal N
6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	10	98,1	0,24	6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	20	196,2	0,49	6,4	40,96	0	0	0	0	0	40	392,4
6,4	40,96	1	1,563	10,44	102,4	0,255	10	98,1	0,24	6,4	40,96	1,1	1,719	23,53	230,8	0,574	20	196,2	0,49	6,4	40,96	1,2	1,875	31,1518858	305,6	0,761	40	392,4
6,4	40,96	1,82	2,844	17,31	169,8	0,423	10	98,1	0,24	6,4	40,96	2,21	3,453	30,64	300,6	0,748	20	196,2	0,49	6,4	40,96	2,4	3,75	43,098104	422,4	1,051	40	392,4
6,4	40,96	2,78	4,344	21,67	212,6	0,529	10	98,1	0,24	6,4	40,96	3,3	5,156	34,76	341	0,849	20	196,2	0,49	6,4	40,96	3,61	5,641	50,3160041	493,6	1,228	40	392,4
6,4	40,96	3,46	5,406	23,71	232,6	0,579	10	98,1	0,24	6,4	40,96	4,41	6,891	36,88	361,8	0,9	20	196,2	0,49	6,4	40,96	4,6	7,187	54,1284404	531	1,321	40	392,4
6,4	40,96	4,42	6,906	24,87	244	0,607	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5,34	8,344	37,21	365	0,908	20	196,2	0,49	6,4	40,96	5,84	9,125	56,8399592	557,6	1,388	40	392,4
6,4	40,96	4,38	7,156	24,65	241,8	0,602	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5,54	8,656	36,98	362,8	0,903	20	196,2	0,49	6,4	40,96	6,1	9,531	56,6156983	555,4	1,382	40	392,4
6,4	40,96	4,84	7,563	24,46	240	0,597	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5,74	8,969	36,78	360,8	0,898	20	196,2	0,49	6,4	40,96	6,6	10,313	55,9836901	549,2	1,367	40	392,4
6,4	40,96	5,1	7,969	24,06	236	0,587	10	98,1	0,24	6,4	40,96	5,93	9,266	36,39	357	0,888	20	196,2	0,49	6,4	40,96	6,91	10,797	55,2497452	542	1,349	40	392,4
6,4	40,96	5,42	8,469	22,94	225	0,56	10	98,1	0,24	6,4	40,96	6,21	9,703	35,51	348,4	0,867	20	196,2	0,49	6,4	40,96	7,41	11,578	52,9663609	519,6	1,293	40	392,4
6,4	40,96	5,74	8,969	21,75	213,4	0,531	10	98,1	0,24	6,4	40,96	6,45	10,078	34,82	341,6	0,85	20	196,2	0,49	6,4	40,96	7,9	12,344	50,7849134	498,2	1,24	40	392,4

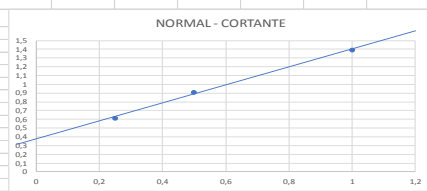
Fuerza	244	24,872579	10
Área	40,96	40,96	40,96
Esfuerzo	5,95703125	0,607	0,24414063

Fuerza	365	37,2069317	20
Área	40,96	40,96	40,96
Esfuerzo	8,9113281	0,908	0,48828125

Fuerza	557,6	56,8399592	40
Área	40,96	40,96	40,96
Esfuerzo	13,6132813	1,388	0,9765625



Kg/cm ²	NORMAL	CORTANTE
0,25	0,607	
0,5	0,908	
1	1,388	



DENSIDAD GR/CM ³	2,004
COHESION (KG/CM ²)	0
ANGULO DE FRICCIÓN (GRADOS)	45,075
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM ²	18,530



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CENIZA VOLANTE 5%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	18/11/2019

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

B	0,8m	ϕ	45,075°	$q_u =$	0
L	0,8m	β	0°	$q_B =$	0
Df	1m	c	0 kN/m ²	$\eta =$	0
e. B	0m	γ	19,6525266 kN/m ³	$\delta =$	0
e. L	0m	FS	3		
		π	3,14		1350,76923

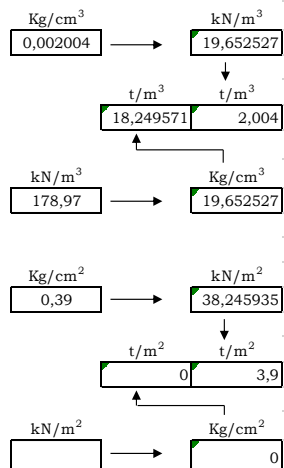
Método de Terzaghi

Nq	173,28				
Nc	172,28				
Ng	325,34				

Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m ²		kN/m ²
qult	5451,39	qadm	1817,13
	t/m ²		t/m ²
qult	545,14	qadm	181,71
	kg/cm ²		kg/cm ²
qult	55,59	qadm	18,53

Convertitore:



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD				
Peso Anillo	Phumedo1	Phumedo2	Phumedo3	Volumen Anillo
139,7	302,7	304,7	305,8	86,02
Pesos anillos	163	165	166,1	
Densidad	1,8949	1,9182	1,9309	gr/cm3
Densidad Promedio	1,9147			

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CENIZA VOLANTE 20%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS, PABLO VINTIMILLA
FECHA	19/11/2019

DETERMINACION DE HUMEDAD					
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
PesoH	228,43	PesoH	220,92	PesoH	229,1
PesoC	199,4	PesoC	192,4	PesoC	200,1
PesoT	68,17	PesoT	64,99	PesoT	69,69
%W	22,12	%W	22,38	%W	22,24

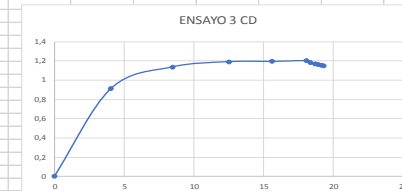
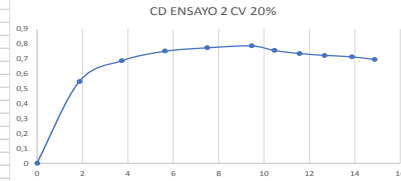
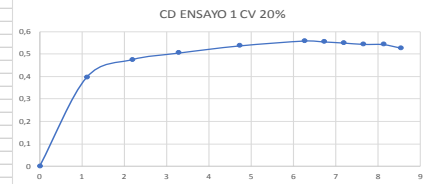
Ensayo 1										Ensayo 2										Ensayo 3									
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm2	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kpa	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm2	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kpa
6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	10	98,1	0,24	6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	20	196,2	0,49	6,4	40,96	0	0	0	0	0	40	392,4	0
6,4	40,96	0,71	1,109	16,21	159	0,396	10	98,1	0,24	6,4	40,96	1,2	1,875	22,45	220,2	0,548	20	196,2	0,49	6,4	40,96	2,6	4,063	37,3292559	366,2	0,911	40	392,4	0
6,4	40,96	1,4	2,188	19,51	191,4	0,476	10	98,1	0,24	6,4	40,96	2,4	3,75	28,15	276,2	0,687	20	196,2	0,49	6,4	40,96	5,41	8,453	46,4831804	456	1,135	40	392,4	0
6,4	40,96	2,1	3,281	20,69	203	0,505	10	98,1	0,24	6,4	40,96	3,61	5,641	30,72	301,4	0,75	20	196,2	0,49	6,4	40,96	8,01	12,5	48,7054027	477,8	1,189	40	392,4	0
6,4	40,96	3,02	4,719	21,98	215,6	0,537	10	98,1	0,24	6,4	40,96	4,8	7,5	31,65	310,5	0,773	20	196,2	0,49	6,4	40,96	10	15,625	48,8073394	478,8	1,192	40	392,4	0
6,4	40,96	4,01	6,266	22,92	224,8	0,559	10	98,1	0,24	6,4	40,96	6,05	9,453	32,19	315,8	0,786	20	196,2	0,49	6,4	40,96	11,56	18,063	49,1539246	482,2	1,2	40	392,4	0
6,4	40,96	4,3	6,719	22,75	223,2	0,555	10	98,1	0,24	6,4	40,96	6,7	10,469	30,91	303,2	0,755	20	196,2	0,49	6,4	40,96	11,75	18,359	48,3384302	474,2	1,18	40	392,4	0
6,4	40,96	4,6	7,187	22,53	221	0,55	10	98,1	0,24	6,4	40,96	7,41	11,578	30,99	295,2	0,735	20	196,2	0,49	6,4	40,96	11,95	18,672	47,9714577	470,6	1,171	40	392,4	0
6,4	40,96	4,9	7,656	22,28	218,6	0,544	10	98,1	0,24	6,4	40,96	8,1	12,656	29,63	290,63	0,723	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,1	18,906	47,6860347	467,8	1,164	40	392,4	0
6,4	40,96	5,2	8,125	22,22	218	0,543	10	98,1	0,24	6,4	40,96	8,88	13,875	29,18	286,3	0,713	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,25	19,141	47,2579001	463,6	1,154	40	392,4	0
6,4	40,96	5,46	8,531	21,63	212,2	0,528	10	98,1	0,24	6,4	40,96	9,53	14,891	28,47	279,3	0,695	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,37	19,328	46,9928641	461	1,147	40	392,4	0

N/cm2	Kg/cm2	0,559
Fuerza	224,8	22,9153925
Area	40,96	40,96
Esfuerzo	5,48828125	0,559

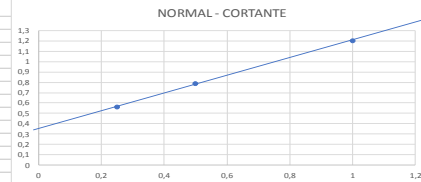
N/cm2	Kg/cm2	0,786
Fuerza	315,8	32,1916412
Area	40,96	40,96
Esfuerzo	7,70996094	0,786

N/cm2	Kg/cm2	0,5
Fuerza	40,96	40,96
Area	40,96	40,96
Esfuerzo	1,0	1,0

N/cm2	Kg/cm2	0,40
Fuerza	482,2	49,1539246
Area	40,96	40,96
Esfuerzo	11,7724609	1,200



Kg/cm2	NORMAL	CORTANTE
0,25	0,559	
0,5	0,786	
1	1,2	



DENSIDAD GR/CM3	1,915
COHESION (KG/CM2)	0,36
ANGULO DE FRICCION (GRADOS)	40,364
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM2	7,267



FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.

ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CENIZA VOLANTE 20%

DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA

19/11/2019

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

B	0,8 m	ϕ	40,36°	$q_v =$	0
L	0,8 m	β	0°	$q_h =$	0
Df	1 m	c	0 kN/m ²	$\eta =$	0
e. B	0 m	γ	18,09326925 kN/m ³	$\delta =$	0
e. L	0 m	FS	3		
		π	3,14		1350,76923

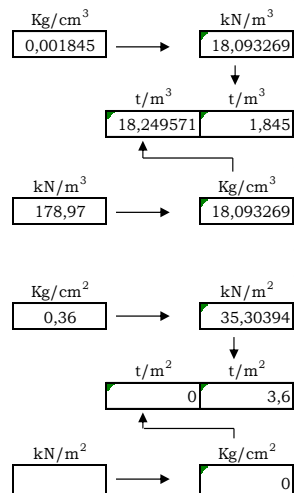
Método de Terzaghi

Nq	81,27
Nc	95,66
Ng	115,31

Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m ²		kN/m ²
qult	2138,07	qadm	712,69
	t/m ²		t/m ²
qult	213,81	qadm	71,27
	kg/cm ²		kg/cm ²
qult	21,80	qadm	7,27

Convertitore:



ENSAYO DE CORTE DIRECTO

DETERMINACION DE DENSIDAD HUMEDAD				
Peso Anillo	Phumedo1	Phumedo2	Phumedo3	Volumen Anillo
139,7	293,5	291,9	292,8	86,02
Pesosin anillo	153,8	152,2	153,1	
Densidad	1,7880	1,7694	1,7798	gr/cm ³
Densidad Promedio	1,7790			

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICA INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO MULTI ESTABILIZADO CENIZA VOLANTE 40%
SOLICITADO POR	DIANA BARRIOS, PABLO VINTIMILLA
FECHA	20/11/2019

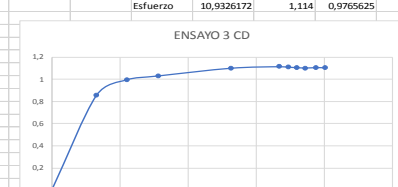
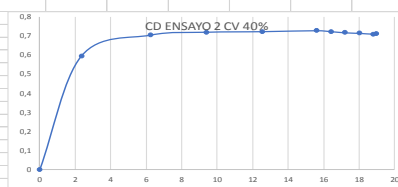
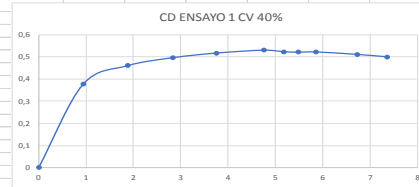
DETERMINACION DE HUMEDAD					
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
PesoH	179,5	PesoH	189,94	PesoH	194,83
PesoC	155	PesoC	164	PesoC	169,3
PesoT	52,94	PesoT	52,91	PesoT	64,65
%W	24,01	%W	23,35	%W	23,69

Ensayo 1										Ensayo 2										Ensayo 3									
Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm ²	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kg/cm ²	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm ²	Carga Normal kg	Carga Normal N	Esfuerzo Normal Kpa	Lado	Área	Desplazamiento horizontal	Deformación unitaria	Fuerza Kg	Fuerza N	Esfuerzo cortante Kg/cm ²	Carga Normal kg	Carga Normal N	
6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	10	98,1	0,24	6,4	40,96	0	0	0,00	0	0	20	196,2	0,49	6,4	40,96	0	0	0	0	0	40	392,4	
6,4	40,96	0,6	0,938	15,35	150,6	0,375	10	98,1	0,24	6,4	40,96	1,5	2,344	24,38	239,2	0,595	20	196,2	0,49	6,4	40,96	2,1	3,281	35,005968	343,4	0,855	40	392,4	
6,4	40,96	1,2	1,875	18,80	184,4	0,459	10	98,1	0,24	6,4	40,96	4	6,25	28,89	283,4	0,705	20	196,2	0,49	6,4	40,96	3,51	5,484	40,7543323	399,8	0,995	40	392,4	
6,4	40,96	1,81	2,828	20,29	199	0,495	10	98,1	0,24	6,4	40,96	6,01	9,391	29,50	289,4	0,72	20	196,2	0,49	6,4	40,96	5,01	7,828	42,2222222	412,2	1,031	40	392,4	
6,4	40,96	2,4	3,75	21,12	207,2	0,516	10	98,1	0,24	6,4	40,96	8,02	12,531	29,60	290,4	0,723	20	196,2	0,49	6,4	40,96	8,4	13,125	45,0764526	442,2	1,1	40	392,4	
6,4	40,96	3,04	4,75	21,65	212,4	0,529	10	98,1	0,24	6,4	40,96	9,99	15,609	29,81	292,4	0,728	20	196,2	0,49	6,4	40,96	10,69	16,703	45,6472987	447,8	1,114	40	392,4	
6,4	40,96	3,31	5,172	21,39	209,8	0,522	10	98,1	0,24	6,4	40,96	10,51	16,422	29,60	290,4	0,723	20	196,2	0,49	6,4	40,96	11,1	17,344	45,4230277	445,6	1,109	40	392,4	
6,4	40,96	3,51	5,484	21,28	208,8	0,52	10	98,1	0,24	6,4	40,96	11	17,188	29,36	289	0,717	20	196,2	0,49	6,4	40,96	11,5	17,969	45,3211009	445,6	1,106	40	392,4	
6,4	40,96	3,75	5,859	21,35	209,4	0,521	10	98,1	0,24	6,4	40,96	11,52	18	29,24	286,8	0,714	20	196,2	0,49	6,4	40,96	11,9	18,594	45,1376147	442,8	1,102	40	392,4	
6,4	40,96	4,3	6,719	20,88	204,8	0,51	10	98,1	0,24	6,4	40,96	12,01	18,766	29,07	285,2	0,71	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,41	19,391	45,3007136	444,4	1,106	40	392,4	
6,4	40,96	4,71	7,359	20,43	200,4	0,499	10	98,1	0,24	6,4	40,96	12,14	18,969	29,22	286,6	0,713	20	196,2	0,49	6,4	40,96	12,81	20,016	45,2191641	443,6	1,104	40	392,4	

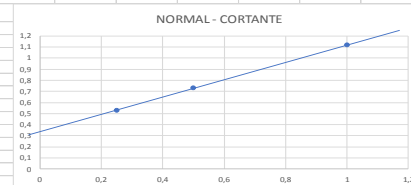
N/cm ²	Kg/cm ²	0,529
Fuerza	212,4	21,6513761
Área	40,96	40,96
Esfuerzo	5,18554688	0,529

N/cm ²	Kg/cm ²	0,728
Fuerza	292,4	29,8063201
Área	40,96	40,96
Esfuerzo	7,13867188	0,728

N/cm ²	Kg/cm ²	1,114
Fuerza	447,8	45,6472987
Área	40,96	40,96
Esfuerzo	10,9326172	1,114



Kg/cm ²	NORMAL	CORTANTE
0,25	0,529	
0,5	0,728	
1	1,114	



DENSIDAD GR/CM ³	1,779
COHESION (KG/CM ²)	0,34
ANGULO DE FRICCIÓN (GRADOS)	37,770
CAPACIDAD PORTANTE KG/CM ²	4,429



FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.

PROYECTO	ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.
MUESTRA	ZONA DE ESTUDIO NULTI ESTABILIZADO CENIZA VOLANTE 40%
SOLICITADO POR	DIANA BARROS; PABLO VINTIMILLA
FECHA	20/11/2019

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

DATOS

B	0,8 m	ϕ	37,7°	$q_v =$	0
L	0,8 m	β	0°	$q_h =$	0
Df	1 m	c	0 kN/m ²	$\eta =$	0
e. B	0 m	γ	17,44603035 kN/m ³	$\delta =$	0
e. L	0 m	FS	3		
		π	3,14		1350,76923

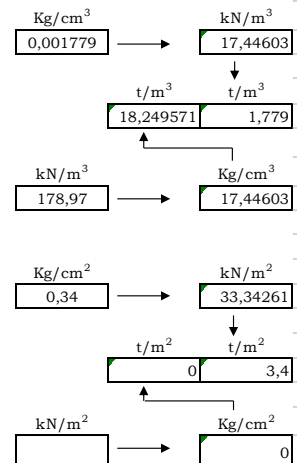
Método de Terzaghi

Nq	53,8
Nc	70,01
Ng	65,27

Capacidad portante de acuerdo a Terzaghi

	kN/m ²		kN/m ²
qult	1302,98	qadm	434,33
	t/m ²		t/m ²
qult	130,30	qadm	43,43
	kg/cm ²		kg/cm ²
qult	13,29	qadm	4,43

Convertitore:



AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **Diana Lisseth Barros Tuapante** portador de la cédula de ciudadanía N° 0105111231 y **Pablo Andrés Vintimilla Chalco** portador de la cédula de ciudadanía N° 0106544745. En calidad de autores/as y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “ANÁLISIS COMPARATIVO DE METODOS DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN DOS ZONAS CONSIDERADAS GEOTÉCNICAMENTE INESTABLES DEL CANTÓN CUENCA.” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 25 de junio de 2020



F:
Pablo Andrés Vintimilla Chalco
0106544745



F:
Diana Lisseth Barros Tuapante
0105111231

www.ucacue.edu.ec