

Facultad de Tecnología de Construcción

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE SUELOS ESTABILIZADOS CON MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO, SUELO-CAL, SUELO-CENIZAS DE MADERA Y SUELO-ASERRÍN PARA SER EMPLEADO EN EL TRAMO DE 1KM DE CAMINO DE LA COMUNIDAD DEL CASTILLO NO.1, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE ORIENTE, DEPARTAMENTO DE MASAYA, 2022”.

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Civil

Elaborado por:

Tutor:

Br. Ligia Mariela
García Osorio
Carnet:2017-0323U

Br. Andrea
Sarahí
Pérez Vásquez
Carnet:2017-1265U

Br. Yodeliz Jared
Espinoza García
Carnet:2017-0103U

Ing. Silvia Lindo
O'connors

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	5
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. MARCO TEÓRICO	7
1.5.1. Suelos	7
1.5.2. Estudios de campo	8
1.5.3. Propiedades físicas de los suelos.....	9
1.5.4. Método de clasificación	12
1.5.5. Pruebas de resistencia	13
1.5.6. Estabilización de suelo	16
1.5.7. Estabilización de suelos con cemento	18
1.5.8. Estabilización de suelos con cal	18
1.5.9. Estabilización de suelos con cenizas de madera.....	19
1.5.10. Estabilización de suelos con aserrín.....	19
CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN DEL SUELO NATURAL	20
2.1. Localización del sitio de extracción de las muestras de suelos	20
2.2. Recolección de muestras.....	21
2.3. Caracterización del suelo natural	22
2.3.1. Contenido de humedad natural.....	23
2.3.2. Análisis granulométrico.....	24

2.3.3. Límites de consistencia del suelo (Límites de Atterberg)	29
2.3.4. Clasificación del suelo	36
2.3.5. Prueba de compactación: Proctor Estándar.....	37
2.3.6. Relación de soporte de california (CBR).....	43
CAPÍTULO III: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	45
3.1. Agentes estabilizantes utilizados	45
3.2. Ensayos realizados a la mezcla de suelo y cemento	46
3.2.1. Límites de consistencia	47
3.2.2. Ensayo de compactación Proctor estándar	53
3.2.3. Ensayo de CBR.....	54
3.3. Ensayos realizados a la mezcla de suelo y cal.....	57
3.3.1. Límites de consistencia	57
3.3.2. Ensayo de compactación proctor estándar.....	63
3.3.3. Ensayo de CBR.....	64
3.4. Ensayos realizados a la mezcla de suelo y cenizas de madera	67
3.4.1. Límites de consistencia	67
3.4.2. Ensayo de compactación estándar	73
3.4.3. Ensayo de CBR.....	74
3.5. Ensayos realizados a la mezcla de suelo y aserrín.....	77
3.5.1. Límites de consistencia	77
3.5.2. Ensayo de compactación estándar	82
3.5.3. Ensayo de CBR.....	83
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS COMPARATIVO.....	87
4.1. Límites de Atterberg	87
4.2. Ensayo de compactación Proctor Estándar	90

3.5. Ensaye de CBR	92
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	95
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	96
ANEXOS.....	98
CAPÍTULO A: Tablas de contenido de humedad.....	98
CAPÍTULO B: Tablas de sondeos	99
CAPÍTULO C: Ensayos de Límites de Atterberg.....	105
CAPÍTULO D: Ensayos de Proctor Estándar	119

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Esfuerzos requeridos para diferentes profundidades de penetración	15
Tabla 2. Clasificación del suelo en función de la subrasante.....	15
Tabla 3. Sondeos realizados	22
Tabla 4. Ensayos de laboratorio a los que se sometieron las muestras	23
Tabla 5. Datos para contenido de humedad suelo tipo 1	24
Tabla 6. Análisis granulométrico de fracción gruesa, suelo 1	25
Tabla 7. Análisis granulométrico de fracción fina suelo 1	26
Tabla 8. Análisis granulométrico de fracción gruesa, suelo 2	27
Tabla 9. Análisis granulométrico de fracción fina suelo 2	28
Tabla 10. Tabla de datos para LL de suelo tipo 1.....	31
Tabla 11. Tabla de datos para LP de suelo tipo 1	32
Tabla 12. Tabla resumen de límites de consistencia para suelo 1	33
Tabla 13. Tabla de datos para LL de suelo tipo 2.....	33
Tabla 14. Tabla de datos para LP de suelo tipo 2	34

Tabla 15. Tabla resumen de límites de consistencia para el suelo 2	35
Tabla 16. Tabla resumen de clasificación de las muestras de suelo	36
Tabla 17. Contenido de Humedad vs. Peso volumétrico seco.....	40
Tabla 18. Ensayo Proctor suelo natural	40
Tabla 19. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural	44
Tabla 20. Estabilizantes y referencia de porcentajes.....	45
Tabla 21. Dosificaciones para ensayo de límites (Suelo-cemento).....	47
Tabla 22. Datos de Límites Líquido, suelo natural + 4% de cemento	48
Tabla 23. Datos de Límites Plástico, suelo natural + 4% de cemento	48
Tabla 24. Datos de Límite Líquido, suelo natural + 8% de cemento	49
Tabla 25. Datos de Límite Plástico, suelo natural + 8% de cemento	50
Tabla 26. Datos de límite líquido, suelo natural + 12% de cemento	50
Tabla 27. Datos de límite plástico, suelo natural + 12% de cemento	51
Tabla 28. Límites de Atterberg. suelo-cemento	51
Tabla 29. Contenido de Humedad vs. Peso volumétrico seco, adicionando los diferentes porcentajes de cemento	53
Tabla 30. Proctor estándar. suelo-cemento.....	54
Tabla 31. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 4% de cemento	54
Tabla 32. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 8% de cemento	55
Tabla 33. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 12% de cemento	56
Tabla 34. Datos de LL, suelo natural + 4% de cal	58
Tabla 35. Datos de LP, suelo natural + 4% de cal.....	58
Tabla 36. Datos de LL, suelo natural + 8% de cal	59
Tabla 37. Datos de LP, suelo natural + 8% de cal.....	60
Tabla 38. Datos de LL, suelo natural + 12% de cal	60

Tabla 39. Datos de LP, suelo natural + 12% de cal.....	61
Tabla 40. Límites de Atterberg. suelo-cal.....	61
Tabla 41. Contenido de Humedad vs. Peso volumétrico seco, adicionando los diferentes porcentajes de cal	63
Tabla 42. Proctor estándar. suelo-cal.....	63
Tabla 43. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 4% de cal	64
Tabla 44. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 8% de cal	65
Tabla 45. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 12% de cal	66
Tabla 46. Datos de LL, suelo natural + 4% de cenizas de madera.....	67
Tabla 47. Datos de LP, suelo natural + 4% de cenizas de madera	68
Tabla 48. Datos de LL, suelo natural + 8% de cenizas.....	69
Tabla 49. Datos de LP, suelo natural + 8% de cenizas	69
Tabla 50. Datos de LL, suelo natural + 12% de cenizas.....	70
Tabla 51. Datos de LP, suelo natural + 8% de cenizas	71
Tabla 52. Límites de Atterberg. suelo-cenizas de madera.....	71
Tabla 53. Contenido de Humedad vs. Peso volumétrico seco, adicionando los diferentes porcentajes de cenizas de madera	73
Tabla 54. Proctor estándar. suelo-cenizas de madera	74
Tabla 55. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 4% de cenizas de madera	74
Tabla 56. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 8% de cenizas de madera	75
Tabla 57. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 12% de cenizas de madera.....	76
Tabla 58. Datos de LL, suelo natural + 4% de aserrín.....	77
Tabla 59. Datos de LP, suelo natural + 4% de aserrín	78
Tabla 60. Datos de LL, suelo natural + 8% de aserrín.....	79
Tabla 61. Datos de LP, suelo natural + 8% de aserrín	79

Tabla 62. Datos de LL, suelo natural + 12% de aserrín.....	80
Tabla 63. Datos de LP, suelo natural + 12% de aserrín	81
Tabla 64. Límites de Atterberg, suelo-aserrín	81
Tabla 65. Contenido de Humedad vs. Peso volumétrico seco, adicionando los diferentes porcentajes de Aserrín.....	82
Tabla 66. Proctor estándar, suelo-aserrín	83
Tabla 67. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 8% de aserrín	84
Tablas 69: Tabla resumen de límites de los suelos y su clasificación	90
Tabla 70. Contenido de humedad, suelo tipo 1	98
Tabla 71. Contenido de humedad, suelo tipo 2	98
Tabla 72. Tarjeta de identificación del sondeo 1, muestra 1	99
Tabla 73. Tarjeta de identificación del sondeo 1, muestra 2.....	99
Tabla 74. Tarjeta de identificación del sondeo 2, muestra 1	100
Tabla 75: Tarjeta de identificación del sondeo 2, muestra 2.....	100
Tabla 76: Tarjeta de identificación del sondeo 3, muestra 1.....	101
Tabla 77: Tarjeta de identificación del sondeo 3, muestra 2.....	101
Tabla 78: Tarjeta de identificación del sondeo 4, muestra 1	102
Tabla 79: Tarjeta de identificación del sondeo 4, muestra 2.....	102
Tabla 80: Tarjeta de identificación del sondeo 5, muestra 1.....	103
Tabla 81: Tarjeta de identificación del sondeo 5, muestra 2.....	103
Tabla 82: Tarjeta de identificación del sondeo 6, muestra 1	104
Tabla 83: Tarjeta de identificación del sondeo 6, muestra 2.....	104
Tabla 84: Ensaye de Límite de Atterberg. Suelo 1	105
Tabla 85: Ensaye de Límite de Atterberg. Suelo 2	106
Tabla 86: Ensaye de Límite de Atterberg. Suelo natural + 4% cemento.....	107

Tabla 87: Ensaye de Límite de Atterberg. Suelo natural + 8% cemento	108
Tabla 88: Ensaye de Límite de Atterberg. Suelo natural + 12% cemento	109
Tabla 89: Ensaye de Límite de Atterberg. Suelo natural + 4% cal	110
Tabla 90: Ensaye de Límite de Atterberg. Suelo natural + 8% cal	111
Tabla 91: Ensaye de Límite de Atterberg. Suelo natural + 12% cal	112
Tabla 92: Ensaye de Límite de Atterberg. Suelo natural + 4% cenizas de madera	113
Tabla 93: Ensaye de Límite de Atterberg. Suelo natural + 8% cenizas de madera	114
Tabla 94: Ensaye de Límite de Atterberg. Suelo natural + 12% cenizas de madera...	115
Tabla 95: Ensaye de Límite de Atterberg. Suelo natural + 4% aserrín	116
Tabla 96: Ensaye de Límite de Atterberg. Suelo natural + 8% aserrín	117
Tabla 97: Ensaye de Límite de Atterberg. Suelo natural + 12% aserrín	118
Tabla 97: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural	119
Tabla 98: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 4% cemento	120
Tabla 99: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 8% cemento	121
Tabla 100: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 12% cemento	122
Tabla 101: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 4% cal	123
Tabla 102: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 8% cal	124
Tabla 103: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 12% cal	125
Tabla 104: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 4% cenizas de madera	126
Tabla 105: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 8% cenizas de madera	127
Tabla 106: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 12% cenizas de madera ..	128
Tabla 107: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 4% aserrín	129
Tabla 108: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 8% aserrín	130
Tabla 109: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 12% aserrín	131

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Contenido de humedad	10
Ecuación 2. Ecuación de Proctor	14
Ecuación 3. Ecuación de CBR	15
Ecuación 4. Contenido de humedad	23
Ecuación 5. Porcentaje retenido parcial	25
Ecuación 6. Porcentaje retenido acumulado	25
Ecuación 7. Porcentaje que pasa cada tamiz.....	25
Ecuación 8. Contenido de humedad a N golpes. LL.....	29
Ecuación 9. Límite líquido	29
Ecuación 10. Índice de plasticidad	30
Ecuación 11. Contenido de humedad de cada espécimen compactado.....	38
Ecuación 12. Peso volumétrico húmedo (densidad húmeda) en cada espécimen compactado	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Límites de consistencia	11
Figura 2. Macro localización.....	20
Figura 3. Micro localización.....	21
Figura 5. Columnas estratigráficas.....	36
Figura 6. Compactación de cilindro	37
Figura 7. Muestras de suelo en condición de inmersión de 4 días para el CBR	43

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Curva granulométrica para suelo tipo 1	27
Gráfica 2. Curva granulométrica para suelo tipo 2	28
Gráfica 3. Límite líquido, suelo 1	32
Gráfica 4. Límite líquido, suelo 2	34
Gráfica 5. Curva de compactación. Proctor Estándar	41
Gráfica 6. Proyección de tangentes	41
Gráfica 7. Comparativa de curvas	42
Gráfica 8. CBR vs. Densidad seca	44
Gráfica 9. Límite Líquido, suelo natural + 4% cemento	48
Gráfica 10. Límite Líquido, suelo natural + 8% cemento	49
Gráfica 11. Límite Líquido, suelo natural + 12% cemento	51
Gráfica 12. Límites de consistencia suelo-cemento	52
Gráfica 13. Índice de plasticidad suelo-cemento	52
Gráfica 14. CBR vs. Densidad seca (suelo natural +4% cemento)	55
Gráfica 16. CBR vs. Densidad seca (suelo natural +12% cemento)	57
Gráfica 17. Límite Líquido, suelo natural + 4% cal	58
Gráfica 18. Límite Líquido, suelo natural + 8% cal	59
Gráfica 19. Límite Líquido, suelo natural + 12% cal	61
Gráfica 20. Límites de consistencia suelo-cal	62
Gráfica 21. Índice de plasticidad suelo-cal	62
Gráfica 23. CBR vs. Densidad seca (suelo natural +8% cal)	66
Gráfica 24. CBR vs. Densidad seca (suelo natural +12% cal)	67
Gráfica 25. Límite Líquido, suelo natural + 4% cenizas	68
Gráfica 26. Límite Líquido, suelo natural + 8% cenizas	69

Gráfica 27. Límite Líquido, suelo natural + 12% cenizas	70
Gráfica 28. Límites de consistencia suelo-cenizas de madera	72
Gráfica 29. Índice de plasticidad suelo-cenizas de madera	72
Gráfica 30. CBR vs. Densidad seca (suelo natural +4% cenizas de madera).....	75
Gráfica 31. CBR vs. Densidad seca (suelo natural + 8% cenizas de madera).....	76
Fuente: Propia	76
Gráfica 32. CBR vs. Densidad seca (suelo natural + 12% cenizas de madera).....	77
Gráfica 33 Límite Líquido, suelo natural + 4% aserrín	78
Gráfica 34. Límite Líquido, suelo natural + 8% aserrín	79
Gráfica 35. Límite Líquido, suelo natural + 12% Aserrín.....	80
Gráfica 36. Límites de consistencia suelo-aserrín	81
Gráfica 37. Índice de plasticidad suelo-aserrín.....	82
Gráfica 38. CBR vs. Densidad seca (suelo natural + 4% de aserrín).....	84
Gráfica 40. CBR vs. Densidad seca (suelo natural + 12% de aserrín).....	86
Gráfico 41. Comparativa de resultados, límite líquido	87
Gráfico 42. Comparativa de resultados, límite plástico	88
Gráfico 43. Comparativa de resultados, índice de plasticidad	89
Gráfico 44. Comparativa de resultados. Humedad óptima - Proctor estándar	91
Gráfico 45. Comparativa de resultados. Densidad seca máxima - Proctor estándar	91
Gráfico 46. Comparativa de resultados. CBR.....	92

DEDICATORIA

Esta monografía la dedico en primer lugar a Dios quien es mi estandarte y mi victoria. Luego, a la persona que me inspiro a estudiar ingeniería civil, mi abuelo Asunción Vásquez; gracias por ser un ejemplo y por su apoyo. La dedico a mis padres Andrea Vásquez & Manuel Pérez, y mi hermano Enmanuel; por sus sacrificios y su apoyo constante, sin su ayuda esto no sería posible. De igual, manera a mi hermano Nelson P., y mis sobrinos.

-A. Sarahí P.V.

Dedico este trabajo primordialmente a Dios por ser fuente de inspiración y perseverancia.

A mis padres, Juana Osorio y Harvy García, por todas sus enseñanzas, apoyo, comprensión y amor incondicional que me han dado fortaleza y me han hecho llegar hasta donde estoy.

A mi hermana y mejor amiga Linda García, por todo el ánimo y apoyo que me brindó para poder salir adelante.

-Ligia García O.

A Dios, el forjador de mi camino a mi padre celestial que hasta el día de hoy me ha guiado por el lugar correcto.

Con cariño y gratitud, dedico este proyecto a mis padres Álvaro Espinoza y Maritza García quienes han sido mis pilares fundamentales para seguir adelante, la motivación de mi vida, mi orgullo de ser lo que hasta hoy en día he logrado.

Por ellos y para ellos todo mi esfuerzo y dedicación.

-Yodeliz Espinoza García

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, mi Salvador y mi plenitud; gracias por la sabiduría, por las fuerzas, por su gracia y amor infinito, por su favor y por la provisión durante toda esta aventura; gracias por no soltarme. Gracias a mis padres quienes fueron y son mi impulso, gracias por su apoyo y su amor incondicional. Gracias a mi hermano, por ser esa alegría y por su apoyo en cada etapa. Gracias a mi familia por su amor (gracias Danny, gracias tío y gracias abuelo). A mis amigos, esos que son familia, gracias por la motivación y los ánimos brindados. Gracias familia INCI por sus oraciones.

Gracias a la Ing. Silvia Lindo por su ayuda, su dedicación, su paciencia y su acompañamiento durante todo este trayecto. Gracias a docentes por su conocimiento compartido, y personal del RUPAP que de manera directa e indirecta aportaron a concluir esta etapa de mi vida.

Y por supuesto gracias a mi dúo (Yodeliz & Mariela) por hacer divertida y más llevadera la carrera; gracias por todo lo compartido, lo vivido y aprendido durante todos estos años.

¡GRACIAS TOTALES!

-A. Sarahí P.V.

Proverbios 16:3 “Pon tus obras en manos del Señor y tus proyectos se cumplirán”.

Primero agradezco a Dios por permitir que todo en el camino se aparejara para llegar a feliz término este trabajo de grado, por haber permitido llegar hasta aquí hoy, por darme fuerza y salud para llevar a cabo mis metas y objetivos. Por poner cada día la motivación correcta y enfocarme en realizar el mismo con excelencia.

Agradezco a mis padres por darme en la medida de sus facultades todo su apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo, por su cariño, por la comprensión y la confianza que han tenido en mí. Por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en mi educación; tanto académica como de la vida.

A nuestra tutora Ing. Silvia Lindo O'Connor quien con sus enseñanzas y sabiduría supo guiarnos en el desarrollo de este trabajo.

A mi hermana por ser el ejemplo de una hermana mayor y de quien aprendí éxitos y momentos difíciles. Finalmente, a todos aquellos que directa o indirectamente ayudaron a realizar este trabajo monográfico, mil y mil gracias.

-Ligia García O.

Le agradezco primeramente a Dios, por haberme dado la vida y acompañarme a lo largo de mi carrera, por darme la sabiduría y la fortaleza para alcanzar mis metas.

A mis padres, por siempre creer en mí dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo. Son mi fuerza, mis guías y mi ejemplo a seguir, gracias por todo.

A mi abuela Cándida Aguilar, que fue la persona después de mis padres que más se preocupaba por mí, me enseñó muchas cosas vitales para la vida y me encaminó por el buen sendero.

A mis amigas Ligia García y Sarahí Pérez, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas. Sin ellas la carrera no hubiera sido igual, gracias eternamente.

A nuestra tutora Silvia Lindo O'Connor, por habernos guiado en este proyecto en base a su experiencia y sabiduría, ha sabido direccionar nuestro conocimiento con paciencia durante todo el desarrollo del proyecto.

A la universidad (UNI) como tal y a los maestros que gracias a los conocimientos otorgados he logrado llegar hasta este momento.

-Yodeliz Espinoza García

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

La rehabilitación o construcción de una carretera, en general, conlleva la implementación de múltiples etapas de trabajo. Estas se pueden clasificar desde la propia producción de la vía, estabilización de la misma, compactación y revestimiento. El estabilizar el suelo es una de las etapas más importantes en la ejecución de un proyecto, porque permite mejorar la calidad del mismo. El método de estabilización convencional consiste en el reemplazo del material natural de la subrasante por uno granular.

Existe actualmente una alta demanda de material para agregado en la industria de la construcción, razón por la cual los recursos naturales del mundo están disminuyendo drásticamente, generando un problema en el medio ambiente. Este problema ha dado pie a estudios e investigaciones para llevar un desarrollo sostenible, proponiendo usar residuos de diferentes productos como material para agregado que reemplace a los convencionales.

Este trabajo consiste en la estabilización de suelos presentes en tramo de 1km de camino en la comunidad El Castillo No.1 del municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya, mediante la adición de aditivos, como son: cemento, cal, ceniza de madera y aserrín.

Con esto se pretende encontrar el porcentaje óptimo de las diferentes mezclas suelo-cemento, suelo-cal, suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín; para lograr estabilizar dicho suelo. Para lograr esto, es necesario conocer las propiedades físicas y mecánicas tanto del suelo existente, como de las mezclas antes mencionadas. Para ello, se realizarán los siguientes ensayos de laboratorio: análisis granulométrico, límites de Atterberg, pruebas de proctor y pruebas de CBR.

En la presente investigación se detallará la variabilidad técnica de la resistencia del suelo ante la aplicación variable de los aditivos planteados anteriormente, para determinar la proporción óptima, e identificar aquella mezcla que disminuya la plasticidad y aumente la resistencia del suelo existente.

1.2. ANTECEDENTES

Actualmente nuestra nación está teniendo un considerable desarrollo en el ámbito constructivo, llevando a cabo obras horizontales, obras verticales, obras hidráulicas, sanitarias, etc., lo que conlleva a un mayor nivel de exigencia en lo que respecta al estudio ingenieril en diversas áreas disciplinarias.

En el municipio de San Juan de Oriente, se han realizado trabajos monográficos relacionados a la ejecución de pruebas de laboratorios para la determinación de características físicas y mecánicas del suelo a través de muestras extraídas del área de donde se pretende llevar a cabo este trabajo monográfico. Dichos estudios corresponden a tres tesinas, siendo la primera: "Diseño de estructura de pavimentos utilizando adoquín en el municipio de San Juan de Oriente, Masaya" (Zelaya, 2009), posteriormente se realizó un "Estudio a nivel de perfil del proyecto reemplazo de viviendas de interés social del Bo. Buena Vista zona 4 de San Juan de Oriente, departamento de Masaya" (Rodríguez & Rodríguez Castro, 2013). Y por último se realizó una "Determinación de la resistencia de corte de los suelos de las comarcas: Buena Vista, El Castillo N°1, Garnacha y Calle Campo Deportivo, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya" (López, 2016). Basados en estos estudios se identificó que los suelos predominantes están conformados por materiales finos y elásticos, en los estratos superficiales son de tipo limosos, y arcillas en los estratos inferiores, así como también arenas limosas.

Tomando en consideración estos estudios se pretende desarrollar procesos de estabilización del suelo en estudio, implementando agentes estabilizantes, como son: cemento, cal, cenizas de madera y aserrín.

El uso de cal a lo largo de la historia ha significado la construcción de muchas obras de ingeniería que perduran hasta la actualidad, y eso da cuenta de las excelentes propiedades que puede brindar este material en cuanto a durabilidad, resistencia y compatibilidad con otros materiales

Teniendo en cuenta lo anterior, la cal desde la antigüedad ha sido un material de uso en la construcción de vías. Uno de los precedentes más importantes data del

Imperio Romano, en la construcción de la primera vía, denominada La Vía Apia en el año 312 a.C.; en este proyecto que pretendía unir varias ciudades de Roma con fines militares y sociales.

Durán, G. (2016), hizo un estudio experimental, utilizando ceniza de madera, para el mejoramiento del suelo arcilloso, realizando ensayos de resistencia: compresión simple y triaxial Cu, con la mezcla de suelo arcilloso y ceniza de madera (horno de ladrillos artesanales), logrando identificar el mejoramiento en las propiedades mecánicas del suelo arcilloso.

Pérez. R. (2012), en su tesis establece una idea de lo rentable que puede ser utilizar la ceniza volante como estabilizador de suelos arcillosos en obras viales. Para hacer válido el estudio, se requirió definir una serie de ensayos que dependieron principalmente de una variación dada de cada material. Se pudo concluir que la arcilla en combinación con la ceniza volante da buenos resultados mejorando la resistencia del suelo arcilloso.

En lo que respecta a la estabilización con cemento, éste ha sido uno de los aditivos más empleados en Nicaragua, para estabilizar la capa sub base en tramos de carretera, tales como: Boaco-Matiguas-Río Blanco, Nandaime-Rivas-Peñas Blancas. A la vez, existe un estudio relacionado al suelo-cemento realizado por Natalini, realizando ensayos variando la proporción del volumen de cemento para determinar la estabilización de la mezcla.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La construcción de carreteras es una actividad que contribuye de manera eficaz y eficiente en el mejoramiento de las condiciones de la vía de la comunidad a la cual se beneficia en particular, la sociedad y el país. Sin embargo, en muchas obras de construcción de carreteras se encuentran terrenos de fundación de baja capacidad portante, el cual necesita ser mejorado o cambiado por otro material que cumpla los parámetros exigidos por las respectivas normativas.

La zona en estudio es una zona rural alejada de urbanizaciones y los suelos son bastante fértiles, presentando características de suelos arcillosos. De lo anteriormente descrito se plantea la propuesta de estabilización de las arcillas presentes en esta comunidad con diferentes aditivos, entre los que se mencionan: cemento, cal, cenizas de madera y aserrín cuya concentración será determinada en los estudios planteados.

De igual manera los estudios de suelos realizados en la comunidad podrán ser retomado por las autoridades locales, para la formulación de proyectos futuros y en caso de evaluar la incidencia de la ceniza de madera y del aserrín como agente estabilizador, podría utilizarse como un proyecto piloto aplicándolo al tratamiento de los suelos de esta comunidad.

Además, este documento pretende servir de base a estudios que pudieran realizarse en comunidades que presenten estas mismas características. Esta investigación nos permitirá conocer si la ceniza de madera, el aserrín, la cal y el cemento como agente estabilizador realmente mejoran las propiedades físico-mecánicas de los suelos. Se realizará también para enriquecer los conocimientos de mecánica de suelos al realizar una investigación innovadora que permita determinar si un material de desecho que anteriormente fue residuo industrial, puede ser utilizado para estabilizar suelos. Es por esto que la importancia de éste trabajo radica en el hecho de que puede ofrecerse al medio una nueva adición para la estabilización de suelos, que mejore todas o alguna propiedad de los suelos, con el fin de utilizar a los suelos en la construcción de obras civiles.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Realizar un análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal, suelo-cenizas de madera y suelo–aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del Castillo No.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya, 2022.

1.4.2. Objetivos específicos

- Recolectar muestras de suelos en el tramo Castillo No, 1, San Juan de Oriente.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo en estudio, efectuando los respectivos ensayos de laboratorio.
- Realizar la estabilización de suelos en las distintas mezclas y variando el porcentaje de participación de los agentes estabilizantes.
- Definir las propiedades de los suelos estabilizados.
- Analizar las propiedades de los suelos estabilizados, comparar los resultados de las diversas mezclas entre sí.

1.5. MARCO TEÓRICO

Para comprender el análisis de una estabilización de suelos arcillosos es necesario conocer algunos conceptos básicos que permitirán una mejor comprensión de los temas relacionados con los suelos, aditivos, pruebas de laboratorio y normativas.

1.5.1. Suelos

Se denomina suelo a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física, y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre ella. Los suelos son sistemas complejos donde ocurren una vasta gama de procesos físicos y biológicos que se ven reflejados en la gran variedad de suelos existentes en la tierra (Crespo, 2004).

Desde la perspectiva de la ingeniería civil, el suelo se define como un material no consolidado compuesto por partículas líquidas, sólidas y vacías que ocupan espacio entre ellas.

- **Tipos de suelos**

La clasificación de los suelos fue uno de los primeros objetivos de la mecánica de suelos. Antiguamente dicha clasificación se hacía con base en criterios puramente descriptivos, actualmente la clasificación de suelos está basada en las propiedades mecánicas de los suelos.

A continuación, se describen los suelos más comunes, con el nombre generalmente utilizados para su clasificación según ASTM D-2487.

- Las arenas y las gravas: son suelos de fragmentos granulares, redondos o angulosos, poco o nada alterados de rocas minerales. Estos suelos no poseen cohesión entre sus fragmentos.

- Los limos: son suelos de grano fino (material que pasa malla No 200), pero con plasticidad menor a la que presenta una arcilla, los cuales generalmente cuentan con materia orgánica finamente dividida.
- Las arcillas: son suelos formados de partículas derivadas de la descomposición química y mineralógica que sufren los constituyentes de las rocas, generalmente por intemperismo. Son suelos plásticos cuando están húmedos y cuando están secos son muy duros, tienen además permeabilidad extremadamente baja.

1.5.2. Estudios de campo

El estudio del suelo debe comenzarse en el campo, con la observación detallada y precisa, tanto del suelo en su conjunto, como del medio en el que se halla. Existen diferentes métodos tales como: exploración a cielo abierto, sondeos manuales, ensayos de penetración estándar o SPT y métodos rotativos en roca, los cuales se detallan a continuación.

a) Exploración a cielo abierto

Este método es el que presenta resultados más satisfactorios en lo que respecta a la evaluación de las condiciones del subsuelo, ya que consiste en excavar un pozo de dimensiones suficientes para que un técnico pueda directamente bajar y examinar los diferentes estratos del suelo en su estado natural, así como darse cuenta de las condiciones precisas referentes al contenido de agua en los suelos.

b) Sondeos manuales

Son perforaciones realizadas mediante barrenos de diversos tipos, elegidas en función de la profundidad a alcanzar y de las características del terreno. Se realizan sondeos con equipo manual, en cada una de ellos se determinará la estratigrafía del suelo; en los suelos cohesivos de consistencia blanda a firme se

tomarán muestras inalteradas con tubos Shelby y se efectuarán ensayos de veleta de campo.

c) Ensayes de penetración estándar (SPT)

El Sondeo de Penetración Estándar se emplea para recuperar muestras alteradas de suelo, las cuales en campo permiten identificar tipos de suelo y definir estratigrafía; en laboratorio, permiten la identificación de propiedades índice como contenido de humedad, límites de consistencia, entre otros. Con el número de golpes que se necesita para hincar el penetrómetro usado en la prueba se estima, mediante relaciones empíricas, la resistencia al corte.

d) Métodos rotativos en roca

Cuando un sondeo alcanza una capa de roca más o menos firme o cuando en el curso de la perforación las herramientas hasta aquí descritas tropiezan con un bloque grande de naturaleza rocosa, no es posible lograr penetración con los métodos estudiados y ha de recurrirse a un procedimiento diferente. El principio utilizado por las perforadoras rotativas consiste en aplicar energía a la roca haciendo rotar un útil de corte o destroza conjuntamente con la acción de una gran fuerza de empuje. Los diámetros habituales de barreno conseguidos con este tipo de perforadoras oscilan entre 50 y 311 mm, estando los mayores diámetros especialmente indicados para los grandes volúmenes de excavación.

1.5.3. Propiedades físicas de los suelos

A continuación, se dan a conocer las propiedades índices de los suelos y su objetivo de análisis.

a) Humedad

El contenido de humedad del suelo, se define como la cantidad de agua presente en el suelo al momento de efectuar el ensayo, relacionado al peso de su fase

sólida, (Das, 2001). Los datos de humedad son calculados mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Contenido de humedad

$$\%W = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde:

$\%W$ = porcentaje de humedad

W_w = Peso del agua

W_s = Peso del suelo seco

De acuerdo a la ASTM D-2216, el cual es un método de ensayo que cubre la determinación en laboratorios del contenido de humedad por masa de suelo, roca y materiales similares, donde la reducción en masa por secado se debe a la pérdida de agua.

b) Análisis granulométrico

La granulometría es muy importante en el proceso de clasificación de suelos, ya que permite en primera instancia separar la fracción gruesa de la fina. Además las características del tamaño de las partículas de un suelo, tienen gran importancia en su comportamiento mecánico, e influyen considerablemente en la compactación adecuada de los suelos.

Esta prueba se remite a determinar al tamaño o diámetro de las partículas que componen el suelo, existen diferentes métodos, dependiendo de la mayor proporción de tamaños que existen en la muestra que se va a analizar.

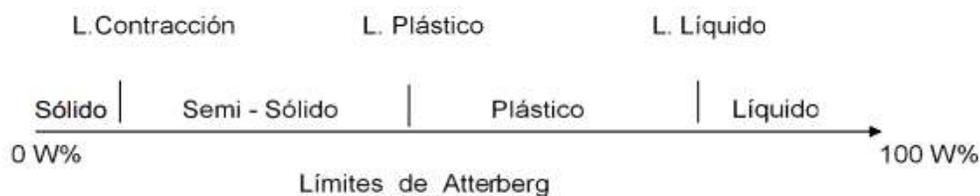
Para las partículas gruesas, el procedimiento utilizado es el método mecánico o granulometría por tamizado.

c) Límites de consistencia de los Suelos (Límites de Atterberg).

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos; se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. (ASTM International, 2007).

Los límites de Atterberg son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo, bajo la ASTM D-4318. Y de manera más específica, la asignación ASTM D424-54 para el límite plástico, y para el límite líquido la ASTM D423-66.

Figura 1. Límites de consistencia



Fuente: Propia

El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por Atterberg a principios de siglo, a través de dos ensayos que definen los límites del estado plástico:

- Límite Líquido (LL): se define como el contenido de humedad expresado en porcentajes con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado semi-líquido al estado plástico.

Esto se logra utilizando una muestra del suelo húmedo en un recipiente en forma de capsula de bronce, conocido como copa casa grande, separada en dos por la acción de un ranurador patrón, y dejada caer a una altura libre de 1cm.

- Límite Plástico (LP): se define como el contenido de humedad expresado en porcentajes con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo pasa de un estado plástico a un estado semi-sólido.

A partir de la determinación de los límites de consistencia se puede calcular otras propiedades de los suelos arcillosos, que tienen un significado importante para el análisis del comportamiento y clasificación del mismo, como lo es el índice de plasticidad.

Para determinar las propiedades mecánicas de los suelos es necesario realizar algunos ensayos, los cuales arrojan índices y parámetros que ayudan a conocer cómo se comportan los suelos mecánicamente. A continuación, se presentan los ensayos que se consideran para el desarrollo de la investigación.

1.5.4. Método de clasificación

Actualmente se aplican dos sistemas de clasificación de suelos: el de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Estas dos metodologías parten de la misma información y son de primordial aplicación en la caracterización de suelos.

- **AASHTO**

Este método clasifica a los suelos, de acuerdo a su composición granulométrica, su límite líquido y su índice de plasticidad, en siete grupos de A-1 a A-7. Los suelos cuyas partículas pasan el tamiz No. 200 (0.075 mm) en un porcentaje menor al 35 %, forman los Grupos A1, A2, A3 y los subgrupos que corresponden. En cambio los suelos finos limo-arcillosos que contienen más del 35 % de material fino que pasa el tamiz No. 200, constituyen los grupos A-4, A-5, A-6, A-7 y los correspondientes subgrupos. (Eddy, 2010).

- **SUCS**

Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se puede clasificar suelos con tamaños menores de tres (3) pulgadas.

Los suelos de granos grueso y fino se distinguen mediante el tamizado del material por el tamiz N° 200. Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamiz y los finos a los que lo pasan, de esta forma se considera que un suelo es grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidas en el tamiz N° 200 y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicho tamiz.

Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres en inglés de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turbas), mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos.

1.5.5. Pruebas de resistencia

Estas pruebas nos permiten conocer propiedades índices y características mecánicas de los suelos según las normativas ASTM y AASHTO.

- **Prueba de Proctor**

El ensaye Proctor estándar se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad. Este ensayo se encuentra estandarizado por la ASTM D-698.

La compactación consiste en un proceso repetitivo, cuyo objetivo es conseguir una densidad específica para una relación óptima de agua. En primer lugar se lanza sobre el suelo natural existente, generalmente en capas sucesivas, un terreno con granulometría adecuada; a seguir se modifica su humedad por medio de

aeración o de adición de agua y, finalmente, se le transmite energía de compactación por el medio de golpes o de presión.

Con estos ensayos se pretende determinar los parámetros óptimos de compactación, lo cual asegurará las propiedades necesarias para el proyecto de fundación. Esto se traduce en determinar cuál es la humedad óptima que se requiere, con una energía de compactación dada, para obtener la densidad seca máxima que se puede conseguir para un determinado suelo.

El peso volumétrico húmedo para cada humedad se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Ecuación de Proctor

$$\gamma_h = \frac{P_h}{V_t}$$

Donde:

γ_h : Peso volumétrico húmedo.

P_h : Peso del material húmedo compactado en el molde.

V_t : Volumen del molde.

- **Pruebas de CBR**

La finalidad de este ensayo, es determinar la capacidad de soporte CBR (California Bearing Ratio) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables.

En este ensayo se mide la carga necesaria para hacer penetrar un pistón de 50±5 mm de diámetro en una masa de suelo compactada en un molde cilíndrico de acero. El valor CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos, principalmente con fines de utilización como base y

subrasante bajo pavimentos de carreteras. La expresión que define al CBR, es la siguiente:

Ecuación 3. Ecuación de CBR

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

Cabe mencionar que el número CBR, es un porcentaje de la carga unitaria patrón, y este está sujeto a ASTM D-1883.

El esfuerzo en suelo ensayado se determina a través de la lectura en máquina de CBR de la muestra ensayada. El esfuerzo o carga en muestra patrón ya está definida, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 1. Esfuerzos requeridos para diferentes profundidades de penetración

Penetración del pistón	mm	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5
	cm	0.25	0.50	0.75	0.10	1.27
	pulg	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Esfuerzo	Mpa	6.89	10.34	13.10	15.86	17.93
	Kg/cm ²	70.31	105.46	133.58	167.71	182.80
	PSI	1000	1500	1900	2300	2600

Fuente: Evaluación de la subrasante. Ejecución de ensayos de resistencia. California Bearing Ratio. PATEL, M. (2012)

Con el resultado del CBR de esta prueba se puede describir el suelo en estudio y su aplicación como subrasante, a como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación del suelo en función de la subrasante

Valor de CBR	Clasificación cualitativa del suelo	Usos
2-5	Muy mala	Subrasante
5-8	Mala	Subrasante
8-20	Regular a buena	Subrasante

20-30	Excelente	Subrasante
30-60	Buena	Subbase
60-80	Buena	Subbase
80-100	Excelente	Base

Fuente: Manual de laboratorio de suelos para ingeniería civil. Bowles J.(1980)

1.5.6. Estabilización de suelo

En muchas ocasiones los suelos existentes en obra no cumplen los requisitos de calidad para ser empleados en subrasante, subbases, bases, etc. Lo anterior, conlleva al desarrollo de un proceso para el mejoramiento de dichos suelos, de manera que éstos alcancen los requisitos establecidos. Tal proceso recibe el nombre de estabilización de suelos y consiste principalmente, en mejorar un suelo estabilizando su fase sólida o esqueleto resistente, obteniéndose de esta manera, el aumento de su capacidad de soporte y la disminución de las deformaciones inducidas por solicitaciones externas (MINVU, 2008).

De acuerdo a Yepes (2008), “La estabilización de un suelo mejora o controla su estabilidad volumétrica, aumenta su resistencia y el módulo esfuerzo-deformación, mejora su permeabilidad y durabilidad y reduce su susceptibilidad al agua.”

El estudio de estabilización de suelos surge como alternativa en la construcción de vías para reemplazar los materiales convencionales usados en las capas granulares y/o mejorar la subrasante de las estructuras del pavimento.

- **Tipo de estabilización de suelos**

Cuando se necesita mejorar las condiciones de la carpeta de rodado y propiedades del suelo puede recurrirse a la estabilización del suelo y existen tres formas para lograrlo. (Métodos de Estabilización de Suelos, 2010).

• **Estabilización física**

Este se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo por medio de mezclas de suelos, existen varios métodos como lo son:

- Geotextiles: son telas permeables no biodegradables que pueden emplearse como filtros y para controlar la erosión de suelos y el transporte de lodos.
- Vibroflotación (Mecánica de Suelos): sirve para densificar suelos no cohesivos limpios. Por lo general el vibrador con el jet de agua reduce la fuerza intergranulares entre las partículas del suelo, permitiéndolas moverse a una posición más densa.

• **Estabilización química**

Se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso. Entre los que se mencionan:

- Cal: disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.
- Cemento Portland: aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.
- Productos Asfálticos: es una emulsión muy usada para material triturado sin cohesión.
- Cloruro de Sodio: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- Cloruro de Calcio: impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- Polímeros: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

• **Estabilización mecánica**

Es aquella con la que se logra mejorar considerablemente un suelo sin que se produzcan reacciones químicas de importancia.

- Compactación: este mejoramiento generalmente se hace en la sub-base, base y en las carpetas asfálticas.

1.5.7. Estabilización de suelos con cemento

El cemento es un material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como en el aire (INN, 1968). La estabilización con cemento consiste en una mezcla de suelo pulverizado con cemento y contenido de agua, que, compactado a humedad óptima y densidad máxima, produce un material resistente, durable y de bajo costo luego de la hidratación del cemento.

Cada tipo de suelo requiere una cantidad adecuada de cemento para su estabilización, por lo tanto, es importante tener en consideración las características, el comportamiento, así como las condiciones del terreno.

1.5.8. Estabilización de suelos con cal

La cal es un reactivo químico que se obtiene a partir de la descomposición, mediante calcinación, del carbonato de calcio, que contienen las calizas. La cal se utiliza bastante para estabilizar suelos finos, los cuales son ricos en sílice y alúmina, ambos compuestos puzolánicas. Cuando la cal se adiciona al suelo fino y se suministra agua, se forma un medio acuoso que permite la llegada de la cal a las partículas de suelo fino.

La cal puede ser utilizada en el tratamiento de suelos, en varios grados o cantidades, dependiendo del objetivo. Tal tratamiento produce una plataforma de trabajo para la construcción de caminos temporales. Un mayor grado de

tratamiento, respaldado por las pruebas, diseño y las técnicas apropiadas de construcción, producen la estabilización estructural permanente del suelo. (Álvarez y Echeverri, 1999).

1.5.9. Estabilización de suelos con cenizas de madera

Las cenizas generadas de la quema de materia orgánica presentan un problema medioambiental debido a su inadecuada disposición final, contaminando el aire y a las poblaciones. Un adecuado mecanismo de reutilización impactaría positivamente en disminuir el impacto ambiental y agregaría valor a un residuo que se produce en grandes cantidades. Así que, en los últimos años se viene estudiando con mayor frecuencia la utilización de los residuos en diversas obras de infraestructura. (Durán, 2019).

La ceniza proveniente de la quema de madera y carbón de ladrilleras artesanales surge como una opción para la mejora de las propiedades geotécnicas del suelo. Este mecanismo genera alteraciones en el suelo que dependen de factores como el tipo de suelo, el tipo y cantidad de ceniza, energía de compactación aplicada, tiempo de curado de la mezcla suelo-ceniza.

1.5.10. Estabilización de suelos con aserrín

El aserrín es una mezcla de polvo grueso que queda después del corte de las maderas. Es uno de los residuos forestales principales que consiste en un conjunto de partículas o de polvillo desprendido de la madera al haber sido aserrada.

De acuerdo a Grez R. & Gerding V (1995), el aserrín mejora el régimen de agua en suelos de texturas extremas tanto arcillosas como arenosas, así como igualmente contribuye a la dinámica de elementos nutritivos favoreciendo su disponibilidad.

CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN DEL SUELO NATURAL

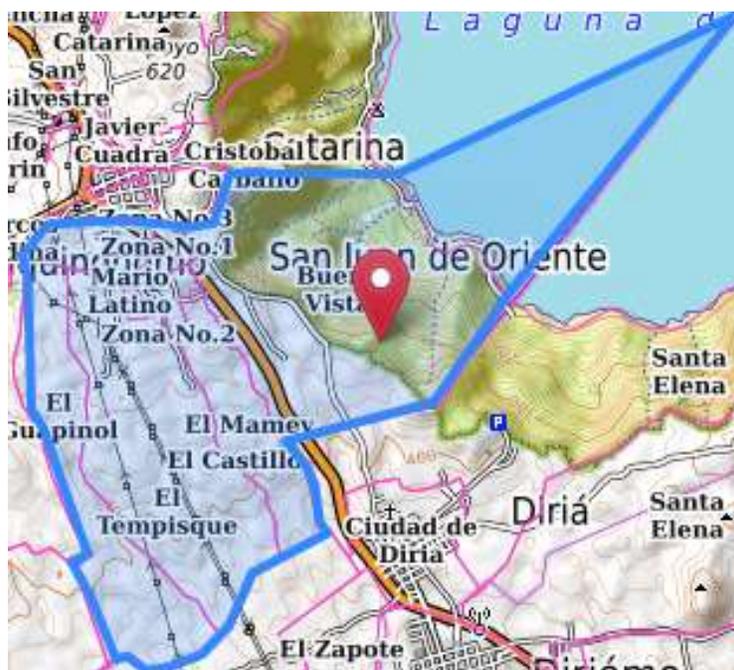
2.1. Localización del sitio de extracción de las muestras de suelos

- **Macro localización:**

El municipio de San Juan de Oriente es uno de los nueve municipios del departamento de Masaya, está ubicado a 45 Km de la ciudad de Managua, localizado entre las coordenadas 11° 54' 0" latitud norte y 86° 04' 60" longitud oeste, posee como extensión territorial una área de 13.8 Km².

Este municipio limita al norte con el municipio de Catarina, al sur con el municipio de Diriá, al este con la Laguna de Apoyo y al oeste con el municipio de Niquinohomo. (Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal, 2015).

Figura 2. Macro localización

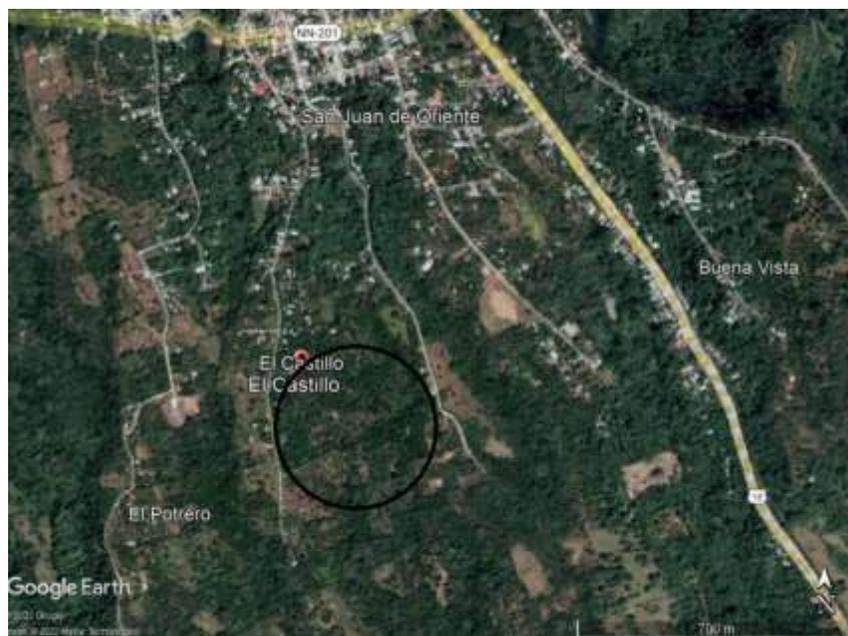


Municipio de San Juan de Oriente
Fuente: INETER

- **Micro localización:**

La comunidad El Castillo No. 1 es una de las localidades rurales del municipio San Juan de Oriente. Se encuentra en la zona sur del municipio. Sus coordenadas son: Este 600846.61 m y Norte 1315479.41 m. (Google Earth)

Figura 3. Micro localización



Comunidad El castillo
Fuente: Google Earth

2.2. Recolección de muestras

Teniendo en cuenta que se conoce por estudios anteriores que la arcilla es un suelo que predomina en el municipio de San Juan de Oriente, se seleccionó la comunidad “El Castillo”.

Localizado el lugar se hizo la recolección y muestreo de suelo en la zona de estudio mediante sondeos manuales, se realizaron seis sondeos bandeados cada 150 metros, con una profundidad de 1.50 metros. De cada sondeo realizado se obtuvieron dos muestras.

Al atravesar las distintas capas, el sondeo permite la extracción de muestras que nos darán pistas sobre la naturaleza geológica del subsuelo.

En dichos sondeos se confirmó la predominancia de suelos arcillosos que posteriormente fueron ensayados en laboratorio.

Tabla 3. Sondeos realizados

N° Sondeo	Estación	Banda	Muestra	Estrato	Profundidad (m)
1	0+150	D	1	Arcilla limosa	0.00-0.90
			2	Limo con partículas de grava	0.90-1.50
2	0+300	I	1	Arcilla	0.00-1.25
			2	Arcilla	1.25-1.50
3	0+450	D	1	Arcilla	0.00-1.10
			2	Arcilla	1.10-1.50
4	0+600	I	1	Arcilla	0.00-1.20
			2	Arcilla	1.20-1.50
5	0+750	D	1	Arcilla	0.00-1.00
			2	Arcilla	1.00-1.50
6	0+900	I	1	Arcilla	0.00-1.05
			2	Limo con partículas de grava	1.05-1.50

Fuente: Propia

2.3. Caracterización del suelo natural

La caracterización del suelo está referido a la identificación de éste a partir del estudio de sus propiedades. Las muestras de suelo se sometieron a un análisis y así fueron caracterizadas siguiendo los procedimientos descritos en las normas ASTM, revisión anual 2007, (ver tabla 4).

Tabla 4. Ensayos de laboratorio a los que se sometieron las muestras

PARÁMETRO	NORMA
Determinación en laboratorio del contenido de agua de los suelos.	ASTM D-2216
Determinación del análisis granulométrico de los suelos (Método Mecánico).	ASTM D-422
Clasificación del suelo por AASHTO y SUCS	ASTM D-3282; ASTM D-2487
Determinación de los límites de consistencia o de Atterberg de los suelos.	ASTM D-4318
Prueba de compactación de suelos Proctor estándar.	ASTM D-698
Ensayo de CBR (California Bearing Ratio)	ASTM D-1883

Fuente: Propia

Las muestras obtenidas a partir de los sondeos fueron agrupadas y ensayadas como dos tipos de suelo debido a sus similitudes.

2.3.1. Contenido de humedad natural

Estos métodos de prueba cubren la determinación de laboratorio del contenido de agua (humedad) por masa de suelo donde la reducción de masa por secado se debe a la pérdida de agua. Esta se encuentra expresada en porcentaje, a como se observa en la siguiente ecuación:

Ecuación 4. Contenido de humedad

$$\%W_M = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde:

W_w : Peso de muestra húmeda

W_s : Peso de muestra seca

Para el ensaye de contenido de humedad se extrajeron muestras representativas de los dos tipos de suelos. En la siguiente tabla se presentan los datos obtenidos para la muestra de suelo 1.

Tabla 5. Datos para contenido de humedad suelo tipo 1

Datos contenido de humedad (S1)	
Tara N°	A-06
Peso de tara (gr)	41.3
Peso tara + suelo húmedo (g)	153.0
Peso tara+ suelo seco (g)	127.4
Peso de agua (g)	25.6
Peso seco (g)	86.1
Contenido de humedad S1 (%)	29.73
Contenido de humedad S2 (%)	26.60

Fuente: Propia

Los datos para el suelo tipo 2 se encuentran en el capítulo A de anexos.

$$\%W_{M1} = \frac{25.6}{86.1} \times 100 = 29.73\%$$

$$\%W_{M2} = \frac{23.0}{86.6} \times 100 = 26.60\%$$

2.3.2. Análisis granulométrico

Esta prueba se remite a determinar al tamaño o diámetro de las partículas que componen el suelo.

- **Método por tamizado**

Se llevó a cabo el procedimiento mecánico por tamizado, mediante el cual se separaron las partículas del suelo en sus diferentes tamaños, denominando a la

fracción menor al tamiz N° 200. Se llevó a cabo utilizando tamices en orden decreciente.

En el análisis por tamices se obtuvieron los resultados de pesos parciales retenido en cada uno de ellos. Luego se calculó el porcentaje retenido parcial (%RP), el porcentaje retenido acumulado (% RA) y el porcentaje que pasa cada tamiz (%QP), a como se muestra en las siguientes ecuaciones:

Ecuación 5. Porcentaje retenido parcial

$$\%RP = \frac{\text{Peso retenido}}{\text{Peso seco total}} \times 100$$

Ecuación 6. Porcentaje retenido acumulado

$$\%RA = \%RP \text{ del tamiz anterior} + \%RP \text{ del tamiz en cuestión}$$

Ecuación 7. Porcentaje que pasa cada tamiz

$$\%QP = 100 - \%RA$$

En los sondeos realizados se obtuvieron dos tipos de suelo y estos fueron caracterizados a través del análisis granulométrico, como se muestra a continuación:

- **Análisis granulométrico para suelo tipo 1**

Tabla 6. Análisis granulométrico de fracción gruesa, suelo 1

FRACCION GRUESA				
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3/8	215.4	8.4	8.4	91.6
Nº4	346.4	13.5	21.9	78.1

Nº 10	498.3	19.4	41.3	58.7
PASA Nº10	1507	58.7	100.0	
SUMA	2567.1	100.0		

Fuente: Propia

Tabla 7. Análisis granulométrico de fracción fina suelo 1

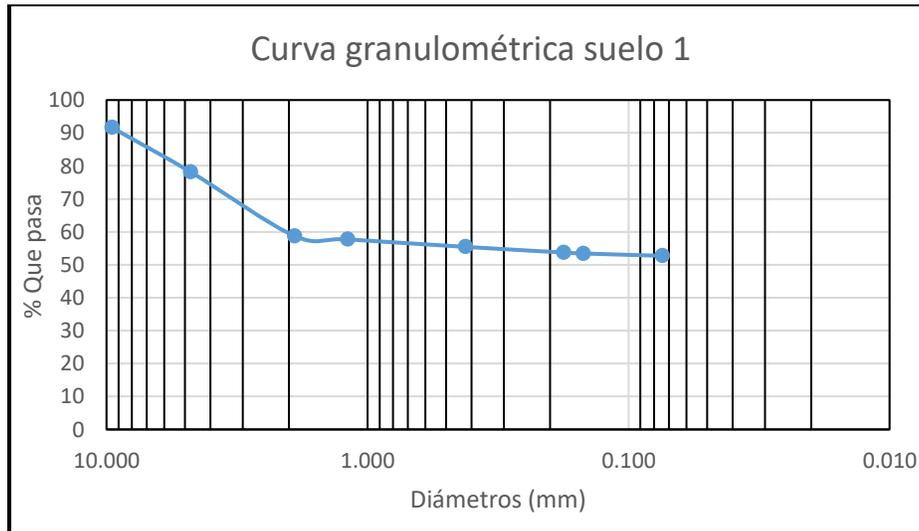
FRACCIÓN FINA					
TAMIZ	PESO RETENI DO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO PARCIAL CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
Nº16	5.13	1.7	1.0	42.3	57.7
Nº40	11.79	3.9	2.3	44.6	55.4
Nº 80	8.72	2.9	1.7	46.3	53.7
Nº100	1.54	0.5	0.3	46.6	53.4
Nº200	3.59	1.2	0.7	47.3	52.7
PASA Nº200	270.93	89.8	52.7	100.0	
SUMA	301.7	100.0	58.7		

Fuente: Propia

En el ensayo de granulometría mecánica se pudo calcular los porcentajes que pasan en cada uno de los tamices seleccionado obteniendo un 21.9% de grava, 6% de arena.

La presentación gráfica se efectúa por medio de la curva granulométrica, que es la curva de los porcentajes que pasa por cada tamiz. En las ordenadas se anotan los porcentajes que pasa y en las abscisas anotan los diámetros de los tamices en milímetros, a como se muestra:

Gráfica 1. Curva granulométrica para suelo tipo 1



Fuente: Propia

- **Análisis granulométrico para suelo tipo 2**

Tabla 8. Análisis granulométrico de fracción gruesa, suelo 2

FRACCIÓN GRUESA				
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3/8	1446.6	38.8	38.8	61.2
Nº4	350.0	9.4	48.2	51.8
Nº 10	538.0	14.4	62.6	37.4
PASA Nº10	1394.2	37.4	100.0	
SUMA	3728.8	100.0		

Fuente: Propia

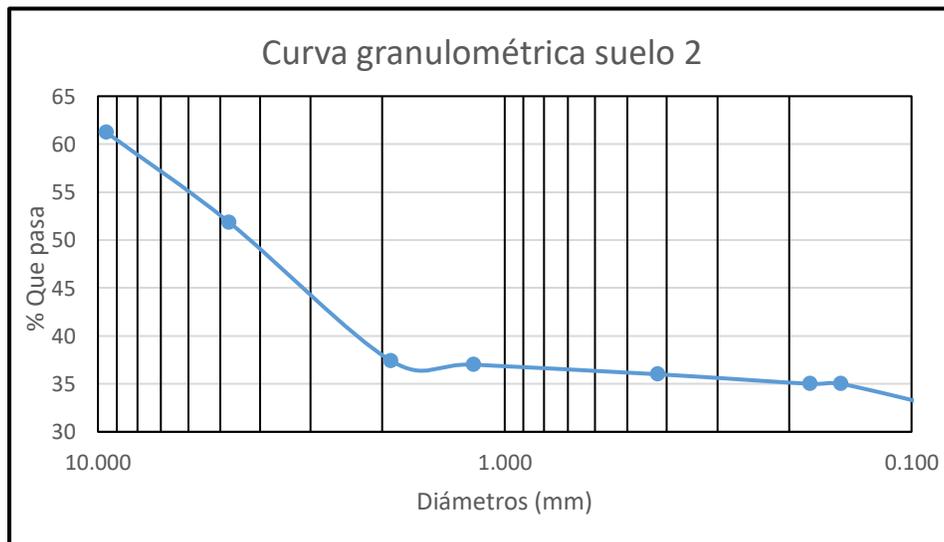
Tabla 9. Análisis granulométrico de fracción fina suelo 2

FRACCION FINA					
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO PARCIAL CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
Nº16	1.2	0.3	0.10	62.70	37.30
Nº40	14.5	3.3	1.24	63.94	36.06
Nº 80	17.0	3.9	1.46	65.40	34.60
Nº100	1.3	0.3	0.11	65.51	34.49
Nº200	33.2	7.6	2.86	68.37	31.63
PASA Nº200	369.3	84.6	31.63	100.0	
SUMA	436.5	100.0	37.4		

Fuente: Propia

En el ensayo de granulometría mecánica se pudo calcular los porcentajes que pasan en cada uno de los tamices seleccionado obteniendo un 48.2 % de grava. 20.2 % de arena.

Gráfica 2. Curva granulométrica para suelo tipo 2



Fuente: Propia

2.3.3. Límites de consistencia del suelo (Límites de Atterberg).

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. Pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua; así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido.

- **Límite Líquido (LL)**

En este ensayo se trabajó con 3 contenidos de humedad diferente; variando el número de golpes: entre 15 y 20 golpes, entre 20 y 25 golpes, y entre 25 y 30 golpes respectivamente. Cabe mencionar, que este ensayo se realizó para las dos muestras de suelo obtenidas en campo.

Obteniendo los pesos húmedos y secos de los 3 puntos del ensayo, se calculó el contenido de humedad correspondiente a cada número de golpes, a como se muestra:

Ecuación 8. Contenido de humedad a N golpes. LL

$$\%W = \frac{W_{mh} - W_{ms}}{W_{ms}} \times 100$$

Donde:

%W: Contenido de humedad a N golpes, %

W_{mh} : Peso húmedo de la muestra sin tara

W_{ms} : Peso seco de la muestra sin tara

Ecuación 9. Límite líquido

$$LL = \%W \times \left(\frac{\text{No. de golpes}}{25} \right)^{0.121}$$

- **Límite Plástico (LP)**

Es el contenido de humedad para el cual el suelo comienza a agrietarse cuando es amasado en cilindros de 3 mm de diámetro. (Ver figura 4.)

Figura 4. Rollitos para ensaye de Límite Plástico



Fuente: Propia

Teniendo una cantidad representativa de estos cilindros de suelo se introducen dentro de 2 recipientes para promediar el valor de la humedad obtenido en cada uno.

- **Índice de Plasticidad (IP)**

El índice de plasticidad es la diferencia entre los valores del límite líquido y del límite plástico (Ecuación 10). Este indica el rango de la humedad a través del cual los suelos con cohesión tienen propiedades de un material plástico.

Ecuación 10. Índice de plasticidad

$$IP = LL - LP$$

Donde:

LL: Límite líquido

LP: Límite plástico

Según Atterberg, cuando un suelo tiene un índice plástico igual a cero el suelo es no plástico; cuando el índice de plasticidad está entre 7 y 17 se dice que el suelo es medianamente plástico; y cuando el suelo presenta índice plástico mayor de 17 se dice que es altamente plástico.

- **Límites de Atterberg para suelo 1**

Límite líquido

Tabla 10. Tabla de datos para LL de suelo tipo 1

ENSAYO	1	2	3
Nº golpes	18	21	28
Tara Nº	A-13	A-02	A-39
Peso tara (gr)	22.0	21.2	21.6
Peso de muestra húmeda + tara (gr)	51.5	40.4	40.0
Peso de muestra seca + tara (gr)	42.5	34.6	34.6
Peso de agua (gr)	9.0	5.8	5.4
Peso seco (gr)	20.5	13.4	13.0
%W	43.90	43.28	41.54
Límite líquido (%)	42.3		

Fuente: Propia

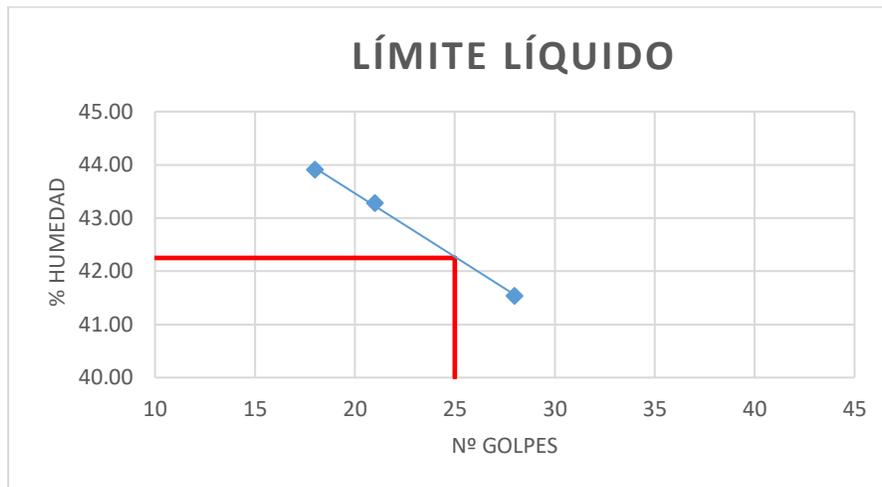
Se presenta el desarrollo de cálculos para el primer intervalo de golpes:

$$\%W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

$$\%W_1 = \frac{9.0}{20.5} \times 100$$

$$\%W_1 = 43.90\%$$

Gráfica 3. Límite líquido, suelo 1



Fuente: Propia

Este mismo procedimiento se realizó para los demás intervalos. El valor del límite líquido para este suelo se obtuvo graficando las humedades con sus respectivos números de golpes y a los 25 golpes se trazó una vertical para poder encontrar el LL, a como se observa en la gráfica anterior.

Límite Plástico

Tabla 11. Tabla de datos para LP de suelo tipo 1

ENSAYO	1	2
Tara nº	B-04	B-02
Peso tara (gr)	21.8	21.7
Peso de muestra húmeda + tara(gr)	36.6	37.3
Peso de muestra seca + tara (gr)	33.3	33.9
Peso de agua (gr)	3.3	3.4
Peso seco (gr)	11.5	12.2
Contenido de humedad (%)	28.70	27.87
Límite plástico (%)	28.28	

Fuente: Propia

Se hace el desarrollo de cálculos para el primer ensayo:

$$\%W_1 = \frac{3.3}{11.5} \times 100 = 28.70\%$$

$$LP_1 = \frac{28.70 + 27.87}{2} = 28.28\%$$

Se realiza el mismo procedimiento de cálculo para el ensayo 2. Teniendo el límite plástico y el límite líquido se calcula el índice de plasticidad.

$$IP = 42.3 - 28.28 = 14.02\%$$

Tabla 12. Tabla resumen de límites de consistencia para suelo 1

LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Limite liquido	42.3%
Limite plástico	28.28%
Índice de plasticidad	14.02%

Fuente: Propia

El resultado que se obtuvo de la muestra del suelo 1 para el límite plástico es de 28.28% y su índice de plasticidad corresponde a 14.02% dicho valor se encuentra entre el rango del 7% y 17% por lo que se denomina como suelo de mediana plasticidad.

- **Límites de Atterberg para suelo 2**

Límite líquido

Tabla 13. Tabla de datos para LL de suelo tipo 2

ENSAYO	1	2	3
Nº golpes	17	22	28
Tara Nº	A-02	A-10	A-39
Peso tara (gr)	21.3	21.2	20.8

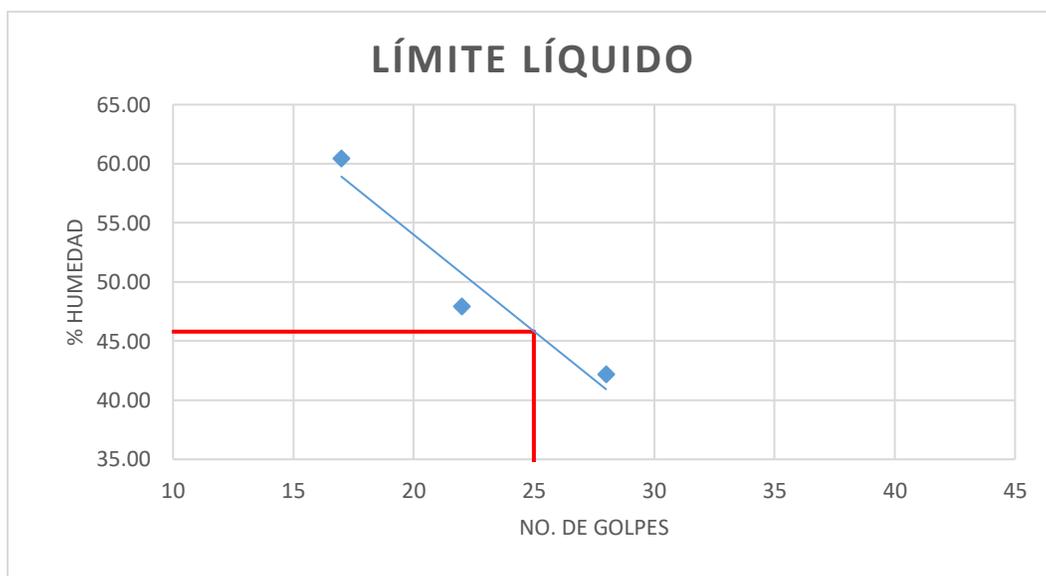
Peso de muestra húmeda + tara(gr)	42.8	42.5	42.7
Peso de muestra seca + tara (gr)	34.7	35.6	36.2
Peso de agua (gr)	8.1	6.9	6.5
Peso seco (gr)	13.4	14.4	15.4
%W	60.45	47.92	42.21
Límite líquido (%)	45.9		

Fuente: Propia

Se hace el desarrollo de cálculos para el primer intervalo de golpes:

$$\%W_1 = \frac{8.1}{13.4} \times 100 = 60.45\%$$

Gráfica 4. Límite líquido, suelo 2



Fuente: Propia

Límite Plástico

Tabla 14. Tabla de datos para LP de suelo tipo 2

ENSAYO	1	2
Tara N°	B-04	B-02

Peso tara (gr)	21.8	21.7
Peso de muestra húmeda + tara(gr)	36.8	38.9
Peso de muestra seca + tara (gr)	32.3	33.5
Peso de agua (gr)	4.5	5.4
Peso seco (gr)	10.5	11.8
Contenido de humedad (%)	42.86	45.76
Límite plástico (%)	44.31	

Fuente: Propia

Se presenta el desarrollo de cálculos para el primer ensayo:

$$\%W_1 = \frac{4.5}{10.5} \times 100 = 42.86\%$$

$$LP_1 = \frac{42.86 + 45.76}{2} = 44.31\%$$

Teniendo el límite plástico y el límite líquido se calcula el índice de plasticidad.

$$IP = 45.9 - 44.31 = 1.59\%$$

Tabla 15. Tabla resumen de límites de consistencia para el suelo 2

LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Límite líquido	45.9%
Límite plástico	44.31%
Índice de plasticidad	1.59%

Fuente: Propia

El resultado que se obtuvo de la muestra del suelo 2 para el Límite plástico es de 44.31% y su índice de plasticidad corresponde a 1.59%.

2.3.4. Clasificación del suelo

Al realizar el proceso de caracterización de los suelos extraídos en campo se determinó que el suelo tipo 1 resultó que pertenece a una arcilla de baja plasticidad (CL) la cual comprende la zona definida por límite líquido menor del 50% e índice de plasticidad mayor que 7%, acorde a los resultados obtenidos según la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) y de acuerdo a la clasificación por AASHTO se determinó un suelo tipo A-7-5 (5), indicando un suelo arcilloso.

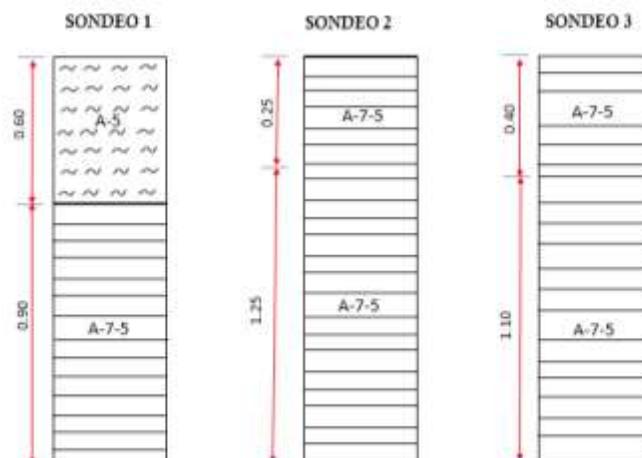
En el caso del suelo tipo 2 acorde a los resultados obtenidos según la clasificación S.U.C.S. resultó que es limo elástico con mucha grava (MH). Y según la clasificación por AASHTO se determinó un suelo tipo A-2-5 (0), indicando un suelo limoso.

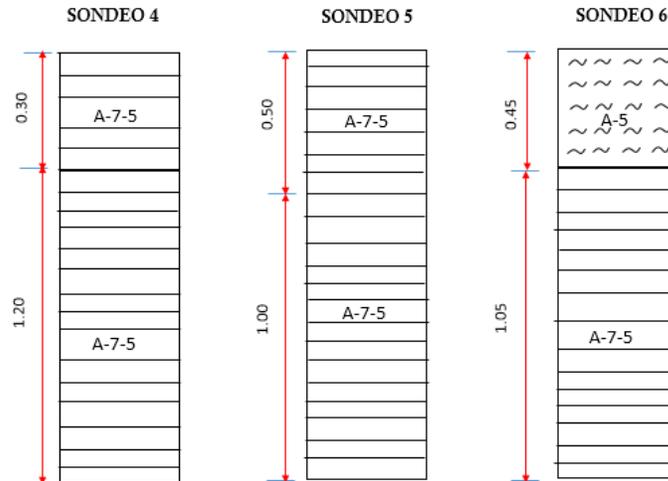
Tabla 16. Tabla resumen de clasificación de las muestras de suelo

Muestra	Método de Clasificación	Clasificación	
S1	AASHTO	A-7-5 (5)	Suelo arcilloso
	SUCS	CL	Arcilla de baja plasticidad
S2	AASHTO	A-2-5 (0)	Suelo Limoso
	SUCS	MH	Limo elástico con mucha grava

Fuente: Propia

Figura 5. Columnas estratigráficas





Fuente: Propia

Dado que la presencia de limo es muy baja y el mayor porcentaje de las muestras resultó ser arcilla, por lo tanto, únicamente se analizó la arcilla; dada que ésta presenta las condiciones más agravantes. Es por esto, que todos los ensayos detallados a continuación hacen referencia solamente del suelo arcilloso.

2.3.5. Prueba de compactación: Proctor Estándar

La compactación consiste en un proceso repetitivo, cuyo objetivo es conseguir una densidad específica para una relación óptima de agua, al fin de garantizar las características mecánicas necesarias del suelo. (Ver figura 6.)

Figura 6. Compactación de cilindro



Fuente: Propia

Es importante mencionar que la humedad que se busca es definida como humedad óptima y es con ella que se alcanza la máxima densidad seca, para la energía de compactación dada. Se define igualmente como densidad seca máxima aquella que se consigue para la humedad óptima.

Para este análisis se desarrolló el ensayo de compactación Proctor Estándar, en el cual se elaboraron cuatro cilindros. Cada muestra fue compactada en tres capas, con un número de 25 golpes por capa, y posteriormente se determina el peso del suelo compactado.

Como procedimiento previo para este ensayo se debe de conocer la cantidad de agua a aplicarle a la muestra; esto se consiguió tomando una pequeña muestra de suelo (500gr), y a esta muestra se le fue agregando agua hasta observar cierta cohesión al presionarla con el puño de la mano, así se pudo encontrar la humedad óptima, es decir, la humedad necesaria para ser usada en ese ensayo. Como resultado dio 119 mililitros de agua.

Cálculo de humedad óptima inicial:

$$\frac{119}{500} \times 100 = 23.8\%$$

Se calculó la cantidad de agua a agregar a cada una de las muestras a compactar., realizando variaciones de $\pm 2\%$. Se elaboraron cuatro especímenes de los cuales se tomaron pequeñas muestras para su respectivo análisis de contenido de humedad.

Se presenta el desarrollo de cálculo para el primer espécimen de suelo natural realizado. Las ecuaciones que se emplearon fueron las siguientes:

Ecuación 11. Contenido de humedad de cada espécimen compactado

$$\%W = \frac{(W_h + T) - (W_s + T)}{(W_s + T) - T} \times 100$$

Donde:

W_h : Peso de la muestra húmeda

W_s : Peso de la muestra seca

T : Peso de la tara

$$\%W = \frac{211.4 - 167.4}{167.4 - 42.7} \times 100$$

$$\%W = 35.28\%$$

Ecuación 12. Peso volumétrico húmedo (densidad húmeda) en cada espécimen compactado

$$\gamma_h = \frac{(W_h + m) - W_m}{V_m}$$

Donde:

W_{h+m} : Peso de la muestra húmeda más molde

W_m : Peso del molde

V_m : Volumen de muestra

$$\gamma_h = \frac{5.824 \text{ kg} - 4.26 \text{ kg}}{0.000944 \text{ m}^3}$$

$$\gamma_h = 1.656.678 \text{ kg/m}^3$$

Ecuación 13. Peso volumétrico seco (densidad seca) en cada espécimen compactado:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \left(\frac{\%W}{100}\right)}$$

Donde:

γ_h : Peso volumétrico húmedo en Kg/m³

%w: Porcentaje de humedad

$$\gamma_d = \frac{1.656.678 \text{ kg/m}^3}{1 + \left(\frac{35.28}{100}\right)}$$

$$\gamma_d = 1.224.66 \text{ kg/m}^3$$

En la tabla 16 se observa el contenido de humedad y el peso volumétrico seco de cada espécimen.

Tabla 17. Contenido de Humedad vs. Peso volumétrico seco

Contenido de humedad	Peso Volumétrico Seco
35.28	1224.66
35.82	1272.86
37.87	1251.64
39.25	1195.90

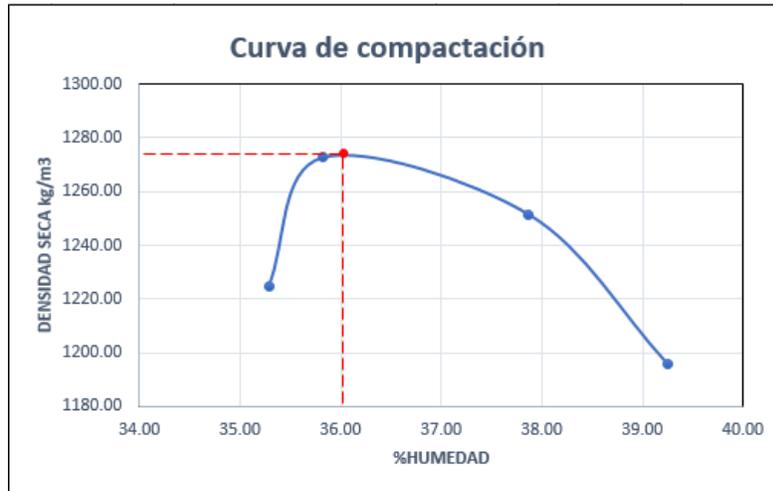
Fuente: Propia

La humedad óptima promedio resultante en el ensayo proctor estándar. de la arcilla en su estado natural es de 36%, y el peso volumétrico seco es de 1274 kg/m³.

Tabla 18. Ensayo Proctor suelo natural

Proctor Estándar	
Suelo Natural	
Humedad Óptima (%)	36.00
Densidad seca máxima (kg/m ³)	1274.00

Gráfica 5. Curva de compactación. Proctor Estándar

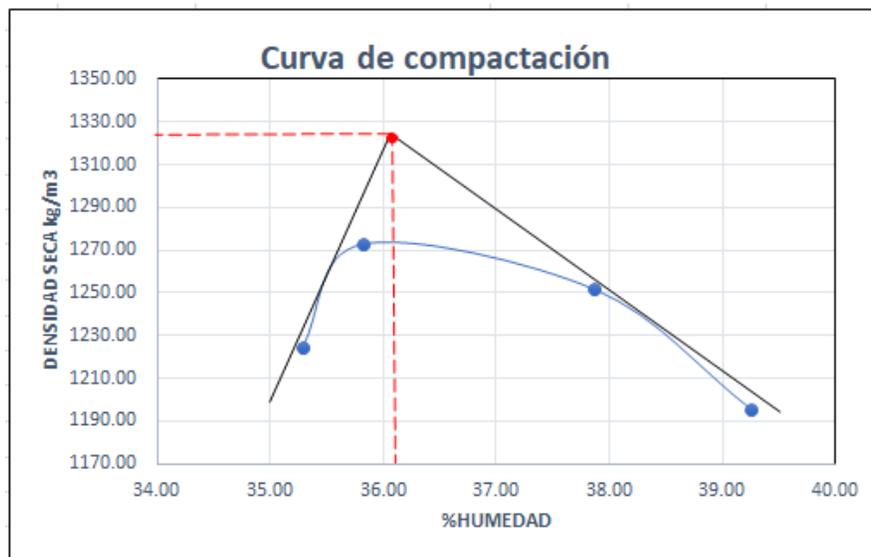


Fuente: Propia

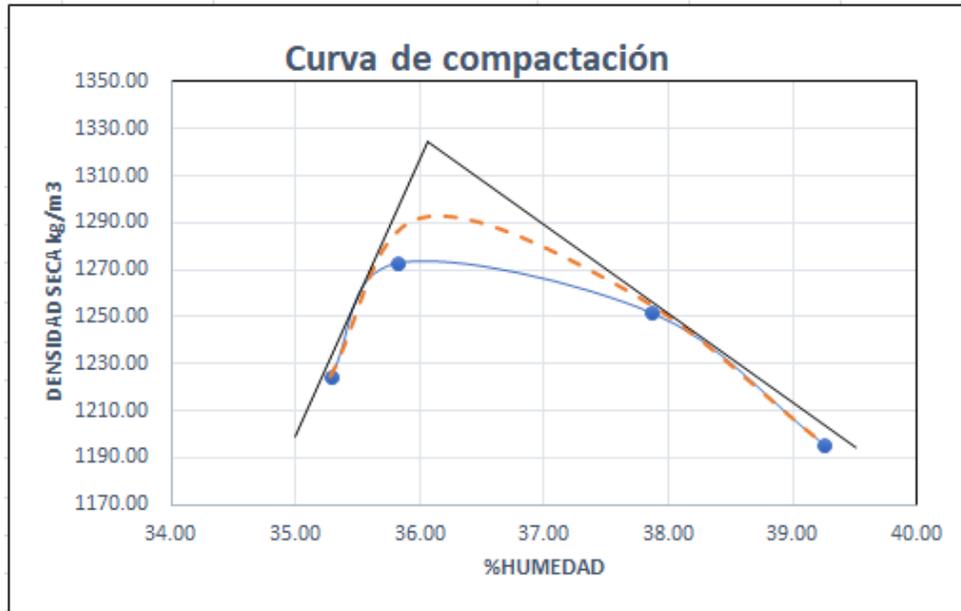
El desarrollo de los cálculos del ensaye de proctor estándar se encuentra en el capítulo D de anexos.

Debido a que en laboratorio solo se realizaron 4 pruebas de proctor no se logró conseguir una curva fiable, por lo tanto, se recurrió a trazar dos tangentes en la curva existente (gráfica 6), y hacer la proyección de una curva mejorada. A como se observa en la siguiente gráfica.

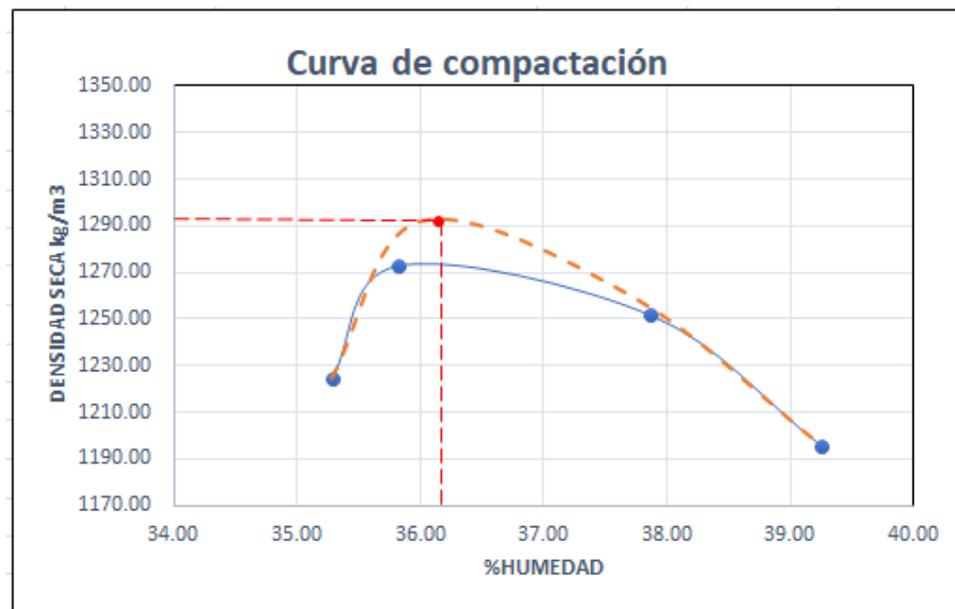
Gráfica 6. Proyección de tangentes



Gráfica 7. Comparativa de curvas



Fuente: Propia



Fuente: Propia

Al proyectar una nueva curva se obtiene una densidad seca de 1.290.5 kg/m³ y una humedad óptima de 36.1%.

2.3.6. Relación de soporte de california (CBR)

Este ensaye permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado, sino que se aplica sólo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo.

Los ensayos de C.B.R. se hicieron sobre muestras compactadas con un contenido de humedad óptimo, obtenido del ensayo de compactación proctor. Para determinar el valor de CBR se ensayaron 3 muestras con distinta energía de compactación, se le aplicaron 10. 25 y 56 golpes a cada muestra, respectivamente. Y se sumergieron en agua durante 4 días, a como se muestra en la figura 7.

Figura 7. Muestras de suelo en condición de inmersión de 4 días para el CBR



Fuente: Propia

Por cada espécimen de suelo se calculan dos valores de CBR, uno a 0.1" de penetración y el otro a 0.2" de penetración. El valor que se registra es el que corresponde a 0.1" mientras éste sea menor que el de 0.2". Se presentan los cálculos para 0.1 pulgada de penetración para cada espécimen.

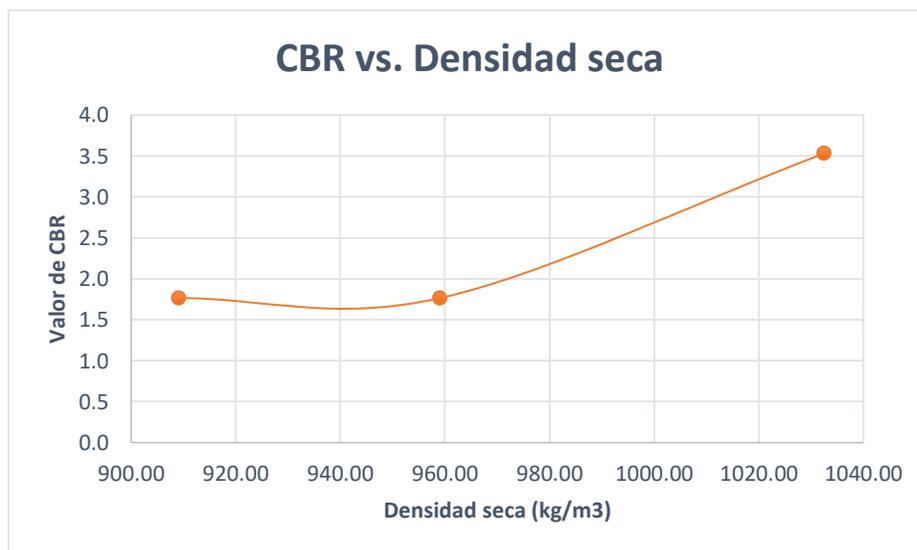
Tabla 19. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural

Ensayo de compactación	Golpes 10	Golpes 25	Golpes 56
Wmuestra compactada (Kg)	3.8	3.8	4.0
Wagua (gr)	38.4	29.5	28.6
Wseca (gr)	131.0	129.0	133.0
Humedad (%)	29.31	22.87	21.50
Densidad Humeda (kg/m3)	1175.56	1178.41	1254.50
Densidad Seca (kg/m3)	909.08	959.08	1032.48
CBR (%)	1.8	1.8	3.5
CBR Corregido			
CBR %0.1"	1.79	2.56	3.34
Compactación	90%	95%	100%

Fuente: Propia

En el ensayo de C.B.R. se encontró para el 100% de la densidad seca máxima un C.B.R de 3.34, para el 95% de la densidad seca máxima un C.B.R de 2.56 y para el 90% un CBR de 1.79%. Siendo este suelo no apto para ser usado como subrasante.

Gráfica 8. CBR vs. Densidad seca



Fuente: Propia

CAPÍTULO III: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Se llama estabilización de un suelo al proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que se puedan aprovechar de mejor manera sus cualidades, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas.

3.1. Agentes estabilizantes utilizados

Para esta investigación se utilizó cuatro tipos de agentes estabilizantes:

- Cemento
- Cal
- Aserrín
- Cenizas de madera

Puede decirse que no existe en la actualidad un criterio específico y confiable para diseñar las mezclas en lo referente al contenido de estabilizantes y que los criterios que se auxilian los proyectistas quedan fuertemente sujetos a su propia experiencia; para muchos, la inspección visual de los especímenes, combinada con criterios tipo económico, sigue siendo un elemento importante de su juicio final. (Rico. A. y Del Castillo. H., 1977).

Es por lo que los porcentajes aplicados de cada estabilizante se seleccionaron teniendo en cuenta estudios (monografías. proyectos) realizados anteriormente por terceros. Las fuentes consultadas son las siguientes:

Tabla 20. Estabilizantes y referencia de porcentajes

ESTABILIZANTE	REFERENCIA
CEMENTO	Libro: Ingeniería de Suelos. Vol.2
	INVIAS. Norma 350
	Tesis: Estabilización de suelos con cemento. (H.S.)
CAL	Libro: Ingeniería de Suelos. Vol.2

	Mon: Estabilización de suelos cohesivos por medio de Cal en las Vías de la comunidad de San Isidro del Pegón. municipio Potosí- Rivas
CENIZAS DE MADERA	Mon: Estabilización de suelos arcillosos aplicando cenizas de madera. Lima-Perú
	Mon: Aplicación de cenizas de madera para estabilizar subrasante en San Felipe. Lima-Perú
ASERRÍN	Tesis: Estabilización de la subrasante añadiendo fibras de aserrín. Lima-Perú

Fuente: Propia

En cada uno de los estudios que se mencionan anteriormente se aplicaron al suelo diferentes porcentajes de estabilizante; para el presente estudio se seleccionaron los valores de porcentajes comunes que existieran entre cada estabilizante.

Con el fin de evaluar el porcentaje óptimo de agente estabilizante para el tipo de suelo en estudio se le agregó diferentes porcentajes de agentes con relación al peso del suelo. Los porcentajes utilizados en este estudio son:

- Mezcla suelo-agente estabilizante (96% - 4%) → 96 - 4
- Mezcla suelo-agente estabilizante (92% - 8%) → 92 - 8
- Mezcla suelo-agente estabilizante (88% - 12%) → 88 - 12

3.2. Ensayos realizados a la mezcla de suelo y cemento

El tipo de cemento producido y utilizado en Nicaragua, es el Cemento Portland GU (General Use, por sus siglas en inglés), con la norma estampada ASTM C-1157. Por ende, todos los cementos que produce la industria nacional son aptos para ser empleados en la estabilización de suelos.

El tipo de cemento utilizado en este estudio ha sido cemento Portland GU, específicamente cemento CANAL.

Generalmente y de acuerdo a estudios previos ya realizados acerca de las mezclas suelo-cemento, es recomendable utilizar cemento tipo Portland, el cual al ser mezclado con el suelo adquiere propiedades estabilizantes, las cuales a su vez hecha la mezcla aumenta la resistencia mecánica.

3.2.1. Límites de consistencia

Para este ensayo se tomó una muestra de 120 gramos de suelo que pasa por el tamiz No. 40.

Tabla 21. Dosificaciones para ensayo de límites (Suelo-cemento)

Arcilla (%)	% de estabilizante	Suelo (gr)	Cemento (gr)
96	4	120	4.8
98	8	120	9.6
88	12	120	14.4

Fuente: Propia

Nota: La misma cantidad que se utilizó de cemento es la misma cantidad que se utilizó para los demás estabilizantes en dicho ensayo. Se realizó el mismo procedimiento que con el suelo natural, fundamentado por lo que dicta la A.S.T.M D – 4318.

De los procedimientos realizados en laboratorio se obtuvieron los contenidos de humedad para cada ensayo y posteriormente se obtuvieron los límites líquidos, plásticos e índice de plasticidad; de la misma manera que se obtuvieron en el suelo natural. Se presenta el desarrollo de los cálculos al agregarle los diferentes porcentajes de cemento al suelo, de igual manera, se muestran tablas resumen de datos obtenidos. La tabla completa se muestra en el capítulo C de anexos.

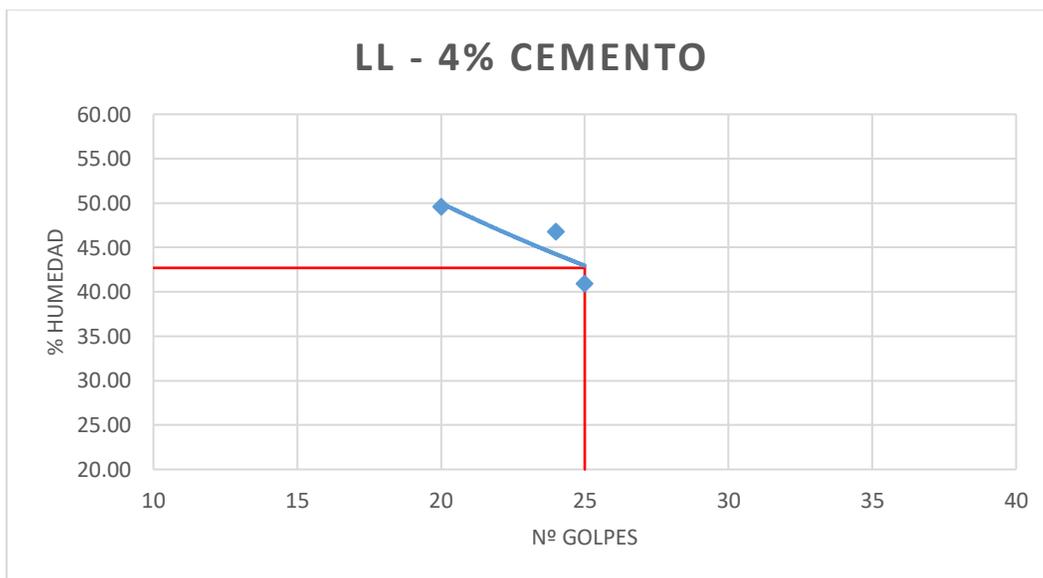
- **Para 4% de cemento:**

Tabla 22. Datos de Límites Líquido, suelo natural + 4% de cemento

LL: 4% DE CEMENTO			
Ensayo	1	2	3
Nº golpes	20	24	25
Peso de agua (gr)	5.4	8.6	3.6
Peso seco (gr)	10.9	18.4	8.8
%W	49.54	46.74	40.91
Límite líquido (%)	42.7		

Fuente: Propia

Gráfica 9. Límite Líquido, suelo natural + 4% cemento



Fuente: Propia

Tabla 23. Datos de Límites Plástico, suelo natural + 4% de cemento

LP: 4% DE CEMENTO		
Ensayo	1	2
Peso de agua (gr)	4.1	2.4

Peso seco (gr)	13.1	8.2
Contenido de humedad (%)	31.30	29.27
Límite plástico (%)	30.28	

Fuente: Propia

$$LP_{4\%_{Cem}} = \frac{31.30 + 29.27}{2} = 30.28\%$$

$$IP_{4\%_{Cem}} = 42.7 - 30.28 = 12.42\%$$

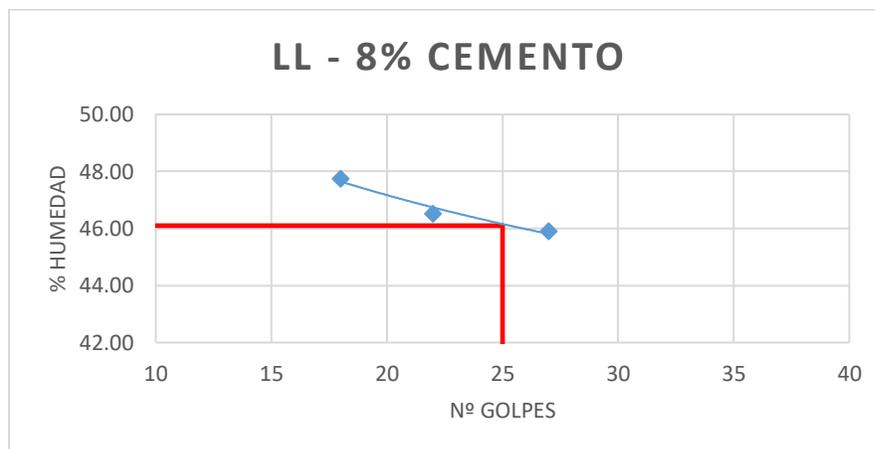
- **Para 8% de cemento:**

Tabla 24. Datos de Límite Líquido, suelo natural + 8% de cemento

LL: 8% DE CEMENTO			
Ensayo	1	2	3
Nº golpes	18	22	27
Peso de agua (gr)	8.5	6.7	7.3
Peso seco (gr)	17.8	14.4	15.9
%W	47.75	46.53	45.91
Límite líquido (%)	46.1		

Fuente: Propia

Gráfica 10. Límite Líquido, suelo natural + 8% cemento



Fuente: Propia

Tabla 25. Datos de Límite Plástico, suelo natural + 8% de cemento

LP: 8% DE CEMENTO		
Ensayo	1	2
Peso de agua (gr)	2.6	4.4
Peso seco (gr)	11.3	8.6
Contenido de humedad (%)	23.01	51.16
Límite plástico (%)	37.09	

Fuente: Propia

$$LP_{8\%_cem} = \frac{23.01 + 51.16}{2} = 37.09\%$$

$$IP_{8\%_cem} = 46.1 - 37.09 = 9.01\%$$

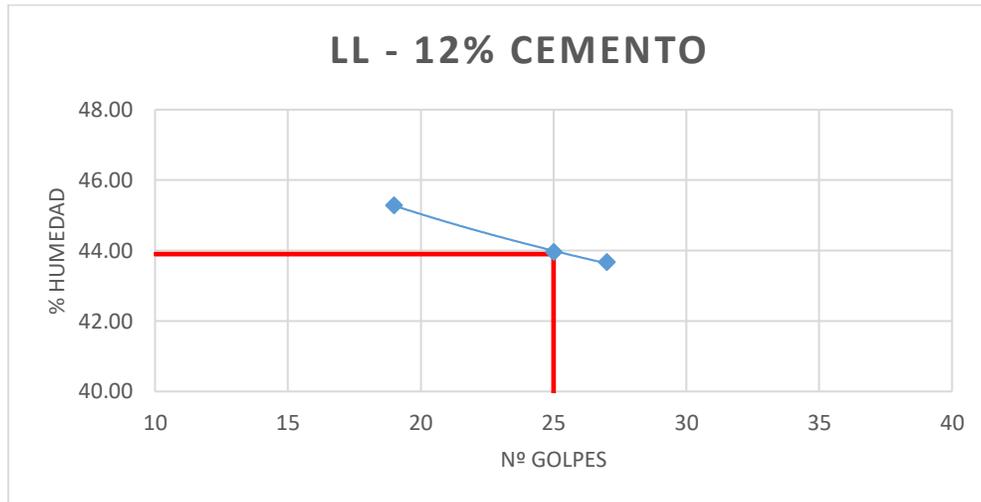
- **Para 12% de cemento:**

Tabla 26. Datos de límite líquido, suelo natural + 12% de cemento

LL: 12% DE CEMENTO			
Ensayo	1	2	3
Nº golpes	19	25	27
Peso de agua (gr)	7.2	6.9	6.9
Peso seco (gr)	15.9	15.7	15.8
%W	45.28	43.95	43.67
Límite líquido (%)	43.9		

Fuente: Propia

Gráfica 11. Límite Líquido, suelo natural + 12% cemento



Fuente: Propia

Tabla 27. Datos de límite plástico, suelo natural + 12% de cemento

LP: 12% DE CEMENTO		
Ensayo	1	2
Peso de agua (gr)	3.6	4.2
Peso seco (gr)	10.6	8.6
Contenido de humedad (%)	33.96	48.84
Límite plástico (%)	41.40	

Fuente: Propia

$$LP_{12\%_Cem} = \frac{33.96 + 48.84}{2} = 41.40\%$$

$$IP_{12\%_Cem} = 43.9 - 41.40 = 2.5\%$$

Tabla 28. Límites de Atterberg. suelo-cemento

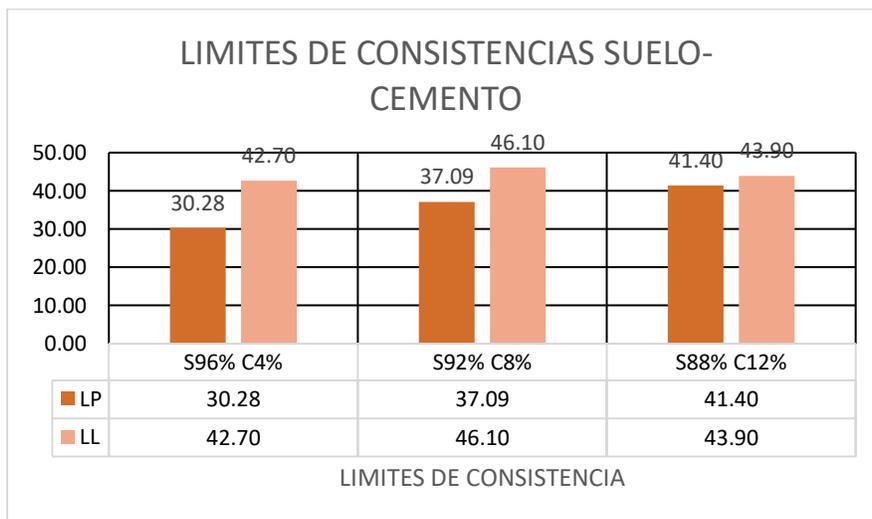
LIMITES DE ATTERBERG			
Porcentaje de cemento	4	8	12
Límite Líquido	42.7	46.1	43.9
Límite Plástico	30.28	37.09	41.40

Índice de plasticidad	12.42	9.01	2.50
------------------------------	-------	------	------

Fuente: Propia

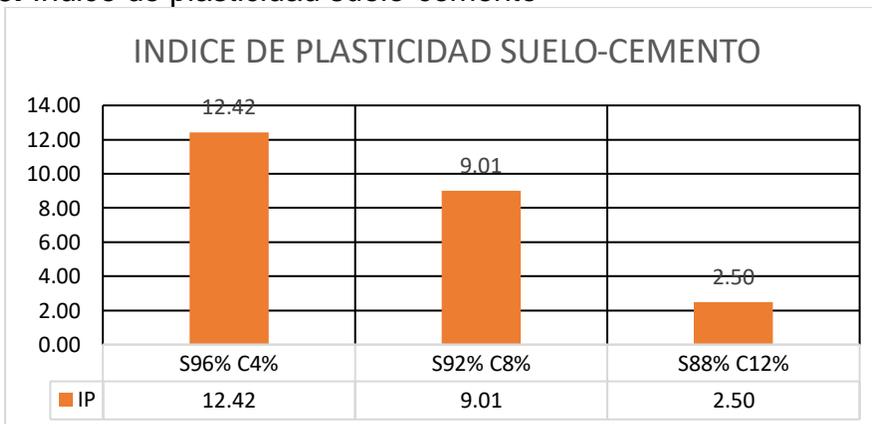
Al agregar 4% de cemento el porcentaje del límite líquido se mantiene con 42.7%, es decir, siendo el casi el mismo valor que el suelo natural; sin embargo, al agregar los demás porcentajes de cemento hay incrementos tanto en el límite líquido como en el plástico; llegando hasta 46.1% en el límite líquido y 37.09% en el límite plástico con el 8% de cemento. Sin embargo, se nota la disminución en los valores de índice de plasticidad.

Gráfica 12. Límites de consistencia suelo-cemento



Fuente: Propia

Gráfica 13. Índice de plasticidad suelo-cemento



Fuente: Propia

Se puede evidenciar que con los tres porcentajes (4, 8 y 12) de estabilizantes se obtuvo una disminución en el índice de plasticidad, alcanzando la mayor disminución con la aplicación del suelo-cemento con una diferencia de 11.52% respecto al suelo natural, este valor fue obtenido de la dosificación de 12% de cemento al suelo natural.

3.2.2. Ensayo de compactación Proctor estándar

Para realizar el ensayo de Proctor modificado se tiene como referencia norma ASTM D-1557.

Cabe mencionar que de los estabilizantes en estudio el que mayor peso volumétrico seco máximo presenta es el suelo-cemento con 1475 Kg/m³ con una humedad optima 40%; esto se debe a que la mezcla tiene una mejor cohesión entre las partículas y a mayor cantidad de cemento mayor será el requerimiento de agua para lograr la densidad máxima de la muestra.

Tabla 29. Contenido de Humedad vs. Peso volumétrico seco, adicionando los diferentes porcentajes de cemento

Estabilizante	Cemento	
Porcentaje	Contenido de humedad	Peso Volumétrico Seco
4	33.55	1334.15
	37.88	1470.51
	39.38	1422.00
	40.43	1381.91
8	37.37	1297.87
	40.08	1386.13
	41.73	1346.85
	42.74	1318.74

12	40.32	1283.71
	41.95	1345.48
	42.86	1344.39
	44.37	1300.21

Fuente: Propia

Tabla 30. Proctor estándar. suelo-cemento

Proctor Estándar			
Porcentaje de cemento	4	8	12
Humedad Óptima (%)	38.1	40.4	42.3
Densidad seca máxima (kg/m³)	1475.00	1391.00	1351.00

Fuente: Propia

3.2.3. Ensayo de CBR

- **Valor relativo (CBR) del suelo A-7-5 con 4% de cemento**

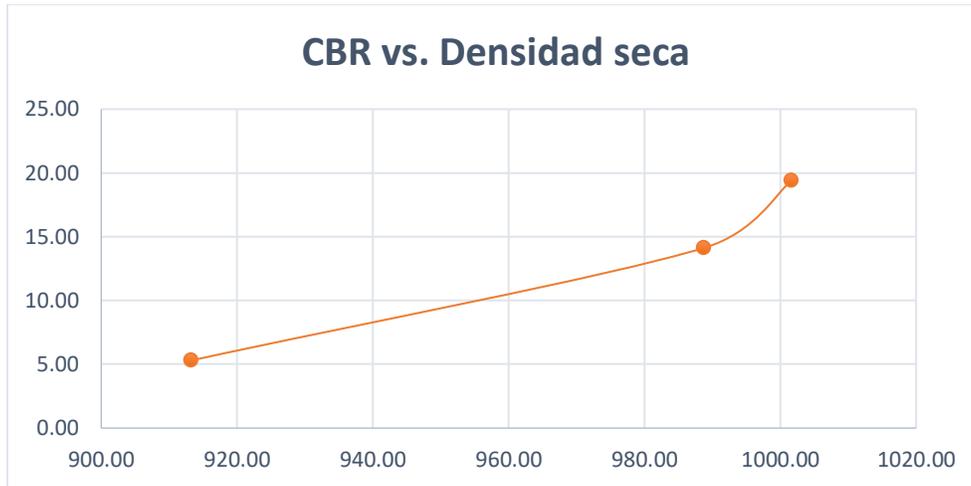
Tabla 31. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 4% de cemento

Ensayo de compactación	Golpes 10	Golpes 25	Golpes 56
Wmuestra compactada (Kg)	18.2	18.4	18.6
Wagua (gr)	30.1	36.2	30.1
Wseca (gr)	82.99	110.4	80.9
Humedad (%)	36.27	32.79	37.21
Densidad Humedad (kg/m³)	1244.47	1312.97	1374.38
Densidad Seca (kg/m³)	913.24	988.76	1001.68
CBR (%)	5.3	14.1	19.4
CBR Corregido			
CBR %0.1"	3.33	10.58	17.84
Compactación	90%	95%	100%

Fuente: Propia

Los valores de CBR encontrados en el suelo con 4% de cemento al 90% de compactación a 0.1" de penetración es de 3.33, en 95% de compactación fue de 10.58 y para el 100% un valor de 17.84

Gráfica 14. CBR vs. Densidad seca (suelo natural +4% cemento)



Fuente: Propia

- **Valor relativo (CBR) del suelo A-7-5 con 8% de cemento**

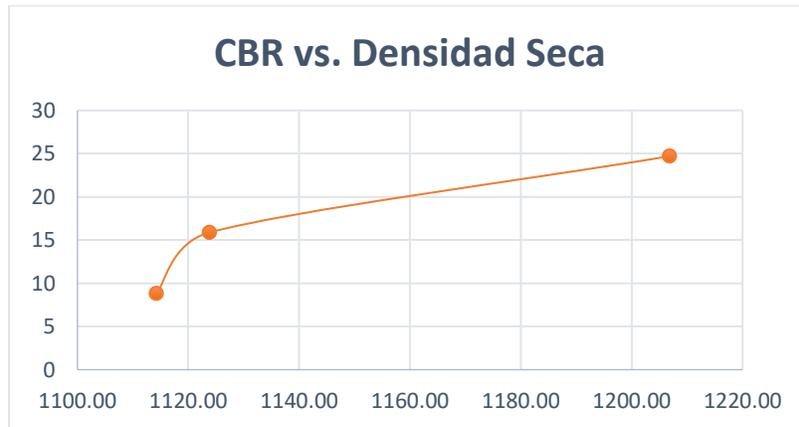
Tabla 32. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 8% de cemento

Ensayo de compactación	Golpes 10	Golpes 25	Golpes 56
Wmuestra compactada (Kg)	4.1	4.3	4.3
Wagua (gr)	20.5	26.3	17.1
Wseca (gr)	138.9	130.7	149.8
Humedad (%)	14.76	20.12	11.42
Densidad humedad (kg/m3)	1278.75	1350.00	1344.69
Densidad Seca (kg/m3)	1114.29	1123.85	1206.92
CBR (%)	8.8	15.9	24.7
CBR Corregido			
CBR %0.1"	7.41	16.21	25.02
Compactación	90%	95%	100%

Fuente: Propia

Los valores de CBR encontrados en el suelo con 8% de cemento al 90% de compactación a 0.1" de penetración es de 7.41, en 95% de compactación fue de 16.21 y para el 100% un valor de 25.02.

Gráfica 15. CBR vs. Densidad seca (suelo natural +8% cemento)



Fuente: Propia

- **Valor relativo (CBR) del suelo A-7-5 con 12% de cemento**

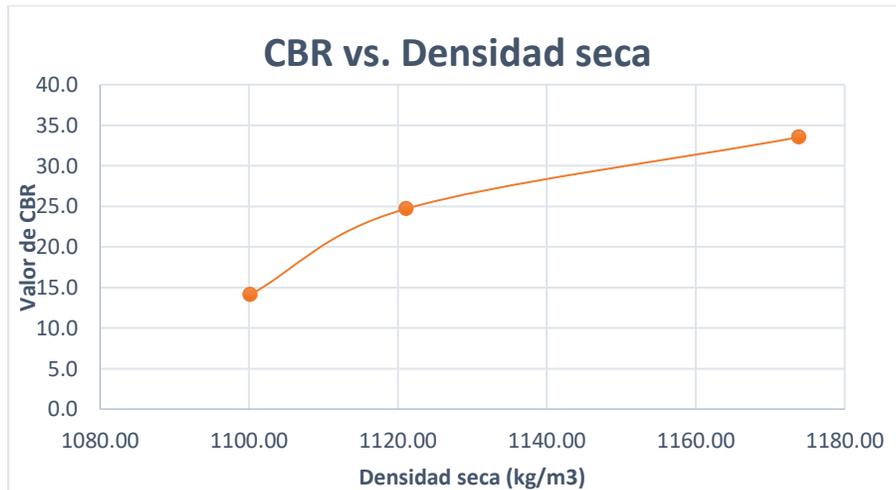
Tabla 33. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 12% de cemento

Ensayo de compactación	Golpes 10	Golpes 25	Golpes 56
Wmuestra compactada (Kg)	4.2	4.4	4.7
Wagua (gr)	18.2	27.6	27.1
Wseca (gr)	93.9	115.9	105.3
Humedad (%)	19.38	23.81	25.74
Densidad Humeda (kg/m3)	1313.44	1388.13	1476.03
Densidad Seca (kg/m3)	1100.19	1121.14	1173.91
CBR (%)	14.1	24.7	33.5
CBR Corregido			
CBR %0.1"	5.71	20.08	34.44
Compactación	90%	95%	100%

Fuente: Propia

Los valores de CBR encontrados en el suelo con 12% de cemento al 90% de compactación a 0.1" de penetración es de 5.71, en 95% de compactación fue de 20.08 y para el 100% un valor de 34.44.

Gráfica 16. CBR vs. Densidad seca (suelo natural +12% cemento)



Fuente: Propia

3.3. Ensayos realizados a la mezcla de suelo y cal

Existen diversos tipos de cales usadas dentro del campo de la estabilización, estas contienen un sin número de características y se pueden clasificar de acuerdo a su origen, composición o tratamiento al cual fueron sometidas. En este estudio, se dosificaron mezclas de suelo con cal hidratada, específicamente cal calidra.

3.3.1. Límites de consistencia

Se realizó un procedimiento indicado con anterioridad para determinar el límite líquido y aplicando la ecuación de lambert, solo se tomó un dato entre el rango de los 20-30 golpes con aparato de Casa Grande.

Se presenta el desarrollo de los cálculos al agregarle los diferentes porcentajes de cal al suelo, de igual manera, se muestran tablas resumen de datos obtenidos, las tablas completas se muestran en el capítulo C de anexos.

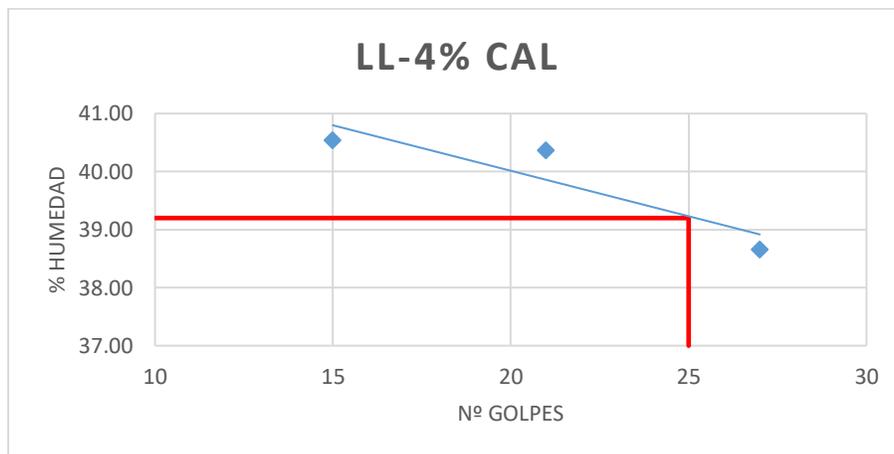
- Para 4% de cal:

Tabla 34. Datos de LL, suelo natural + 4% de cal

LL: 4% DE CAL			
Ensayo	1	2	3
Nº golpes	15	21	27
Peso de agua (gr)	9.0	6.5	7.5
Peso seco (gr)	22.2	16.1	19.4
%W	40.54	40.37	38.66
Límite líquido (%)	39.2		

Fuente: Propia

Gráfica 17. Límite Líquido, suelo natural + 4% cal



Fuente: propia

Tabla 35. Datos de LP, suelo natural + 4% de cal

LP: 4% DE CAL		
Ensayo	1	2
Peso de agua (gr)	3.2	3.1
Peso seco (gr)	11.5	8.2
Contenido de humedad (%)	27.83	27.43
Límite plástico (%)	27.63	

Fuente: Propia

$$LP_{4\%_{Cal}} = \frac{27.83 + 27.43}{2} = 27.63\%$$

$$IP_{4\%_{Cal}} = 39.2 - 27.63 = 11.57\%$$

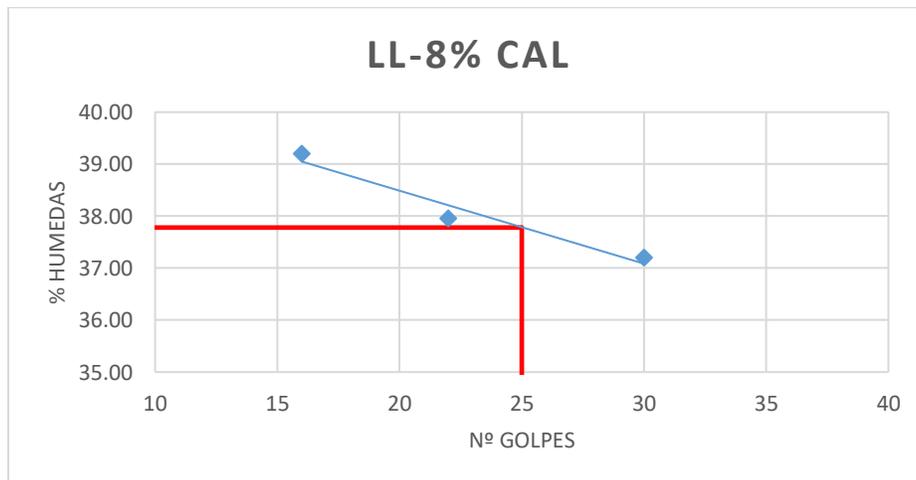
- **Para 8% de cal:**

Tabla 36. Datos de LL, suelo natural + 8% de cal

LL: 8% DE CAL			
Ensayo	1	2	3
Nº golpes	16	22	30
Peso de agua (gr)	7.8	6.3	6.1
Peso seco (gr)	19.9	16.6	16.4
%W	39.20	37.95	37.20
Límite líquido (%)	37.78		

Fuente: Propia

Gráfica 18. Límite Líquido, suelo natural + 8% cal



Fuente: Propia

Tabla 37. Datos de LP, suelo natural + 8% de cal

LP: 8% DE CAL		
Ensayo	1	2
Peso de agua (gr)	3.0	2.6
Peso seco (gr)	10.1	9.7
Contenido de humedad (%)	29.70	26.80
Límite plástico (%)	28.25	

Fuente: Propia

$$LP_{8\%_Cal} = \frac{29.70 + 26.80}{2} = 28.25\%$$

$$IP_{8\%_Cal} = 37.78 - 28.25 = 9.53\%$$

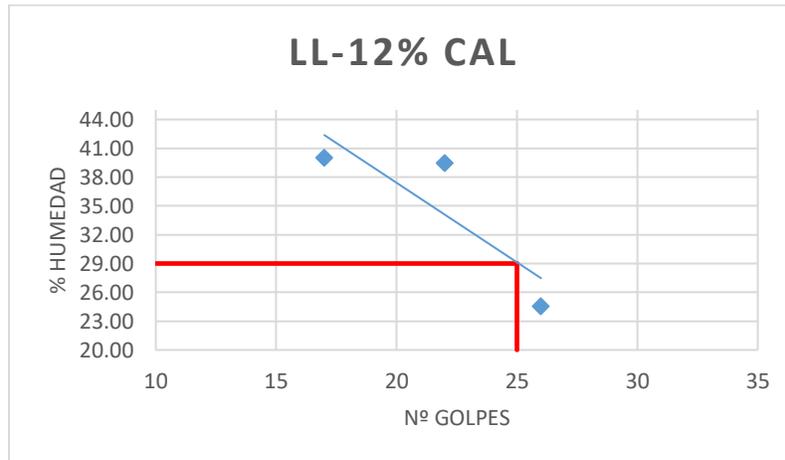
- **Para 12% de cal:**

Tabla 38. Datos de LL, suelo natural + 12% de cal

LL: 12% DE CAL			
Ensayo	1	2	3
Nº golpes	17	22	26
Peso de agua (gr)	6.0	5.6	4.9
Peso seco (gr)	15.0	14.2	20
%W	40.00	39.44	24.50
Límite líquido (%)	29.0		

Fuente: Propia

Gráfica 19. Límite Líquido, suelo natural + 12% cal



Fuente: Propia

Tabla 39. Datos de LP, suelo natural + 12% de cal

LP: 12% DE CAL		
Ensayo	1	2
Peso de agua (gr)	2.7	2.62
Peso seco (gr)	10.4	10.6
Contenido de humedad (%)	25.96	24.72
Límite plástico (%)	25.34	

Fuente: Propia

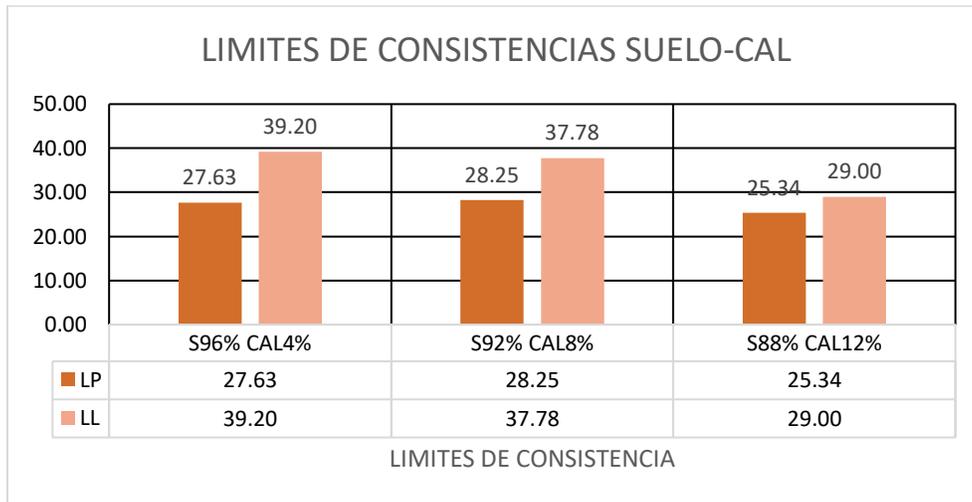
Tabla 40. Límites de Atterberg. suelo-cal

LIMITES DE ATTERBERG			
Porcentaje de cal	4	8	12
Límite Líquido	39.2	37.78	29.0
Límite Plástico	27.63	28.25	25.34
Índice de plasticidad	11.57	9.53	3.66

Fuente: Propia

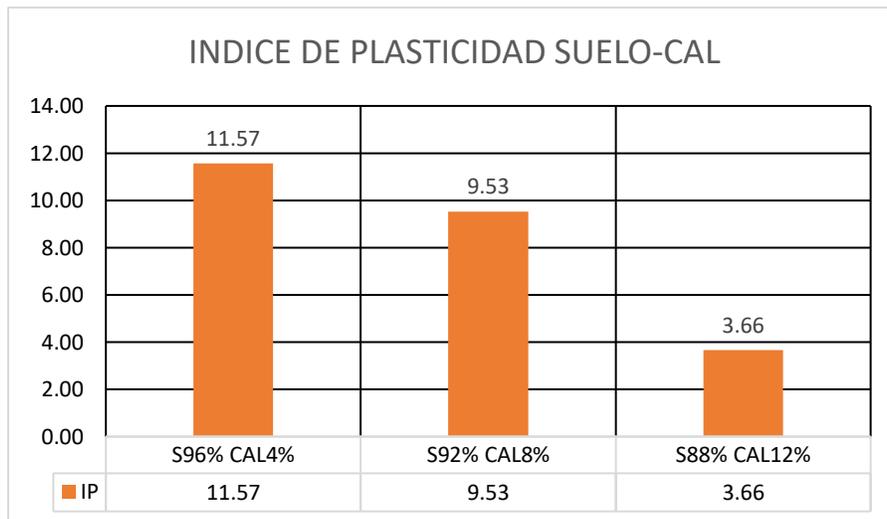
Según resultados obtenidos tanto el límite líquido como el límite plástico disminuyen con la adición de los tres porcentajes de cal, obteniendo valores para un 4% de cal un IP= 12, para un 8% un IP= 10 y para un 12% un IP= 4.

Gráfica 20. Límites de consistencia suelo-cal



Fuente: Propia

Gráfica 21. Índice de plasticidad suelo-cal



Fuente: Propia

El índice de plasticidad obtenido de las mezclas de suelo con cal, decrece con el aumento del porcentaje de cal incorporado, a como se observa en el gráfico anterior.

3.3.2. Ensayo de compactación proctor estándar

Tabla 41. Contenido de Humedad vs. Peso volumétrico seco, adicionando los diferentes porcentajes de cal

Estabilizante	Cal	
Porcentaje	Contenido de humedad	Peso Volumétrico Seco
4	26.79	1295.00
	29.56	1434.11
	32.33	1371.28
	36.20	1328.43
8	17.49	1413.69
	28.81	1441.84
	32.33	1401.70
	36.20	1380.54
12	37.89	1285.06
	37.38	1376.37
	40.21	1322.89
	42.28	1252.33

Fuente: Propia

Tabla 42. Proctor estándar. suelo-cal

Proctor Estándar			
Porcentaje de cal	4	8	12
Humedad Óptima (%)	30.3	28.0	37.70
Densidad seca máxima (kg/m³)	1438.0	1442.0	1379.00

Fuente: Propia

Realizando las adiciones del 8% de cal se logró apreciar que la máxima densidad seca aumentó a 1,442 kg/m³ y adicionando el 12% de cal se pudo observar que la máxima densidad seca disminuyó a 1,379 kg/m³.

3.3.3. Ensayo de CBR

- **Valor relativo (CBR) del suelo A-7-5 con 4% de cal**

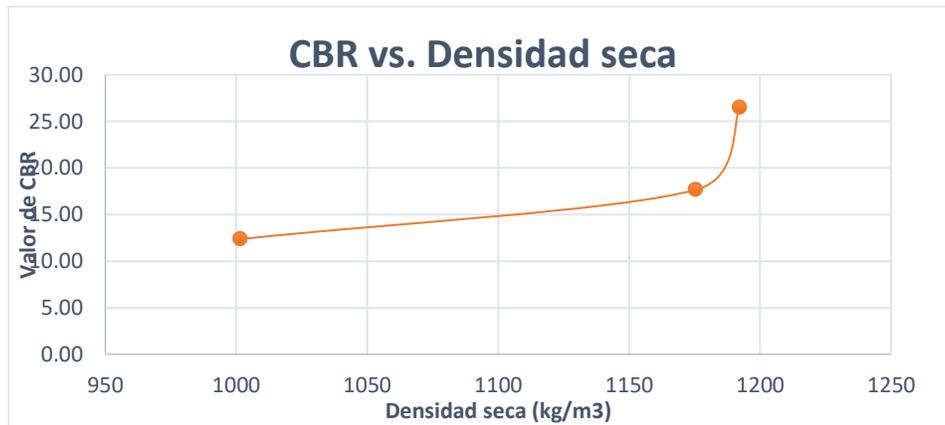
Tabla 43. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 4% de cal

Ensayo de compactación	Golpes 10	Golpes 25	Golpes 56
Wmuestra compactada (Kg)	4.0	4.4	4.5
Wagua (gr)	35.2	23.6	30.5
Wseca (gr)	145.6	147	158.7
Humedad (%)	24.18	16.05	19.22
Densidad humedad (kg/m3)	1243.81	1364.19	1421.34
Densidad Seca (kg/m3)	1001.65	1175.47	1192.22
CBR (%)	12.4	17.7	26.5
CBR Corregido			
CBR %0.1"	16.01	19.36	22.71
Compactación	90%	95%	100%

Fuente: Propia

Los valores de CBR encontrados en el suelo con 4% de cal al 90% de compactación a 0.1" de penetración es de 16.01, en 95% de compactación fue de 19.36 y para el 100% un valor de 22.71.

Gráfica 22. CBR vs. Densidad seca (suelo natural +4% cal)



Fuente: Propia

- **Valor relativo (CBR) del suelo A-7-5 con 8% de cal**

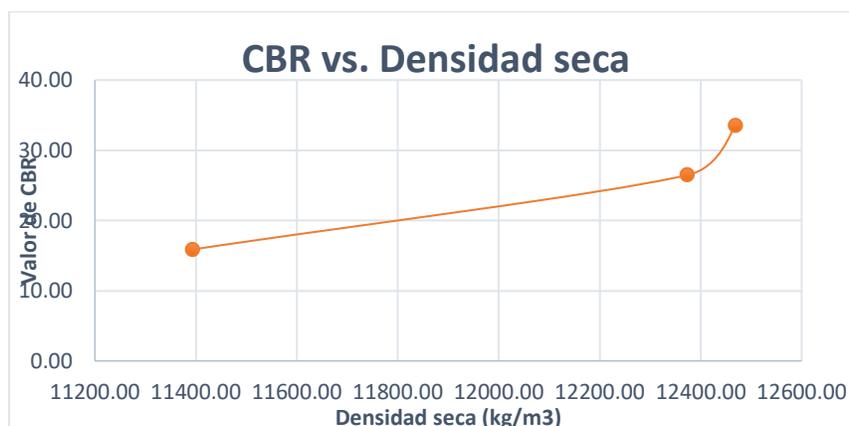
Tabla 44. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 8% de cal

Ensayo de compactación	Golpes 10	Golpes 25	Golpes 56
Wmuestra compactada (Kg)	4.2	4.3	4.6
Wagua (gr)	27.1	15.8	29.9
Wseca (gr)	168.6	164.4	186.1
Humedad (%)	16.07	9.61	16.07
Densidad humedad (kg/m3)	13225.94	13563.13	14473.13
Densidad Seca (kg/m3)	11394.45	12373.91	12469.67
CBR (%)	15.9	26.5	33.5
CBR Corregido			
CBR %0.1"	13.19	22.00	30.81
Compactación	90%	95%	100%

Fuente: Propia

Los valores de CBR encontrados en el suelo con 8% de cal al 90% de compactación a 0.1" de penetración es de 13.19, en 95% de compactación fue de 22.00 y para el 100% un valor de 30.81.

Gráfica 23. CBR vs. Densidad seca (suelo natural +8% cal)



Fuente: Propia

- **Valor relativo (CBR) del suelo A-7-5 con 12% de cal**

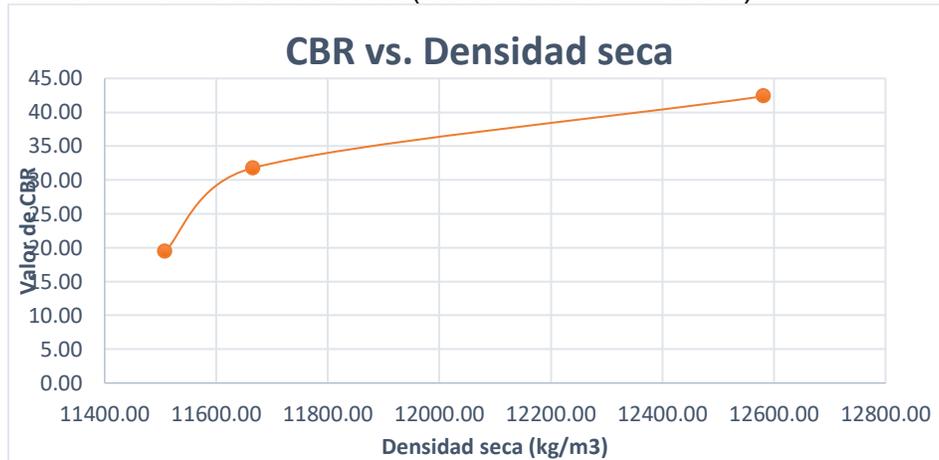
Tabla 45. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 12% de cal

Ensayo de compactación	Golpes 10	Golpes 25	Golpes 56
Wmuestra compactada (Kg)	4.3	4.5	4.8
Wagua (gr)	30.6	33.4	35.2
Wseca (gr)	187.3	161.4	191.9
Humedad (%)	16.34	20.69	18.34
Densidad Humedad (kg/m ³)	13388.13	14079.38	14888.44
Densidad Seca (kg/m ³)	11508.01	11665.35	12580.76
CBR (%)	19.4	31.8	42.4
CBR Corregido			
CBR %0.1"	20.46	31.79	43.11
Compactación	90%	95%	100%

Fuente: Propia

Los valores de CBR encontrados en el suelo con 12% de cal al 90% de compactación a 0.1" de penetración es de 20.46, en 95% de compactación fue de 31.79 y para el 100% un valor de 43.11.

Gráfica 24. CBR vs. Densidad seca (suelo natural +12% cal)



Fuente: Propia

3.4. Ensayos realizados a la mezcla de suelo y cenizas de madera

La ceniza de madera es un material que se obtuvo como resultado de quemar los desechos de madera en una estufa de leña.

3.4.1. Límites de consistencia

Se presenta el desarrollo de los cálculos al agregarle los diferentes porcentajes de cenizas de madera al suelo, de igual manera, se muestran tablas resumen de datos obtenidos, las tablas completas se muestran en el capítulo C de anexos.

- **Para 4% de cenizas de madera:**

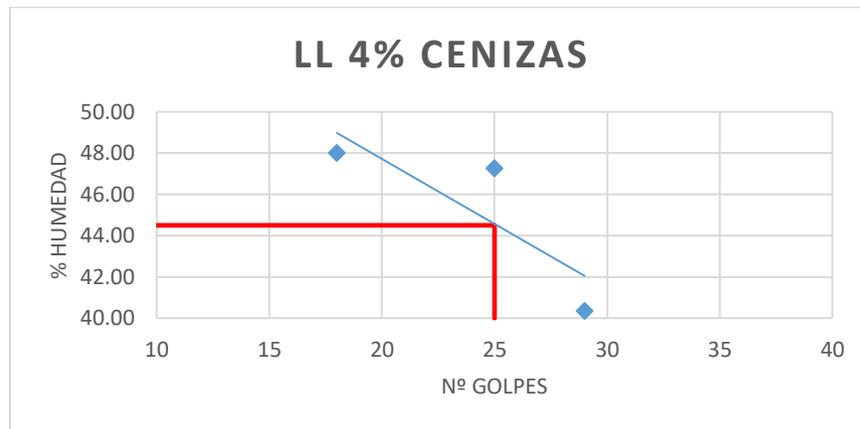
Tabla 46. Datos de LL, suelo natural + 4% de cenizas de madera

LL: 4% DE CENIZAS			
Ensayo	1	2	3
Nº golpes	18	25	29

Peso de agua (gr)	6	6.9	4.8
Peso seco (gr)	12.5	14.6	11.9
%W	48.00	47.26	40.34
Límite líquido (%)	44.5		

Fuente: Propia

Gráfica 25. Límite Líquido, suelo natural + 4% cenizas



Fuente: Propia

Tabla 47. Datos de LP, suelo natural + 4% de cenizas de madera

LP: 4% DE CENIZAS		
Ensayo	1	2
Peso de agua (gr)	3.4	3.3
Peso seco (gr)	10	9.1
Contenido de humedad (%)	34.00	36.26
Límite plástico (%)	35.13	

Fuente: Propia

$$LP_{4\%_{Cenizas}} = \frac{34 + 36.26}{2} = 35.13\%$$

$$IP_{4\%_{Cenizas}} = 44.5 - 35.13 = 9.37\%$$

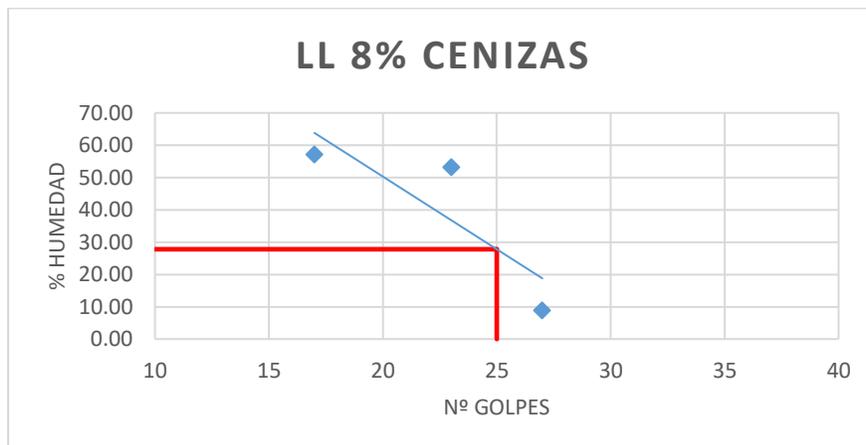
- Para 8% de cenizas:

Tabla 48. Datos de LL, suelo natural + 8% de cenizas

LL: 8% DE CENIZAS			
Ensayo	1	2	3
Nº golpes	17	23	27
Peso de agua (gr)	9.5	6.6	1.9
Peso seco (gr)	16.6	12.4	21.3
%W	57.23	53.23	8.92
Límite líquido (%)	27.8		

Fuente: Propia

Gráfica 26. Límite Líquido, suelo natural + 8% cenizas



Fuente: Propia

Tabla 49. Datos de LP, suelo natural + 8% de cenizas

LP: 8% DE CENIZAS		
Ensayo	1	2
Peso de agua (gr)	2.6	2.3
Peso seco (gr)	10	8.5
Contenido de humedad (%)	26.00	27.06
Límite plástico (%)	26.53	

Fuente: Propia

$$LP_{8\%_{Cenizas}} = \frac{26 + 27.06}{2} = 26.53\%$$

$$IP_{8\%_{Cenizas}} = 27.8 - 26.53 = 1.27\%$$

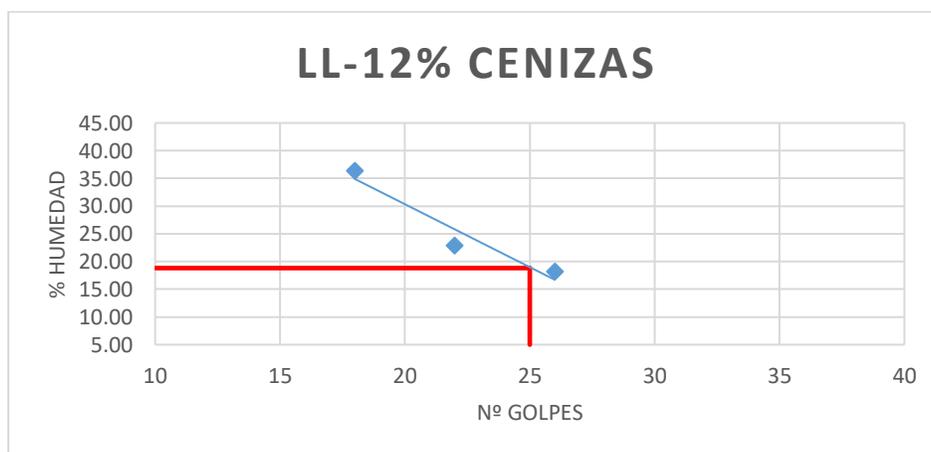
- **Para 12% de cenizas:**

Tabla 50. Datos de LL, suelo natural + 12% de cenizas

LL: 12% DE CENIZAS			
Ensayo	1	2	3
Nº golpes	18	22	26
Peso de agua (gr)	5.2	4	3.6
Peso seco (gr)	14.3	17.5	19.8
%W	36.36	22.86	18.18
Límite líquido (%)	18.82		

Fuente: Propia

Gráfica 27. Límite Líquido, suelo natural + 12% cenizas



Fuente: Propia

Tabla 51. Datos de LP, suelo natural + 8% de cenizas

LP: 12% DE CENIZAS		
Ensayo	1	2
Peso de agua (gr)	4	2.8
Peso seco (gr)	17.3	22.4
Contenido de humedad (%)	23.12	12.50
Límite plástico (%)	17.81	

Fuente: Propia

$$LP_{12\%_Cenizas} = \frac{23.12 + 12.50}{2} = 17.81\%$$

$$IP_{12\%_Cenizas} = 18.82 - 17.81 = 1.01\%$$

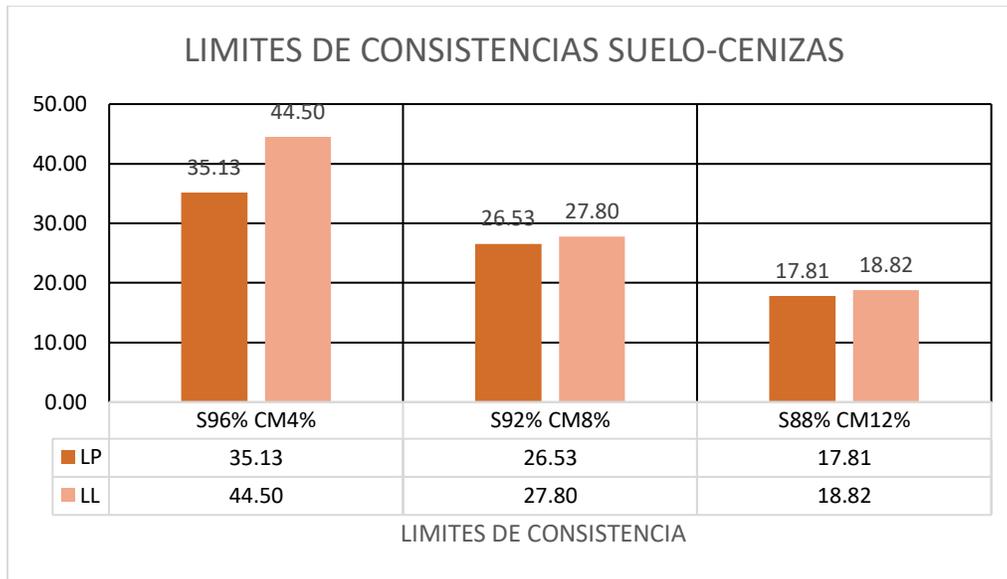
Se observan las variaciones en el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo en función del incremento de estabilizante. Obteniendo un IP de 1% al agregar 12% de cenizas de madera al suelo, siendo éste el menor valor obtenido de todos.

Tabla 52. Límites de Atterberg. suelo-cenizas de madera

LIMITES DE ATTERBERG			
Porcentaje de cenizas	4	8	12
Límite Líquido	44.5	27.8	18.82
Límite Plástico	35.13	26.53	17.81
Índice de plasticidad	9.37	1.27	1.01

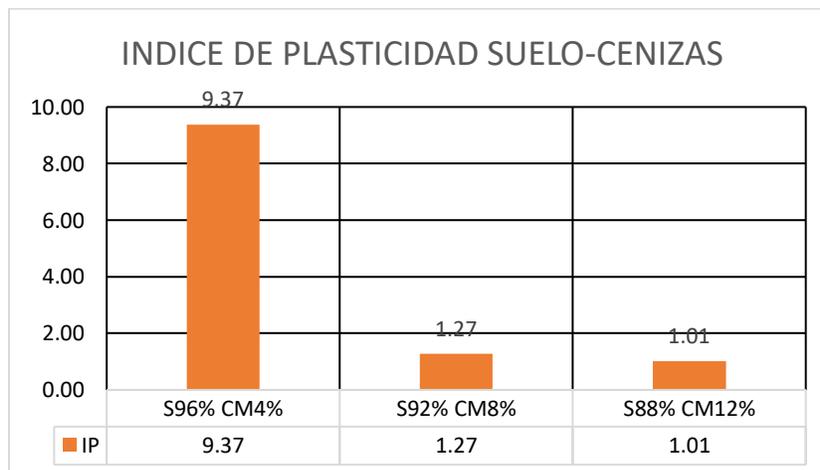
Fuente: Propia

Gráfica 28. Límites de consistencia suelo-cenizas de madera



Fuente: Propia

Gráfica 29. Índice de plasticidad suelo-cenizas de madera



Fuente: Propia

Con el 12% de cenizas se obtiene el menor valor de índice de plasticidad con 1.01% posicionándose en el rango de suelos de baja plasticidad, siendo éste el menor valor obtenido de índice de plasticidad en comparación al suelo natural.

3.4.2. Ensayo de compactación estándar

Tabla 53. Contenido de Humedad vs. Peso volumétrico seco, adicionando los diferentes porcentajes de cenizas de madera

Estabilizante	Cenizas de madera	
Porcentaje	Contenido de humedad	Peso Volumétrico Seco
4	22.24	1238.37
	25.06	1332.46
	28.46	1305.35
	31.34	1204.14
8	25.23	1244.28
	26.91	1270.39
	31.23	1249.59
	33.09	1233.74
12	17.79	1339.08
	20.25	1393.68
	22.74	1367.97
	23.64	1338.29

Fuente: Propia

Con el suelo-ceniza se logra una reducción del contenido óptimo de humedad y aumento de la densidad seca máxima, lo que significa que dicha ceniza incide en la disminución de agua en una relación de densidad máxima seca, debido a sus características químicas que permiten una mejor interacción con el agua.

Tabla 54. Proctor estándar. suelo-cenizas de madera

Proctor Estándar			
Porcentaje de Cenizas	4	8	12
Humedad Óptima (%)	25.80	27.00	20.45
Densidad seca máxima (kg/m³)	1335.00	1270.00	1394.40

Fuente: Propia

3.4.3. Ensayo de CBR

- **Valor relativo (CBR) del suelo A-7-5 con 4% de cenizas de madera**

Tabla 55. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 4% de cenizas de madera

Ensayo de compactación	Golpes 10	Golpes 25	Golpes 56
Wmuestra compactada (Kg)	4.0	4.0	4.1
Wagua (gr)	29.3	33.5	31.6
Wseca (gr)	144.60	145.00	122.80
Humedad (%)	20.26	23.10	25.73
Densidad Humedad (kg/m³)	1241.88	1250.63	1281.25
Densidad Seca (kg/m³)	1032.63	1065.91	1119.31
CBR (%)	10.6	24.7	35.3
CBR Corregido			
CBR %0.1"	5.46	20.96	36.46
Compactación	90%	95%	100%

Fuente: Propia

Los valores de CBR encontrados en el suelo con 4% de cenizas al 90% de compactación a 0.1" de penetración es de 5.46, en 95% de compactación fue de 20.96 y para el 100% un valor de 36.46.

Gráfica 30. CBR vs. Densidad seca (suelo natural +4% cenizas de madera)



Fuente: Propia

- **Valor relativo (CBR) del suelo A-7-5 con 8% de cenizas de madera**

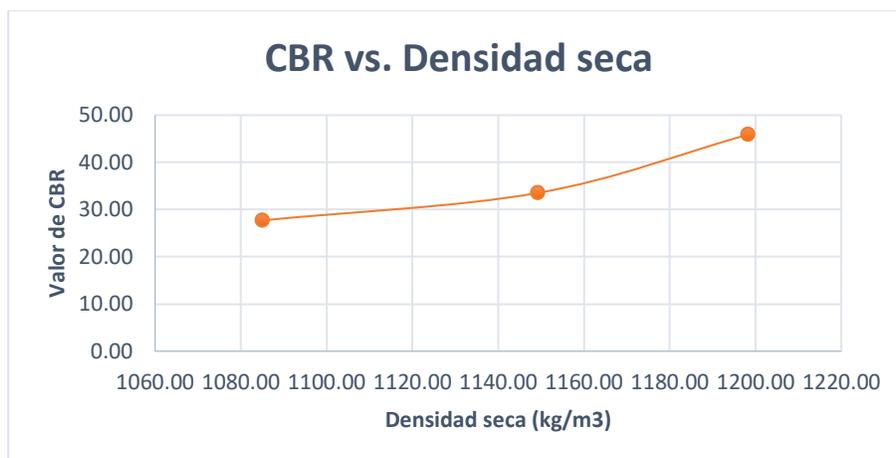
Tabla 56. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 8% de cenizas de madera

Ensayo de compactación	Golpes 10	Golpes 25	Golpes 56
Wmuestra compactada (Kg)	4.0	4.0	4.3
Wagua (gr)	22.3	43.1	40.4
Wseca (gr)	145.60	132.40	113.50
Humedad (%)	15.32	32.55	35.59
Densidad Humedad (kg/m ³)	1251.25	1254.06	1353.44
Densidad Seca (kg/m ³)	1085.06	1149.31	1198.31
CBR (%)	27.7	33.5	45.9
CBR Corregido			
CBR %0.1"	25.39	34.80	44.20
Compactación	90%	95%	100%

Fuente: Propia

Los valores de CBR encontrados en el suelo con 8% de cenizas al 90% de compactación a 0.1" de penetración es de 25.39, en 95% de compactación fue de 34.80 y para el 100% un valor de 44.20.

Gráfica 31. CBR vs. Densidad seca (suelo natural + 8% cenizas de madera)



Fuente: Propia

- **Valor relativo (CBR) del suelo A-7-5 con 12% de cenizas de madera**

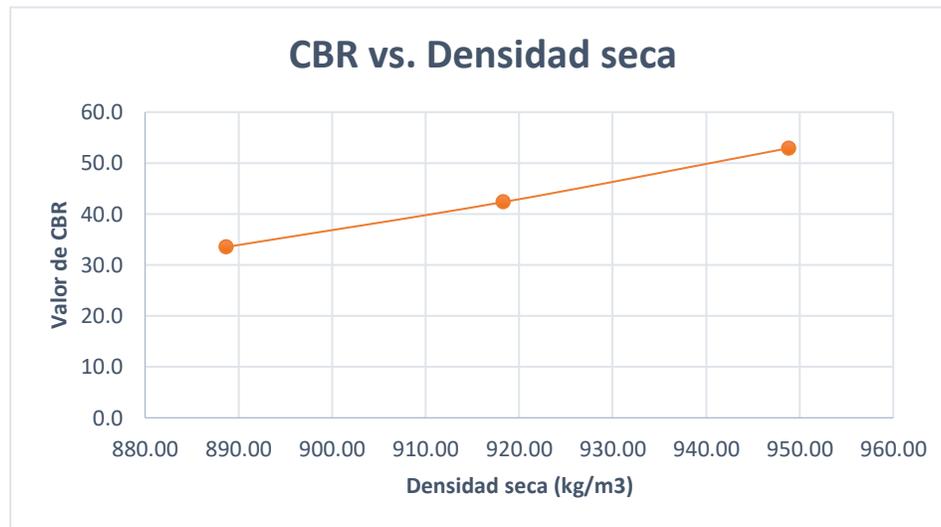
Tabla 57. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 12% de cenizas de madera

Ensayo de compactación	Golpes 10	Golpes 25	Golpes 56
Wmuestra compactada (Kg)	4.0	4.0	4.0
Wagua (gr)	32.9	27.5	36.5
Wseca (gr)	83.30	77.60	94.70
Humedad (%)	39.50	35.44	38.54
Densidad Humedad (kg/m ³)	1239.69	1243.75	1245.31
Densidad Seca (kg/m ³)	888.69	918.32	948.87
CBR (%)	33.5	42.4	53.0
CBR Corregido			
CBR %0.1"	22.08	37.40	52.71
Compactación	90%	95%	100%

Fuente: Propia

Los valores de CBR encontrados en el suelo con 12% de cenizas al 90% de compactación a 0.1" de penetración es de 22.08, en 95% de compactación fue de 37.40 y para el 100% un valor de 52.71.

Gráfica 32. CBR vs. Densidad seca (suelo natural + 12% cenizas de madera)



Fuente: Propia

3.5. Ensayos realizados a la mezcla de suelo y aserrín

El aserrín empelado en estos ensayos se obtuvo de los desperdicios del aserrado de la madera, procesos llevados a cabo en el taller de madera del RUPAP.

3.5.1. Límites de consistencia

Se presenta el desarrollo de los cálculos al agregarle los diferentes porcentajes de aserrín al suelo, de igual manera, se muestran tablas resumen de datos obtenidos, las tablas completas se muestran en el capítulo C de anexos.

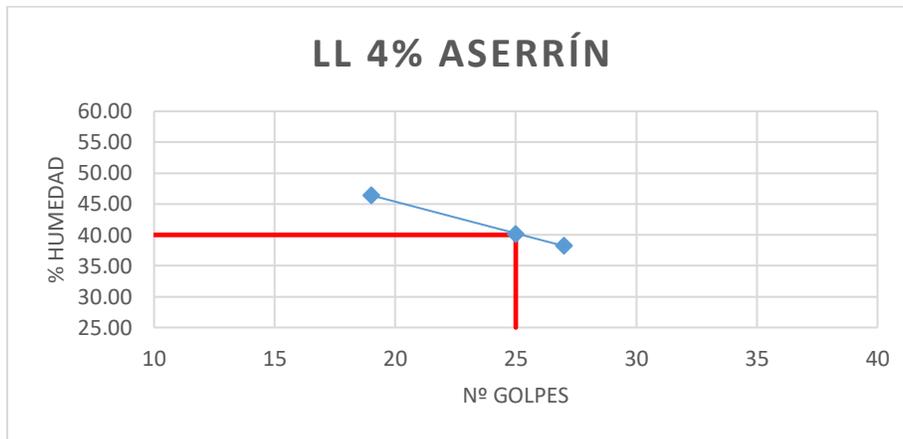
- **Para 4% de aserrín**

Tabla 58. Datos de LL, suelo natural + 4% de aserrín

LL: 4% DE ASERRIN			
Ensayo	1	2	3
Nº golpes	19	25	27
Peso de agua (gr)	8.4	5.3	6.9
Peso seco (gr)	17.5	13.2	18.2
%W	48.00	40.15	37.91
Límite líquido (%)	40.0		

Fuente: Propia

Gráfica 33 Límite Líquido, suelo natural + 4% aserrín



Fuente: Propia

Tabla 59. Datos de LP, suelo natural + 4% de aserrín

LP: 4% DE ASERRIN		
Ensayo	1	2
Peso de agua (gr)	2.0	4.2
Peso seco (gr)	10.7	8.3
Contenido de humedad (%)	18.69	50.60
Límite plástico (%)	34.65	

Fuente: Propia

$$LP_{4\%_Aser} = \frac{18.69 + 50.60}{2} = 34.65\%$$

$$IP_{4\%_{Aser}} = 40.0 - 34.65 = 5.35\%$$

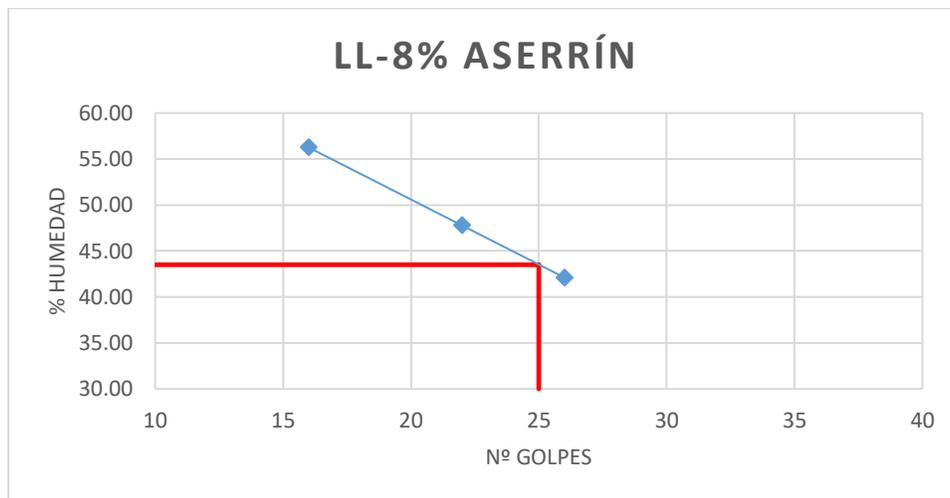
- **Para 8% de aserrín:**

Tabla 60. Datos de LL, suelo natural + 8% de aserrín

LL: 8% DE ASERRIN			
Ensayo	1	2	3
Nº golpes	16	22	26
Peso de agua (gr)	7.2	6.5	8
Peso seco (gr)	12.8	13.6	19
%W	56.25	47.79	42.11
Límite líquido (%)	43.5		

Fuente: Propia

Gráfica 34. Límite Líquido, suelo natural + 8% aserrín



Fuente: Propia

Tabla 61. Datos de LP, suelo natural + 8% de aserrín

LP: 8% DE ASERRÍN		
Ensayo	1	2
Peso de agua (gr)	4	3

Peso seco (gr)	10.6	8
Contenido de humedad (%)	37.74	37.50
Límite plástico (%)	37.62	

Fuente: Propia

$$LP_{8\%_{Aser}} = \frac{37.74 + 37.50}{2} = 37.62\%$$

$$IP_{8\%_{Aser}} = 43.5 - 37.62 = 5.88\%$$

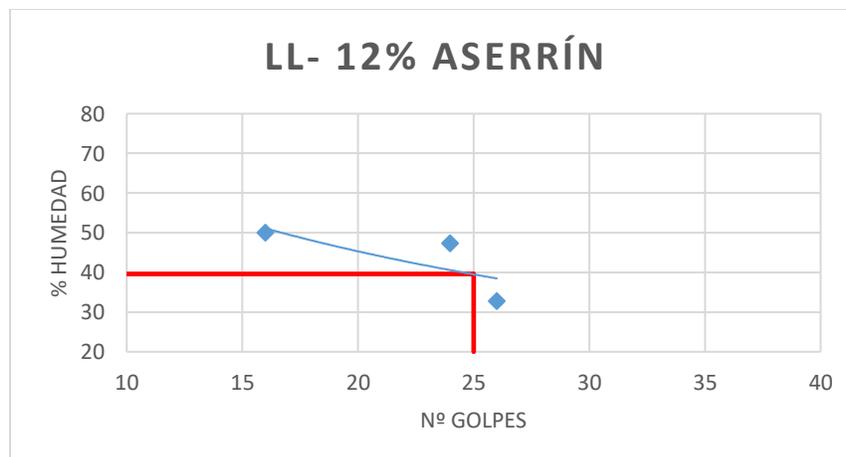
- **Para 12% de aserrín:**

Tabla 62. Datos de LL, suelo natural + 12% de aserrín

LL: 12% DE ASERRÍN			
Ensayo	1	2	3
Nº golpes	19	25	27
Peso de agua (gr)	9.8	8.1	6.3
Peso seco (gr)	19.6	17.1	19.2
%W	50.00	47.37	32.81
Límite líquido (%)	39.6		

Fuente: Propia

Gráfica 35. Límite Líquido, suelo natural + 12% Aserrín



Fuente Propia

Tabla 63. Datos de LP, suelo natural + 12% de aserrín

LP: 12% DE ASEERÍN		
Ensayo	1	2
Peso de agua (gr)	2.4	2.9
Peso seco (gr)	8.3	7.4
Contenido de humedad (%)	28.92	39.19
Límite plástico (%)	34.05	

Fuente: Propia

$$LP_{12\%_{Aserr}} = \frac{28.92 + 39.19}{2} = 34.06\%$$

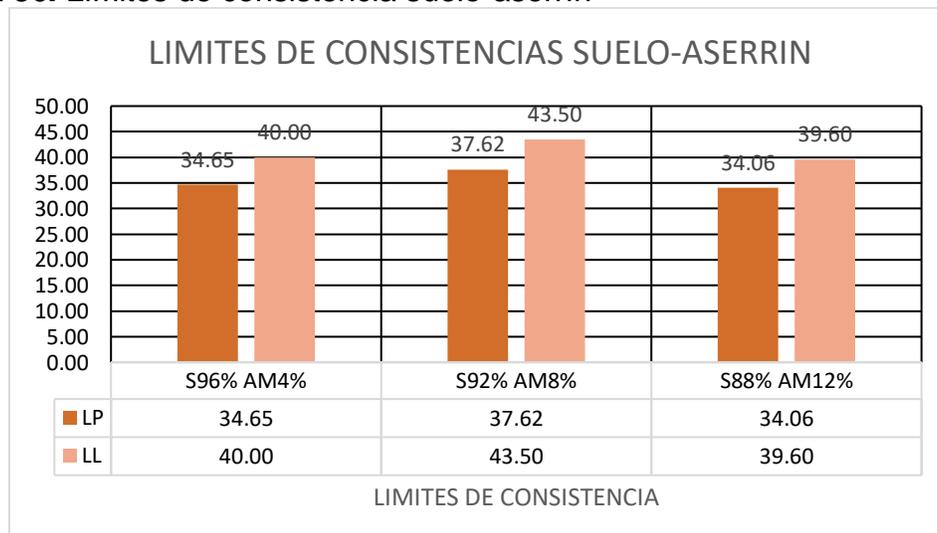
$$IP_{12\%_{Aserr}} = 39.6 - 34.05 = 5.55\%$$

Tabla 64. Límites de Atterberg, suelo-aserrín

LIMITES DE ATTERBERG			
Porcentaje de Aserrín	4	8	12
Límite Líquido	40.0	43.5	39.6
Límite Plástico	34.65	37.62	34.05
Índice de plasticidad	5.35	5.88	5.55

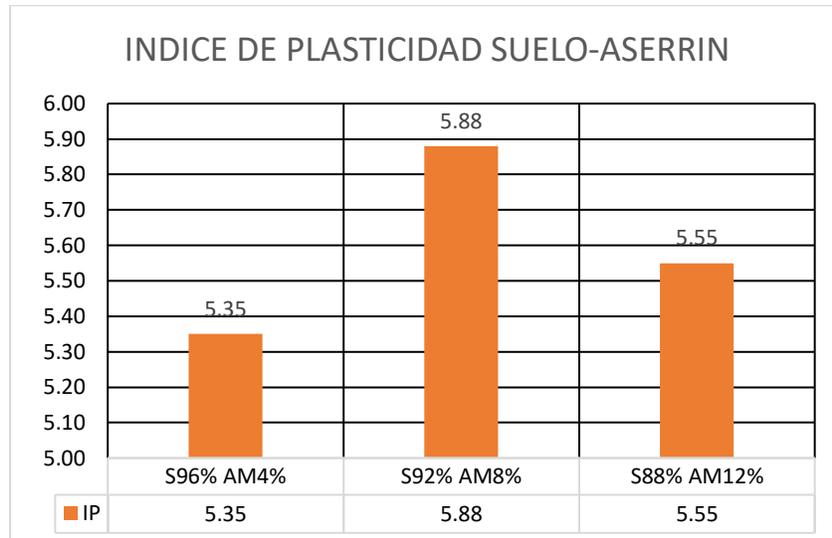
Fuente: Propia

Gráfica 36. Límites de consistencia suelo-aserrín



Fuente: Propia

Gráfica 37. Índice de plasticidad suelo-aserrín



Fuente: Propia

3.5.2. Ensayo de compactación estándar

Tabla 65. Contenido de Humedad vs. Peso volumétrico seco, adicionando los diferentes porcentajes de Aserrín

Estabilizante	Aserrín	
	Contenido de humedad	Peso Volumétrico Seco
4	28.47	1198.98
	30.14	1380.50
	34.41	1296.42
	36.57	1186.03
8	25.89	1071.54
	28.27	1110.15
	31.13	1202.06
	34.80	991.74

12	25.44	1105.46
	27.39	1183.32
	31.30	1165.79
	34.27	1084.84

Fuente: Propia

A medida que se incorporó los porcentajes de aserrín al 4% y 8% no se logró un buen resultado para mejorar las propiedades mecánicas del suelo, debido al aumento del óptimo contenido de humedad al agregarle los diferentes porcentajes de estabilizantes; aunque disminuyó en muy bajos porcentajes la máxima densidad seca.

Tabla 66. Proctor estándar, suelo-aserrín

Proctor Estándar			
Porcentaje de Aserrín	4	8	12
Humedad Óptima (%)	30.16	30.98	28.50
Densidad seca máxima (kg/m ³)	1381.20	1201.08	1189.00

Fuente: Propia

3.5.3. Ensayo de CBR

- **Valor relativo (CBR) del suelo A-7-5 con 4% de aserrín**

Tabla 67. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 4% de aserrín

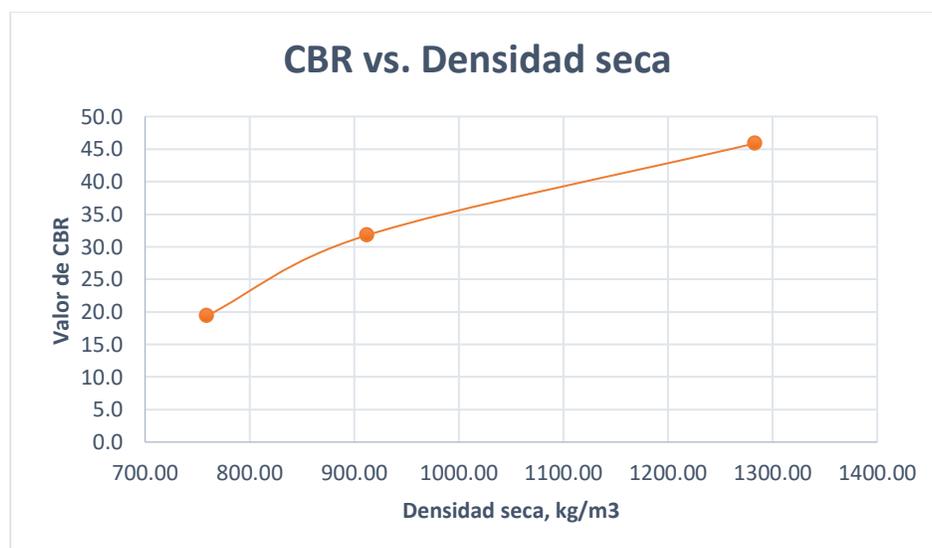
Ensayo de compactación	Golpes 10	Golpes 25	Golpes 56
Wmuestra compactada (Kg)	3.0	3.5	4.3
Wagua (gr)	12.3	29.5	5.6
Wseca (gr)	53.40	143.90	94.90
Humedad (%)	23.03	20.50	5.90
Densidad Humedad (kg/m ³)	934.16	1099.09	1359.16
Densidad Seca (kg/m ³)	759.27	912.11	1283.42

CBR (%)	19.4	31.8	45.9
CBR Corregido			
CBR %0.1"	40.56	29.32	46.74
Compactación	90%	95%	100%

Fuente: Propia

Los valores de CBR encontrados en el suelo con 4% de aserrín al 90% de compactación a 0.1" de penetración es de 40.56, en 95% de compactación fue de 29.32 y para el 100% un valor de 46.74.

Gráfica 38. CBR vs. Densidad seca (suelo natural + 4% de aserrín)



Fuente: Propia

▪ **Valor relativo (CBR) del suelo A-7-5 con 8% de aserrín**

Tabla 67. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 8% de aserrín

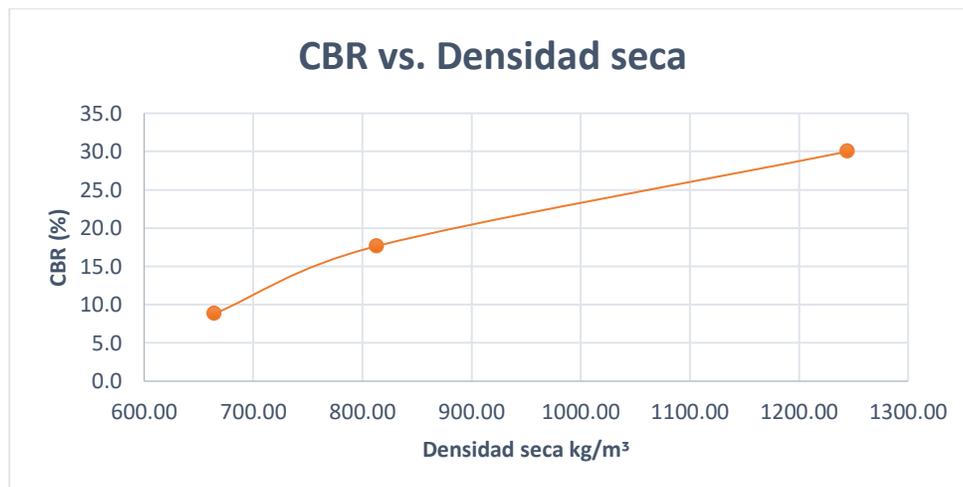
Ensayo de compactación	Golpes 10	Golpes 25	Golpes 56
Wmuestra compactada (Kg)	3.1	3.1	4.4
Wagua (gr)	34.7	27.1	16.7
Wseca (gr)	79.90	139.00	151.80
Humedad (%)	43.43	19.50	11.00
Densidad Humedad (kg/m3)	953.22	971.59	1381.34

Densidad Seca (kg/m³)	664.59	813.07	1244.44
CBR (%)	8.8	17.7	30.0
CBR Corregido			
CBR %0.1"	26.22	28.38	30.54
Compactación	90%	95%	100%

Fuente: Propia

Los valores de CBR encontrados en el suelo con 8% de aserrín al 90% de compactación a 0.1" de penetración es de 26.22, en 95% de compactación fue de 28.38 y para el 100% un valor de 30.54.

Gráfica 39. CBR vs. Densidad seca (suelo natural + 8% de aserrín)



Fuente: Propia

- **Valor relativo (CBR) del suelo A-7-5 con 12% de aserrín**

Tabla 68. Valor relativo de soporte (CBR) del suelo natural + 12% de aserrín

Ensayo de compactación	Golpes 10	Golpes 25	Golpes 56
Wmuestra compactada (Kg)	3.0	3.2	4.5
Wagua (gr)	24.3	28.2	32.1
Wseca (gr)	123.60	140.90	150.90

Humedad (%)	19.66	20.01	21.27
Densidad Humedad (kg/m3)	937.66	995.72	1418.44
Densidad Seca (kg/m3)	783.60	829.67	1169.63
CBR (%)	5.3	14.1	26.5
CBR Corregido			
CBR %0.1"	21.29	24.09	26.89
Compactación	90%	95%	100%

Fuente: Propia

Los valores de CBR encontrados en el suelo con 12% de aserrín al 90% de compactación a 0.1" de penetración es de 21.29, en 95% de compactación fue de 24.09 y para el 100% un valor de 26.89.

Gráfica 40. CBR vs. Densidad seca (suelo natural + 12% de aserrín)



Fuente: Propia

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS COMPARATIVO

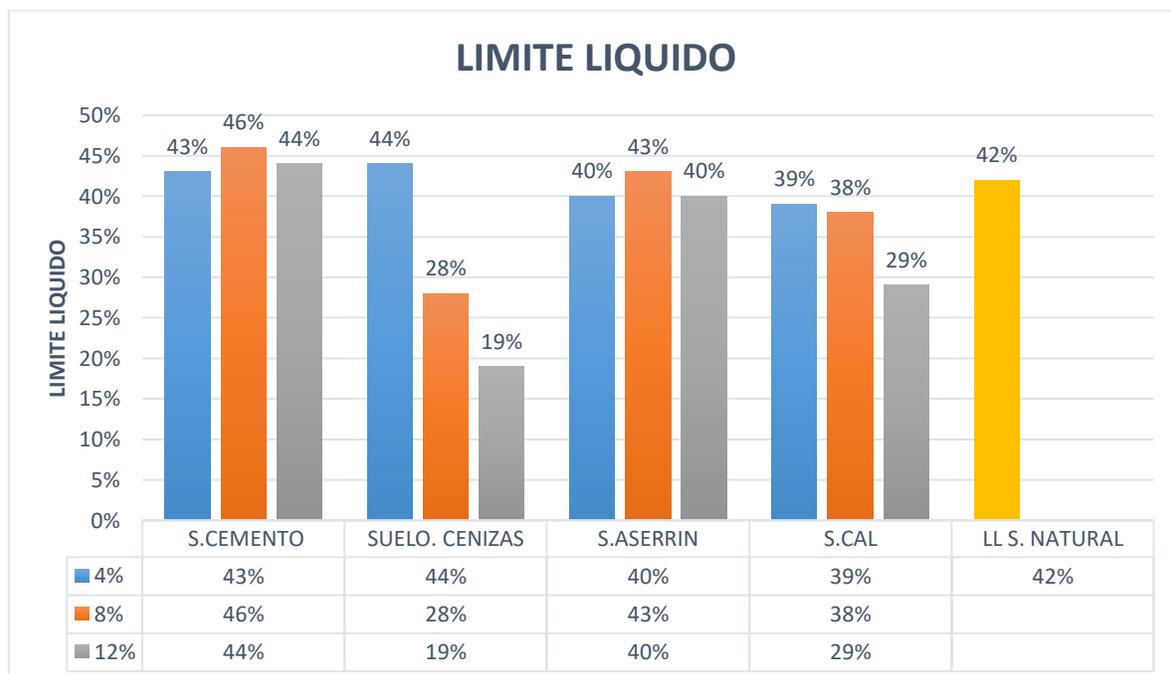
En este capítulo se enfoca al análisis comparativo de los datos obtenidos durante la recolección de muestras y pruebas de laboratorio realizadas, del mismo modo se describen criterios aplicados y la interpretación de los métodos utilizados al igual que los resultados obtenidos mediante procesamiento de datos.

Una vez efectuados los ensayos correspondientes se realizó la comparación de los resultados, permitiendo analizar el comportamiento con los estabilizantes (cal, cemento, aserrín y cenizas de madera) en los diversos porcentajes (4%, 8% y 12%).

4.1. Límites de Atterberg

A continuación, se presenta un gráfico comparativo de los resultados obtenidos en el ensayo de límites de Atterberg, específicamente del límite líquido.

Gráfico 41. Comparativa de resultados, límite líquido



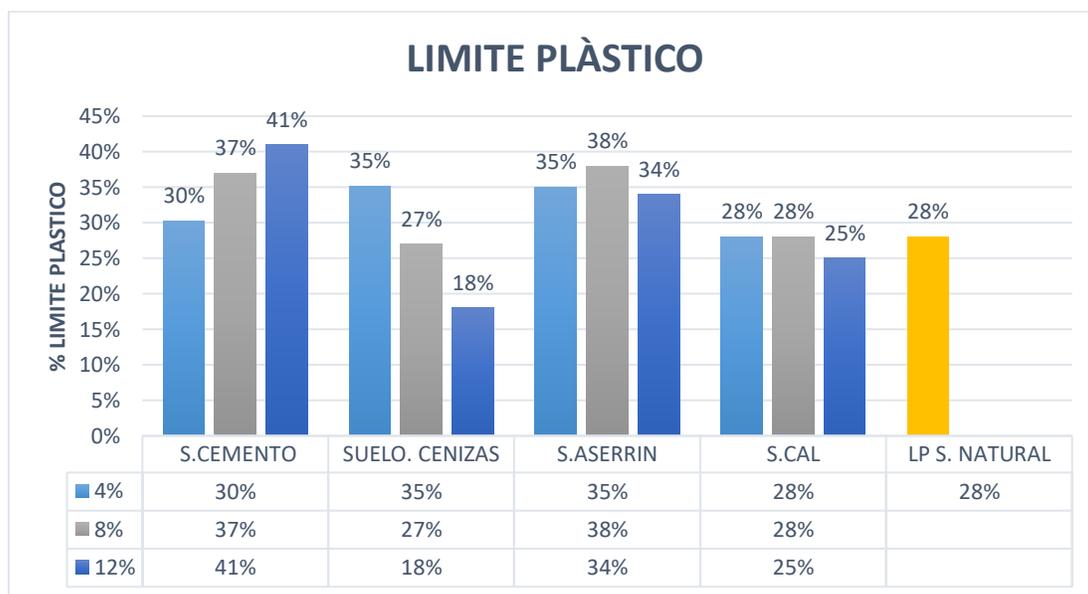
Fuente: Propia

En la gráfica anterior se observan los resultados de los porcentajes del límite líquido de cada estabilizante propuesto con respecto al suelo natural; el caso del suelo-cal presenta disminución en los tres porcentajes de aditivos.

Por otro lado, con la aplicación de suelo-cemento y suelo-aserrín con la dosificación de 8% se incrementa el porcentaje del límite líquido respecto al valor obtenido del suelo natural; esto indica que estos estabilizantes alteran significativamente las propiedades del suelo añadiendo grandes cantidades de agua para pasar del estado líquido al plástico; y en cuanto a las muestras que experimentaron mayor reducción fueron las ensayadas con cenizas teniendo el menor porcentaje con el 12% de adición de cenizas.

En lo que respecta a las variaciones en el límite plástico se presentan en el siguiente gráfico:

Gráfico 42. Comparativa de resultados, límite plástico



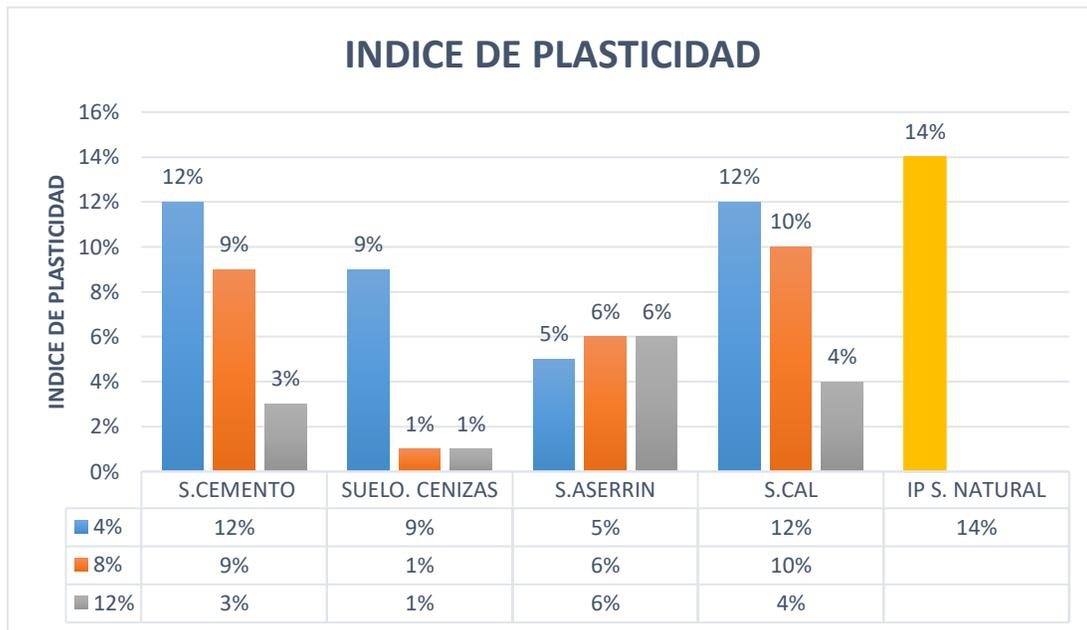
Fuente: Propia

De acuerdo a la gráfica anterior de todos los estabilizantes propuestos el cemento es el que presenta poco efecto sobre el límite plástico del suelo natural, mostrando

incrementos; lo cual significa que para que la muestra pase del estado semisólido al líquido se le debe añadir una buena cantidad agua.

Con la dosificación del 12% de cenizas se obtuvo una reducción del 10% con respecto al suelo natural.

Gráfico 43. Comparativa de resultados, índice de plasticidad



Fuente: Propia

Al realizar los ensayos para determinar los límites de consistencia con los diferentes porcentajes de estabilizante de 4% 8% y 12% se determinó una ligera disminución del índice plástico con el aumento del porcentaje de aditivo, a como se puede observar en la gráfica anterior.

Se presenta la mayor disminución al aplicar la dosificación de 12% de cenizas de madera.

En la siguiente tabla se presenta cómo varía la clasificación del suelo según varía el índice de plasticidad de los mismos:

Tablas 69: Tabla resumen de límites de los suelos y su clasificación

ADITIVO	PORCENTAJE (%)	LL	LP	IP	CLASIFICACIÓN AASHTO
Suelo Natural		42.3	28.28	14.02	A-7-5 (5)
Cemento	4	41.9	30.28	10.62	A-2-7 (4)
	8	46.0	37.09	8.21	A-2-5 (4)
	12	43.9	41.40	2.5	A-2-5 (1)
Cal	4	39.2	27.63	11.65	A-2-6 (4)
	8	37.7	27.63	11.57	A-2-4 (3)
	12	29.0	25.34	3.66	A-2-4 (0)
Cenizas de madera	4	44.5	35.13	9.37	A-2-5 (3)
	8	18.8	14.73	4.07	A-1-b(0)
	12	27.8	26.53	1.27	A-1-b (0)
Aserrín	4	40.0	34.65	5.35	A-2-4 (2)
	8	43.5	37.62	5.88	A-2-5 (2)
	12	39.6	34.06	5.0	A-2-4 (2)

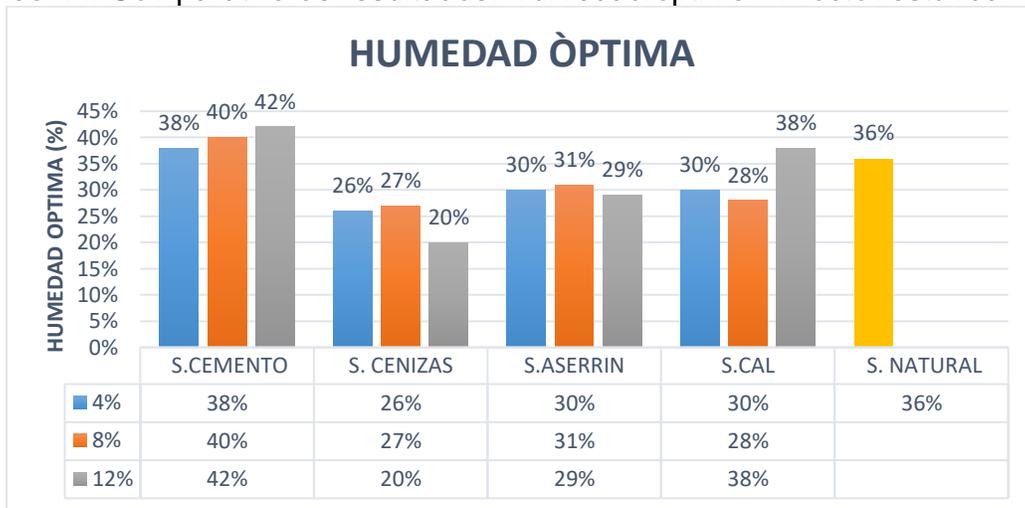
Fuente: Propia

4.2. Ensayo de compactación Proctor Estándar

A medida que se incrementa el porcentaje de cada uno de los estabilizantes se han generado cambios en la densidad seca máxima y la humedad óptima de los suelos ensayados.

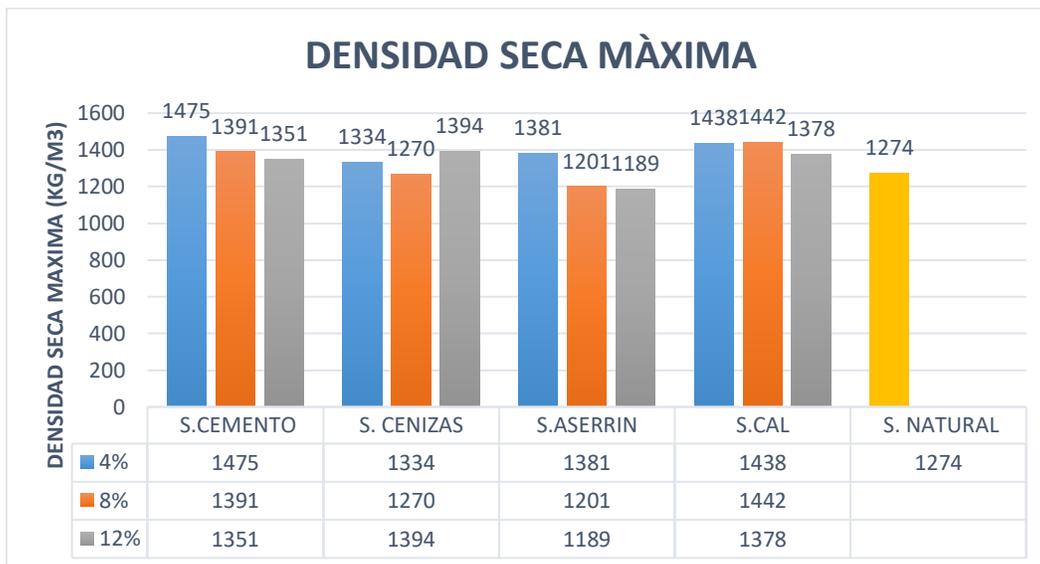
En las siguientes gráficas (gráfica 44 y 45) se puede observar que hay variaciones tanto de la humedad óptima como de la densidad seca máxima.

Gráfico 44. Comparativa de resultados. Humedad óptima - Proctor estándar



Fuente: Propia

Gráfico 45. Comparativa de resultados. Densidad seca máxima - Proctor estándar



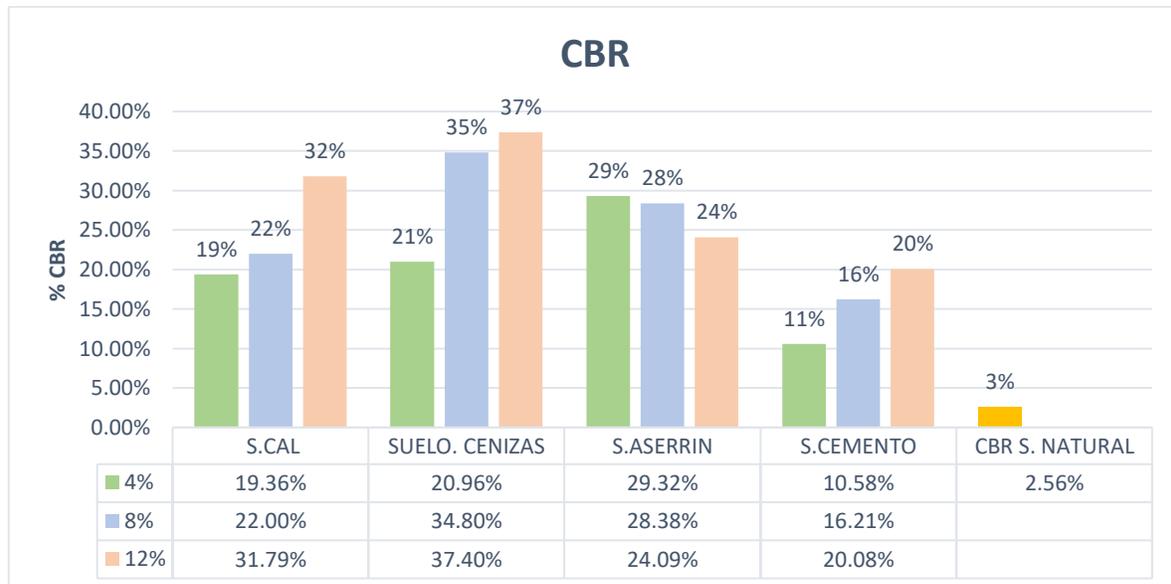
Fuente: Propia

Haciendo comparativa entre el cemento y cal, se puede observar que se produce una mayor reducción de la densidad seca máxima al agregar cemento con 8% y 12%; de igual manera, hay un mayor aumento en la humedad óptima de compactación. Esto indica que a mayor cantidad de cemento mayor será el requerimiento de agua para lograr la densidad máxima de la muestra.

En el caso de la adicción de 12% cenizas de madera se observa una reducción de la humedad óptima, por ende, aumenta la densidad seca.

3.5. Ensaye de CBR

Gráfico 46. Comparativa de resultados. CBR



Fuente: Propia

A como se observa en la gráfica anterior al adicionar los diferentes porcentajes de aditivos al suelo natural el valor de CBR aumenta, siendo el mayor el 37% el cual resultó del 12% de cenizas. Por otro lado, el aserrín fue el que presentó una disminución en sus valores, sin embargo, estos muestran un aumento en lo que respecta al suelo natural.

Según la tabla 2 los valores resultantes al aplicar cemento a la muestra de suelo en los distintos porcentajes este resultó ser un suelo regular para ser usado como subrasante. En lo que respecta a las cenizas de madera es lo que provee una excelente subrasante.

CONCLUSIONES

Se realizaron sondeos manuales bandeados cada 150 metros sobre la longitud del tramo en estudio, a una profundidad de 1.50 metros; en total se realizaron 6 sondeos, de cada sondeo se extrajeron dos muestras.

Mediante los resultados obtenidos de los ensayos de granulometría y límites de Atterberg, se pudo clasificar con la norma AASHTO dos tipos diferentes de suelo; un suelo tipo A-7-5 (5), indicando un suelo arcilloso y un suelo A-2-5 (0), indicando un suelo limoso. Acorde a los resultados obtenidos según la clasificación S.U.C.S. se determinó que para el suelo tipo 1 resulto ser arcilla de baja plasticidad (CL), expone 21.9% de gravas y 6% de arena. Y para el suelo tipo 2 resultó ser limo elástico con mucha grava (MH), expone 48.2% de gravas y 20.2% de arena.

A la muestra de la clasificación más decadente y con mayor presencia en el sitio (A-7-5) se realizaron los ensayos para la estabilización; se hizo el ensayo de Próctor estándar obteniéndose una densidad seca máxima de $1,274 \text{ kg/m}^3$ y humedad óptima de 36%.

Se propuso como estabilizantes: cemento, cal, cenizas de madera y aserrín con porcentajes de 4%, 8% y 12%, respectivamente. Donde para cada porcentaje de estabilizante se realizó el ensayo de límites de Atterberg, Próctor estándar y ensayo de Valor Relativo de Soporte Normal (CBR).

En el ensayo de Límite de Consistencia se pudo observar mejoras de las propiedades físicas de la arcilla, debido a la adición de los estabilizantes, obteniéndose una mayor disminución del Índice de Plasticidad al adicionar cenizas de madera con un IP de 1.01%.

En el ensayo de Proctor estándar se pudo verificar que disminuye la humedad óptima del suelo de acuerdo a las combinaciones del material de muestra y la ceniza de madera y la máxima densidad seca al aplicar 12% de ceniza de madera al suelo natural es de $1,394.40 \text{ kg/m}^3$.

El ensayo de CBR del suelo natural es de 2.56 al 95% de compactación al 0.1" de penetración, siendo este suelo muy pobre para ser usado como subrasante. Al agregarle estabilizante de 4%, 8% y 12% al suelo, éste presentó aumentos en el valor de CBR, en comparación con el obtenido del suelo natural. Siendo la adición de cenizas de madera en sus diferentes porcentajes el que presentó mejores resultados. A un 95% de compactación se obtuvo valores de 20.96, 34.80 y 37.40, respectivamente a 0.1" de penetración, teniendo una clasificación de excelente para ser usado como subrasante. De acuerdo a la NIC-2019, el CBR mínimo (para ser empleado como subrasante) debe ser de 20%, y con estos valores se cumple este requerimiento.

Por otro lado, con la adicción de 4%, 8% y 12% de aserrín al suelo natural, éste presentaba disminuciones en el valor de CBR a un 95% de compactación se obtuvo valores de 29.32, 28.38 y 24.09 a 0.1" de penetración, respectivamente.

A través de los ensayos realizados en el laboratorio se concluye que los resultados fueron óptimos y permitieron analizar el mejoramiento que pueden producir a la subrasante al momento de agregar los porcentajes correspondientes de estabilizantes de 4%, 8% y 12%.

En base a los datos obtenidos de los ensayos de límites de consistencia y CBR efectuados al suelo natural y suelos estabilizados, se concluye que la estabilización con cenizas de madera a un 12% logra mayores valores de resistencia; debido alto contenido de óxido de silicio que éstas poseen, las cuales a su vez producen propiedades cementantes, útiles para favorecer tal estabilización. Quedando en segundo lugar el cemento, posteriormente la cal y el aserrín, respectivamente.

La ceniza de madera influye positivamente al ser aplicado al suelo de tipo arcilla de baja plasticidad del tramo del municipio del Castillo, San Juan De Oriente; ya que mejora las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estudio, de esta forma siendo óptimo para futuros proyectos de pavimentación.

RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en este trabajo se recomienda que:

- Para el sitio en estudio se recomienda como estabilizante las cenizas de madera en 4%, 8% y 12%; obteniendo mejores resultados con la dosificación de 12%.
- La estabilización de los suelos en estas vías con otro tipo de estabilizantes, para la cual las condiciones cumplan con los estándares requeridos.
- Continuar estudiando de cómo influyen las fibras de aserrín y cenizas de madera en la mejoría de la subrasante para otros tipos de suelos.
- Se recomienda realizar mayor cantidad de dosificaciones para poder obtener diferentes datos con distintas muestras, ya que al ser un trabajo experimental se requiere tener datos más precisos a fin de ser una opción para proyectos de estabilidad de subrasante para la pavimentación.
- Llevar a cabo un estudio de factibilidad de la implementación de las cenizas de madera como estabilizante; el cual permita corroborar que éstas son económicamente viable para dicha utilización.
- Se recomienda utilizar las cenizas de madera y aserrín como estabilizantes.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Álvarez J. C., y Echeverri J. D. (1999). Estabilización de arcillas expansivas con cal hidratada. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

AMUDEMÁS (Septiembre. 2009). Asociación de Municipios de Masaya. Programa de patrimonio para el desarrollo de los municipios del departamento de Masaya. Caracterización del departamento de Masaya. Recuperado de <http://www.aecid.org.ni/wp-content/uploads/2014/04/CARACTERIZACION-DEL-DEPARTAMENTO-DE-MASAYA-23-NOV-2009.pdf>

ASTM International. (2007). ASTM D 854. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. Pensilvania. Estados Unidos.

ASTM International. (2007). ASTM D4829 - 11. Standard Test Method for Expansion Index of Soils. Pensilvania. Estados Unidos.

Berrios V. F., & Chavarría P. D. (2011). Análisis y Evaluación del Proceso de compactación de los suelos en obras horizontales. Managua. Nicaragua: Jornada Universitaria De Desarrollo Científico (JUDC).

Berry. P., & Reid. D. (1993). Mecánica de Suelos. (B. Caicedo. Trad.) Bogotá. Colombia: McGraw-Hill Latinoamérica. S.A.

Corra. J. T. (2008). El Suelo-Cemento como material de construcción. Ciencia y sociedad. 552.

Crespo Villalaz. C. (2004). Mecánica de suelos y cimentaciones (4ta ed.). México: Limusa. S.A. de C.V.

Das. B. (2001). Fundamentos de ingeniería geotécnica. (I. Bernal Carreño. Trad.) D.F., México: Thomson Learning.

Durán. G. (2016). Mejoramiento de un Suelo Arcilloso con Ceniza de Madera: agregando valor a los residuos de la industria de ladrillos artesanales en el Perú. En J. López (Presidencia). Formando líderes innovadores con tecnología identificando nuevas oportunidades de crecimiento. Simposio llevado a cabo en el XXI Congreso Internacional de Ingeniería y XIII Arquiforo "Visión 2016". Lima. Perú.

Durá. G. (2019). Conferencia: Estudio experimental del comportamiento geotécnico de suelo arenoso con ceniza de madera y carbón proveniente de ladrilleras artesanales.

Grez R. & Gerding V (1995). Aplicación de aserrín de la industria forestal para el mejoramiento del suelo*. Recuperado de <http://revistas.uach.cl/pdf/bosque/v16n1/art14.pdf>

INN. (1968). Nch 148.

Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal. (09 de Julio de 2015). Ficha Municipal, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. Recuperado de <https://www.yumpu.com/es/document/view/40055374/ficha-municipal-nombre-del-municipio-san-juan-de-oriente>

MINVU. (2008). Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación.

PATEL. M. (2012). Correlation between physical properties and California Bearing Ratio test on soils of Gujarat Region in both soak and unsoak condition. International journal of civil engineering and technology. Vol. 3. N°.2. pp. 50-59.

Rico. A. y Del Castillo. H. (1977). La ingeniería de suelos en las vías terrestres. (Vol. II. Editorial LIMUSA. México.ANEXOS

ANEXOS

CAPÍTULO A: Tablas de contenido de humedad

Tabla 70. Contenido de humedad, suelo tipo 1

Datos de contenido de humedad (S1)	
tara N°	A-06
Peso de tara (gr)	41.3
Peso tara + suelo húmedo (g)	153.0
Peso tara+ suelo seco (g)	127.4
Peso de agua (g)	25.6
Peso seco (g)	86.1
Contenido de humedad (%)	29.73

Tabla 71. Contenido de humedad, suelo tipo 2

Datos de contenido de humedad (S2)	
tara N°	A-01
Peso de tara (gr)	42.00
Peso tara + suelo húmedo (g)	151.6
Peso tara+ suelo seco (g)	128.6
Peso de agua (g)	23.0
Peso seco (g)	86.6
Contenido de humedad (%)	26.6

CAPÍTULO B: Tablas de sondeos

Tabla 72. Tarjeta de identificación del sondeo 1, muestra 1

Proyecto:	Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022
Localización	San Juan de Oriente. Masaya
Sondeo	1
Muestra	1
Color de la muestra	Café
Profundidad de la muestra (m)	0.0 - 0.90
Estación	0+150

Tabla 73. Tarjeta de identificación del sondeo 1, muestra 2

Proyecto:	Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022
Localización	San Juan de Oriente. Masaya
Sondeo	1
Muestra	2
Color de la muestra	Café claro
Profundidad de la muestra (m)	0.90 - 1.50
Estación	0+150

Tabla 74. Tarjeta de identificación del sondeo 2, muestra 1

Proyecto:	Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo–aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022
Localización	San Juan de Oriente. Masaya
Sondeo	2
Muestra	1
Color de la muestra	Café oscuro
Profundidad de la muestra (m)	0.0 - 1.25
Estación	0+300

Tabla 75: Tarjeta de identificación del sondeo 2, muestra 2

Proyecto:	Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo–aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022
Localización	San Juan de Oriente. Masaya
Sondeo	2
Muestra	2
Color de la muestra	Café rojizo
Profundidad de la muestra (m)	1.25 - 1.50
Estación	0+300

Tabla 76: Tarjeta de identificación del sondeo 3, muestra 1

Proyecto:	Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo–aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022
Localización	San Juan de Oriente. Masaya
Sondeo	3
Muestra	1
Color de la muestra	Café oscuro
Profundidad de la muestra (m)	0.0 - 1.10
Estación	0+450

Tabla 77: Tarjeta de identificación del sondeo 3, muestra 2

Proyecto:	Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo–aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022
Localización	San Juan de Oriente. Masaya
Sondeo	3
Muestra	2
Color de la muestra	Café
Profundidad de la muestra (m)	1.10 - 1.50
Estación	0+450

Tabla 78: Tarjeta de identificación del sondeo 4, muestra 1

Proyecto:	Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022
Localización	San Juan de Oriente. Masaya
Sondeo	4
Muestra	1
Color de la muestra	Café
Profundidad de la muestra (m)	0.0 - 1.20
Estación	0+600

Tabla 79: Tarjeta de identificación del sondeo 4, muestra 2

Proyecto:	Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022
Localización	San Juan de Oriente. Masaya
Sondeo	4
Muestra	2
Color de la muestra	Café
Profundidad de la muestra (m)	1.20 - 1.50
Estación	0+600

Tabla 80: Tarjeta de identificación del sondeo 5, muestra 1

Proyecto:	Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022
Localización	San Juan de Oriente. Masaya
Sondeo	5
Muestra	1
Color de la muestra	Café claro
Profundidad de la muestra (m)	0.0 - 1.00
Estación	0+750

Tabla 81: Tarjeta de identificación del sondeo 5, muestra 2

Proyecto:	Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022
Localización	San Juan de Oriente. Masaya
Sondeo	5
Muestra	2
Color de la muestra	Café oscuro
Profundidad de la muestra (m)	1.00 - 1.50
Estación	0+750

Tabla 82: Tarjeta de identificación del sondeo 6, muestra 1

Proyecto:	Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022
Localización	San Juan de Oriente. Masaya
Sondeo	6
Muestra	1
Color de la muestra	Café claro
Profundidad de la muestra (m)	0.0 - 1.05
Estación	0+900

Tabla 83: Tarjeta de identificación del sondeo 6, muestra 2

Proyecto:	Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022
Localización	San Juan de Oriente. Masaya
Sondeo	6
Muestra	2
Color de la muestra	Café
Profundidad de la muestra (m)	1.05 - 1.50
Estación	0+900

CAPÍTULO C: Ensayos de Límites de Atterberg

Tabla 84: Ensayo de Límite de Atterberg. Suelo 1

	Método de ensayo		AASHTO 89-90. ASTM D-4318			
	Límite líquido. Límite plástico e Índice de plasticidad					
Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo–aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022						
Muestra	Suelo 1					
Ensayo	Límite líquido					
Pruebas requeridas	1	2	3			
Número de golpes	18	21	28			
Tara No.	A-13	A-02	A-39			
Peso de tara (gr)	22	21.2	21.6			
Muestra húmeda + tara (gr)	51.5	40.4	40			
Muestra seca + tara (gr)	42.5	34.6	34.6			
Peso de agua (gr)	9	5.8	5.4			
Peso seco (gr)	20.5	13.4	13			
Contenido de humedad (%)	43.90	43.28	41.54			
Ensayo	Límite plástico					
Pruebas requeridas	1	2				
Tara No.	B-04	B-02				
Peso de tara (gr)	21.8	21.7		LIMITES DE ATTERBERG		
Muestra húmeda + tara (gr)	36.6	37.3		Límite Líquido	42.3%	
Muestra seca + tara (gr)	33.3	33.9		Límite Plástico	28.28%	
Peso de agua (gr)	3.3	3.4		Índice de plasticidad	14.02%	
Peso seco (gr)	11.5	12.2				
Contenido de humedad (%)	28.70	27.87				

Tabla 85: Ensayo de Límite de Atterberg. Suelo 2

	Método de ensayo		AASHTO 89-90. ASTM D-4318			
	Límite líquido. Límite plástico e Índice de plasticidad					
	<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento., suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>					
Muestra	Suelo 2					
Ensayo	Límite líquido					
Pruebas requeridas	1	2	3			
Número de golpes	17	22	28			
Tara No.	A-02	A-10	A-39			
Peso de tara (gr)	21.3	21.2	20.8			
Muestra húmeda + tara (gr)	42.8	42.5	42.7			
Muestra seca + tara (gr)	34.7	35.6	36.2			
Peso de agua (gr)	8.1	6.9	6.5			
Peso seco (gr)	14.4	13.4	15.4			
Contenido de humedad (%)	60.45	47.92	42.21			
Ensayo	Límite plástico					
Pruebas requeridas	1	2				
Tara No.	B-04	B-02				
Peso de tara (gr)	21.8	21.7		LIMITES DE ATTERBERG		
Muestra húmeda + tara (gr)	36.8	38.9		Límite Líquido	45.9%	
Muestra seca + tara (gr)	32.3	33.5		Límite Plástico	44.31%	
Peso de agua (gr)	4.5	5.4		Índice de plasticidad	1.59%	
Peso seco (gr)	10.5	11.8				
Contenido de humedad (%)	42.86	45.76				

Tabla 86: Ensayo de Límite de Atterberg. Suelo natural + 4% cemento

	Método de ensayo	AASHTO 89-90. ASTM D-4318				
	Límite líquido. Límite plástico e Índice de plasticidad					
	<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo–aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>					
Muestra	Suelo natural + 4% de cemento					
Ensayo	Límite líquido					
Pruebas requeridas	1	2	3			
Número de golpes	20	24	25			
Tara No.	A-09	H-10	AP-01			
Peso de tara (gr)	21.5	21.8	21.8			
Muestra húmeda + tara (gr)	37.8	48.8	34.2			
Muestra seca + tara (gr)	32.4	40.2	30.6			
Peso de agua (gr)	5.4	8.6	3.6			
Peso seco (gr)	10.9	18.4	8.8			
Contenido de humedad (%)	49.54	46.74	40.91			
Ensayo	Límite plástico					
Pruebas requeridas	1	2				
Tara No.	A-09	A-05				
Peso de tara (gr)	21.5	21.9		LIMITES DE ATTERBERG		
Muestra húmeda + tara (gr)	38.7	32.5		Limite Liquido	42.70%	
Muestra seca + tara (gr)	34.6	30.1		Limite Plástico	30.28%	
Peso de agua (gr)	4.1	2.4		Índice de plasticidad	12.42%	
Peso seco (gr)	13.1	8.2				
Contenido de humedad (%)	31.30	29.27				

Tabla 87: Ensayo de Límite de Atterberg. Suelo natural + 8% cemento

	Método de ensayo		AASHTO 89-90. ASTM D-4318			
	Límite líquido. Límite plástico e Índice de plasticidad					
	<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>					
Muestra	Suelo natural + 8% de cemento					
Ensayo	Límite líquido					
Pruebas requeridas	1	2	3			
Número de golpes	18	22	27			
Tara No.	H-7	J-06	A-05			
Peso de tara (gr)	21.5	22.0	21.8			
Muestra húmeda + tara (gr)	47.8	43.1	45			
Muestra seca + tara (gr)	39.3	36.4	37.7			
Peso de agua (gr)	8.5	6.7	7.3			
Peso seco (gr)	17.8	14.4	15.9			
Contenido de humedad (%)	47.75	46.53	45.91			
Ensayo	Límite plástico					
Pruebas requeridas	1	2				
Tara No.	A-05	A-09				
Peso de tara (gr)	21.8	21.5		LIMITES DE ATTERBERG		
Muestra húmeda + tara (gr)	35.7	34.5		Limite Liquido	46.1%	
Muestra seca + tara (gr)	33.1	30.1		Limite Plástico	37.09%	
Peso de agua (gr)	2.6	4.4		Índice de plasticidad	9.01%	
Peso seco (gr)	11.3	8.6				
Contenido de humedad (%)	23.01	51.16				

Tabla 88: Ensayo de Límite de Atterberg. Suelo natural + 12% cemento

	Método de ensayo		AASHTO 89-90. ASTM D-4318			
	Límite líquido. Límite plástico e Índice de plasticidad					
	Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022					
Muestra	Suelo natural + 12% de cemento					
Ensayo	Límite líquido					
Pruebas requeridas	1	2	3			
Número de golpes	19	25	27			
Tara No.	H-1	LS-5	A-61			
Peso de tara (gr)	21.5	21.8	22.0			
Muestra húmeda + tara (gr)	44.6	44.4	44.7			
Muestra seca + tara (gr)	37.4	37.5	37.8			
Peso de agua (gr)	7.2	6.9	6.9			
Peso seco (gr)	15.9	15.7	15.8			
Contenido de humedad (%)	45.28	43.95	43.67			
Ensayo	Límite plástico					
Pruebas requeridas	1	2				
Tara No.	A-61	H-1				
Peso de tara (gr)	22	21.8		LIMITES DE ATTERBERG		
Muestra húmeda + tara (gr)	36.2	34.6		Limite Liquido		43.9%
Muestra seca + tara (gr)	32.6	30.4		Limite Plástico		41.40%
Peso de agua (gr)	3.6	4.2		Índice de plasticidad		2.5%
Peso seco (gr)	10.6	8.6				
Contenido de humedad (%)	33.96	48.84				

Tabla 89: Ensayo de Límite de Atterberg. Suelo natural + 4% cal

	Método de ensayo		AASHTO 89-90. ASTM D-4318			
	Límite líquido. Límite plástico e Índice de plasticidad					
	<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>					
Muestra	Suelo natural + 4% de cal					
Ensayo	Límite líquido					
Pruebas requeridas	1	2	3			
Número de golpes	15	21	27			
Tara No.	B-129	AP-01	D-05			
Peso de tara (gr)	21.8	21.8	21.8			
Muestra húmeda + tara (gr)	53.0	44.4	48.7			
Muestra seca + tara (gr)	44.0	37.9	41.2			
Peso de agua (gr)	9.0	6.5	7.5			
Peso seco (gr)	22.2	16.1	19.4			
Contenido de humedad (%)	40.54	40.37	38.66			
Ensayo	Límite plástico					
Pruebas requeridas	1	2				
Tara No.	D-05	R-129				
Peso de tara (gr)	21.7	21.8		LIMITES DE ATTERBERG		
Muestra húmeda + tara (gr)	36.4	36.2		Límite Líquido	39.2%	
Muestra seca + tara (gr)	33.2	33.1		Límite Plástico	27.63%	
Peso de agua (gr)	3.2	3.1		Índice de plasticidad	11.57%	
Peso seco (gr)	11.5	11.3				
Contenido de humedad (%)	27.83	27.43				

Tabla 90: Ensayo de Límite de Atterberg. Suelo natural + 8% cal

	Método de ensayo		AASHTO 89-90. ASTM D-4318			
	Límite líquido. Límite plástico e Índice de plasticidad					
<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>						
Muestra	Suelo natural + 8% de cal					
Ensayo	Límite líquido					
Pruebas requeridas	1	2	3			
Número de golpes	16	22	30			
Tara No.	H-9	J-07	H-4			
Peso de tara (gr)	21.5	21.2	21.6			
Muestra húmeda + tara (gr)	49.2	44.1	44.1			
Muestra seca + tara (gr)	41.4	37.8	38			
Peso de agua (gr)	7.8	6.3	6.1			
Peso seco (gr)	19.9	16.6	16.4			
Contenido de humedad (%)	39.20	37.95	37.20			
Ensayo	Límite plástico					
Pruebas requeridas	1	2				
Tara No.	J-08	AP-01				
Peso de tara (gr)	21.8	21.8		LIMITES DE ATTERBERG		
Muestra húmeda + tara (gr)	34.9	34.1		Limite Liquido	37.78%	
Muestra seca + tara (gr)	31.9	31.5		Limite Plástico	28.25%	
Peso de agua (gr)	3	2.6		Índice de plasticidad	9.53%	
Peso seco (gr)	10.1	9.7				
Contenido de humedad (%)	29.70	26.80				

Tabla 91: Ensayo de Límite de Atterberg. Suelo natural + 12% cal

	Método de ensayo	AASHTO 89-90. ASTM D-4318				
		Límite líquido. Límite plástico e Índice de plasticidad				
<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>						
Muestra	Suelo natural + 12% de cal					
Ensayo	Límite líquido					
Pruebas requeridas	1	2	3			
Número de golpes	17	22	26			
Tara No.	D-08	A-04	J-05			
Peso de tara (gr)	21.9	21.4	21.5			
Muestra húmeda + tara (gr)	42.9	41.2	46.4			
Muestra seca + tara (gr)	36.9	35.6	41.5			
Peso de agua (gr)	6.0	5.6	4.9			
Peso seco (gr)	15.0	14.2	20			
Contenido de humedad (%)	40.00	39.44	24.50			
Ensayo	Límite plástico					
Pruebas requeridas	1	2				
Tara No.	D-07	B-06				
Peso de tara (gr)	21.5	21.8		LIMITES DE ATTERBERG		
Muestra húmeda + tara (gr)	34.6	35.02		Límite Líquido	29.0%	
Muestra seca + tara (gr)	31.9	32.4		Límite Plástico	25.34%	
Peso de agua (gr)	2.7	2.62		Índice de plasticidad	3.66%	
Peso seco (gr)	10.4	10.6				
Contenido de humedad (%)	25.96	24.72				

Tabla 92: Ensayo de Límite de Atterberg. Suelo natural + 4% cenizas de madera

	Método de ensayo	AASHTO 89-90. ASTM D-4318				
	Límite líquido. Límite plástico e Índice de plasticidad					
	<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento. suelo-cal, suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>					
Muestra	Suelo natural + 4% de cenizas de madera					
Ensayo	Límite líquido					
Pruebas requeridas	1	2	3			
Número de golpes	18	25	29			
Tara No.	AP-01	H-4	AP-05			
Peso de tara (gr)	21.9	21.6	21.8			
Muestra húmeda + tara (gr)	40.4	43.1	38.5			
Muestra seca + tara (gr)	34.4	36.2	33.7			
Peso de agua (gr)	6.0	6.9	4.8			
Peso seco (gr)	12.5	14.6	11.9			
Contenido de humedad (%)	48	47.26	40.34			
Ensayo	Límite plástico					
Pruebas requeridas	1	2				
Tara No.	H-2	H-3				
Peso de tara (gr)	21.8	21.2		LIMITES DE ATTERBERG		
Muestra húmeda + tara (gr)	35.2	33.6		Límite Líquido	44.5%	
Muestra seca + tara (gr)	31.8	30.3		Límite Plástico	35.13%	
Peso de agua (gr)	3.4	3.3		Índice de plasticidad	9.37%	
Peso seco (gr)	10	9.1				
Contenido de humedad (%)	34.00	36.26				

Tabla 93: Ensaye de Límite de Atterberg. Suelo natural + 8% cenizas de madera

	Método de ensayo	AASHTO 89-90. ASTM D-4318				
	Límite líquido. Límite plástico e Índice de plasticidad					
	<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>					
Muestra	Suelo natural + 8% de cenizas de madera					
Ensayo	Límite líquido					
Pruebas requeridas	1	2	3			
Número de golpes	17	23	27			
Tara No.	J-06	H-7	A-09			
Peso de tara (gr)	21.3	21.9	21.5			
Muestra húmeda + tara (gr)	47.4	40.9	44.7			
Muestra seca + tara (gr)	37.9	34.3	42.8			
Peso de agua (gr)	9.5	6.6	1.9			
Peso seco (gr)	16.6	12.4	21.3			
Contenido de humedad (%)	57.23	53.23	8.92			
Ensayo	Límite plástico					
Pruebas requeridas	1	2				
Tara No.	H-6	DF-01				
Peso de tara (gr)	21.7	21.8	LIMITES DE ATTERBERG			
Muestra húmeda + tara (gr)	34.3	32.6	Límite Líquido	27.80%		
Muestra seca + tara (gr)	31.7	30.3	Límite Plástico	26.53%		
Peso de agua (gr)	2.6	2.3	Índice de plasticidad	1.27%		
Peso seco (gr)	10	8.5				
Contenido de humedad (%)	26.00	27.06				

Tabla 94: Ensaye de Límite de Atterberg. Suelo natural + 12% cenizas de madera

	Método de ensayo		AASHTO 89-90. ASTM D-4318			
	Límite líquido. Límite plástico e Índice de plasticidad					
	<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>					
Muestra	Suelo natural + 12% de cenizas de madera					
Ensayo	Límite líquido					
Pruebas requeridas	1	2	3			
Número de golpes	18	22	26			
Tara No.	H7	H-9	A-05			
Peso de tara (gr)	21.9	21.5	20.3			
Muestra húmeda + tara (gr)	41.4	45	43.7			
Muestra seca + tara (gr)	36.2	39	40.1			
Peso de agua (gr)	5.2	6	3.6			
Peso seco (gr)	14.3	17.5	19.8			
Contenido de humedad (%)	36.36	22.86	18.18			
Ensayo	Límite plástico					
Pruebas requeridas	1	2				
Tara No.	H-7	J-06				
Peso de tara (gr)	21.9	21.3		LIMITES DE ATTERBERG		
Muestra húmeda + tara (gr)	43.2	46.5		Límite Líquido	18.82%	
Muestra seca + tara (gr)	39.2	43.7		Límite Plástico	17.81%	
Peso de agua (gr)	4	2.8		Índice de plasticidad	1.01%	
Peso seco (gr)	17.3	22.4				
Contenido de humedad (%)	23.12	12.50				

Tabla 95: Ensayo de Límite de Atterberg. Suelo natural + 4% aserrín

	Método de ensayo	AASHTO 89-90. ASTM D-4318				
	Límite líquido. Límite plástico e Índice de plasticidad					
	Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022					
Muestra	Suelo natural + 4% de aserrín					
Ensayo	Límite líquido					
Pruebas requeridas	1	2	3			
Número de golpes	19	25	27			
Tara No.	A-22	A-02	A-3			
Peso de tara (gr)	22.1	21.5	21.3			
Muestra húmeda + tara (gr)	48.0	40.0	46.4			
Muestra seca + tara (gr)	39.6	34.7	39.5			
Peso de agua (gr)	8.4	5.3	6.9			
Peso seco (gr)	17.5	13.2	18.2			
Contenido de humedad (%)	48.0	40.15	37.91			
Ensayo	Límite plástico					
Pruebas requeridas	1	2				
Tara No.	A-48ML	H-15				
Peso de tara (gr)	22.3	21.7		LIMITES DE ATTERBERG		
Muestra húmeda + tara (gr)	35.0	34.2		Limite Liquido	40.0%	
Muestra seca + tara (gr)	33.0	30		Limite Plástico	34.65%	
Peso de agua (gr)	2.0	4.2		Índice de plasticidad	5.35%	
Peso seco (gr)	10.7	8.3				
Contenido de humedad (%)	18.69	50.60				

Tabla 96: Ensayo de Límite de Atterberg. Suelo natural + 8% aserrín

	Método de ensayo		AASHTO 89-90. ASTM D-4318			
	Límite líquido. Límite plástico e Índice de plasticidad					
	<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>					
Muestra	Suelo natural + 8% de aserrín					
Ensayo	Límite líquido					
Pruebas requeridas	1	2	3			
Número de golpes	16	22	26			
Tara No.	A-171	H-8	R-11			
Peso de tara (gr)	21.6	22.2	22.5			
Muestra húmeda + tara (gr)	41.6	42.3	49.5			
Muestra seca + tara (gr)	34.4	35.8	41.5			
Peso de agua (gr)	7.2	6.5	8.0			
Peso seco (gr)	12.8	13.6	19.0			
Contenido de humedad (%)	56.25	47.79	42.11			
Ensayo	Límite plástico					
Pruebas requeridas	1	2				
Tara No.	R-105	A-51				
Peso de tara (gr)	22.4	22		LIMITES DE ATTERBERG		
Muestra húmeda + tara (gr)	37	33.0		Límite Líquido	43.5%	
Muestra seca + tara (gr)	33	30.0		Límite Plástico	37.62%	
Peso de agua (gr)	4	3.0		Índice de plasticidad	5.88%	
Peso seco (gr)	10.6	8.0				
Contenido de humedad (%)	37.74	37.50				

Tabla 97: Ensayo de Límite de Atterberg. Suelo natural + 12% aserrín

	Método de ensayo	AASHTO 89-90. ASTM D-4318				
		Límite líquido. Límite plástico e Índice de plasticidad				
<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>						
Muestra	Suelo natural + 12% de aserrín					
Ensayo	Límite líquido					
Pruebas requeridas	1	2	3			
Número de golpes	16	24	26			
Tara No.	A-22	A-171	A-51			
Peso de tara (gr)	21.9	22	22			
Muestra húmeda + tara (gr)	51.3	47.2	47.5			
Muestra seca + tara (gr)	41.5	39.1	41.2			
Peso de agua (gr)	9.8	8.1	6.3			
Peso seco (gr)	19.6	17.1	19.2			
Contenido de humedad (%)	50.0	47.37	32.81			
Ensayo	Límite plástico					
Pruebas requeridas	1	2				
Tara No.	A-02	H-8				
Peso de tara (gr)	21.3	22		LIMITES DE ATTERBERG		
Muestra húmeda + tara (gr)	32.0	32.3		Límite Líquido	39.6%	
Muestra seca + tara (gr)	29.6	29.4		Límite Plástico	34.05%	
Peso de agua (gr)	2.4	2.9		Índice de plasticidad	5.55%	
Peso seco (gr)	8.3	7.4				
Contenido de humedad (%)	28.92	39.19				

CAPÍTULO D: Ensayos de Proctor Estándar

Tabla 97: Ensayo de Proctor Estándar al suelo natural

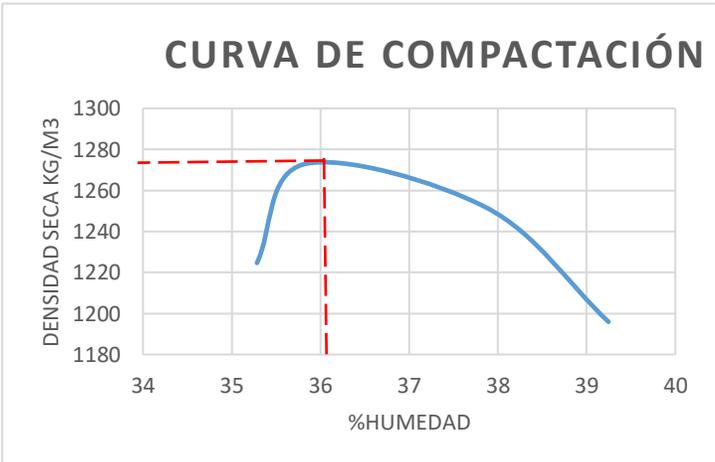
	Método de ensayo		ASTM D-698 ; AASHTO T-99	
	Relación Densidad - Humedad de los suelos			
	<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal, suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>			
Muestra	Suelo natural	Clasificación	A-7-5	
Ensaye No.	1	2	3	4
Volumen del cilindro (m ³)	0.000944			
Peso del molde cilíndrico (kg)	4.26			
Peso del material + molde cilíndrico (kg)	5.824	5.892	5.889	5.832
Tara No.	A-04	A-01	T-2	H-K
Peso de tara (gr)	42.7	41.9	48.4	47.3
Peso Húmedo + Tara (gr)	211.4	223.9	267.2	239.6
Peso Seco + Tara (gr)	167.4	175.9	207.1	185.4
%Humedad	35.28	35.82	37.87	39.25
Peso Volumétrico Húmedo (kg/m ³)	1656.78	1728.81	1725.64	1665.25
Peso Volumétrico Seco (kg/m ³)	1224.66	1272.86	1251.64	1195.90
				

Tabla 98: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 4% cemento

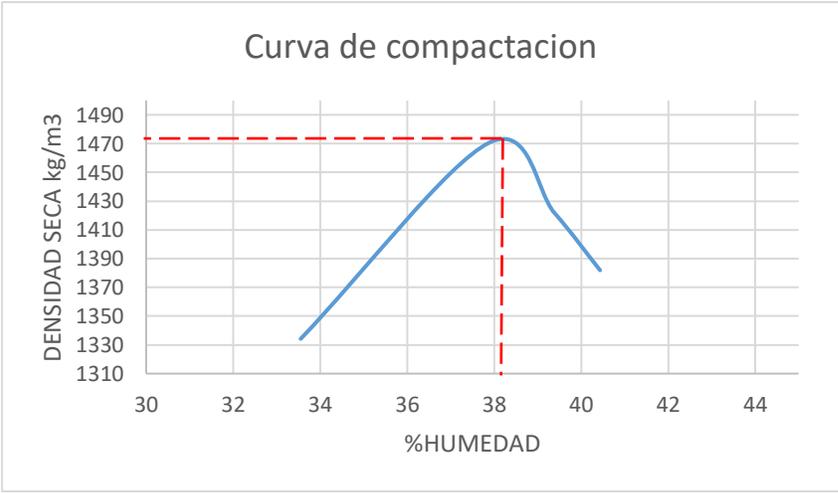
	Relación Densidad - Humedad de los suelos			
Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal, suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022				
Muestra	Suelo natural + 4% cemento			
Ensaye No.	1	2	3	4
Volumen del cilindro (m ³)	0.000944			
Peso del molde cilíndrico (kg)	4.269			
Peso del material + molde cilíndrico (kg)	5.951	6.183	6.140	6.101
Tara No.	A-05	G-III	A-01	A-04
Peso de tara (gr)	41.8	47.6	42.0	41.7
Peso Húmedo + Tara (gr)	306.5	260.9	235.6	248.7
Peso Seco + Tara (gr)	240	202.3	180.9	189.1
%Humedad	33.55	37.88	39.38	40.43
Peso Volumétrico Húmedo (kg/m ³)	1781.78	2027.54	1981.99	1940.68
Peso Volumétrico Seco (kg/m ³)	1334.15	1470.51	1422.00	1381.91
				

Tabla 99: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 8% cemento

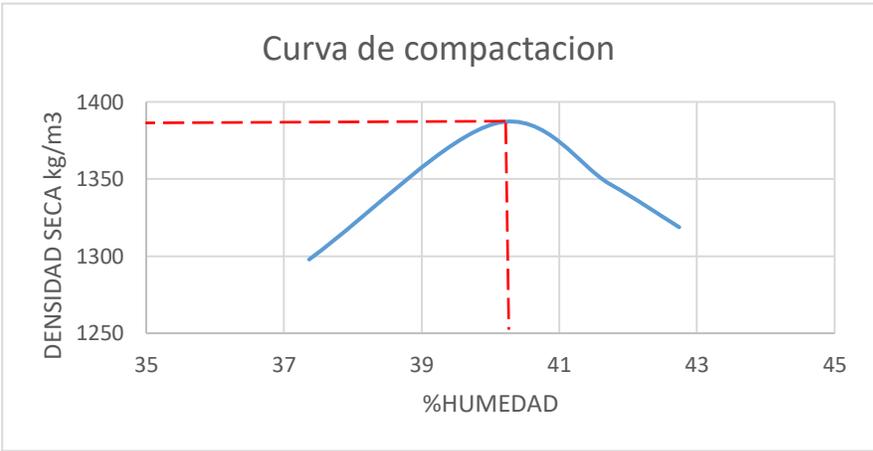
	Método de ensayo		ASTM D-698 ; AASHTO T-99			
	Relación Densidad - Humedad de los suelos					
	<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento. suelo-cal, suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>					
Muestra			Suelo natural + 8% cemento			
Ensaye No.		1	2	3	4	
Volumen del cilindro (m ³)		0.000944				
Peso del molde cilíndrico (kg)		4.298				
Peso del material + molde cilíndrico (kg)		5.981	6.131	6.100	6.075	
Tara No.		A-04	A-18	A-01	A-21	
Peso de tara (gr)		41.8	42.0	41.7	47.6	
Peso Húmedo + Tara (gr)		273.4	311.1	244.8	244.3	
Peso Seco + Tara (gr)		210.4	234.1	185	185.4	
%Humedad		37.37	40.08	41.73	42.74	
Peso Volumétrico Húmedo (kg/m ³)		1782.84	1941.74	1908.90	1882.42	
Peso Volumétrico Seco (kg/m ³)		1297.87	1386.13	1346.85	1318.74	
						

Tabla 100: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 12% cemento

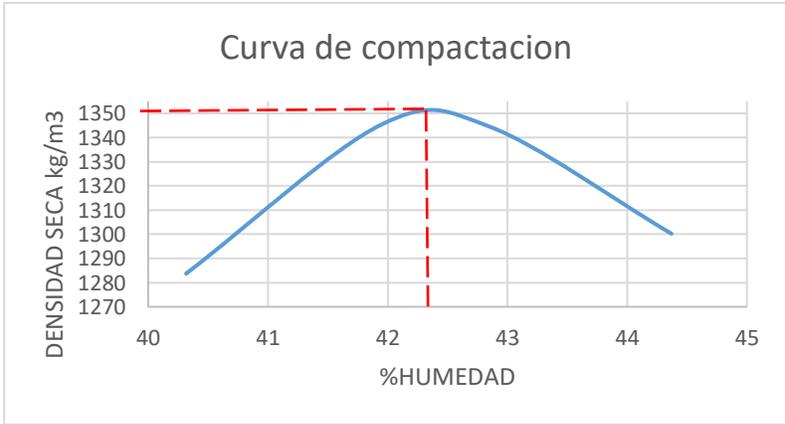
	Método de ensayo		ASTM D-698 ; AASHTO T-99		
	Relación Densidad - Humedad de los suelos				
	<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento., suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo–aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>				
Muestra		Suelo natural + 12% cemento			
Ensaye No.		1	2	3	4
Volumen del cilindro (m ³)		0.000944			
Peso del molde cilíndrico (kg)		4.298			
Peso del material + molde cilíndrico (kg)		5.9984	6.101	6.111	6.070
Tara No.		A-05	A-01	A-04	A-07
Peso de tara (gr)		41.7	42.0	41.8	40.0
Peso Húmedo + Tara (gr)		289.5	248.4	243.8	277.2
Peso Seco + Tara (gr)		218.3	187.4	183.2	204.3
%Humedad		40.32	41.95	42.86	44.37
Peso Volumétrico Húmedo (kg/m ³)		1801.27	1909.96	1920.55	1877.12
Peso Volumétrico Seco (kg/m ³)		1283.71	1345.48	1344.39	1300.21
					

Tabla 101: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 4% cal

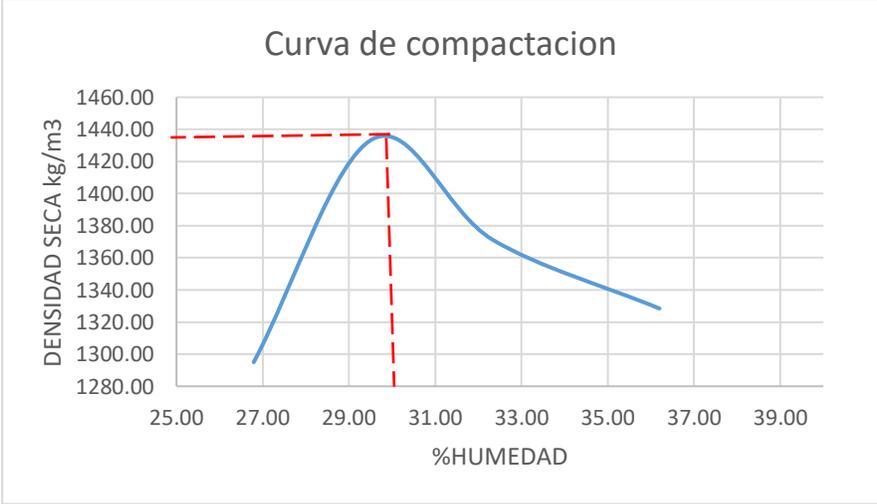
	Método de ensayo	ASTM D-698 ; AASHTO T-99			
	Relación Densidad - Humedad de los suelos				
<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo–aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente., departamento de Masaya. 2022</p>					
Muestra		Suelo natural + 4% cal			
Ensaye No.	1	2	3	4	
Volumen del cilindro (m ³)	0.000944				
Peso del molde cilíndrico (kg)	4.30				
Peso del material + molde cilíndrico (kg)	5.850	6.054	6.013	6.008	
Tara No.	21	LMC-4	T-2	A-19	
Peso de tara (gr)	41.1	46.6	48.2	42.2	
Peso Húmedo + Tara (gr)	189.7	200.0	149.3	181.6	
Peso Seco + Tara (gr)	158.3	165.0	124.6	147.5	
%Humedad	26.79	29.56	32.33	36.20	
Peso Volumétrico Húmedo (kg/m ³)	1641.95	1858.05	1814.62	1809.32	
Peso Volumétrico Seco (kg/m ³)	1295.00	1434.11	1371.28	1328.43	
 <p style="text-align: center;">Curva de compactacion</p>					

Tabla 102: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 8% cal

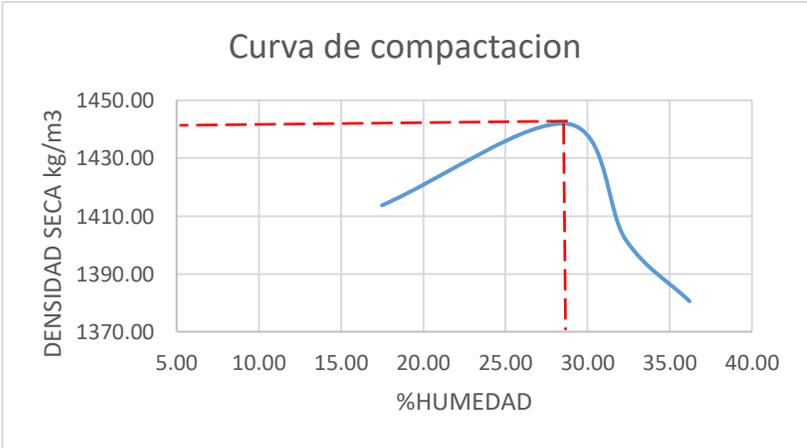
	Método de ensayo		ASTM D-698 ; AASHTO T-99	
	Relación Densidad - Humedad de los suelos			
<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo–aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>				
Muestra			Suelo natural + 8% cal	
Ensaye No.	1	2	3	4
Volumen del cilindro (m ³)	0.000944			
Peso del molde cilíndrico (kg)	4.30			
Peso del material + molde cilíndrico (kg)	5.868	6.0532	6.051	6.075
Tara No.	A-18	A-01	T-2	A-04
Peso de tara (gr)	41.8	41.7	48.2	41.8
Peso Húmedo + Tara (gr)	155.3	197.3	149.3	173.4
Peso Seco + Tara (gr)	138.4	162.5	124.6	145.8
%Humedad	17.49	28.81	32.33	36.20
Peso Volumétrico Húmedo (kg/m ³)	1661.02	1857.20	1854.87	1880.30
Peso Volumétrico Seco (kg/m ³)	1413.69	1441.84	1401.70	1380.54
 <p style="text-align: center;">Curva de compactacion</p>				

Tabla 103: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 12% cal

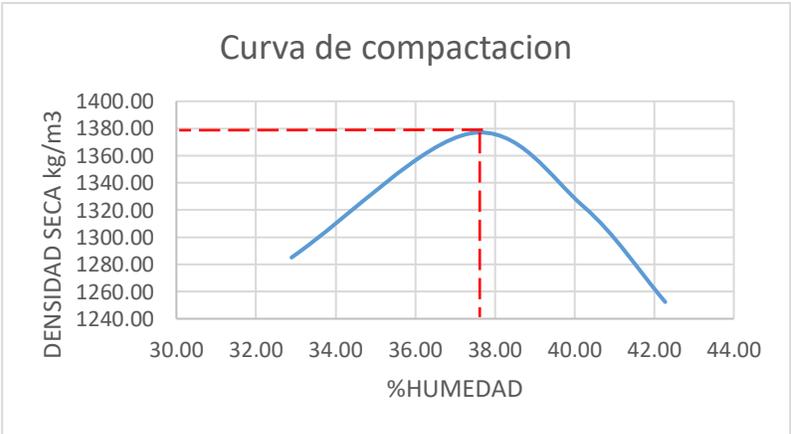
	Método de ensayo	ASTM D-698 ; AASHTO T-99			
	Relación Densidad - Humedad de los suelos				
	<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo–aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>				
Muestra		Suelo natural + 12% cal			
Ensaye No.	1	2	3	4	
Volumen del cilindro (m ³)	0.000944				
Peso del molde cilíndrico (kg)	4.27				
Peso del material + molde cilíndrico (kg)	5.882	6.055	6.021	6.952	
Tara No.	LMC-04	A-19	T-2	21	
Peso de tara (gr)	47.0	42.1	47.8	41.3	
Peso Húmedo + Tara (gr)	147.2	188.0	218.3	167.5	
Peso Seco + Tara (gr)	122.4	148.3	169.4	130.0	
%Humedad	37.89	37.38	40.21	42.28	
Peso Volumétrico Húmedo (kg/m ³)	1707.73	1890.89	1854.87	1781.78	
Peso Volumétrico Seco (kg/m ³)	1285.06	1376.37	1322.89	1252.33	
					

Tabla 104: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 4% cenizas de madera

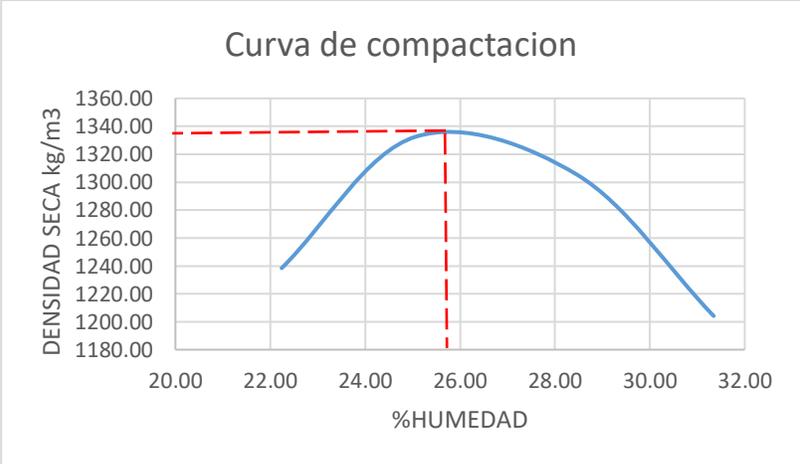
	Método de ensayo		ASTM D-698 ; AASHTO T-99			
	Relación Densidad - Humedad de los suelos					
	<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento., suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo–aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>					
Muestra			Suelo natural + 4% cenizas			
Ensaye No.		1	2	3	4	
Volumen del cilindro (m ³)		0.000944				
Peso del molde cilíndrico (kg)		4.26				
Peso del material + molde cilíndrico (kg)		5.689	5.833	5.843	5.753	
Tara No.		A-05	A-01	A-04	A-07	
Peso de tara (gr)		41.7	42.0	41.8	40.0	
Peso Húmedo + Tara (gr)		205.5	269.1	281.9	222.7	
Peso Seco + Tara (gr)		175.7	223.6	228.7	179.1	
%Humedad		22.24	25.06	28.46	31.34	
Peso Volumétrico Húmedo (kg/m ³)		1513.77	1666.31	1676.91	1581.57	
Peso Volumétrico Seco (kg/m ³)		1238.37	1332.46	1305.35	1204.14	
						

Tabla 105: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 8% cenizas de madera

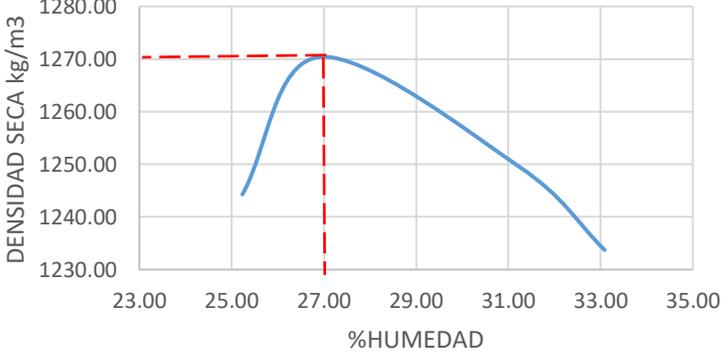
	Método de ensayo		ASTM D-698 ; AASHTO T-99		
	Relación Densidad - Humedad de los suelos				
	<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo–aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>				
Muestra		Suelo natural + 8% cenizas			
Ensaye No.		1	2	3	4
Volumen del cilindro (m ³)		0.000944			
Peso del molde cilíndrico (kg)		4.30			
Peso del material + molde cilíndrico (kg)		5.771	5.822	5.848	5.85
Tara No.		21	LMC-4	A-19	T-2
Peso de tara (gr)		41.3	47.0	42.3	48.1
Peso Húmedo + Tara (gr)		228.9	184.7	237.7	174.4
Peso Seco + Tara (gr)		191.1	155.5	191.2	143.0
%Humedad		25.23	26.91	31.23	33.09
Peso Volumétrico Húmedo (kg/m ³)		1558.26	1612.29	1639.83	1641.95
Peso Volumétrico Seco (kg/m ³)		1244.28	1270.39	1249.59	1233.74
<p>Curva de compactacion</p> 					

Tabla 106: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 12% cenizas de madera

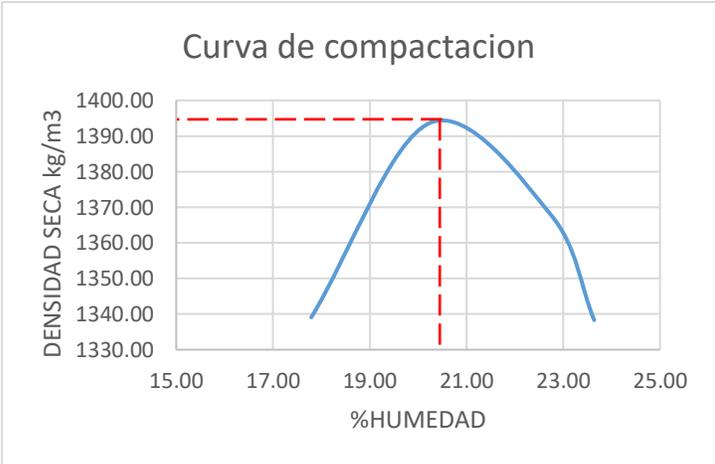
	Método de ensayo		ASTM D-698 ; AASHTO T-99	
	Relación Densidad - Humedad de los suelos			
	<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento., suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo–aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>			
Muestra		Suelo natural + 12% cenizas		
Ensaye No.	1	2	3	4
Volumen del cilindro (m ³)	0.000944			
Peso del molde cilíndrico (kg)	4.30			
Peso del material + molde cilíndrico (kg)	5.789	5.822	5.845	5.822
Tara No.	00-21	LMC-4	A-19	T-2
Peso de tara (gr)	41.3	47.0	42.3	48.1
Peso Húmedo + Tara (gr)	203.5	213.3	195.6	186.7
Peso Seco + Tara (gr)	179.0	185.3	167.2	160.2
%Humedad	17.79	20.25	22.74	23.64
Peso Volumétrico Húmedo (kg/m ³)	1577.33	1675.85	1679.03	1654.66
Peso Volumétrico Seco (kg/m ³)	1339.08	1393.68	1367.97	1338.29
				

Tabla 107: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 4% aserrín

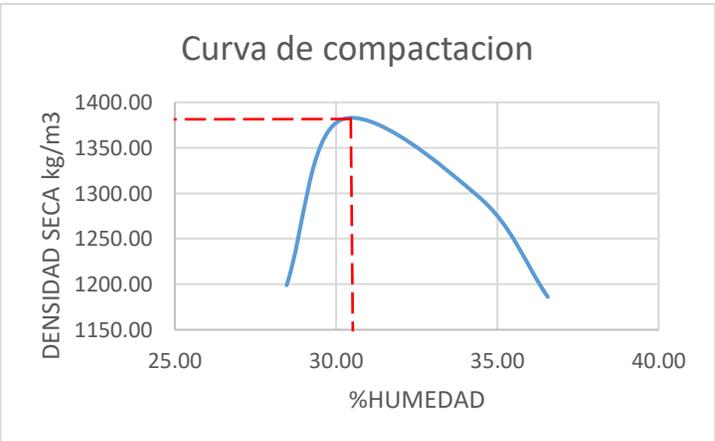
	Método de ensayo		ASTM D-698 ; AASHTO T-99		
	Relación Densidad - Humedad de los suelos				
	<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>				
Muestra		Suelo natural + 4% aserrín			
Ensaye No.		1	2	3	4
Volumen del cilindro (m ³)		0.000944			
Peso del molde cilíndrico (kg)		4.30			
Peso del material + molde cilíndrico (kg)		5.754	5.996	5.945	5.829
Tara No.		A-05	A-07	A-20	A-21
Peso de tara (gr)		41.9	40.3	42.6	42.2
Peso Húmedo + Tara (gr)		254.9	214.3	233.2	257.7
Peso Seco + Tara (gr)		207.7	174	184.4	200.0
%Humedad		28.47	30.14	34.41	36.57
Peso Volumétrico Húmedo (kg/m ³)		1540.25	1796.61	1742.58	1619.70
Peso Volumétrico Seco (kg/m ³)		1198.98	1380.50	1296.42	1186.03
 <p style="text-align: center;">Curva de compactacion</p>					

Tabla 108: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 8% aserrín

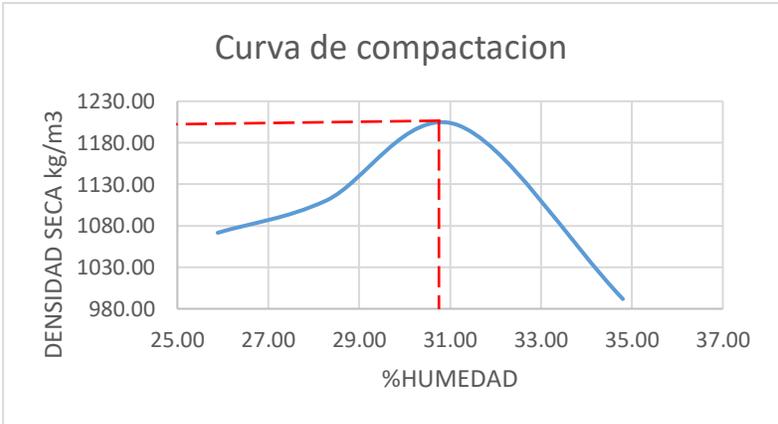
	Método de ensayo		ASTM D-698 ; AASHTO T-99	
	Relación Densidad - Humedad de los suelos			
	<p>Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo-cal. suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022</p>			
Muestra		Suelo natural + 8% aserrín		
Ensaye No.	1	2	3	4
Volumen del cilindro (m ³)	0.000944			
Peso del molde cilíndrico (kg)	4.27			
Peso del material + molde cilíndrico (kg)	5.573	5.644	5.788	5.562
Tara No.	A-19	A-16	A-120	K-30
Peso de tara (gr)	42.8	42.9	47.9	42.3
Peso Húmedo + Tara (gr)	213.0	222.6	268.2	278.2
Peso Seco + Tara (gr)	178.0	183.0	215.9	217.3
%Humedad	25.89	28.27	31.13	34.80
Peso Volumétrico Húmedo (kg/m ³)	1348.94	1423.94	1576.27	1336.86
Peso Volumétrico Seco (kg/m ³)	1071.54	1110.15	1202.06	991.74
				

Tabla 109: Ensaye de Proctor Estándar al suelo natural + 12% aserrín

	Método de ensayo	ASTM D-698 ; AASHTO T-99
	Relación Densidad - Humedad de los suelos	

Proyecto: Análisis comparativo de suelos estabilizados con mezclas de suelo-cemento, Suelo-cal, suelo-cenizas de madera y suelo-aserrín para ser empleado en el tramo de 1km de camino de la comunidad del castillo no.1, municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya. 2022

Muestra	Suelo natural + 12% aserrín			
Ensaye No.	1	2	3	4
Volumen del cilindro (m ³)	0.000944			
Peso del molde cilíndrico (kg)	4.27			
Peso del material + molde cilíndrico (kg)	5.609	5.723	5.745	5.675
Tara No.	A-12	H-K	A-18	00-21
Peso de tara (gr)	42.7	48.1	42.3	42.4
Peso Húmedo + Tara (gr)	207.9	197.4	255.8	176.8
Peso Seco + Tara (gr)	174.4	165.3	204.9	142.5
%Humedad	25.44	27.39	31.30	34.27
Peso Volumétrico Húmedo (kg/m ³)	1386.65	1507.42	1530.72	1456.57
Peso Volumétrico Seco (kg/m ³)	1105.46	1183.32	1165.79	1084.84

