



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES**

**ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA
DISPOSICIÓN FINAL DE LOS LODOS
DESHIDRATADOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DE ETAPA EP.**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

**INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES**

Autores:

SERGIO DAVID ANGAMARCA PADILLA.

EDWIN GEOVANNY ROMERO LOYOLA.

Director:

CESAR VINICIO ARÉVALO VÉLEZ.

Cuenca - Ecuador

2017

DEDICATORIAS

Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis padres Sergio y Dignidad por brindarme su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanas Isabel, Karina y Daniel por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar.

A mi esposa Joselyn Serrano quien ha sido y es mi motivación, inspiración y felicidad.

Sergio Angamarca Padilla.

Esta tesis le dedico a Dios por su infinita bondad, amor y por haberme prestado a mis padres Edwin y Alexandra por su incondicional apoyo, quienes fueron los pilares principales para permitirme cumplir una de mis metas y verme llegar a ser la persona que soy.

A mis hermanos Jorge y Jessica por sus consejos y aliento. A mis sobrinas Sofía, Victoria e Isabela quienes me sacan una sonrisa en el día más pesado. A mis abuelos Jorge, Piedad, Miguel (†) y Argentina por todas sus enseñanzas y valores transmitidos. A todas esas personas quienes han formado parte de mi vida durante esta larga etapa que ahora llega a su fin. En especial a mis amigos con quienes hemos compartido mucho, dentro y fuera de la vida universitaria.

A Sergio mi compañero durante la investigación por lo que hemos llegado a compartir y todo lo que me ha enseñado.

Geovanny Romero Loyola.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios quien ha sido la principal fortaleza, para alcanzar uno a uno los objetivos que en la carrera se ha presentado, y así poder alcanzar este logro.

A nuestros padres y familia que nos brindaron su confianza y apoyo incondicional.

A la Universidad del Azuay, de sobremanera a la Facultad de Ingeniería, a sus docentes y a todo su personal administrativo quienes fueron imprescindibles para lograr terminar con éxito esta investigación que va a ser fundamental para desarrollarnos como profesionales.

Al Ing. César Arévalo tutor de este trabajo de titulación por guiarnos y satisfacer las inquietudes surgidas de la investigación.

Al Ing. Juan Pablo Vega por su ayuda profesional en el desarrollo de nuestra tesis.

Al Ing. Francisco Campos quien con toda su voluntad nos permitió realizar el ensayo de mecánica de suelos en su laboratorio y al mismo tiempo nos brindó sus conocimientos para poder llegar a los resultados esperados de nuestra tesis.

Al laboratorista Mateo Arévalo por habernos ayudado a realizar los ensayos de laboratorio.

Por ultimo a cada una de las personas que desinteresadamente nos apoyaron de una u otra manera.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS	i
AGRADECIMIENTOS	ii
INDICE DE CONTENIDO.....	iii
INDICE DE TABLAS	v
INDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES.....	2
JUSTIFICACIÓN	3
OBJETIVOS	4
CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DE SISTEMAS ALTERNATIVOS PARA EL SECADO DE LODOS APLICABLES A LA REALIDAD LOCAL.....	5
1. Tipos de mecanismos para secado de lodos.....	5
1.1 Lechos de secado.....	5
1.2 Filtros de vacío	6
1.3 Filtros de banda	7
1.4 Filtros de prensa	9
1.5 Calentamiento indirecto	12
1.6 Método de secado aplicable a la realidad local	13
CAPITULO 2: LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	14
2. Descripción general del relleno sanitario.....	14
2.1. Ubicación geográfica del relleno sanitario.....	14
2.2 Características técnicas del relleno sanitario.....	15
2.3 Origen de los lodos deshidratados.....	16
2.4 Los lodos en el relleno sanitario de Pichacay.....	17
CAPÍTULO 3: CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS DESHIDRATADOS.....	19
3. Características de los lodos deshidratados.....	19
3.1 Características físicas y químicas de los lodos deshidratados.....	19
3.2 Comportamiento mecánico del lodo deshidratado	23
CAPÍTULO 4: CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS NATURALES EXISTENTES EN EL ÁREA PERIMETRAL DEL RELLENO Y OTROS MATERIALES CEMENTANTES	25
4. Características de los suelos naturales	25
4.1 Suelo rojo	25

4.1.1.	Características físicas del suelo rojo	25
4.1.2.	Comportamiento mecánico del suelo rojo.....	29
4.2	Suelo amarillo.....	36
4.2.1.	Características físicas del suelo amarillo	36
4.2.2.	Comportamiento mecánico	40
4.3	Puzolanas.....	46
4.3.1.	Puzolana de Challuabamba	46
4.3.2.	Puzolana de Latacunga.....	48
4.4	Cal hidratada.....	50
4.4.1.	Características físicas y químicas de la cal	50
4.5	Cemento Holcim.....	53
4.5.1.	Características físicas y químicas del cemento hidráulico.....	53
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE MEZCLAS Y PRUEBAS DE CAMPO EN EL RELLENO SANITARIO		55
5.	Determinación de parámetros óptimos.	55
5.1	Combinación de materiales para la generación de mezclas	57
5.1.1.	Descripción general de las mezclas analizadas	60
5.2	Selección de la mezcla.....	96
5.3	Prueba de campo de la mezcla seleccionada	97
5.3.1.	Objetivos de la prueba de campo	97
5.3.2.	Materiales y recursos necesarios para la prueba realizada en campo ..	97
5.3.3.	Proceso de mezclado.	97
5.3.4.	Aplicación como capa de cobertura	98
5.3.5.	Aplicación como caminera.....	99
5.3.6.	Pruebas de laboratorio de la mezcla selecciona aplicada en campo ..	100
5.3.7.	Resultados y mejoras alcanzadas	106
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		108
BIBLIOGRAFÍA		110
ANEXOS		113
Anexo 1: Ensayos y formulaciones.....		114
Anexo 2: Definición de conceptos		152
Anexo 3: Normas internacionales otorgadas a la EMAC EP.....		159
Anexo 4: Convenio de las empresas EMAC EP y ETAPA EP		165
Anexo 5: Características físicas y mecánicas del suelo amarillo.....		170
Anexo 6: Características mecánicas del suelo rojo		175

Anexo 7: Características físicas de la puzolana de Challuabamba	180
Anexo 8: Características físicas de la puzolana de Latacunga.....	181
Anexo 9: Ensayos de laboratorio de la capa de cobertura 1	182
Anexo 10: Ensayos de laboratorio de la capa de cobertura 2	186
Anexo 11: Ensayos de laboratorio de la capa de cobertura 3	190
Anexo 12: Ensayos de laboratorio de la capa de cobertura 4	194
Anexo 13: Ensayos de laboratorio de la capa de cobertura 5	198
Anexo 14: Ensayos de laboratorio de la capa de cobertura seleccionada	202
Anexo 15: Contenido de humedad del lodo	207

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Parámetros de diseño de las eras de secado	6
Tabla 2.1. Coordenadas WGS84 del relleno sanitario	14
Tabla 2.2. Características técnicas del relleno sanitario	15
Tabla 2.3. Peso de lodos deshidratados ingresados al Relleno Sanitario de Pichacay	18
Tabla 3.1. Contenido de humedad del lodo deshidratado depositado en el relleno sanitario	20
Tabla 3.2. Composición física y química del lodo crudo (LC) y deshidratado de la planta de tratamiento de aguas residuales ETAPA EP (2006).....	21
Tabla 3.3. Composición física y química del lodo crudo y deshidratado (LD) de la planta de tratamiento de aguas residuales ETAPA EP (2009).....	22
Tabla 3.4. Composición física y química del lodo deshidratado de la planta de tratamiento de aguas residuales ETAPA EP (2016/12/28)	23
Tabla 4.1. Granulometría del suelo rojo.....	26
Tabla 4.2. Contenido de humedad del suelo rojo.....	26
Tabla 4.3. Límite líquido del suelo rojo	27
Tabla 4.4. Límite plástico del suelo rojo.....	28
Tabla 4.5. Densidades secas del material saturado y humedades (CBR del suelo rojo)	30
Tabla 4.6. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 10 golpes del suelo rojo)	32
Tabla 4.7. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 25 golpes del suelo rojo)	32
Tabla 4.8. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 55 golpes del suelo rojo)	33
Tabla 4.9. Densidad seca del material saturado (suelo rojo) -%CBR	33
Tabla 4.10. Resultados de la compresión simple del suelo rojo	34
Tabla 4.11. Granulometría del suelo amarillo.....	37
Tabla 4.12. Contenido de humedad del suelo amarillo.....	37
Tabla 4.13. Límite líquido del suelo amarillo	38
Tabla 4.14. Límite plástico del suelo amarillo	39
Tabla 4.15. Densidades secas y humedades (CBR del suelo amarillo)	41
Tabla 4.16. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 10 golpes del suelo amarillo)	42

Tabla 4.17. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 25 golpes del suelo amarillo)	43
Tabla 4.18. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 55 golpes del suelo amarillo)	43
Tabla 4.19. Densidad seca del material saturado (suelo amarillo) -%CBR	44
Tabla 4.20. Resultados de la compresión simple del suelo amarillo	45
Tabla 4.21. Granulometría de la puzolana de Challuabamba	47
Tabla 4.22. Contenido de humedad de la puzolana de Challuabamba	47
Tabla 4.23. Granulometría de la puzolana de Latacunga	49
Tabla 4.24. Contenido de humedad de la puzolana de Latacunga	49
Tabla 4.25. Informe técnico de cal hidratada de la empresa Calizas Huayco S.A.	51
Tabla 4.26. Propiedades físicas normalizadas de los cementos hidráulicos	54
Tabla 5.1. Parámetros óptimos de materiales seleccionados para las mezclas	56
Tabla 5.2. Densidades naturales utilizadas para el cálculo de volúmenes de material utilizados para las mezclas	57
Tabla 5.3. Requerimientos de cemento para una estabilización efectiva	59
Tabla 5.4. Requerimientos típicos de cemento según el tipo de suelo	59
Tabla 5.5. Densidades secas del material saturado y humedades (CBR de la mezcla 1)	62
Tabla 5.6. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 10 golpes de la mezcla 1)	63
Tabla 5.7. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 25 golpes de la mezcla 1)	64
Tabla 5.8. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 55 golpes de la mezcla 1)	64
Tabla 5.9. Densidad seca del material saturado (mezcla 1) -%CBR	65
Tabla 5.10. Resultados de la compresión simple de la mezcla 1	66
Tabla 5.11. Análisis económico de la mezcla 1 para 1m ³ de lodo deshidratado	67
Tabla 5.12. Densidades secas del material saturado y humedades (CBR de la mezcla 2)	68
Tabla 5.13. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 10 golpes de la mezcla 2)	70
Tabla 5.14. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 25 golpes de la mezcla 2)	70
Tabla 5.15. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 55 golpes de la mezcla 2)	71
Tabla 5.16. Densidad seca del material saturado (mezcla 2) -%CBR	71
Tabla 5.17. Resultados de la compresión simple de la mezcla 2	73
Tabla 5.18. Análisis económico de la mezcla 2 para 1 m ³ de lodo deshidratado	74
Tabla 5.19. Densidades secas del material saturado y humedades (CBR de la mezcla 3)	75
Tabla 5.20. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 10 golpes de la mezcla 3)	77
Tabla 5.21. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 25 golpes de la mezcla 3)	77
Tabla 5.22. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 55 golpes de la mezcla 3)	78
Tabla 5.23. Densidad seca del material saturado (mezcla 3)-%CBR	78
Tabla 5.24. Resultados de la compresión simple de la mezcla 3	80
Tabla 5.25. Análisis económico de la mezcla 3 para un metro cúbico de lodo deshidratado	81
Tabla 5.26. Densidades secas del material saturado y humedades (CBR de la mezcla 4)	83
Tabla 5.27. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 10 golpes de la mezcla 4)	84
Tabla 5.28. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 25 golpes de la mezcla 4)	84
Tabla 5.29. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 55 golpes de la mezcla 4)	85

Tabla 5.30. Densidad seca del material saturado (mezcla 4)-%CBR	85
Tabla 5.31. Tabla de resultados de la compresión simple de la mezcla 4.....	87
Tabla 5.32. Análisis económico de la mezcla 4 para un metro cúbico de lodo deshidratado	88
Tabla 5.33. Densidades secas del material saturado y humedades (CBR de la mezcla 5)	89
Tabla 5.34. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 10 golpes de la mezcla 5) ...	91
Tabla 5.35. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 25 golpes de la mezcla 5) ...	91
Tabla 5.36. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 55 golpes de la mezcla 5) ...	92
Tabla 5.37. Densidad seca del material saturado (mezcla 5) -%CBR	92
Tabla 5.38. Resultados de la compresión simple de la mezcla 5	94
Tabla 5.39. Análisis económico de la mezcla 5	95
Tabla 5.40. Aspectos técnicos, económicos y resultados de pruebas de laboratorio utilizados para la tabla de ponderación.	96
Tabla 5.41. Tabla de ponderación para la selección de la mezcla a ejecutar en la prueba de campo.	96
Tabla 5.42. Densidades secas del material saturado y humedades de la mezcla seleccionada aplicada en campo.....	101
Tabla 5.43. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 10 golpes de la mezcla seleccionada aplicada en el campo)	102
Tabla 5.44. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 25 golpes de la mezcla seleccionada aplicada en el campo)	102
Tabla 5.45. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 55 golpes de la mezcla seleccionada aplicada en el campo)	103
Tabla 5.46. Densidad seca del material saturado (CBR 55 golpes de la mezcla seleccionada aplicada en el campo) - %CBR.....	103
Tabla 5.47. Resultados de la compresión simple de la mezcla seleccionada aplicada en el campo	105
Tabla 5.48. Resultados de ensayos de laboratorio de capa de cobertura actual vs la mezcla seleccionada	106

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema de lechos de secado	5
Figura 1.2. Esquema de filtro de vacío	7
Figura 1.3. Esquema primera etapa de filtros de banda.	8
Figura 1.4. Esquema segunda etapa filtros de banda.	8
Figura 1.5. Filtros de prensa para deshidratar lodos	11
Figura 1.6. Mecanismos de calentamiento indirecto.....	12
Figura 1.7. Área predestinada para la construcción de los lechos de secado.....	13
Figura 2.1. Ubicación geográfica del relleno sanitario de Pichacay.	15
Figura 3.1. Lodo depositado en el relleno sanitario de Pichacay.....	19
Figura 4.1. Explotación de suelo rojo para capa de cobertura de los desechos sólidos.	25
Figura 4.2 Límite líquido del suelo rojo.....	27
Figura 4.3. Densidad seca máxima del suelo rojo.....	30

Figura 4.4. Penetración – carga unitaria del suelo rojo.....	31
Figura 4.5. Densidad seca del material saturado (suelo rojo)-% CBR.....	34
Figura 4.6. Grafica esfuerzo vs deformación unitaria del suelo rojo.	35
Figura 4.7. Yacimientos de suelo amarillo en el relleno sanitario de Pichacay.	36
Figura 4.8. Limite líquido del suelo amarillo.....	38
Figura 4.9. Densidad seca máxima del suelo amarillo.....	41
Figura 4.10. Penetración-carga unitaria del suelo amarillo.....	42
Figura 4.11. Densidad seca del material saturado (suelo amarillo) -% CBR.....	44
Figura 4.12. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria del suelo amarillo.	45
Figura 4.13. Informe técnico de cal hidratada de la empresa ECUASAND S.A.....	52
Figura 5.1. Densidad seca máxima de la mezcla 1.	61
Figura 5.2. Penetración – carga unitaria de la mezcla1.....	62
Figura 5.3. Densidad seca del material saturado (mezcla1) - % CBR.	65
Figura 5.4. Grafica esfuerzo vs deformación unitaria de la mezcla 1.....	66
Figura 5.5. Densidad seca máxima de la mezcla 2.	68
Figura 5.6. Penetración – carga unitaria de la mezcla 2.....	69
Figura 5.7. Densidad seca del material saturado (mezcla 2) - % CBR.	72
Figura 5.8. Grafica esfuerzo vs deformación unitaria de la mezcla 2.....	73
Figura 5.9. Densidad seca máxima de la mezcla 3.	75
Figura 5.10. Penetración vs carga unitaria de la mezcla 3.	76
Figura 5.11. Densidad seca del material saturado (mezcla3) - % CBR.	79
Figura 5.12. Grafica esfuerzo vs deformación unitaria de la mezcla 3.....	80
Figura 5.13. Densidad seca máxima de la mezcla 4.	82
Figura 5.14. Penetración vs carga unitaria de la mezcla 4.	83
Figura 5.15. Densidad seca del material saturado (mezcla 4) - % CBR.....	86
Figura 5.16. Grafica esfuerzo vs deformación unitaria de la mezcla 4.....	87
Figura 5.17. Densidad seca máxima de la mezcla 5.	89
Figura 5.18. Penetración vs carga unitaria de la mezcla 5.	90
Figura 5.19. Densidad seca de la muestra saturada (mezcla 5) - % CBR.....	93
Figura 5.20. Esfuerzo vs deformación unitaria de la mezcla 5.	94
Figura 5.21. Capa de cobertura aplicada en la prueba de campo.	98
Figura 5.22. Capa de cobertura colocada en talud.	99
Figura 5.23. Mezcla seleccionada aplicada en campo como caminera.....	99
Figura 5.24. Densidad seca máxima de la mezcla seleccionada aplicada en campo.	100
Figura 5.25. Penetración vs carga unitaria de la mezcla seleccionada aplicada en el campo.	101
Figura 5.26. Densidad seca de la muestra saturada (CBR 55 golpes de la mezcla seleccionada aplicada en el campo) - % CBR.....	104
Figura 5.27. Grafica esfuerzo vs deformación unitaria de la mezcla seleccionada aplicada en campo.	105

**ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS
Lodos DESHIDRATADOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE ETAPA EP.**

RESUMEN

El presente trabajo de investigación realizado en el relleno sanitario de Pichacay en la ciudad de Cuenca, propone dos alternativas de correcta utilización para la disposición final de lodos entregados por la planta de tratamiento de aguas residuales de ETAPA EP. Mediante análisis de las características físicas y mecánicas de los suelos perimetrales al relleno sanitario con adición de cementantes naturales se consigue realizar mezclas que mejoran las características físico mecánicas de los lodos, permite el reciclaje de estos y abren la posibilidad de utilización de un material compuesto en rellenos y camineras a un bajo costo.

Palabras Claves: Características físicas, características mecánicas, relleno sanitario, cementantes naturales.



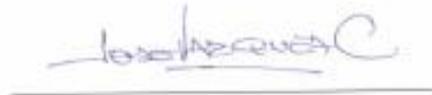
César Vinicio Arévalo Vélez

Director del Trabajo de Titulación



Sergio David Angamarca Padilla

Autor



José Fernando Vázquez Calero

Coordinador de Escuela



Edwin Geovanny Romero Loyola

Autor

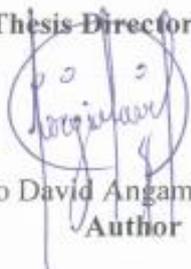
**ANALYSIS OF ALTERNATIVES FOR THE FINAL DISPOSAL OF
DEHYDRATED SLUDGE OF THE ETAPA EP. WASTEWATER TREATMENT
ABSTRACT**

This research work carried out in the *Pichacay* landfill in the city of Cuenca, proposed two alternatives for the proper use of sludge final disposal delivered by the wastewater treatment plant of ETAPA EP. By analyzing the physical and mechanical characteristics of the soils with the addition of natural cementing materials found in the perimeter areas to the sanitary landfill, it is possible to make mixtures that improve the physical mechanical characteristics of the sludge, allowing its recycling and opening the possibility of using a compound material in landfills and roads at a low cost.

Keywords: physical characteristics, mechanical characteristics, sanitary landfill, natural cementing.


César Vinicio Arévalo Vélez
Calero

Thesis Director


Sergio David Angamarca Padilla
Author


José Fernando Vásquez

School Director


Edwin Geovanny Romero Loyola
Author

Angamarca Padilla Sergio David
Romero Loyola Edwin Geovanny
Trabajo de Graduación
Ing. César Vinicio Arévalo Vélez
Noviembre, 2017

**ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS
LADOS DESHIDRATADOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DE ETAPA EP**

INTRODUCCIÓN

La Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC-EP) es una empresa municipal al servicio de la ciudadanía, cuya misión es el manejo integral de los desechos sólidos y del mantenimiento de las áreas verdes en el cantón Cuenca, por lo cual está en la obligación de dar la disposición final adecuada de dichos desechos para reducir la contaminación ambiental que estos provocan. Es por ello que conjuntamente con los estudiantes de la Universidad del Azuay se establece la necesidad de realizar el análisis de alternativas para la disposición final de los lodos deshidratados provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de ETAPA EP.

En la actualidad el relleno sanitario de Pichacay manejado por EMAC EP cuenta con una manera de disponer los lodos deshidratados generados por la planta de tratamiento de aguas residuales de ETAPA EP que complica la operatividad dentro de las actividades diarias de disposición de desechos. El objetivo de la presente investigación es el de determinar la mejor opción para la disposición final de los lodos deshidratados de la planta de tratamiento de aguas residuales de ETAPA EP, sin que esta actividad provoque desestabilización en los taludes y bermas. Para tal objeto se han realizado investigaciones en laboratorio utilizando información bibliográfica para la manipulación de dichos lodos con otros materiales, convirtiendo finalmente un lodo que no tiene un uso, en un material con varios beneficios.

Durante la investigación realizada en laboratorio se manipuló materiales que se encuentran en el perímetro del relleno sanitario y otros materiales cementantes que permiten mejorar las características mecánicas de los lodos deshidratados, dando origen a nuevas alternativas para la disposición final de dichos lodos al mezclar con estos materiales analizados.

Poniendo a prueba la investigación realizada, las mezclas se utilizaron como capa de cobertura y camineras, en el cual los resultados obtenidos en el laboratorio se asemejan a los resultados de la muestra puesta en campo.

ANTECEDENTES

En la ciudad de Cuenca, la planta de aguas residuales de ETAPA EP genera alrededor de 40 a 50 m³ diarios de lodos deshidratados (ETAPA EP, 2007), los mismos que son trasladados al relleno sanitario de Pichacay para una disposición final adecuada a cargo de la empresa EMAC EP. Estos lodos al momento de ponerse en contacto con el agua lluvia adquieren una humedad entre 120 al 180%, es decir estos se rehidratan, sobrepasando el límite para desechar un residuo sólido que es del 70%, generando un gran problema en la estabilidad de taludes y bermas en el relleno sanitario.

Al ingresar los lodos al relleno sanitario estos se acumulan con el paso del tiempo generando problemas en el manejo y operatividad de dicha instalación sanitaria debido a que nunca se ha realizado un estudio a profundidad de su comportamiento mecánico.

JUSTIFICACIÓN

EMAC EP se encuentra en la necesidad de determinar un proceso con bases científicas para la utilización de los lodos deshidratados generados por la planta de tratamiento de aguas residuales ETAPA EP y evitar que su disposición final afecte a la operatividad del relleno sanitario de Pichacay.

Por lo tanto la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC EP) conjuntamente con los estudiantes de la Universidad del Azuay realizan una investigación que abarca el análisis de mecánica de suelos de mezclas entre los lodos deshidratados generados por la planta de aguas residuales de ETAPA EP con los suelos perimetrales del relleno sanitario de Pichacay y otros materiales buscando mejorar las características de dichos lodos para así dar una disposición final adecuada y al mismo tiempo mejorar la estabilidad de las taludes y bermas en el relleno sanitario.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la mejor alternativa para la disposición final de los lodos deshidratados provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de ETAPA EP en el relleno sanitario de Pichacay.

Objetivos específicos

- Analizar sistemas alternativos de secado de lodos aplicables a la realidad local del relleno sanitario de Pichacay.
- Estudiar las características físicas, químicas y el comportamiento mecánico de los lodos deshidratados generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de ETAPA EP.
- Determinar materiales para mejorar las características mecánicas de los lodos al mezclarlos, previa a su disposición final.
- Realizar pruebas de campo para comprobar la efectividad de mezclas.

CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DE SISTEMAS ALTERNATIVOS PARA EL SECADO DE LODOS APLICABLES A LA REALIDAD LOCAL

Al realizar la investigación se trabajó con lodos de un alto contenido de humedad ya que estos se encontraban a la intemperie en el relleno sanitario, dando resultados positivos al mezclar con otros materiales analizados, llegando a la conclusión de que si se reduce el contenido de humedad aplicando uno de los mecanismos de secado de lodos que se describen a continuación, las mezclas mejorarán su efectividad.

1. Tipos de mecanismos para secado de lodos

1.1 Lechos de secado

Las eras de secado es un método aplicado a nivel mundial de deshidratación natural de lodos debido a que se da a la intemperie. Esta alternativa consiste en un medio drenante en el cual se dispondrán los lodos, y mediante la filtración y evaporación reducirán el contenido de humedad.

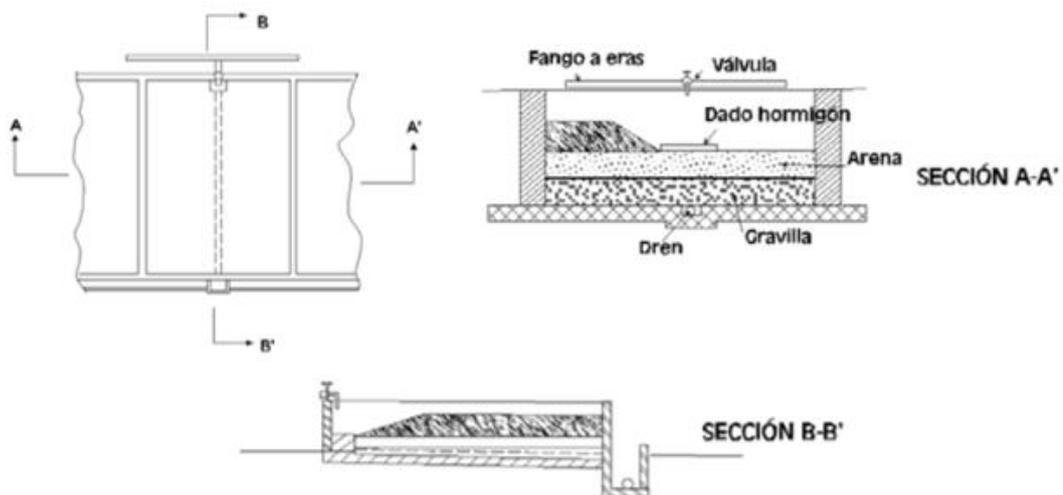


Figura 1.1. Esquema de lechos de secado.

Fuente: (Universidad de la Coruña, 2015)

La mayor parte del agua se infiltrará a través de arena y grava, además se tendrá que diseñar un sistema de dren con tuberías de drenaje lateral colocadas con una pendiente mínima del 1% y separadas de 2.5m a 6m, este sistema estará cubierto con grava gruesa.

La capa de arena deberá de tener un espesor de 200 a 300 mm y además un espesor adicional ya que se producen pérdidas durante el mantenimiento o limpieza del mismo. Cuando las capas son mayores se ralentiza el drenaje y la arena no debe tener un coeficiente de uniformidad superior a 4 y su tamaño efectivo estará comprendido entre 0.3 y 0.75 mm. (Universidad de la Coruña, 2015)

Tabla 1.1. Parámetros de diseño de las eras de secado

Capa de grava	10 - 20 mm	>0,15 m
Capa de arena	$D_{10}=0,3-0,75$ mm $C_u < 4$	>0,20-0,30 m
Capa de fango líquido		<0,25-0,30 m
Resguardo libre		0,20 - 0,30 m
¹Utilización anual de cada era		<10 veces (7-12)
¹Carga de sólidos		<120 kg SS/m ² -año
¹Superficie unitaria máxima de cada era		<100 m ²
¹Sequedad torta fango deshidratado		> 40%

Fuente: (Universidad de la Coruña, 2015)

1.2 Filtros de vacío

La filtración al vacío consiste en deshidratar mecánicamente el lodo aprovechando la fuerza motriz que actúa sobre la fase líquida a través de un medio poroso. Un filtro de vacío está conformado por un tambor cilíndrico que gira sobre su eje y está sumergido parcialmente en un depósito con lodo. Sobre este tambor se coloca un tejido poroso que permitirá el paso del agua.

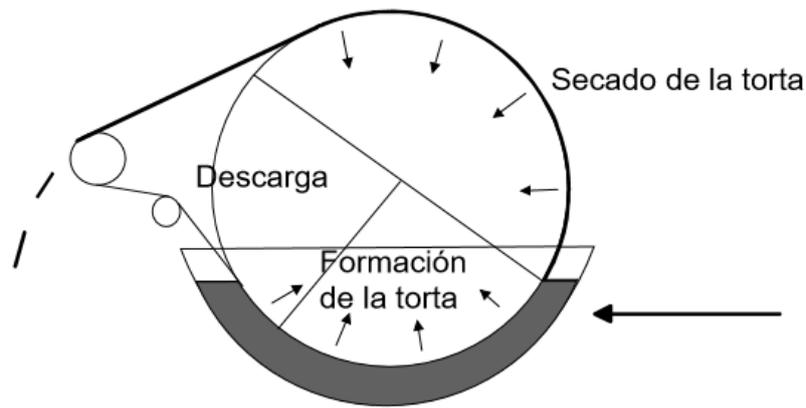


Figura 1.2. Esquema de filtro de vacío.

Fuente: (Universidad de la Coruña, 2015)

El filtro de vacío deberá estar parcialmente sumergido en el depósito con el lodo a deshidratar, a medida que el cilindro gire, este se recubrirá de lodo y se generará un vacío en el interior del cilindro con la ayuda de unas bombas exteriores por lo cual el agua fluirá al centro del cilindro donde será retirada.

Los materiales filtrantes son mallas metálicas en espiral, la superficie del tambor como antes mencionado tiene un medio poroso el cual dependerá de las características del lodo a deshidratar. La superficie del tambor está dividida en sectores circulares los cuales están separados y unidos a una válvula rotativa mediante una conducción de vacío. La deshidratación de este lodo oscila entre el 20 y 25%. (Universidad de la Coruña, 2015)

1.3 Filtros de banda

El filtro de banda como su nombre lo dice, consiste en una banda transportadora en la cual se colocará el lodo y una banda cobertora. El lodo será colocado entre estas dos bandas permeables las cuales pasarán por una serie de rodillos para conseguir la compresión del lodo.

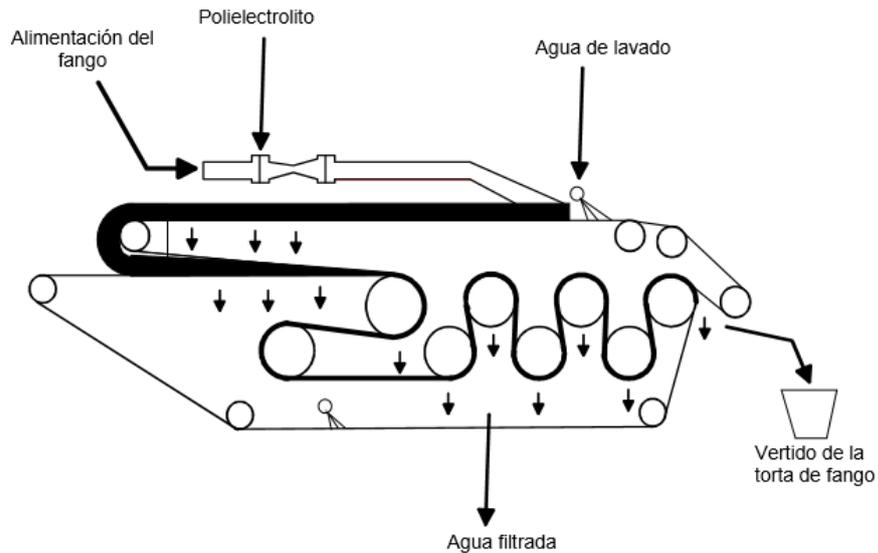


Figura 1.3. Esquema primera etapa de filtros de banda.

Fuente: (Universidad de la Coruña, 2015)

El lodo se deposita en el inicio de la banda donde la extracción de agua se da a gravedad, a medida que avanza el proceso el lodo entra en la zona de prensado para después pasar a la zona de rodillos en donde será comprimido en los puntos de giros de las cintas.

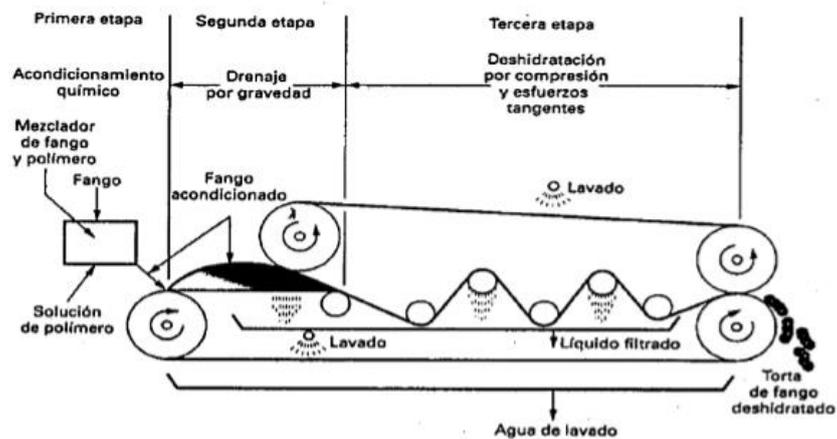


Figura 1.4. Esquema segunda etapa filtros de banda.

Fuente: (Universidad de la Coruña, 2015)

Las ventajas de este mecanismo es el proceso continuo que se le da al lodo además de tener un consumo energético bajo y la facilidad de mantenimiento. Por otra parte tiene un alto costo de inversión así como de mantenimiento. (Universidad de la Coruña, 2015)

1.4 Filtros de prensa

Los filtros de prensa funcionan mediante la aplicación de altas condiciones de presión desde 5 a 15 bares o más. La técnica de prensado es la más extendida a pesar de la operación intermitente y altos costes de inversión.

Un filtro se compone de una serie de chapas verticales yuxtapuestas y acopladas. Estas chapas prensadas entre ellas cuentan con un sistema hidráulico-neumático que puede ser automático o semiautomático. La presión aplicada a las zonas unidad de cada filtro debe de soportar la presión interna de la cámara que se forma debido a la inyección mediante bomba del lodo al sistema. Esta disposición de placas verticales forma cámaras de filtración que estanca a la inmersión que permiten la fácil mecanización de la descarga de las pastas. Membranas filtrantes finamente y fijamente malladas se aplican en las dos grandes superficies crecientes en estas placas.

A través de orificios se alimenta el sistema de lodo para ser prensado en la cámara de filtración. Están generalmente colocados en el centro de estas placas permitiendo una distribución adecuada del flujo, presión adecuada y mejor drenaje del lodo dentro de la cámara. Los lodos sólidos se acumulan gradualmente en la cámara de filtración hasta que se genera una pasta compacta final. El filtrado se colecta en la parte de atrás del soporte de filtración mediante ductos internos (Lenntech, 2017).

La capacidad de producción de un filtro de prensa es de entre 1.5 y 10 kg de sólidos por m² de superficie de filtración. Para cada modelo de filtro de prensa el volumen de la cámara y la superficie de filtración depende del número de placas del filtro en términos prácticos el tiempo de prensado es menor de cuatro horas dependiendo del espesamiento de la pasta, concentración del lodo, resistencia específica y coeficiente de compresibilidad. Una de las ventajas del filtro prensa es que pueden aceptar lodo con distinta capacidad de filtración.

Es recomendable espesar el lodo antes de la operación en el filtro de prensado. Aunque el lodo presenta una gran capacidad de filtración permite una capacidad de producción mayor, los filtros de prensa aceptan igualmente lodo con condiciones poco precisas para su filtrado. Esta tolerancia significa que el sistema presenta condiciones de operatividad seguras y con pocos riesgos (Lenntech, 2017).

Los filtros de prensa son sistemas de deshidratación intermitente. Cada operación de prensado supone los siguientes pasos:

- **Cerramiento de la prensa:** cuando el filtro está totalmente vacío, la cabeza móvil que es activada por el sistema hidráulico-neumático cierra las placas. La presión de cerramiento es autorregulada mediante la filtración.
- **Rellenado:** Durante esta fase corta, la cámara se llena con lodos para su filtración. El tiempo de relleno depende del flujo de la bomba de alimentación. Para lodo con gran capacidad de filtración es mejor rellenar el filtro rápidamente para evitar la formación de una pasta en la cámara primaria antes de que se haya rellenado del todo.

- **Filtración:** Una vez rellena la cámara, la llegada de manera continua de lodo a tratar para ser desaguado provoca un aumento de la presión debido a la formación de una capa espesa de lodo en las membranas. Esta fase de filtración puede reducirse de manera manual, mediante un temporizador o un indicador del flujo que activa una alarma de parada cuando se alcanza el final de la capacidad de filtración. Cuando se ha parado la bomba de filtración, los circuitos de filtración y ductos centrales, que están todavía rellenos de lodo se les aplica aire comprimido para su purgado.
- **Apertura del filtro:** La cabeza movable se retira para desarmar la primera cámara de filtración. La pasta cae por su propio peso. Un sistema mecanizado tira de las placas una por unas. La velocidad en la separación de las placas puede ajustarse teniendo en cuenta la textura de la pasta.
- **Limpieza:** La limpieza de las membranas puede llevarse a cabo entre 15-30 operaciones del proceso. Para unidades largas o medianas esto tienen lugar en prensados usando spray de agua a altas presiones (80-100 bar). La limpieza esta sincronizada con la separación de las placas

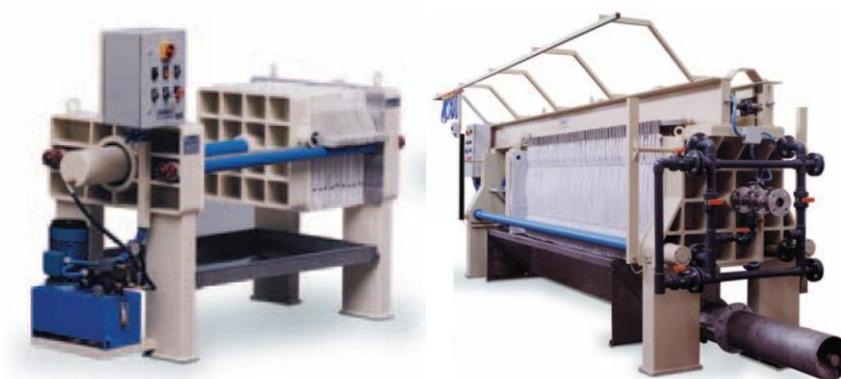


Figura 1.5. Filtros de prensa para deshidratar lodos.

Fuente: (Lenntech, 2017)

1.5 Calentamiento indirecto

Muchas plantas de tratamiento de aguas residuales manejan un flujo residual de lodos digeridos. El lodo normalmente se deshidrata en una centrífuga o prensa de filtro de cinta. Después de la deshidratación, el lodo tiene un contenido de sólidos secos típico de aprox. 20-25%, que es muy adecuado para el tratamiento térmico en un secador de paleta ANDRITZ Gouda. El corazón de la instalación consiste en un canal que contiene dos ejes contra rotativos, dispuestos con paletas.

El aceite térmico o vapor saturado a 180-250 ° C fluye continuamente a través de la camisa, los ejes huecos y las paletas. A medida que se alimenta el lodo, las paletas en forma de cuña garantizan una mezcla local perfecta y una fluidización mecánica. Los ejes están precisamente alineados, y por lo tanto permiten que las paletas se entrelacen a medida que giran. Esto asegura el contacto ideal entre la superficie y el producto y el flujo del lodo, resultando en altas tasas de evaporación por metro cuadrado dentro de la máquina.

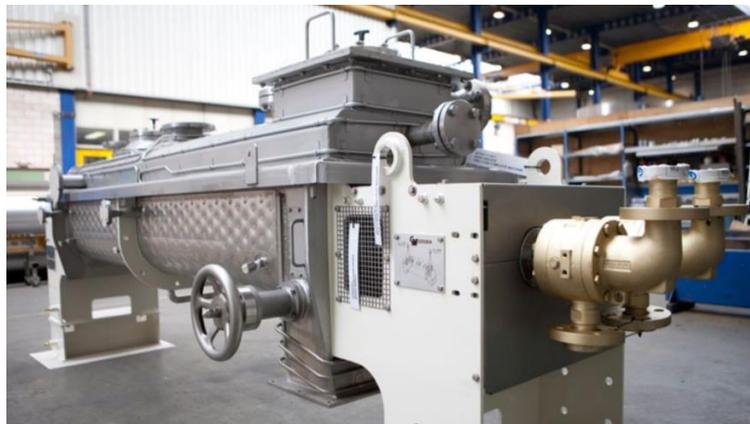


Figura 1.6. Mecanismos de calentamiento indirecto.

Fuente: (Andritz, 2014)

El secador de paletas se basa en un sistema de calentamiento indirecto de lodos. La transferencia indirecta de calor evita los flujos de aire, mientras que la operación totalmente cerrada permite el tratamiento seguro de productos tóxicos, nocivos o inflamables. Debido a la baja velocidad de funcionamiento de los ejes, se forma poco o ningún polvo durante el proceso de secado, mientras que el desgaste en la instalación se reduce al mínimo. Otra ventaja del sistema de secado indirecto es su bajo consumo de energía ya que todo el calor generado se utiliza para evaporar el agua. (Andritz, 2014)

1.6 Método de secado aplicable a la realidad local

Según los métodos anteriormente estudiados, todos utilizan máquinas de alto costo por el cual el método más conveniente a utilizar es el de eras o lechos de secado. El relleno sanitario posee un área apropiada para este fin, que se encuentra ubicada cerca al denominado Norte 1, siendo este el lugar más apropiado para la construcción de los lechos de secado (figura 1.7).

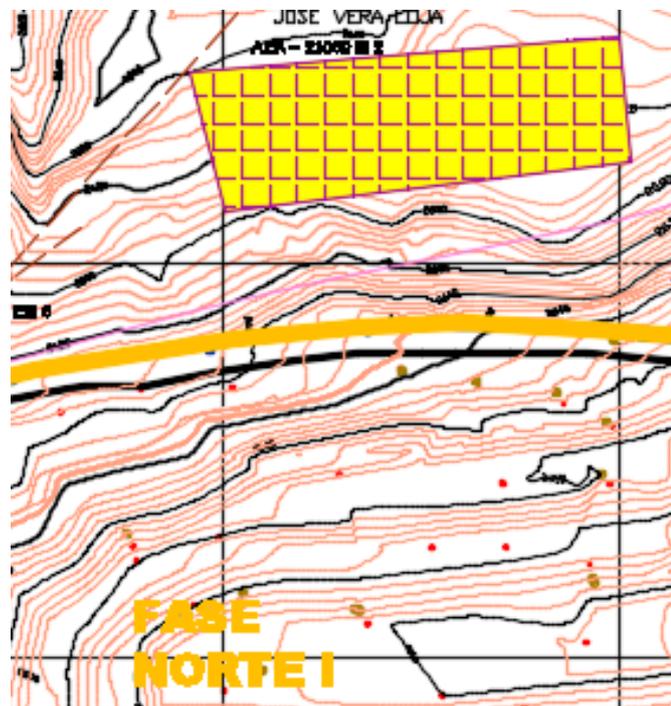


Figura 1.7. Área predestinada para la construcción de los lechos de secado.

Fuente: Topografía proporcionada por la EMAC EP

CAPITULO 2: LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

2. Descripción general del relleno sanitario

Según EMAC EP (2014), uno de los componentes del “Complejo de Desarrollo Humano y Ambiental Pichacay” es el relleno sanitario, su operación empezó el 3 de septiembre de 2001 empleando normas previstas para este tipo de equipamientos sanitarios. El 14 de diciembre de 2002, el ministerio del ambiente le otorgó la licencia ambiental por sus características técnicas, ambientales de seguridad y salud ocupacional que mantienen un sistema integrado de gestión en base a las siguientes normas internacionales: ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001 (ver anexo 3).

2.1. Ubicación geográfica del relleno sanitario

El relleno sanitario se encuentra ubicado en el sector de Pichacay de la parroquia Santa Ana a 21 km de la ciudad de Cuenca, geográficamente se encuentran en las coordenadas como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Coordenadas WGS84 del relleno sanitario

Lugar	Longitud este	Longitud norte
Relleno sanitario	730 268	9'672 091

Fuente: Angamarca, Romero



Figura 2.1. Ubicación geográfica del relleno sanitario de Pichacay.

Fuente: Google Earth

2.2 Características técnicas del relleno sanitario

Las características técnicas del relleno sanitario se pueden observar en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Características técnicas del relleno sanitario

Descripción:	Dato informativo:
Cota de arranque del relleno	2619 msnm.
Área total del equipamiento	123 hectáreas.
Peso promedio de desechos sólidos compactados	480 toneladas/día.
Vida útil	20 años.
Peso específico de desechos compactados	0.9 toneladas/m ³ .
Sistema de impermeabilización mixta	Capa de arcilla de 20cm de espesor compactada (mínimo 90% de prueba PROCTOR estándar y geo membrana de polietileno de alta densidad de 150mm).
Ductos de gas	Construido con piedra y tubería perforada de polietileno de alta densidad de 160mm.

Drenes de lixiviados	Construidos con piedra, tuberías perforadas de 160mm y geotextil no tejido 0,25 mm y permeabilidad de 45x10 ⁻² cm/s.
Volumen promedio de generación de lixiviados	100 m ³ .dia.
Volumen de almacenamiento de lixiviados	Fase 1: cuatro tanques de ferro cemento y tres tanques de tormentas, capacidad total: 2550 m ³ . Fase 2: tres tanques de tormentas, capacidad total: 5426m ³ .
Sistema de operación del relleno	Mediante contrato con terceros.
Costo de operación	\$6 Tonelada (no incluye costos de inversión).
Equipo utilizado	Excavadora SHANTUI SE 240, excavadora Caterpillar 320cu 138 hp 2005, rodillo compactador Caterpillar 81612 232hp 2010, dos tanqueros de 3500 galones para transporte de lixiviados.

Fuente: (EMAC, 2014)

2.3 Origen de los lodos deshidratados

Cuenca ha sido una de las ciudades con los mejores servicios públicos del Ecuador desde hace muchos años. En 1985 la empresa pública municipal de telecomunicaciones, agua potable, alcantarillado y saneamiento de Cuenca (ETAPA EP), empezó un proceso de planificación con el objetivo de recuperar la calidad de agua de los ríos que atraviesan a la ciudad, que después de varios análisis y estudios concluyó en una primera etapa que fue la construcción de una red de interceptores marginales y la planta de tratamiento de aguas residuales, la misma que constituye una de las instalaciones de gran importancia en su tipo tanto en el país como de Sudamérica. Ésta planta empezó a funcionar en los últimos meses del año 1999, y está formada por lagunas de estabilización en dos series, cada una compuesta por una laguna airada primaria, una facultativa secundaria y una de maduración terciaria con un superficie de espejo de agua de 45 ha y una capacidad de tratamiento de 1860 l/s (Durazno & Díaz, 2009).

Las fases de intercepción, conducción y tratamiento de las aguas residuales que anteriormente eran desechadas a los ríos y los problemas de contaminación que ocasionaban en todo el cauce de los cuerpos receptores, forman un conflicto que actualmente se trata en la PTAR, y que lo constituyen los lodos depositados en el sistema de tratamiento, teniéndose hasta el presente un volumen acumulado superior a los 180000 m³ (al 13%ST) hasta el 2009. La acumulación de estos lodos ocasiona grandes problemas relacionados con la disminución de los períodos de retención lo cual ha ocasionado una pérdida de la eficiencia del sistema y mayores costos en la operación debido a la demanda dada. Para solucionar esta situación, ETAPA lleva adelante un proyecto para completar el sistema de tratamiento de aguas residuales y así recuperar la capacidad de depuración mediante la implementación de un sistema de extracción, deshidratación y disposición final de lodos (Durazno & Díaz, 2009).

Un problema relacionado en el manejo de lodos es su disposición final, existiendo diversas opciones que podrían ser implementadas con este objetivo por ejemplo: la incineración, elaboración de productos cerámicos, aplicación en la agricultura y silvicultura, mejoramiento de suelos, obtención de combustibles, recuperación de productos minerales y la disposición en el relleno sanitario. (ETAPA, 2007)

Mediante un convenio realizado por parte de las empresas públicas EMAC y ETAPA, los lodos deshidratados son enviados y dispuestos de manera final en el relleno sanitario de Pichacay, mientras que los lixiviados producidos en dicho relleno serán descargados en la PTAR (anexo 4).

2.4 Los lodos en el relleno sanitario de Pichacay

Los lodos deshidratados son transportados desde la PTAR de ETAPA EP hacia el relleno sanitario de Pichacay mediante volquetas, los cuales al ingresar pasan por una balanza que determina su peso para luego ser depositados conjuntamente con los residuos sólidos en las diferentes fases del relleno sanitario.

Tabla 2.3. Peso de lodos deshidratados ingresados al Relleno Sanitario de Pichacay

Año	Mes	Cantidad	Unidad	Viajes por mes
2016	Diciembre	1036.73	Toneladas	94
2017	Enero	234.05	Toneladas	18

Fuente: EMAC EP

Como se puede observar en la tabla 2.3, en el mes de diciembre de 2016 el ingreso de lodos al relleno sanitario de Pichacay está en su rango normal es decir ingresa alrededor de 45 a 50 metros cúbicos diarios, mientras que en enero de 2017 los lodos disminuyeron notablemente debido a que la PTAR ETAPA EP dejó de producir los mismos debido a una avería en la planta de secado.

Todos estos lodos se depositaron en la fase 2 del relleno sanitario debido a que la fase 1 ya se encuentra saturada.

Los técnicos han buscado una manera de estabilizar estos lodos mezclando materiales que se encuentran en la periferia del relleno y también con materiales pétreos dando estos resultados negativos por que no se han realizado estudios a profundidad. El presente trabajo brinda alternativas para una mejor disposición final mediante mezclas con otros materiales cuyos ensayos han sido realizados en laboratorio y respaldados con una prueba de campo.

CAPÍTULO 3: CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS DESHIDRATADOS

3. Características de los lodos deshidratados

En este capítulo se describen las características físicas y el comportamiento mecánico de los lodos deshidratados obtenidos al realizar los ensayos de laboratorio. Debido a que estos lodos no se comportan como un suelo, la mayoría de ensayos no se pueden realizar dando como consecuencia resultados incoherentes con el comportamiento de suelos.



Figura 3.1. Lodo depositado en el relleno sanitario de Pichacay.

Fuente: Angamarca, Romero

3.1 Características físicas y químicas de los lodos deshidratados

Granulometría

No se pudo realizar la granulometría debido a que la muestra de lodo tomado del relleno sanitario no contiene partículas gruesas y únicamente tiene partículas en suspensión.

Contenido de humedad

El lodo depositado en el relleno sanitario contiene un 117% de humedad (ver anexo 15).

Tabla 3.1. Contenido de humedad del lodo deshidratado depositado en el relleno sanitario

Humedad natural del lodo depositado en el relleno sanitario de Pichacay						
Humedad natural	#Tarro	PT	PT+MH	PT+MS	%H	Promedio %H
	22	5.58	26	14.94	118.162393	117%
	21	5.47	25.9	14.91	116.419492	

Fuente: Angamarca, Romero

M: Muestra

P: Peso

T: Tarro

H: Humedad

Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

No se logró realizar debido al alto contenido de humedad.

Clasificación SUCS

No se pudo determinar debido a que no se pudo utilizar los tamices normados para el método de clasificación.

Clasificación AASHTO

No se pudo determinar debido a que no se pudo utilizar los tamices normados para el método de clasificación.

Composición física y química de los lodos deshidratados

En las siguientes tablas se presenta un resumen de los valores obtenidos en las pruebas experimentales de deshidratación efectuadas en los años 2006, 2009 y 2016 relacionado con parámetros físicos y químicos de los lodos deshidratados.

Tabla 3.2. Composición física y química del lodo crudo (LC) y deshidratado de la planta de tratamiento de aguas residuales ETAPA EP (2006)

Parámetro	Unidad	Muestra	Máximo	Promedio	Mediana	Mínimo
Características físicas						
Sólidos Totales	%	LC	18	-	13	10
	%	LD	31	-	29	28
Sólidos Totales Volátiles	%ST	LC	45	-	28	20
	%ST	LD	29	-	28	28
Características químicas inorgánicas						
Fósforo	% peso seco	LC	5.7	-	1	0.13
	% peso seco	LD	0.09	-	0.08	0.07
Nitrógeno Amoniacal	% peso seco	LC	0.8	-	0.3	0.1
	% peso seco	LD	0.21	-	0.2	0.18
Nitrógeno Orgánico	% peso seco	LC	2.5	-	1.3	0.04
	% peso seco	LD	1.8	-	1.7	1.6
Potasio	% peso seco	LC	0.29	-	0.14	0.09
	% peso seco	LD	0.11	-	0.1	0.1
Sodio	% peso seco	LC	0.47	-	0.27	0.07
	% peso seco	LD	0.09	-	0.08	0.06
pH	-	LC	7.22	-	-	6.04
	-	LD	7.52	-	-	7
Aluminio	mg/kg	LC	23600	14523	-	550
	mg/kg	LD	16400	15000	-	13400
Cadmio	mg/kg	LC	79	7.18	-	0.7
	mg/kg	LD	25	20	-	13
Cobre	mg/kg	LC	370	220	-	138
	mg/kg	LD	223	208	-	197
Cromo	mg/kg	LC	515	299	-	15
	mg/kg	LD	291	267	-	239
Hierro	mg/kg	LC	-	-	-	-
	mg/kg	LD	-	-	-	-
Manganeso	mg/kg	LC	-	-	-	-
	mg/kg	LD	-	-	-	-
Niquel	mg/kg	LC	50	28	-	5
	mg/kg	LD	21	19	-	17
Plomo	mg/kg	LC	270	145	-	35
	mg/kg	LD	176	163	-	154
Zinc	mg/kg	LC	1800	1029	-	461
	mg/kg	LD	1230	1123	-	1040

Fuente: (ETAPA, 2007)

Tabla 3.3. Composición física y química del lodo crudo y deshidratado (LD) de la planta de tratamiento de aguas residuales ETAPA EP (2009)

Parámetro	Unidad	Muestra	Máximo	Promedio	Mediana	Mínimo
Características físicas						
Sólidos Totales	%	LC	12	9.1	8.8	7.4
	%	LD	33	30	31	26
Sólidos Totales Volátiles	%ST	LC	34	29	28	26
	%ST	LD	29	28	28	26
Características químicas inorgánicas						
Fósforo	g/kg	LC	5.5	3.4	3.3	2.2
	g/kg	LD	2.4	1.3	1.2	0.29
Nitrógeno Amoniacal	g/kg	LC	4.1	3.1	3.2	2.3
	g/kg	LD	2.3	1.9	1.9	1.4
Nitrógeno Orgánico	g/kg	LC	24	14	13	11
	g/kg	LD	16	14	14	13
Potasio	mg/kg	LC	2160	1761	1723	1420
	mg/kg	LD	1210	1127	1130	1010
Sodio	mg/kg	LC	1600	1285	1140	1080
	mg/kg	LD	810	599	526	500
pH	-	LC	7.19	6.7	-	6.39
	-	LD	8.21	7.46	-	7.02
Aluminio	g/kg	LC	21	15	16	5.8
	g/kg	LD	20	14	15	7
Cadmio	mg/kg	LC	7	4.2	4.6	2.1
	mg/kg	LD	2.8	2.7	2.6	2.5
Cobre	mg/kg	LC	340	238	220	183
	mg/kg	LD	270	234	227	220
Cromo	mg/kg	LC	550	364	344	280
	mg/kg	LD	390	305	300	230
Hierro	mg/kg	LC	19600	16843	15415	14900
	mg/kg	LD	19600	16384	17200	11400
Manganeso	mg/kg	LC	530	329	300	243
	mg/kg	LD	330	274	270	220
Niquel	mg/kg	LC	72	45	47	24
	mg/kg	LD	35	27	25	23
Plomo	mg/kg	LC	180	129	121	87
	mg/kg	LD	290	155	140	73
Zinc	mg/kg	LC	1490	969	930	580
	mg/kg	LD	1250	1008	990	810

Fuente: (Durazno Orellana & Díaz Torres , 2009)

Tabla 3.4. Composición física y química del lodo deshidratado de la planta de tratamiento de aguas residuales ETAPA EP (2016/12/28)

PARAMETRO	METODO	FECHA DE REALIZACIÓN	UNIDADES	579/01/16 LODO
FOSFORO TOTAL	PEE/LS/FQ/03	21/12/2016	% en peso seco	0.161
NITROGENO AMONICAL	SM4500 NH3 C	21/12/2016	% en peso seco	0.103
Ph	PEE/LS/FQ/07	21/12/2016		7.18
%HUMEDAD	De los Sólidos Totales	22/12/2016	%	62.89
SÓLIDOS TOTALES	PEE/LS/FQ/05	22/12/2016	% en peso seco	37.11
SÓLIDOS TOTALES VOLATILES	SM 2540 E	27/12/2016	% en peso seco	12.13
COLIFORMES TOTALES	SM 9221 E	21/12/2016 23/12/2016	NMP/g	1.69E+0.5
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	SM 9221 E	22/12/2016 24/12/2016	NMP/g	1.06E+0.5

Fuente: ETAPA EP

Ya que ETAPA EP solo cuenta con estudios físico-químicos de los lodos deshidratados como parte del tratamiento de aguas residuales para el presente trabajo se realizó el estudio de dichos lodos analizando su comportamiento mecánico.

3.2 Comportamiento mecánico del lodo deshidratado

PROCTOR estándar

No se logró determinar la densidad máxima ni la de humedad óptima debido a que el lodo en condiciones naturales tiene un alto contenido de humedad que sobrepasa el 100% haciendo que la muestra no sea manejable para ejecutar este ensayo.

CBR

No se pudo determinar el CBR debido a que la muestra necesaria para realizar este ensayo no pudo ser puesta en condiciones de su densidad máxima ni su humedad óptima.

Compresión simple

No se pudo calcular la compresión ni la resistencia al corte del suelo debido a que la muestra necesaria para realizar este ensayo no pudo ser puesta en condiciones de su densidad máxima ni su humedad óptima.

CAPÍTULO 4: CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS NATURALES EXISTENTES EN EL ÁREA PERIMETRAL DEL RELLENO Y OTROS MATERIALES CEMENTANTES

4. Características de los suelos naturales

4.1 Suelo rojo

Este suelo es el que más abunda en el perímetro del relleno sanitario el mismo que es explotado en grandes cantidades para utilizarlo como capa de cobertura de los desechos sólidos.



Figura 4.1. Explotación de suelo rojo para capa de cobertura de los desechos sólidos.

Fuente: Angamarca, Romero

4.1.1. Características físicas del suelo rojo

Granulometría

El ensayo de granulometría realizado nos da a conocer que este suelo está conformado por un 0% de grava, 30.59% de arena y 69.41% de material fino mediante los cálculos realizados como se muestra en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Granulometría del suelo rojo

Tamiz	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa	Especificación
3"	0	0	0.00	100.00	
2 ½"	0	0	0.00	100.00	
2"	0	0	0.00	100.00	
1½"	0	0	0.00	100.00	
1"	0	0	0.00	100.00	
¾"	0	0	0.00	100.00	
½"	0	0	0.00	100.00	
⅜"	0	0	0.00	100.00	
N°4	0	0	0.00	100.00	
Pasa N°4	6000		(100.00)		
N°8	0	0			
N°10	28.0	28.0	5.99	94.01	
N°40	49	77.0	16.47	83.53	
N°50	0	77.0	16.47	83.53	
N°100	0	77.0	16.47	83.53	
N°200	66	143.0	30.59	69.411	
Pasa 200		357.0	(76.37)		
Total	6000				
Hum. Inic. =	6.96	Peso pasa # 4 Antes 500.0 gr Después 467.5 gr			
% Grava	0.00				
% Arena	30.59				
% Fino	69.41				

Fuente: Angamarca, Romero

Contenido de humedad

Este suelo tiene un contenido de humedad natural del 7%.

Tabla 4.2. Contenido de humedad del suelo rojo

N° tarro	N° golpes	Peso húmedo	Peso seco	Peso tarro	% humedad	% promedio
18	0	69.85	65.56	5.65	7.2	6.96
19	0	78.41	73.81	5.68	6.8	

Fuente: Angamarca, Romero

Límite líquido

La ranura hecha en la muestra utilizada para el ensayo de límite líquido en la cuchara de casa grande se cerró a los 25 golpes con una humedad del 28.63%.

Tabla 4.3. Límite líquido del suelo rojo

N° tarro	N° golpes	Peso húmedo	Peso seco	Peso tarro	% humedad	% promedio
1	36	13.99	12.24	5.38	25.5	
2	30	14.65	12.68	5.5	27.4	
3	20	13.34	11.55	5.65	30.3	
4	15	13.04	11.24	5.65	32.2	
Golpes				25		28.63

Fuente: Angamarca, Romero

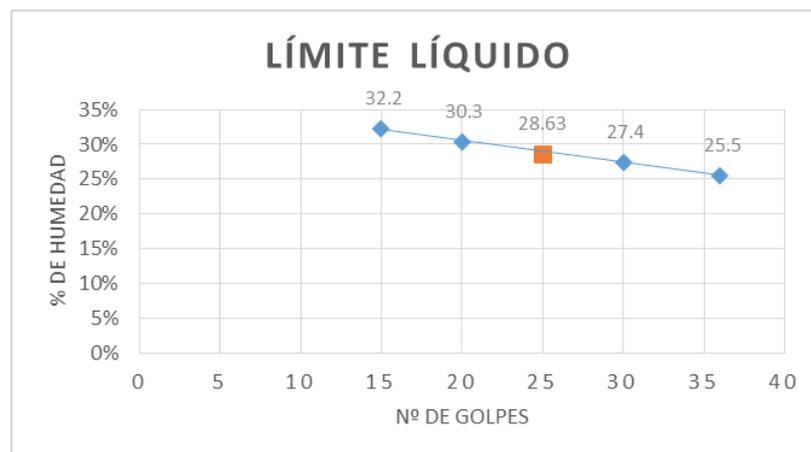


Figura 4.2 Límite líquido del suelo rojo.

Fuente: Angamarca, Romero

Límite plástico e índice de plasticidad

Los rollos realizados para el ensayo de límite plástico de agrietaron con una humedad promedio de 13.61%

Tabla 4.4. Límite plástico del suelo rojo

N° tarro	N° golpes	Peso húmedo	Peso seco	Peso tarro	% humedad	% promedio
61	0	6.36	6.25	5.5	14.7	
52	0	6.23	6.15	5.54	13.1	
1	0	6.25	6.16	5.47	13.0	13.61

Fuente: Angamarca, Romero

Dando como resultado un índice de plasticidad igual a **15.02%** que se obtiene al aplicar la fórmula Ec.5 del anexo 1.

Clasificación SUCS

Para poder determinar esta clasificación se realizan los ensayos de granulometría, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad los mismos que dieron los siguientes datos:

Límite líquido=28.63%

Límite plástico=13.61%

Índice de plasticidad=15.02%

Tamiz N° 4: todo el material pasa por este tamiz por lo tanto no es un suelo de grano grueso.

Tamiz N°200: pasa el 69% del material por lo tanto es un suelo de grano fino.

Según la carta de plasticidad (ver anexo 1), el límite líquido e índice de plasticidad se encuentra encima de la línea A clasificándose así en un suelo CL.

Clasificación AASHTO

Para poder determinar esta clasificación se realizan los ensayos de granulometría, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad los mismos que nos facilitaron los siguientes datos:

Límite líquido=28.63%.

Límite plástico=13.61%.

Índice de plasticidad=15.02%.

Tamiz N°200: pasa el 69% del material mayor que el 35% por lo tanto es un material limoso o arcilloso.

El índice de grupo calculado mediante la fórmula Ec.8 del anexo 1 resulta 7.7.

Al ubicar el límite líquido e índice de plasticidad en la tabla de clasificación AASHTO (ver anexo 1) de izquierda a derecha resulta que este suelo es clasificado como A-6 (7.7) es decir una arcilla mala.

4.1.2. Comportamiento mecánico del suelo rojo

PROCTOR estándar

Luego de haber realizado el respectivo ensayo y los cálculos se obtuvo que la humedad óptima es del 16%, que permite alcanzar una densidad máxima de 1953kg/m^3 .

EL PROCTOR estándar de laboratorio es realizado bajo condiciones que garanticen el cumplimiento de las exigencias del ensayo, pero lamentablemente en la obra no se puede cumplir con estas exigencias por lo tanto se pide al menos el cumplimiento del 95% PROCTOR estándar que en este caso resulta 1855.35kg/m^3 .

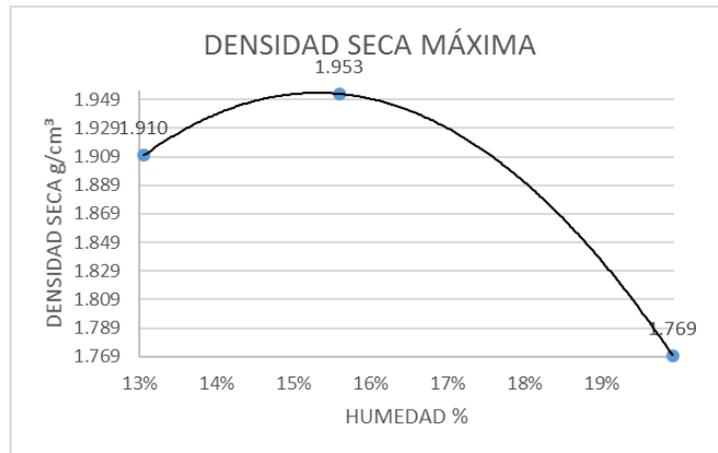


Figura 4.3. Densidad seca máxima del suelo rojo.

Fuente: Angamarca, Romero

CBR (California Bearing Ratio)

Al realizar el ensayo de CBR con la humedad óptima y diferentes energías de compactación en este caso 10, 25 y 55 golpes se obtuvieron las siguientes densidades secas con su respectiva humedad que se muestra en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Densidades secas del material saturado y humedades (CBR del suelo rojo)

Golpes	Densidad seca	Humedad
55	1.937 g/cm ³	16.47%
25	1.924 g/cm ³	17.33%
10	1.842 g/cm ³	17.88%

Fuente: Angamarca, Romero

Los resultados de la penetración y la carga unitaria del CBR (figura 4.4) sobre las muestras que se sumergieron durante tres días (72 horas), se presentan en las tablas 4.6, 4.7, 4.8 con sus respectivos esponjamientos y energías de compactación.

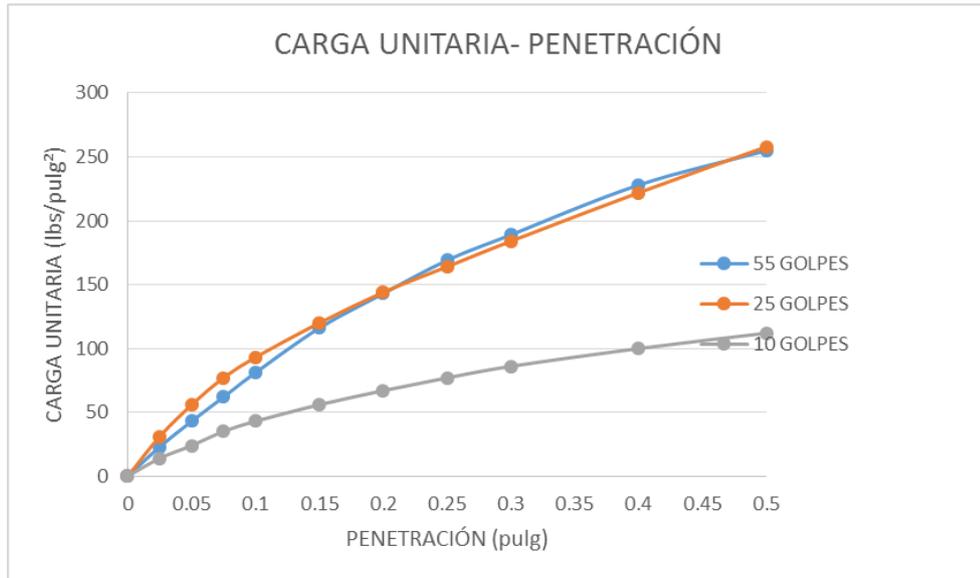


Figura 4.4. Penetración – carga unitaria del suelo rojo.

Fuente: Angamarca, Romero

Como se puede observar en el gráfico que el suelo compactado tanto con 55 como 25 golpes tienen un mismo comportamiento, es decir el suelo tan solo con 25 golpes se estabiliza mejor. También se puede verificar que los valores de la muestra compactada con 10 golpes tienen una mayor dispersión en los valores, esto se debe a que, en el proceso de saturación, el material absorbió una mayor cantidad de agua dando como resultado valores bajos de carga unitaria en la penetración realizada.

Tabla 4.6. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 10 golpes del suelo rojo)

10 golpes	
Esponjamiento	2.07%
Penetración	Carga
pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	14
0.05	24
0.075	35
0.1	43
0.15	56
0.2	67
0.25	77
0.3	86
0.4	100
0.5	112

Fuente: Angamarca, Romero

Tabla 4.7. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 25 golpes del suelo rojo)

25 golpes	
Esponjamiento	0.45%
Penetración	Carga
pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	31
0.05	56
0.075	77
0.1	93
0.15	120
0.2	144
0.25	164
0.3	184
0.4	222
0.5	258

Fuente: Angamarca, Romero

Tabla 4.8. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 55 golpes del suelo rojo)

55 golpes	
Esponjamiento	0.39%
Penetración	Carga
Pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	23
0.05	43
0.075	62
0.1	81
0.15	116
0.2	143
0.25	169
0.3	189
0.4	228
0.5	255

Fuente: Angamarca, Romero

De las tablas anteriormente expuestas se calculó el valor de CBR tomando como valor de deformación 0.1 pulgadas para los diferentes moldes con sus respectivas energías de compactación que se representa en la tabla 4.9 y figura 4.5 conjuntamente con su densidad seca.

Tabla 4.9. Densidad seca del material saturado (suelo rojo) -%CBR

Golpes	Densidad seca	%CBR
55	1.937 g/cm ³	2.7%
25	1.887 g/cm ³	3.1%
10	1.842 g/cm ³	1.4%

Fuente: Angamarca, Romero

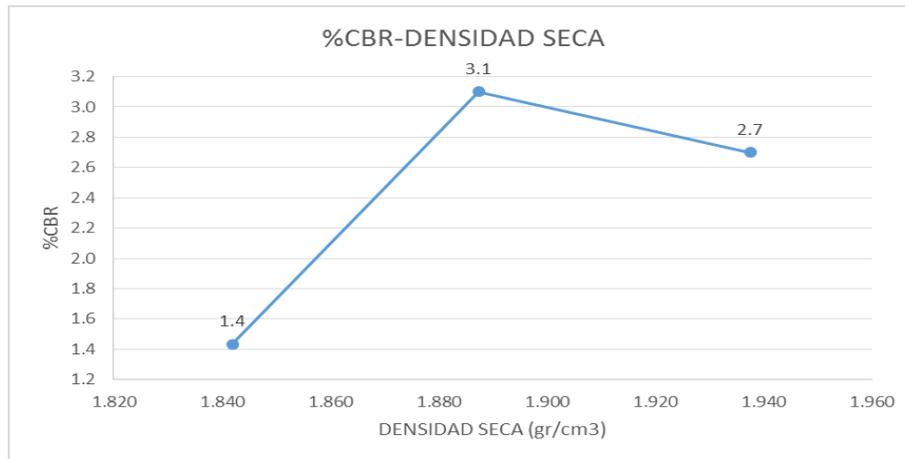


Figura 4.5. Densidad seca del material saturado (suelo rojo)-% CBR

Fuente: Angamarca, Romero

Compresión simple

Al realizar este ensayo se obtuvo una resistencia a la compresión simple de 0.41 Kg/cm² y una resistencia al cortante del suelo de 0.205 Kg/cm². En la tabla 4.10 y figura 4.6 se muestra la deformación y esfuerzo que soporta la muestra hasta fallar.

Tabla 4.10. Resultados de la compresión simple del suelo rojo

Deformación Axial			Aplicación de carga			
Delta h	Delta h	Def unitaria	Carga axial		Area corregida	Esfuerzo de compresión
0,001"	mm	%	0,0001"	Kg	cm ²	Kg/cm ²
0	0	0.00	0	0.00	9.35	0.00
10	0.25	0.23	3	1.49	9.37	0.16
20	0.51	0.46	6	1.92	9.39	0.20
30	0.76	0.69	8	2.21	9.41	0.23
40	1.01	0.92	12	2.78	9.44	0.29
50	1.27	1.15	13	2.92	9.46	0.31
55	1.39	1.27	15	3.21	9.47	0.34
60	1.52	1.380	16	3.35	9.48	0.35
65	1.64	1.495	17	3.50	9.49	0.37
70	1.77	1.610	18	3.64	9.50	0.38
75	1.90	1.725	18	3.64	9.51	0.38
80	2.02	1.840	20	3.93	9.52	0.41
85	2.15	1.955	20	3.93	9.53	0.41
90	2.28	2.070	20	3.93	9.55	0.41
95	2.40	2.185	19	3.79	9.56	0.40
100	2.53	2.300	18	3.64	9.57	0.38

Fuente: Angamarca, Romero

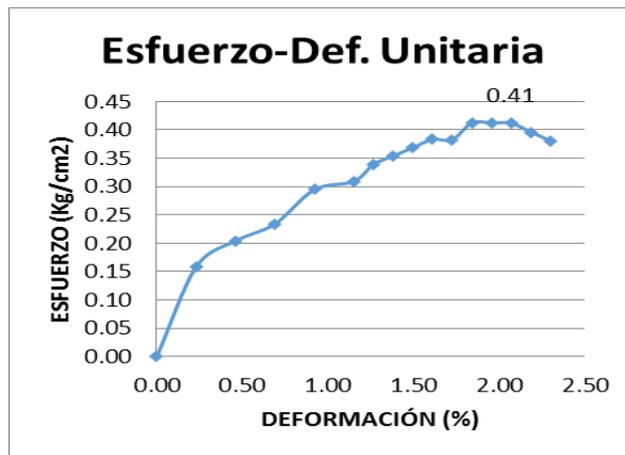


Figura 4.6. Grafica esfuerzo vs deformación unitaria del suelo rojo.

Fuente: Angamarca, Romero

Como se puede observar, si el esfuerzo provocado en la muestra aumenta la deformación aumenta también, en este caso hasta llegar a un esfuerzo de $q_u=0.41$ Kg/cm², a partir de este valor la muestra fracasa provocando la rotura de la misma.

4.2 Suelo amarillo

Es otro suelo que se encuentra en el perímetro del relleno sanitario, pero existe en porciones pequeñas. Debido a sus escasas, se mezcla con las grandes cantidades de tierra roja para ser depositados como capa de cobertura de los desechos sólidos.



Figura 4.7. Yacimientos de suelo amarillo en el relleno sanitario de Pichacay.

Fuente: Angamarca, Romero

4.2.1. Características físicas del suelo amarillo

Granulometría

El ensayo de granulometría realizado nos da a conocer que este suelo está conformado por un 0.06 % de grava, 85.23% de arena y 14.71% de material fino mediante los cálculos realizados como se muestra en la tabla 4.11.

Tabla 4.11. Granulometría del suelo amarillo

Tamiz	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa	Especificación
3"	0	0	0.00	100.00	
2 ½"	0	0	0.00	100.00	
2"	0	0	0.00	100.00	
1½"	0.174	0	0.00	100.00	
1"	0.33	1	0.01	99.99	
¾"	0.268	1	0.02	99.98	
½"	0.486	1	0.03	99.97	
⅜"	0.39	2	0.04	99.96	
N°4	0.674	2	0.06	99.94	
Pasa N°4	3678		(99.94)		
N°8	0	0			
N°10	99.7	99.7	21.09	78.85	
N°40	199.1	298.8	63.21	36.73	
N°50	0	298.8	63.21	36.73	
N°100	0	298.8	63.21	36.73	
N°200	104.1	402.9	85.23	14.708	
Pasa 200		97.1	(20.54)		
Total	3680				
Hum. Inic. =	5.84	Peso pasa # 4 Antes 500.0 gr Despues 472.4 gr			
% Grava	0.06				
% Arena	85.23				
% Fino	14.71				

Fuente: Angamarca, Romero

Contenido de humedad

Este suelo tiene un contenido de humedad natural del 6%.

Tabla 4.12. Contenido de humedad del suelo amarillo

N° Tarro	N° Golpes	Peso húmedo	Peso seco	Peso Tarro	% Humedad	% Promedio
18	0	45.2	42.8	5.65	6.5	5.84
19	0	50.1	47.9	5.68	5.2	

Fuente: Angamarca, Romero

Límite líquido

La ranura hecha en la muestra utilizada para el ensayo de límite líquido en la cuchara de casa grande se cerró a los 25 golpes con una humedad del 24.73%.

Tabla 4.13. Límite líquido del suelo amarillo

N° Tarro	N° Golpes	Peso húmedo	Peso Seco	Peso tarro	% Humedad	% Promedio
64	27	18.62	16.53	7.6	23.4	
65	21	18.82	16.55	7.39	24.8	
66	15	20.13	17.40	7.32	27.1	
67	10	19.87	17.05	7.18	28.6	
Golpes				25		24.73

Fuente: Angamarca, Romero

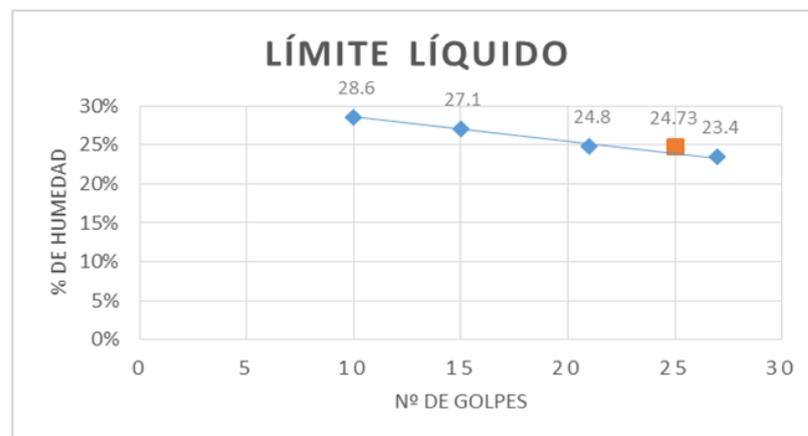


Figura 4.8. Límite líquido del suelo amarillo.

Fuente: Angamarca, Romero

Límite plástico e índice de plasticidad

Los rollos realizados para el ensayo de límite plástico se agrietaron con una humedad promedio de 17.77%.

Tabla 4.14. Límite plástico del suelo amarillo

N° Tarro	N° Golpes	Peso húmedo	Peso seco	Peso tarro	% Humedad	% Promedio
13	0	6.2	6.1	5.56	18.5	
61	0	8.07	7.99	7.53	17.4	
63	0	8.08	8	7.54	17.4	17.77

Fuente: Angamarca, Romero

Dando como resultado un índice de plasticidad igual a 6.96% que se obtiene al aplicar la fórmula Ec.5 del anexo 1.

Clasificación SUCS

Para poder determinar esta clasificación se realizan los ensayos de granulometría, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad los mismos que nos facilitaron los siguientes datos:

Límite líquido=24.73%.

Límite plástico=17.77%.

Índice de plasticidad=6.96%.

Tamiz N° 4: más de la mitad de la fracción gruesa pasa por este tamiz pero más del 50% de los 500 gramos seleccionados para la fracción fina es retenido en el tamiz N° 200, por lo tanto es una arena.

Tamiz N°200: pasa el 20.54% del material por lo tanto no es una arcilla ni un limo.

Según la tabla de clasificación SUCS (ver anexo 1), el límite líquido e índice de plasticidad se determina que este suelo es una arena arcillosa.

Clasificación AASHTO

Para poder determinar esta clasificación se realizan los ensayos de granulometría, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad los mismos que nos facilitaron los siguientes datos:

Límite líquido=24.73%.

Límite plástico=17.77%.

Índice de plasticidad=6.96%.

Tamiz N°200: pasa el 15% del material es decir menor que el 35% por lo tanto es un material granular.

El índice de grupo calculado mediante la fórmula Ec.8 del anexo 1 resulta 0.

Al ubicar el límite líquido e índice de plasticidad en la tabla de clasificación AASHTO (ver anexo 1) de izquierda a derecha resulta que este suelo es clasificado como A-2-4 (0) es decir una arena arcillosa buena.

4.2.2. Comportamiento mecánico

PROCTOR modificado

Luego de haber realizado el respectivo ensayo y los cálculos se obtuvo que la humedad óptima es del 13%, que permite alcanzar una densidad máxima de 2042kg/m³.

EL PROCTOR modificado de laboratorio es realizado bajo condiciones que garanticen el cumplimiento de las exigencias del ensayo, pero lamentablemente en la obra no se puede cumplir con estas exigencias por lo tanto se pide al menos el cumplimiento del 95% PROCTOR estándar que en este caso resulta 1940.13kg/m³.

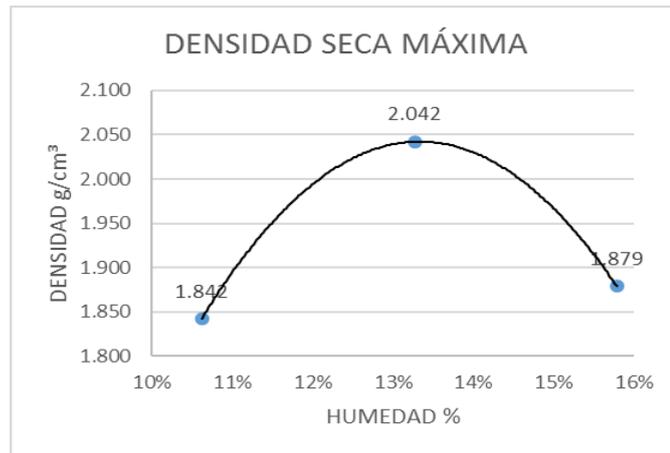


Figura 4.9. Densidad seca máxima del suelo amarillo.

Fuente: Angamarca, Romero

CBR (California Bearing Ratio)

Al realizar el ensayo de CBR con la humedad óptima y diferentes energías de compactación en este caso 10, 25 y 55 golpes se obtuvieron las siguientes densidades secas con su respectiva humedad que se muestra en la tabla 4.15.

Tabla 4.15. Densidades secas y humedades (CBR del suelo amarillo)

Golpes	Densidad seca	Humedad
55	1.950 g/cm ³	14.54%
25	1.886 g/cm ³	15.56%
10	1.850 g/cm ³	16.04%

Fuente: Angamarca, Romero

Los resultados de la penetración y la carga unitaria del CBR (figura 4.10) sobre las muestras que se sumergieron durante tres días (72 horas), se presentan en las tablas 4.16, 4.17, 4.18 con sus respectivos esponjamientos y energías de compactación.

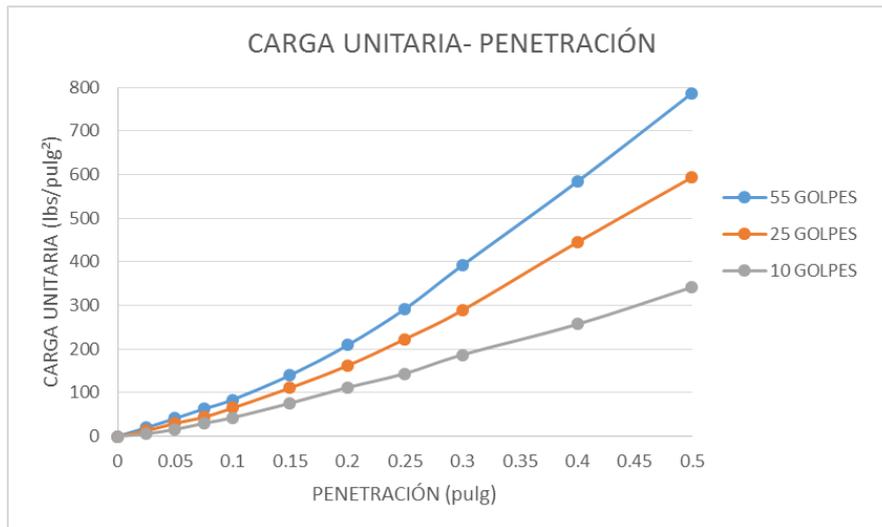


Figura 4.10. Penetración-carga unitaria del suelo amarillo

Fuente: Angamarca, Romero

Se puede observar que los valores de la muestra compactada con 10, 25 y 55 golpes se grafican en forma ascendente dependiendo de su grado de saturación, teniendo en cuenta que mientras más se compacta menos agua absorbe y resiste más carga unitaria como sucede con la muestra compactada de 55 golpes.

Tabla 4.16. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 10 golpes del suelo amarillo)

10 golpes	
Esponjamiento	0.194%
Penetración	Carga
Pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	6
0.050	16
0.075	30
0.100	43
0.150	76
0.200	112
0.250	144
0.300	187
0.400	257
0.500	342

Fuente: Angamarca, Romero

Tabla 4.17. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 25 golpes del suelo amarillo)

25 golpes	
Esponjamiento	0.108%
Penetración	Carga
Pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	13
0.050	30
0.075	44
0.100	65
0.150	111
0.200	162
0.250	223
0.300	289
0.400	445
0.500	594

Fuente: Angamarca, Romero

Tabla 4.18. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 55 golpes del suelo amarillo)

55 golpes	
Esponjamiento	0.043%
Penetración	Carga
Pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	20
0.050	41
0.075	63
0.100	84
0.150	140
0.200	209
0.250	292
0.300	392
0.400	584
0.500	787

Fuente: Angamarca, Romero

De las tablas anteriormente expuestas se calculó el valor de CBR tomando como valor de deformación 0.1 pulgadas para los diferentes moldes con sus respectivas energías de compactación representadas en la tabla 4.19 y figura 4.11 conjuntamente con su densidad seca.

Tabla 4.19. Densidad seca del material saturado (suelo amarillo) -% CBR

Golpes	Densidad seca	%CBR
55	1.950 g/cm ³	1.4%
25	1.886 g/cm ³	2.2%
10	1.850 g/cm ³	2.8%

Fuente: Angamarca, Romero

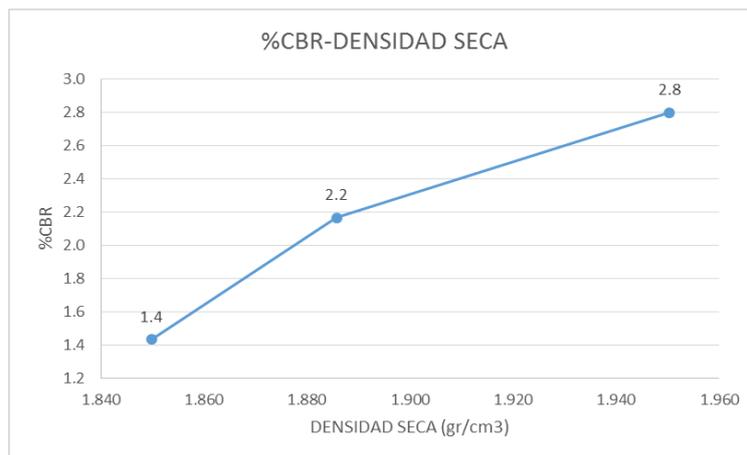


Figura 4.11. Densidad seca del material saturado (suelo amarillo) -% CBR

Fuente: Angamarca, Romero

Compresión simple

Al realizar este ensayo se obtuvo una resistencia a la compresión simple de 0.82 Kg/cm² y una resistencia al cortante del suelo de 0.41 Kg/cm². En la tabla 4.20 y figura 4.12 se muestra la deformación y esfuerzo que soporta la muestra hasta fallar.

Tabla 4.20. Resultados de la compresión simple del suelo amarillo

Deformacion axial			Aplicación de carga			
Delta h	Delta h	Def unitaria	Carga axial		Area corregida	Esfuerzo de compresion
0,001"	mm	%	0,0001"	Kg	cm2	Kg/cm2
0	0	0.00	0	0.00	9.35	0.00
10	0.25	0.23	7	2.06	9.37	0.22
20	0.51	0.46	15	3.21	9.39	0.34
30	0.76	0.69	24	4.50	9.41	0.48
40	1.01	0.92	31	5.51	9.44	0.58
50	1.27	1.15	39	6.66	9.46	0.70
55	1.39	1.27	41	6.95	9.47	0.73
60	1.52	1.380	43	7.23	9.48	0.76
65	1.64	1.495	44	7.38	9.49	0.78
70	1.77	1.610	45	7.52	9.50	0.79
75	1.90	1.725	46	7.67	9.51	0.81
80	2.02	1.840	47	7.81	9.52	0.82
85	2.15	1.955	47	7.81	9.53	0.82
90	2.28	2.070	47	7.81	9.55	0.82
95	2.40	2.185	43	7.23	9.56	0.76
100	2.53	2.300	38	6.52	9.57	0.68

Fuente: Angamarca, Romero

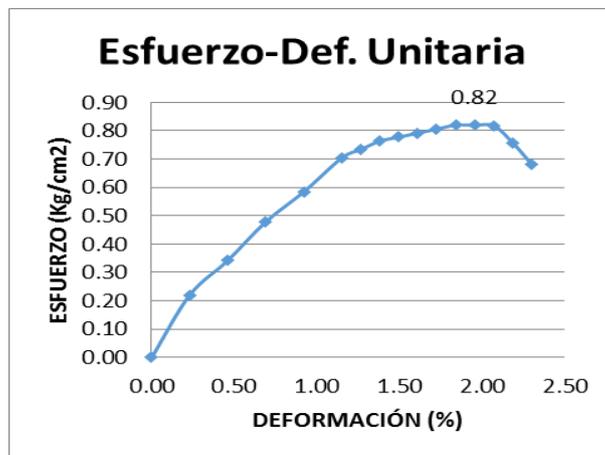


Figura 4.12. Gráfica esfuerzo vs deformación unitaria del suelo amarillo.

Fuente: Angamarca, Romero

Como se puede observar si el esfuerzo provocado en la muestra aumenta la deformación aumenta también, en este caso hasta llegar a un esfuerzo de $q_u=0.82$ Kg/cm², a partir de este valor la muestra fracasa provocando la rotura de la misma.

4.3 Puzolanas

Según la norma ASTM C618 define a las puzolanas como materiales silicios aluminosos, los cuales tiene poco o ningún valor cementante por si solos, pero si están refinadas y con presencia de humedad reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos que poseen propiedades cementantes (Gómez Gonzáles , 2009).

Las puzolanas utilizadas para este trabajo de graduación son de origen natural ya sea mineral como la puzolana de Latacunga perteneciente a la Provincia de Cotopaxi u orgánica como la puzolana de Challuabamba perteneciente a la Provincia del Azuay. Según Mella Stappung (2004), las puzolanas naturales de origen mineral surgen por la transformación de cenizas y polvos originados por las erupciones de volcanes y la meteorización de los mismos, convirtiendolas en rocas volcánicas mas o menos consolidadas, compactas, vítreas o líticas, según su naturaleza.

En su actividad suele tener gran influencia la estructura física porosa producida por el escape de gases, lo que les confiere una gran superficie interna. Por otro lado, las puzolanas naturales de origen orgánico son rocas sedimentarias ricas en sílice hidratada, formadas en depósitos de origen submarino debido a la acumulación de esqueletos y caparazones silícicos de animales o plantas como las algas diatomeas.

4.3.1. Puzolana de Challuabamba

4.3.1.1 Características físicas de la puzolana de Challuabamba

Granulometría

El ensayo de granulometría realizado nos da a conocer que esta puzolana está conformada por un 35.19 % de grano grueso, 49.31% de grano mediano y 15.50% de grano fino mediante los cálculos realizados como se muestra en la tabla 4.21.

Tabla 4.21. Granulometría de la puzolana de Challuabamba

Tamiz	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa	Especificaciones			
3"	0	0	0.00	100.00				
2 ½"	0	0	0.00	100.00				
2"	0	0	0.00	100.00				
1½"	158.4	158	4.53	95.47				
1"	111	269	7.70	92.30				
¾"	247.1	517	14.76	85.24				
½"	205.2	722	20.62	79.38				
⅜"	181.8	904	25.81	74.19				
N°4	328	1232	35.19	64.81				
Pasa N°4	2268.5		(64.81)					
N°8	0	0						
N°10	64.9	64.9	9.76	55.06				
N°40	125.9	190.8	28.69	36.13				
N°50	0	190.8	28.69	36.13				
N°100	0	190.8	28.69	36.13				
N°200	137.2	328.0	49.31	15.501				
Pasa 200		172.0	(25.86)					
Total	3500							
Hum. Inic. =	15.98	Peso pasa # 4						
% Grava	35.19					Antes	500.0	gr
% Arena	49.31					Después	431.1	gr
% Fino	15.50							

Fuente: Angamarca, Romero

Contenido de humedad

La puzolana en su lugar de explotación contiene una humedad natural del 16%.

Tabla 4.22. Contenido de humedad de la puzolana de Challuabamba

N° tarro	N° golpes	Peso húmedo	Peso seco	Peso tarro	% humedad	% promedio
50	0	41.15	36.29	6.52	16.3	15.98
77	0	41.12	36.24	5.03	15.6	

Fuente: Angamarca, Romero

Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

La ranura hecha en la muestra utilizada para el ensayo de límite líquido en la cuchara de casa grande se cerró a los 5 golpes, por lo tanto, es un material **NP** y no se puede realizar el límite plástico ni calcular en índice de plasticidad.

4.3.2. Puzolana de Latacunga

4.3.1.2 Características físicas de la puzolana de Latacunga

Granulometría

El ensayo de granulometría realizado nos da a conocer que esta puzolana está conformada por un 2.46 % de grano grueso, 75.85% de grano mediano y 21.69% de grano fino mediante los cálculos realizados como se muestra en la tabla 4.23.

Tabla 4.23. Granulometría de la puzolana de Latacunga

Tamiz	Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa	Especificaciones
3"	0	0	0.00	100.00	
2 ½"	0	0	0.00	100.00	
2"	0	0	0.00	100.00	
1½"	0	0	0.00	100.00	
1"	0	0	0.00	100.00	
¾"	0	0	0.00	100.00	
½"	11.58	12	0.33	99.67	
3/8"	14.96	27	0.76	99.24	
N°4	59.67	86	2.46	97.54	
Pasa N°4	3413.79		(97.54)		
N°8	0	0			
N°10	36.8	36.8	8.95	88.59	
N°40	113.2	150.0	36.49	61.05	
N°50	0	150.0	36.49	61.05	
N°100	0	150.0	36.49	61.05	
N°200	161.8	311.8	75.85	21.691	
Pasa 200		188.2	(45.78)		
Total	3500				
Hum. Inic. =	24.70	Peso pasa # 4			
% Grava	2.46	Antes	500.0	gr	
% Arena	75.85	Después	401.0	gr	
% Fino	21.69				

Fuente: Angamarca, Romero

Contenido de humedad

La puzolana en su lugar de explotación contiene una humedad natural del 25%.

Tabla 4.24. Contenido de humedad de la puzolana de Latacunga

N° tarro	N° golpes	Peso húmedo	Peso seco	Peso tarro	% humedad	% promedio
58	0	41.46	34.92	7.21	23.6	24.70
59	0	38.68	32.24	7.28	25.8	

Fuente: Angamarca, Romero

Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

La ranura hecha en la muestra utilizada para el ensayo de límite líquido en la cuchara de casa grande se cerró a los 4 golpes, por lo tanto, es un material **NP** y no se puede realizar el límite plástico ni calcular el índice de plasticidad.

4.4 Cal hidratada

La cal viva se produce de la transformación química del carbonato de calcio (piedra caliza – CaCO_3) en óxido de calcio. La cal hidratada se obtiene cuando la cal viva reacciona químicamente con el agua. La cal hidratada (hidróxido de calcio) es la que reacciona con las partículas arcillosas y las transforma permanentemente en un fuerte matriz cementante. La cal más utilizada para el tratamiento de suelos es la cal alta en calcio, que contiene un máximo de 5% de óxido o hidróxido de magnesio. Sin embargo, en algunas ocasiones se utiliza cal dolomítica. La cal dolomítica contiene de 35 a 46% de óxido o hidróxido de magnesio. Con la cal dolomítica se puede lograr la estabilización, aunque la fracción de magnesio reacciona más lentamente que la fracción de calcio (Association, 2004).

4.4.1. Características físicas y químicas de la cal

Lo antecedentes físicos-químicos que se presentan en la tabla 4.25 y figura 4.13 corresponden a datos de fichas técnicas de cales producidas en Ecuador en este caso de las empresas Calizas Huayco S.A y ECUASAND.

Tabla 4.25. Informe técnico de cal hidratada de la empresa Calizas Huayco S.A

DATOS DEL PRODUCTO	
Nombre del Producto	CAL P-24
Nombre Común	Cal apagada, Cal Hidratada.
Fórmula Química	Ca(OH) ₂
Nombre Químico	Hidróxido de Calcio
Registro Sanitario Unificado	No. 5858



COMPOSICIÓN QUÍMICA			
Óxido de Calcio Aprovechable : (CaO) (ASTM C-25)	60,00	%	Mínimo
Hidróxido de Calcio: Ca(OH) ₂ : (CaO x 1.321)	79,00	%	Mínimo

ANÁLISIS TÍPICO		
Oxido de Silicio (SiO ₂)	3,97	%
Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	0,36	%
Oxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	0,23	%
Oxido de Calcio (CaO)	62,4	%
Hidróxido de Calcio (Ca(OH) ₂)	82,37	%
Oxido de Magnesio (MgO)	0,78	%
Oxido de Sodio (Na ₂ O)	0,028	%
Oxido de Potasio (K ₂ O)	0,014	%

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS			
Retenido malla 230 (INEN 244)	6,5	%	Máximo
Densidad Aparente	0,5 - 0,6	gr/cm ₃	Rango.

CARACTERÍSTICAS DEL EMPAQUE	
Envase	Bolsa de papel Kraft, 2 capas 95 gr/m ² .
Tipo	Multipliegos pegados y con válvula.
Capacidad	25 Kg. Aprox.

Fuente: (Huayco, 2017)

Formula Química: Ca(OH)_2
Composición: Hidróxido de Calcio

Características Físico-químicas del producto:

CAL T-30

Descripción

La Cal T-30 es un producto resultante de la calcinación y posterior hidratación del Carbonato de calcio, conocido como Hidróxido de calcio o cal hidratada, posee agregados que mejoran su desempeño en la regulación del PH.

La Cal T-30 proviene de una materia prima con una concentración aproximada del 96% de Carbonato de calcio.

La Cal T-30 viene en presentación de 25 Kg. o 50 Kg. en saco plástico laminado

Aplicaciones

La Cal T-30 se usa en siderurgia, regulación del PH, eliminación de ácidos en la elaboración de azúcar, tratamiento de suelos, tratamiento de agua potable, acuicultura, curtiembre, alimentos, tratamiento de residuos, etc.

Características físicas

Color blanco
Tamaño fino de partícula

Especificaciones técnicas

Óxido de calcio	Mínimo 60%
Densidad aproximada	0,65 gramos/cm ³ .

- La granulometría puede variar en función del requerimiento del cliente.

Figura 4.13. Informe técnico de cal hidratada de la empresa ECUASAND S.A.

Fuente: (Ecusand, 2017)

4.5 Cemento Holcim

Según Holcim (2016), “se define como cemento hidráulico al cemento que fragua y endurece por reacción química con agua y es capaz de hacerlo aún bajo el agua. En cambio, a los cementos portland se los define como un cemento hidráulico producido por pulverización del clínker, que consiste esencialmente de silicatos cálcicos hidráulicos y que usualmente contiene uno o más de los siguientes elementos: sulfato de calcio, hasta 5% de piedra caliza y adiciones de proceso (NTE INEN 151). Las características y requisitos que deben cumplir los cementos portland se establecen en la norma NTE INEN 152.

Así mismo, la NTE INEN 2380 establece los requisitos de desempeño que deben cumplir los cementos hidráulicos y clasifica a los cementos de acuerdo a sus propiedades específicas sin considerar restricciones sobre su composición o la de sus constituyentes. Esta norma establece los siguientes seis tipos de cementos:

- Tipo GU: Para construcción en general
- Tipo HE: Alta resistencia inicial
- Tipo MS: Moderada resistencia a los sulfatos
- Tipo HS: Alta resistencia a los sulfatos
- Tipo MH: Moderado calor de hidratación
- Tipo LH: Bajo calor de hidratación.”

4.5.1. Características físicas y químicas del cemento hidráulico

Según NTE (2011), no se especifica la composición química para el cemento. Sin embargo, el cemento debe ser analizado para propósitos informativos. En lo que se refiere a sus características físicas los cementos hidráulicos deben cumplir con todos los requisitos normalizados que se muestran en la tabla 4.26.

Tabla 4.26. Propiedades físicas normalizadas de los cementos hidráulicos

Tipo de cemento	Norma de ensayo aplicable	GU	HE	MS	HS	MH	LH
Finura	INEN 196	A	A	A	A	A	A
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	INEN 200	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Tiempo de fraguado, método de Vicat ^B	INEN 158						
Inicial, no menos de, minutos		45	45	45	45	45	45
Inicial, no más de, minutos		420	420	420	420	420	420
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	INEN 195	C	C	C	C	C	C
Resistencia a la compresión, MPa, mínimo ^D	INEN 488						
1 día		--	12	--	--	--	--
3 días		13	24	11	11	5	--
7 días		20	--	18	18	11	11
28 días		28	--	--	25	--	21
Calor de hidratación	INEN 199						
7 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo		--	--	--	--	290 (70)	250 (60)
28 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo		--	--	--	--	--	290 (70)
Expansión en barra de mortero	INEN 2 529						
14 días, % máximo		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Expansión por sulfatos (resistencia a sulfatos) ^E	INEN 2 503						
6 meses, % máximo		--	--	0,10	0,05	--	--
1 año, % máximo		--	--	--	0,10	--	--

^A El porcentaje retenido en el tamiz de 45 µm (No. 325) por vía húmeda y el área de la superficie específica determinada en el equipo de permeabilidad al aire en m²/kg, ambos deben ser informados en todos los certificados de resultados requeridos al fabricante.

^B El tiempo de fraguado se refiere al tiempo de fraguado inicial en la NTE INEN 158.

^C Se debe informar el contenido de aire en todos los certificados de resultados de ensayos requeridos al fabricante. El valor obtenido en el mortero no garantiza necesariamente que el contenido de aire en el hormigón sea el mismo.

^D Los cementos pueden ser despachados antes que estén disponibles los datos de ensayo de mayor edad. En tales casos, el valor del ensayo puede dejarse en blanco. Alternativamente, el fabricante puede proveer valores estimativos basados en datos históricos de producción. El informe debe indicar si se proporcionan tales estimaciones.

^E En los ensayos de cemento HS, no se requieren los ensayos a un año cuando el cemento cumple con el límite a 6 meses. Un cemento HS que no cumple con el límite a 6 meses, no debe ser rechazado a menos que tampoco cumpla el límite a un año.

Fuente: (NTE, 2011)

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE MEZCLAS Y PRUEBAS DE CAMPO EN EL RELLENO SANITARIO

5. Determinación de parámetros óptimos.

Para mejorar los lodos deshidratados con otros materiales, se han seleccionado los siguientes parámetros óptimos estudiados anteriormente en el capítulo 3 y 4, como se describe a continuación:

Lodos deshidratados: una vez analizado las características físicas y el comportamiento mecánico del lodo deshidratado depositado en el relleno sanitario de Pichacay se obtuvo resultados incoherentes debido a que este no se comporta como un suelo.

Tierra roja: se seleccionó este material debido a que existe en gran abundancia en el perímetro del relleno sanitario de Pichacay, además, permite realizar las mezclas necesarias para formar una capa de cobertura ideal destinada a tapar los desechos sólidos depositados. Se descartó el uso de la tierra amarilla ya que no existe el material suficiente para realizar las mezclas con los lodos deshidratados.

Puzolana de origen mineral: para realizar las mezclas se utilizó la puzolana de Latacunga con el objetivo de reducir el contenido de humedad del lodo deshidratado y al mismo tiempo formar un material cementante al mezclarse con la cal o el cemento, ya que esta puzolana tiene una gran capacidad de absorción y es un material no plástico.

Cal y cemento: estos materiales se usaron para mejorar el comportamiento mecánico del suelo rojo y al mismo tiempo aumentar la resistencia de las mezclas realizadas con los lodos deshidratados.

Tabla 5.1. Parámetros óptimos de materiales seleccionados para las mezclas

Características físicas	Lodo deshidratado	Tierra roja	Puzolana mineral	Cal	Cemento
Clasificación SUCS	x	CL	x	x	x
Clasificación AASHTO	x	A-6	x	x	x
Humedad natural (%)	117	6.96	25	x	x
L.L (%)	x	28.63	NP	x	x
L.P (%)	x	13.61	NP	x	x
Comportamiento mecánico	Lodo deshidratado	Tierra roja	Puzolana mineral	Cal	Cemento
γ .sec.max (kg/m ³)	x	1953	x	x	x
hum.op (%)	x	16	x	x	x
CBR 55 golpes (%)	x	2.7	x	x	x
CBR 25golpes (%)	x	3.1	x	x	x
CBR 10golpes (%)	x	1.4	x	x	x
Compresión simple (kg/cm ²)	x	0.41	x	x	x
Cortante (kg/cm ²)	x	0.205	x	x	x

Fuente: Angamarca, Romero

Tabla 5.2. Densidades naturales utilizadas para el cálculo de volúmenes de material utilizados para las mezclas

Material	Densidad real	Unidad	Fuente
Densidad lodo deshidratado	1190	kg/m ³	Lab. CONSUEG
Densidad tierra roja	2249	kg/m ³	Lab. CONSUEG
Densidad de la cal	600	kg/m ³	(Huayco, 2017)
Densidad puzolana	2475	kg/m ³	(Delgado Vallejo & Negrete Martínez, 2012)
Densidad del cemento Holcim	2940	kg/m ³	(Orbe Pinchao & Zúñiga Morales, 2013)

Fuente: Angamarca, Romero

5.1 Combinación de materiales para la generación de mezclas

Para cubrir los residuos depositados en el relleno sanitario de Pichacay se utiliza una capa de cobertura de tierra que cumple funciones fundamentales como: evitar la reproducción de moscas, impedir el ingreso y la reproducción de roedores, evitar incendios que se pueden provocar por el gas metano, minimizar los malos olores, permitir el crecimiento de vegetación, entre otros.

La capa de cobertura es de vital importancia en la parte constructiva de un relleno sanitario ya que da forma a la talud y bermas, razón por la cual, a continuación se propone diferentes mezclas que se han formado a partir de combinaciones realizadas en el laboratorio con materiales provenientes del relleno sanitario de Pichacay y otros materiales cementantes, con el objetivo de dar un uso a los lodos deshidratados depositados en dicho relleno, evitando al manejo inadecuado de los mismos.

Para generar estas mezclas se han realizado previamente en el laboratorio varias combinaciones entre los lodos deshidratados, tierra roja, puzolanas, cal y cemento, en diferentes proporciones con el objetivo de escoger las mezclas que facilite un material con un mejor comportamiento mecánico apuntando especialmente a que este nuevo material este conformado por los lodos deshidratados, dándoles una adecuada disposición final. Al mismo tiempo, en el estudio se tomó en cuenta un análisis económico para formar dichas mezclas y que puedan ser costeadas por la EMAC EP a un bajo costo.

Las mezclas seleccionadas se efectuaron siguiendo teorías de estabilización con cal y cemento en donde según DAS (2015), la estabilización con cal permite modificar el suelo, acelerar la construcción, mejorar la fuerza y su durabilidad utilizando una cantidad del 5 al 10 % de cal. Al añadir la cal a los suelos arcillosos suceden reacciones químicas puzolánicas en donde las partículas de arcilla tienden a agruparse para formar partículas más grandes, con lo cual disminuye el límite líquido, aumenta el límite plástico, disminuye el índice de plasticidad, aumenta el límite de contracción, aumenta la manejabilidad y mejoran las propiedades de resistencia y deformación de un suelo.

La reacción puzolánica entre el suelo y la cal comprende una reacción entre la cal, la sílice y la alúmina de la tierra para formar el material de cementación. Una de estas reacciones es $\text{Ca(OH)}_2 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CSH}$ (Arcilla de Sílice) en donde $\text{C}=\text{CaO}$, $\text{S}=\text{SiO}_2$, $\text{H}=\text{H}_2\text{O}$. La reacción puzolánica puede continuar por largo tiempo. Por otro lado, el cemento está siendo utilizado cada vez más como un material para la estabilización de suelos arenosos y arcillosos, obteniéndose mejores efectos que la cal especialmente en suelos arcillosos con un límite líquido menor al 45 a 50 y el índice de plasticidad es menor de aproximadamente 25. En la siguiente tabla se describe algunos suelos con la cantidad de cemento efectivo para su estabilización.

Tabla 5.3. Requerimientos de cemento para una estabilización efectiva

Suelo bajo el sistema unificado de clasificación	Porcentaje de cemento por volumen
GP, SP, SW	6-10
CL, ML, MH	8-12
CL, CH	10-14

Fuente: (DAS, 2015)

Holcim (2016) ha diseñado un producto cementante desarrollado específicamente para mejorar y estabilizar la mayor parte de los suelos disponibles con aplicaciones destinadas a la construcción vial, estabilización de terraplenes, protección de taludes de canales, reservorios, laderas, parqueadero provisional de vehículos livianos, campamentos, eliminación de áreas con fango en las construcciones, etc. En la siguiente tabla se expone el requerimiento típico de cemento según el tipo de suelo.

Tabla 5.4. Requerimientos típicos de cemento según el tipo de suelo

AASHTO Clasificación de suelo.	ASTM Clasificación de suelo.	Rangos típicos del peso de cemento requerido, por %	Contenido típico de cemento para test humedad-densidad (ASTM D558) % por peso.	Contenido típico de cemento para test durabilidad (ASTM D559 y D506)% por peso.
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM	3-5	5	3-5-7
A-1-b	GM, GP, SM, SP	5-8	6	4-6-8
A-2	GM, GC, SM, SC	5-9	7	5-7-9
A-3	SP	7-11	9	7-9-11
A-4	CL, ML	7-12	10	8-10-12
A-5	ML, MH, CH	8-13	10	8-10-12
A-6	CL, CH	9-15	12	10-12-14
A-7	MH, CH	10-16	13	11-13-15

Fuente: (Holcim, 2016)

5.1.1. Descripción general de las mezclas analizadas

Mezcla 1

Para realizar esta mezcla se utilizó el lodo deshidratado, la tierra roja, la puzolana de Latacunga y la cal. Se redujo el contenido de humedad del lodo deshidratado en un 50% al mezclarlo con la puzolana de Latacunga en una relación 3:2 lodo-puzolana, así obteniendo un material con un porcentaje de humedad menor al 70% considerándole ya como un residuo sólido. Luego a la tierra roja en una misma porción en peso que el lodo, se le mejoró utilizando la cal en un 10% en peso y finalmente se mezcló todos estos materiales para dar origen a la mezcla 1 (ver numeral 5.1.1.1).

Mezcla 2

Para realizar esta mezcla se utilizó el lodo deshidratado, la tierra roja, la puzolana de Latacunga y el cemento, en donde al lodo deshidratado se le redujo su contenido de humedad en un 50% al mezclarlo con la puzolana de Latacunga en una relación 3:2 lodo-puzolana así obteniendo un material con un porcentaje de humedad menor al 70% considerándole ya como un residuo sólido; luego a la tierra roja en una misma porción en peso que el lodo, se le mejoró utilizando el cemento en un 10% en peso ya que es un valor considerable según las tablas 5.3 y 5.4 analizadas anteriormente; finalmente se mezcló todos estos materiales formando la mezcla 2 (ver numeral 5.1.1.2).

Mezcla 3

Para realizar esta mezcla se utilizó la tierra roja y el lodo deshidratado en una relación 3:2 tierra-lodo agregando a esta finalmente la cal en un 10% en peso con relación a la tierra roja (ver numeral 5.1.1.3).

Mezcla 4

Para realizar esta mezcla se utilizó la tierra roja y el lodo deshidratado en una relación 3:2 tierra-lodo agregando a esta finalmente el cemento en un 10% en peso con relación a la tierra roja (ver numeral 5.1.1.4).

Mezcla 5

Para realizar esta mezcla se utilizó el lodo deshidratado, la tierra roja y la puzolana de Latacunga, en donde se redujo la humedad del lodo deshidratado a un 50 % utilizando la puzolana de Latacunga en una relación 3:2 lodo-puzolana, añadiéndole finalmente a esta mezcla la tierra roja en una misma proporcionalidad en peso que el lodo para formar una mezcla estable (ver numeral 5.1.1.5).

5.1.1.1 Análisis de laboratorio de la mezcla 1

PROCTOR estándar

Luego de haber realizado el respectivo ensayo y los cálculos se obtuvo que la humedad óptima de la capa de cobertura 1 es del 21%, que permite alcanzar una densidad máxima de 1.638kg/m^3 .

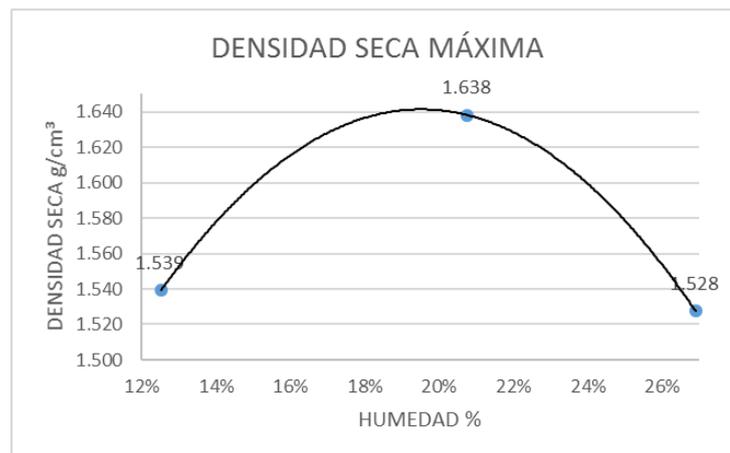


Figura 5.1. Densidad seca máxima de la mezcla 1.

Fuente: Angamarca, Romero

CBR (California Bearing Ratio)

Al realizar el ensayo de CBR con la humedad óptima y diferentes energías de compactación en este caso 10, 25 y 55 golpes se obtuvieron las siguientes densidades secas con su respectiva humedad que se muestra en la tabla 5.5.

Tabla 5.5. Densidades secas del material saturado y humedades (CBR de la mezcla 1)

Golpes	Densidad seca	Humedad
55	1.557 g/cm ³	25.41%
25	1.474 g/cm ³	26.24%
10	1.344 g/cm ³	27.23%

Fuente: Angamarca, Romero

Los resultados de la penetración y la carga unitaria del CBR (figura 5.2) sobre las muestras que se sumergieron durante tres días (72 horas), se presentan en las tablas 5.6, 5.7 y 5.8 con sus respectivos esponjamientos y energías de compactación.

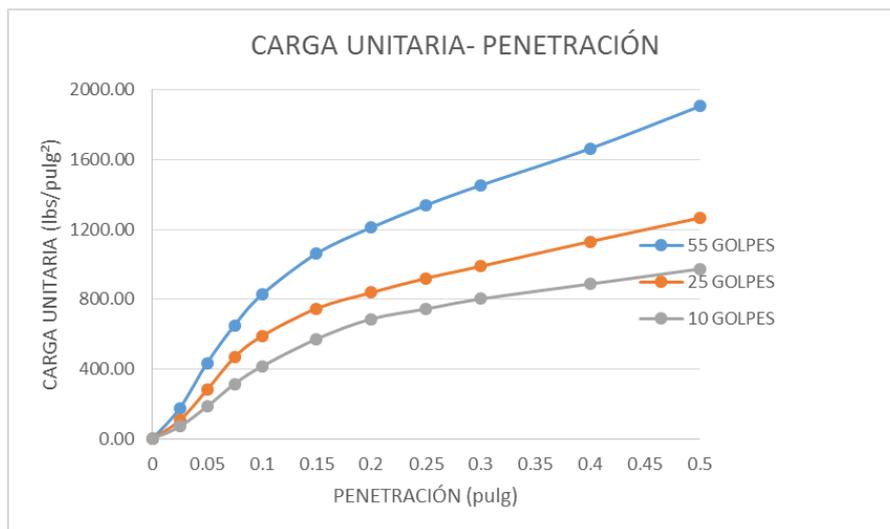


Figura 5.2. Penetración – carga unitaria de la mezcla 1.

Fuente: Angamarca, Romero

Se puede observar que los valores de la muestra compactada con 10, 25 y 55 golpes se grafican en forma ascendente dependiendo de su grado de saturación, teniendo en cuenta que mientras más se compacta menos agua absorbe y resiste más carga unitaria como sucede con la muestra compactada de 55 golpes. También se puede verificar que los valores de la muestra compactada con 10 golpes tienen una mayor dispersión en los valores, esto se debe a que, en el proceso de saturación, el material absorbió una mayor cantidad de agua dando como resultado valores bajos de carga unitaria en la penetración realizada.

Tabla 5.6. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 10 golpes de la mezcla 1)

10 golpes	
Esponjamiento	0.43%
Penetración	Carga
pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	71.65
0.05	186.29
0.075	315.26
0.1	415.57
0.15	573.2
0.2	687.84
0.25	745.16
0.3	802.48
0.4	888.46
0.5	283.92

Fuente: Angamarca, Romero

Tabla 5.7. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 25 golpes de la mezcla 1)

25 golpes	
Esponjamiento	0.50%
Penetración	Carga
pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	10
0.05	282
0.075	468
0.1	589
0.15	748
0.2	839
0.25	921
0.3	990
0.4	1132
0.5	1267

Fuente: Angamarca, Romero

Tabla 5.8. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 55 golpes de la mezcla 1)

55 golpes	
Esponjamiento	0%
Penetración	Carga
pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	176
0.05	436
0.075	651
0.1	827
0.15	1063
0.2	121
0.25	338
0.3	1454
0.4	166
0.5	1907

Fuente: Angamarca, Romero

De las tablas anteriormente expuestas, se calculó el valor de CBR tomando como valor de deformación 0.1 pulgadas para los diferentes moldes con sus respectivas energías de compactación que se representa en la tabla 5.9 y figura 5.3 conjuntamente con su densidad seca.

Tabla 5.9. Densidad seca del material saturado (mezcla 1) -%CBR

Golpes	Densidad seca	%CBR
55	1.557 g/cm ³	27.6 %
25	1.474 g/cm ³	19.6 %
10	1.344 g/cm ³	13.9 %

Fuente: Angamarca, Romero

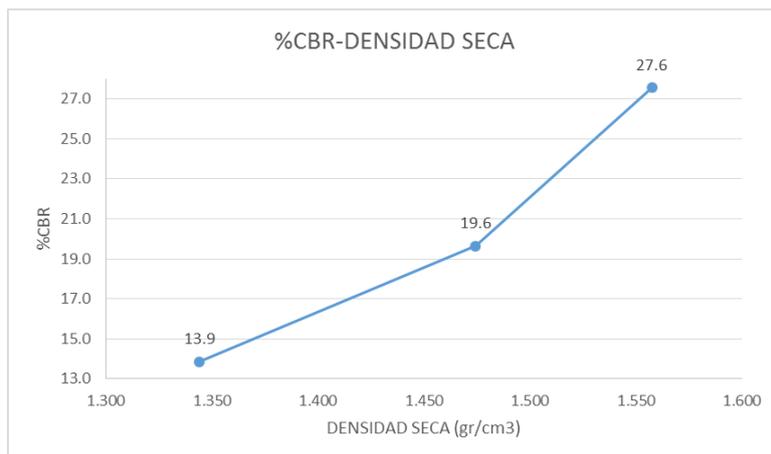


Figura 5.3. Densidad seca del material saturado (mezcla1) - % CBR.

Fuente: Angamarca, Romero

En la gráfica 5.3 se puede observar que los valores de CBR han aumentado con relación a los CBR de la tierra roja que funciona como capa de cobertura actual en el relleno sanitario de Pichacay, esto se debe a que en la mezcla 1 de la cal con la puzolana forma un material cementante al hidratarse directamente con la humedad del lodo.

Compresión simple

Al realizar este ensayo se obtuvo una resistencia a la compresión simple de 0.89 Kg/cm² y una resistencia al cortante del suelo de 0.445 Kg/cm². En la tabla 5.10 y figura 5.4 se muestra la deformación y esfuerzo que soporta la muestra hasta fallar.

Tabla 5.10. Resultados de la compresión simple de la mezcla 1.

Deformación axial			Aplicación de carga			
Delta h	Delta h	Def unitaria	Carga axial		Area corregida	Esfuerzo de compresión
0,001"	mm	%	0,0001"	Kg	cm2	Kg/cm2
0	0	0.00	0	0.00	9.35	0.00
10	0.25	0.23	4	1.63	9.37	0.17
20	0.51	0.46	8	2.21	9.39	0.23
30	0.76	0.69	13	2.92	9.41	0.31
40	1.01	0.92	19	3.79	9.44	0.40
50	1.27	1.15	27	4.94	9.46	0.52
60	1.52	1.38	35	6.08	9.48	0.64
70	1.77	1.610	42	7.09	9.50	0.75
80	2.02	1.840	47	7.81	9.52	0.82
85	2.15	1.955	49	8.10	9.53	0.85
90	2.28	2.070	51	8.38	9.55	0.88
95	2.40	2.185	52	8.53	9.56	0.89
100	2.53	2.300	52	8.53	9.57	0.89
105	2.66	2.415	52	8.53	9.58	0.89
110	2.78	2.530	48	7.95	9.59	0.83
115	2.91	2.645	45	7.52	9.60	0.78

Fuente: Angamarca, Romero

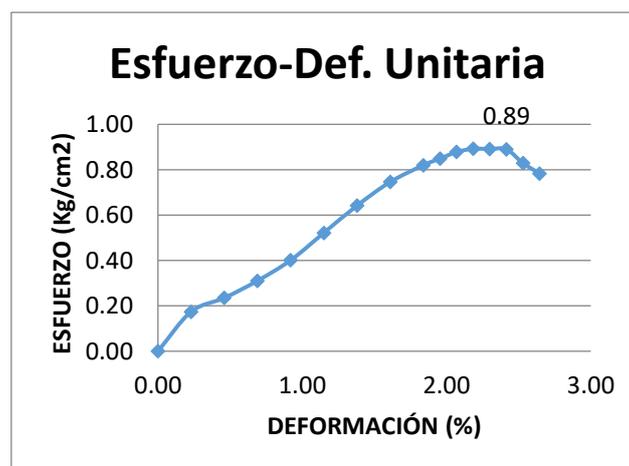


Figura 5.4. Grafica esfuerzo vs deformación unitaria de la mezcla 1.

Fuente: Angamarca, Romero

Como se puede observar, si el esfuerzo provocado en la muestra aumenta la deformación aumenta también, en este caso hasta llegar a un esfuerzo de $q_u=0.89$ Kg/cm², a partir de este valor la muestra fracasa provocando la rotura de la misma.

Tabla 5.11. Análisis económico de la mezcla 1 para 1m³ de lodo deshidratado

Rubro	Unidad	Precio unitario	Cantidad	Valor total
Excavación mecánica, cargado de material y transporte al lugar de mezclado de la tierra roja.	m3	6.6	0.5	3.5
Puzolana de Latacunga (incluido transporte)	m3	12.9	0.3	4.1
Cal	saco	3.9	4.8	18.4
Lodo deshidratado	m3	0.0	1.0	0.0
Subtotal				\$ 26.02
Iva (14%)				3.64
Total				\$ 29.66

Fuente: Angamarca, Romero

5.1.1.2 Análisis de laboratorio de la mezcla 2

PROCTOR estándar

Luego de haber realizado el respectivo ensayo y los cálculos se obtuvo que la humedad óptima de la mezcla 2 es del 25 %, que permite alcanzar una densidad máxima de 1.349 kg/m³.

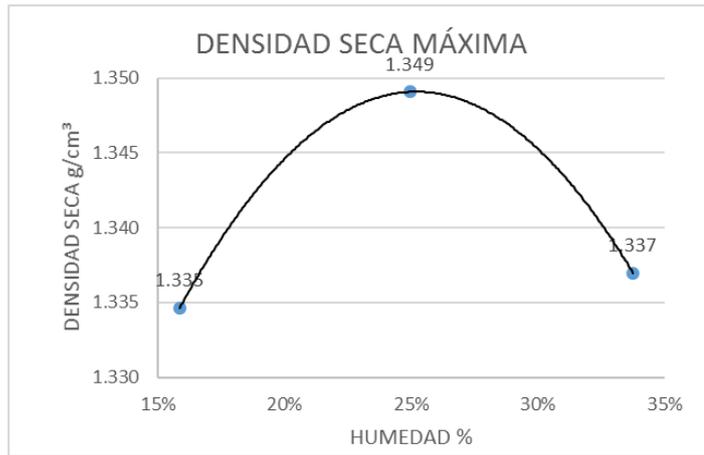


Figura 5.5. Densidad seca máxima de la mezcla 2.

Fuente: Angamarca, Romero

CBR (California Bearing Ratio)

Al realizar el ensayo de CBR con la humedad óptima y diferentes energías de compactación en este caso 10, 25 y 55 golpes se obtuvieron las siguientes densidades secas con su respectiva humedad que se muestra en la tabla 5.12.

Tabla 5.12. Densidades secas del material saturado y humedades (CBR de la mezcla 2)

Golpes	Densidad seca	Humedad
55	1.470 g/cm ³	25.37%
25	1.363 g/cm ³	30.12%
10	1.220 g/cm ³	37.99%

Fuente: Angamarca, Romero

Los resultados de la penetración y la carga unitaria del CBR (figura 5.6) sobre las muestras que se sumergieron durante tres días (72 horas), se presentan en las tablas 5.13, 5.14 y 5.15 con sus respectivos esponjamientos y energías de compactación.

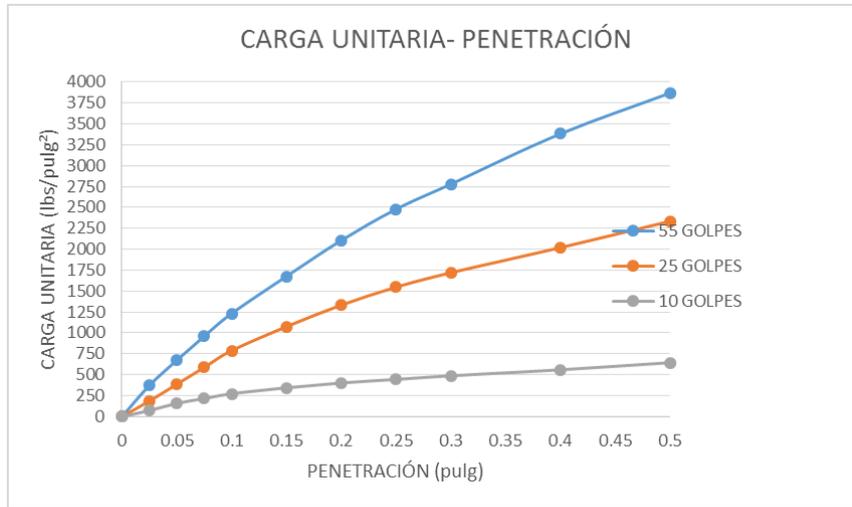


Figura 5.6. Penetración – carga unitaria de la mezcla 2.

Fuente: Angamarca, Romero

Se puede observar que los valores de la muestra compactada con 10, 25 y 55 golpes se grafican en forma ascendente dependiendo de su grado de saturación, teniendo en cuenta que mientras más se compacta menos agua absorbe y resiste más carga unitaria, en este caso la muestra compactada de 55 golpes presenta una mejor estabilidad. La muestra compactada con 10 golpes tiene una mayor dispersión en los valores ya que el material absorbió una mayor cantidad de agua dando como resultado valores bajos de carga unitaria en la penetración realizada.

Tabla 5.13. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 10 golpes de la mezcla 2)

10 golpes	
Esponjamiento	0.45%
Penetración	Carga
pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	71.65
0.05	157.63
0.075	214.95
0.1	272.27
0.15	343.92
0.2	401.24
0.25	444.23
0.3	487.22
0.4	558.87
0.5	644.85

Fuente: Angamarca, Romero

Tabla 5.14. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 25 golpes de la mezcla 2)

25 golpes	
Esponjamiento	0.43%
Penetración	Carga
pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	186.29
0.05	386.91
0.075	587.53
0.1	788.15
0.15	1074.8
0.2	1332.7
0.25	1547.6
0.3	1719.6
0.4	2020.5
0.5	2335.8

Fuente: Angamarca, Romero

Tabla 5.15. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 55 golpes de la mezcla 2)

55 golpes	
Esponjamiento	0.24%
Penetración	Carga
pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	372.58
0.05	673.51
0.075	960.11
0.1	1232.38
0.15	1676.61
0.2	2106.51
0.25	2479.09
0.3	2780.02
0.4	3381.88
0.5	3869.1

Fuente: Angamarca, Romero

De las tablas anteriormente expuestas calculamos el valor de CBR tomando como valor de deformación 0.1 pulgadas para los diferentes moldes con sus respectivas energías de compactación que se representa en la tabla 5.16 y figura 5.7 conjuntamente con su densidad seca.

Tabla 5.16. Densidad seca del material saturado (mezcla 2) -%CBR

Golpes	Densidad seca	%CBR
55	1.470 g/cm ³	41.1%
25	1.363 g/cm ³	26.3%
10	1.220 g/cm ³	9.1%

Fuente: Angamarca, Romero

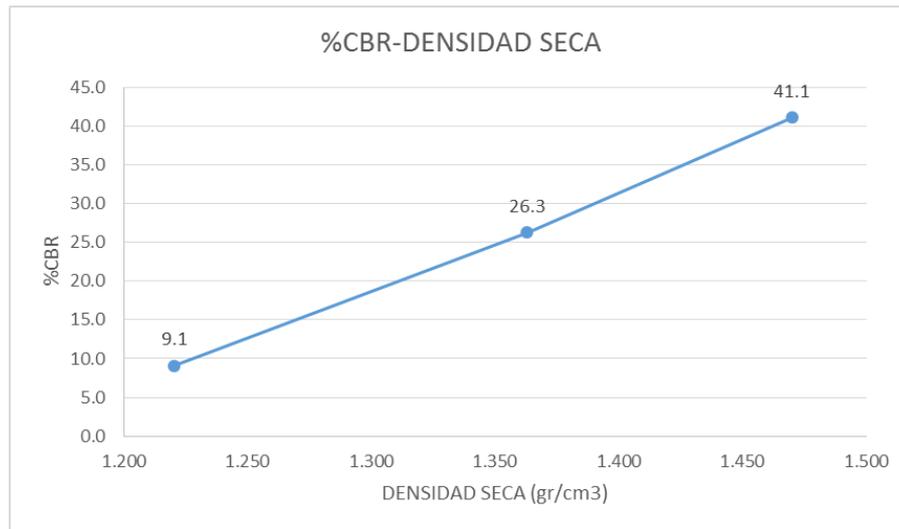


Figura 5.7. Densidad seca del material saturado (mezcla 2) - % CBR.

Fuente: Angamarca, Romero

En la figura 5.7 se puede observar que los valores de CBR ha aumentado con relación a los CBR de la tierra roja que funciona como capa de cobertura actual en el relleno sanitario de Pichacay, esto se debe a que en la mezcla 2 el cemento reacciona con la puzolana y la humedad del lodo haciendo que esta mezcla tienda a endurecerse y mejorar sus características mecánicas según el pasar del tiempo.

Compresión simple

Al realizar este ensayo se obtuvo una resistencia a la compresión simple de 0.41 Kg/cm² y una resistencia al cortante del suelo de 0.205 Kg/cm². En la tabla 5.17 y figura 5.8 se muestra la deformación y esfuerzo que soporta la muestra hasta fallar.

Tabla 5.17. Resultados de la compresión simple de la mezcla 2.

Deformacion axial			Aplicación de carga			
Delta h	Delta h	Def unitaria	Carga axial		Area corregida	Esfuerzo de compresión
0,001"	mm	%	0,0001"	Kg	cm2	Kg/cm2
0	0	0.00	0	0.00	9.35	0.00
10	0.25	0.23	2	1.34	9.37	0.14
20	0.51	0.46	4	1.63	9.39	0.17
25	0.63	0.58	6	1.92	9.40	0.20
30	0.76	0.69	8	2.21	9.41	0.23
35	0.89	0.81	9	2.35	9.42	0.25
40	1.01	0.92	11	2.64	9.44	0.28
45	1.14	1.035	13	2.92	9.45	0.31
50	1.27	1.150	14	3.07	9.46	0.32
55	1.39	1.265	16	3.35	9.47	0.35
60	1.52	1.380	17	3.50	9.48	0.37
65	1.64	1.495	18	3.64	9.49	0.38
70	1.77	1.610	20	3.93	9.50	0.41
75	1.90	1.725	20	3.93	9.51	0.41
80	2.02	1.840	20	3.93	9.52	0.41
85	2.15	1.955	18	3.64	9.53	0.38

Fuente: Angamarca, Romero

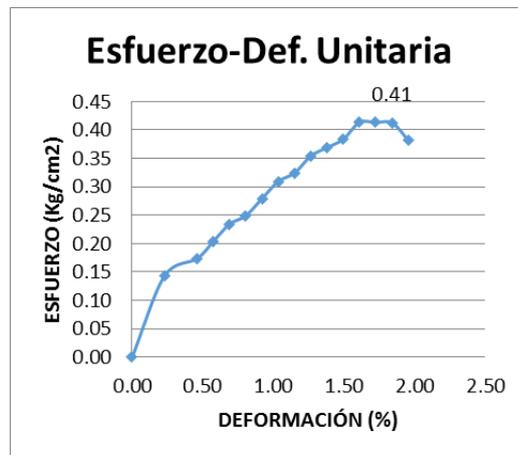


Figura 5.8. Grafica esfuerzo vs deformación unitaria de la mezcla 2.

Fuente: Angamarca, Romero

Como se puede observar si el esfuerzo provocado en la muestra aumenta la deformación aumenta también, en este caso hasta llegar a un esfuerzo de $q_u=0.41$ Kg/cm², a partir de este valor la muestra fracasa provocando la rotura de la misma.

Tabla 5.18. Análisis económico de la mezcla 2 para 1 m³ de lodo deshidratado

Rubro	Unidad	Precio unitario	Cantidad	Valor total	
Excavación mecánica, cargado de material y transporte al lugar de mezclado de la tierra roja.	m3	6.6	0.5	3.5	
Puzolana de Latacunga (incluido transporte)	m3	12.9	0.3	4.1	
Cemento	saco	6.9	2.4	16.4	
Lodo deshidratado	m3	0.0	1.0	0.0	
				Subtotal \$	23.98
				Iva (14%)	3.36
				Total \$	27.33

Fuente: Angamarca, Romero

5.1.1.3 Análisis de laboratorio de la mezcla 3

PROCTOR estándar

Luego de haber realizado el respectivo ensayo y los cálculos se obtuvo que la humedad óptima de la mezcla 3 es del 25 %, que permite alcanzar una densidad máxima de 1.581kg/m^3 .

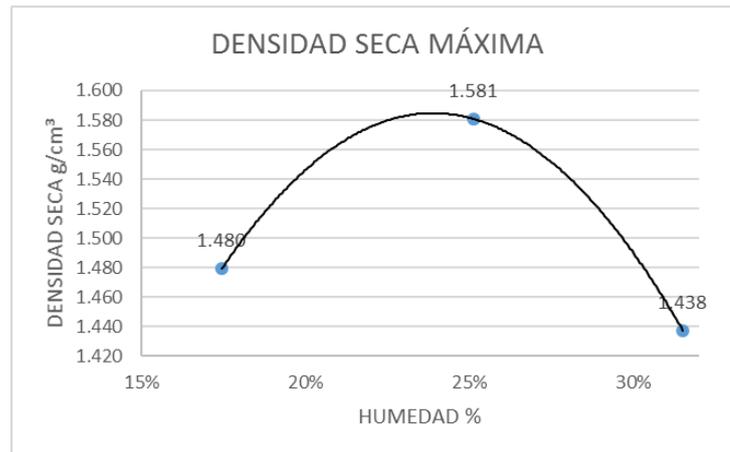


Figura 5.9. Densidad seca máxima de la mezcla 3.

Fuente: Angamarca, Romero

CBR (California Bearing Ratio)

Al realizar el ensayo de CBR con la humedad óptima y diferentes energías de compactación en este caso 10, 25 y 55 golpes se obtuvieron las siguientes densidades secas con su respectiva humedad que se muestra en la tabla 5.19.

Tabla 5.19. Densidades secas del material saturado y humedades (CBR de la mezcla 3)

Golpes	Densidad seca	Humedad
55	1.472 g/cm^3	32.17%
25	1.462 g/cm^3	32.59%
10	1.375 g/cm^3	33.25%

Fuente: Angamarca, Romero

Los resultados de la penetración y la carga unitaria del CBR (figura 5.10) sobre las muestras que se sumergieron durante tres días (72 horas), se presentan en las tablas 5.20, 5.21 y 5.22 con sus respectivos esponjamientos y energías de compactación.

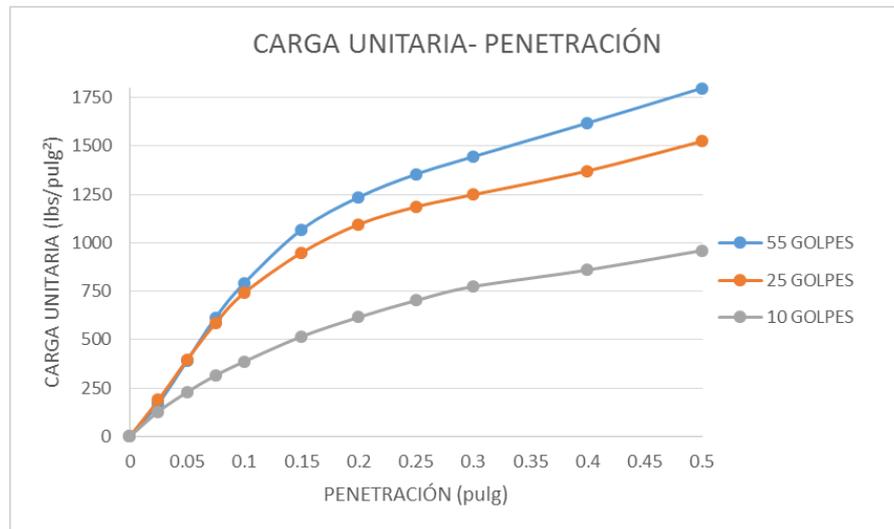


Figura 5.10. Penetración vs carga unitaria de la mezcla 3.

Fuente: Angamarca, Romero

Como se puede observar los valores de la muestra compactada con 10, 25 y 55 golpes se grafican en forma ascendente dependiendo de su grado de saturación, teniendo en cuenta que mientras más se compacta menos agua absorbe y resiste más carga unitaria, en este caso la muestra compactada de 55 golpes presenta una mejor estabilidad. La muestra compactada con 10 golpes dio como resultado valores bajos de carga unitaria en la penetración realizada debido a que tuvo una mayor absorbió de agua.

Tabla 5.20. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 10 golpes de la mezcla 3)

10 golpes	
Esponjamiento	0.34%
Penetración	Carga
Pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	128.97
0.05	229.28
0.075	315.26
0.1	386.91
0.15	515.88
0.2	616.19
0.25	702.17
0.3	773.82
0.4	859.8
0.5	960.11

Fuente: Angamarca, Romero

Tabla 5.21. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 25 golpes de la mezcla 3)

25 golpes	
Esponjamiento	0.47%
Penetración	Carga
Pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	189
0.05	396
0.075	585
0.1	741
0.15	948
0.2	1095
0.25	1185
0.3	1248
0.4	1371
0.5	1524

Fuente: Angamarca, Romero

Tabla 5.22. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 55 golpes de la mezcla 3)

55 golpes	
Esponjamiento	0.77%
Penetración	Carga
Pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	170.1
0.05	390.9
0.075	613.8
0.1	791.1
0.15	1067.1
0.2	1235.1
0.25	1353
0.3	1443.9
0.4	1617.9
0.5	1797.9

Fuente: Angamarca, Romero

De las tablas anteriormente expuestas calculamos el valor de CBR tomando como valor de deformación 0.1 pulgadas para los diferentes moldes con sus respectivas energías de compactación que se representa en la tabla 5.23 y figura 5.11 conjuntamente con su densidad seca.

Tabla 5.23. Densidad seca del material saturado (mezcla 3)-%CBR

Golpes	Densidad seca	%CBR
55	1.472 g/cm ³	26.37%
25	1.462 g/cm ³	24.7%
10	1.375 g/cm ³	12.9%

Fuente: Angamarca, Romero

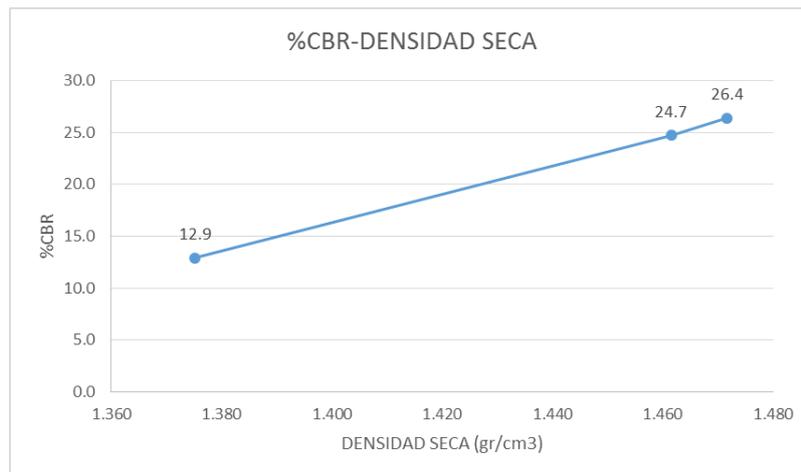


Figura 5.11. Densidad seca del material saturado (mezcla3) - % CBR.

Fuente: Angamarca, Romero

En la gráfica 5.11 se puede observar que los valores de CBR han aumentado con relación a los CBR de la tierra roja que funciona como capa de cobertura actual en el relleno sanitario de Pichacay, esto se debe a que en la mezcla 3, la cal tiene una composición química que permite mejor a las arcillas y absorber la humedad del lodo deshidratado.

Compresión simple

Al realizar este ensayo se obtuvo una resistencia a la compresión simple de 1.16 Kg/cm² y una resistencia al cortante del suelo de 0.58 Kg/cm². En la tabla 5.24 y figura 5.12 se muestra la deformación y esfuerzo que soporta la muestra hasta fallar.

Tabla 5.24. Resultados de la compresión simple de la mezcla 3

Deformacion axial			Aplicación de carga			
Delta h	Delta h	Def unitaria	Carga axial		Area corregida	Esfuerzo de compresión
0,001"	mm	%	0,0001"	Kg	cm2	Kg/cm2
0	0	0.00	0	0.00	9.35	0.00
5	0.13	0.12	6	1.92	9.36	0.20
10	0.25	0.23	10	2.49	9.37	0.27
15	0.38	0.35	19	3.79	9.38	0.40
20	0.51	0.46	26	4.79	9.39	0.51
25	0.63	0.58	32	5.65	9.40	0.60
30	0.76	0.69	40	6.80	9.41	0.72
35	0.89	0.805	48	7.95	9.42	0.84
40	1.01	0.920	54	8.81	9.44	0.93
45	1.14	1.035	59	9.53	9.45	1.01
50	1.27	1.150	63	10.11	9.46	1.07
55	1.39	1.265	69	10.97	9.47	1.16
60	1.52	1.380	69	10.97	9.48	1.16
65	1.64	1.495	69	10.97	9.49	1.16
70	1.77	1.610	62	9.96	9.50	1.05
75	1.90	1.725	58	9.39	9.51	0.99

Fuente: Angamarca, Romero

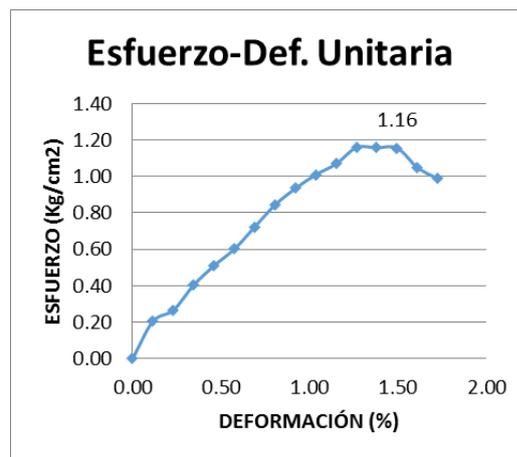


Figura 5.12. Grafica esfuerzo vs deformación unitaria de la mezcla 3.

Fuente: Angamarca, Romero

Como se puede observar si el esfuerzo provocado en la muestra aumenta la deformación aumenta también, en este caso hasta llegar a un esfuerzo de $q_u=1.16$ Kg/cm², a partir de este valor la muestra fracasa provocando la rotura de la misma.

Tabla 5.25. Análisis económico de la mezcla 3 para un metro cúbico de lodo deshidratado

Rubro	Unidad	Precio unitario	Cantidad	Valor total
Excavación mecánica, cargado de material y transporte al lugar de mezclado de la tierra roja.	m3	6.6	0.8	5.2
Cal	Saco	3.9	7.1	27.6
Lodo deshidratado	m3	0.0	1.0	0.0
			Subtotal \$	32.83
			Iva (14%)	4.60
			Total \$	37.43

Fuente: Angamarca, Romero

5.1.1.4 Análisis de laboratorio de la mezcla 4

PROCTOR estándar

Luego de haber realizado el respectivo ensayo y los cálculos se obtuvo que la humedad óptima de la mezcla 4 es del 18 %, que permite alcanzar una densidad máxima de 1.692 kg/m^3 .

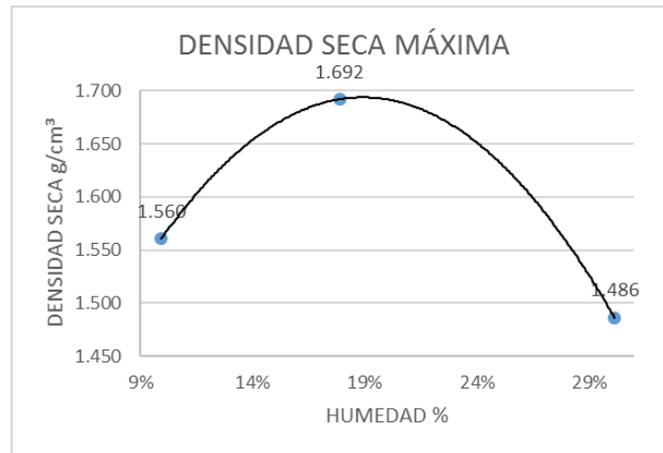


Figura 5.13. Densidad seca máxima de la mezcla 4.

Fuente: Angamarca, Romero

CBR (California Bearing Ratio)

Al realizar el ensayo de CBR con la humedad óptima y diferentes energías de compactación en este caso 10, 25 y 55 golpes se obtuvieron las siguientes densidades secas con su respectiva humedad que se muestra en la tabla 5.26.

Tabla 5.26. Densidades secas del material saturado y humedades (CBR de la mezcla 4)

Golpes	Densidad seca	Humedad
55	1.678 g/cm ³	21.24%
25	1.655 g/cm ³	21.68%
10	1.510 g/cm ³	22.67%

Fuente: Angamarca, Romero

Los resultados de la penetración y la carga unitaria del CBR (figura 5.14) sobre las muestras que se sumergieron durante tres días (72 horas), se presentan en las tablas 5.27, 5.28 y 5.29 con sus respectivos esponjamientos y energías de compactación.

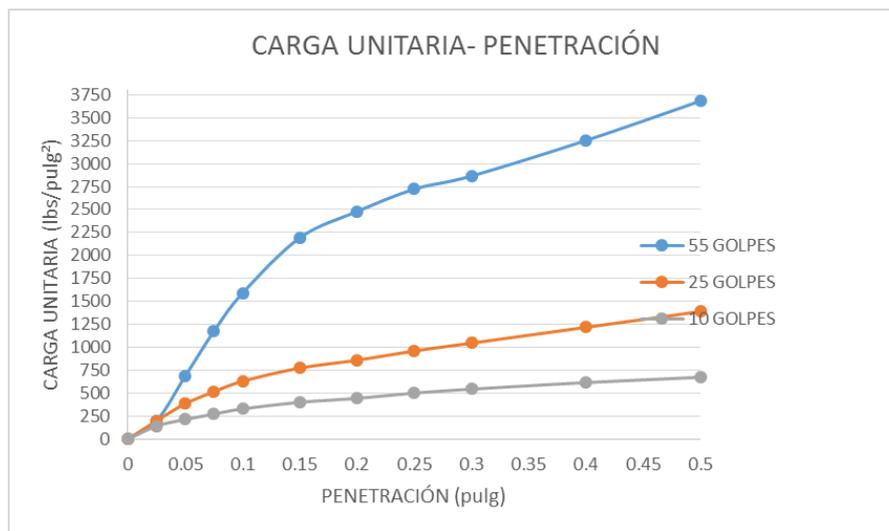


Figura 5.14. Penetración vs carga unitaria de la mezcla 4.

Fuente: Angamarca, Romero

Como se puede observar los valores de la muestra compactada con 10, 25 y 55 golpes se grafican en forma ascendente dependiendo de su grado de saturación, teniendo en cuenta que mientras más se compacta menos agua absorbe y resiste más carga unitaria, en este caso la muestra compactada de 10 y 25 golpes dio como resultado valores bajos de carga unitaria en la penetración realizada debido a que tuvo una mayor absorbió de agua por lo tanto la muestra compactada con 55 golpes presenta la mejor estabilidad de suelo.

Tabla 5.27. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 10 golpes de la mezcla 4)

10 golpes	
Esponjamiento	0.75%
Penetración	Carga
pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	143.3
0.05	214.95
0.075	272.27
0.1	329.59
0.15	401.24
0.2	444.23
0.25	501.55
0.3	544.54
0.4	616.19
0.5	673.51

Fuente: Angamarca, Romero

Tabla 5.28. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 25 golpes de la mezcla 4)

25 golpes	
Esponjamiento	0.75%
Penetración	Carga
pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	200.62
0.05	386.91
0.075	515.88
0.1	630.52
0.15	773.82
0.2	859.8
0.25	960.11
0.3	1046.1
0.4	1218.1
0.5	1390

Fuente: Angamarca, Romero

Tabla 5.29. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 55 golpes de la mezcla 4)

55 golpes	
Esponjamiento	0.50%
Penetración	Carga
pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	200.62
0.05	687.84
0.075	1175.06
0.1	1590.63
0.15	2192.49
0.2	2479.09
0.25	2722.7
0.3	2866
0.4	3252.91
0.5	3682.81

Fuente: Angamarca, Romero

De las tablas anteriormente expuestas calculamos el valor de CBR tomando como valor de deformación 0.1 pulgadas para los diferentes moldes con sus respectivas energías de compactación que se representa en la tabla 5.30 y figura 5.15 conjuntamente con su densidad seca.

Tabla 5.30. Densidad seca del material saturado (mezcla 4)-%CBR

Golpes	Densidad seca	%CBR
55	1.678 g/cm ³	53%
25	1.655 g/cm ³	21%
10	1.510 g/cm ³	11%

Fuente: Angamarca, Romero

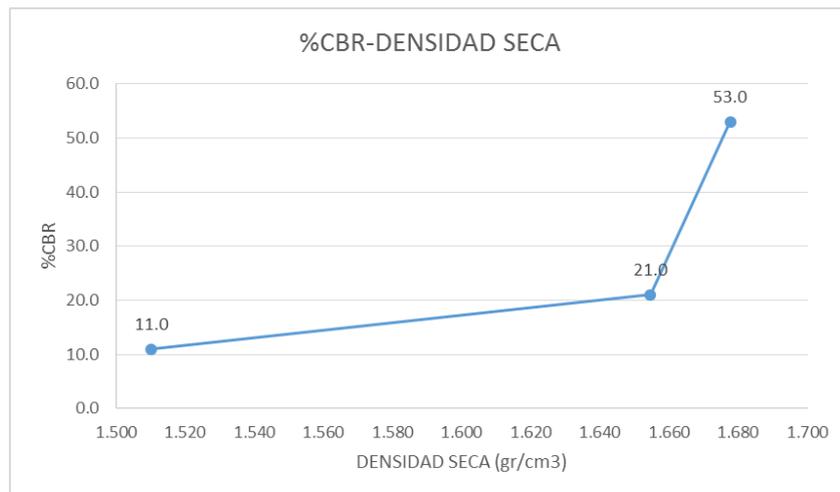


Figura 5.15. Densidad seca del material saturado (mezcla 4) - % CBR

Fuente: Angamarca, Romero

En la gráfica 5.15 se puede observar que los valores de CBR han aumentado con relación a los CBR de la tierra roja que funciona como capa de cobertura actual en el relleno sanitario de Pichacay, esto se debe a que en la mezcla 4, el cemento mejora la resistencia de los suelos arcillosos y aumenta la fuerza con el tiempo de curado.

Compresión simple

Al realizar este ensayo se obtuvo una resistencia a la compresión simple de 0.61 Kg/cm² y una resistencia al cortante del suelo de 0.305 Kg/cm². En la tabla 5.31 y figura 5.16 se muestra la deformación y esfuerzo que soporta la muestra hasta fallar.

Tabla 5.31. Tabla de resultados de la compresión simple de la mezcla 4

Deformación axial			Aplicación de carga			
Delta h	Delta h	Def unitaria	Carga axial		Area corregida	Esfuerzo de compresión
0,001"	mm	%	0,0001"	Kg	cm ²	Kg/cm ²
0	0	0.00	0	0.00	9.35	0.00
5	0.13	0.12	0	1.06	9.36	0.11
10	0.25	0.23	2	1.34	9.37	0.14
15	0.38	0.35	6	1.92	9.38	0.20
20	0.51	0.46	11	2.64	9.39	0.28
25	0.63	0.58	16	3.35	9.40	0.36
30	0.76	0.69	21	4.07	9.41	0.43
35	0.89	0.805	26	4.79	9.42	0.51
40	1.01	0.920	31	5.51	9.44	0.58
45	1.14	1.035	32	5.65	9.45	0.60
50	1.27	1.150	33	5.80	9.46	0.61
55	1.39	1.265	33	5.80	9.47	0.61
60	1.52	1.380	33	5.80	9.48	0.61
65	1.64	1.495	30	5.37	9.49	0.57
70	1.77	1.610	28	5.08	9.50	0.53
75	1.90	1.725	27	4.94	9.51	0.52

Fuente: Angamarca, Romero

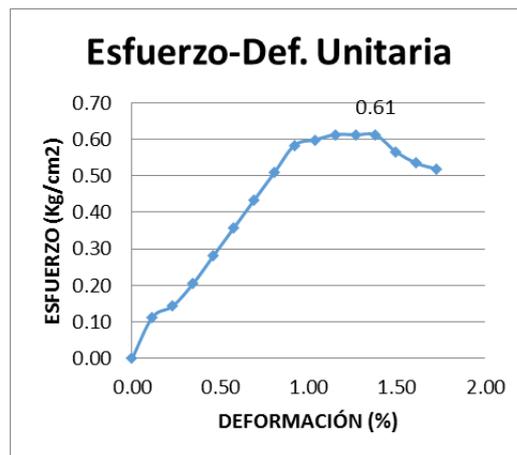


Figura 5.16. Grafica esfuerzo vs deformación unitaria de la mezcla 4.

Fuente: Angamarca, Romero

Como se puede observar si el esfuerzo provocado en la muestra aumenta la deformación aumenta también, en este caso hasta llegar a un esfuerzo de $q_u=0.61$ Kg/cm², a partir de este valor la muestra fracasa provocando la rotura de la misma.

Tabla 5.32. Análisis económico de la mezcla 4 para un metro cúbico de lodo deshidratado

Rubro	Unidad	Precio unitario	Cantidad	Valor total
Excavación mecánica, cargado de material y transporte al lugar de mezclado de la tierra roja.	m3	6.55	0.8	5.19
Cemento	saco	6.88	3.57	24.56
Lodo deshidratado	m3	0.00	1.0	0.00
Subtotal \$				29.76
Iva (14%)				4.17
Total \$				33.93

Fuente: Angamarca, Romero

5.1.1.5 Análisis de laboratorio de la mezcla 5

PROCTOR estándar

Luego de haber realizado el respectivo ensayo y los cálculos se obtuvo que la humedad óptima de la mezcla 5 es del 21 %, que permite alcanzar una densidad máxima de 1.420 kg/m^3 .

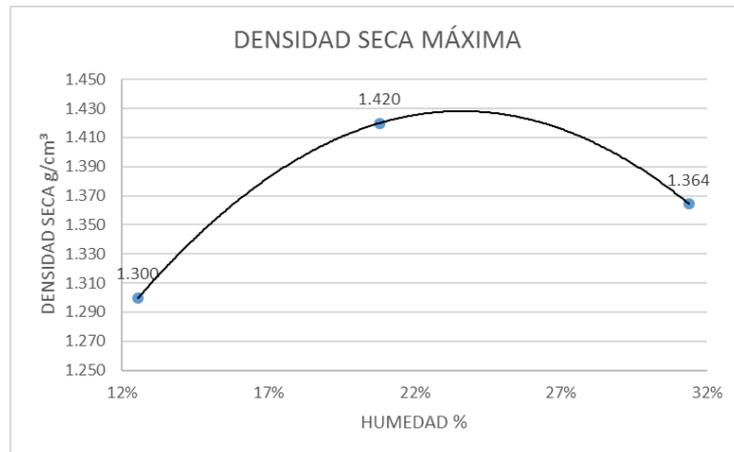


Figura 5.17. Densidad seca máxima de la mezcla 5.

Fuente: Angamarca, Romero

CBR (California Bearing Ratio)

Al realizar el ensayo de CBR con la humedad óptima y diferentes energías de compactación en este caso 10, 25 y 55 golpes se obtuvieron las siguientes densidades secas con su respectiva humedad que se muestra en la tabla 5.33.

Tabla 5.33. Densidades secas del material saturado y humedades (CBR de la mezcla 5)

Golpes	Densidad seca	Humedad
55	1.577 g/cm^3	25.79%
25	1.510 g/cm^3	27.59%
10	1.377 g/cm^3	32.79%

Fuente: Angamarca, Romero

Los resultados de la penetración y la carga unitaria del CBR (figura 5.18) sobre las muestras que se sumergieron durante tres días (72 horas), se presentan en las tablas 5.34, 5.35 y 5.36 con sus respectivos esponjamientos y energías de compactación.

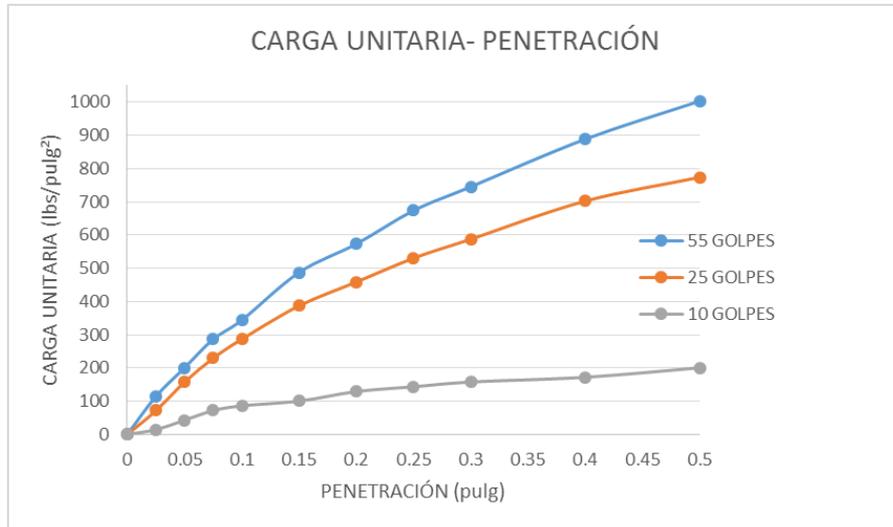


Figura 5.18. Penetración vs carga unitaria de la mezcla 5.

Fuente: Angamarca, Romero

Como se puede observar los valores de la muestra compactada con 10, 25 y 55 golpes se grafican en forma ascendente dependiendo de su grado de saturación, en este caso la muestra compactada con 55 golpes tiene una mejor estabilidad mientras que la muestra compactada de 10 golpes dio como resultado valores bajos de carga unitaria en la penetración realizada debido a que tuvo una mayor absorción de agua.

Tabla 5.34. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 10 golpes de la mezcla 5)

10 golpes	
Esponjamiento	1.51%
Penetración	Carga
pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	14.33
0.05	42.99
0.075	71.65
0.1	85.98
0.15	100.31
0.2	128.97
0.25	143.3
0.3	157.63
0.4	171.96
0.5	200.62

Fuente: Angamarca, Romero

Tabla 5.35. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 25 golpes de la mezcla 5)

25 golpes	
Esponjamiento	0.99%
Penetración	Carga
pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	71.7
0.05	157.6
0.075	229.3
0.1	286.6
0.15	386.9
0.2	458.6
0.25	530.2
0.3	587.5
0.4	702.2
0.5	773.8

Fuente: Angamarca, Romero

Tabla 5.36. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 55 golpes de la mezcla 5)

55 golpes	
Esponjamiento	0.73%
Penetración	Carga
pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	114.64
0.05	200.62
0.075	286.6
0.1	343.92
0.15	487.22
0.2	573.2
0.25	673.51
0.3	745.16
0.4	888.46
0.5	1003.1

Fuente: Angamarca, Romero

De las tablas anteriormente expuestas calculamos el valor de CBR tomando como valor de deformación 0.1 pulgadas para los diferentes moldes con sus respectivas energías de compactación que se representa en la tabla 5.37 y figura 5.19 conjuntamente con su densidad seca.

Tabla 5.37. Densidad seca del material saturado (mezcla 5) -%CBR

Golpes	Densidad seca	%CBR
55	1.577 g/cm ³	11.5%
25	1.510 g/cm ³	9.6%
10	1.377 g/cm ³	2.9%

Fuente: Angamarca, Romero

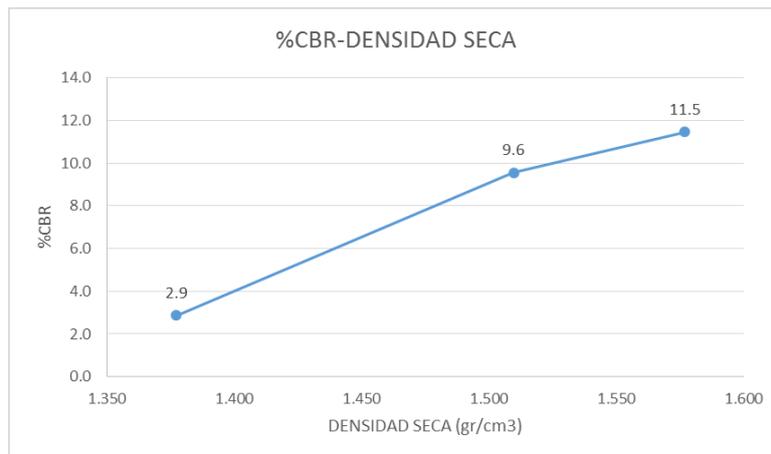


Figura 5.19. Densidad seca de la muestra saturada (mezcla 5) - % CBR.

Fuente: Angamarca, Romero

En la gráfica 5.19 se puede observar que los valores de CBR han aumentado con relación a los CBR de la tierra roja que funciona como capa de cobertura actual en el relleno sanitario de Pichacay, esto se debe a que en la mezcla 5, la puzolana tiene una gran capacidad de absorción de humedad convirtiendo al lodo en un material manejable.

Compresión simple

Al realizar este ensayo se obtuvo una resistencia a la compresión simple de 0.46 Kg/cm² y una resistencia al cortante del suelo de 0.23 Kg/cm². En la tabla 5.38 y figura 5.20.

Tabla 5.38. Resultados de la compresión simple de la mezcla 5

Deformacion axial			Aplicación de carga			
Delta h	Delta h	Def unitaria	Carga axial		Area corregida	Esfuerzo de compresión
0,001"	mm	%	0,0001"	Kg	cm2	Kg/cm2
0	0	0.00	0	0.00	9.35	0.00
20	0.51	0.46	2	1.34	9.39	0.14
40	1.01	0.92	4	1.63	9.44	0.17
60	1.52	1.38	7	2.06	9.48	0.22
80	2.02	1.84	11	2.64	9.52	0.28
100	2.53	2.30	14	3.07	9.57	0.32
120	3.04	2.76	16	3.35	9.61	0.35
140	3.54	3.220	18	3.64	9.66	0.38
160	4.05	3.680	20	3.93	9.71	0.40
180	4.55	4.140	21	4.07	9.75	0.42
200	5.06	4.600	23	4.36	9.80	0.45
220	5.57	5.060	24	4.50	9.85	0.46
230	5.82	5.290	24	4.50	9.87	0.46
240	6.07	5.520	24	4.50	9.89	0.46
250	6.33	5.750	21	4.07	9.92	0.41
260	6.58	5.980	18	3.64	9.94	0.37

Fuente: Angamarca, Romero

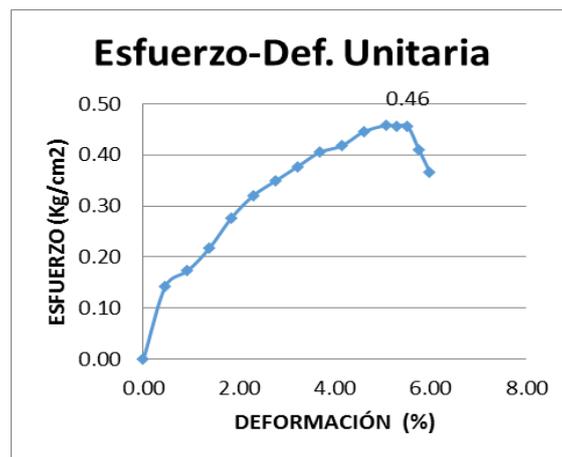


Figura 5.20. Esfuerzo vs deformación unitaria de la mezcla 5.

Fuente: Angamarca, Romero

Como se puede observar si el esfuerzo provocado en la muestra aumenta la deformación aumenta también, en este caso hasta llegar a un esfuerzo de $q_u=0.46$ Kg/cm², a partir de este valor la muestra fracasa provocando la rotura de la misma.

Tabla 5.39. Análisis económico de la mezcla 5

RUBRO	Unidad	Precio unitario	Cantidad	Valor unitario
Excavación mecánica, cargado de material y transporte al lugar de mezclado de la tierra roja.	m3	6.55	0.5	3.47
Puzolana Latacunga	m3	12.90	0.3	4.13
Lodo deshidratado	m3	0.00	1	0.00
Subtotal \$				7.60
Iva (14%)				1.06
Total \$				8.66

Fuente: Angamarca, Romero

5.2 Selección de la mezcla

La selección de la mezcla más adecuada para la prueba de campo se realizó mediante una tabla de ponderación analizando aspectos técnicos (manejabilidad para mezclar los materiales, área disponible que cubre la cantidad de la mezcla realizada), económicos (costo de mezcla por metro cúbico de lodo que ingresa al relleno) y pruebas de laboratorio (CBR y compresión simple), calificando a los aspectos como bueno=3 o malo=0.

Tabla 5.40. Aspectos técnicos, económicos y resultados de pruebas de laboratorio utilizados para la tabla de ponderación.

Mezcla	Materiales mezclados	Costo de mezcla por m ³ de lodo que ingresa	Área que cubre la mezcla por m ³ de lodo que ingresa con un e=15 cm	CBR 55 golpes	Compresión simple	Manejabilidad de la mezcla
		\$	m ²	%	Kg/cm ²	
Mezcla 1	lodo deshidratado, tierra roja, puzolana de Latacunga y cal	29.66	13.65	27.6	0.89	3
Mezcla 2	lodo deshidratado, tierra roja, puzolana de Latacunga y cemento	27.33	12.6	41.1	0.41	3
Mezcla 3	lodo deshidratado, tierra roja y cal	37.43	13.94	26.37	1.16	1
Mezcla 4	lodo deshidratado, tierra roja y cemento	33.93	12.36	53	0.61	1
Mezcla 5	lodo deshidratado, tierra roja y puzolana de Latacunga	8.66	12.33	11.5	0.46	1

Fuente: Angamarca, Romero

Tabla 5.41. Tabla de ponderación para la selección de la mezcla a ejecutar en la prueba de campo.

Mezcla	Costo	Área	Comportamiento mecánico		Manejabilidad	Valoración
			CBR	Comp.Simple	calf.subjetiva	
	\$	m ²	%	Kg/cm ²		
	0.20	0.10	0.15	0.15	0.4	
Mezcla 1	0.88	2.94	1.56	2.30	3.00	2.25
Mezcla 2	0.95	2.71	2.33	1.06	3.00	2.17
Mezcla 3	0.69	3.00	1.49	3.00	1.00	1.51
Mezcla 4	0.77	2.66	3.00	1.58	1.00	1.51
Mezcla 5	3.00	2.65	0.65	1.19	1.00	1.54

Fuente: Angamarca, Romero

Según la ponderación realizada anteriormente, la mezcla 1 es la más apropiada para ejecutar las pruebas de campo, debido a que contienen mejores aspectos técnicos y económicos en comparación a las demás mezclas.

5.3 Prueba de campo de la mezcla seleccionada

5.3.1. Objetivos de la prueba de campo

- Usar la mezcla seleccionada como alternativa de disposición final en el relleno sanitario de Pichacay.
- Utilizar la mezcla como material para camineras generando otra alternativa de disposición final.

5.3.2. Materiales y recursos necesarios para la prueba realizada en campo

Materiales:

- Lodo deshidratado: 21 m³.
- Tierra roja: 11.1 m³.
- Puzolana de Latacunga: 6.7 m³.
- Cal: 100 sacos.

Maquinaria:

- Retro excavadora John Deere 410K
- Excavadora SHANTUI SE 240.
- Volqueta de 10 m³.

5.3.3. Proceso de mezclado.

- Localizar un lugar adecuado para la mezcla de materiales.
- Excavación y transporte de la tierra roja al lugar de mezclado.
- Traslado del lodo necesario al lugar de mezclado.
- Transporte de los sacos de cal y la cantidad necesaria de puzolana para la mezcla.
- Mezclado de la tierra roja con la cal
- Mezclado del lodo con la puzolana
- Combinación de todos los materiales

5.3.4. Aplicación como capa de cobertura

Se utilizó un área de 200 m^2 con residuos sólidos, para luego ser cubiertos con la mezcla realizada en un espesor de 20 cm.

El material mezclado fue transportado con la retro excavadora hacia el lugar con residuos sólidos a cubrir para luego ser tendido en un espesor de 20 cm y compactado con la excavadora oruga, obteniendo una capa de cobertura resistente con mejores características físicas como mecánicas.



Figura 5.21. Capa de cobertura aplicada en la prueba de campo.

Fuente: Angamarca, Romero

Fecha: 16/07/2017



Figura 5.22. Capa de cobertura colocada en talud.

Fuente: Angamarca, Romero

Fecha: 16/07/2017

5.3.5. Aplicación como caminera

Para la caminera se hizo la prueba aplicando la mezcla en una longitud de 10 m con un ancho de 1 a 1.2 m y un espesor de 0.15m, siendo esto tendido y compactado por la excavadora de oruga.



Figura 5.23. Mezcla seleccionada aplicada en campo como caminera

Fuente: Angamarca, Romero

Fecha: 16/07/2017

5.3.6. Pruebas de laboratorio de la mezcla seleccionada aplicada en campo

La prueba de campo realizada con la mezcla seleccionada tubo el siguiente resultado:

PROCTOR estándar

El ensayo realizado dio como resultado una humedad óptima del 15.37 %, que permite alcanzar una densidad máxima de 1.613 kg/m³ (anexo 14).

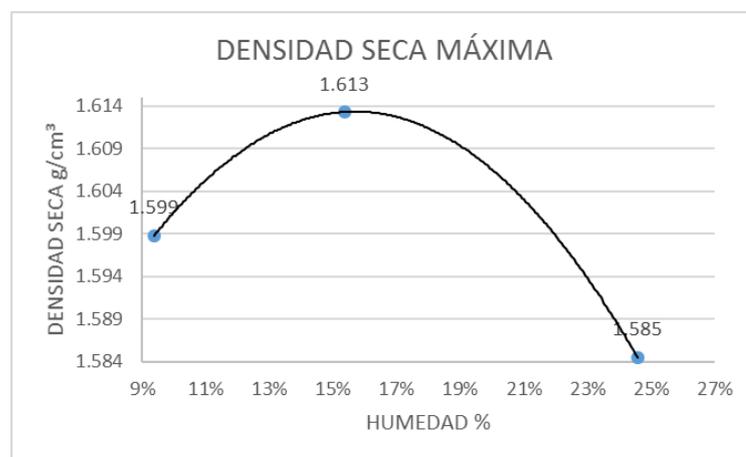


Figura 5.24. Densidad seca máxima de la mezcla seleccionada aplicada en campo.

Fuente: Angamarca, Romero

CBR (California Bearing Ratio)

Con la humedad óptima alcanzada y las diferentes energías de compactación 10, 25 y 55 golpes dio como resultado las siguientes densidades secas con su respectiva humedad que se muestra en la tabla 5.42.

Tabla 5.42. Densidades secas del material saturado y humedades de la mezcla seleccionada aplicada en campo

Golpes	Densidad seca	Humedad
55	1.614g/cm ³	22.32%
25	1.538 g/cm ³	23.59%
10	1.438 g/cm ³	22.40%

Fuente: Angamarca, Romero

La penetración y la carga unitaria del CBR (figura 5.25) sobre las muestras que se sumergieron durante tres días (72 horas) de la capa de cobertura seleccionada aplicada en el campo, se presentan en las tablas 5.43, 5.44 y 5.45 con sus respectivos esponjamientos y energías de compactación.

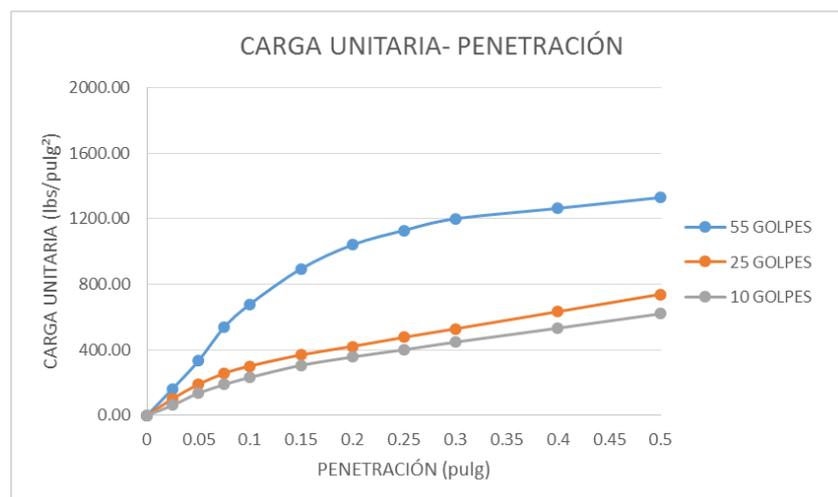


Figura 5.25. Penetración vs carga unitaria de la mezcla seleccionada aplicada en el campo.

Fuente: Angamarca, Romero

La muestra compactada con 55 golpes tiene una ligera variación con respecto a la muestra de la mezcla seleccionada mezclada en el laboratorio, debido a que en el campo se mezcla los materiales en grandes cantidades y los materiales tienen una variación de humedad ya que se encuentran a la intemperie.

Tabla 5.43. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 10 golpes de la mezcla seleccionada aplicada en el campo)

10 golpes	
Esponjamiento	0.43%
Penetración	Carga
pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	61.6
0.05	135.32
0.075	187.22
0.1	231.25
0.15	305.21
0.2	355.96
0.25	400.36
0.3	446.42
0.4	532.39
0.5	620

Fuente: Angamarca, Romero

Tabla 5.44. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 25 golpes de la mezcla seleccionada aplicada en el campo)

25 golpes	
Esponjamiento	0.28%
Penetración	Carga
pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	102
0.05	189
0.075	256
0.1	301
0.15	369
0.2	421
0.25	476
0.3	528
0.4	633
0.5	739

Fuente: Angamarca, Romero

Tabla 5.45. Esponjamiento, penetración y carga (CBR 55 golpes de la mezcla seleccionada aplicada en el campo)

55 golpes	
Esponjamiento	0.24%
Penetración	Carga
pulg	lbs/pulg ²
0	0
0.025	163
0.05	332
0.075	536
0.1	677
0.15	894
0.2	1040
0.25	1128
0.3	1199
0.4	1263
0.5	1329

Fuente: Angamarca, Romero

El valor de CBR obtenido en una deformación de 0.1 pulgadas para los diferentes moldes y sus respectivas energías de compactación se representa en la tabla 5.46 y figura 5.26 conjuntamente con su densidad seca.

Tabla 5.46. Densidad seca del material saturado (CBR 55 golpes de la mezcla seleccionada aplicada en el campo) - %CBR

Golpes	Densidad seca	%CBR
55	1.614 g/cm ³	22.6%
25	1.538 g/cm ³	10.0%
10	1.438 g/cm ³	7.7%

Fuente: Angamarca, Romero

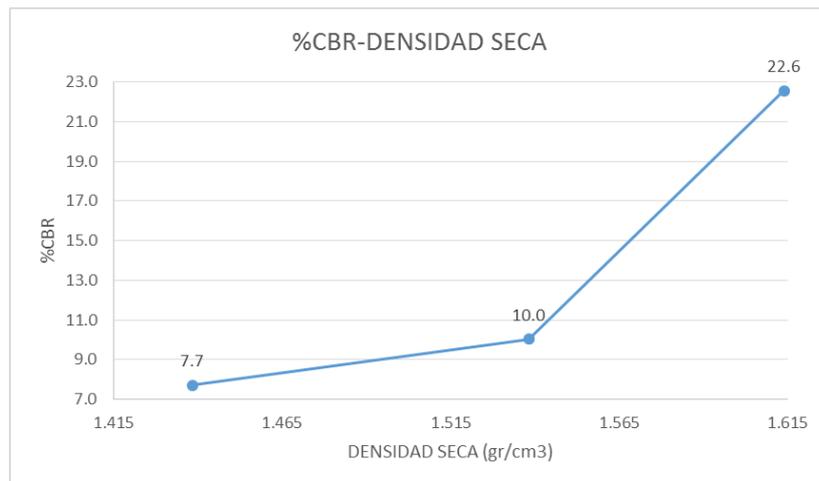


Figura 5.26. Densidad seca de la muestra saturada (CBR 55 golpes de la mezcla seleccionada aplicada en el campo) - % CBR.

Fuente: Angamarca, Romero

En la figura 5.26 se puede observar que la mezcla seleccionada puesta en campo tiene mejores valores de CBR que de la tierra roja que funciona como capa de cobertura actual en el relleno sanitario de Pichacay.

Compresión simple

Este ensayo dio como resultado una resistencia a la compresión simple de 0.85 Kg/cm^2 y una resistencia al cortante del suelo de 0.425 Kg/cm^2 que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.47. Resultados de la compresión simple de la mezcla seleccionada aplicada

Deformacion axial			Aplicación de carga			
Delta h	Delta h	Def unitaria	Carga axial		Area corregida	Esfuerzo de compresión
0,001"	mm	%	0,0001"	Kg	cm2	Kg/cm2
0	0	0.00	0	0.00	9.35	0.00
10	0.25	0.23	3	1.49	9.37	0.16
20	0.51	0.46	7	2.06	9.39	0.22
30	0.76	0.69	11	2.64	9.41	0.28
40	1.01	0.92	17	3.50	9.44	0.37
50	1.27	1.15	24	4.50	9.46	0.48
60	1.52	1.38	33	5.80	9.48	0.61
70	1.77	1.610	39	6.66	9.50	0.70
80	2.02	1.840	43	7.23	9.52	0.76
85	2.15	1.955	45	7.52	9.53	0.79
90	2.28	2.070	47	7.81	9.55	0.82
95	2.40	2.185	49	8.10	9.56	0.85
100	2.53	2.300	49	8.10	9.57	0.85
105	2.66	2.415	49	8.10	9.58	0.85
110	2.78	2.530	46	7.67	9.59	0.80
115	2.91	2.645	42	7.09	9.60	0.74

en el campo

Fuente: Angamarca, Romero

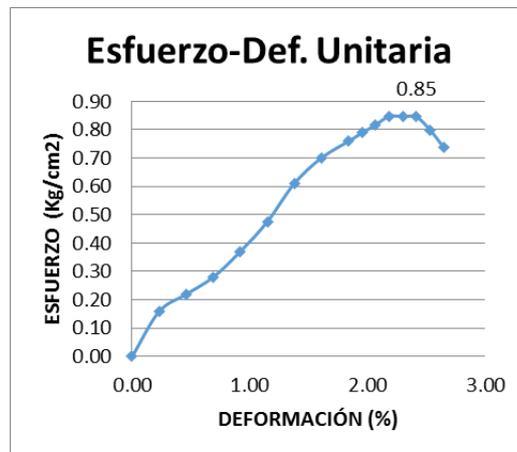


Figura 5.27. Grafica esfuerzo vs deformación unitaria de la mezcla seleccionada aplicada en campo.

Fuente: Angamarca, Romero

Como se puede observar si el esfuerzo provocado en la muestra aumenta, la deformación aumenta también, en este caso hasta llegar a un esfuerzo de $q_u=0.85$ Kg/cm², a partir de este valor la muestra fracasa provocando la rotura de la misma.

5.3.7. Resultados y mejoras alcanzadas

Partiendo del hecho del objetivo principal del presente trabajo que consiste en buscar alternativas para la disposición final de los lodos deshidratados de la planta de tratamiento de aguas residuales de ETAPA EP, una vez que se ha realizado los respectivos ensayos de compresión simple y CBR tanto de la capa de cobertura actual como la mezcla seleccionada, los datos obtenidos luego de haber aplicado varios materiales para las mezclas analizadas son los siguientes:

Tabla 5.48. Resultados de ensayos de laboratorio de capa de cobertura actual vs la mezcla seleccionada

Comparación de resultados de ensayos de laboratorio de la capa de cobertura actual vs la mezcla seleccionada.			
Ensayos	Capa de cobertura actual	Mezcla seleccionada (mezcla realizada en laboratorio)	Mezcla seleccionada (mezcla ejecutada en campo)
CBR (55golpes)	2.70%	27.60%	22.60%
Comp.simple	0.41 Kg/cm ²	0.89 Kg/cm ²	0.85 Kg/cm ²

Fuente: Angamarca, Romero

En la tabla mostrada se puede observar que la mezcla seleccionada para efectuar la prueba de campo presenta mejores características mecánicas, debido a que la puzolana y la cal que se utilizó para esta mezcla son materiales que permiten mejorar las propiedades del lodo y de la tierra roja, dando una verdadera disposición final al lodo deshidratado.

El CBR de la mezcla seleccionada supera en su totalidad al CBR de la capa de cobertura actual, tomando en cuenta que el CBR de la mezcla hecha en campo al realizarse en grandes cantidades tiene una variación mínima con respecto a la mezcla realizada en el laboratorio. De igual manera la compresión simple de la mezcla seleccionada mejora considerablemente con respecto a la capa de cobertura actual duplicando su valor de resistencia. Es importante destacar que la resistencia de la mezcla seleccionada sigue aumentando con el pasar del tiempo debido a que la cal con la puzolana forma un mortero y al estar bajo la acción del agua, fragua cada vez más.

Debido a las propiedades mecánicas alcanzadas en la mezcla seleccionada, se ha dado lugar a otra alternativa de disposición final de los lodos, utilizando la misma como camineras para áreas verdes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

- Al estudiar las características físicas y el comportamiento mecánico de los lodos generados en la PTAR de ETAPA EP se pudo concluir que es un material que no puede ser considerado como un suelo ni como un lodo deshidratado. Por lo tanto este material no es apto para una disposición final en el relleno sanitario debido a su alto contenido de humedad.
- Los materiales seleccionados para las mezclas resultaron apropiados debido a que mejoran las características del lodo, al ser cementantes reducen el contenido de humedad y permiten formar nuevas mezclas con mejores propiedades mecánicas.
- Al utilizar la tabla de ponderación se logró seleccionar la mezcla más adecuada luego de haber analizado sus aspectos técnicos y económicos. La mezcla seleccionada corresponde a la que fue realizada en el laboratorio en una relación 3:2 lodo-puzolana y la tierra roja en una misma porción en peso que el lodo, añadiendo un 10% en peso de cal con relación a la tierra roja.
- Al momento de ejecutar la prueba de campo se realizó la mezcla de los materiales en gran escala sin ningún inconveniente, utilizando la maquinaria existente en el relleno, luego se realizó los ensayos de laboratorio del nuevo material utilizado en la prueba de campo para así llegar a la conclusión de que los resultados obtenidos no tienen una variación significativa con los resultados de la muestra analizada a pequeña escala en laboratorio. Al ser efectiva la mezcla, surgió otra alternativa para su disposición final utilizándola como camineras para áreas verdes, siendo aún más practica si se le proporciona una buena compactación (tabla 5.48).

- La mejor alternativa para el secado de lodos en el relleno sanitario de Pichacay es utilizar los lechos de secado debido al espacio que se dispone y por su fácil manejabilidad. Al mismo tiempo estos lechos de secado permitirán reducir el contenido de humedad de los lodos para alcanzar mejores resultados en su comportamiento mecánico al momento de ser mezclados con los materiales estudiados.

RECOMENDACIONES:

- En épocas de invierno, se recomienda realizar las mezclas apenas ingrese el lodo al relleno sanitario con el objetivo de evitar la rehidratación de los mismos y la variación de resultados de las mezclas.
- Se recomienda realizar un control adecuado del contenido de humedad del lodo que ingresa al relleno sanitario por parte de ETAPA EP y EMAC EP debido a su excesiva variación de contenido de agua, ya que es un factor que no cumple con el convenio fijado entre las instituciones nombradas anteriormente, el mismo que afecta a los resultados de laboratorio de las mezclas analizadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Andritz. (2014). *Andritz Separation*. Obtenido de Andritz Separation:
http://www.andritzgouda.com/uploads/docs/AG_Sludge_drying_brochure_de_f_web.pdf
- Armijo Lucio, X. F. (2010). *Manual de ensayos de mecanica de suelos y pavimentos para el laboratorio de la escuela de ingenieria civil de la Universidad Nacional de Chimborazo*. Riobamba.
- Association, A. R. (2004). *Lime stabilization and lime notification*. Arlington: National Lime Association.
- Cedeño Plaza, D. G. (2013). *Investigacion de la estabilización de suelos con enzima aplicado a la sub-rasante de la avenida Quitumbe-Ñan*. Quito.
- Cevallos Luna, A. S. (2012). *Determinación del límite líquido y plástico de los suelos mediante el uso del penetrómetro cónico*. Quito.
- Chacha Pesántez., C. J., & Emmanuel, P. L. (2010). *Estabilizacion de un suelo arcilloso con productos químicos*. Cuenca.
- Coronel Jones, M. X. (2013). “*Comparación de dos metodologías de caracterización de suelos: Resultados de ensayos de laboratorio versus registros de ensayo de penetración de cono.*”. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- DAS, B. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Mexico DF: Cengage Learning Editores.
- Delgado Vallejo, A. E., & Negrete Martínez, C. A. (2012). *Evaluacion del uso de arcillas y puzolanas en la etapa de molienda de acabado para la fabricación de cemento portland tipo ip*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Dorronsoro Fernández, C. (16 de 09 de 2015). *Departamento de Edafología y Química Agrícola Universidad de Granada*. Obtenido de <http://www.edafologia.net/introeda/tema04/otraspp2.htm#anchor639913>
- Durazno Orellana, G., & Díaz Torres , J. (2009). *Modelo de Gestión para el Manejo del Sistema de Extracción, Deshidratación y Disposición Final de Lodos de Lagunas de Estabilización*. Cuenca: Univeridad del Azuay.
- Ecusand. (28 de 01 de 2017). *Ecusand*. Obtenido de Ecusand:
<http://www.ecuasand.com/medias/files/analisis-cal-hidratada-ecuasand.jpg>
- EMAC. (26 de 10 de 2014). *EMAC*. Obtenido de Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca: <http://www.emac.gob.ec>
- Eric Heredia Mendoza. (05 de 12 de 2016). *Academia*. Obtenido de Academia:
https://www.academia.edu/7716432/DENSIDAD_REAL_APARENTE_Y_POROSIDAD_DEL_SUELO

- ETAPA. (2007). *Disposición final de los lodos de las plantas potabilizadoras y depuradora de ETAPA*. Cuenca: ETAPA.
- Gómez Gonzáles , A. (2009). *Caracterización y utilización de puzolanas como aditivos minerales activos en cementos. Aplicación en viviendas de bajo coste*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Holcim. (2016). *Holcim Ecuador*. Obtenido de Holcim Ecuador:
http://www.holcim.com.ec/fileadmin/templates/EC/doc/certificado_de_productos/holcim_fuerte_tipo_gu_folleto.pdf
- Holcim. (2016). *Holcim Ecuador*. Obtenido de Holcim Ecuador:
http://www.holcim.com.ec/fileadmin/templates/EC/doc/certificado_de_productos/holcim_base_vial_folleto.pdf
- Huayco, C. (28 de 01 de 2017). *Calizas Huayco S.A*. Obtenido de Calizas Huayco S.A: <http://www.calizashuayco.com/>
- Ingenieros. (1975). *Mécanica de suelos*. Barcelona: Editores técnicos asociados.
- James Grisales Simbasica. (2014 de 03 de 2014). *Propiedades Físicas y Mecánicas de los Suelos*. Obtenido de Academia:
http://www.academia.edu/6386237/PROPIEDADES_FISICAS_Y_MECANICAS_DE_LOS_SUELOS
- Karl Terzaghi, Ralph B Peck. (1995). *Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica*. New York: El Ateneo.
- Lenntech. (2017). *Lenntech BV*. Obtenido de Lenntech BV:
<http://www.lenntech.es/filtro-de-prensa-para-lodos.htm>
- Mella Stappung, A. (2004). *Estudio, caracterización y evaluación de puzolanas locales en la masa cerámica del ladrillo*. Concepción: Universidad del Bio Bio.
- Montejo , A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá: Ágora Editores.
- NTE, I. (1982). *Mecánica de suelos*. Quito: Norma Técnica Ecuatoriana INEN.
- NTE, I. (2011). *Cementos hidráulicos. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos*. Quito: Norma Técnica Ecuatoriana INEN.
- Orbe Pinchao, L. V., & Zúñiga Morales, P. S. (2013). *optimización de la relajación agua/cemento en el diseño de hormigones estándar establecidos en los códigos ACI-ASTM*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Sandra García, Maria Ramírez. (2006). *Propuesta de un manual de laboratorio de mecánica de suelos conforme a la norma ASTM 2003*. San Salvador: Universidad de el Salvador.
- Torres Merino, H. F. (2006). *Manual de ensayos normalizados de mecánica de suelos I*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.

Universidad de la Coruña. (Septiembre de 2015). *Tecnologías de deshidratación de fangos*. Obtenido de Tecnologías de deshidratación de fangos:
<https://www.wateractionplan.com/documents/186210/200858/FT-FNG-002-DESHIDRATAcIaN+DE+FANGOS+A151112.pdf/b862445e-3a3b-4801-b3af-3eb55bd34615>

ANEXOS

Anexo 1: Ensayos y formulaciones

Ensayo de granulometría por tamizado según (Armijo Lucio, 2010)

Norma Referencial: INEN 696, ASTM D 422, AASHTO T 88.

Muestra

Dependiendo de las características de los materiales finos de la muestra, el tamizado se realiza bien con la muestra entera o con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si al lavar no se logra determinar por examen visual, se seca en el horno una muestra húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola con los dedos. Si se rompe fácilmente y el material fino se desmenuza bajo la presión de aquellos, entonces el tamizado se puede efectuar sin previo lavado.

Luego se prepara una muestra para el ensayo, la cual estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4,750 mm (N° 4) y otra que pasa dicho tamiz. Estas fracciones se ensayarán por separado.

El peso del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, tendrá que ser la suficiente para las cantidades requeridas en el análisis mecánico ya sea para la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,750 mm (N° 4), el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la tabla 1.4 mientras que el tamaño de la porción que pasa el tamiz de 4,750 mm (N° 4) será aproximadamente de 115 g, para suelos arenosos y de 65 g para suelos arcillosos y limosos.

Diámetro de partículas grandes

Diámetro de las partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porción (gr)
9,5 (3 /8")	500
19,6 (¾")	1000
25,7 (1")	2000
37,5 (1 ½")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

Fuente: (Armijo Lucio, 2010)

Equipo

Balanzas: Se necesitará dos, una con sensibilidad de 0.01 g para pesar material que pase el tamiz de 4,750 mm (N° 4) y otra con sensibilidad 0.1 % del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 4,750 mm (N° 4).

Tamices: Tamices de malla cuadrada 75 mm (3"), 50,8 mm (2"), 38,1 mm (1½"), 25,4 mm (1"), 19,0 mm (¾"), 9,5 mm (3/8"), 4,750 mm (N°4), 2,00 mm (N° 10), 0,840 mm (N° 20), 0,425 mm (N° 40), 0,250 mm (N° 60), 0,106 mm (N° 140) y 0,075 mm (N° 200).

Horno: Deben mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de 110 ± 5 °C.

Envases: deben ser adecuados para el manejo y secado de las muestras.

Cepillo y brocha: Necesarios para limpiar las mallas de los tamices.

Equipo utilizado para el ensayo de granulometría



Fuente: Angamarca, Romero

Procedimiento

Análisis por tamizado de la fracción retenida en el tamiz de 4,750 mm (N° 4)

Se debe separar la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,750 mm (N° 4) en varias fracciones usando los tamices de: 75 mm (3"), 50 mm (2"), 38,1 mm (1½"), 25,4 mm (1"), 19,0 mm (¾"), 9,5 mm (3/8"), 4.750 mm (N° 4), o los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra.

Para el tamizado manual se mueve el tamiz o los tamices de un lado a otro y de manera circular de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla, también se puede utilizar una tamizadora mecánica que se pondrá a funcionar durante 10 minutos aproximadamente. En seguida se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0.1%. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso inicial de la muestra no debe diferir en más de 1%.

Análisis granulométrico de la fracción fina

El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 4,750 mm (N° 4) se hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y según la información requerida.

Los materiales arenosos que contengan muy poco limo y arcilla, cuyos terrones en estado seco se desintegren con facilidad, se podrán tamizar en seco mientras que los materiales limo-arcillosos, cuyos terrones en estado seco no rompan con facilidad, se procesarán por la vía húmeda.

La fracción de tamaño mayor que el tamiz de 0,075 mm (N° 200) se analizará por tamizado en seco separando mediante cuarteo, 500 gr de material inicialmente húmedo, pesándolos con exactitud en la balanza de 0.01 gr. Luego lavamos los 500 gr en el tamiz 0,075 mm (N° 200) y lo que quede retenido en el mismo se colocará en un recipiente para llevarlo al horno y posteriormente pasar por los tamices N°10; N°40; N°200. Finalmente obtenemos los datos respectivos y procedemos a realizar los calculamos necesarios.

Cálculos

Valores de análisis de tamizado para la porción retenida en el tamiz N° 4

Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 4,750 mm (N° 4) dividiendo, el peso que pasa dicho tamiz por el del suelo originalmente tomado y se multiplica el resultado por 100. Para obtener el peso de la porción retenida en el mismo tamiz, se resta del peso original el peso del pasante por el tamiz de 4,750 mm (N° 4).

Para comprobar el material que pasa por el tamiz de 9,52 mm (3/8"), se agrega al peso total del suelo que pasa por el tamiz de 4,750 mm (N° 4) el peso de la fracción que pasa el tamiz de 9,52 mm (3/8") y que queda retenida en el de 4,750 mm (N° 4). Para los demás tamices los cálculos se proceden de la misma manera.

El porcentaje total que pasa por cada tamiz se calcula dividiendo el peso total que pasa entre el peso total de la muestra multiplicado por 100.

Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz N°4

Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\%Retenido = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso total}} \times 100 \quad \text{Ec [1]}$$

Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100% los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\%Pasa = 100 - \%Retenido \text{ acumulado} \quad \text{Ec [2]}$$

**Ensayo de contenido de humedad por el método del secado al horno según
(NTE, Mecánica de suelos, 1982)**

Norma referencial: INEN 690.

Muestra

Para realizar este ensayo en el laboratorio, la muestra debe tener el material necesario para que sea representativa del suelo, lo cual está en función de la gradación, tamaño máximo de las partículas y del equipo utilizado. El peso mínimo de la muestra debe concordar con el tamaño de las partículas como se muestra en la siguiente tabla:

Masa mínima de la muestra según el tamaño máximo de partículas

Tamaño máximo de partículas.		Masa mínima de la muestra.
INEN	ASTM	(gr)
425 µm	(No. 40)	25
2 mm	(No. 10)	50
4,75 mm	(No. 4)	200
9,5 mm	(3/8 pulg)	300
13,2 mm	(0,53 pulg)	350
19 mm	(3/4 pulg)	500
26,5 mm	(1,06 pulg)	600
37,5 mm	(1 1/2 pulg)	1000
53 mm	(2,12 pulg)	1200
Debe tenerse en cuenta que mientras más seco sea el suelo, la cantidad tomada para el ensayo debe ser mayor.		

Fuente: (NTE, Mecánica de suelos, 1982)

Equipo

Horno de secado: Debe ser regulado termostáticamente y capaz de mantener una temperatura constante de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Balanzas: Se necesitan tres, una balanza sensible a 0,01 g, para pesar muestras de 100 g o menos; una balanza sensible a 0,1 g para pesar muestras de 100 a 1 000 g; y una balanza sensible a 1 g, para pesar muestras mayores a 1 000 g.

Recipientes: Estos deben ser de un tamaño adecuado, fabricados de un material resistente a la corrosión y que no alteren su masa o se desintegren debido al fenómeno repetitivo de calentado y enfriado. Estos recipientes deben identificarse mediante numeración clara.

Equipo utilizado para el ensayo de contenido de humedad



Fuente: Angamarca, Romero

Procedimiento

Determinese y registre el peso del recipiente (m_1), cuidando que esté seco y limpio para luego colocar cuidadosamente en el recipiente la porción representativa del suelo a ensayarse, luego de desmenuzarla, cuidando que exteriormente no existan partículas de suelo adheridas; determinar y registrar su masa (m_2).

Coloque el recipiente con la muestra húmeda en el horno de secado, manteniendo una temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta obtener una masa constante. En casos en que haya alguna duda respecto al período de secado, éste debe continuar hasta que la determinación de la masa, después de dos períodos sucesivos de secado, a intervalos de cuatro horas, indique que la masa no cambia o que su diferencia no excede de 10%.

Seguidamente después de sacar del horno el recipiente con la muestra de suelo seca, pesar y registrar su masa, (m_3).

Cálculos

El contenido de humedad se calcula utilizando la siguiente expresión matemática:

$$w = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} * 100 \quad \text{Ec [3]}$$

Siendo:

w = contenido de agua, en %

m1 = masa del recipiente, en g

m2 = masa del recipiente y el suelo húmedo, en g

m3 = masa del recipiente y el suelo seco, en g

Ensayo para determinar el límite líquido según (Armijo Lucio, 2010)

Norma referencial: ASTM D 4318, INEN 691, y AASHTO T 89.

Muestra

Tomamos una muestra entre 150 a 200gr del material totalmente mezclado que pase el tamiz de 0,425 mm (N° 40).

Equipo

Recipiente para almacenaje: Se utiliza para colocar el material pasante del tamiz N° 40.

Espátula: De hoja flexible de unos 75 a 100 mm (3" a 4") de longitud y 20 mm ($\frac{3}{4}$ " de ancho aproximadamente.

Cuchara de casa grande: Es un aparato de operación manual que consiste en una taza de bronce con sus aditamentos y permite calcular el límite líquido a los 25 golpes.

Acanalador: Conforme con las dimensiones críticas.

Recipientes: De material resistente a la corrosión, y cuya masa no cambie con repetidos calentamientos y enfriamientos.

Balanza: Una balanza con sensibilidad de 0.01 gr.

Horno: Termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas de 110 ± 5 °C para secar la muestra.

Equipo utilizado para el ensayo de límite líquido



Fuente: Angamarca, Romero

Procedimiento

Colocar la muestra de suelo en un recipiente y mezclar completamente con 15 a 20 ml de agua destilada, revolviéndola con una espátula de forma repetitiva. Realizar más adiciones de agua en incrementos de 1 a 3 ml. De la misma manera mézclese completamente cada incremento de agua con el suelo como se ha descrito previamente, antes de cualquier nueva adición. Algunos suelos son lentos para absorber agua, por lo cual es posible que se adicione los incrementos de agua tan rápidamente que se obtenga un límite líquido falso lo cual podemos evitarlo si mezclamos más y durante un mayor tiempo (1 hora aproximadamente).

Una vez mezclado el suelo con la suficiente agua y la consistencia producida requiera de 30 a 35 golpes de la cuchara de bronce para que se produzca el cierre, debe colocar una porción de la mezcla en la cuchara sobre el sitio en que ésta reposa en la base, y comprimirla hacia abajo, extienda el suelo con la espátula hasta obtener la posición adecuada evitando que quede burbujas de aire dentro de la masa. Nivelamos el suelo con la espátula hasta conseguir una profundidad de 1 cm en el punto de espesor máximo.

Con el acanalador dividimos el suelo a lo largo del diámetro en la línea central de la cuchara de modo que se forme una ranura limpia y de dimensiones apropiadas. Para que no existan rasgones se puede realizar algunas pasadas de adelante hacia atrás o de atrás hacia adelante ya que con cada pasada el acanalador debe penetrar un poco más profundo hasta que la última pasada de atrás hacia adelante limpie el fondo de la cazuela.

Damos la vuelta la manija de la cuchara de casa grande provocando varios golpes hasta que la pasta de suelo se ponga en contacto en el fondo de la ranura, a lo largo de una distancia de cerca de 13 mm (0.5"). Anótese el número de golpes requeridos para cerrar la ranura. Si el suelo se desliza sobre la cuchara de bronce a un número de golpes inferior a 25, no es aplicable este ensayo y deberá indicarse que el límite líquido no se puede determinar.

Tomamos una tajada de suelo aproximadamente del ancho de la espátula, tomándola especialmente del lugar en donde la ranura se unió y colocamos en un recipiente adecuado para pesarlo y anotar su valor. En seguida colocamos el recipiente en el horno a 110 ± 5 °C hasta que se seque para obtener el peso seco y luego anotarlos.

Limpia la cuchara de casa grande y el acanalador, luego repetir la operación anterior por lo menos en dos ensayos adicionales, con el suelo restante en el recipiente de almacenaje, al que se le ha agregado agua suficiente para ponerlo en un estado de mayor fluidez. Realizar este procedimiento con la muestra de modo que la ranura se cierre en un intervalo de golpes de 25-35; 20-30; 15-25. De esta manera, el alcance de las determinaciones debe ser de 10 golpes.

Cálculos

Calcúlese el contenido de humedad expresado en porcentaje con la ecuación (3) y luego trazamos la curva de fluidez que represente la relación entre el contenido de humedad y el correspondiente número de golpes dados en la cuchara de casa grande, en un gráfico semilogarítmico. Al contenido de humedad lo graficamos en el eje de las ordenadas en escala aritmética mientras que el número de golpes de la cuchara de casa grande lo graficamos en el eje de las ordenadas en escala logarítmica. La curva de flujo es una línea recta promedio, que pasa tan cerca como sea posible a través de los tres o más puntos trazados.

Determinamos el límite líquido tomando el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la ordenada de 25 golpes como límite líquido del suelo.

Factor para el límite líquido según el número de golpes

(Número de golpes)	K (Factor para límite líquido)
20	0,974
21	0,979
22	0,985
23	0,990
24	0,995
25	1,000
26	1,005
27	1,009
28	1,014
29	1,018
30	1,022

Fuente: (Armijo Lucio, 2010)

**Ensayo para determinar el límite plástico e índice de plasticidad tomado de
(Armijo Lucio, 2010)**

Norma referencial: ASTM D 4318, INEN 692, AASHTO T- 90.

Muestra

Para determinar el límite plástico, se toman aproximadamente 20 g de la muestra pasante por el tamiz de 0,425mm (N° 40), preparado para el ensayo de límite líquido. Esta muestra se mezcla con agua destilada hasta que se pueda formar fácilmente una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de 1,5 gr a 2,0 gr de dicha esfera como muestra para el ensayo.

Equipo

Espátula: de hoja flexible, de unos 75 a 100 mm (3" - 4") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.

Agua destilada, un recipiente para almacenaje y una balanza con aproximación a 0.01 g.

Horno: termostáticamente controlado regulable a 110 ± 5 °C.

Tamiz: de 0,425 mm (N° 40).

Recipientes: deben ser adecuados para la determinación de humedades.

Superficie de rodadura: comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

Equipo utilizado para el ensayo de límite plástico



Fuente: Angamarca, Romero

Procedimiento

Se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa la mitad de la muestra, con la presión necesaria para formar rollos. Si antes de llegar el rollo a un diámetro de unos 3.2 mm (1/8") y no se ha agrietado, se vuelve a hacer más rollos y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se agriete con dicho diámetro.

El agrietamiento puede mostrarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo: en los suelos muy plásticos el rollo queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños. La porción así obtenida se coloca en vidrios, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determina la humedad con la ecuación (3).

Cálculo

Se calcula el promedio de dos contenidos de humedad y se repite el ensayo en caso que la diferencia entre los dos contenidos de humedad supera el margen de error ya que el límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad y se calcula con la siguiente expresión matemática:

$$\text{Límite plástico} = \frac{\text{Peso de agua del suelo}}{\text{Peso secado al horno}} * 100 \quad \text{Ec [4]}$$

Cálculo del índice de plasticidad

El índice de plasticidad es definido como la diferencia entre el límite líquido y su límite plástico.

$$IP = LL - LP \quad \text{Ec [5]}$$

Donde:

L.L. = Límite Líquido

L.P. = Límite Plástico

I.P. = Índice de plasticidad

Un suelo será determinado como NP (no plástico) en los siguientes casos: cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse o si el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido.

Método de clasificación de suelos SUCS según (Torres Merino, 2006)

Norma referencial: ASTM D 2487-00

Muestra

La muestra tomada en campo debe ser 4 veces más grande que las necesarias para el ensayo en laboratorio con el fin de reducirlas por cualquier método aceptado técnicamente.

Equipo

Los materiales necesarios para determinar los límites de consistencia y análisis granulométrico.

Definición de términos

Gravas: Son todas las partículas de roca que están comprendidas entre el tamiz de 75mm y el de 4.75mm (N°4), con las siguientes sub divisiones:

Grava Gruesa: Está entre el tamiz de 75mm (3") y el 19mm (3/4").

Grava Fina: Está entre el tamiz de 19mm (3/4") y el N°4 (4.75mm).

Arena: Son las partículas que se encuentran entre el tamiz de 4.75mm (N°4) y el de 0.075mm (N° 200) con las siguientes subdivisiones:

Arena Gruesa: Partículas que están entre el tamiz de 4.75mm (N°4) y el tamiz de 2.00mm (N° 10).

Arena Media: Partículas que están entre el tamiz de 2.00mm (N° 10) y el tamiz de 425µm (N°40).

Arena Fina: Partículas que están entre el tamiz de 425µm (N°40) y el tamiz de 75µm (N° 200).

Limo: Es el suelo pasante del tamiz de 0.075mm (N° 200) y que tiene un valor de índice de plasticidad menor a 4 con una posición en la carta de plasticidad bajo la línea “A”.

Limo orgánico: Es un limo en donde su límite líquido disminuye a un 75% o menos cuando se realiza el ensayo en muestras secadas al horno al valor del límite líquido con muestras no secas al horno.

Arcilla: Es el suelo que pasa por el tamiz de 0.075mm (N°200), tiene un índice de plasticidad igual o mayor a 4, situada en la carta de plasticidad en o sobre la línea “A”.

Arcilla orgánica: Es la arcilla en donde su límite líquido disminuye a un 75% o menos, cuando se realiza el ensayo en muestras secadas al horno al vapor del límite líquido con muestras no secas al horno.

Turba: Es un suelo que tiene un color café oscuro a negro debido a que está compuesto por tejido vegetal y tiene una consistencia esponjosa con una textura que varía de fibrosa a amorfa.

Coefficiente de curvatura (Cc): Es la relación $(D_{30})^2 / (D_{10} * D_{60})$, donde D_{60} , D_{30} y D_{10} son los tamaños de partícula correspondientes a 60, 30 y 10 por ciento que o pasan en la curva de distribución de tamaño de partículas acumuladas, respectivamente.

Coefficiente de Uniformidad (Cu): La relación D_{60} / D_{10} , donde D_{60} , D_{30} y D_{10} son los diámetros de partículas correspondientes al 60 y 10 por ciento que pasan en la curva de distribución de tamaño de partículas acumuladas, respectivamente.

Procedimiento

Realizamos la granulometría utilizando los siguientes tamices: 75mm (3in), 19.0mm (3/4in), 4.75mm (N°4), 2.00mm (N°10), 425 μ m (N°40), 75 μ m (N°200); luego determinamos el límite líquido, límite plástico y contenido de humedad con los ensayos descritos anteriormente.

Primera Asignación

Si al realizar la granulometría más del 50% por peso pasa por el tamiz de 0.075mm (N°200) entonces estaríamos clasificando una arcilla, limo o mezcla de los dos. Para diferenciar una arcilla de un limo nos ubicamos con el límite líquido y el índice de plasticidad en la carta de plasticidad y determinamos si está abajo en o sobre la línea "A".

Si al realizar la granulometría vemos que menos del 50% por peso pasa el tamiz N°200 (0.075mm) entonces estaríamos clasificando una grava, arena o una mezcla de los dos por lo tanto asígnese como grava si menos del 50% por peso de la fracción retenida en el tamiz N°200 pasa el tamiz N°4 o asígnese como arena si más del 50% por peso de la fracción retenida en el tamiz N°200 pasa el tamiz N°4.

Asignación de símbolos

La clasificación debe proporcionar un solo símbolo, pero en caso de tener un porcentaje de finos entre el 5 y 12% o el índice de plasticidad está dentro de la parte rayada, entonces utilice doble símbolo separado por un guion (CL-ML), en el caso de que un grupo se encuentre cercano a otro aplique doble símbolo separado por una línea inclinada (CL/CH).

Los símbolos para suelos granulares son los siguientes: grava bien graduada (GW), grava probablemente graduada (GP), grava bien graduada con limo (GW-GM), grava bien graduada con arcilla (GW-GC), grava probablemente graduada con limo (GP-GM), grava probablemente graduada con arcilla (GP-GC), grava limosa (GM), grava arcillosa (GC), grava arcillo-limosa (GC-GM), arena bien graduada (SW), arena probablemente graduada (SP), arena bien graduada con limo (SW-SM), arena bien graduada con arcilla (SW-SC), arena probablemente graduada con limo (SP-SM), arena limosa (SM), arena arcillosa (SC), arena arcillo-limosa (SC-SM).

Los símbolos para suelos finos son los siguientes: arcilla magra (CL), arcilla limosa (CL-ML), limo (ML), arcilla orgánica o limo orgánico (OL), arcilla orgánica o limo orgánico (OH), arcilla altamente plástica (CH), Limo elástico (MH).

Clasificación

Con los resultados de los ensayos realizados anteriormente nos ubicamos en la siguiente tabla para realizar su clasificación y asignar el símbolo correcto.

Clasificación unificada de suelos

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO		
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS	Gravas limpias	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: $Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW. 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. Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$.	
		(sin o con pocos finos)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		
		Gravas con finos	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		
	MÁS de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	(apreciable cantidad de finos)	GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		
		ARENAS	Arenas limpias	SW		Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.
			(pocos o sin finos)	SP		Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.
	MÁS de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Arenas con finos	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		
	SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas:	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.		<5% -> GW, GP, SW, SP. >12% -> GM, GC, SM, SC. 5 al 12% -> casos límite que requieren usar doble símbolo. $Cu = D_{60}/D_{10} > 6$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3 Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW. 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
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.		
			OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.		
Límite líquido menor de 50		MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.			
Limos y arcillas:		CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.			
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada, limos orgánicos.			
		PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.			



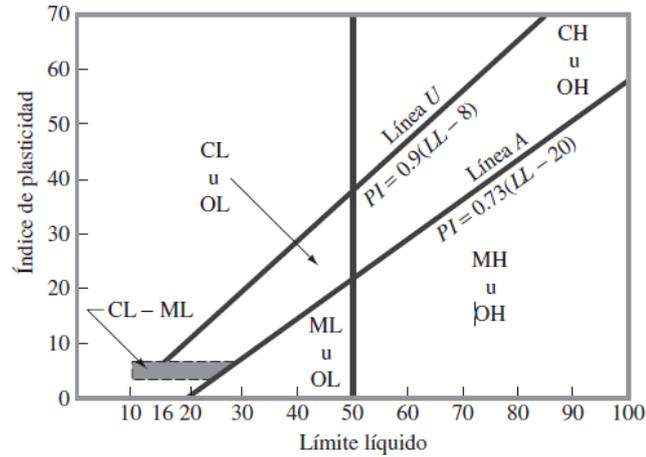
Fuente: (Montejo , 2002)

Carta de plasticidad

Esta carta indica en el eje de las ordenadas el índice de plasticidad y en el eje de las abscisas el límite líquido que se utiliza para clasificar suelos de grano fino con porciones de grano grueso, también le permite dividir por medio de la línea “A” a las arcillas de los limos, ubicando en o sobre la línea “A” a las arcillas y bajo la línea “A” a los limos.

La gráfica de la línea “A” obedece a la ecuación $IP=0.73 (LL-20)$ mientras que la línea empírica “U” obedece a la ecuación $IP=0.9 (LL-8)$. También existe una zona rayada conocida como la zona CL-ML limitada por $IP=4$, e $IP=7$, y la línea “A”.

Carta de plasticidad



Fuente: (DAS, 2015)

Procedimiento para la clasificación de suelos de grano grueso

(Más del 50% retenido en el tamiz N°200)

“Si el 12% o menos del espécimen de ensayo pasa por el tamiz N° 200, grafique la distribución de partículas acumulativas, y calcule el coeficiente de uniformidad C_u y coeficiente de curvatura C_c como se da en las siguientes ecuaciones:”

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{Ec [6]}$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad \text{Ec [7]}$$

“Si menos del 5% del espécimen de ensayo pasa por el tamiz N° 200, clasifique el suelo como una grava bien distribuida GW o arena bien distribuida SW, si el C_u es mayor o igual que 4.0 para grava o mayor que 6.0 para arena y C_c es por lo menos 1.0 pero no mayor de 3.0.”

“Si menos del 5% del espécimen de ensayo pasa por el tamiz N° 200, clasifique el suelo como una grava probablemente distribuida GP o arena probablemente distribuida SP, si tanto el criterio de Cu y Cc para suelos bien graduados no se cumple.”

“Si más del 12% del espécimen de ensayo pasa por el tamiz N° 200, el suelo será considerado de grano grueso con finos. Los finos son determinados tanto como arcillosos o limosos en base a la carta de plasticidad.”

“Clasifique el suelo como una grava arcillosa GC o arena arcillosa SC si los finos son arcillosos, esto es, la posición en la carta de plasticidad, cae en o sobre la línea “A” y el índice de plasticidad es mayor de 7.”

“Clasifique el suelo como una grava limosa GM o arena limosa SM si los finos son limosos, es decir, la posición en la carta de plasticidad, cae por debajo de la línea “A” y el índice de plasticidad es menor de 4.”

“Si los finos se grafican como arcilla limosa CL-ML clasifique al suelo como limoso, grava limosa GC-GM si es una grava o una arena arcillosa SC-SM si es una arena.”

“Si 5 al 12% de la muestra de ensayo pasa el tamiz N°200 del suelo una clasificación dual utilizando símbolos de dos grupos.”

“El símbolo del primer grupo corresponderá al de grava o arena con menos del 5% de finos (GW, GP, SW, SP) y el segundo símbolo corresponderá a una grava o arena que contenga más del 12% de finos (GC, GM, SC, SM).”

“El nombre de grupo corresponderá al primer símbolo del grupo más “con arcilla” o “con limo” para indicar las características de plasticidad de los fino. Por ejemplo, grava bien distribuida con arcilla, GW-GC; arena pobremente distribuida con limo SP-SM.”

“Si el espécimen es predominante arena o grava, pero contiene el 15% o más de otro constituyente de grano grueso, e agregará las palabras “con grava” o “con arena” al nombre del grupo. Por ejemplo, grava pobremente distribuida con arena, arena arcillosa con grava.”

Procedimiento para la clasificación de suelos de grano fino

(50% o más del peso seco pasa por el tamiz N°200)

“El suelo es una arcilla inorgánica si la posición en la carta de plasticidad cae en o sobre la línea “A”, el índice de plasticidad es mayor de 4 y la presencia de materia orgánica no influye en el límite líquido.”

“Clasifique el suelo como arcilla magra CL, si el límite líquido es menor de 50. Vea el área identificada como CL en la carta de plasticidad.”

“Clasifique el suelo como arcilla altamente plástica, CH si el límite líquido es de 50 o mayor. Vea el área identificada como CH en la carta de plasticidad.”

“Clasifique el suelo como arcilla limosa CL-ML si la posición del gráfico de índice de plasticidad versus límite líquido cae o está sobre la línea “A” y el índice de plasticidad está en la escala de 4 a 7. Vea el área identificada como CL-ML en la carta de plasticidad.”

“El suelo es un limo inorgánico si la posición del índice de plasticidad versus el gráfico del límite líquido, cae por debajo de la línea “A” o el índice de plasticidad es menor de 4 y la presencia de materia orgánica no influye en el líquido.”

“Clasifique al suelo como un limo ML, si el límite líquido es menor de 50. Vea el área identificada como ML en la carta de plasticidad.”

“Clasifique el suelo como un limo elástico MH, si el límite líquido es de 50 o mayor. Vea en el área identificada como MH en la carta de plasticidad.”

“El suelo es un limo orgánico o arcilla si la materia orgánica está presente en suficientes cantidades para influir en el límite líquido.”

“El suelo es un limo orgánico o arcilla orgánica si el límite líquido después del secado al horno es menor del 75% del límite líquido del espécimen natural determinado antes de secar al horno.”

“Clasifique el suelo como una arcilla orgánica o limo orgánico OH si el límite líquido (no secado al horno) es de 50 o mayor. Clasifique el suelo como limo orgánico OH si la posición del índice de plasticidad versus el gráfico del límite líquido cae por debajo de la línea “A”. Clasifique el suelo como una arcilla orgánica OH si la posición del índice de plasticidad versus el gráfico de límite líquido cae en o sobre la línea “A”. Vea el área identificada como OH en la carta de plasticidad.”

“Si menos del 30% pero mayor al 15% del espécimen de ensayo es retenido en el tamiz N°200, las palabras “con arena” o “con grava” será agregada al nombre de grupo. Por ejemplo, la arcilla magra con arena CL, limo con grava ML. Si el porcentaje de arena es igual al porcentaje de grava, use “con arena”.”

“Si el 30% o más del espécimen de prueba es retenido en el tamiz N° 200, las palabras “arenoso” o “gravoso” serán agregadas al nombre del grupo. Agregue la palabra “arenoso” si el 305 o más del espécimen de ensayo es retenido en el tamiz N°200 y la porción de grano grueso es predominante arena. Agregue la palabra “gravoso” si el 30% o más del espécimen de ensayo es retenido en el tamiz N°200 y la porción de grano grueso es predominante grava.”

Método de clasificación de suelos AASHTO

Norma referencial: ASTM D 3282-93.

Muestra

Para seleccionar la muestra adecuada debemos secar la muestra de campo al aire libre y luego pesarla. Separar la muestra de campo en dos fracciones en el tamiz de 75mm (3") y pesar la fracción retenida. Calcular el porcentaje de material mayor de 75mm de la muestra y anotar el valor en porcentaje como información complementaria. Por ultimo mezclar la fracción que pasa por el tamiz de 75mm (Torres Merino, 2006).

Equipo

Los materiales necesarios para determinar los límites de consistencia y análisis granulométrico.

Procedimiento

Antes de realizar la clasificación por el método AASHTO se debe calcular los límites de consistencia, la humedad natural y el ensayo granulométrico con los siguientes tamices: 2mm (N°10), 425 μ m (N°40) y el 75 μ m (N°200).

Distribución granulométrica

Según Das (2015), para asignar como una grava el material tiene que pasar el tamiz 3" y ser retenido en el tamiz N°10; para asignar como una arena el material tiene que pasar el tamiz N°10 y ser retenido en el tamiz N°200; para asignar como una arcilla o limo tiene que pasar el tamiz N°200 con condiciones de plasticidad para los limos $IP \leq 10$ mientras que para la arcilla $IP \geq 11$.

Índice de grupo

Es un número entero positivo colocado en paréntesis a continuación de la clasificación AASHTO y para su cálculo utilizamos la siguiente expresión matemática:

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(IP - 10) \quad \text{Ec [8]}$$

F: porcentaje pasado por el tamiz N°200

LL: límite líquido

IP: índice de plasticidad

Según Das (2015), el primer término de la ecuación, es decir $(F-35) [0.2 + 0.005(LL-40)]$, es el índice de grupo parcial determinado por el límite líquido mientras que el segundo término, $0.01 (F-15) (PI-10)$, es el índice de grupo parcial determinado a partir del índice de plasticidad. A continuación, se presentan algunas reglas para la determinación del índice de grupo:

- Si la ecuación (8) da un valor negativo para IG, se toma como 0.
- El índice de grupo calculado a partir de la ecuación (8) se redondea al número entero más próximo
- No hay límite superior para el índice de grupo.
- El índice de grupo de los suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A- 1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 siempre es 0.
- Al calcular el índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, utilice el índice de grupo parcial para IP, o

$$IG = 0.01(F - 15)(IP - 10) \quad \text{Ec [9]}$$

Asignación de grupo

Si más del 35% de la granulometría pasa a través del tamiz N° 200, los suelos son de material limoso o arcilloso y pertenecen a los grupos A-4, A-6, A-6, A-7-5 y A-7-6. Mientras que si menos del 35% de la granulometría pasa por el tamiz N° 200 pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6 y A-2-7 (DAS, 2015).

Clasificación

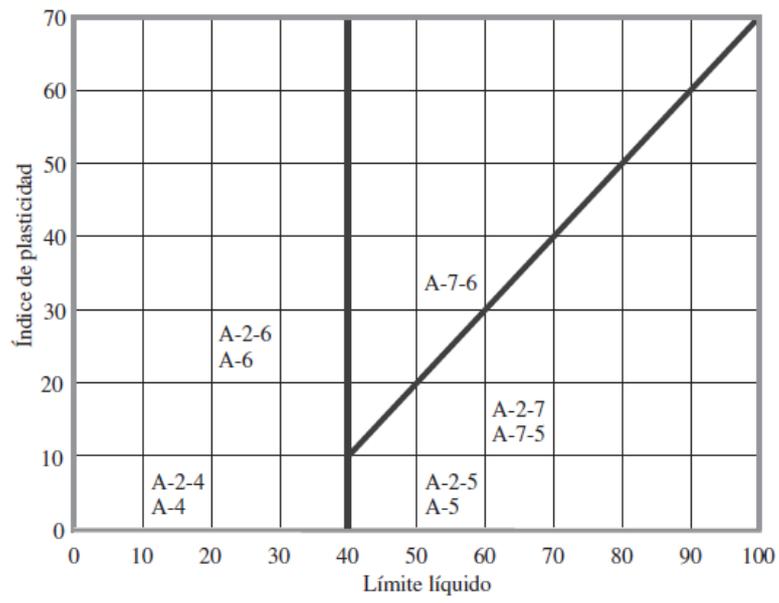
Para la clasificación del suelo es necesario tener los datos de los límites de consistencia y granulometría, de esta manera podemos asignar un nombre al suelo guiándonos en las siguientes figuras:

Sistema de clasificación de suelos AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)						Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)				
	A-1		A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b									
Porcentaje que pasa: N° 10 (2mm) N° 40 (0,425mm) N° 200 (0,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	- - 35 máx			- - 36 mín				
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40 Límite líquido Índice de plasticidad	- 6 máx		- NP (1)	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín (2) 11 mín
Constituyentes principales	Fracmentos 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, 2015)

Límite líquido y rangos de índice de plasticidad para materiales limo-arcillosos



Fuente: (DAS, 2015)

Ensayo de densidad máxima (PROCTOR estándar y modificado)

Norma referencial: ASTM D-698, ASTM D-1557.

Muestra

Se debe tener al menos unos 2500 a 3000gr de muestra pasante del tamiz $\frac{3}{4}$ " para realizar este ensayo, cada muestra deberá estar preparada con su humedad óptima con el objetivo de que el ensayo sea exitoso.

Equipo

Recipientes: Este debe ser el adecuado en donde se pueda mezclar el material con el agua necesaria para realizar el ensayo.

Probeta: Necesaria para medir la cantidad de agua que se le va a agregando al material para alcance su humedad óptima.

Martillo de compactación: Es de metal con un peso de 2.5kg para el PROCTOR estándar y de 4.536kg para el modificado, el mismo que permite compactar el suelo deseado.

Moldes para PROCTOR: Debe ser de metal con la forma y dimensión establecida para dicho ensayo según la norma referencial y también debe tener un collar que se ajuste con facilidad para poder obtener el volumen y la altura deseada luego de la compactación.

Horno de secado: Debe ser regulado termostáticamente y capaz de mantener una temperatura constante de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Balanzas: 3 balanzas sensibles a 1, 0.1 y 0.01gr.

Recipientes para cálculo de humedad: Estos deben ser de un tamaño adecuado, fabricados de un material resistente a la corrosión y que no alteren su masa o se desintegren debido al fenómeno repetitivo de calentado y enfriado. Estos recipientes deben identificarse mediante numeración clara.

Equipo utilizado para realizar el ensayo PROCTOR



Fuente: Angamarca, Romero

Procedimiento

A la muestra pasada por el tamiz $\frac{3}{4}$ " se mezcla con el agua necesaria para alcanzar la humedad deseada, considerando el agua contenida en la mezcla.

Se pesa el molde y su base, luego colocamos el collar ajustable sobre el molde para colocar 3 capas iguales de suelo en caso del PROCTOR estándar y se compactará con el martillo de 2.5kg a una caída de 304.8mm mientras que para el PROCTOR modificado se deberá colocar 5 capas iguales que se compactará con el martillo de 4.536kg a una caída de 457.2mm. Cada capa será compactada con 25 golpes.

Sacamos el collar ajustable y enrasamos la superficie del molde con una regla metálica para en seguida proceder a pesar la masa de suelo compactada. Abrimos el molde y obtenemos una muestra pequeña de suelo compactado para calcular el contenido de humedad.

Se repite el proceso mínimo tres veces con diferentes contenidos de agua hasta que aparezca un decrecimiento de la densidad húmeda.

Cálculos

Calculamos el peso unitario húmedo de compactación de cada molde con la siguiente expresión matemática:

$$\gamma = \frac{W_1 - W_m}{V_m} \quad \text{Ec [10]}$$

Donde:

W_1 : peso del molde más el suelo compactado

W_m : peso del molde

V_m : volumen del molde

Determinamos el contenido de humedad de cada molde utilizando el ensayo de humedad anteriormente descrito mediante la fórmula (3) y calculamos el peso unitario seco con la siguiente formula:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W\%}{100}} \quad \text{Ec [11]}$$

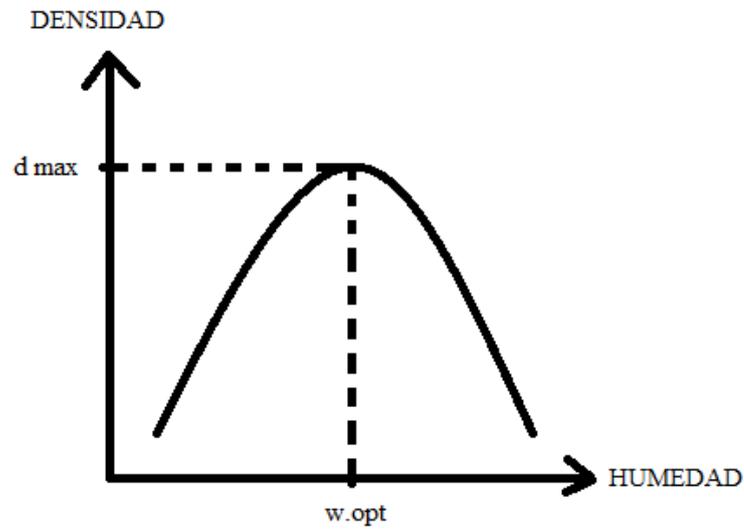
Donde:

W (%): porcentaje de contenido de humedad.

γ : peso unitario húmedo.

Por último, trazamos la curva de compactación PROCTOR que nos permitirá obtener la densidad máxima y la humedad óptima del suelo analizado.

Curva de compactación PROCTOR



Nota: Este ensayo fue descrito con el equipo existente del laboratorio en donde se realizó las respectivas pruebas.

Ensayo de relación de soporte del suelo (CBR de laboratorio)

Norma referencial: AASHTO T-193.

Muestra

Se debe tener al menos unos 5500gr de muestra pasante del tamiz $\frac{3}{4}$ " para realizar este ensayo, cada muestra deberá estar preparada con su humedad óptima con el objetivo de que el ensayo sea exitoso.

Equipo

Recipientes: Este debe ser el adecuado en donde se pueda mezclar el material con el agua necesaria para realizar el ensayo.

Martillo de compactación: Es de metal con un peso de 4.536kg para, el mismo que permite compactar el suelo deseado.

Molde de compactación: 3 moldes de metal con la forma y dimensión establecida para dicho ensayo según la norma referencial y también debe tener un collar que se ajuste con facilidad para poder obtener el volumen y la altura deseada luego de la compactación.

Pesas: Deben ser metálicas con un peso de 2.7kg (5lb) en forma de herradura o circulares.

Disco espaciador: metálico de forma redonda con 6" de diámetro y 2" de altura.

Placa perforada: de 15 cm de diámetro con vástago en el centro.

Trípode con un dial adaptado para medir el esponjamiento.

Marshall (prensa): que tenga un pistón de 3 pulgadas cuadradas de sección con una capacidad de 3000kg (6600lb), en la que se pueda regular la velocidad de desplazamiento del pistón a 0,05" por minuto.

Tanque con agua: Debe tener un volumen que permita sumergir los moldes.

Horno de secado: Debe ser regulado termostáticamente y capaz de mantener una temperatura constante de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Balanzas: 3 balanzas sensibles a 1 g, 0.1 y 0.01.

Recipientes para cálculo de humedad: Estos deben ser de un tamaño adecuado, fabricados de un material resistente a la corrosión y que no alteren su masa o se desintegren debido al fenómeno repetitivo de calentado y enfriado. Estos recipientes deben identificarse mediante numeración clara.

Equipo utilizado para realizar el ensayo CBR



Fuente: Angamarca, Romero

Procedimiento

Pesamos cada uno de los moldes vacíos y anotamos su peso, sus medidas correspondientes en este caso diámetro, altura y volumen. Armamos los anillos de extensión a las placas de base, pero antes se coloca el disco espaciador sobre la placa de base en cada uno de los moldes. Cada molde tendrá su numeración.

Se procede a colocar en cada uno de los moldes de compactación 3 capas de suelo, pero antes se coge una muestra entre 20 a 50gr para calcular el contenido de humedad. En este caso cada molde recibirá una diferente compactación, es decir el primer molde será compactado con 3 capas de 55 golpes, el segundo molde será compactado con 3 capas de 25 golpes y el tercer molde con 3 capas de 10 golpes.

Luego quitamos el anillo de cada uno de los moldes compactados y nivelamos el suelo con una regla metálica, separamos la placa base y el disco espaciador.

Se coloca papel periódico o papel filtro sobre la placa base y se gira el molde de tal manera que la parte superior quede abajo. Se fija nuevamente el cilindro a la placa base y procedemos a pesar el molde con la muestra compactada.

Para calcular el esponjamiento colocamos la placa perforada con vástago ajustable y situamos las pesas en forma de herradura o circulares. Con el dial ajustado en el trípode se procede a encerar las muestras compactadas y en seguida colocamos los moldes en el tanque observando que queden totalmente tapados con el agua. Luego de 3 a 4 días se saca los moldes dejando que se escurra aproximadamente 15 minutos y se procede a pesar los mismos e inmediatamente con el dial se observa el esponjamiento ocurrido.

Realizamos el ensayo de penetración que consiste en situar las pesas en forma de herradura o circulares sobre la muestra y luego colocar el molde con la muestra en la prensa para encerarla nuevamente con el dial y centrar el pistón que la penetrará. Encendemos la máquina y procedemos a anotar la carga que soporta el suelo según la penetración que se vaya dando. Una vez que el suelo ha alcanzado su máxima carga retiramos el molde de la prensa, en seguida quitamos las pesas y la placa base del molde para desmoronar el suelo compactado.

Finalmente se coge una muestra entre 25 a 50 gr del suelo desmoronado para calcular el contenido de humedad después del remojo. Todos estos datos se anotan en las hojas de ensayo

Cálculos

Para el cálculo del esponjamiento utilizamos la siguiente expresión matemática:

$$\% E = \frac{E}{4.65\text{pulg}} \times 100 \quad \text{Ec [12]}$$

Donde:

E: lectura del dial dividido para 1000.

4.65: altura del molde en pulgadas.

Se determina el porcentaje de CBR para los 55, 25 y 10 golpes con la siguiente expresión matemática:

$$\% \text{ CBR} = \frac{\text{Esfuerzo (suelo)}}{\text{Esfuerzo(patrón)}} \times 100 \quad \text{Ec [13]}$$

Según Torres (2006), se debe trazar la curva de carga vs penetración, si esta es uniforme se determina el CBR para un esfuerzo del suelo de 0.1” a 0.2” de penetración del pistón para proceder posteriormente al cálculo del porcentaje de CBR. Si la curva no es uniforme es decir tiene concavidad esta debe ser corregida trazando una línea en la parte de mayor pendiente de curva prolongándola hasta cortar con el eje de penetración, siendo así el lugar de corte el nuevo cero que permitirá determinar el CBR corregido trasladándose a 0.1” a 0.2” de penetración. Si se desea calcular el CBR al 95% PROCTOR se debe trazar una curva con los tres CBR determinados y sus respectivos pesos unitarios secos ingresando el 95% del peso unitario seco máximo del suelo para determinar el valor deseado.

Nota: Este ensayo fue descrito con la maquinaria existente del laboratorio en donde se realizó las respectivas pruebas.

Ensayo de compresión simple

Norma referencial: AASHTO T 208, ASTM D 2166.

Muestra

Para realizar este ensayo en el laboratorio la muestra de campo se debe pasar por el tamiz N° 4, luego debemos preparar unos 200 a 250gr con la humedad óptima del suelo.

Equipo

Molde: Debe ser metálico, con dimensiones de 11 cm de altura y 35mm de diámetro.

Martillo: Metálico con un peso de 0.35kg.

Marshall: Es una prensa de doble anillo con una capacidad de 5000 kg.

Balanza: Con una precisión de 0,1.

Recipientes para cálculo de humedad: Estos deben ser de un tamaño adecuado, fabricados de un material resistente a la corrosión y que no alteren su masa o se desintegren debido al fenómeno repetitivo de calentado y enfriado. Estos recipientes deben identificarse mediante numeración clara.

Funda de látex: Para evitar que la muestra se deteriore antes del ensayo.

Equipo utilizado para realizar el ensayo de compresión simple



Fuente: Angamarca, Romero

Procedimiento

EL molde dispuesto en el laboratorio se tiene que dividir en 5 espacios para colocar 5 capas de la muestra seleccionada, las mismas que serán compactadas con el martillo hasta ajustarse a cada espacio señalado.

Una vez realizada la muestra se retira el molde, protegiéndola con la funda látex para en seguida realizar la compresión simple en el Marshall hasta que la muestra fracase. Todos los datos que se van dando al dar carga a la muestra en el Marshall se anota en las hojas de ensayo.

Para finalizar se realiza el cálculo del contenido de humedad.

Nota: Este ensayo fue descrito con la maquinaria existente laboratorio en donde se realizó las respectivas pruebas.

Cálculos

Primero calculamos la deformación axial con la siguiente expresión matemática:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \quad \text{Ec [14]}$$

Donde:

ΔL : Cambio de longitud del espécimen como se lee a partir del dial en (mm).

L_o : Longitud inicial de la muestra para el ensayo (mm).

Luego encontramos el área transversal media para una carga aplicada utilizando:

$$A = A_o(1 - \varepsilon_1) \quad \text{Ec [15]}$$

Donde:

A_o : Área transversal media inicial de la muestra (cm²)

ε_1 : Deformación axial para una carga dada, %

Por último, determinamos el esfuerzo de compresión y la resistencia al cortante mediante las siguientes expresiones matemáticas:

$$q_u = \frac{P}{A} \quad \text{Ec [16]}$$

$$C_u = \frac{q_u}{2} \quad \text{Ec [17]}$$

Donde:

P: Carga aplicada en (kg).

A: Área transversal media correspondiente (cm²).

q_u : Esfuerzo de compresión.

Anexo 2: Definición de conceptos

Granulometría

El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificado en función de su tamaño. Para clasificar los diferentes suelos en función de su tamaño se utiliza una serie de tamices que cada vez tienen una abertura más pequeña. (Ingenieros, 1975).

Tamaños estándar de tamices

Tamiz núm.	Abertura (mm)
4	4.750
6	3.350
8	2.360
10	2.000
16	1.180
20	0.850
30	0.600
40	0.425
50	0.300
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
170	0.088
200	0.075
270	0.053

Fuente: (DAS, 2015)

Las partículas de un suelo se pueden clasificar en función de su tamaño, dándoles un nombre a los diferentes grupos según la escala dada por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Según la escala las gravas pertenecen a las partículas más gruesas, incluyendo todos los granos mayores que el tamiz No. 4 (4.75 mm) mientras que la arena abarca todas las partículas menores que el tamiz No. 4 (4.75 mm) y mayores que el No. 200 (0.075 mm).

Todos los granos menores que el tamiz No. 200 (0.075 mm) son considerados como finos, los mismos que se subdividen en limos que son partículas mayores que 0.002 mm, de baja plasticidad y arcillas que son menores que 0.002 mm, aunque es muy difícil de clasificarlos, ya que existen suelos más finos que 0.002 mm que no necesariamente son arcillas, este sistema comúnmente es utilizado por los ingenieros geotécnicos (Sandra García, María Ramírez, 2006).

A los suelos también se les puede clasificar por otro método llamado sistema AASHTO que generalmente es utilizado para obras viales que clasifica los suelos en siete grupos: del A-1 al A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares donde 35% o menos de las partículas pasan por la malla No. 200. Los suelos de los que más del 35% pasan por la malla No. 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla. La AASHTO también clasifica a los suelos altamente orgánicos (turba) dentro del grupo A-8, estos materiales se clasifican en base a una inspección visual y no depende del porcentaje que pasa la malla No. 200, límite líquido o índice de plasticidad (Sandra García, María Ramírez, 2006).

Color

Según Dorronoso Fernandez, 2015 el color es una propiedad muy usada al estudiar los suelos ya que se pueden observar a simple vista y a partir de esta visualización se pueden deducir rasgos importantes. El color se mide por comparación a unos colores estándar establecidos en las tablas de Munsell, entre los más comunes tenemos:

Color oscuro o negro: el suelo tiene este color debido a la cantidad de materia orgánica (cuanto más oscuro es el horizonte superficial más contenido en materia orgánica se le supone). Cuando está localizado en nódulos y películas se debe a los compuestos de hierro y manganeso.

Color blancuzco: el suelo presenta este color debido a los carbonatos, al yeso o sales más solubles. En los horizontes eluviales es consecuencia del lavado de las arenas (constituidas por cuarzo y en menor proporción, por feldespatos).

Colores pardos amarillentos: el suelo muestra este color por la presencia de óxidos de hierro hidratados y están unidos a la arcilla como a la materia orgánica.

Colores rojos: el suelo presencia este color debido a óxidos férricos tipo hematites, se presentan en medios cálidos con estaciones de intensa y larga sequía.

Permeabilidad

Cuando un material presenta o contiene vacíos continuos es permeable. Dichos vacíos existen en todos los suelos y en todos los materiales de construcción no metálicos comprendidos el granito sano y la pasta de cemento (Karl Terzaghi, Ralph B Peck, 1995).

Porosidad

La porosidad aparece por consecuencia de la textura y estructura del suelo, es decir su sistema de espacios vacíos o poros. Los poros en el suelo se distinguen en: macroscópicos y microscópicos. Los poros macroscópicos son de notables dimensiones, y están generalmente llenos de aire, por tanto, el agua los atraviesa rápidamente debido a la fuerza de la gravedad; los microscópicos en cambio están ocupados en gran parte por agua retenida por las fuerzas capilares. Los terrenos arenosos tiene una gran cantidad de macro poros, permitiendo un paso rápido del agua, pero con una muy baja capacidad de retener el agua, mientras que los suelos arcillosos son ricos en micro poros, y pueden manifestar una escasa aeración, pero tienen una gran capacidad para retener el agua. (Cevallos Luna, 2012)

Contenido de humedad

La humedad o contenido de humedad del suelo es la relación del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas, expresada en porcentaje (Armijo Lucio, 2010).

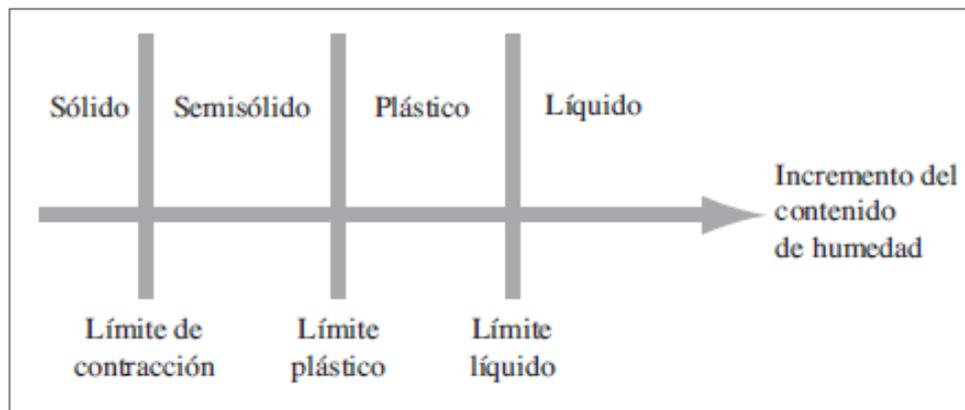
Límites de Atterberg

Los Límites de Atterberg hacen referencia al contenido de humedad en porcentaje, a los cuales los suelos finos modifican su comportamiento como conjunto es decir, a un muy bajo contenido de agua el suelo tiene un comportamiento de sólido frágil mientras que cuando el contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen como un líquido. (Chacha Pesántez. & Emmanuel, 2010)

Los límites de Atterberg es decir el límite líquido y límite plástico son calculados en laboratorio siguiendo la norma ASTM D 4318. Los límites líquido y plástico son determinados mediante pruebas de laboratorio simples que facilitan información sobre la naturaleza de los suelos. Estas pruebas son usadas por ingenieros para correlacionar varios parámetros físicos del suelo así como para la identificación del mismo, utilizando la Carta de plasticidad. (Sandra García, Maria Ramírez, 2006)

Por lo tanto, mientras más agua contenga el suelo la naturaleza del comportamiento del mismo se clasifica arbitrariamente en cuatro estados básicos que son: sólido, semisólido, plástico y líquido. (Chacha Pesántez. & Emmanuel, 2010)

Límite de Atterberg



Fuente: (DAS, 2015)

Compactación

La compactación es un método utilizado para determinar la densidad del suelo mediante una acción mecánica, busca disminuir la cantidad de vacíos entre partículas y mejorar notablemente las propiedades de resistencia del suelo, es decir aumenta la capacidad portante y disminuye los posibles asentamientos, así como también mejora la estabilidad en taludes. El proceso de compactación representa una disminución de volumen ya que busca eliminar el aire para alcanzar en máximo peso unitario (Torres Merino, 2006).

Densidad máxima y humedad óptima

El incremento de humedad y la reducción de porosidad, nos lleva a un estado límite en el que se forma una red continua de agua. Más allá de cierto contenido de humedad, el agua comienza a tener una continuidad que cierra los poros comunicados, esto hace que el aire quede encerrado en forma de burbujas aisladas. Éstas son retenidas en cada poro y no es posible lograr una mayor densificación en el suelo para un mismo trabajo mecánico.

A partir de este estado, surge un neto cambio de propiedades por la existencia de un componente perfectamente elástico (aire ocluido). Su presencia implica que la permeabilidad al aire tienda a valores mínimos, dado que las burbujas solo pueden drenar junto con el agua o bien deslizándose dentro del conjunto (Cedeño Plaza, 2013).

Resistencia al corte

La resistencia cortante de un suelo se puede definir como 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, 2015)

CBR

El CBR nos permite calcular la resistencia al cortante del suelo de manera indirecta bajo condiciones de una densidad máxima y una humedad óptima cuidadosamente controladas y se representa como la relación porcentual entre el esfuerzo necesario para penetrar un embolo en el suelo a ensayarse con el esfuerzo de penetración en una muestra patrón de piedra triturada. El CBR calcula la carga necesaria para penetrar un pistón de 3pulgadas cuadradas determinadas a una velocidad previamente fijada en una muestra compactada de suelo después de haberla sumergido en agua durante tres a cuatro días y de haber medido su hinchamiento. La muestra se sumerge en el agua para prever la hipotética situación de acumulación de humedad en el suelo después de la construcción (Torres Merino, 2006).

Ensayo de corte directo

Es uno de los métodos más simples, más antiguos y más usados que tiene como finalidad determinar la resistencia de una muestra de suelo, sometida a fatiga y deformaciones que simulen las que existen o existirán en el terreno producto de la aplicación de una carga (Sandra García, Maria Ramírez, 2006).

Ensayo de compresión simple

También llamado ensayo no confinado debido a que solo la presión atmosférica rodea a la muestra. Este ensayo tiene varias aplicaciones, la más importante es que podemos determinar la resistencia al corte de una arcilla. Como se explica en la teoría de Mohr-Coulomb, el corte de un material se produce para una combinación de esfuerzos normales y esfuerzos de corte. A mayor compresión, mayor esfuerzo de corte necesario para llegar a la falla (Coronel Jones, 2013).

Anexo 3: Normas internacionales otorgadas a la EMAC EP



ICONTEC Certifica que el Sistema de Gestión de:
ICONTEC Certifies that the Management System of:
**EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE ASEO DE
CUENCA EMAC - EP**

Avenida Solano y Avenida 12 de Abril S/N, Edificio San Vicente de Paúl Cuenca , Azuay, Ecuador
Véase el alcance del sistema de gestión para cada una de las sedes diferentes a la sede principal
cubiertas por la certificación en el anexo

Ha sido evaluado y aprobado con respecto a los requisitos especificados en:
Has been assessed and approved based on the specified requirements of:

ISO 9001:2008

Este Certificado es aplicable a las siguientes actividades:
This certificate is applicable to the following activities:

Prestación de Servicios de Barrido y Limpieza, Recolección y Disposición Final de Residuos Sólidos no Peligrosos en el Relleno Sanitario Pichacay, Recuperación y Reciclaje de Residuos Sólidos Inorgánicos, Producción de Compost y Humus, Gestión de Escombros y Residuos de Construcción, Gestión de Residuos Sólidos Infecciosos y Mantenimiento y Recuperación de Áreas Verdes en El Cantón Cuenca Ecuador

Provision of Cleaning and Sweeping Services, Collection and Disposal of Non-Hazardous Solid Waste at The Pichacay Landfill, Recovery and Recycling of Inorganic Solid Waste, Humus ad Compost Production, Management of Construction Debris, Management of Infectious Solid Waste, and Recovery and Maintenance of Green Space in The City of Cuenca, Ecuador

Esta aprobación está sujeta a que el sistema de gestión se mantenga de acuerdo con los requisitos especificados, lo cual será verificado por ICONTEC
This approval is subject to the maintenance of the management system according to the specified requirements, which will be verified by ICONTEC

Certificado: SC-CER111429
Certificate

Fecha de Aprobación: 2014 05 09
Approval Date:

Fecha Última Modificación:
Last Modification Date

Fecha de Vencimiento: 2017 05 08
Expiration Date



CERTIFICACIÓN DE
SISTEMAS DE GESTIÓN
DE LA CALIDAD
N° OAE OCSC C 10-003



99022680

ES-PS-01-F-012 Versión 01
Este certificado es propiedad de ICONTEC y debe ser devuelto cuando sea solicitada

ICONTEC INTERNACIONAL carrera 37 nro. 52 - 85, Bogotá D.C., Colombia

Aprobado 2013-04-26


Directora De Evaluación De La Conformidad
Conformity Assessment Director



IQNet and
ICONTEC

hereby certify that the organization

**EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE ASEO DE
CUENCA EMAC - EP**

Avenida Solano y Avenida 12 de Abril S/N, Edificio San Vicente de Paúl Cuenca , Azuay, Ecuador
Véase el alcance del sistema de gestión para cada una de las sedes diferentes a la sede principal
cubiertas por la certificación en el anexo

for the following field of activities:

**Prestación de Servicios de Barrido y Limpieza, Recolección y Disposición Final de Residuos
Sólidos no Peligrosos en el Relleno Sanitario Pichacay, Recuperación y Reciclaje de Residuos
Sólidos Inorgánicos, Producción de Compost y Humus, Gestión de Escombros y Residuos de
Construcción, Gestión de Residuos Sólidos Infecciosos y Mantenimiento y Recuperación de
Áreas Verdes en El Cantón Cuenca Ecuador**

**Provision of Cleaning and Sweeping Services, Collection and Disposal of Non-Hazardous Solid
Waste at The Pichacay Landfill, Recovery and Recycling of Inorganic Solid Waste, Humus ad
Compost Production, Management of Construction Debris, Management of Infectious Solid
Waste, and Recovery and Maintenance of Green Space in The City of Cuenca, Ecuador**

has implemented and maintains a

Quality Management System

which fulfills the requirements of the following standard

ISO 9001:2008

Issued on: 2014 05 09

Validitv date: 2017 05 08

Registration Number: CO-SC-CER111429



Michael Drechsel
Michael Drechsel
President of IQNet

María Zulema Vélez Jara
María Zulema Vélez Jara
Executive Director of ICONTEC



IQNET PARTNERS:

AENOR SPAIN AFNOR CERTIFICATION FRANCE AIB-VIN OTTE INTERNATIONAL BELGIUM ANICE MEXICO APCER PORTUGAL CCC CYPRUS
 CISQ ITALY CQC CHINA CQM CHINA CQS CZECH REPUBLIC CRQ CERT CROATIA PQS HOLDING GMBH GERMANY DS DENMARK
 ELIOT GREECE FCAY BRAZIL FONDONORMA VENEZUELA ICONTEC COLOMBIA IMMC MEXICO
 INSPECTA CERTIFICATION FINLAND IRAM ARGENTINA JQA JAPAN KFK KOREA MSZT HUNGARY NEMKO AS NORWAY NSAI IRELAND
 PCB POLAND QUALITY AUSTRIA AUSTRIA RQ RUSSIA SH ISRAEL SIQ SLOVENIA SIRIM QIS INTERNATIONAL MALAYSIA SQS SWITZERLAND
 SRAC ROMANIA TEST ST PETERSBURG RUSSIA TSE TURKEY YUOS SERBIA



ICONTEC certifica que el Sistema de Gestión de:
ICONTEC certifies that the Management System of:

EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE ASEO DE CUENCA EMAC - EP

Avenida Solano y Avenida 12 de Abril S/N, Edificio San Vicente de Paúl Cuenca, Azuay, Ecuador
Véase el alcance del sistema de gestión para cada una de las sedes diferentes a la sede principal
cubiertas por la certificación en el anexo

ha sido evaluado y aprobado con respecto a los requisitos especificados en:
has been assessed and approved based on the specified requirements of:

ISO 14001:2004

Este Certificado es aplicable a las siguientes actividades:
This certificate is applicable to the following activities:

**Disposición final de residuos sólidos no
peligrosos en el Relleno Sanitario de Pichacay
Final disposal of no hazardous solid waste of
the Pichacay Sanitary Landfill**

Esta aprobación está sujeta a que el sistema de gestión se mantenga de acuerdo
con los requisitos especificados, lo cual será verificado por ICONTEC
This approval is subject to the maintenance of the management system according to
the specified requirements, which will be verified by ICONTEC

Certificado SA 146-1
Certificate

Fecha de Aprobación: 2005 06 29
Approval Date:

Fecha Última Modificación: 2014 05 09
Last Modification Date

Fecha de Vencimiento: 2017 06 28
Expiration Date



ACREDITADO ISO / IEC17021:2006
09-CSG-001

Directora de Evaluación de la Conformidad
Conformity Assessment Director



THE INTERNATIONAL CERTIFICATION NETWORK

CERTIFICATE

**IQNet and
ICONTEC**

hereby certify that the organization

EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE ASEO DE CUENCA EMAC - EP

Avenida Solano y Avenida 12 de Abril S/N, Edificio San Vicente de Paúl Cuenca, Azuay, Ecuador
Véase el alcance del sistema de gestión para cada una de las sedes diferentes a la sede principal
cubiertas por la certificación en el anexo

for the following field of activities

**Disposición final de residuos sólidos no
peligrosos en el Relleno Sanitario de Pichacay**

**Final disposal of no hazardous solid waste of
the Pichacay Sanitary Landfill**

has implemented and maintains a

Environmental Management System

which fulfills the requirements of the following standard

ISO 14001:2004

Issued on: 2005 06 29

Validity date: 2017 06 28

Registration Number: CO-SA 146-1



Michael Drechsel
Michael Drechsel
President of IQNet

María Zulema Vélez Jara
María Zulema Vélez Jara
Executive Director of ICONTEC



IQNET PARTNERS:

AENOR, SPAIN AFNOR CERTIFICATION FRANCE AIR-VIN OTTE INTERNATIONAL BELGIUM ANCE MEXICO APCER PORTUGAL CCC CYPRUS
CISQ ITALY CQC CHINA CQM CHINA CQS CZECH REPUBLIC CRQ CERT CROATIA PQS HOLDING GMBH GERMANY DS DENMARK
ELOT GREECE FCAY BRAZIL FONDONORMA VENEZUELA ICONTEC COLOMBIA IANIC MEXICO
INSPECTA CERTIFICATION FINLAND IRAM ARGENTINA JQA JAPAN KFQ KOREA MSZT HUNGARY NEMKO AS NORWAY NSAI IRELAND
PCBC POLAND QUALITY AUSTRIA AUSTRIA RR RUSSIA SII ISRAEL SIQ SLOVENIA SIRIM QAS INTERNATIONAL MALAYSIA SOS SWITZERLAND
SRAC ROMANIA TEST ST PETERSBURG RUSSIA TSE TURKEY YUQS SERBIA



ICONTEC certifica que el Sistema de Gestión de:
ICONTEC certifies that the Management System of:

EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE ASEO DE CUENCA EMAC - EP

Avenida Solano y Avenida 12 de Abril S/N, Edificio San Vicente de Paúl Cuenca , Azuay, Ecuador

Véase el alcance del sistema de gestión para cada una de las sedes diferentes a la sede principal
cubiertas por la certificación en el anexo

ha sido evaluado y aprobado con respecto a los requisitos especificados en:
has been assessed and approved based on the specified requirements of:

OHSAS 18001:2007

Este Certificado es aplicable a las siguientes actividades:
This certificate is applicable to the following activities:

**Disposición de residuos sólidos no peligrosos
en el Relleno Sanitario de Pichacay**

**Final disposal of no hazardous solid waste of
the Pichacay Sanitary Landfill**

Esta aprobación está sujeta a que el sistema de gestión se mantenga de acuerdo
con los requisitos especificados, lo cual será verificado por ICONTEC
This approval is subject to the maintenance of the management system according to
the specified requirements, which will be verified by ICONTEC

Certificado 05 037-1
Certificate

Fecha de Aprobación: 2005 06 29
Approval Date:

Fecha Última Modificación: 2014 05 09
Last Modification Date

Fecha de Vencimiento: 2017 06 28
Expiration Date



Directora de Evaluación de la Conformidad
Conformity Assessment Director

ACREDITADO ISO / IEC17021:2006
09-CSG-001

ES-P-00-01-F-012 Versión 02
Este certificado es propiedad de ICONTEC y debe ser devuelto cuando sea solicitado

ICONTEC INTERNACIONAL carrera 37 nro. 52 - 85, Bogotá D.C., Colombia

Aprobado 2013-04-26



CERTIFICATE

IQNet and
ICONTEC

hereby certify that the organization

EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE ASEO DE CUENCA EMAC - EP

Avenida Solano y Avenida 12 de Abril S/N, Edificio San Vicente de Paúl Cuenca, Azuay, Ecuador
Véase el alcance del sistema de gestión para cada una de las sedes diferentes a la sede principal
cubiertas por la certificación en el anexo

for the following field of activities:

**Disposición final de residuos sólidos no
peligrosos en el Relleno Sanitario de Pichacay**

**Final disposal of no hazardous solid waste of
the Pichacay Sanitary Landfill**

has implemented and maintains a

OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY MANAGEMENT SYSTEM

which fulfills the requirements of the following standard

OHSAS 18001:2007

Issued on: 2005 06 29

Validity date: 2017 06 28

Registration Number: CO-OS 037-1



Michael Drechsel
Michael Drechsel
President of IQNet

María Zulema Vélez Jara
María Zulema Vélez Jara
Executive Director of ICONTEC



IQNET PARTNERS:

AENOR SPAIN AFNOR CERTIFICATION FRANCE AIB-VIN OTTE INTERNATIONAL BELGIUM ANCE MEXICO APCER PORTUGAL CCC CYPRUS
CISQ ITALY CQC CHINA CQA CHINA CQS CZECH REPUBLIC CRO CERT CROATIA DOS HOLDING GAMB GERMANY DS DENMARK
ELOT GREECE FCAY BRAZIL FONDONDROMA VENEZUELA ICONTEC COLOMBIA IMMC MEXICO
INSPECTA CERTIFICATION FINLAND IRAM ARGENTINA JQA JAPAN KEQ KOREA MSZT HUNGARY NEMKO AS NORWAY NSAI IRELAND
PEBC POLAND QUALITY AUSTRIA AUSTRIA RR RUSSIA SII ISRAEL SIQ SLOVENIA SIRIM QAS INTERNATIONAL MALAYSIA SOS SWITZERLAND
SRAC ROMANIA TEST ST PETERSBURG RUSSIA TSE TURKEY YUOS SERBIA

Anexo 4: Convenio de las empresas EMAC EP y ETAPA EP



EMAC
EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE ASEO



CONVENIO DE COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL ENTRE LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE TELECOMUNICACIONES, AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO DE CUENCA "ETAPA EP" Y LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE ASEO DE CUENCA "EMAC EP", PARA LA "DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS DESHIDRATADOS DE LAS PLANTAS POTABILIZADORAS Y DEPURADORAS DE ETAPA" Y PARA "EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS GENERADOS EN EL RELLENO SANITARIO"

En la ciudad de Cuenca a 02 días de enero de 2014, concurren para la celebración del presente convenio, por una parte la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca EMAC EP, representada por la Ing. Valeria Villavicencio Vega, en su calidad de Gerente General; y por otra, la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca ETAPA EP representada por el Dr. Oswaldo Tamariz Valdivieso, en su calidad de Gerente General, con el objeto de suscribir el presente convenio, al tenor de las siguientes cláusulas:

CLAUSULA PRIMERA: ANTECEDENTES

1.01.- La Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca "EMAC EP" es una Empresa Municipal de servicio a la ciudadanía, constituida mediante Ordenanza Municipal de fecha 05 de marzo de 2010, como una persona jurídica de derecho público, con patrimonio propio, dotada de autonomía presupuestaria, financiera, económica, administrativa y de gestión, que opera sobre bases comerciales y cuyo objetivo es la prestación de servicios públicos de barrido, limpieza, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos no peligrosos y peligrosos, así como del mantenimiento, recuperación, readecuación y administración de áreas verdes y parques en el cantón Cuenca incluyendo el equipamiento en ellas construidas o instaladas, sus servicios complementarios, conexos y afines que pudieren ser considerados de interés colectivo.

Como resultado de la disposición final de desechos sólidos en el Relleno Sanitario de Pichacay, la descomposición de los mismos en los cubetos del relleno y la infiltración de agua lluvia se genera gran cantidad de lixiviados, desecho líquido al que se le debe dar un adecuado tratamiento y disposición final para lo cual se ha visto la necesidad de que los mismos sean descargados en el sistema de recolección e intercepción, y tratados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba conforme se lo ha venido realizando desde el año 2001, esto es a partir del inicio mismo de operación del relleno sanitario de la ciudad de Cuenca.

En el Art. 4.2.2.2 del "LIBRO VI, ANEXO 1 NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA" del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria - TULAS -, se establece que "El proveedor del servicio de tratamiento de la ciudad podrá solicitar a la Entidad Ambiental

W



de Control, la autorización necesaria para que los regulados, de manera parcial o total descarguen al sistema de alcantarillado efluentes, cuya calidad se encuentre por encima de los estándares para descarga a un sistema de alcantarillado, establecidos en la presente norma.

El proveedor del servicio de tratamiento de la ciudad deberá cumplir con los parámetros de descarga hacia un cuerpo de agua, establecidos en esta Norma.”

1.02.- Por su parte la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento –ETAPA EP es una empresa que tiene entre unos de sus principales objetivos, la prestación del servicio público de agua potable, alcantarillado, tratamiento de lixiviados, telecomunicaciones (telefonía fija, internet, transmisión de datos entre otros) y sus servicios complementarios y conexos. Para cumplir con sus servicios de saneamiento ambiental cuenta con el Proyecto de Mejoramiento Integral del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba, siendo uno de sus dos componentes principales la extracción y deshidratación de lodos acumulados en el complejo de Lagunas de Estabilización.

Entre el 16 de diciembre de 2005 y el 28 de febrero de 2007, ETAPA EP llevó adelante el estudio para la “SELECCIÓN DEL SITIO PARA EL RELLENO SANITARIO DE LODOS DE LAS PLANTAS POTABILIZADORAS Y DEPURADORA DE ETAPA”, en el mismo que se concluyó que el relleno sanitario de EMAC, era la mejor alternativa para disposición final de los lodos, conclusión que se sustentó en la evaluación y análisis de aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales; el estudio fue efectuado mediante convenio entre EMAC y ETAPA.

El 14 de diciembre del 2012, ETAPA inauguró el Proyecto del Mejoramiento Integral del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba, siendo uno de sus dos componentes principales la extracción y deshidratación de lodos acumulados en el complejo de Lagunas de Estabilización; en la actualidad el sistema se encuentra en operación, motivo por el cual es necesario efectuar la disposición final de los lodos deshidratados de una forma ambientalmente segura, y en cumplimiento del exhaustivo análisis efectuado años atrás.

En el Art. 4.12.12 del “LIBRO VI, ANEXO 6 NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE DESECHOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS” del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria – TULAS -, se establece que “En el relleno sanitario mecanizado se podrá disponer, además de desechos sólidos no peligrosos, también desechos semi-sólidos no peligrosos”.

1.03.- Los servicios públicos prestados por las dos Empresas comparecientes son mutuamente requeridos de manera diaria para el cumplimiento de los objetivos empresariales de cada una de ellas.



CLAUSULA SEGUNDA: OBJETO

Con los antecedentes expuestos, las partes, con apego a lo dispuesto en el Art. 226 de la Constitución de la República que dispone como deber de todas las instituciones del Estado, coordinar acciones para el cumplimiento de sus fines y hacer efectivo el goce y ejercicio de los derechos reconocidos en la Constitución, acuerdan suscribir el presente convenio con la finalidad de garantizar una adecuada disposición final tanto de los lodos deshidratados generados por las operaciones de ETAPA EP así como de los lixiviados generados como consecuencia de la operación del Relleno Sanitario por parte de EMAC EP.

CLAUSULA TERCERA: COMPROMISO DE LAS PARTES

Para el cabal cumplimiento de los objetivos antes detallados, las Instituciones comparecientes adquieren los siguientes compromisos y obligaciones:

COMPROMISOS DE ETAPA EP

- a) Entregar en el Relleno Sanitario de Pichacay los volúmenes de lodos deshidratados en las cantidades aproximadas que se encuentran establecidos en el estudio efectuado en el 2007 y, respetando la relación lodo-desechos sólidos contemplada en la bibliografía especializada, y establecida para la práctica de la co-disposición;
- b) Dar estricto cumplimiento a lo establecido en el TULAS respecto del contenido de sólidos en el lodo deshidratado a ser dispuesto en el Relleno Sanitario de Pichacay. En cada uno de los viajes se verificará el contenido de sólidos y se llevará un registro, el mismo que se remitirá mensualmente a EMAC EP, o cuando así sea requerido;
- c) Efectuar el transporte de lodos deshidratados respetando las normas de tránsito y en vehículos con las debidas seguridades, de tal forma de evitar derrames y rehidratación en su traslado. Cualquier inconveniente que se presente por esta causa, será ETAPA EP quien ejecute las actividades y soluciones que se requieran;
- d) Efectuar la descarga de lodos en el relleno sanitario, en el sitio y en los horarios establecidos por EMAC EP;
- e) Reportar a EMAC EP los resultados de la calidad físico-químico y biológica del lodo deshidratado;
- f) Efectuar análisis en las dos muestras de lixiviados que EMAC EP entregue quincenalmente, y en 14 muestras que entregue trimestralmente; los parámetros de análisis serán los que han sido determinados hasta el presente en los Laboratorios de Saneamiento de ETAPA EP;
- g) Receptar en el sistema público de alcantarillado los lixiviados generados en el Relleno Sanitario, y tratarlos en las estaciones depuradoras de Ucubamba y/o Guangarcucho; el sitio para la descarga será en la Planta de



Operaciones de EMAC EP y en el área previamente acondicionada por EMAC EP en el sector de Hormiazuay, o en otro sitio que podría ser determinado de mutuo acuerdo entre las partes y que se encuentre en el área de influencia del sistema de interceptores;

- h) Reportar a EMAC EP de forma oportuna cualquier variación significativa en las labores de desalojo de lodo deshidratado, ya sea en cantidad cuanto en su composición.

COMPROMISOS DE EMAC EP

- a) Recibir y efectuar la disposición final de los lodos deshidratados provenientes de las plantas potabilizadoras y depuradoras de ETAPA EP;
- b) Reportar a ETAPA EP el peso de lodos dispuestos en el relleno sanitario;
- c) Efectuar la descarga de lixiviados al sistema público de alcantarillado de acuerdo al procedimiento que se establezca para el efecto;
- d) Descargar los lixiviados con ausencia de sólidos flotantes;
- e) Reportar los resultados de la calidad físico-químico y biológica del lixiviado;
- f) Reportar a ETAPA EP de forma oportuna cualquier variación significativa en la calidad y cantidad de lixiviados para su tratamiento.

CLAUSULA CUARTA: VIGENCIA Y PLAZO

El presente convenio entrará en vigencia a partir de su suscripción, y tendrá el carácter de indefinido.

CLAUSULA QUINTA: CONTROVERSIAS.-

Basándose en la buena voluntad como base fundamental para la ejecución de este Convenio Marco de Cooperación, para el caso de controversias derivadas de su ejecución, las partes aceptan solucionarlas de manera directa a través de las máximas autoridades de las instituciones comparecientes. Caso contrario, de persistir las diferencias, estas se someterán a mediación siendo competente para conocer el caso el Centro de Mediación de la Procuraduría General del Estado, con sede en la ciudad de Cuenca.

CLAUSULA SEXTA: CAUSAS DE TERMINACIÓN.-

El presente Convenio terminará por las siguientes causas:

- Incumplimiento de las obligaciones establecidas en el presente Convenio;
- Por acuerdo mutuo de las partes; y,
- Por causas de fuerza mayor o caso fortuito de conformidad con la Ley, que hicieran imposible continuar con la ejecución del presente Convenio.



CLAUSULA SÉPTIMA: SUPERVISIÓN, CONTROL, COORDINACIÓN Y SEGUIMIENTO.-

Las partes a través de sus delegados designados, realizarán la supervisión, control, coordinación y seguimiento de las actividades determinadas para efectos del presente convenio y que regirán los compromisos adquiridos, para lo cual en un plazo no mayor de 5 días de suscrito el presente instrumento, se designará el delegado respectivo por cada institución, quienes de manera inmediata mantendrán la primera reunión con la finalidad de establecer la coordinación y los aspectos de avance para el cumplimiento de este convenio.

Los delegados obligatoriamente coordinarán conferencias telefónicas o electrónicas en forma semanal, sin perjuicio de reunirse personalmente en cualquier momento, para verificar el cumplimiento y avance del convenio e informarán sobre los particulares que se susciten a las autoridades suscriptoras del mismo.

CLAUSULA OCTAVA: ACEPTACIÓN.-

Las partes declaran estar de acuerdo con todas y cada una de las cláusulas que anteceden. Para constancia de lo expresado suscriben en cuatro ejemplares de igual tenor y valor.



Dr. Oswaldo Tamariz Valdivieso
GERENTE GENERAL ETAPA EP



Ing. Valeria Villavicencio Vega
GERENTE GENERAL EMAC EP

Anexo 5: Características físicas y mecánicas del suelo amarillo

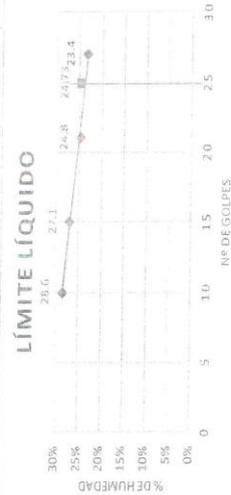
LABORATORIO DE SUELOS CONSEG

FECHA : 9-NOVIEMBRE-2016
MUESTRA : I

PROYECTO : ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE Lodos DESHIDRATADOS
UBICACIÓN : RELLENO SANITARIO DE PICHACAY
SOLICITA : EMAC-EP, TESIS UNIVERSIDAD DEL AZULAY

ENSAYO DE CLASIFICACION DE SUELOS

TAMIZ	GRANULOMETRIA			PORCENT. QUE PASA	ESPECIFIC.	HUMEDAD INICIAL.				
	PESO RET. PARCIAL	PESO RET. ACUMUL.	PORCENT. RETENIDO			PESO HUMEDO	PESO SECO	TARRO	% HUMEDAD	% PROMEDIO
3"	0	0	0.00	100.00		18	42.8	5.65	6.5	
2 1/2"	0	0	0.00	100.00		19	50.1	5.68	5.2	
1 1/2"	0.174	0	0.00	100.00		LIMITE LIQUIDO				
1"	0.33	1	0.01	99.99		64	18.62	7.6	23.4	
3/4"	0.268	1	0.02	99.98		65	18.82	7.39	24.8	
1/2"	0.486	1	0.03	99.97		66	20.13	7.32	27.1	
3/8"	0.39	2	0.04	99.96		67	19.87	7.18	28.6	
Nº4	0.674	2	0.06	99.94		COLPES				
PASA Nº4	3678	(99.94)				25				
Nº8	0	0				LIMITE PLASTICO				
Nº10	99.7	99.7	21.09	78.85		13	6.2	5.56	18.5	
Nº40	199.1	298.8	63.21	36.73		61	8.07	7.53	17.4	
Nº50	0	298.8	63.21	36.73		63	8.08	7.54	17.4	
Nº100	0	298.8	63.21	36.73						
Nº200	104.1	402.9	85.23	14.708						
PASA 200		97.1	(20.54)							
TOTAL	3680									
Hum. líq.	5.84									
% Grava	0.06			500.0						
% Arena	85.23			472.4						
% Fino	14.71									
CLASIFICACION										
SUCS :	SC									
AASFTO :	A-2-4									
INDICE DE GRUPO :	0.0									
HUMEDAD :	5.84	%								
LIMITE LIQUIDO :	24.73	%								
LIMITE PLASTICO :	17.77	%								
INDICE PLASTICIDAD :	6.96	%								



Signature
Ing. Francisco Campos V.

Signature
Geovanny Romero.

LABORATORIO DE SUELOS CONSUEG

PROYECTO : ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS DESHIDRATADOS
 UBICACIÓN : RELLENO SANITARIO DE PICHACAY
 SOLICITA : EMAC-EP, TESIS UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FECHA : 9-NOVIEMBRE-2016
 MUESTRA : 1

ENSAYO DE DENSIDAD MÁXIMA (PROCTOR)

METODO D.	MOLDE #	P. estándar	Peso	6840	GR
ENS. AASHTO T-99	# Capas x Molde	3	Volumen	1875.30	CC
PROCTOR ESTANDAR	# Golpes / Capa	55	Diámetro	5.9	PUL.G

DENSIDAD DE LABORATORIO

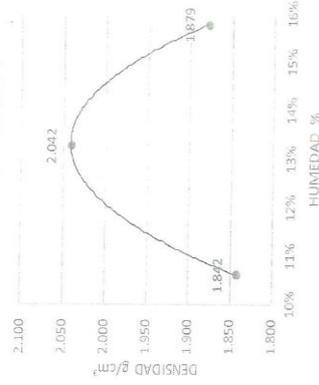
Molde #	1	2	3
Humedad Inicial (cc)	250	550	700
Peso suelo hum + Molde (g)	10662	11178	10920
Densidad Humedad (g/cm³)	2.038	2.313	2.176
Densidad Seca (g/cm³)	1.842	2.042	1.879

Den. Máxima	2.042 g/cm³
Hum. Óptima	13.00 %

PORCENTAJE DE HUMEDAD ÓPTIMA

Molde #	1	2	3
Tarro #	1.00	2.00	3.00
Peso humedo + tarro (g)	39.67	37.03	38.84
Peso seco + tarro (g)	37.13	34.62	34.92
Peso de tarro (g)	5.39	5.48	5.64
% de Humedad	12.96	8.27	13.39
% Promedio humedad	13.27		
Observaciones :	15.78		

DENSIDAD SECA MÁXIMA



Datos de Moldes	
Descripción	Volumen
P. estándar	3083.6
P. modificado	6840
	1875.30

[Signature]
 Ing. Francisco Campos V.

[Signature]
 Geovanny Romero

LABORATORIO DE SUELOS CONSUEG

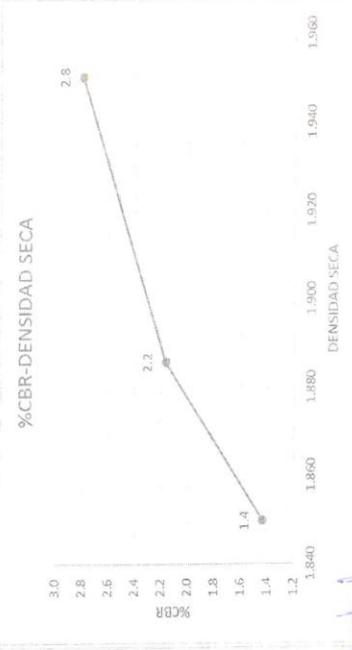
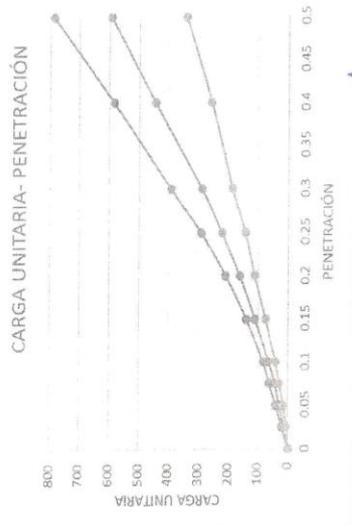
PROYECTO : ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS DESHIDRATADOS
 UBICACIÓN : RELLENO SANITARIO DE PICHACAY
 SOLICITA : EMAC -EP, IESIS UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FECHA : 14-NOVIEMBRE- 2016
 MUESTRA : I

		CBR		12		2		3		12	
		3		55		25		10		3	
		12		3		25		10		3	
CONDICIONES DE LA MUESTRA		ANTES DEL REMOJO		SATURADO		ANTES DEL REMOJO		SATURADO		ANTES DEL REMOJO	
PESO HUMEDO + MOLDE		11784		11839		11648		11684		11598	
PESO MOLDE		7056		7056		7018		7018		7056	
PESO MUESTRA HUMEDA		4728		4783		4630		4666		4542	
VOLUMEN DE LA MUESTRA		2141.0		2141.04		2141.00		2141.11		2141.19	
DENSIDAD HUMEDA		2.208		2.234		2.163		2.179		2.121	
DENSIDAD SECA		1.959		1.950		1.918		1.886		1.873	
CONTENIDO DE AGUA		1.959		1.950		1.918		1.886		1.850	
		CONTENIDO DE HUMEDAD									
TARRO		Nº		51		60		53		80	
PESO DEL TARRO		g		6.52		7.40		7.22		5.34	
PESO HUMEDA + TARRO		g		39.5		42.33		45.49		44.12	
PESO SECO + TARRO		g		35.76		37.85		41.13		39.58	
HUMEDAD		%		12.79		14.37		12.65		13.26	
PROMEDIO DE HUMEDAD		%		12.70		14.54		12.75		13.26	
		CONTENIDO DE HUMEDAD									
TARRO		Nº		7		7		8		61	
PESO DEL TARRO		g		6.52		7.40		7.22		5.34	
PESO HUMEDA + TARRO		g		39.5		42.33		45.49		44.12	
PESO SECO + TARRO		g		35.76		37.85		41.13		39.58	
HUMEDAD		%		12.79		14.37		12.65		13.26	
PROMEDIO DE HUMEDAD		%		12.70		14.54		12.75		13.26	

		MOLDE Nº 2		ESPOJAMIENTO DEL SUELO		MOLDE Nº 2		ESPOJAMIENTO		MOLDE Nº 12	
		4.65		ESPOJAMIENTO		4.65		ESPOJAMIENTO		4.65	
		4.65		ESPOJAMIENTO		4.65		ESPOJAMIENTO		4.65	
DIA Y MES		LECTURA DIAL		LECTURA DIAL		LECTURA DIAL		LECTURA DIAL		LECTURA DIAL	
12-mov		0		0		0		0		0	
13-mov		0		0		0		0		0	
14-mov		0.002		0.043		0		0.005		0.002	
15-mov		0		0		0		0		0	
DIA Y MES		DIA Y MES		DIA Y MES		DIA Y MES		DIA Y MES		DIA Y MES	
10-mov		10-mov		10-mov		10-mov		10-mov		10-mov	
11-mov		11-mov		11-mov		11-mov		11-mov		11-mov	
12-mov		12-mov		12-mov		12-mov		12-mov		12-mov	
13-mov		13-mov		13-mov		13-mov		13-mov		13-mov	
TIEMPO EN DIAS		TIEMPO EN DIAS		TIEMPO EN DIAS		TIEMPO EN DIAS		TIEMPO EN DIAS		TIEMPO EN DIAS	
1		1		1		1		1		1	
2		2		2		2		2		2	
3		3		3		3		3		3	
4		4		4		4		4		4	
ESPOJAMIENTO PULG		ESPOJAMIENTO PULG		ESPOJAMIENTO PULG		ESPOJAMIENTO PULG		ESPOJAMIENTO PULG		ESPOJAMIENTO PULG	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0.002		0.043		0		0.005		0.005		0.002	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65		4.65	
0		0		0		0		0		0	
4.65		4.65		4.65		4.65		4.65</			

PENETRACIÓN											
PENETRACION EN PULGADA	CARGAS TIPO lbs/pulg ²	MOLDE N° 12		MOLDE N° 2		MOLDE N° 12		MOLDE N° 2		MOLDE N° 12	
		CARGA DE ENSAYO DIAL	lbs/pulg ²	CORREGIDO %	CORREGIDO %						
0		0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0		
0.025		20.00	0.7	13.00	0.4	13.00	0.4	6.00	0.2		
0.050		41.00	1.4	30.00	1.0	30.00	1.0	16.00	0.5		
0.075		63.00	2.1	44.00	1.5	44.00	1.5	30.00	1.0		
0.100	1000	84.00	2.8	65.00	2.2	65.00	2.2	43.00	1.4		
0.150		140.00	4.7	111.00	3.7	111.00	3.7	76.00	2.5		
0.200		209.00	7.0	162.00	5.4	162.00	5.4	112.00	3.7		
0.250		292.00	9.7	223.00	7.4	223.00	7.4	144.00	4.8		
0.300		392.00	13.1	289.00	9.6	289.00	9.6	187.00	6.2		
0.400		584.00	19.5	445.00	14.8	445.00	14.8	257.00	8.6		
0.500		787.00	26.2	594.00	19.8	594.00	19.8	342.00	11.4		



[Signature]
 Ing. Francisco Campos V.
 CONSULTOR GEOTECNICO

[Signature]
 Sergio Angamarca
 ESTUDIANTE

[Signature]
 Geovany Romero
 ESTUDIANTE

Anexo 6: Características mecánicas del suelo rojo

LABORATORIO DE SUELOS CONSUEG

PROYECTO : ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS DESHIDRATADOS
 UBICACION : RELLENO SANITARIO DE PICHACAY
 SOLICITA : EMAC-EP, TESIS UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FECHA : 4-NOVIEMBRE-2016
 MUESTRA : 2

GRANULOMETRIA				ENSAYO DE CLASIFICACION			
TAMIZ	PESO RET. PARCIAL	PESO RET. ACUMUL.	PORCENT. RETENIDO	PORCENT. QUE PASA	ESPECIFIC.	Nº TARRO	Nº GOLPES
3"	0	0	0.00	100.00		18	0
2 1/2"	0	0	0.00	100.00		19	0
1 1/2"	0	0	0.00	100.00		1	36
1"	0	0	0.00	100.00		2	30
3/4"	0	0	0.00	100.00		3	20
1/2"	0	0	0.00	100.00		4	15
3/8"	0	0	0.00	100.00		LIMITE LIQUIDO	
Nº4	0	0	0.00	100.00		LIMITE PLASTICO	
PASA Nº4	6000		(100.00)			LIMITE LIQUIDO	
Nº8	0	0				LIMITE PLASTICO	
Nº10	28.0	28.0	5.99	94.01		61	0
Nº40	49	77.0	16.47	83.53		52	0
Nº50	0	77.0	16.47	83.53		1	0
Nº100	0	77.0	16.47	83.53		LIMITE LIQUIDO	
Nº200	66	143.0	30.59	69.41		LIMITE PLASTICO	
PASA 200		357.0	(76.37)			LIMITE LIQUIDO	
TOTAL	6000					LIMITE PLASTICO	
Hum. Inic. =	6.96					LIMITE LIQUIDO	
% Grava	0.00					LIMITE PLASTICO	
% Arena	30.59					LIMITE LIQUIDO	
% Fino	69.41					LIMITE PLASTICO	
CLASIFICACION				PESO PASA # 4			
SUCS :	CL	Hum. Inic. :	6.96	Hum. Inic. :	28.63		
AASHTO :	A-6	LIMITE LIQUIDO :	28.63	LIMITE LIQUIDO :	28.63		
INDICE DE GRUPO :	7.7	LIMITE PLASTICO :	13.61	LIMITE PLASTICO :	13.61		
		INDICE PLASTICIDAD :	15.02	INDICE PLASTICIDAD :	15.02		

HUMEDAD INICIAL			
Nº TARRO	PESO HUMEDO	PESO SECO	% HUMEDAD
18	69.85	65.56	7.2
19	78.41	73.81	6.8
LIMITE LIQUIDO			
1	13.99	12.24	25.5
2	14.65	12.68	27.4
3	13.34	11.55	30.3
4	13.04	11.24	32.2
LIMITE PLASTICO			
61	6.36	6.25	14.7
52	6.23	6.15	13.1
1	6.25	6.16	13.0
LIMITE LIQUIDO			
LIMITE PLASTICO			
LIMITE LIQUIDO			
LIMITE PLASTICO			

LÍMITE LIQUIDO

Nº DE GOLPES

% DE HUMEDAD

Ing. Francisco Campos V.
 Sello Angamarca.

Ing. Geoparty Romero.

LABORATORIO DE SUELOS CONSUEG

PROYECTO : ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS DESHIDRATADOS
 UBICACION : RELLENO SANITARIO DE PICHACAY
 SOLICITA : EMAC-EP, TESIS UNIVERSIDAD DEL AZUAY

ENSAYO DE DENSIDAD MÁXIMA (PROCTOR)

METODO D.	MOLDE #	P. estándar	Peso	GR
ENS. AASHITO T-99	# Capas x Molde	3	Volumen	CC
PROCTOR ESTANDAR	# Golpes / Capa	25	Diametro	PULG

DENSIDAD DE LABORATORIO

Molde #	1	2	3
Humedad inicial (cc)	100	200	300
Peso suelo hum + Molde (g)	5154	5248	5118
Densidad Humeda(g/cm ³)	2.160	2.258	2.122
Densidad Secca (g/cm ³)	1.910	1.953	1.769

Den. Máxima 1.953 g/cm³
 Hum. Óptima 16.00 %

PORCENTAJE DE HUMEDAD OPTIMA

Molde #	1	2	3	4	5	6
Tarro #						
Peso humedo + tarro (g)	38.92	36.65	44.6	41.41	32.85	37.62
Peso seco + tarro (g)	35.07	33.03	39.46	36.48	28.44	32.15
Peso de tarro (g)	5.38	5.50	5.68	5.65	5.65	5.5
% de Humedad	12.97	13.15	15.22	15.99	19.35	20.53
% Promedio humedad	13.06			15.60		19.94

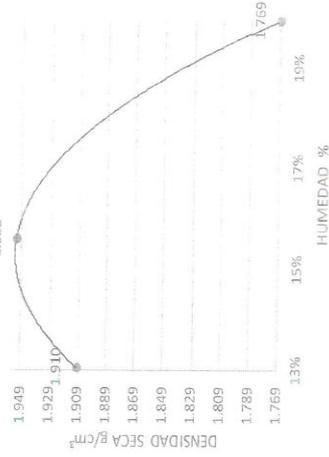
Observaciones :

Francisco Campos V.
 Ing. Francisco Campos V.

Sergio Angamarca
 Sergio Angamarca

FECHA : 4-NOVIEMBRE-2016
 MUESTRA : 2

DENSIDAD SECA MÁXIMA



Datos de Moldes	
Descripción	peso
P. estándar	3083.6
P. modificado	6840
	Volumen
	958.71
	1875.30

Geovanny Romero
 Geovanny Romero

LABORATORIO DE SUELOS CONSUEG

PROYECTO : ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS DESHIDRATADOS
 UBICACIÓN : RELLENO SANITARIO DE PICHACAY
 SOLICITA : EMAC - EP, TESIS UNIVERSIDAD DEL AZUAY

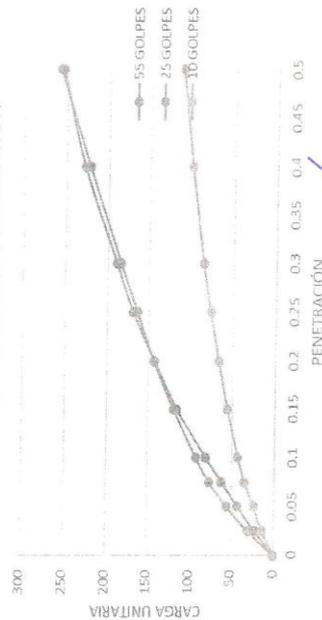
FECHA : 10-NOVIEMBRE-2016
 MUESTRA : 2

		CBR									
		2		3		4		16		17	
		3		55		25		10		10	
		No. DE CAPAS		No. DE GOSES POR CAPA		CONDICIONES DE LA MUESTRA		CONDICIONES DE LA MUESTRA		CONDICIONES DE LA MUESTRA	
		PESO HUMEDO + MOLDE		PESO MOLDE		PESO MUESTRA HUMEDA		VOLUMEN DE LA MUESTRA		DENSIDAD HUMEDA	
		DENSIDAD HUMEDA		DENSIDAD SECA		CONTENIDO DE HUMEDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD	
		TARRO		TARRO		TARRO		TARRO		TARRO	
	Nº	8	7	58	7.21	5.65	5.66	6	65	66	82
	PESO DEL TARRO	5.41	5.48	7.28	7.28	5.65	5.66	7.39	7.39	7.34	8.3
	PESO HUMEDA + TARRO	33.52	33.86	57.64	51.78	37.27	43.02	49.27	49.33	52.24	4.65
	PESO SECO + TARRO	29.87	30.19	50.34	45.64	33.33	38.32	43.04	43.6	45.83	40.70
	HUMEDAD	14.92	14.85	16.93	16.01	14.23	14.39	17.48	17.18	15.01	15.1
	PROMEDIO DE HUMEDAD		14.89		16.47		14.31		17.33		18.39
											17.88

		MOLDE Nº 2				MOLDE Nº 4				MOLDE Nº 16			
		LECTURA DIAL		ESFONJAMIENTO PULG		LECTURA DIAL		ESFONJAMIENTO PULG		LECTURA DIAL		ESFONJAMIENTO PULG	
		TIEMPO EN DIAS		DIA Y MES		TIEMPO EN DIAS		DIA Y MES		TIEMPO EN DIAS		DIA Y MES	
08-nov	1	0	0	0	02-nov	1	0	0	07-nov	1	0	0	0
09-nov	2	0	0	0	08-nov	2	0	0	08-nov	2	0	0	0
10-nov	3	18	0.018	0.018	09-nov	3	21	0.021	09-nov	3	96	4.65	0.096
11-nov	4	0	0	0	10-nov	4	0	0	10-nov	4	0	0	0

PENETRACION EN PULGADAS	CARGAS TIPO lbs/pulg ²	PENETRACION											
		MOLDE N° 2		MOLDE N° 4		MOLDE N° 16		MOLDE N° 2		MOLDE N° 4		MOLDE N° 16	
		CARGA DE ENSAYO DIAL	lbs/pulg ²	CORREGIDO %	CARGA DE ENSAYO DIAL	lbs/pulg ²	CORREGIDO %	CARGA DE ENSAYO DIAL	lbs/pulg ²	CORREGIDO %	CARGA DE ENSAYO DIAL	lbs/pulg ²	CORREGIDO %
0		0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	0.0	
0.025		23.00	0.8	0.8	31.00	1.0	1.0	14.00	0.5	14.00	0.5	0.5	
0.050		43.00	1.4	1.4	56.00	1.9	1.9	24.00	0.8	24.00	0.8	0.8	
0.075		62.00	2.1	2.1	77.00	2.6	2.6	35.00	1.2	35.00	1.2	1.2	
0.100	1000	81.00	2.7	2.7	93.00	3.1	3.1	43.00	1.4	43.00	1.4	1.4	
0.150		116.00	3.9	3.9	120.00	4.0	4.0	56.00	1.9	56.00	1.9	1.9	
0.200		143.00	4.8	4.8	144.00	4.8	4.8	67.00	2.2	67.00	2.2	2.2	
0.250		169.00	5.6	5.6	164.00	5.5	5.5	77.00	2.6	77.00	2.6	2.6	
0.300		189.00	6.3	6.3	184.00	6.1	6.1	86.00	2.9	86.00	2.9	2.9	
0.400		228.00	7.6	7.6	222.00	7.4	7.4	100.00	3.3	100.00	3.3	3.3	
0.500		255.00	8.5	8.5	258.00	8.6	8.6	112.00	3.7	112.00	3.7	3.7	

CARGA UNITARIA- PENETRACION



Ing. Francisco Campos V.

Ing. Francisco Campos V.
CONSULTOR GEOTECNICO

%CBR-DENSIDAD SECA



Geovanny Romero

Se figo Angamarca
ESTUDIANTE

ESTUDIANTE

Anexo 7: Características físicas de la puzolana de Challuabamba

LABORATORIO DE SUELOS CONSUEG

PROYECTO : ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS DESHIDRATADOS

UBICACION : RELLENO SANITARIO DE PICHACAY

SOLICITA : EMAC -EP, TESIS UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FECHA : 16-ENERO - 2017

MUESTRA : 3

GRANULOMETRIA				ENSAYO DE CLASIFICACION				HUMEDAD INICIAL				
TAMIZ	PESO RET. PARCIAL	PESO RET. ACUMUL.	PORCENT. RETENIDO	PORCET. QUE PASA	ESPECIFIC.	Nº TARRO	Nº GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	TARRO	% HUMEDAD	% PROMEDIO
3"	0	0	0.00	100.00		50	0	41.15	36.29	6.52	16.3	
2 1/2"	0	0	0.00	100.00		77	0	41.12	36.24	5.03	15.6	
2"	0	0	0.00	100.00								15.98
1 1/2"	158.4	158	4.53	95.47								
1"	111	269	7.70	92.30								
3/4"	247.1	517	14.76	85.24								
1/2"	205.2	722	20.62	79.38								
3/8"	181.8	904	25.81	74.19								
Nº4	328	1232	35.19	64.81								
PASA Nº4	2268.5	(64.81)								25		NP
Nº6	0	0										
Nº10	64.9	64.9	9.76	55.06								
Nº40	125.9	190.8	28.69	36.13								
Nº50	0	190.8	28.69	36.13								
Nº100	0	190.8	28.69	36.13								
Nº200	137.2	328.0	49.31	15.501								0.00
PASA 200		172.0	(25.86)									
TOTAL	3500											
Hum. Inic. =	15.98			PESO PASA # 4								
% Grava	35.19			ANTES	500.0							
% Arena	49.31			DESPUES	431.1							
% Fina	15.50											
CLASIFICACION				HUMEDAD :				LÍMITE LÍQUIDO				
STCS :				HUMEDAD :	15.98							
AAASHO :				LÍMITE LÍQUIDO :	NP							
INDICE DE GRUPO :				LÍMITE PLÁSTICO :	0.00							
				INDICE PLÁSTICIDAD :	0.00							

Ing. Francisco Campos V.

Segfo Angamarca.

Geopamy Romero.

LÍMITE LÍQUIDO



Anexo 8: Características físicas de la puzolana de Latacunga

LABORATORIO DE SUELOS CONSUEG													
PROYECTO : ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS DOS DESHIDRATADOS					FECHA : 16-ENERO - 2017								
UBICACION : RELLENO SANITARIO DE PICHACAY					MUESTRA : 4								
SOLICITA : EMAC-EP, TESIS UNIVERSIDAD DEL AZUAY													
GRANULOMETRIA			ENSAYO DE CLASIFICACION										
TAMIZ	PESO RET. PARCIAL	PESO RET. ACUMUL.	PORCENT. RETENIDO	PORCET. QUE PASA	ESPECIFIC.	Nº TARRO	Nº GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	HUMEDAD INICIAL	PESO TARRO	% HUMEDAD	% PROMEDIO
3"	0	0	0.00	100.00		58	0	41.46	34.92		7.21	23.6	
2 1/2"	0	0	0.00	100.00		59	0	38.68	32.24		7.28	25.8	
1 1/2"	0	0	0.00	100.00		LIMITE LIQUIDO							
1"	0	0	0.00	100.00		LIMITE PLASTICO							
3/4"	0	0	0.00	100.00		1	0	0	0		0	-	
1/2"	11.58	12	0.33	99.67		2	0	0	0		0	-	
3/8"	14.96	27	0.76	99.24		3	0	0	0		0	-	
Nº4	59.67	86	2.46	97.54		4	0	0	0		0	-	
PASA Nº4	3413.79		(97.54)			LIMITE LIQUIDO							
Nº8	0	0				LIMITE PLASTICO							
Nº10	36.8	36.8	8.95	88.59		1	0	0	0		25		NIP
Nº40	113.2	150.0	36.49	61.05		2	0	0	0		0		
Nº50	0	150.0	36.49	61.05		3	0	0	0		0		0.00
Nº100	0	150.0	36.49	61.05									
Nº200	161.8	311.8	75.85	21.691									
PASA 200		188.2	(45.78)										
TOTAL	3500												
Hum. Inic. =	24.70												
% Grava	2.46			500.0	gms								
% Arena	75.85			401.0	gms								
% Fino	21.69												
CLASIFICACION					HUMEDAD :	24.70 %							
SUCS :					LIMITE LIQUIDO :	NP							
AASHO :					LIMITE PLASTICO :	0.00							
INDICE DE GRUPO :	0.0				INDICE PLASTICIDAD :	0.00							



Ing. Francisco Campos V.
 Segio Angamarca.
 Geodmy Romero.

Anexo 9: Ensayos de laboratorio de la capa de cobertura 1

LABORATORIO DE SUELOS CONSUEG

PROYECTO : ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS DESHIDRATADOS
 UBICACIÓN : RELLENO SANITARIO DE PICHACAY
 SOLICITA : EMAC-EP, TESIS UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FECHA : 6-MARZO-2017
 MUESTRA : 5

DENSIDAD SECA MÁXIMA

Descripción	peso	Volumen
P. estándar	3083.6	958.71
P. modificado	6840	1875.30

Sergio Angamarca
Sergio Angamarca

ENSAYO DE DENSIDAD MÁXIMA (PROCTOR)			
METODO D.	MOLDE #	P. estándar	Peso
ENS. AASHTO T-99	# Capas x Molde	3	Volumen
PROCTOR ESTANDAR	# Golpes / Capa	25	Diametro
			PULG

DENSIDAD DE LABORATORIO			
Molde #	1	2	3
Humedad inicial (cc)	250	450	650
Peso suelo hum + Molde (g)	4744	4980	4942
Densidad Húmeda (g/cm³)	1.732	1.978	1.938
Densidad Seca (g/cm³)	1.539	1.638	1.528

PORCENTAJE DE HUMEDAD OPTIMA			
Molde #	1	2	3
Tarro #	56	57	58
Peso humedo + tarro (g)	50.03	47.65	40.96
Peso seco + tarro (g)	45.28	43.11	35.13
Peso de tarro (g)	7.01	7.15	7.23
% de Humedad	12.41	12.63	20.90
% Promedio humedad	12.52	20.75	26.30
Observaciones :			27.48

Den. Máxima	
Den. Máxima	1.638 g/cm³
Hum. Optima	21.00 %

Ing. Francisco Campos V.
Ing. Francisco Campos V.

LABORATORIO DE SUELOS CONSUEB

PROYECTO : ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE Lodos DESHIDRATADOS

UBICACIÓN : RELLENO SANITARIO DE PICHACAY
 SOLICITA : EMAC -EP, TESIS UNIVERSIDAD DEL AZUAY

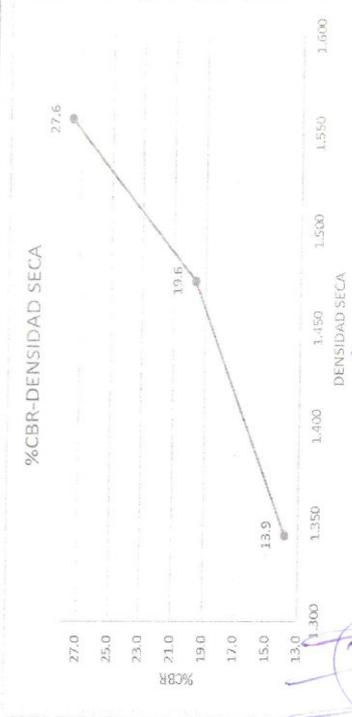
FECHA : 9-MARZO-2017

MUESTRA : 5

		CBR			
		4	16	2	3
MOLDE NUMERO		3	3	10	10
No. DE CAPAS		3	3	3	3
No. DE COPES POR CAPA		55	25	10	10
CONDICIONES DE LA MUESTRA					
PESO HUMEDO + MOLDE	g	11106	11052	10680	10680
PESO MOLDE	g	6924	7014	7018	7018
PESO MUESTRA HUMEDA	g	4036	4038	3662	3662
VOLUMEN DE LA MUESTRA	cm ³	2141.00	2169.50	2141.43	2141.43
DENSIDAD HUMEDA	g/m ³	1.885	1.748	1.650	1.710
DENSIDAD SECA	g/m ³	1.533	1.421	1.333	1.344
CONTENIDO DE HUMEDAD					
		1.557	1.474	1.333	1.344
CONTENIDO DE AGUA					
T ARRO	Nº	60	55	56	56
PESO DEL T ARRO	g	740	730	707	728
PESO HUMEDA + T ARRO	g	37.3	39.2	40.03	41.43
PESO SECO + T ARRO	g	31.61	32.60	32.97	34.55
HUMEDAD	%	23.50	26.09	27.26	25.23
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	22.95	25.41	23.74	23.74

ESPONSIAMIENTO DEL SUELO											
MOI DE Nº 4				MOI DE Nº 16				MOI DE Nº 2			
LECTURA DIAL	H. MUESTRA PULG	ESPONSIAMIENTO %	TIEMPO EN DIAS	LECTURA DIAL	H. MUESTRA PULG	ESPONSIAMIENTO %	TIEMPO EN DIAS	LECTURA DIAL	H. MUESTRA PULG	ESPONSIAMIENTO %	TIEMPO EN DIAS
07-mar	4.65	0	07-mar	4.65	0	07-mar	1	4.65	4.65	0	0
08-mar	4.65	0	08-mar	4.65	0	08-mar	2	4.65	4.65	0	0
09-mar	4.65	0	09-mar	4.65	0.023	09-mar	3	4.65	4.65	0.02	0.430
10-mar	4.65	0	10-mar	4.65	0	10-mar	4	4.65	4.65	0	0

CONSTANT	14.33 pulg ²		PENETRACIÓN					
	PENETRACION EN PULGADA	CARGAS TIPO lbs/pulg ²	MOLDE N° 4		MOLDE N° 16		MOLDE N° 2	
			CARGA DE ENSAYO DIAL	lbs/pulg ²	CORREGIDO %	CARGA DE ENSAYO DIAL	lbs/pulg ²	CORREGIDO %
0		0.00	0.00	0.0	0	0.0	0	0.0
0.025		176.00	5.9	107.00	5	71.65	0	0.0
0.050		436.00	14.5	282.00	13	186.29	5	2.4
0.075		651.00	21.7	468.00	22	315.26	13	6.2
0.100	1000	827.00	27.6	589.00	29	415.57	22	10.5
0.150		1063.00	35.4	748.00	40	573.2	29	13.9
0.200		1212.00	40.4	839.00	48	687.84	40	19.1
0.250		1340.00	44.7	921.00	52	745.16	48	22.9
0.300		1454.00	48.5	990.00	56	802.48	52	24.8
0.400		1665.00	55.5	1132.00	62	888.46	56	26.7
0.500		1907.00	63.6	1267.00	68	974.44	62	29.6
							68	32.5



[Signature]
 Ing. Francisco Campos V.
 CONSULTOR GEOTECNICO

[Signature]
 Sergio Angamarca
 ESTUDIANTE

[Signature]
 Geovanny Romero
 ESTUDIANTE

Anexo 10: Ensayos de laboratorio de la capa de cobertura 2

LABORATORIO DE SUELOS CONSUEG

PROYECTO : ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE Lodos DESHIDRATADOS
 UBICACIÓN : RELLENO SANITARIO DE PICHICAY
 SOLICITA : EMAC-EP, TESIS UNIVERSIDAD DEL AZUAY

ENSAYO DE DENSIDAD MÁXIMA (PROCTOR)

METODO D.	MOLDE #	P. estándar	Peso	3083.6	GR
ENS. AASHTO T-99	# Capas x Molde	3	Volumen	958.71	CC
PROCTOR ESTANDAR	# Golpes /Capa	25	Diametro	3.937	PULG.

DENSIDAD DE LABORATORIO

Molde #	1	2	3
Humedad inicial (cc)	250	450	650
Peso suelo hum + Molde (g)	4566	4700	4798
Densidad Húmeda (g/cm ³)	1.546	1.686	1.788
Densidad Seca (g/cm ³)	1.335	1.349	1.337

Den. Máxima 1.349 g/cm³
 Hum. Óptima 25.00 %

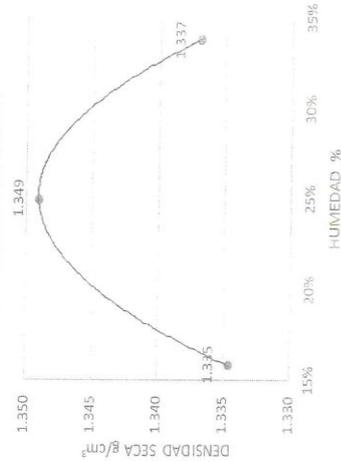
PORCENTAJE DE HUMEDAD OPTIMA

Molde #	1	2	3
Tarro #	11	22	23
Peso humedo + tarro (g)	37.19	43.90	35.33
Peso seco + tarro (g)	33.01	38.47	29.39
Peso de tarro (g)	5.53	5.56	5.78
% de Humedad	15.21	16.50	24.79
% Promedio humedad	15.86	24.98	33.85
Observaciones :			33.75

Alfonso
 Ing. Francisco Campos V.
 Se gto Angamarca

FECHA : 7-MARZO-2017
 MUESTRA : 6

DENSIDAD SECA MÁXIMA



Datos de Moldes	
Descripción	Volumen
P. estándar	3083.6
Promodificado	6840
	1875.30

Gervanny Romero
 Gervanny Romero

CONSTANT 14.33 plg²

PENETRACION EN PULGADA	CARGAS TIPO	PENETRACION											
		MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 4			MOLDE Nº 12					
		CARGA DE ENSAYO	CBR CORREGIDO	%	CARGA DE ENSAYO	CBR CORREGIDO	%	CARGA DE ENSAYO	CBR CORREGIDO	%			
0	lbs/pulg ²	DIAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.025			26	372.58	12.4	13	186.29	6.2	5	71.65	2.4	0.0	0.0
0.050			47	673.51	22.5	27	386.91	12.9	11	157.63	5.3	2.4	2.4
0.075			67	960.11	32.0	41	587.53	19.6	15	214.95	7.2	5.3	5.3
0.100	1000		86	1232.38	41.1	55	788.15	26.3	19	272.27	9.1	7.2	7.2
0.150			117	1676.61	55.9	75	1074.75	35.8	24	343.92	11.5	9.1	9.1
0.200			147	2106.51	70.2	93	1332.69	44.4	28	401.24	13.4	11.5	11.5
0.250			173	2479.09	82.6	108	1547.64	51.6	31	444.23	14.8	13.4	13.4
0.300			194	2780.02	92.7	120	1719.60	57.3	34	487.22	16.2	14.8	14.8
0.400			236	3381.88	112.7	141	2020.53	67.4	39	558.87	18.6	16.2	16.2
0.500			270	3869.10	129.0	163	2335.79	77.9	45	644.85	21.5	18.6	18.6

CARGA UNITARIA- PENETRACION



Ing. Francisco Campos V.
CONSULTOR GEOTECNICO

%CBR-DENSIDAD SECA



Ing. Geovanny Romero
ESTUDIANTE

Anexo 11: Ensayos de laboratorio de la capa de cobertura 3

LABORATORIO DE SUELOS CONSUEG

PROYECTO : ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE Lodos DESHIDRATADOS
 UBICACION : RELLENO SANITARIO DE PICHACAY
 SOLICITA : EMAC-EP, TESIS UNIVERSIDAD DEL AZULAY

FECHA : 6-MARZO-2017
 MUESTRA : 7

ENSAYO DE DENSIDAD MÁXIMA (PROCTOR)

METODO D.	MOLDE #	P. estándar	Peso	3083.6	GR
ENS. AASHTO T-99	# Capas x Molde	3	Volumen	958.71	CC
PROCTOR ESTANDAR	# Golpes / Capa	25	Diametro	3.937	PULG

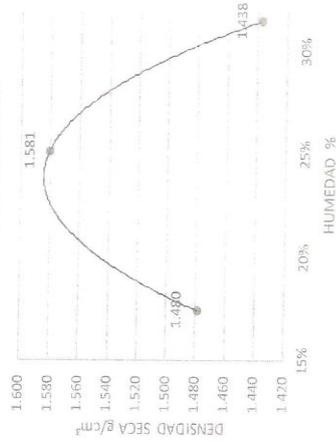
DENSIDAD DE LABORATORIO

Molde #	1	2	3	Den. Máxima	Hum. Óptima
Humedad inicial (cc)	300	500	700	1.581 g/cm ³	25.00 %
Peso suelo hum + Molde (g)	4750	4980	4896		
Densidad Humedad (g/cm ³)	1.738	1.978	1.890		
Densidad Secca (g/cm ³)	1.480	1.581	1.438		

PORCENTAJE DE HUMEDAD OPTIMA

Molde #	1	2	3
Tarro #	58	60	56
Peso humedo + tarro (g)	53.80	54.73	45.64
Peso seco + tarro (g)	46.87	47.69	37.93
Peso de tarro (g)	7.21	7.38	7.01
% de Humedad	17.47	17.46	24.94
% Promedio humedad	17.47	25.32	31.51
Observaciones :		25.13	31.51

DENSIDAD SECA MÁXIMA



Datos de Molde		
Descripción	peso	Volumen
P. estándar	3083.6	958.71
P. modificado	6810	1875.30

[Signature]
 Sergio Angamarca

[Signature]
 Ing. Francisco Campos V.

[Signature]
 Geovanny Romero

CONSTANT 14.33 plgr²

PENETRACION EN PULGADA	CARGAS TIPO	PENETRACION					
		MOLDE N° 2		MOLDE N° 12		MOLDE N° 4	
		CARGA DE ENSAYO		CARGA DE ENSAYO		CARGA DE ENSAYO	
lbs/pulg ²	DIAL	lbs/pulg ²	DIAL	lbs/pulg ²	DIAL	lbs/pulg ²	DIAL
0		0	0	0	0	0	0
0.025		170.1	5.67	189	6.3	128.97	4.3
0.050		390.9	13.03	396	13.2	229.28	7.6
0.075		613.8	20.46	585	19.5	315.26	10.5
0.100	1000	791.1	26.37	741	24.7	386.91	12.9
0.150		1067.1	35.57	948	31.6	515.88	17.2
0.200		1235.1	41.17	1095	36.5	616.19	20.5
0.250		1353	45.1	1185	39.5	702.17	23.4
0.300		1443.9	48.13	1248	41.6	773.82	25.8
0.400		1617.9	53.93	1371	45.7	859.8	28.7
0.500		1797.9	59.93	1524	50.8	960.11	32.0



Ing. Francisco Campos V.
CONSULTOR GEOTECNICO



Sergio Angamarca
ESTUDIANTE

Sergio Angamarca
ESTUDIANTE

COMPRESION NO CONFINADA									
FECHA: 10/03/2017		MUESTRA: N° 7		CONTENIDO DE AGUA DE LA PROBETA					
Datos para ensayo		Recipiente		Peso Recipiente		w			
Tasa de deformacion:		N°		S. Humedo		S. Seco		Parcial	
Presion de Camara:		mm/seg		g		g		%	
CARACTERISTICAS DE LA PROBETA INALTERADA		Kg/cm2		7.29		36.46		20.12	
		σ3 =		0		43.03		20.19	
		31		7.14		37		20.16	
		L =		11		cm			
Longitud:		V = (A * L) =		102.83		cm3			
Volumen:		Wh =		203.398171		g			
Peso Humedo:		Ws =		162.574575		g			
Peso Seco:		Yh =		1.98		g/cm3			
Densidad Humeda:		Ys =		1.581		g/cm3			
Densidad Seca:									
		Ø sup		3.45		cm		Area Sup 9.35 cm2	
		Ø cent		3.45		cm		Area Cent 9.35 cm2	
		Ø inf		3.45		cm		Area Inf 9.35 cm2	
		Ø Inicial		3.45		cm		Area Inicial 9.35 cm2	
DATOS DE LA PROBETA									

EJECUCION DEL ENSAYO									
Deformacion Axial		Aplicación de Carga		Esfuerzo de Compresion		Presion de Camara			
delta h	delta h	Carga Axial	Area Corregida	Esfuerzo de Compresion	σ3 =	Presion de Camara	σ3 =		
0.001"	mm	Kg	cm2	Kg/cm2	qu	0	Kg/cm2		
0	0	0.00	9.35	0.00	1.16	0	0		
5	0.13	6	9.36	0.20	1.16	0	0		
10	0.25	10	9.37	0.27	1.16	0	0		
15	0.38	19	9.38	0.40	1.16	0	0		
20	0.51	26	9.39	0.51	1.16	0	0		
25	0.63	32	9.40	0.60	1.16	0	0		
30	0.76	40	9.41	0.72	1.16	0	0		
35	0.89	48	9.42	0.84	1.16	0	0		
40	1.01	54	9.44	0.93	1.16	0	0		
45	1.14	59	9.45	1.01	1.16	0	0		
50	1.27	63	9.46	1.07	1.16	0	0		
55	1.39	69	9.47	1.16	1.16	0	0		
60	1.52	69	9.48	1.16	1.16	0	0		
65	1.64	69	9.49	1.16	1.16	0	0		
70	1.77	62	9.50	1.05	1.16	0	0		
75	1.90	58	9.51	0.99	1.16	0	0		

Esfuerzo-Def. Unitaria	
ESFUERZO	DEFORMACION
1.40	0.00
1.20	0.00
1.00	0.00
0.80	0.00
0.60	0.00
0.40	0.00
0.20	0.00
0.00	0.00
0.00	0.50
0.00	1.00
0.00	1.50
0.00	2.00

Ing. Francisco Campos V. CONSULTOR GEOTECNICO	Sergio Angamarca ESTUDIANTE
Geosanny Romero ESTUDIANTE	RESULTADO COHESION NO DRENADA Cu = 0.58 Kg/cm2

Anexo 12: Ensayos de laboratorio de la capa de cobertura 4

LABORATORIO DE SUELOS CONSUEG

PROYECTO : ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE Lodos DESHIDRATADOS
 UBICACIÓN : RELLENO SANITARIO DE PICHIA CAY
 SOLICITA : EMAC -EP, TESIS UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FECHA : 8-MARZO-2017
 MUESTRA : 8

ENSAYO DE DENSIDAD MÁXIMA (PROCTOR)

METODO D.	MOLDE #	P. estandar	Peso	GR
ENS. AASHTO 1-99	# Capas x Molde	3	3083.6	CC
PROCTOR ESTANDAR	# Golpes / Capa	25	958.71	PULG
			3.937	

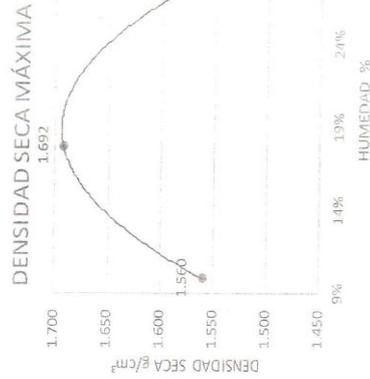
DENSIDAD DE LABORATORIO

Molde #	1	2	3
Humedad inicial (cc)	250	450	750
Peso suelo hum + Molde (g)	4728	4996	4938
Densidad Húmeda (g/cm ³)	1.715	1.995	1.934
Densidad Seca (g/cm ³)	1.560	1.692	1.486

Den. Máxima 1.692 g/cm³
 Hum. Óptima 18.00 %

PORCENTAJE DE HUMEDAD ÓPTIMA

Molde #	1	2	3	4	5	6
Tarro #						
Peso humedo + tarro (g)	42.50	43.31	39.76	47.29	41.92	40.69
Peso seco + tarro (g)	39.29	39.76	34.65	40.9	33.52	32.57
Peso de tarro (g)	5.40	5.51	5.67	5.66	5.66	5.62
% de Humedad	9.47	10.36	17.63	18.13	30.15	30.13
% Promedio humedad	17.88					
Observaciones :	30.14					



Datos de Moldes		
Descripción	peso	Volumen
P. estandar	3083.6	958.71
P. modificado	684.0	1875.30

[Firma]
 Sergio Angamarca

[Firma]
 Georjany Romero

Ing. Francisco Campos V.

LABORATORIO DE SUELOS

PROYECTO : ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE Lodos DESHIDRATADOS
 UBICACION : RELLENO SANITARIO DE PICHACAY
 SOLICITA : FMAC -EP, IBSES UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FECHA : 8-MARZO-2017
 MUESTRA : B

CBR 50.0-2008

MOLDE NUMERO	2		4		12		
	3		3		3		
No. DE CAPAS	55		25		10		
CONDICIONES DE LA MUESTRA	ANTES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO		
PESO HUMEDO + MOLDE	11094	11374	10856	11236	10580	11024	
PESO MOLDE	7018	7018	6924	6924	7056	7056	
PESO MUESTRA HUMEDA	4076	4356	3932	4312	3524	3968	
VOLUMEN DE LA MUESTRA	2141.0	2141.49	2141.00	2141.75	2141	2141.75	
DENSIDAD HUMEDA	1.904	2.034	1.837	2.013	1.646	1.853	
DENSIDAD SECA	1.629	1.678	1.571	1.655	1.407	1.510	
CONTENIDO DE HUMEDAD							
CONTENIDO DE AGUA	ANTES DEL REMOJO		SATURADO		ANTES DEL REMOJO		
TARRO	Nº	2	26	25	9	10	
PESO DEL TARRO	g	5.44	5.57	5.69	5.36	5.62	
PESO HUMEDA + TARRO	g	43.4	47.72	45.94	33.2	38.60	
PESO SECO + TARRO	g	38	41.53	39.03	29.29	33.71	
HUMEDAD	%	16.58	17.20	20.73	16.34	17.41	
PROMEDIO DE HUMEDAD	%	16.89	21.24	16.87	21.63	16.98	
ESPOSIAMIENTO DEL SUELO							
DIA Y MES	TIEMPO EN DIAS	MOLDE Nº 1		MOLDE Nº 2		MOLDE Nº 12	
		LECTURA DIAL	ESPOSIAMIENTO PULG	LECTURA DIAL	ESPOSIAMIENTO PULG	LECTURA DIAL	ESPOSIAMIENTO PULG
08-mar	1	0	0	0	0	0	0
09-mar	2	0	0	0	0	0	0
10-mar	3	23	0.023	53	0.035	0.753	0.753
11-mar	4	0	0	0	0	0	0
		TIEMPO EN DIAS	DIA Y MES	TIEMPO EN DIAS	DIA Y MES	TIEMPO EN DIAS	DIA Y MES
		08-mar	0	08-mar	0	08-mar	0
		09-mar	0	09-mar	0	09-mar	0
		10-mar	2	10-mar	3	10-mar	3
		11-mar	4	11-mar	4	11-mar	4

CONSTANT 14.33 plg²

PENETRACION EN PULGADA	CARGAS TIPO lbs/pulg ²	PENETRACION											
		MOLDE N° 2		MOLDE N° 4		MOLDE N° 12		MOLDE N° 4		MOLDE N° 12			
		CARGA DE ENSAYO DIAL	CORREGIDO %										
0	0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0		
0.025	14	200.62	6.7	14	200.62	6.7	14	200.62	6.7	14	200.62		
0.050	48	687.84	22.9	27	386.91	12.9	15	214.95	7.2	10	143.3		
0.075	82	1175.06	39.2	36	515.88	17.2	19	272.27	9.1	15	214.95		
0.100	111	1590.63	53.0	44	630.52	21.0	23	329.59	11.0	19	272.27		
0.150	153	2192.49	73.1	54	773.82	25.8	28	401.24	13.4	23	329.59		
0.200	173	2479.09	82.6	60	859.80	28.7	31	444.23	14.8	28	401.24		
0.250	190	2722.70	90.8	67	960.11	32.0	35	501.55	16.7	31	444.23		
0.300	200	2866.00	95.5	73	1046.09	34.9	38	544.54	18.2	35	501.55		
0.400	227	3252.91	108.4	85	1218.05	40.6	43	616.19	20.5	38	544.54		
0.500	257	3682.81	122.8	97	1390.01	46.3	47	673.51	22.5	43	616.19		

CARGA UNITARIA- PENETRACION



Ing. Francisco Campos V.
CONSULTOR GEOTECNICO

[Signature]

%CBR-DENSIDAD SECA



Sergio Angamarca
ESTUDIANTE

[Signature]

Gwynny Romero
ESTUDIANTE

Anexo 13: Ensayos de laboratorio de la capa de cobertura 5

LABORATORIO DE SUELOS CONSUEG

PROYECTO : ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS DESHIDRATADOS
 UBICACION : RELLENO SANITARIO DE PICHACAY
 SOLICITA : EMAC-EP, TESIS UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FECHA : 7-MARZO-2017
 MUESTRA : 9

ENSAYO DE DENSIDAD MÁXIMA (PROCTOR)

METODO D.	MOLDE #	P. estándar	Peso	3083.6	GR
ENS. AASHTO T-99	# Capas x Molde	3	Volumen	958.71	CC
PROCTOR ESTANDAR	# Golpes / Capa	25	Diametro	3.937	PULG

DENSIDAD DE LABORATORIO

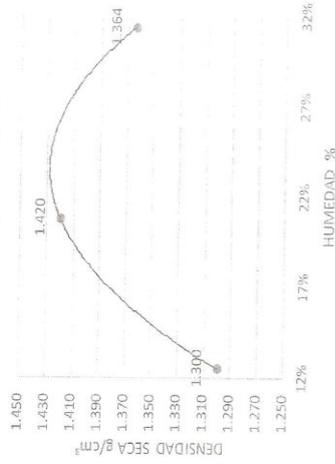
Molde #	1	2	3
Humedad inicial (cc)	250	500	700
Peso suelo hum + Molde (g)	4486	4728	4802
Densidad Humedad (g/cm ³)	1.463	1.715	1.792
Densidad Seca (g/cm ³)	1.300	1.420	1.364

Den. Máxima **1.420 g/cm³**
 Hum. Óptima **21.00 %**

PORCENTAJE DE HUMEDAD ÓPTIMA

Molde #	1	2	3
Tarro #	14	15	16
Peso humedo + tarro (g)	29.73	28.97	22.56
Peso seco + tarro (g)	27.01	26.43	19.64
Peso de tarro (g)	5.00	5.49	5.47
% de Humedad	12.96	12.13	20.64
% Promedio humedad	12.54	20.79	31.38

DENSIDAD SECA MÁXIMA



Datos de Molde	
Descripción	peso
P. estándar	3083.6
P. modificado	6840
	Volumen
	958.71
	1875.30

[Signature]

Ing. Francisco Campos V.

[Signature]
 Seigio Angamarca

[Signature]
 Sammy Romero

31.38

CONSTANT 14.33 plg²

PENETRACION EN PULGADA	CARGAS TIPO lbs/pulg ²	PENETRACION											
		7			14			MOLDE N°			16		
		CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO	CARGA DE ENSAYO		CBR CORREGIDO
DIAL	lbs/pulg ²	%	DIAL	lbs/pulg ²	%	DIAL	lbs/pulg ²	%	DIAL	lbs/pulg ²	%		
0		0.0	0	0	0.0	0	0	0.0	0	0	0.0		
0.025		3.8	8	114.64	71.7	5	71.7	2.4	1	14.33	0.5		
0.050		6.7	14	200.62	157.6	11	157.6	5.3	3	42.99	1.4		
0.075		9.6	20	286.6	229.3	16	229.3	7.6	5	71.65	2.4		
0.100	1000	11.5	24	343.92	286.6	20	286.6	9.6	6	85.98	2.9		
0.150		16.2	34	487.22	386.9	27	386.9	12.9	7	100.31	3.3		
0.200		19.1	40	573.2	458.6	32	458.6	15.3	9	128.97	4.3		
0.250		22.5	47	673.51	530.2	37	530.2	17.7	10	143.3	4.8		
0.300		24.8	52	745.16	587.5	41	587.5	19.6	11	157.63	5.3		
0.400		29.6	62	888.46	702.2	49	702.2	23.4	12	171.96	5.7		
0.500		33.4	70	1003.1	773.8	54	773.8	25.8	14	200.62	6.7		



[Signature]

Ing. Francisco Campos V.
CONSULTOR GEOTECNICO

[Signature]

Sergio Angamarca
ESTUDIANTE

[Signature]

Geovany Romero
ESTUDIANTE

COMPRESION NO CONFINADA									
FECHA: 07/11/2016		MUESTRA: N° 9		CONTENIDO DE AGUA DE LA PROBETA					
Datos para ensayo		Peso Recipiente		Peso Recipiente		w			
Tasa de deformación:		mm/seg		S. Seco		Parcial		Promedio	
Presión de Cámara:		Kg/cm ²		g		%		%	
CARACTERISTICAS DE LA PROBETA INALTERADA		0		37.1		22.55		21.56	
Longitud:		l		7.4		30.2		20.57	
Volumen:		cm		DATOS DE LA PROBETA					
Peso Humedo:		cm ³		O sup		Area Sup		9.35 cm ²	
Peso Seco:		g		O cent		Area Cent		9.35 cm ²	
Densidad Humeda:		g/cm ³		O inf		Area Inf		9.35 cm ²	
Densidad Seca:		g/cm ³		O inicial		Area Inicial		9.35 cm ²	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	
		1.420		3.45		3.45		3.45	
		1.72		3.45		3.45		3.45	

Anexo 14: Ensayos de laboratorio de la capa de cobertura seleccionada

LABORATORIO DE SUELOS

PROYECTO : ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS DESHIDRATADOS
UBICACIÓN : RELLENO SANITARIO DE PICHACAY
SOLICITA : EMAC-EP, TESIS UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FECHA : 6-julio-2017
MUESTRA : 10

ENSAYO DE DENSIDAD MÁXIMA (PROCTOR)

METODO D.	MOLDE #	P. estándar	Peso	GR
ENS. AASHTO T-99	# Capas x Molde	3	Volumen	CC
PROCTOR ESTANDAR	# Golpes / Capa	25	Diámetro	PULG

ENSAYO DE DENSIDAD MÁXIMA (PROCTOR)

Molde #	1	2	3
Humedad inicial (cc)	250	400	550
Peso suelo hum + Molde (g)	4760	4868	4976
Densidad Húmeda (g/cm ³)	1.749	1.861	1.974
Densidad Secca (g/cm ³)	1.599	1.613	1.585

DENSIDAD DE LABORATORIO

Den. Máxima	1,613 g/cm ³
Hum. Óptima	15,37 %

PORCENTAJE DE HUMEDAD ÓPTIMA

Molde #	1	2	3
Tarro #	5	6	7
Peso humedo + tarro (g)	48,48	47,31	48,5
Peso seco + tarro (g)	44,85	43,70	42,8
Peso de tarro (g)	5,63	5,62	5,62
% de Humedad	9,26	9,48	15,33
% Promedio humedad	9,37		
Observaciones :	15,37		

DENSIDAD SECA MÁXIMA

Descripción	peso	Volumen
P. estándar	3083,6	958,71
P. modificado	6810	1875,30

Ing. Francisco Campos V.

 Sergio Angamarca

Giovanny Romero

ESPONJAMIENTO DEL SUELO

DÍA Y MES	TIEMPO EN DIAS	MOLDE Nº 12			DÍA Y MES	TIEMPO EN DIAS	MOLDE Nº 7			DÍA Y MES	TIEMPO EN DIAS	MOLDE Nº 2		
		LECTURA DIAL	H. MUESTRA PULG	ESPONJAMIENTO %			LECTURA DIAL	H. MUESTRA PULG	ESPONJAMIENTO %			LECTURA DIAL	H. MUESTRA PULG	ESPONJAMIENTO %
07-jul	1	0	4.65	0	07-jul	1	0	4.65	0	07-jul	1	0	4.65	0
08-jul	2	0	4.65	0	08-jul	2	0	4.65	0	08-jul	2	0	4.65	0
09-jul	3	1.1	4.65	0.011	09-jul	3	13	4.65	0.013	09-jul	3	20	4.65	0.02
10-jul	4	0	4.65	0	10-jul	4	0	4.65	0	10-jul	4	0	4.65	0.00

PENETRACIÓN

PENETRACION EN PULGADA	CARGAS TIPO lbs/pulg ²	MOLDE Nº 12			MOLDE Nº 7			MOLDE Nº 2		
		CARGA DE ENSAYO DIAL	ENSAYO lbs/pulg ²	CORREGIDO %	CARGA DE ENSAYO DIAL	ENSAYO lbs/pulg ²	CORREGIDO %	CARGA DE ENSAYO DIAL	ENSAYO lbs/pulg ²	CORREGIDO %
0		0.00	0	0.0	0.0	0	0.0	0	0	0.0
0.025		163.00	163.00	5.4	102.00	102.00	3.4	61.6	61.6	2.1
0.050		332.00	332.00	11.1	189.00	189.00	6.3	135.32	135.32	4.5
0.075		536.00	536.00	17.9	256.00	256.00	8.5	187.22	187.22	6.2
0.100	1000	677.00	677.00	22.6	301.00	301.00	10.0	231.25	231.25	7.7
0.200		894.00	894.00	29.8	369.00	369.00	12.3	305.21	305.21	10.2
0.250		1040.00	1040.00	34.7	421.00	421.00	14.0	355.96	355.96	11.9
0.300		1128.00	1128.00	37.6	476.00	476.00	15.9	400.36	400.36	13.3
0.400		1199.00	1199.00	40.0	528.00	528.00	17.6	446.42	446.42	14.9
0.500		1263.00	1263.00	42.1	633.00	633.00	21.1	532.39	532.39	17.7
		1329.00	1329.00	44.3	739.00	739.00	24.6	620	620	20.7

[Handwritten Signature]

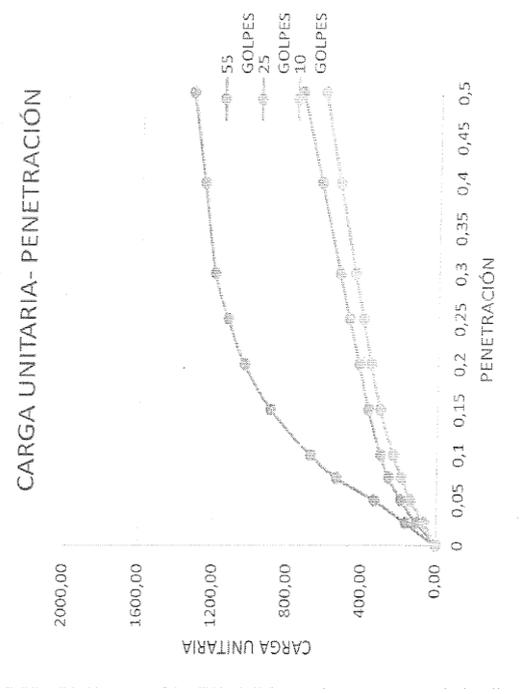
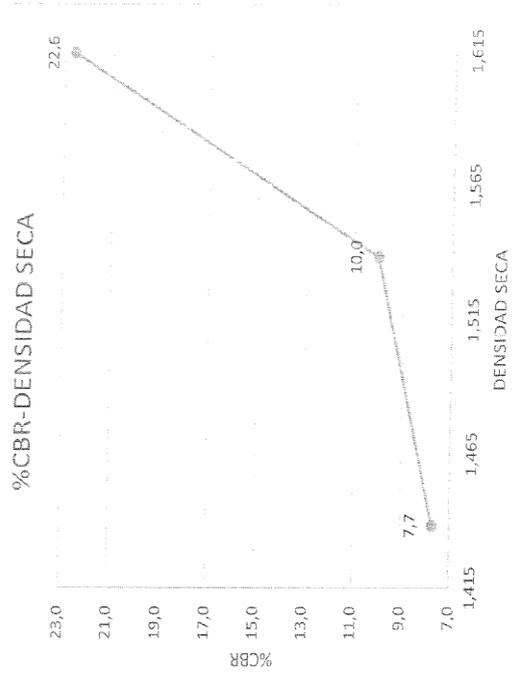
Ing. Francisco Campos V.
CONSULTOR GEOTECNICO

[Handwritten Signature]

Sergio Angamarca
ESTUDIANTE

[Handwritten Signature]

Geryanny Romero
ESTUDIANTE



Anexo 15: Contenido de humedad del lodo

LABORATORIO DE SUELOS CONSUEG

FECHA : 9 DE NOVIEMBRE DE 2016

MUESTRA : LODO DESHIDRATADO SEPOSITADO EN EL RELLENO SANITARIO DE PICHACAY

SOLICITATA: EMAC EP

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL DE LODO DEPOSITADO EN EL RELLENO SANITARIO DE PICHACAY		
	MUESTRA 1	MUESTRA 2
#Tarro	22	21
PT	5,58	5,47
PT+MH	26	25,9
PT+MS	14,94	14,91
%H	118,16	116,42
PROMED %H	117,29	

Nota: El unico estudio que se puede realizar del lodo deshidratado es el de contenido de humedad ya que este lodo no se comporta como un suelo.


Ing. Francisco Campos
Lab. CONSUEG


Sergio Angamarca
Estudiante


Geovanny Romero
Estudiante