

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**Influencia de la incorporación de fibras de polipropileno con vinaza en la
estabilización de suelos arcillosos para una subrasante**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Kiara Daleshka Saavedra Vasquez

ASESOR

Carlos Javier Ramirez Muñoz

<https://orcid.org/0000-0002-9322-688X>

Chiclayo, 2025

**Influencia de la incorporación de fibras de polipropileno con
vinaza en la estabilización de suelos arcillosos para una
subrasante**

PRESENTADA POR

Kiara Daleshka Saavedra Vasquez

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar por el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Angel Alberto Lorren Palomino

PRESIDENTE

Luis Quiroz Quiñones

SECRETARIO

Carlos Javier Ramirez Muñoz

VOCAL

Dedicatoria

A mis padres Milton Gilmer Saavedra Ramos y Mariela Vasquez Cubas, por su gran apoyo, esfuerzo y trabajo, gracias a ustedes logré llegar hasta aquí.

A mi tía Sarisa Vasquez Cubas, con quien compartí risas, sueños y me mostró el verdadero significado de la perseverancia, siempre recordaré tu luz en mi vida.

A mi enamorado Gianfranco Custodio Piscoya, por ser mi apoyo incondicional y compañía en cada etapa de este camino, gracias por estar siempre.

Agradecimientos

Le agradezco a Dios por brindarme salud, protegerme y guiarme en este largo camino para concluir con mi propósito.

A mis padres, por su ejemplo de valores y esfuerzo, y por brindarme las oportunidades que hicieron posible este logro.

A mi asesor por su compromiso, guía constante y paciencia con la que me acompañó en cada etapa de este proceso.

Influencia de la incorporación de fibras de polipropileno con vinaza en la estabilización de suelos arcillosos para una subrasante

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%	5%	1%	1%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
4	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
5	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to City University of New York System Trabajo del estudiante	<1%

ÍNDICE

Resumen	15
Abstract	16
Introducción	17
Revisión de literatura	21
Antecedentes.....	21
Bases Legales.....	24
Bases Teóricas	26
Subrasante	26
Suelos	27
Sistema AASHTO.....	29
Sistema Unificado de Clasificación (SUCS)	30
Suelos expansivos	32
Estabilización de suelos	39
Fibras de Polipropileno (PP).....	40
Vinaza	44
Ensayos de laboratorio	47
Materiales y métodos	55
Tipo de investigación	55
Diseño de investigación	55
Población, muestra y muestreo	56
Variables y Operacionalización	68
Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	69
Procedimiento.....	70
Lugar de estudio.....	70
Realización de las calicatas.....	70
Obtención de los agentes estabilizadores.....	76
Resultados y Discusión	86
Resultados	86
Ensayos físicos – Muestras naturales	86
Ensayos en muestras experimentales:.....	98
Interpretación de resultados	113
Muestras naturales:	113
Contenido de humedad:	113
Distribución granulométrica:	113

Límites de consistencia:	114
Gravedad específica:	114
Proctor modificado:.....	115
Capacidad de soporte (CBR):	116
Muestras experimentales – PP% + VN%:	117
Límite líquido:.....	117
Límite plástico:	120
Índice de plasticidad:	122
Proctor modificado.....	126
Capacidad de soporte (95% M.D.S):	134
Capacidad de soporte (100% M.D.S):	137
Expansión:.....	140
Elección de la dosificación efectiva	143
Análisis económico:	149
ACU del estabilizante con cal al 8.00%	150
ACU del estabilizante con cemento al 12.00%:	152
ACU del estabilizante de fibras de polipropileno con vinaza (1.00% + 25.00%):.....	154
Discusión.....	157
Conclusiones	160
Recomendaciones.....	162
Referencias Bibliográficas	163
Anexos.....	167

Lista de Tablas

TABLA I Categorías de la subrasante.....	26
TABLA II Clasificación AASHTO.....	30
TABLA III Clasificación según la ASTM.....	31
TABLA IV Correlación de suelos AASHTO – SUCS.....	31
TABLA V Potencial de expansión de los minerales puros en arcilla	34
TABLA VI Valores típicos para minerales del suelo	36
TABLA VII Clasificación según el Índice de plasticidad	37
TABLA VIII Datos técnicos de las fibras de polipropileno	41
TABLA IX Composición y Características referenciales de la vinaza.....	45
TABLA X Especificaciones Organolépticas y Fisicoquímicas.....	46
TABLA XI Valores de la humedad en estudios previos	57
TABLA XII Revisión de los antecedentes de la primera adición.....	60
TABLA XIII Revisión de los antecedentes de la segunda adición.....	62
TABLA XIV Resultados de los porcentajes seleccionados.....	63
TABLA XV Muestras del suelo con adición	64
TABLA XVI Número de ensayos para (C – 01).....	65
TABLA XVII Número de ensayos para (C – 02)	65
TABLA XVIII Número de ensayos para (C – 03).....	66
TABLA XIX Número total de ensayos.....	66
TABLA XX Operacionalización de variable	68
TABLA XXI Técnicas e instrumentos de recolección de datos	69
TABLA XXII Georreferenciación de las calicatas	72
TABLA XXIII Descripción de estratos (C – 01).....	73
TABLA XXIV Descripción de estratos (C – 02).....	74
TABLA XXV Descripción de estratos (C – 03)	75
TABLA XXVI Humedad natural según calicata	86
TABLA XXVII Granulometría por tamizado.....	87
TABLA XXVIII Granulometría por hidrómetro	88
TABLA XXIX Límites de consistencia	89
TABLA XXX Resultados de la clasificación SUCS – AASHTO.....	90
TABLA XXXI Gravedad específica	90
TABLA XXXII Proctor modificado (C – 01).....	91

TABLA XXXIII Proctor modificado (C – 02)	92
TABLA XXXIV Proctor modificado (C – 03)	93
TABLA XXXV Proctor promedio en muestras naturales.....	94
TABLA XXXVI CBR promedio de las muestras naturales	95
TABLA XXXVII Expansión promedio de las muestras naturales	97
TABLA XXXVIII Límites de consistencia – muestras experimentales (C – 01)	98
TABLA XXXIX Límites de consistencia – muestras experimentales (C – 02)	99
TABLA XL Límites de consistencia – muestras experimentales (C – 03).....	100
TABLA XLI Proctor modificado experimental (C – 01)	101
TABLA XLII Proctor modificado experimental (C – 02).....	102
TABLA XLIII Proctor modificado experimental (C – 03)	103
TABLA XLIV CBR promedio – muestras experimentales (C – 01).....	104
TABLA XLV CBR promedio – muestras experimentales (C – 02).....	106
TABLA XLVI CBR promedio – muestras experimentales (C – 03).....	108
TABLA XLVII Expansión promedio – muestras experimentales (C – 01).....	110
TABLA XLVIII Expansión promedio – muestras experimentales (C – 02).....	111
TABLA XLIX Expansión promedio – muestras experimentales (C – 03).....	112
TABLA L Límite líquido (%) de las muestras analizadas	117
TABLA LI Límite plástico (%) de las muestras analizadas	120
TABLA LII Índice de plasticidad (%) de las muestras analizadas.....	122
TABLA LIII O.C.H. (%) de todas las muestras experimentales	126
TABLA LIV M.D.S.(g/cm ³) de las muestras experimentales.....	130
TABLA LV CBR de muestras experimentales al (95% M.D.S.).....	134
TABLA LVI CBR de muestras experimentales al (100% M.D.S.)	137
TABLA LVII Expansión promedio – muestras experimentales.....	140

Lista de Figuras

Fig. 1. Fases del Suelo [24].....	27
Fig. 2. Representaciones convencionales [21]	29
Fig. 3. Símbolos gráficos para suelos [21].....	32
Fig. 4. Estructura de la Caolinita [23].....	33
Fig. 5. Estructura de la Illita [23]	33
Fig. 6. Estructura de Montmorillonita [23]	34
Fig. 7. Límites de consistencia [28]	36
Fig. 8. Definición del límite de contracción [28]	37
Fig. 9. Tipos de fibras sintéticas utilizadas como refuerzo [31].....	40
Fig. 10. Fibras de polipropileno [31]	40
Fig. 11. Mecanismo de transferencia de esfuerzos por fricción [33]	42
Fig. 12. Mecanismo de refuerzo de fibra [33].....	42
Fig. 13. Contacto entre partículas duras del suelo y fibra [34]	43
Fig. 14. Procesos involucrados en la producción de vinaza [37].....	44
Fig. 15. Tamices usados en la granulometría [25].....	47
Fig. 16. Masa para el espécimen del ensayo [25]	49
Fig. 17. Factor K que determinar el LL [25].....	51
Fig. 18. Características de la muestra patrón [25].....	54
Fig. 19. Clasificación geotécnica del suelo por sectores en la provincia de Chiclayo [8].....	56
Fig. 20. Cálculo del programa G*POWER.....	59
Fig. 21. Resultado del programa G*POWER	59
Fig. 22. Resultados del programa G*POWER para los ensayos.....	64
Fig. 23. Proceso de demostración de hipótesis	67
Fig. 24. Mapa Geotécnico [8].	70
Fig. 25. Tipo de suelo del sector IV [8].....	71
Fig. 26. Ubicación de calicatas por vía satelital.....	71
Fig. 27. Ubicación de la empresa Sika Center	76
Fig. 28. Muestra de Fibra de Polipropileno.....	76
Fig. 29. Ubicación de la empresa Sucroalcolera del Chira S.A.	77
Fig. 30. Muestra de la vinaza	77
Fig. 31. Procedimiento del tamizado.....	78
Fig. 32. Muestra del peso retenido en el tamiz	78

Fig. 33. Preparación de muestras	79
Fig. 34. Medición de la temperatura con el hidrómetro	79
Fig. 35. Se pesa el picnómetro y pasa por el tamiz N°04.....	80
Fig. 36. Se vierte la muestra y enrasa el agua un tercio	80
Fig. 37. Pesaje de las muestras.....	81
Fig. 38. Colocación del material húmedo	81
Fig. 39. Realización del ensayo sin y con adición	82
Fig. 40. Muestra seca del límite líquido	82
Fig. 41. Muestra húmeda y seca.....	83
Fig. 42. Se extrae la muestra del horno y luego se pesa.....	83
Fig. 43. Peso de muestra para humedad	84
Fig. 44. Mezclado, enrasado y compactación para ensayo de Proctor Modificado	84
Fig. 45. Pesaje de molde, compactación y peso de muestra compactada	85
Fig. 46. Inmersión del espécimen, peso de muestra saturada y penetración de CBR	85
Fig. 47. Humedad natural.....	86
Fig. 48. Curva granulométrica por tamizado	87
Fig. 49. Curva granulométrica del hidrómetro.....	88
Fig. 50. Límites de consistencia – natural.....	89
Fig. 51. Gravedad Específica	90
Fig. 52. Curva de compactación (C – 01)	91
Fig. 53. Curva de compactación (C – 02)	92
Fig. 54. Curva de compactación (C – 03)	93
Fig. 55. Proctor promedio de muestras naturales	94
Fig. 56. Curva de esfuerzo – penetración a 55 golpes	95
Fig. 57. Curva de esfuerzo – penetración a 26 golpes	96
Fig. 58. Curva de esfuerzo – penetración a 12 golpes	96
Fig. 59. Potencial de expansión en muestras naturales	97
Fig. 60. Límites de consistencia (C – 01).....	98
Fig. 61. Límites de consistencia (C – 02).....	99
Fig. 62. Límites de consistencia (C – 03).....	100
Fig. 63. Curva de compactación – muestra experimental (C – 01).....	101
Fig. 64. Curva de compactación – muestra experimental (C – 02).....	102
Fig. 65. Curvas de compactación – muestra experimental (C – 03)	103
Fig. 66. Relación esfuerzo – penetración (C – 01) a 55 golpes	104

Fig. 67. Relación esfuerzo – penetración (C – 01) a 26 golpes	105
Fig. 68. Relación esfuerzo – penetración (C – 01) a 12 golpes	105
Fig. 69. Relación esfuerzo – penetración (C – 02) a 55 golpes	106
Fig. 70. Relación esfuerzo – penetración (C – 02) a 26 golpes	107
Fig. 71. Relación esfuerzo – penetración (C – 02) a 12 golpes	107
Fig. 72. Relación esfuerzo – penetración (C – 03) a 55 golpes	108
Fig. 73. Relación esfuerzo – penetración (C – 03) a 26 golpes	109
Fig. 74. Relación esfuerzo – penetración (C – 03) a 12 golpes	109
Fig. 75. Potencial de expansión de muestra natural y adición (C – 01).....	110
Fig. 76. Potencial de expansión de muestra natural y adición (C – 02).....	111
Fig. 77. Potencial de expansión de muestra natural y adición (C – 03).....	112
Fig. 78. Granulometría – muestras que pasan la malla N°200.....	113
Fig. 79. IP (%) para la (C – 01, C – 02, C – 03).....	114
Fig. 80. M.D.S. (g/cm ³) – muestra natural	115
Fig. 81. O.C.H. (%) – muestra natural	115
Fig. 82. CBR (%) – muestra natural.....	116
Fig. 83. Comparativo del LL – muestra experimental (C – 01).....	117
Fig. 84. Comparativo del LL – muestra experimental (C – 02).....	118
Fig. 85. Comparativo del LL – muestra experimental (C – 03).....	119
Fig. 86. Comparativo del LP – muestra experimental (C – 01)	120
Fig. 87. Comparativo del LP – muestra experimental (C – 02)	121
Fig. 88. Comparativo del LP – muestra experimental (C – 03)	121
Fig. 89. Comparativo del IP – muestra experimental (C – 01)	123
Fig. 90. Comparativo del IP – muestra experimental (C – 02)	123
Fig. 91. Comparativo del IP – muestra experimental (C – 03)	124
Fig. 92. Comparativo del índice plástico en muestras experimentales	125
Fig. 93. O.C.H (%) para la (C – 01).....	126
Fig. 94. O.C.H (%) para la (C – 02).....	127
Fig. 95. O.C.H (%) para la (C – 03).....	128
Fig. 96. Cuadro comparativo del O.C.H (%) por combinación y muestra natural.....	129
Fig. 97. M.D.S.(g/cm ³) para la (C – 01).....	130
Fig. 98. M.D.S.(g/cm ³) para la (C – 02).....	131
Fig. 99. M.D.S.(g/cm ³) para la (C – 03).....	132
Fig. 100. Comparativa de la M.D.S. (g/cm ³) por combinación y muestra natural	133

Fig. 101. CBR (95% M.D.S.) para la (C – 01).....	134
Fig. 102. CBR (95% M.D.S.) para la (C – 02).....	135
Fig. 103. CBR (95% M.D.S.) para la (C – 03).....	136
Fig. 104. CBR (100% M.D.S.) para la (C – 01).....	137
Fig. 105. CBR (100% M.D.S.) para la (C – 02).....	138
Fig. 106. CBR (100% M.D.S.) para la (C – 03).....	139
Fig. 107. Potencial de expansión en muestras experimentales (C – 01)	140
Fig. 108. Potencial de expansión en muestras experimentales (C – 02)	141
Fig. 109. Potencial de expansión en muestras experimentales (C – 03)	142
Fig. 110. IP en muestras de subrasante (C – 01, C – 02, C – 03).....	143
Fig. 111. M.D.S. en muestras de subrasante (C – 01, C – 02, C – 03).....	144
Fig. 112. O.C.H. en muestras de subrasante (C – 01, C – 02, C – 03).....	144
Fig. 113. CBR (95% – 100% MDS) – muestras experimentales (C – 01).....	145
Fig. 114. CBR (95% – 100% MDS) – muestras experimentales (C – 02).....	145
Fig. 115. CBR (95% – 100% MDS) – muestras experimentales (C – 03).....	146
Fig. 116. Comparación del IP (%) con la combinación óptima	146
Fig. 117. Comparación de la MDS (g/cm ³) con la combinación óptima.....	147
Fig. 118. Comparación del COH (%) con la combinación óptima	147
Fig. 119. Comparación del (CBR al 95%) con la combinación óptima.....	148
Fig. 120. Comparación del (CBR al 100%) con la combinación óptima.....	148
Fig. 121. “Trazo, replanteo y controles topográficos”	150
Fig. 122. “Excavación – nivel de subrasante”.....	150
Fig. 123. “Batido de material – cal viva 8.00% – subrasante (e = 0.15 m)”	150
Fig. 124. “Perfilado, nivelación y compactación”	151
Fig. 125. “Presupuesto a nivel de subrasante – cal al 8.00%”	151
Fig. 126. “Trazo, replanteo y controles topográficos”	152
Fig. 127. “Excavación – nivel de subrasante”.....	152
Fig. 128. “Batido de material – cemento 12.00% – subrasante (e = 0.15 m)”	152
Fig. 129. “Perfilado, nivelación y compactación”	153
Fig. 130. “Presupuesto a nivel de subrasante – cemento al 12.00%”	153
Fig. 131. “Trazo, replanteo y controles topográficos”	154
Fig. 132. “Excavación – nivel de subrasante”.....	154
Fig. 133. “Batido de material – 1.00%PP + 25.00%VN – subrasante (e = 0.15 m)”	154
Fig. 134. “Perfilado, nivelación y compactación”	155

Fig. 135. Presupuesto a nivel de subrasante – 1.00%PP + 25.00%VN.....	155
Fig. 136. Presupuesto de insumos por m2.....	156
Fig. 137. Extracción (C – 01) – Av. Colectora	173
Fig. 138. Extracción (C – 02) – Av. Colectora	173
Fig. 139. Extracción (C – 03) – Av. Colectora	174
Fig. 140. Granulometría para cada calicata.....	174
Fig. 141. Hidrometría para cada calicata	175
Fig. 142. G. Específica para cada calicata	175
Fig. 143. L. Atterberg para cada calicata.....	176
Fig. 144. Proctor para cada calicata	176
Fig. 145. CBR para cada calicata	177

Lista de Anexos

Anexo 1. Ficha técnica emitida por la empresa Caña Brava.....	167
Anexo 2. Cotización emitida por la empresa Caña Brava	171
Anexo 3. Cotización emitida por la empresa Sika Center Pamer Perú.....	172
Anexo 4. Panel fotográfico	173
Anexo 5. Ensayos de laboratorio	178

Resumen

La presente investigación se enfoca en las complicaciones que presentan los suelos arcillosos expansivos en las subrasantes. Es por ello, que el objetivo principal es establecer la influencia de la incorporación de las fibras de polipropileno con vinaza en porcentajes de 0.75% + 15.00%, 1.00% + 25.00% y 1.50% + 60.00% adicionados al suelo. Con el fin de alcanzar el objetivo de este estudio y validar la hipótesis planteada se llevó a cabo ensayos que evalúan las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Los resultados alcanzados de la muestra natural por el sistema SUCS y AASHTO las clasifica como arcillas de media y alta plasticidad. Asimismo, se observa que, al aumentar la añadidura de fibras y vinaza, reducen los límites de Atterberg como el contenido de humedad, mientras que la densidad seca e índice CBR incrementan. Por ende, la proporción ideal es 1.00% + 25.00%, debido a que su MDS aumenta en la C-01 de 1.736g/cm³ a 1.882g/cm³ y el CBR al 95% de 3.29% a 8.77%. Así como, en la C-02 y C-03 que también mejora la MDS de 1.714 g/cm³ a 1.854 g/cm³ y el CBR de 3.70% a 8.72%, es decir proporciona una sólida base en futuras aplicaciones de estabilización de suelos. Para concluir, se realiza el análisis económico para estos insumos, por lo que se deberá considerar su viabilidad frente a métodos convencionales de estabilización como la cal y el cemento.

Palabras clave: Suelos arcillosos, subrasante, fibras de polipropileno, vinaza, capacidad de soporte.

Abstract

This research focuses on the complications presented by expansive clayey soils in subgrades. Therefore, the main objective is to establish the influence of incorporating polypropylene fibers with vinasse in percentages of 0.75% + 15.00%, 1.00% + 25.00%, and 1.50% + 60.00% added to the soil. In order to achieve the objective of this study and validate the proposed hypothesis, tests were carried out to evaluate the physical and mechanical properties of the soil. The results obtained from the natural sample, using the SUCS and AASHTO systems, classify them as clays of medium and high plasticity. Furthermore, it is observed that, as the addition of fibers and vinasse increases, the Atterberg limits and moisture content decrease, while the dry density and CBR index increase. Therefore, the ideal ratio is 1.00% + 25.00%, since its MDS increases in C-01 from 1.736 g/cm³ to 1.882 g/cm³ and the CBR at 95% from 3.29% to 8.77%. As well as, in C-02 and C-03, which also improves the MDS from 1.714 g/cm³ to 1.854 g/cm³ and the CBR from 3.70% to 8.72%, that is, it provides a solid base in future soil stabilization applications. Finally, the economic analysis for these inputs is carried out, so their viability compared to conventional stabilization methods such as lime and cement should be considered.

Keywords: Clay soils, subgrade, polypropylene fibers, vinasse, bearing capacity.

Introducción

La construcción de carreteras por lo general consta de 4 capas principales que incluyen capas de asfalto, base, subbase y subrasantes. Sin embargo, algunos de estos suelos naturales, como los suelos arcillosos expansivos tienen características indeseables por el alto potencial de hinchazón y contracción, alta compresibilidad y baja capacidad de carga, es decir, al presentar estas características hace que el desempeño del sistema del pavimento sea despreciable. Por ende, la presencia de los minerales hidrófilos como la illita y montmorillonita en los suelos expansivos los hace más sensibles a los cambios de humedad, ya que aumentan de volumen en contacto con el agua [1]. Por otro lado, el potencial de hinchamiento es influenciado por las propiedades del suelo, las tensiones aplicadas y los factores ambientales [2].

Los problemas principales de este tipo de suelos son el sellado a largo plazo y el agrietamiento de la superficie del desecador que habitualmente afectan la vida útil de estructuras livianas, como las carreteras. Además, puede provocar un asentamiento desigual y levantamiento de las superficies del pavimento de subrasante. Por lo que, esto provocaría la formación de grietas, baches y otros daños en el pavimento, comprometiendo la integridad y suavidad de la carretera. Dicho esto, se estima que el daño anual originado por la rehabilitación y reconstrucción expansiva del suelo asciende aproximadamente entre 10 y 11 millones de dólares en Estados Unidos, 2 y 3 millones de dólares en China, 1 y 2 millones de dólares en el Reino Unido y la India. Además, las pérdidas anuales totales entre 1990 y 2020 incrementaron alrededor de 160%, con 6 mil millones de dólares solo en estructuras de pavimento en EE.UU [3].

En China, en especial en las regiones orientales densamente pobladas, los comportamientos mecánicos y volumétricos de los suelos expansivos son sensibles a las fluctuaciones del contenido de humedad. Por lo general, se produce hinchazón o contracción cuando se secan y humedecen, esto conlleva al desarrollo de grietas después de los ciclos de mojado y secado. En particular, la descomposición de la textura del suelo reduce las propiedades de resistencia y rigidez del suelo [4].

En la India, el suelo expansivo comúnmente conocido como suelo de algodón negro contiene el mineral de montmorillonita que cubre más del 20% del suelo. Además, este tipo de suelo en Rajkot tiene un alto potencial de alteraciones volumétricas cuando se somete a modificaciones en su nivel de humedad. Por lo cual, las estructuras construidas son propensas a sufrir asentamientos masivos, que originan grietas comprometiendo la capacidad de servicio y representa un riesgo para la seguridad [5].

De igual manera, en el norte de Venezuela la presencia de arcillas expansivas es la principal patología que ha registrado la infraestructura vial en pocos sectores de los estados de Falcón, Miranda y Anzoátegui. En donde se constataron problemas de deformación y deterioro, en las vías primarias e infraestructuras colindantes. Así como, los casos de las carreteras de Morón-Mirimire en Falcón, Charavalle-Santa Teresa en Miranda y Barcelona-Cantaura en Anzoátegui, en donde existen diversos grados de deterioro en sus vías [6].

En el Perú, se identificaron problemas asociados con los suelos expansivos mediante estudios e investigaciones. Un ejemplo de estos suelos se ubicó por primera vez en la construcción del Canal de Quiroz en Piura en donde se identificaron estas arcillas. Asimismo, en las localidades de la costa se ha registrado daños similares en Bayovar, Talara, Punta Arenas, Verdum, Quiroz y Chiclayo presentando altos valores de límites líquidos. Por otra parte, las provincias de Talara, Verdum y Chiclayo cuentan con valores de límite de contracción. Sin embargo, los análisis cualitativos indican que Napo-Putumayo y Trompeteros tienen como principal componente a la montmorillonita, mientras que en Chiclayo el contenido es menor, pero también hay presencia de clorita [7].

Según INDECI [8], en la zona urbana de Chiclayo los suelos varían en cuanto a su grado de expansividad. Es decir, los suelos situados al sur de la ciudad en áreas como Federico Villareal, Urb. Santa Victoria, Arturo Cabrejos Falla y parte del UPIS Ciro Alegría pertenecen a los suelos de alta a extremadamente alta expansividad. Por otro lado, los suelos con niveles de expansividad de media a alta están localizados al norte y sur de la ciudad, asimismo las zonas con suelos de alta expansividad están adyacentes a áreas con niveles más bajos de expansividad.

Estos problemas pueden generar costos económicos sustanciales, por lo cual es importante el tratar/estabilizar los suelos expansivos, ya que se ha convertido en un aspecto crítico de la infraestructura civil. En consecuencia, las técnicas de estabilización tienen que realizarse antes de la construcción para mitigar daños potenciales y garantizar la estabilidad de los pavimentos. Asimismo, buscan aumentar la resistencia del suelo, mitigar el comportamiento de dilatación y contracción del suelo de arcilla expansiva [9].

Las dos técnicas más utilizadas para estabilizar suelos arcillosos expansivos resulta ser la estabilización mecánica y química. Una de ellas es la estabilización química que se utiliza a menudo para mejorar las características en los suelos expansivos cambiando sus características fisicoquímicas [10]. Debido a que, este proceso crea una red de unión fuerte dentro de la

estructura del suelo, esto implica una mayor resistencia, durabilidad y calidad en comparación del suelo no estabilizado [11]. Por otro lado, la estabilización mecánica implica agregar materiales externos al suelo base, modifica las propiedades físicas y reduce su comportamiento de hinchamiento [12].

Por ello, se ha optado por elegir productos locales como las fibras de polipropileno y vinaza que son aditivos económicos. De esta manera, la vinaza contiene principalmente sustancias inorgánicas solubles con una alta presencia de ión K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} y SO_4^{-2} [13], y la retención máxima del potasio ocurre cuando las arcillas predominantes son de tipo 2:1, al igual que la montmorillonita o la illita (mica). Asimismo, el adicionar fibras de polipropileno es considerada como una solución idónea a los esfuerzos de tracción, otorgando mayor durabilidad a los suelos, dándose por estabilización química. El uso de estas fibras mejorará los parámetros geotécnicos al aumentar los esfuerzos cortantes y tracción, ductilidad y se reducirá la propagación de grietas [14].

Ante la problemática expuesta, se busca dar respuesta a la siguiente interrogante: ¿De qué manera influirán las fibras de polipropileno y vinaza como estabilizante de los suelos arcillosos para una subrasante?

Conforme a INDECI [8], los suelos expansivos presentes en la provincia de Chiclayo se localizan en la parte norte y sur, los cuales se identifican por tener suelos finos de expansividad alta a extremadamente alta. Por otro lado, Alva Hurtado [7] estudió las propiedades físicas de los suelos en la zona norte, indicando que Chiclayo cuenta con el 30% de expansión libre. Sin embargo, estos resultados pueden ser contrarrestados a través de estabilizadores mecánicos y químicos, que ayudan a mejorar las características físicas y mecánicas de los suelos expansivos. De igual modo, uno de los aditivos elegidos es la vinaza, debido a sus efectos positivos en la mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo, como el aumento del pH, la mejora en la disposición de nutrientes, retención de cationes en el suelo, aumento de la capacidad de retención de humedad y reforzamiento de la estructura física del suelo.

En el aspecto social; la importancia de esta investigación se basa en fomentar la mejora de las características mecánicas de los suelos expansivos del distrito La Victoria, con el propósito de acrecentar las condiciones de vida de la población, enfocándonos en los problemas de agrietamientos y fisuraciones, debido a que los usuarios diariamente transitan por estas zonas.

Asimismo, este busca reducir las pérdidas económicas por los daños materiales y reparaciones constantes causadas por los asentamientos de este tipo de suelos.

En el aspecto económico, existe una notable diferencia económica, entre mejorar los suelos a través del movimiento de tierras que incide de manera destacada en el presupuesto de obra y en la estabilización de suelos, mediante la adición de materiales de reciclaje y compuestos de origen natural. Es por ello, que este último es más viable en función de precios, debido a su fácil traslado y proceso de adhesión más simple. Por tanto, la estabilización de suelos será de mucho beneficio en la ciudad Chiclayo, debido a que es una de las ciudades con mayor presencia de suelos expansivos que incurren en desperfectos de los pavimentos.

En base a todo lo mencionado, el objetivo general del presente estudio es establecer la influencia de la incorporar fibras de polipropileno con vinaza en la estabilización de suelos arcillosos para una subrasante. De igual manera, se tienen como objetivos específicos: caracterizar el suelo arcilloso en su estado natural a través del método AASHTO y SUCS; comparar el grado de expansividad con y sin la incorporación de las fibras de polipropileno con vinaza en el suelo arcilloso; determinar el grado de compactación con la incorporación de fibras de polipropileno con vinaza en los suelos arcillosos; determinar la capacidad portante con la incorporación de fibras de polipropileno con vinaza en los suelos arcillosos; y por último, evaluar el costo de la estabilización de fibras de polipropileno con vinaza en los suelos arcillosos.

Revisión de literatura

Antecedentes

Nasiri et al. [15], estiman aplicar la vinaza para la mejora del comportamiento compresivo de la arcilla. Para esto, se va a estudiar el efecto de la vinaza en los límites de consistencia y el comportamiento mecánico mediante límites, proctor y resistencia a la compresión (UCS) en la arcilla estabilizada y no estabilizada. Las dos concentraciones varían entre el 3% y 15%, siendo compactadas según la densidad seca (MDS) y el contenido de humedad (OCH) de la arcilla. El muestreo fue realizado en el área regional de Irán, en donde las muestras de arcilla compactada se estabilizaron por dos métodos diferentes la precipitación y pulverización, curando la arcilla compactada durante 1h, 14 días y 28 días. Por consiguiente, los resultados indican que la estabilización con vinaza tuvo una aglomeración de las partículas de arcilla para formar agregados de mayor tamaño, con características semejantes a las partículas del limo. Esto conlleva a la disminución del potencial de expansión de la arcilla cuando está expuesta al agua de lluvia. Se concluye, que la vinaza al 15% aumenta la resistencia y los valores de UCS de la arcilla estabilizada a los 28 días fueron el doble a comparación del suelo natural.

Km Komal et al. [16], estudian el efecto del limo así como de la fibra (polipropileno y nailon), o en su combinación el valor MDS y OMC del suelo arcilloso. En lo que respecta, a este estudio los suelos constituyeron mezclas de tres tipos de suelos (limo, arcilla bentonítica y arena) siendo añadidas a estas combinaciones el 1% de fibra del PP y NF. Asimismo, los ensayos que se van a realizar son límites, compactación y resistencia a la compresión sin confinamiento (UCS). Es decir, los resultados indican que la adición de las fibras disminuyó el límite plástico y líquido cuando se reforzó con el 1%, el OCH y la MDS aumentan así como bajan de 29.00 a 33.85 y 1.367 a 1.344 al reforzarse al 1% PP, sin embargo, mostró un aumento con el 1%NF de 1.249 a 1.400. De igual modo, el aumento del porcentaje de limo y del refuerzo de ambas fibras resulta un aumento del UCS. Por lo tanto, los resultados indican que cuando se reforzó la arcilla con varios porcentajes de limo con el 1%PP y 1%NF, la densidad incrementa y la humedad decrece. A su vez, presenta una disminución en el hinchamiento de la arcilla y mezclas, teniendo resultados favorables a comparación del limo. No obstante, se obtuvo mayor valor en UCS con la inclusión del 1%PP para la proporción de mezcla CS20P, es decir resulta ser más eficaz que la fibra de nailon (NF).

Dhakal et al. [17], analiza el rendimiento del suelo estabilizado en entornos extremos con pruebas de la durabilidad de humectación-secado (WD) y congelación-descongelación (FT) empleando cemento ecológico (CSAC) y fibra de polipropileno. En este estudio se ha utilizado un suelo arcilloso que se clasifica como arcilla altamente plástica (CH) con combinaciones de CSAC (5%,7.50%,10%) y fibra (0.50%, 1.00%). Los ensayos que realizan es la granulometría, límites y densidad seca (MDS) que se determina después al hacer la curva de humedad-densidad para tres muestras diferentes. Es decir, estos resultados nos señalan que la adición de las fibras aumenta y el CSAC disminuye la gravedad específica, así como la MDD baja y el OMC incrementa. De igual manera, las muestras preparadas con 7.50% y 10.00% de CSAC han sobrevivido a 12 ciclos de exponerse a humectación-secado. Por otra parte, la RC sin tratar es de 0.386 MPa, pero con fibra al 0.50% (2.456 MPa, 3.850 MPa) y 1.00% (2.524 MPa, 3.911 MPa) muestra un aumento del 64-66% respectivamente. Asimismo, la arcilla estabilizada con 10.00% de CSAC y 1.00% de fibras conservan el mayor porcentaje de la resistencia. Por último, el suelo mejorado muestra una mejora significativa en su durabilidad y resistencia mecánica, lo que sugiere que esta combinación puede ser efectiva en infraestructuras con ambientes desafiantes.

Carrozzo y Salazar [18], tiene como objetivo establecer el efecto de las fibras de polipropileno y cemento portland para incrementar las propiedades mecánicas del suelo arcilloso en la capa de subrasante en Huaral. El muestreo que se ha utilizado es un suelo arcilloso de plasticidad baja (CL) con la adición del PP (0.50%,0.75%, 1.00%,1.50%) y cemento (3%,5%). Por lo cual, los ensayos que se van a realizar son la granulometría, contenido de humedad, límites de Atterberg, proctor modificado y capacidad de soporte (CBR). Los resultados nos indican que los valores del suelo alcanzaron un IP del 13.02%, mientras que con el cemento se reducía y lograba tener una variación del 31.00%. De igual manera, proporciona un incremento para la resistencia en la compactación modificando favorablemente las propiedades físicas y mecánicas del suelo. En cuanto, al ensayo de CBR los porcentajes de mejora van desde 21% hasta 237.29% siendo el 1.50%PP y 5.00%CP, presentaron resultados más favorables frente a los diversos esfuerzos de confinamiento. Por lo cual, disminuyó un 8.07% a diferencia del suelo natural, esto indica una disminución de vacíos de la fibra y suelo.

Corbena y Palomino [19], en su tesis tiene como objetivo analizar el efecto de la vinaza en la estabilización de suelos cohesivos. Para ello se realizó la siguiente metodología que consta de los ensayos de la caracterización física del suelo, que incluyen granulometría por tamizado e

hidrometría, humedad natural, límites, proctor modificado y capacidad de soporte (CBR) para cada calicata, utilizando muestras con concentraciones de 30%, 45%, 60%, 75% y 90%. Por lo cual, los resultados nos indican que el 60% de la vinaza aporta mejoras sustanciales en la estabilización, esto se evidencia en la reducción de plasticidad al 14% y una clasificación más favorable por AASHTO. En lo que respecta, a la MDS aumentó en promedio de 1.813 a 1.853 g/cm³ esto logra que la expansión del suelo disminuya en 0.30% y el índice de CBR aumente 29.70%, por lo tanto, estos valores permiten que se clasifique como una subrasante muy buena.

Solís y Salazar [20], tiene como propósito determinar el efecto de las fibras de polipropileno en las propiedades mecánicas del suelo arcilloso. En este caso, el muestreo de este estudio es un suelo arcilloso de color rojizo con la adición de fibras de PP (0.20%, 0.40%, 0.60% y 0.80%), por ello en la metodología empleada se realizarán pruebas de laboratorio de la granulometría, humedad natural, límites, proctor modificado y capacidad de soporte (CBR) por cada calicata. Es decir, los resultados señalan que se tiene una reducción progresiva de la densidad seca (MDS) de la mezcla de 1.886g/cm³ hasta 1.847g/cm³, a su vez el contenido de humedad (OCH) va a aumentar desde 15.10% a 17.60% al adicionar las fibras. Además, el CBR al 95% aumenta del 5.00% en natural al 12.80% con el 0.80%PP por el polipropileno, ya que es un componente resistente y se integra al suelo, además mejora su fricción y resistencia estructural. Sin embargo, la adición adecuada es del 0.60%PP en la MDS y CBR a comparación de las demás.

Bases Legales

Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos – MTC/14

Este manual establece lineamientos técnicos y económicos orientados al diseño eficiente de las distintas capas de pavimentos. Debido a que, su cuarto capítulo proporciona directrices que son fundamentales para asegurar que los materiales utilizados en la construcción de carreteras sean adecuados y cumplan con las normativas necesarias. Por otra parte, el noveno capítulo se centra en la estabilización, los criterios y tipos a considerar.

Norma E.050 - Suelos y Cimentaciones

Establece las directrices específicas que deben seguirse en estudios de la caracterización del suelo y cimentaciones. Su objetivo es garantizar una adecuada evaluación de las características geotécnicas del terreno, asegurando que las estructuras se apoyen en bases adecuadas para garantizar su estabilidad.

Granulometría por tamizado, MTC E 107

Determina la distribución de tamaños de las partículas que integran la muestra de suelo. Es por ello, que el objetivo de este ensayo es detallar el procedimiento para calcular el porcentaje del material retenido pasando a través de los diferentes tamices utilizados hasta alcanzar el último tamiz de 74 mm.

Granulometría por medio del hidrómetro, MTC E 109

Es una técnica que determina la distribución de tamaños de partículas finas presentes para una porción de suelo. Debido a que, este análisis se enfoca en la medición de la sedimentación de partículas a través de un fluido, utilizando un hidrómetro para evaluar el cambio en la densidad del líquido en función del tiempo.

Gravedad Específica, MTC E 113

Es un método que relaciona la densidad de una partícula sólida del suelo con la densidad del agua a una temperatura específica. Es decir, nos indica cuántas veces es más pesado un volumen determinado de partículas sólidas del suelo a comparación del mismo volumen de agua.

Límite líquido, MTC E 110

Es un parámetro clave en la clasificación y caracterización de materiales en ingeniería. Es decir, que el contenido de humedad del suelo cuando pasa de un estado plástico a líquido ayuda a comprender como el suelo se comportará bajo diferentes condiciones de carga y humedad.

Límite plástico e Índice de plasticidad, MTC E 111

Se enfoca en dos parámetros clave relacionados con la plasticidad, como el límite plástico que es el contenido de humedad mínimo el cual un suelo se deforma plásticamente y el cálculo del índice de plasticidad que se obtiene de la resta de ambos límites, este índice proporciona una medida de la magnitud de la zona plástica de un suelo.

Contenido de humedad, MTC E 108

Describe el procedimiento para medir la humedad de la muestra, comparando los resultados de la muestra húmeda y seca, determinando el peso del agua y calculando su porcentaje.

Proctor modificado, MTC E 115

Determina el contenido óptimo de humedad, es decir la cantidad de agua que debe tener el suelo para alcanzar su máxima densidad. Al igual que, su máximo peso unitario seco que es la mayor densidad que logra cuando se compacta con el contenido de humedad.

CBR de suelos, MTC E 132

Evalúa la resistencia de un suelo a la penetración de un pistón estándar bajo condiciones de carga controladas, este valor obtenido nos permite estimar la capacidad portante y controlar la calidad de la compactación para verificar si un suelo ha sido compactado de manera adecuada.

Bases Teóricas

Subrasante

Es la capa terminada de la vía, que incluye la nivelación del terreno, corte y relleno, además es el soporte esencial donde se construye el pavimento, esta capa sirve como soporte directo entre el terreno natural y la estructura del pavimento. Por otro lado, es fundamental que esté conformado por suelos de características aceptables que cumplan con los estándares requeridos para contrarrestar las cargas generadas por el tráfico [21].

Clasificación

Conforme al MTC [21], una vez establecido el CBR para zonas con características semejantes, se clasificará para el nivel que pertenecen cada subtramo o sector:

TABLA I
Categorías de la subrasante

Categoría de Subrasante	CBR
S0: Subrasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante pobre	CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S2: Subrasante regular	CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S3: Subrasante Buena	CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S4: Subrasante Muy Buena	CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S5: Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Factores determinantes en respuesta de la subrasante

Generalmente, este aspecto se basa en tres características fundamentales que están relacionadas entre sí.

Capacidad portante

Debe ser capaz de resistir las cargas por la estructura del pavimento. Es decir, esto va a depender del tipo de suelo, nivel de compactación y el porcentaje de humedad. En este sentido, el propósito del pavimento es ofrecer una superficie adecuada para el tránsito vehicular. Por lo cual, es esencial que la subrasante tenga la capacidad de soportar un gran número de ciclos de carga sin presentar deformaciones [22].

Contenido de humedad:

En este caso, los diferentes niveles de humedad afectan la capacidad de carga. Dicho esto, también provoca contracciones y/o expansiones indeseables por la presencia de suelos finos. En particular, es afectado por las condiciones de drenaje, nivel freático alto e infiltración, es decir sufrirá pequeñas deformaciones por la carga de los vehículos [22].

Contracción y/o expansión:

Los suelos van a experimentar dependiendo del grado de plasticidad y por su contenido de humedad. Ya que, cualquier pavimento que se ha ejecutado en este tipo de suelos si al no optar por medidas adecuadas se verán alterados o desgastados. Asimismo, para garantizar que las deflexiones se mantengan dentro de los límites estandarizados, deberá controlar la presión transmitida al suelo, considerando el tránsito de diseño (número de ciclos de carga), las deflexiones máximas y el CBR del material con el que se hará efectivo el mejoramiento [22].

Suelos

Un suelo está compuesto por partículas minerales que resultan del desgaste físico o químico que afectan a las rocas [23]. Debido a que, se distinguen por sus tres componentes principales: la fracción sólida contiene partículas minerales, la líquida corresponde al agua presente en el suelo, y en la gaseosa se puede incluye el aire y otros gases [24].

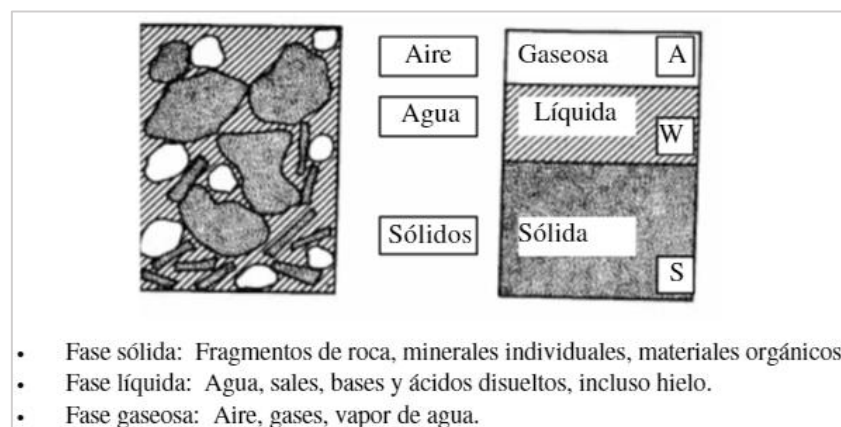


Fig. 1. Fases del Suelo [24]

Tipos de suelo

Grava:

Se produce de la acumulación no consolidada de partículas de rocas con un tamaño superior a 2mm. Asimismo, sufren desgastes en sus bordes y son redondeadas. Por ende, este tipo de suelo pueden encontrarse en lechos, zonas deprimidas rellenas por sedimentos transportados por ríos y en distintos lugares donde se han reubicado [23].

Arena:

Se trata de un material de fina textura originada por la descomposición y erosión natural de las rocas o por trituración mecánica, cuyas partículas presentan tamaños que oscilan entre 2mm y 0.005mm. De igual manera, las arenas limpias no tienden a contraerse al secarse y no muestran comportamiento plástico; asimismo son menos compresibles que las arcillas y al aplicar una fuerza en la superficie va a experimentar una compresión inmediata [23].

Limos:

Es un material con textura fina con limitada y de plasticidad escasa, por lo cual pueden ser inorgánicos elaborados en canteras y orgánicos que suelen localizarse en ríos con características plásticas. El diámetro de esta partícula oscila entre 0.05mm y 0.005mm, en el caso de limos sueltos y saturados no son adecuados para resistir cargas transmitidas a través de zapatas. Sin embargo, cuando no se encuentran en estado denso se consideran como suelos pobres [23].

Arcillas:

Se trata de partículas sólidas cuyo diámetro es inferior a 0.005mm, por lo que su masa adquiere una consistencia plástica al estar en contacto con el agua. Asimismo, su composición química es silicato de alúmina hidratada, pocas veces va a tener magnesio hidratados o silicatos de hierro [23].

Sistemas de clasificación de los suelos














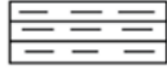

Su propósito es clasificar los suelos con características similares, permitiendo una estimación simple de las características en comparación con otros suelos de su mismo tipo, esto se consigue considerando factores entre ellos, el tamaño de partículas, textura y plasticidad. En tal sentido, estos sistemas más empleados son AASHTO y SUCS, debido a que categorizan los suelos según sus características.

Sistema AASHTO

Con el paso del tiempo, fue sometida a diversas revisiones hasta adoptar por su nombre actual conocida como el método AASHTO M145. En lo que respecta, los suelos vinculados a este sistema se clasifican en siete categorías, que van de A-1 hasta el A-7, y establece una distinción entre los materiales granulares y los finos basándose en función del porcentaje que pasará por la malla N°200; si menos del 35% de los materiales pasa por esta malla, se considera granular, abarcando los grupos desde el A-1, A-2 y A-3. Sin embargo, si el 35% pasa, se clasificará como fino y pertenecerá en los grupos de A-4, A-5, A-6 y A-7 [21].

Simbología

La clasificación de suelos según esta metodología se realizará utilizando la siguiente simbología convencional.

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A - 1 - a		A - 5
	A - 1 - b		A - 6
	A - 3		A - 7 - 5
	A - 2 - 4		A - 7 - 6
	A - 2 - 5		Materia Orgánica
	A - 2 - 6		Roca Sana
	A - 2 - 7		Roca Desintegrada
	A - 4		

Fuente: Simbología AASHTO

Fig. 2. Representaciones convencionales [21]

TABLA II
Clasificación AASHTO

Clasificación general	Suelos granulares 35% máximo que pasa por el tamiz N°200							Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz N°200				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Clasificación de Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Análisis granulométrico % que pasa por el tamiz de:												
2mm (N°10)	máx.50		min.51									
0.425mm (N°40)	máx.30	máx.50										
F: 0.075 mm (N°200)	máx.15	máx.25	máx.10	máx.35	máx.35	máx.35	máx.35	máx.36	máx.36	máx.36	máx.36	máx.36
Características de la fracción que pasa el tamiz N°40												
LL: Límite líquido				máx.40	min.41	máx.40	min.41	máx.40	min.41	máx.40	min.41	min.41
IP: Índice de plasticidad	máx.6	máx.6	NP	máx.10	máx.10	min.11	min.11	máx.10	máx.10	min.11	min.11	min.11
Tipo de material	Piedras, gravas y arenas		Arenas Finas	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Estimación general del suelo como subrasante	Excelente a bueno						Regular a insuficiente					

(a) Índice de plasticidad del subgrupo A-7-5; es igual o menos que LL-30.

(b) Índice de plasticidad del subgrupo A-7-6; es mayor que LL-30.

Quando se requiera relacionar los grupos con el índice de Grupo (IG), estos deben mostrarse entre paréntesis después del símbolo del grupo

Ejemplo: A-18: 182-6 (3), A-4(5), A-7-5(17), etc

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

Sistema Unificado de Clasificación (SUCS)

Este modelo fue desarrollado por Casagrande, en 1952 fue revisado con el respaldo de la Oficina de Restauración de EE.UU, lo que llevó a su estandarización y su uso actual. Esta clasificación categoriza los suelos en dos grupos, basándose en la cantidad que pasa a través de la malla N°200: si menos del 50% pasa por dicha malla, se va a clasificar como grava (G) o arena(S); en cambio, si más del 50% atraviesa sería limo inorgánico (M), arcilla inorgánica (C) y limo-arcilla orgánica (O) [25].

TABLA III
Clasificación según la ASTM

Criterios para asignar grupos de símbolos y grupos de nombres utilizando pruebas de laboratorio				Clasificación de Suelo		
				Símbolo de Grupo	Nombre de grupo	
Suelos de grano grueso	Grava (más del 50% de la fracción gruesa retenida en un tamiz N°4.	Gravas limpias (menos del 5% fino)	$Cu \geq 1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien clasificada	
			$Cu < 4$ [$Cc < 1$ o $Cc > 3$]	GP	Grava pobremente clasificada	
		Grava fina (más del 12%)	Fina clasificada como ML o MH	GM	Grava limosa	
	Más del 50% retenido en un tamiz N°200	Arenas (50% o más de la fracción gruesa pasa un tamiz N°4)	Arena limpia (fina menos del 5%)	$Cu > 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada
				$Cu < 6$ [$Cc < 1$ o $Cc > 3$]	SP	Arena pobremente graduada
			Arena fina (más del 12%)	Fina clasifica como ML o MH Fina clasifica como CL o CH	SM SC	Arena legamosa Arena arcillosa
Suelos de grano fino	Légamos y Arcilla	Inorgánico	PI > 7 y estructura sobre o por encima línea "A"	CL	Arcilla magra	
			PI < 4 o estructura bajo línea "A"	ML	Légamo	
	Límite líquido menor a 50	Orgánico	Límite líquido-más seco < 0.75	OL	Arcilla orgánica	
			Límite líquido-no seco < 0.75	OL	Légamo orgánico	
	50% o más pasa por un tamiz N°200	Légamos y Arcilla	Inorgánico	PI estructura sobre o por encima línea "A"	CH	Arcilla grasa
				PI estructura bajo línea "A"	MH	Légamo elástico
Límite líquido mayor a 50		Orgánico	Límite líquido-más seco < 0.75	OH	Arcilla orgánica	
			Límite líquido-no seco < 0.75	OH	Légamo orgánico	
Suelos altamente orgánico	Materia primordialmente orgánica, de color oscuro y hedor orgánico			PT	Turba	

TABLA IV
Correlación de suelos AASHTO – SUCS

Clasificación de Suelos AASHTO M-145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

De igual manera, se incluye un cuadro que representa la configuración estratigráfica del suelo, según la clasificación SUCS como se aprecia en la fig.3.

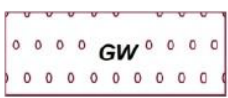







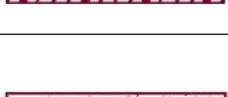
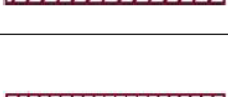


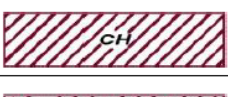
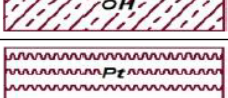

	Grava bien graduada, mezcla de grava con poco o nada de materia fino, variacion en tamaños granulares		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo
	Grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino		Arena arcillosa, mezcla de arena-arcillosa
	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa		Limo organico y arena muy fina, polvo de roca,arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino		Limo organico de plasticidad baja o mediano, arcilla grava, arcilla arenosa, arena limosa, arcilla magra
	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variacion en tamaños granulares y cantidades de particulas en tamaños intermedios		Limo organico y arcilla limosa organica, baja plasticidad
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de particulas intermedios		Limo inorgánico, suelo fino gravoso o limoso, micacea o diatometacea, limo elástico
	Arcilla inorgánica de elevada plasticidad, arcilla gravosa		
	Arcilla orgánica de mediana o elevada plasticidad, limo orgánico		
	Turba, suelo considerablemente orgánico		

Fig. 3. Símbolos gráficos para suelos [21]

Suelos expansivos

Son aquellos suelos que muestran una alteración en su volumen cuando se ven afectados por variaciones en la humedad, los cuales ocasionan complicaciones en la estructura del suelo. Por tanto, es crucial detectarlos con precisión y aplicar un adecuado tratamiento [26].

Según Crespo [23], cuando las arcillas se humedecen experimentan una expansión considerable, mientras que al secarse tienden a contraerse. Además, se distinguen por presentar valores altos en el índice plástico.

Tipos de suelos

Caolinitas

Es el principal grupo que posee una capacidad limitada de intercambio catiónico con un rango de 10-12me. Es decir, el suelo está conformado por arcillas tipo 1:1, las cuales están integradas con una capa de alúmina con estructura tetraédrica y octaédrica en estado hidratado. Asimismo, se trata de un mineral de carga eléctrica neutra que impide la expansión del suelo, al bloquear el paso del agua a través de sus retículas. Por tanto, se considera de permeabilidad alta, fricción interna elevada y moderada plasticidad [24].

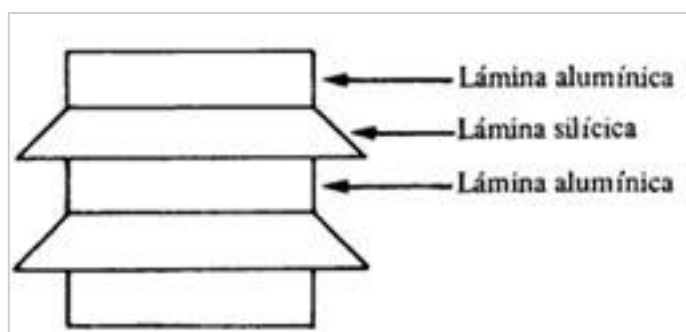


Fig. 4. Estructura de la Caolinita [23]

Illitas

Se trata de una arcilla de tipo 2:1 con una capacidad limitada de intercambio catiónico de 40me, lo que causa cierta expansividad. Para este tipo las capas de alúmina están dispuestas entre dos capas de SiO₄ unidas por iones de potasio, lo que proporciona estabilidad en la estructura. Por lo que, muestra una permeabilidad y un coeficiente de fricción inferior a la caolinita, pero mayores que la bentonita [24].

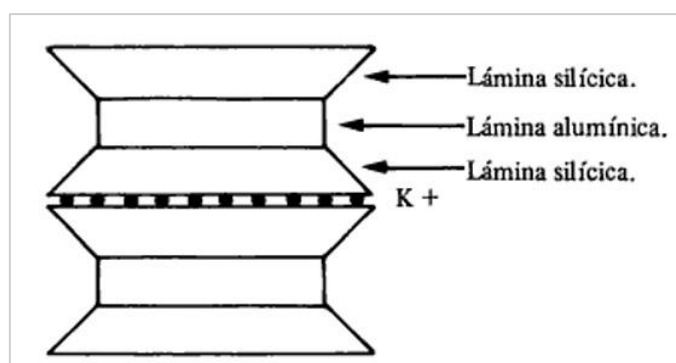


Fig. 5. Estructura de la Illita [23]

Montmorillonita

Es una arcilla de tipo 2:1 con capacidad de intercambio catiónico alrededor 120 me (miliequivalentes), lo que la hace más expansiva. Su estructura consiste en dos láminas de sílice entre las cuales se encuentra la gibscita (lámina alúmina) o brucita (lámina hidratada). La unión entre los minerales es débil, lo que posibilita el ingreso de agua y la incorporación de moléculas provocando la expansión del suelo. Por otra parte, la montmorillonita es muy plástica y expansiva [24].

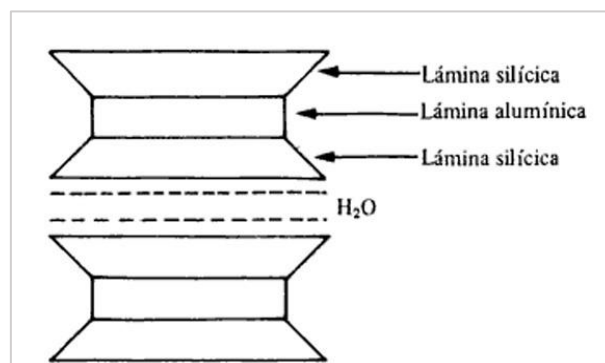


Fig. 6. Estructura de Montmorillonita [23]

Consideraciones que influyen en la contracción y expansión del suelo

➤ Minerales de las arcillas:

Por lo general, las montmorillonitas son las responsables del cambio de volumen, mientras que las illitas y caolinitas tienden a ser menos expansivas. No obstante, estas últimas causan variaciones en el volumen cuando sus partículas son muy finas [26].

TABLA V

Potencial de expansión de los minerales puros en arcilla

Sobrecarga (Kpa)	Potencial de expansión (%)		
	Caolinita	Illita	Montmorillonita
9.60	Insignificante	350	1500
19.10	Insignificante	150	350

➤ Química del agua del suelo:

La expansión del suelo se produce debido al aumento de la concentración y equilibrio de los cationes [26].

➤ **Succión del suelo:**

Se define como una variable independiente del esfuerzo efectivo y está asociada con la presión intersticial, a su vez está determinada por factores como la saturación, gravedad, tamaño y forma de los poros, así como la tensión superficial [26].

➤ **Plasticidad:**

Presentan un perfil con un elevado límite líquido y amplio contenido de humedad, lo que los hace susceptibles a cambios de expansión y contracción [26].

➤ **Arreglo y estructura del suelo:**

Se ve influenciada por el arreglo de las arcillas, siendo más expansivas las arcillas floculadas en comparación con las arcillas dispersas. Por lo tanto, el arreglo y forma se ven afectados al interactuar con grandes cantidades de agua [26].

Propiedades físicas de los suelos:

➤ **Poros o vacíos:**

Hace referencia a los espacios que existen entre las partículas de distinto tamaño [27].

➤ **Granos de suelo:**

Pueden ser de tamaño macroscópicos y microscópicos, este último no puede observarse a simple vista, pero se encuentra presente en cantidades variables [27].

➤ **Humedad:**

El nivel de humedad en el suelo puede fluctuar desde condiciones húmedas hasta secas, ya que puede llenar completamente los espacios vacíos o rodear parcialmente las partículas del suelo en diversas cantidades [27].

➤ **Densidad:**

Se establece la proporción entre la cantidad de materia del suelo y el espacio ocupado por sus partículas [27].

➤ **Gravedad específica:**

Es la proporción entre la densidad relativa del sólido y agua [27].

TABLA VI

Valores típicos para minerales del suelo

Mineral	Gravedad específica
Caolinita	2.60 - 2.63
Illita	2.60
Montmorillonita	2.40

Consistencia del suelo:

El suelo es de textura fina cuando contiene minerales de arcilla, muestra cohesión con cierta humedad y evita la desintegración por el agua adherida a las partículas de arcilla. Por tanto, describe los procesos de consistencia de estos suelos en los diferentes niveles de humedad. Es decir, con una humedad mínima el suelo se vuelve sólido y frágil, mientras que con una alta humedad su respuesta es similar al de un líquido. Asimismo, se han identificado cuatro estados en función del nivel de humedad: sólido, semisólido, plástico y líquido [28].

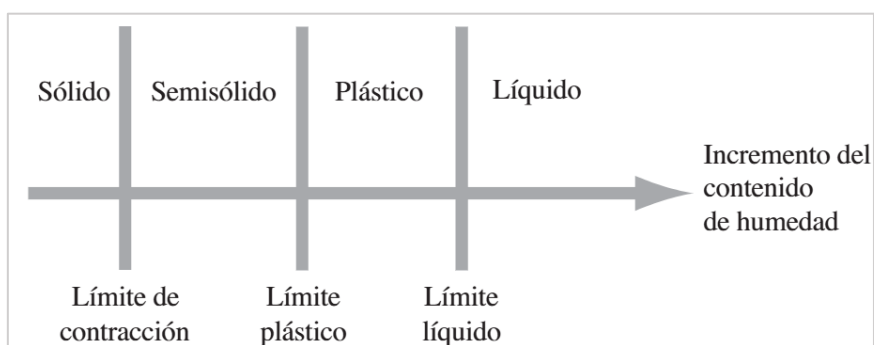


Fig. 7. Límites de consistencia [28]

➤ **Límite líquido (LL):**

Ocurre si el suelo pasa de un estado semilíquido a plástico facilita su moldeado [21].

➤ **Límite plástico (LP):**

Sucedo cuando el suelo transita de una fase plástica a semisólida y se fractura [21].

➤ **El índice de plasticidad (IP):**

Se define como la variación entre el límite líquido y plástico, lo que indica el rango de humedad que posee el suelo [21].

$$IP = LL - LP$$

TABLA VII

Clasificación según el Índice de plasticidad

Índice de plasticidad	Plasticidad	Características
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos
$IP \leq 20$	Media	Suelos arcillosos
$IP > 7$		
$IP < 7$	Baja	Suelos poco arcillosos
$IP = 0$	No plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Límite de contracción:

Se va a contraer gradualmente a medida que pierde humedad lo que afecta a su masa, después de un periodo de pérdida constante de humedad se llega a un punto de equilibrio en la que el volumen permanece constante, al margen del nivel de humedad existente. Del mismo modo, se establece como la humedad del suelo a partir del cual no se van a producir más variaciones volumétricas [28].

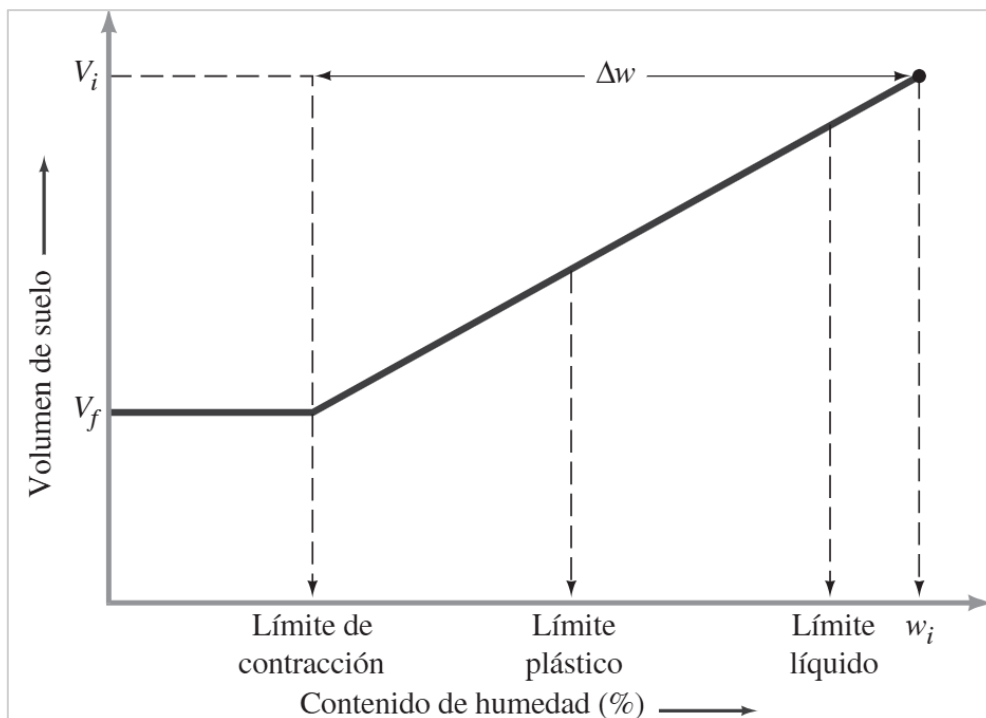


Fig. 8. Definición del límite de contracción [28]

Propiedades mecánicas

➤ **Estabilidad volumétrica:**

Este fenómeno es común en suelos arcillosos, donde la alteración en el contenido hídrico genera procesos de expansión-contracción. Estos cambios pueden inducir incrementos de presión sobre la estructura del pavimento ocasionando deformaciones y fracturas. Por esta razón, resulta llevar una adecuada identificación y caracterización de los suelos arcillosos, una de las soluciones empleadas consiste en transformar la arcilla en un cuerpo granular o compacto [29].

➤ **Resistencia:**

Los suelos arcillosos exhiben un comportamiento de resistencia que varía con su contenido de humedad. Es decir, cuando se someten a un proceso de secado, estos suelos incrementan su resistencia alcanzando niveles altos al ser expuestos a temperaturas elevadas. Dado que, el endurecimiento se debe a la pérdida de agua y transformación en la estructura de las arcillas, lo que altera su comportamiento mecánico [29].

➤ **Permeabilidad:**

Los suelos poseen características que permiten la infiltración del agua a través de sus estratos, lo cual puede ocasionar inconvenientes en el aumento de la presión en los poros y el paso interno de agua. Asimismo, los deslizamientos están asociados a la presencia del agua durante los movimientos de tierra, ya que circula por el suelo cuando aumenta la presión, esto puede dañar el pavimento superior. Por lo que, es esencial controlar el contenido de humedad mitigando estos efectos [29].

➤ **Compresibilidad:**

Esta característica influye de manera significativa en el comportamiento de los suelos, ya que afecta su permeabilidad y modifica la intensidad de fuerzas entre las partículas, lo que resulta fundamental para determinar la resistencia al esfuerzo cortante y a los desplazamientos que puedan generarse. En suelos arcillosos saturados, si no se permite el drenaje, los esfuerzos aplicados al inicio serán absorbidos por el agua y se irán transmitiendo a la estructura del suelo, dando lugar a una compresión progresiva conocida como consolidación [29].

Estabilización de suelos

Implica cambiar las características físicas utilizando procedimientos mecánicos o adicionando aditivos de origen natural o sintéticos. Asimismo, estas técnicas son utilizadas comúnmente en subrasantes que presentan deficiencias y son inadecuadas. En cuanto, a las estrategias para estabilizar van a variar y pueden incluir desde la combinación con otro tipo de suelo hasta adicionar agentes estabilizadores, después de ello se lleva a cabo la compactación [21].

Tipos de estabilización

➤ **Estabilización mecánica:**

Su objetivo principal es optimizar las características de las subrasantes, sin alterar su estructura o composición fundamental. Asimismo, la técnica que más se emplea para alcanzar este proceso es la compactación, ya que reduce los vacíos existentes en el suelo [21].

➤ **Estabilización química:**

Consiste en aplicar aditivos con el fin de optimizar el comportamiento y manejabilidad del suelo, asegurando un material adecuado para emplear en construcción. Asimismo, contribuye a disminuir la plasticidad y cambios en la expansión o contracción, en el caso de las arcillas dispersivas se emplean agentes que favorecen la floculación de las partículas, mientras que, al presentar dificultad al ser compactadas, pueden agregarse productos químicos que generan una dispersión ligera y facilitar su manejo [28].

Suelos fibroreforzados

Según Hurtado [30], el concepto de fibrorefuerzo hace referencia a la mejora del suelo a través del incremento de su firmeza y soporte, mediante la incorporación de elementos resistentes que se integren dentro del suelo, siendo las fibras sintéticas una opción como mejora.

Tipos de fibras

Es fácil distinguir los tipos de fibra a utilizar, una corresponde a las fibras naturales obtenidas de la naturaleza sin necesidad de ser procesadas y las que son realizadas por el hombre que provienen de un proceso industrial o del reciclaje de desechos, comúnmente conocidas como fibras sintéticas [31].

Por tanto, las fibras sintéticas más utilizadas para el refuerzo del suelo son las de vidrio, poliéster, polipropileno, polietileno y nylon.



Fig. 9. Tipos de fibras sintéticas utilizadas como refuerzo [31]

Fibras de Polipropileno (PP)

Es el material sintético más utilizado para que se incluya de manera aleatoria, principalmente por la facilidad en mezclarse con el suelo y por su bajo costo. Asimismo, es hidrofóbico químicamente inerte y no reacciona ni se absorbe con la humedad menos con los lixiviados, por tanto, no va a descomponerse con el tiempo [32].



Fig. 10. Fibras de polipropileno [31]

Propiedades mecánicas y características físicas

➤ **Tenacidad:**

Es el mayor más alto al esfuerzo que debe resistir.

➤ **Elongación:**

A medida que la longitud se reduce la tenacidad será idónea y a más grande elasticidad, el esfuerzo que trasmite será mejor.

➤ **Densidad de la fibra:**

Mientras sea menor, la adherencia será superior.

➤ **Forma:**

Varía según las cualidades de cada fibra.

➤ **Superficie:**

Puede ser suave o áspera, y va a influir en su nivel de interacción con otros materiales.

TABLA VIII

Datos técnicos de las fibras de polipropileno

Tipo de fibra	Monofilamento
Densidad	0.91 (g/cm ³)
Diámetro	30-50 μm
Longitud	12.7-19mm
Resistencia a la tracción	400 Mpa
Punto de fusión	160 – 165°C
Resistencia a ácidos y álcalis	Muy buena
Dispersibilidad	Excelente
Conductividad térmica	Baja
Conductividad eléctrica	Baja

Interacción del suelo - refuerzo

El uso de suelos reforzados ha adquirido relevancia progresiva, debido a las múltiples ventajas que ofrecen particularmente en suelos arcillosos, ya que presentan condiciones inestables que afectan de manera negativa en las obras de construcción [30].

Mecanismo de interacción suelo - refuerzo tradicional

Hurtado [30], señala que incluir refuerzos en el suelo contribuye a mejorar su comportamiento mecánico, ya que al posicionarse en la misma dirección que la deformación contrarresta las tensiones internas del terreno. De esta manera, los esfuerzos se distribuyen en toda la interfaz del refuerzo y el suelo, es decir su propósito principal es limitar las deformaciones del terreno.

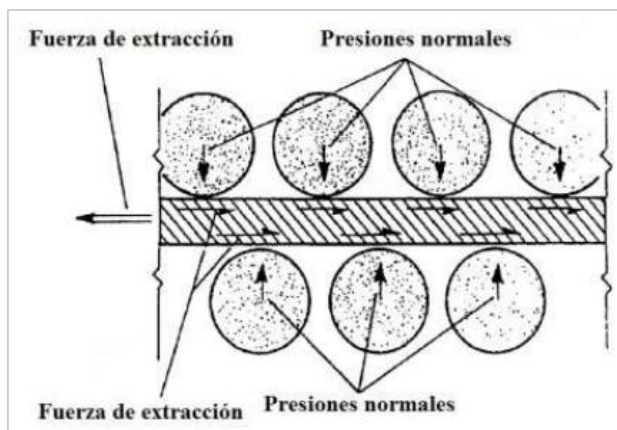


Fig. 11. Mecanismo de transferencia de esfuerzos por fricción [33]

Mecanismo de interacción suelo - fibra

Consoli [18], indica que los ensayos de carga que se realizan sobre las muestras de suelo con y sin refuerzo evidencian que el adicionar fibras reflejan un progreso notable en la capacidad de carga y asentamiento, esta mejora se debe a la conexión de fibras y partículas del suelo, que se denominan tracción y compresión. Además, a medida que los fragmentos internos interactúan en la base del suelo las fibras intervienen activamente, generando una cohesión interna que incrementa la resistencia del suelo mientras se deforma [18].

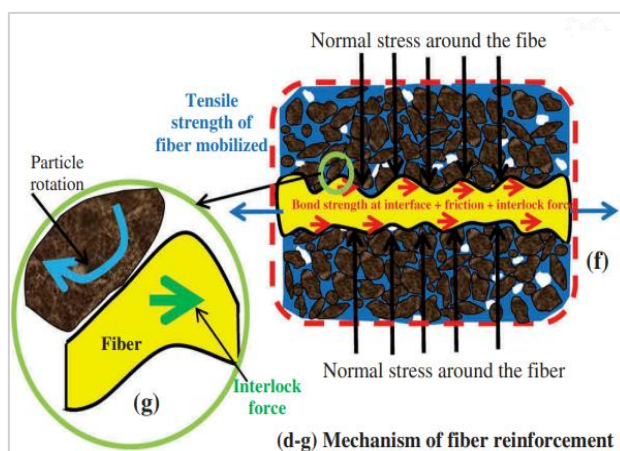


Fig. 12. Mecanismo de refuerzo de fibra [33]

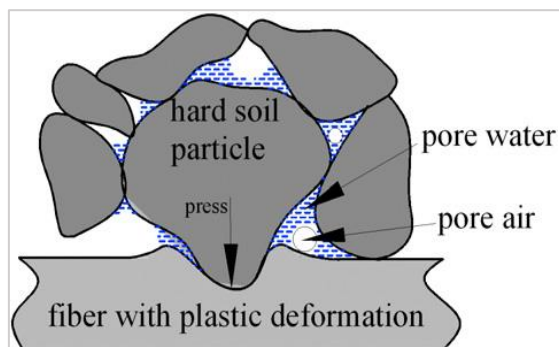


Fig. 13. Contacto entre partículas duras del suelo y fibra [34]

Por otro lado, los factores claves que deben de tenerse en cuenta para asegurar un desempeño adecuado de los suelos reforzados con fibra son [30]:

➤ **Contenido de fibra:**

Cuanto más se adicionan, el fortalecimiento de la resistencia será mejor.

➤ **Grado de deformación:**

Hace referencia a la firmeza del suelo, es decir se opone a los esfuerzos de compresión.

➤ **Efecto volumétrico:**

La arcilla es susceptible para esta propiedad, pues el añadir fibras en su matriz genera confinamiento que contribuye a dar una mejor respuesta ante la contracción.

➤ **Orientación de la fibra:**

La resistencia de suelos reforzados está condicionada por este factor, razón por la cual se sugiere una distribución aleatoria para lograr una mejora uniforme.

Aplicaciones de las fibras

El mejorar los suelos tiene las siguientes ventajas [31]:

- Este proceso se ejecuta empleando equipos de construcción y métodos tradicionales de compactación, sin riesgo a dañar el refuerzo.
- No es influenciada por las variaciones climática, asegurando su eficacia y estabilidad.
- Los materiales utilizados tienen un costo reducido, lo que convierte este tipo de refuerzo en una opción económica accesible.

Vinaza

Los suelos arcillosos contienen minerales como caolinita, montmorillonita e illita, que poseen iones y aniones, por lo tanto, tienen la capacidad de atraer cantidades de cationes. Por otra parte, este residuo líquido está constituido por nitrógeno(N), azufre(S), fósforo(P), potasio(K) y Magnesio (Mg) que es parte de la composición química de la vinaza, su color es marrón oscuro y es de textura densa [35]. Además, las características de las vinazas se precisan principalmente de la materia prima que se utilice. Debido a que, tienen un pH ácido de 3.00 a 5.00, así como alta demanda bioquímica de oxígeno (DQO) de 50000-95000 mg/L y demanda biológica de oxígeno (DBO) de 18900-78300 mg/L [36].

Adquisición de la vinaza a partir de la caña de azúcar

Es un subproducto sustancial que surge de las industrias que producen azúcar, etanol, lodo prensado y bagazo. Es decir, para la elaboración de la vinaza surge por la producción del etanol, ya que el caldo fermentado se destila y va a dejar un líquido residual que es conocido como vinaza. Debido a que, estos procesos son parte fundamental en las operaciones de la industria azucarera y contribuyen sustanciales cantidades de vinaza [37].

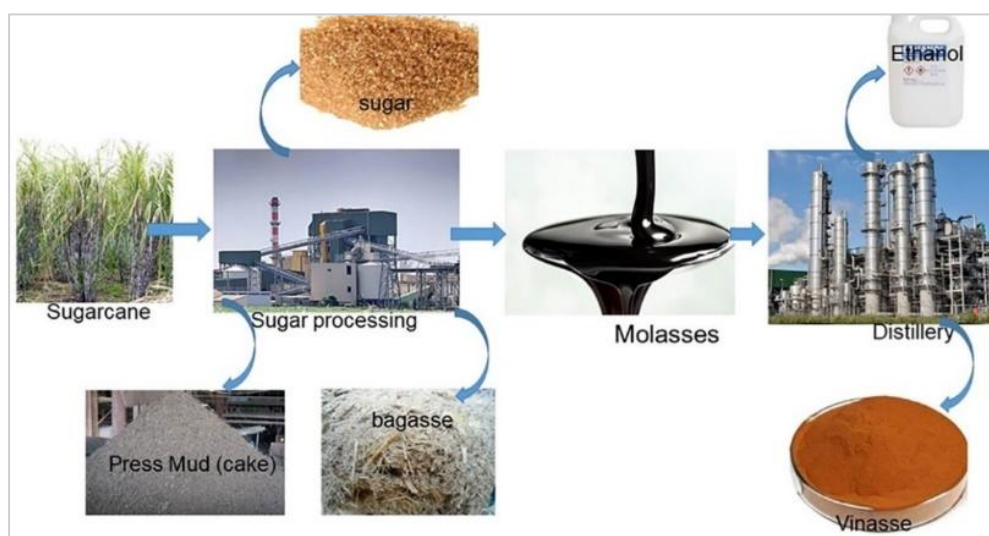


Fig. 14. Procesos involucrados en la producción de vinaza [37]

Propiedades del suelo con vinaza

El adicionar vinaza al suelo resulta beneficioso, ya que tiene un impacto significativo en la capacidad total de carbono orgánico, lo que favorece a la restauración de materia orgánica en los suelos con alto grado de degradación. Además, la abundante presencia de materia orgánica en la vinaza ayuda a incrementar el contenido total del carbono orgánico, lo que conduce a la optimización de la estructura y fertilidad en el terreno [37].

Composición de la vinaza

La composición muestra una variabilidad relevante por diversos factores, comprendidos con el tipo de suelo, clima, procesos de producción, fase de madurez y diversidad del cultivo [38].

TABLA IX

Composición y Características referenciales de la vinaza

COMPOSICIÓN	RESULTADOS
pH	4.22
C.E (ds/m)	18.16
Materia Orgánica (g/100mL)	2.13
Carbonatos (mg CO ₃ /L) (LD: 0,80 mg CO ₃ /L)	<0.8
Bicarbonatos (mg HCO ₃ /L) (LD: 0,80 mg HCO ₃ /L)	<0.8
Humedad (g/100g)	98.14
Nitrógeno Kjeldahl (mg/L)	0.04
Nitratos (mg/L)	0.04
Cloruros (mg/L)	3352
Sulfatos (mg/L)	922.59
Fósforo Total (mg/L)	82.9
Potasio (mg/L)	4904
Calcio (mg/L)	740.4
Magnesio (mg/L)	396.4
Manganeso (mg/L)	1.09
Sodio (mg/L)	484.8
Hierro (mg/L)	10.86
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	17250
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	40948
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	1690
Sólidos Volátiles (mg/L)	8230
Ácidos Fúlvicos (g/100g)	23.79
Ácidos Húmicos (g/100g)	0.64
Azúcares Reductores (g/100g)	<0.10
Densidad (g/mL)	1.0182
Relación Carbono Nitrógeno	30.88
Carbono Orgánico Oxidable (g/100 mL)	1.24

TABLA X
Especificaciones Organolépticas y Fisicoquímicas

Característica	Ensayo	Resultado
Organolépticas	Apariencia	Líquido viscoso
	Color	Marrón
	Olor	Característica a miel
Fisicoquímicas	Densidad (g/mL)	1.01-1.15
	% Humedad	90-98%

Estabilización con Vinaza

Los suelos arcillosos contienen minerales como caolinita, montmorillonita, vermiculita e illita, los cuales presentan iones y aniones en su estructura. Asimismo, esta característica les permite atraer cationes como potasio, sodio y calcio, ya que integran los componentes químicos de la vinaza, esta interacción genera enlaces iónicos que permiten a la materia orgánica aportar en el ámbito agrícola como fuente de nutrientes y energía para los microorganismos, así como conservar la humedad, acrecentar la resistencia y optimizar los aspectos del suelo [39].

Por lo tanto, lo que hace funcionar la interacción entre la arcilla y la vinaza es:

- La propiedad adhesiva que genera una atracción electrostática, la cual impide la separación de las partículas del suelo y aporta al aumento de su tamaño.
- La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo permite retener los compuestos y nutrientes de vinaza, provocando un enlace iónico de ambos. Además, esta interacción mejora la floculación, ya que al estar mezclarse las partículas del suelo se aglomeran, lo que facilita integrar estos dos materiales y disminuir la retención de humedad debido a la atracción electrostática.

Los efectos positivos resultan por la presencia del dióxido de silicio (SiO_2) proveniente de la caña de azúcar. Este compuesto, al interactuar con el suelo, desarrolla características similares a las del cemento, lo que genera un aumento en el tamaño de las partículas del suelo, además aminora los procesos de expansión en la subrasante provocados por la humedad. Como resultado, mejora la capacidad portante y disminuye los límites de consistencia [39].

Ensayos de laboratorio

Análisis granulométrico, MTC E 107

Permite cuantificar la proporción de tamaños de las partículas que adecuan la muestra de suelo, así como identificar el porcentaje pasante en los diferentes tamices hasta el N°200.

Equipos y materiales

- Balanza: Con precisión en 10mg
- Horno: Conserva una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Recipiente: Apropiado para el manejo de las muestras.

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
N° 4	4,760
N° 10	2,000
N° 20	0,840
N° 40	0,425
N° 60	0,260
N° 140	0,106
N° 200	0,075

Fig. 15. Tamices usados en la granulometría [25]

Cálculos

- El % pasante del tamiz 0,074 mm (N°200):

$$\% \text{ pasa N}^{\circ}200 = \frac{P_{\text{total}} - \text{Pretenido en el tamiz N}^{\circ}200}{P_{\text{total}}} * 100$$

- La proporción retenida en %:

$$\% R = \frac{\text{Pretenido en el tamiz}}{P_{\text{total}}} * 100$$

- El % de partículas que pasa, según cada abertura:

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

Granulometría por medio del hidrómetro, MTC E 109

Establece la proporción de partículas del suelo que pasa el tamiz N°200, indicando su fracción más fina.

Equipos

- Balanza: Precisión 0.1g y 1g.
- Tamiz N°10 y N°200.
- Hidrómetro: Mide densidad del líquido y calcula el tamaño de las partículas.
- Horno: Conserva una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Cronómetro o reloj.

Reactivos

- Agente dispersante: Proporción de 40g por litro de solución.
- Agua destilada.

Muestra

- La cantidad requerida para arcillas es 50 a 60g.
- El peso se determina:

$$W_s = \frac{\text{Peso del suelo húmedo}}{1 + \frac{\text{Humedad (w)}}{100}}$$

Cálculo

Para hidrómetro 151H:

$$\% \text{ más fino} = \frac{G_s}{G_s - 1} \times \frac{100}{W_o} \times (R - Cd \pm Ct)$$

Donde:

- G_s = P. específico de sólidos.
- W_o = Peso muestra seca del suelo.
- $(R - Cd + Ct)$ = Ajuste de lectura del hidrómetro.
- a = Factor de corrección del G_s .

Gravedad específica de los sólidos, MTC E 113

Se emplea para calcular la concordancia de la fase del suelo, relación de vacíos y nivel de saturación con el uso del picnómetro como apoyo.

Equipos

- Picnómetro de 250 ml.
- Balanza: Con capacidad de 2000g.
- Horno: Conserva una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Bomba de vacío o aspirador de agua.

Materiales

- Embudo: Superficie lisa y pase sólidos del suelo.
- Tamiz N°4

Muestra

- Constituida de suelo húmedo o seco.

Tipo de suelo	Masa de espécimen seco (g) cuando se usa un Picnómetro de 250 mL	Masa de espécimen seco (g) cuando se usa un Picnómetro de 500 mL
SP, SP-SM	60 ± 10	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Limo o arcilla	35 ± 5	50 ± 10

Fig. 16. Masa para el espécimen del ensayo [25]

Cálculo

Volumen del picnómetro:

$$V_p = \frac{(M_{pw,c} - M_p)}{p_{w,c}} \times 100$$

Donde:

- $M_{pw,c}$ = Peso del frasco de densidad y agua a temperatura calibrada.
- M_p = Peso promedio del frasco de densidad.
- $p_{w,c}$ = Densidad de masa del agua (g/mL).

Contenido de Humedad, MTC E 108

Es la relación expresada en porcentajes del peso de agua en una masa del suelo.

Equipos

- Horno: Se conserva a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Balanza: Precisión de 100mg.

Materiales

- Recipientes: Resistentes al calor y corrosión.
- Utensilios: Tenazas, guantes o ganchos sujetadores.

Cálculo:

$$w = \frac{\text{P. del agua}}{\text{P. del suelo seco}} \times 100$$

$$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100$$

Donde:

- w = Humedad (%).
- M_{cws} = Cantidad de suelo húmedo.
- M_{cs} = Cantidad de suelo seco.
- M_c = Peso del recipiente.

Límite líquido de los suelos, MTC E 110

Es la humedad expresada en %, a partir del cual pasa de un estado plástico a líquido el suelo.

Equipos

- Copa Casagrande es manipulada mediante una manivela o motor eléctrico.
- Acanalador manual.
- Calibrador: Incorporado al ranurador o separado.
- Balanza: Precisión 10mg.
- Horno: Conserva una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Materiales

- Espátula de 75 a 100mm de longitud.

Muestra

- Se emplea 150g para pasar por el tamiz N°40.

Cálculo

$$LL = W^n \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121} \quad \text{o} \quad LL = kW^n$$

Donde:

- Núm. de golpes.
- W^n = Humedad.
- k = factor.

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

Fig. 17. Factor K que determinar el LL [25]

Límite plástico (L.P) e índice de plasticidad (I.P), MTC E 111

Es la humedad mínima, basada en una porción de suelo que es moldeada en forma de rollitos de aproximadamente 3.2mm de diámetro, sin romperse en pedazos

Equipos

- Balanza: Precisión 10mg.
- Horno: Conserva una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Materiales

- Espátula 20mm de longitud.
- Recipiente de porcelana.
- Placa de vidrio pulido de 30cm por 1cm de grosor.

Cálculo

Promedio de humedad:

$$LP = \frac{\text{P. de agua}}{\text{P. suelo seco en horno}} \times 100$$

I.P(%):

$$IP = LL - LP$$

Donde:

- LL = Límite líquido.
- LP = Límite plástico.
- **Nota:** IP Tamiz N°40.

Proctor modificado, MTC E 115

Identifica la correlación respecto a la cantidad de agua y peso unitario seco en los suelos, con la finalidad de generar la curva compactada.

Equipos

- Molde de 4-6" con una altura de 116.40 ± 0.50 mm.
- Pisón tiene 4 agujeros de ventilación.
- Horno: Conserva una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Materiales

- Tamiz: Se utiliza de 4.76mm (N°4).
- Regla: Es de metal y rígida.

Cálculo

Densidad húmeda:

$$\rho_m = 1000 \times \frac{(M_f - M_{md})}{V}$$

- M_t = Material húmedo + molde (kg).
- M_{md} = Material apisonado (kg).
- V = Volumen de molde (m³).

Densidad seca:

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}}$$

- ρ_m = Densidad húmeda compactada.
- w = Humedad (%).

CBR (Laboratorio), MTC E 132

Su propósito es evaluar la capacidad de resistencia del suelo bajo condiciones constituidas de humedad y densidad.

Equipos

- Molde cilíndrico de 152,4mm ± 0,66 mm.
- Disco espaciador: Se coloca sobre la muestra compactada para aplicar la carga.
- Pistón de sección transversal circular.
- Horno: Se conserva a 110 ± 5°C.
- Balanza con alcance de 20kg.

Materiales

- Tamiz: Se utiliza de 4.76mm (N°4)

Cálculo

Humedad compactada:

$$\% \text{ de agua} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100$$

Expansividad del suelo:

$$\% \text{ Expansión} = \frac{L2 - L1}{127} \times 100$$

Índice resistente (CBR):

Penetración		Presión		
Mm	Pulgadas	MN/m ²	kgf/cm ²	lb/plg ²
2,54	0,1	6,90	70,31	1,000
5,08	0,2	10,35	105,46	1,500

Fig. 18. Características de la muestra patrón [25]

Materiales y métodos

Tipo de investigación

En esta evaluación se consideran tres factores los cuales son: según su fin, datos analizados y su metodología para determinar la hipótesis [40].

➤ **Según el fin**

Aplicada: Esta investigación tiene sus fundamentos y bases teóricas existentes, las cuales buscan solucionar un problema perenne en los suelos expansivos, sin la necesidad de plantear o buscar nuevas teorías.

➤ **Datos analizados**

Cuantitativa: Se fundamenta en suposiciones que se demostrarán con base en el análisis estadístico y por recopilación de los valores numéricos registrados durante pruebas de laboratorio.

➤ **Metodología para la determinación de la hipótesis**

Experimental: Se pretende saber en qué proporción influirá la incorporación de las fibras de polipropileno con vinaza como estabilizante en los suelos arcillosos para una subrasante.

Diseño de investigación

Se ha seleccionado un diseño del tipo experimental, teniendo en cuenta que podemos manipular las variantes para obtener mediciones con respecto a la variable independiente, en específico hablamos de un diseño de experimentos puros. Es decir, parte desde la premisa que una de las muestras analizadas no será recibirá ninguna intervención y otras en cambio sí, ya que esta metodología tiene por propósito contrastar el desempeño en ambos tipos de suelos. Por tanto, el modelo de la investigación planteada es la siguiente [40]:

$Ga \rightarrow O1 \rightarrow M1$: Para grupo de control

$Gd \rightarrow O2 \rightarrow M1$: Para grupo experimental

- Ga y Gd : Grupo de sujetos: Muestras de suelos arcillosos antes y después.
- $O1$: Muestra sin estabilizadores.
- $O2$: Muestra con estabilizadores (Fibras de polipropileno y vinaza).
- $M1$ y $M2$: Propiedades antes y después de agregar los estabilizantes al suelo.

Población, muestra y muestreo

Población

Como parte de este estudio se van a considerar las subrasantes del tipo arcillosas repartidas en la provincia de Chiclayo, de acuerdo a la tabla de suelos predominantes de INDECI, en donde se clasifican por sectores.

CIUDAD DE CHICLAYO: TIPOS DE SUELOS PREDOMINANTES POR SECTORES						
SECTORES	ASENTAMIENTOS HUMANOS	TIPOS DE SUELO PREDOMINANTES	ESTATIGRAFIA	EXPANSION DEL SUELO	CAPACIDAD PORTANTE	NIVEL FREÁTICO
I	Urb. El Ingeniero I y II, Miraflores, Ciudad del Chofer, 03 de Octubre, Quinones, Remigio Silva, Las Brisas, La Purísima, Residencial A. B. Leguía y Cerropon, Cruz de Chalpon, Rosa Nelida Castillo, Sto. Toribio de Mogrovejo, 4 de Noviembre, Simón Bolívar, Vista Alegre, Nueva Esperanza, Cruz de la Esperanza, Sta. Lila, F. Belandé, J. Basadre, Los Mochicos, Ricardo Palma, Sta. Elena, José Quinones, José Balta, José Olaga, Elias Aguirre, José Obrero, Cruz del Perdón, Cerro Polobó, J. Caritas Mariategui, Amp. Cruz del Perdón, Los Olivos, Parte de 9 de Octubre, 19 de Setiembre, San Sebastian, Virgen de la Paz, San Julio, Sta. Alejandrina, Santuario, Progresiva Cerropon, La Molina Alta, Las Mercedes, La Colina, Vista Hermosa, AVIANTEL, La Concordia, La Plaza, La Pradera, Los Cedros de la Pradera, Virgen de Fátima, san Jerónimo, Los Jardines y Sagrado Corazón de Jesús.	Arcillas del tipo (CL y CH), Arenas (SC, SM y SP) y Gravas (GC y GP).	Media a Semiduro: 2.0 m. < C-3 < 4.5 Rígido: 4.5 m. < C-5 < 15.0 m.	Suelos superficiales de expansión baja a media, con cambio de volumen pequeño.	1.0 - 2.0 Kg./cm. ²	2.0 a 7.0 m.
II	Comprende parte del sector Este de la ciudad: Aeropuerto, Planta de Tratamiento de Agua Potable, AA.HH. López Albuja, Micaela Bastidas, San Antonio, Nuevo Mundo, Atusparias, Francisco Cabrera, Las Mercedes, César Vallejo, Amp. Campodónico, Progresiva UCHOFEN, Sagrado Corazón de Jesús, San Guillermo, Sto. Toribio, El Obrero, Amp. San Antonio, Puente Blanco, Jorge Chávez, Fanny Abanto Calle, parte del A.H. Suazo.	Arcillas del tipo (CL y CH), Arenas (SC, SM y SP) y Gravas (GC y GP).	Media a Semiduro: 6.0 m. < C-3 < 8.0 Rígido: 8.0 m. < C-5 < 13.0 m.	Suelos finos de expansión baja a media, con cambio de volumen pequeño a moderado.	1.0 - 2.0 Kg./cm. ²	2.0 a 3.5 m.
III	Barrio Priale, José Santos Chocano, UPIS 1° de Mayo, María Parado de Bellido, Mercado Mashogueque, Área Central, AA.HH. Santa Rosa, Diego Ferré, Urb. La Primavera, Patasca, Bancarios, La Florida, Hipodromo y el 3er Sector del distrito, Stein, Miraflores, Indoamérica, El Salitral, 6to Sector Urrunaga, Villa Hermosa, La Explorada, Milagro de Dios, Villa El Sol, San Lorenzo, Sta. Ana, Nuevo San Lorenzo, Casablanca, San José Obrero, Garcés, Latina, Artesanos, 12 de Octubre, F. Bolognesi, San Carlos, Las Palmeras, Fundo Sta. Maria, San Isidro, Miraflores, Amp. T. Amaral, Luis Heyesen, La Primavera, San Luis, Porvenir, Cois, San Juan, Salazar, Chiclayo, El Molino, Las Américas, Señor de Los Milagros, San Nicolás, Boggiano, San Francisco, Campodónico, Raymondi, 3° Sector de La Victoria, San Martín, Zamora, Diego Ferré, Mesones Muroy y Ciro Alvarado.	Arcillas de media y alta plasticidad del tipo (CL, CH, CL-ML) y en pequeñas proporciones arenas del tipo (SC, SM y SP).	Blando a Medio: 2.0 m. < C-2 < 5.0 m. Semiduro: 3.0 m. < C-4 < 8.0 m. Duro a Rígido: 6.0 m. < C-5 < 13.0 m.	Suelos fino de expansión media a alta, con cambio de volumen moderado.	0.5 - 1.0 Kg./cm. ²	1.5 a 2.3 m.
IV	Urb. Santa Victoria, Federico Villareal, Café Perú, Santa Angela, Parque Zonal, C.E. Salaverry, Sta. Victoria, San Eduardo, Carlos Cabrejos Falla, Ana de los Angeles, Villa El Salvador, Sta. Angela, Nazareno, H. Unanue, Divino Maestro, Corazón de Jesús, Carmen Angélica, Los Jardines de Santa Rosa, La Florida, El Amauta, Los Jazmines, Los Pinos de Plata, V. R. Haya de la Torre, Sta. Margarita y parte del A.H. La Victoria.	Arcillas de media y alta plasticidad del tipo (CL, CH, CL-ML) y en pequeñas proporciones arenas del tipo (SC, SM y SP).	Muy Blando a Medio: 3.5 m. < C-1 < 4.5 m. Semiduro: 4.5 m. < C-4 < 5.5 m. Duro a Rígido: 5.5 m. < C-5 < 10.0 m.	Suelos fino de expansibilidad alta a extremadamente alta, con cambio de volumen moderado a severo.	0.0 - 0.5 Kg./cm. ²	1.0 a 2.0 m.

FUENTE : "Microzonificación de la Ciudad de Chiclayo y Zonas de Expansión para la Reducción de Desastres", UNPRG - Lambayeque - 2001

ELABORACION: Equipo Técnico INDECI, Mayo 2003.

Fig. 19. Clasificación geotécnica del suelo por sectores en la provincia de Chiclayo [8]

Muestra

Se ha considerado para la muestra seleccionada los suelos expansivos obtenidos de 03 calicatas ubicadas en la Av. Colectora del distrito de La Victoria, ya que estas serán evaluadas mediante ensayos de laboratorio. Asimismo, esta muestra es de tipo no probabilística, ya que se excavará en lugares puntuales en este caso se consideró el sector IV.

Muestra representativa de suelo arcilloso en el distrito de La Victoria:

El método estadístico selecciona una muestra representativa del tipo de suelo, en este caso es el muestreo aleatorio simple, para esto se va a utilizar una fórmula que determine el tamaño muestral necesario para estimar medias. Es decir, este enfoque permite calcular la cantidad de muestras requeridas considerando el intervalo de confiabilidad, rango de variación poblacional (medida por la desviación estándar) y un rango de incertidumbre [39].

El tamaño de la muestra “n” dependerá del intervalo de confiabilidad deseado (95%), del rango de incertidumbre del ($5 \pm \%$), desviación estándar (variabilidad) de las propiedades del suelo en la población (se puede estimar de estudios preliminares o valores de referencia). Por tanto, la expresión usada para calcular el tamaño muestral cuando se conocen las características en la población es:

$$n = \left(\frac{Z \times S}{E} \right)^2$$

Donde:

- “n” es el tamaño de la muestra.
- “Z” es el valor del intervalo de confiabilidad del 95.00%, siendo $Z=1.96$.
- “S” es la desviación estándar de las características del suelo que se mide. Es por ello, que se ha revisado estudios previos donde se indica la variabilidad de una característica física, uno de ellos es la humedad. Por lo cual, se detallan los valores adquiridos en estudios previos [41]:

TABLA XI

Valores de la humedad en estudios previos

Contenido de humedad	15.74%
	17.33%
	25.72%
	15.86%
	19.98%
	24.66%
Desviación estándar	4.08%

- “E” es el margen de error aceptable, siendo el 5% común y razonable entre precisión y eficiencia en estudios geotécnicos, y puede ajustarse dependiendo de la disponibilidad de datos previos y los recursos disponibles para el muestreo.

$$n = \left(\frac{1.96 \times 4.08}{5} \right)^2 = 2.55$$

Después del cálculo estadístico de la muestra representativa se decidió recolectar el suelo natural de las 03 calicatas a una profundidad de 1.50m y luego se realiza los ensayos respectivos. Asimismo, se determina sus características físicas y mecánicas para definir su clasificación.

Muestreo

Se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, en virtud de que la selección de las muestras se efectuó a criterio del investigador, por ello se ejecutaron tres calicatas en terreno natural con distinta estratigrafía. De manera que, el “Mapa de peligros de la ciudad de Chiclayo” que proporciona INDECI, nos permite conocer ciertos puntos con mayor incidencia de suelos expansivos dentro de los cuales podemos encontrar la parte sur de Chiclayo (Sector IV).

Por ende, la obtención de los porcentajes para los agentes estabilizadores se consiguió a través de estudios previos y aportes de los diversos autores en sus respectivas investigaciones, para obtener dichos resultados se utilizó el programa estadístico como es el G*Power 3.1.9.7 para obtener las cantidades de porcentajes que se van a evaluar. Es así como se empleó el análisis de varianza unidireccional (ANOVA) que es una prueba estadística que compara las medias de tres o más muestras [42]. Posterior a ello, se selecciona el análisis A priori que determina el tamaño muestral que se realiza antes del estudio, etapa del diseño y la planificación del estudio. Por lo tanto, es necesario disponer del tamaño del efecto, el nivel α deseado y el nivel de potencia (1- β) en el software [43].

Donde

- El tamaño de efecto: El software G*Power proporciona los valores de tamaño del efecto convencionales de 0.20, 0.50 y 0.80 para pequeños, medianos y grandes.
- El nivel α deseado es de 0.05.
- El nivel de potencia (1- β) en donde β es 0.20 para efectos grandes lo recomendable.

De este modo, una vez recopilados todos los datos previamente señalados, se procede a procesar en el software y se obtiene lo siguiente:

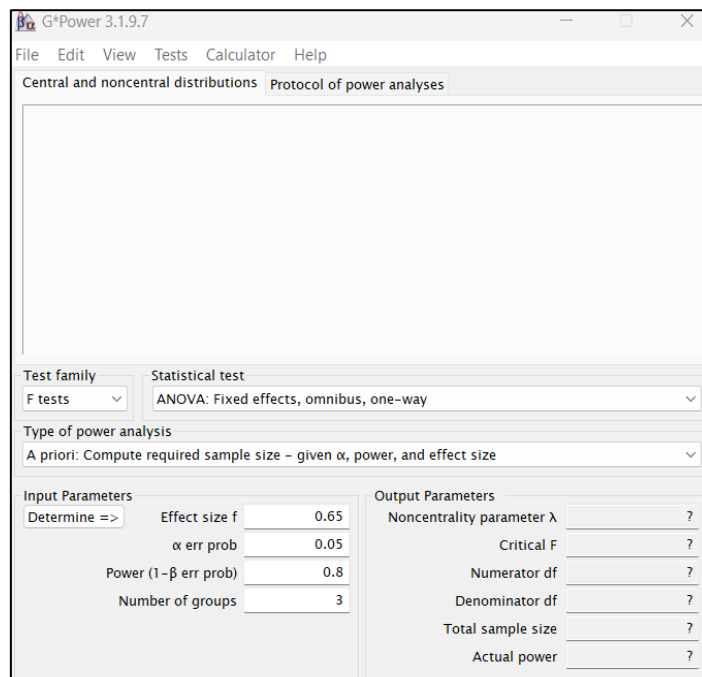


Fig. 20. Cálculo del programa G*POWER

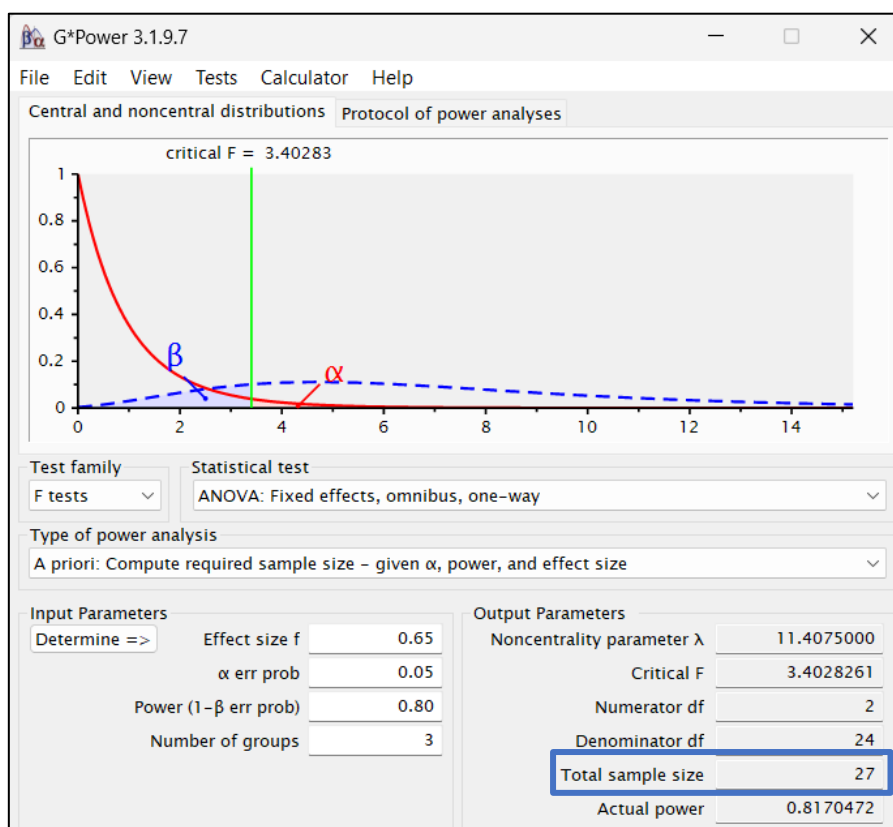


Fig. 21. Resultado del programa G*POWER

Número de grupos de porcentajes	3
Nº total de porcentajes	27

De acuerdo, con los antecedentes y sugerencias que emplearon los distintos autores se logró obtener los 27 porcentajes a evaluar, el cual se visualiza en los siguientes cuadros:

TABLA XII
Revisión de los antecedentes de la primera adición

ANTECEDENTES						
INVESTIGACIÓN	REF.	AUTOR(ES)	TITULO	ADITIVO	% MUESTRA	RESULTADOS
A	[1]	Dhakai et al.	Durability of clayey soil stabilized with calcium sulfoaluminate cement and polypropylene fiber under extreme environment.	Fibra de polipropileno	0.5% y 1.0%	Con la adición de las fibras en la mezcla, se observó que la gravedad específica disminuía. Asimismo, mostró una disminución en la MDD, pero mostró un efecto mínimo en el OMC. Al igual que la gravedad específica, la MDD y el OMC de las mezclas de suelo, CSAC y fibra están reguladas por el porcentaje de CSAC y fibra de polipropileno en la mezcla.
B	[2]	Sengul et al.	Investigating the effects of stabilization carried out using fly ash and polypropylene fiber on the properties of highway clay soils.	Fibra de polipropileno	0.5% y 1.0%	Cuando se examinaron los impactos de las fibras de polipropileno distribuidas aleatoriamente a una tasa de 0,5% en peso seco sobre la resistencia de la subrasante, no solo aumentan la resistencia al corte del suelo, sino que también evitan la rápida disminución de la capacidad de carga del suelo después de que se excede la resistencia al corte, reduciendo así las deformaciones que se producirán bajo altas tensiones.
C	[3]	Xiao et al.	Experimental studies on compressive and tensile strength of cement-stabilized soil reinforced with rice husks and polypropylene fibers.	Fibra de polipropileno	0.3%, 0.5% y 1.0%	La resistencia a la compresión y a la tracción del suelo estabilizado con cemento se mejoran con la fibra de polipropileno, presentan características de primero aumentar y luego disminuir. Asimismo, el rango de fortalecimiento más eficaz del contenido de fibra es de 0,3% a 0,5%.
D	[4]	Rajabi et al.	Effect of freezing soil temperatures on strength parameters of clayey sand soils stabilized by polypropylene and poly vinyl alcohol fibers.	Fibra de polipropileno	0.2%, 0.5%, 1.0% y 1.5%	En comparación con los efectos de los contenidos de fibra o de los FST, sus efectos simultáneos son más significativos en el aumento de la UCS, CBR, ductilidad y EM de las muestras de suelo, y todos alcanzan sus valores máximos con un contenido de fibra del 1,5 %. También en este caso, los parámetros mencionados son mayores para las muestras de suelo reforzadas con PVA en comparación con la fibra de PP.

E	[5]	Nitish Kumar Sharma	Utilization of fly ash, lime sludge and polypropylene fiber as stabilizers to enhance soil properties.	Fibra de polipropileno	0.25%, 0.5%, 0.75% y 1.0%	También se ha descubierto que los porcentajes de CBR y los parámetros de resistencia al corte varían con la adición de los aditivos. Además, se encuentra que el OMC está aumentando y el MDD está disminuyendo. Por otra parte, se ha descubierto que los valores CBR tanto de las muestras remojadas como de las no remojadas están aumentando, así como las inclusiones de fibras en el suelo estabilizado con cenizas volantes y lodos de cal tienen su valor óptimo en 0,5% para CBR y 0,75% para resistencia al corte.
F	[6]	Shah et al.	Evaluation of the role of fibres and admixture(s) on sustainable crack reduction in expansive soil.	Fibra de polipropileno	0.5%, 0.75%, 1.0%, 1.25% y 2.0%	La adición de fibras naturales (fibra de coco) y sintéticas (polipropileno) resultó en una reducción sustancial del área de grietas en el suelo S. El suelo con 1% de fibra de polipropileno produjo una reducción promedio de grietas de aproximadamente 51% (valor CSIF de 0,208 y valor CSIR de 0,489). Se observó que el rendimiento de las fibras de polipropileno fue mejor que las fibras de coco en la reducción de la intensidad de agrietamiento y contracción para el suelo S.
G	[7]	Huang et al.	A study on the shear strength and dry-wet cracking behaviour of waste fibre-reinforced expansive soil.	Fibra de polipropileno	0.1%, 0.3%, 0.5% y 0.7%	Después de mezclar aleatoriamente GF y PF con suelo expansivo, la fricción o fuerza de mordida entre las fibras y las partículas de suelo desempeña un papel determinado en la mejora de la resistencia al corte del suelo expansivo. cuando los contenidos de GF y PF es 0,5%, respectivamente, las resistencias al corte de los suelos expansivos reforzados con fibra alcanzan su punto máximo.
H	[8]	Elkhebu et al.	Effect of incorporating multifilament polypropylene fibers into alkaline activated fly ash soil mixtures.	Fibra de polipropileno	0.5%, 0.75%, 1.0% y 1.25%	El efecto de las fibras de PP sobre la resistencia a la tracción fue más pronunciado en la recuperación después de la primera grieta (resistencias residuales prolongadas). En otras palabras, el movimiento de las partículas cementadas se evitó debido al mecanismo de puenteo de las fibras de PP. Sin embargo, el proceso de activación alcalina dio como resultado los mayores valores de resistencia a la tracción antes de la primera grieta. Esto fue evidente cuando el contenido de fibra de PP superó el 0,75%.
I	[9]	S. Reehana y Muthukumar	Undrained response of fibre reinforced expansive soil subjected to cyclic loading.	Fibra de polipropileno	0.25%, 0.5%, 0.75% y 1.0%	Se observó que los valores máximos del módulo de corte aumentan con el aumento de la presión de confinamiento hasta un contenido de fibra límite del 0,5 %. Además, los resultados indican que, a medida que aumenta la presión de confinamiento, el módulo de corte normalizado también aumenta para un porcentaje dado de fibra.

TABLA XIII

Revisión de los antecedentes de la segunda adición

ANTECEDENTES						
INVESTIGACIÓN	REF.	AUTOR(ES)	TITULO	ADITIVO	% MUESTRA	RESULTADOS
A	[1]	Nasiri et al.	Estabilización sencilla pero rápida de arcilla utilizando un subproducto de desecho	Vinaza	3%, 6%, 9%, 12% y 15%	Las pruebas UCS de la arcilla estabilizada con ambos métodos de estabilización con el dunder al 15 % aumenta significativamente la resistencia de la arcilla. Los valores UCS de la arcilla estabilizada a los 28 días con un 15 % de dunder fueron 2,22 y 2,18 veces superiores a los de la arcilla no estabilizada curada durante periodos de curado similares con el método de precipitación y el método de pulverización, respectivamente
B	[2]	Noé Bardales y Julio Benites	Uso de Vinaza de Saccharum officinarum para estabilización de Suelos Cohesivos	Vinaza Saccharum Officinarum	10%, 15%, 20% y 25%	El CBR del suelo estabilizado con el 25% de aglomerante oscilan entre 11,8% y 15,8%, logrando determinar que el 25% de vinaza de Saccharum officinarum es el porcentaje óptimo para la estabilización de la trocha carrozable.
C	[3]	Jeffry Waldir, Cordova Rubin	Utilización de la vinaza de caña de azúcar para estabilizar suelos cohesivos, Huancayo	Vinaza	25%, 50% y 75%	Se analizó los resultados obtenidos y la muestra N°4, (75% de vinaza y 25% de agua), se observó que el índice de plasticidad disminuyó a 18.06% siendo un material arcilloso con plasticidad media, con un CBR de 10.3%, por tanto es una subrasante buena.
D	[4]	Alexander Castro Macalopu	Aplicación de residuos de melaza y vinaza como agentes estabilizantes en suelo cohesivo	Vinaza y Melaza	2.5%, 5.0%, 7.5% y 10%	La dosis óptima se obtiene con el 10% de vinaza, siendo este mayor a los mejores valores de CBR del análisis de la melaza y de la combinación de vinaza + melaza, consiguiendo una mejora del 70% de las propiedades mecánicas del suelo en CBR.
E	[5]	Miguel Vílchez y Kenny Sánchez	Comportamiento físico-mecánico de la subrasante, entre la vía Vinchamarca Grande - Virahuanca, al sustituir vinaza y adicionar cal viva, Moro – 2022	Vinaza	25%, 50% y 75%	El 25% (VN) llegó a mejorar las características mecánicas del CBR del suelo, pasando de un índice de CBR del 2.4% al 95% de su M.D.S. con un 0.1” de penetración a un índice de CBR del 54.6% del 95% de su M.D.S. con un 0.1” de penetración, en contraste con la subrasante del suelo natural.
F	[6]	Flor Bustamante Salazar	Estabilización de suelos cohesivos mediante incorporación de vinaza de Saccharum Officinarum, carretera Rayme km. 0+000 al km. 5+010, Cutervo, Cajamarca	Vinaza Saccharum Officinarum	10%, 15%, 20% y 25%	Al analizar los resultados de Proctor modificado y CBR del suelo estabilizado, se determinó que con la incorporación de los diferentes porcentajes de vinaza de Saccharum Officinarum el suelo mejora continuamente sus propiedades de resistencia, con el 10% tiene un CBR que oscila entre 9.3% - 9.1%, con el 15% oscila 11.3% -11.5%, con el 20% tiene como valor mínimo 13.5% y máximo 12.9%, finalmente con el 25% tiene valores de 15.8 % hasta 14.2%.
G	[7]	Victor Corbera Cadena y Daniel Palomino	Efectos de la incorporación de vinaza en la estabilización de los suelos cohesivos para una subrasante en la Ciudad de Sullana, 2023	Vinaza	30%, 45%, 60%, 75% y 90%	Al evaluar la capacidad de soporte del suelo con la incorporación de 60% de vinaza para una subrasante en la ciudad de Sullana, se demostró un aumento en la máxima densidad seca, con un valor de 1.853 g/cm ³ (punto cúspide o punto de inflexión de la curva de compactación), que al lograrse da como resultado la expansión del suelo y el índice de CBR empieza a disminuir y aumentar respectivamente, siendo los valores 0.3% y 29.7%, catalogándose el índice de CBR de una subrasante.

Luego de encontrar los porcentajes requeridos de las averiguaciones realizadas, se procede a seleccionar por criterio los que han tenido resultados favorables eligiendo 03 por cada agente estabilizador. Asimismo, para las fibras de polipropileno se usan 0.75%, 1.00% y 1.50%, ya que el primero aumenta el parámetro de resistencia al corte, OMC y CBR, mientras que la MDD disminuye. Por otro lado, con el 1.00% se produjo una reducción promedio de la intensidad de agrietamiento-contracción, disminuye la gravedad específica, la MDD y tiene un efecto mínimo en el OMC. Sin embargo, el 1.50% incrementa el UCS, CBR, ductilidad y EM de las muestras de suelo.

En la vinaza usará 15.00%, 25.00% y 60.00%, el porcentaje inicial aumenta significativamente la resistencia de la arcilla, debido a que fue 2.22 y 2.18 veces superiores a la arcilla no estabilizada. En cuanto, al 25.00% mejora el índice de CBR del 2.40% al 54.60% en su MDD a comparación del suelo natural. Por último, el 60.00% demostró un aumento en la MDD de 1.853 g/cm³ y tiene un índice de CBR del 29.70% en la subrasante.

TABLA XIV

Resultados de los porcentajes seleccionados

Porcentajes			
Fibras de Polipropileno	0.75%	1.00%	1.50%
Vinaza	15.00%	25.00%	60.00%

También se procede a realizar un análisis estadístico para el numero de ensayos el cual se realizó por el programa el programa G*Power 3.1.9.7 para obtener la cantidad del número de ensayos que se va a evaluar. Es así que se utilizó el análisis de varianza unidireccional (ANOVA) es una prueba estadística que compara las medias de tres o más muestras [42]. Después de ello, se selecciona el análisis A priori, que calcula el tamaño muestral que se realiza antes de la etapa de diseño y planificación del estudio [43].

Donde

- El tamaño del efecto: El software G*Power proporciona los valores de tamaño del efecto convencionales de 0.20, 0.50 y 0.80 para pequeños, medianos y grandes.
- El nivel α deseado es de 0.05.
- El nivel de potencia (1- β) en donde β es 0.20 para efectos grandes lo recomendable.

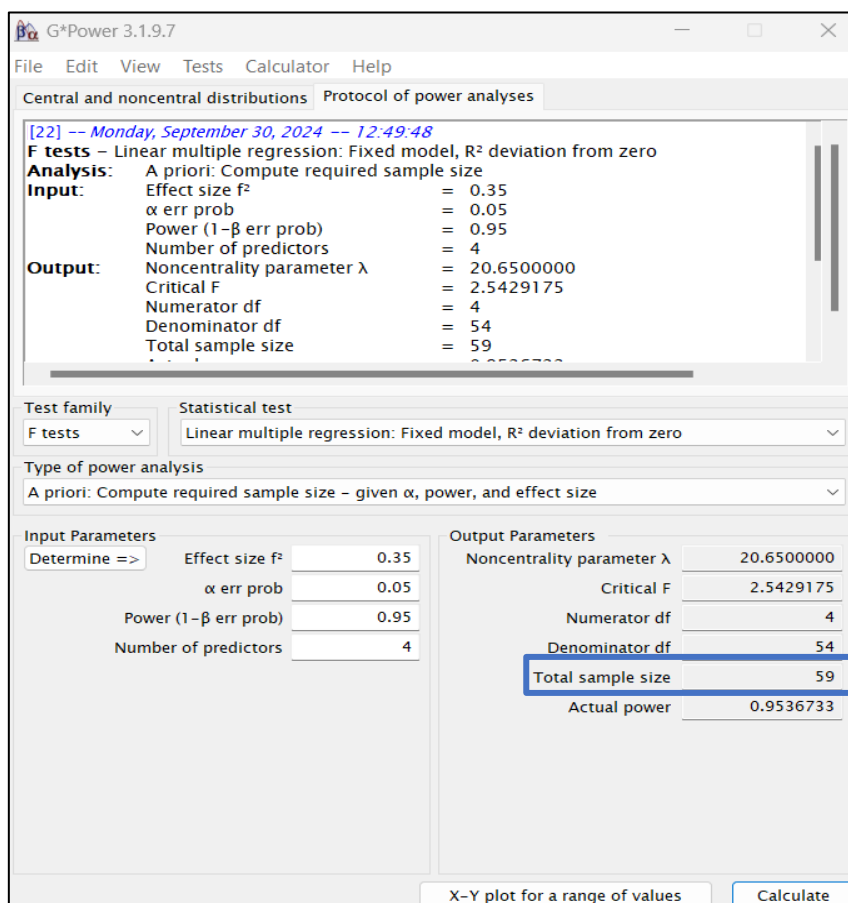


Fig. 22. Resultados del programa G*POWER para los ensayos

Número de grupos de porcentajes	4
Total de ensayos a evaluar	59

Asimismo, se estableció el número de repeticiones para los siguientes ensayos por el software G*POWER, ya que son necesarios en la clasificación de su estado natural y para determinar las alteraciones del suelo.

TABLA XV

Muestras del suelo con adición

MUESTRAS	
M – 1	S.N
M – 2	S.N + 0.75% PP + 15.00% VN
M – 3	S.N + 1.00% PP + 25.00% VN
M – 4	S.N + 1.50% PP + 60.00% VN

TABLA XVI

Número de ensayos para (C – 01)

C-01				
P. FÍSICAS	Granulometría	M-1	1	4
	Límites de Atterbeg	M-1	1	
	Contenido de humedad	M-1	1	
	Gravedad específica	M-1	1	
P. MECÁNICAS	Límites de Atterberg	M-1	1	3
		M-2	1	
		M-3	1	
	Proctor modificado	M-1	3	12
		M-2	3	
		M-3	3	
		M-4	3	
	CBR	M-1	10	40
		M-2	10	
		M-3	10	
		M-4	10	
				TOTAL

TABLA XVII

Número de ensayos para (C – 02)

C-02				
P. FÍSICAS	Granulometría	M-1	1	4
	Límites de Atterbeg	M-1	1	
	Contenido de humedad	M-1	1	
	Gravedad específica	M-1	1	
P. MECÁNICAS	Límites de Atterberg	M-1	1	3
		M-2	1	
		M-3	1	
	Proctor modificado	M-1	3	12
		M-2	3	
		M-3	3	
		M-4	3	
	CBR	M-1	10	40
		M-2	10	
		M-3	10	
		M-4	10	
				TOTAL

TABLA XVIII

Número de ensayos para (C – 03)

C-03				
P. FÍSICAS	Granulometría	M-1	1	4
	Límites de Atterbeg	M-1	1	
	Contenido de humedad	M-1	1	
	Gravedad específica	M-1	1	
P. MECÁNICAS	Límites de Atterberg	M-1	1	3
		M-2	1	
		M-3	1	
	Proctor modificado	M-1	3	12
		M-2	3	
		M-3	3	
		M-4	3	
	CBR	M-1	10	40
		M-2	10	
		M-3	10	
		M-4	10	
				TOTAL

TABLA XIX

Número total de ensayos

	Nº Calicatas	Nº Ensayos	Total
P. FÍSICAS Y MECÁNICAS	C-01	59	177
	C-02	59	
	C-03	59	

Hipótesis

La incorporación de las fibras de polipropileno con vinaza mejora la estabilización de los suelos arcillosos para una subrasante.

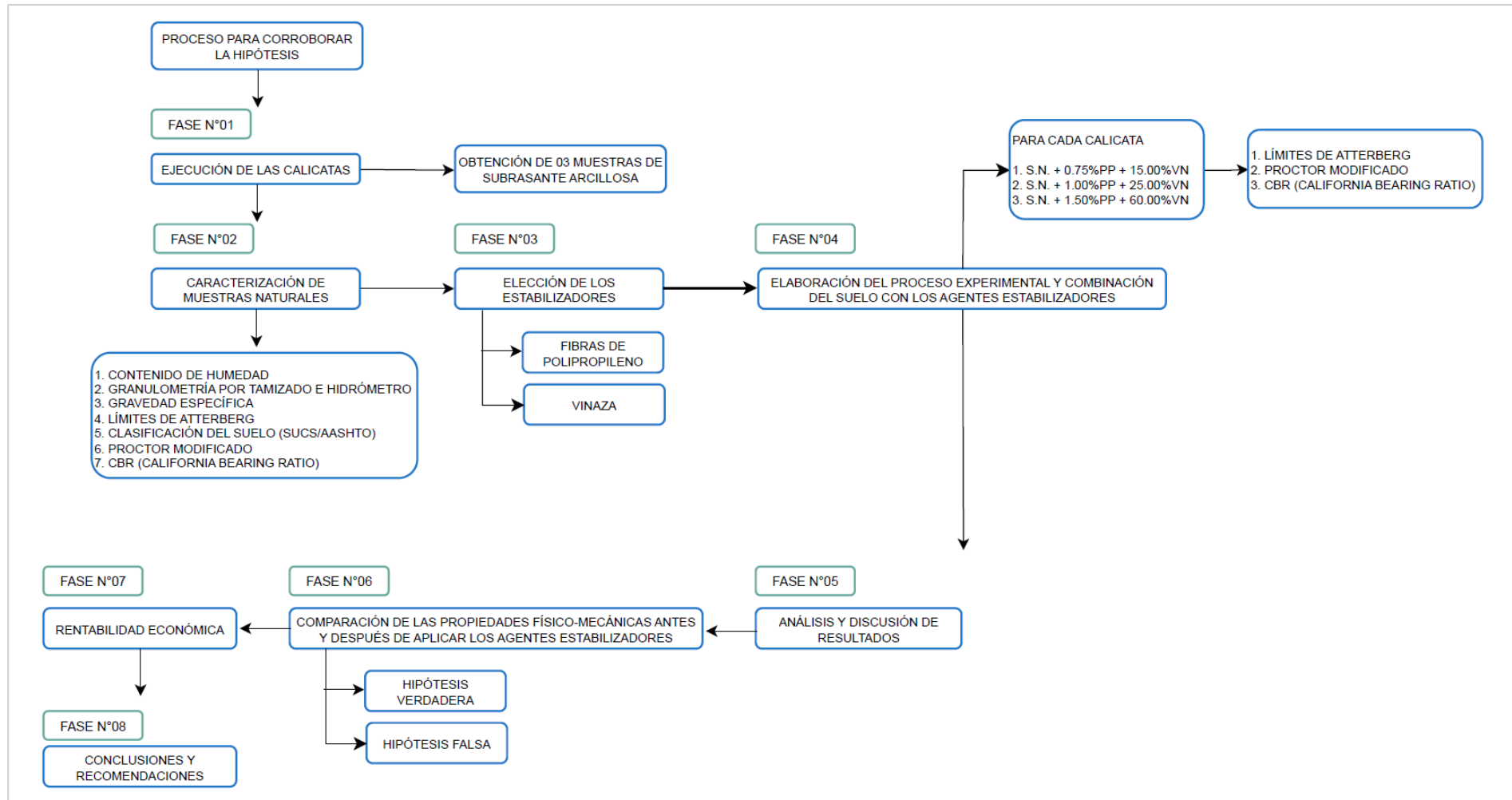


Fig. 23. Proceso de demostración de hipótesis

Variables y Operacionalización

Variables

- V. independiente:
 - Fibras de Polipropileno
 - Vinaza
- V. dependiente:
 - Estabilización de suelos arcillosos

Operacionalización

TABLA XX

Operacionalización de variable

	VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO DE MEDICIÓN (INSTRUMENTO, ENSAYO, NTP)
VARIABLE INDEPENDIENTE	Incorporación de Fibras de polipropileno y Vinaza	Dosificación de Fibras de polipropileno	0.75%, 1.00% y 1.50%	%	Balanza calibrada o cualquier elemento de medición de masa
		Dosificación de Vinaza	15.00%, 25.00% y 60.00%		
VARIABLE DEPENDIENTE	Estabilización de suelos arcillosos	Propiedades físicas	Contenido de humedad	%	Ensayo de contenido de humedad (NTP 339.127)
			Granulometría por tamizado e hidrómetro		Ensayo para el análisis granulométrico (NTP 339.128)
			Gravedad específica		Ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo (NTP 339.131)
			Límite líquido		Ensayo para determinar el límite líquido, plástico e índice de plasticidad de suelos (NTP 339.129)
			Límite plástico		
		Tipos de suelos	SUCS y AASHTO	Método para la clasificación de los suelos	
		Propiedades mecánicas	Máxima densidad seca	g/cm ³	Ensayo de proctor modificado (NTP 339.141)
			Óptimo contenido de humedad	%	
Capacidad resistente o de soporte	%		Ensayo CBR (NTP 339.145)		

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

La recopilación se llevará a cabo mediante el desarrollo experimental que se ejecutará a través de los ensayos de laboratorio con la guía de la NTP. Asimismo, el registro de información se realizará en base a los procedimientos estandarizados por el MTC.

TABLA XXI

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas	Instrumentos	Aplicación
Desarrollo Experimental	Hojas de registro	Ensayos de Laboratorio
Análisis de documentos	Fichas de registro	Fuentes primarias y secundarias de información

Instrumentos

Consiste en la evaluación e interpretación de los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio, empleando lo siguiente:

- Hojas de cálculo (Excel)
- Gráficas
- Cuadros comparativos

Análisis de datos

Se emplearán hojas de cálculo, ya que esta herramienta nos permitirá estructurar los formatos necesarios para el registro de los datos obtenidos en los ensayos que se realizaron y facilitará la presentación de los resultados mediante el uso de gráficos dinámicos, histogramas y diagramas lo que ayudará en la comprensión de los datos.

Procedimiento

Lugar de estudio

La zona está ubicada en Av. Colectora del distrito de La Victoria. Por lo cual, se muestra un mapa geotécnico en donde se identifican los suelos expansivos según la capacidad portante de cada sector.

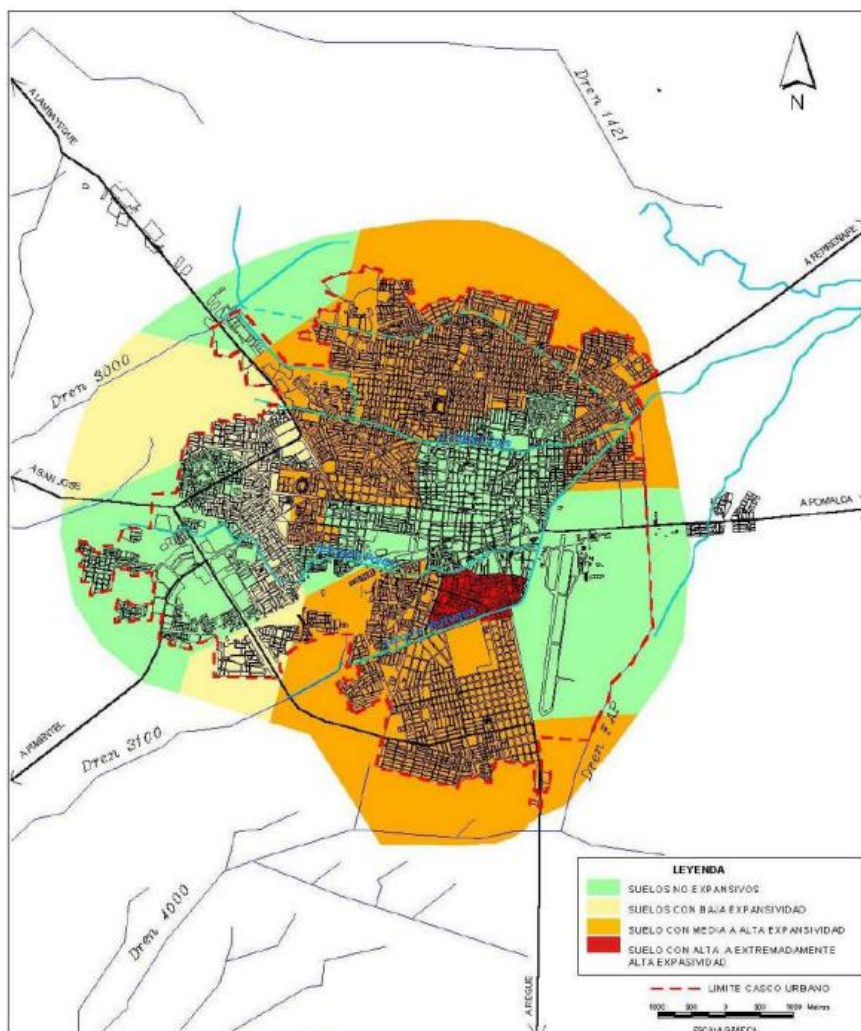


Fig. 24. Mapa Geotécnico [8].

Realización de las calicatas

Para iniciar este estudio y realizar los puntos de muestreo, primero se efectuó un recorrido a la zona y durante esta inspección se evaluó el suelo, a su vez se identificaron posibles indicios de arcillas. Luego, se realizó una recopilación de la literatura en torno la ciudad y área específica seleccionada, cuyo enfoque es en el tipo de suelo y las dificultades que presenta este material. Asimismo, con el mapa de riesgos de INDECI, se decidió ubicar los puntos de muestreo en los sectores cercanos que presentan arcillas.

La extracción en las tres calicatas se realizó manualmente a una profundidad de 1.50m, por lo cual se retiró los 0.10m superiores para evitar material orgánico. Además, las muestras extraídas fueron resguardadas, etiquetadas y enviadas al laboratorio para analizarlas. Para este caso, se escogió la Av. Colectora siendo uno de los lugares más desfavorables.

Área seleccionada para las calicatas

IV	Urb. Santa Victoria, Federico Villareal, Café Perú, Santa Angela, Parque Zonal, C.E. Salaverry, Sta. Victoria, San Eduardo, Carlos Cabrejos Falla, Ana de los Angeles, Villa El Salvador, Sta. Angela, Nazareno, H. Unanue, Divino Maestro, Corazón de Jesús, Carmen Angélica, Los Jardines de Santa Rosa, La Florida, El Amauta, Los Jazmines, Los Pinos de Plata, V. R. Haya de la Torre, Sta. Margarita y parte del A.H. La Victoria.	Arcillas de media y alta plasticidad del tipo (CL, CH, CL-ML) y en pequeñas proporciones arenas del tipo (SC, SM y SP).	Muy Blando a Medio: 3.5 m. < C-1 < 4.5 m. Semiduro: 4.5 m. < C-4 < 5.5 m. Duro a Rígido: 5.5 m. < C-5 < 10.0 m.	Suelos fino de expansibilidad alta a extremadamente alta, con cambio de volumen moderado a severo.
----	--	---	---	--

Fig. 25. Tipo de suelo del sector IV [8]






Fig. 26. Ubicación de calicatas por vía satelital

En las calicatas se encontraron que las muestras presentaban alteraciones debido a la condición cohesiva del grano fino de los estratos en distintas proporciones. Asimismo, para el muestreo de los suelos se registraron los estratos hallados en las tres calicatas, al igual que las propiedades más relevantes de cada una: color, humedad, localización, plasticidad, entre otras. Cabe señalar, que todas las muestras fueron clasificadas y seleccionadas conforme a la NTP 339.150, además no tienen nivel freático o agua en las calicatas.

TABLA XXII

Georreferenciación de las calicatas

Calicatas	Coordenada (UTM WDS84 - 17M)		
C-01	627108.00 m E	9248583.00 m S	
C-02	627033.00 m E	9248816.00 m S	
C-03	626954.00 m E	9249056.00 m S	

Después de ello, se han elaborado los perfiles estratigráficos para las tres calicatas, en donde se describen las propiedades del suelo.

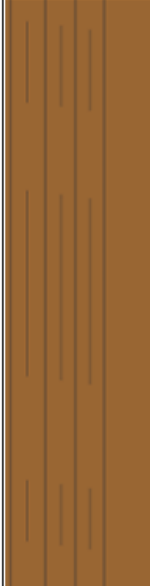
TABLA XXIII
Descripción de estratos (C – 01)

PERFIL ESTRATIGRÁFICO				
CALICATA 01				
TESIS:	"INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO CON VINAZA EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PARA UNA SUBRASANTE"			
SOLICITANTE:	SAAVEDRA VASQUEZ KIARA DALESHKA			
UBICACIÓN:	AV. COLECTORA – DISTRITO LA VICTORIA – PROVINCIA CHICLAYO			
NIVEL FREÁTICO:	NO SE ENCONTRÓ EN LA PROFUNDIDAD DE LA EXCAVACIÓN			
TIPO DE EXCAVACIÓN:	MANUAL			
COORDENADAS:	E = 627108.00 M N = 9248816.00 M			
PROFUNDIDAD	TIPO DE EXCAVACIÓN	ESTRATO	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
0.10 m	A CIELO ABIERTO		Relleno	Material de relleno con materia orgánica
0.20 m			CL A – 7 – 6 (12)	Arcilla arenosa de baja plasticidad Límite líquido : 46.88% Límite plástico : 22.35% Índice de plasticidad : 24.54% Humedad natural : 16.51%
0.30 m				
0.40 m				
0.50 m				
0.60 m				
0.70 m				
0.80 m				
0.90 m				
1.00 m				
1.10 m				
1.20 m				
1.30 m				
1.40 m				
1.50 m				

TABLA XXIV
 Descripción de estratos (C – 02)

PERFIL ESTRATIGRÁFICO				
CALICATA 02				
TESIS:	"INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO CON VINAZA EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PARA UNA SUBRASANTE"			
SOLICITANTE:	SAAVEDRA VASQUEZ KIARA DALESHKA			
UBICACIÓN:	AV. COLECTORA – DISTRITO LA VICTORIA – PROVINCIA CHICLAYO			
NIVEL FREÁTICO:	NO SE ENCONTRÓ EN LA PROFUNDIDAD DE LA EXCAVACIÓN			
TIPO DE EXCAVACIÓN:	MANUAL			
COORDENADAS:	E = 627033.00 M N = 9248583.00 M			
PROFUNDIDAD	TIPO DE EXCAVACIÓN	ESTRATO	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
0.10 m	A CIELO ABIERTO		Relleno	Material de relleno con materia orgánica
0.20 m			CL A – 7 – 6 (11)	Arcilla de baja plasticidad con arena Limite liquido : 41.55% Limite plástico : 22.84% Índice de plasticidad : 18.71% Humedad natural : 15.80%
0.30 m				
0.40 m				
0.50 m				
0.60 m				
0.70 m				
0.80 m				
0.90 m				
1.00 m				
1.10 m				
1.20 m				
1.30 m				
1.40 m				
1.50 m				

TABLA XXV
Descripción de estratos (C – 03)

PERFIL ESTRATIGRÁFICO					
CALICATA 03					
TESIS:	"INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO CON VINAZA EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PARA UNA SUBRASANTE"				
SOLICITANTE:	SAAVEDRA VASQUEZ KIARA DALESHKA				
UBICACIÓN:	AV. COLECTORA – DISTRITO LA VICTORIA – PROVINCIA CHICLAYO				
NIVEL FREÁTICO:	NO SE ENCONTRÓ EN LA PROFUNDIDAD DE LA EXCAVACIÓN				
TIPO DE EXCAVACIÓN:	MANUAL				
COORDENADAS:	E = 626954.00 M N = 9249056.00 M				
PROFUNDIDAD	TIPO DE EXCAVACIÓN	ESTRATO	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	
0.10 m	A CIELO ABIERTO		Relleno	Material de relleno con materia orgánica	
0.20 m			CL A – 7 – 6 (13)	Arcilla de baja plasticidad con arena	Limite líquido : 42.96%
0.30 m					Limite plástico : 23.67%
0.40 m					Índice de plasticidad : 19.29%
0.50 m					Humedad natural : 16.71%
0.60 m					
0.70 m					
0.80 m					
0.90 m					
1.00 m					
1.10 m					
1.20 m					
1.30 m					
1.40 m					
1.50 m					

Con las muestras de suelos arcillosos ya recolectadas, se aplicaron las pruebas necesarias para la evaluar sus propiedades y reunir los datos más relevantes para esta investigación.

Obtención de los agentes estabilizadores

Fibras de Polipropileno

Se adquirió el producto mediante previo aviso con la empresa SIKA CENTER, PAMER PERÚ con RUC: 20448121691, ubicada en la Av. Tomás Marsano, Surquillo-Lima. Cabe mencionar que, las propiedades y espesor están establecidas en la ficha técnica brindada por el proveedor. Asimismo, la entrega se realiza 2 o 3 días después de la compra.



Fig. 27. Ubicación de la empresa Sika Center



Fig. 28. Muestra de Fibra de Polipropileno

Vinaza

La muestra fue proporcionada como parte de la investigación por la empresa CAÑA BRAVA con RUC: 20525538738, ubicada en el distrito Tamarindo Km-5, Sullana. Para su transporte del insumo se debe utilizar envases adecuados evitando cualquier contaminación, separado de otros productos en caso de derrames. Además, para garantizar que la cantidad sea suficiente al mezclarse con el suelo se trasladó un galón de 20 litros.



Fig. 29. Ubicación de la empresa Sucroalcolera del Chira S.A.



Fig. 30. Muestra de la vinaza

Análisis granulométrico

Conforme al lineamiento del MTC E-107, se procedió al cuarteo de una cantidad determinada de muestra con el propósito de obtener 500gr de suelo. Asimismo, para separar las partículas finas, se optó por el método de lavado utilizando el tamiz N°200. Posterior a ello, la fracción retenida se dejó secar cerca de 24h a fin de eliminar humedad y obtener su peso deshidratado. Luego, se organizó una serie de tamices compuesta por los números 4, 10, 20, 40, 50, 100 y 200, anotando el peso acumulado en cada parte. Para finalizar, se comprueba que la suma total del material retenido corresponda al peso inicial de la muestra.



Fig. 31. Procedimiento del tamizado



Fig. 32. Muestra del peso retenido en el tamiz

Análisis granulométrico por hidrometría

De acuerdo al MTC E-109, se procede a seleccionar la muestra que se va a analizar y se esparce en agua destilada con un agente dispersante para separar las partículas finas. Seguido a ello, se transfiere a un cilindro con capacidad de 1000 ml y se agita fuertemente para garantizar una dispersión homogénea de las partículas, luego se deja reposar para que se sedimenten bajo la influencia de la gravedad. Asimismo, se inserta con cuidado un hidrómetro y se toman lecturas que indican la densidad de la suspensión a diferentes profundidades. Por último, se aplican correcciones a las lecturas del hidrómetro para tener en cuenta la temperatura.



Fig. 33. Preparación de muestras



Fig. 34. Medición de la temperatura con el hidrómetro

Gravedad específica

Según el MTC E-105, se determina el peso del picnómetro seco y limpio, luego se le adiciona agua purificada hasta llegar a la línea marcada. Después, el material se filtra por la malla N°4 y se obtiene 50g de suelo, los cuales fueron dispersados en 80ml de agua. Esta mezcla se vertió al picnómetro con ayuda de un embudo, luego se agrega más agua y se lleva a ebullición para remover el aire confinado de la muestra, asimismo se procedió a pesar cada uno.



Fig. 35. Se pesa el picnómetro y pasa por el tamiz N°04



Fig. 36. Se vierte la muestra y enrasa el agua un tercio

Contenido de humedad

Siguiendo lo indicado en el MTC E-108, se expresa como la fracción de masa del agua y sólidos. En cuanto, al proceso se inicia con el cuarteo, que consiste en dividir la muestra original en fracciones iguales para obtener muestras representativas. Luego, estas porciones se colocan en taras, registrando el peso del recipiente tanto vacío como con material, posterior a ello las taras con las porciones se introducen al horno a 110°C durante 24h, transcurrido ese tiempo se extraen y enfrían, por último, se anota el peso.



Fig. 37. Pesaje de las muestras



Fig. 38. Colocación del material húmedo

Límite líquido

Conforme a lo estipulado en el MTC E-110, esta prueba se fundamenta en saturar una porción de suelo durante 24h. Luego, empleando la cuchara Casagrande se realiza una hendidura en el centro de la muestra alcanzando una profundidad de 13mm. Seguidamente, se gira la manivela contando la cantidad de golpes hasta que cierre por completo, los golpes se agrupan de: 30 a 40, 20 a 30, 10 a 20 y 4 a 10. En caso de no cerrar la muestra, se añade más agua y se repite el proceso con enfoque en los 20 a 30 golpes, por lo cual la muestra se transfiere a una tara y se introduce al horno y tras enfriarse se anotan.



Fig. 39. Realización del ensayo sin y con adición



Fig. 40. Muestra seca del límite líquido

Límite plástico e índice de plasticidad

Siguiendo los procedimientos del MTC E-111, se elaborarán cilindros con 3mm de la muestra del suelo. Al igual que, en el ensayo anterior se colocan en un horno a 110°C durante 24h y así poder determinar su humedad. Por último, se calcula el IP que es la diferencia de ambos límites.



Fig. 41. Muestra húmeda y seca



Fig. 42. Se extrae la muestra del horno y luego se pesa

Ensayo de proctor modificado

En correspondencia al MTC E-115, se debe pasar la muestra por el tamiz N°4 y luego preparar al menos 04 puntos para elaborar la curva de compactación. Luego, se van a seleccionar los porcentajes adecuados y mezclar el material en una bandeja amplia hasta que la mezcla sea homogénea, es así que se divide en cinco capas para ser compactadas en 25 golpes cada capa. Por tanto, se toma una parte para determinar la cantidad de agua y se enrasa a nivel del molde para pesarlo.



Fig. 43. Peso de muestra para humedad



Fig. 44. Mezclado, enrasado y compactación para ensayo de Proctor Modificado

Ensayo de CBR suelos (laboratorio)

De acuerdo con el MTC E 132, el proceso inicia con la determinación de la humedad mediante el secado en horno y luego se prepara la muestra con distintos contenidos de agua. Seguido a ello, se compacta la muestra con 5000g aplicando tres niveles de energía con 56, 25 y 12 golpes por capa, al terminar se enrasa a nivel y se coloca papel filtro en la base para anotar el peso. Por otra parte, en la inmersión se deja sumergida por 4 días y se retira el molde, luego se pesa y se lleva a cabo la penetración anotando las lecturas según el tiempo dado.



Fig. 45. Pesaje de molde, compactación y peso de muestra compactada



Fig. 46. Inmersión del espécimen, peso de muestra saturada y penetración de CBR

Resultados y Discusión

Resultados

Este apartado, expone los apuntes recopilados del laboratorio de las muestras arcillosas que son recolectadas en Av. Colectora del distrito de La Victoria. Por lo cual, se evaluó el material en su estado natural y adicionando fibras de polipropileno con vinaza, siguiendo las dosificaciones y gradaciones detalladas previamente. Del mismo modo, se efectuaron ensayos para precisar el contenido de humedad, granulometría por tamizado e hidrometría, gravedad específica y límites de Atterberg, con el propósito de identificar y clasificar el suelo conforme a los métodos SUCS y AASHTO. Asimismo, se ejecutaron las pruebas de proctor modificado y CBR que analizan el efecto de estos aditivos en las propiedades mecánicas.

Ensayos físicos – Muestras naturales

Contenido de humedad – MTC E 108:

Esta prueba determina la proporción de masa del agua y sólidos.

TABLA XXVI

Humedad natural según calicata

Calicata	Muestra	Prof. (m)	Humedad
C - 01	M - 01	0.10 - 1.50	16.47%
C - 02	M - 02	0.10 - 1.50	15.80%
C - 03	M - 03	0.10 - 1.50	16.71%

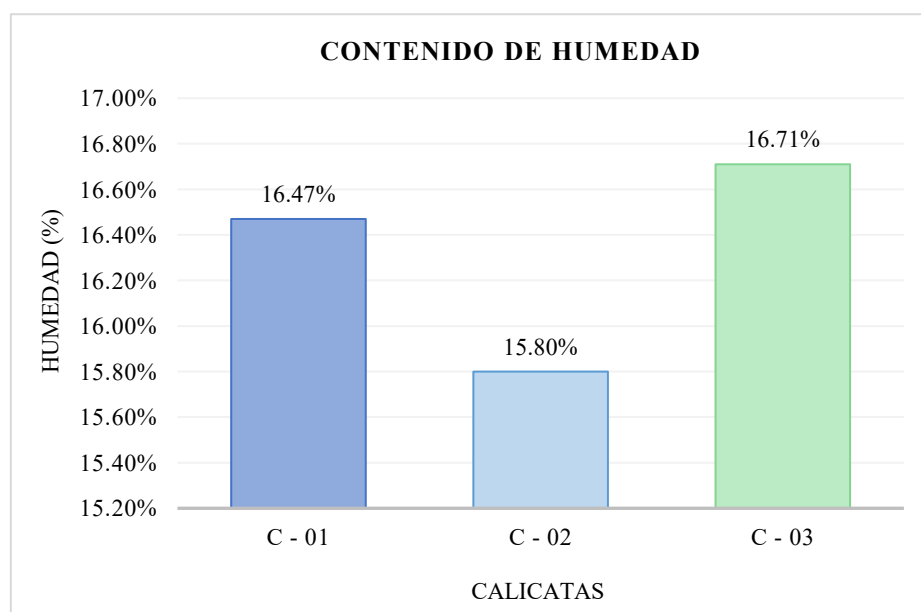


Fig. 47. Humedad natural

Granulometría por tamizado – MTC E 107:

Con el propósito de caracterizar el suelo natural se utilizaron muestras recolectadas de tres calicatas. Por tanto, el análisis permitió identificar las partículas de arena, limo y arcilla, en proporciones específicas por cada una.

TABLA XXVII

Granulometría por tamizado

Calicata	Muestra	Grava (%)	Arena (%)	Limo/Arcilla (%)
C – 01	M – 01	0.00%	37.90%	62.10%
C – 02	M – 02	0.00%	29.50%	70.50%
C – 03	M – 03	0.00%	16.00%	84.00%

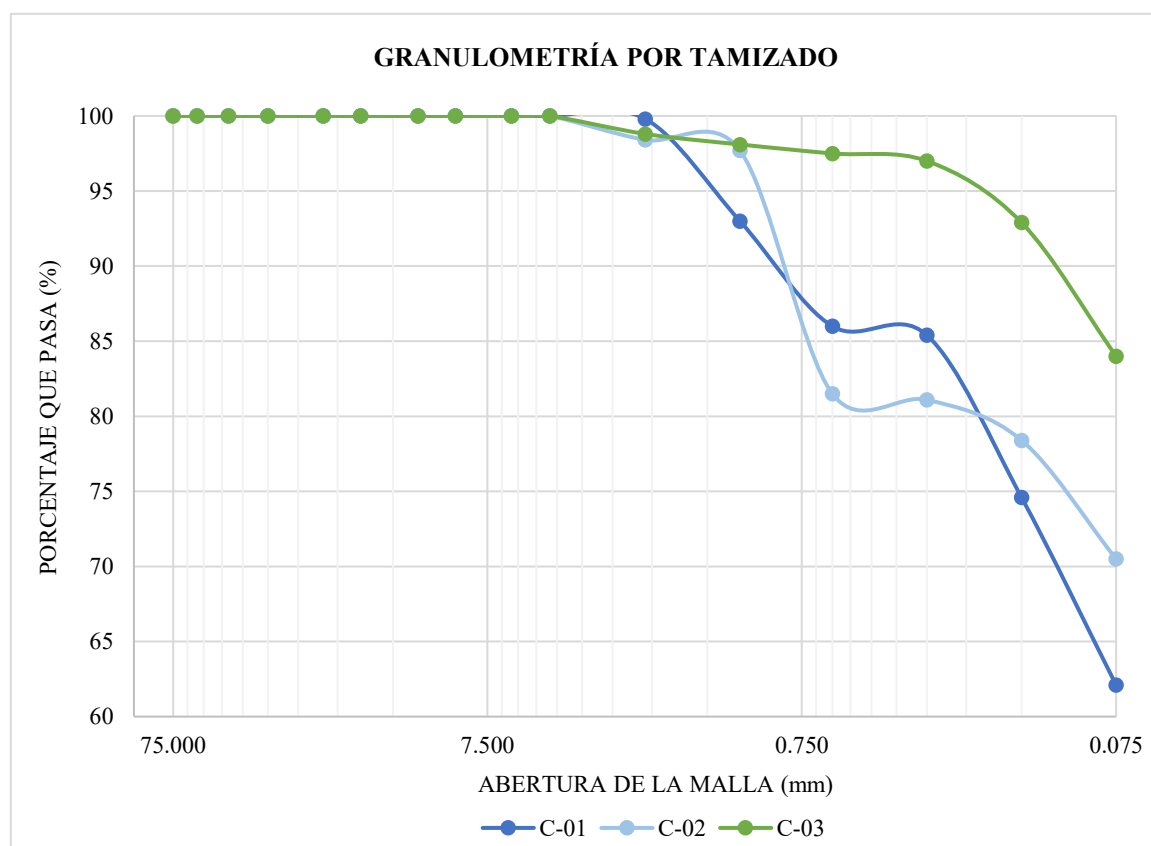


Fig. 48. Curva granulométrica por tamizado

Granulometría por hidrometría – MTC E 109:

Este ensayo se aplicó con el objetivo de analizar la clasificación de las fracciones finas que pasan a través del tamiz N°200, y de este modo calcular el porcentaje pasante con sus diámetros específicos.

TABLA XXVIII
Granulometría por hidrómetro

C – 01		C – 02		C – 03	
D (mm)	% pasante	D (mm)	% pasante	D (mm)	% pasante
0.0383	59.73	0.0369	68.05	0.0369	66.94
0.0276	55.33	0.0266	62.83	0.0266	61.80
0.0199	51.08	0.0188	62.83	0.0188	61.80
0.0144	47.00	0.0136	57.81	0.0136	56.87
0.0109	39.34	0.0103	48.38	0.0103	47.59
0.0079	32.32	0.0076	35.74	0.0076	35.16
0.0057	29.06	0.0055	31.93	0.0055	31.41
0.0041	25.96	0.0039	28.32	0.0039	27.86
0.0029	25.96	0.0028	24.91	0.0028	24.50
0.0024	23.03	0.0023	21.70	0.0023	21.35
0.0017	20.25	0.0017	15.89	0.0017	18.39
0.0013	12.92	0.0012	13.29	0.0012	13.07

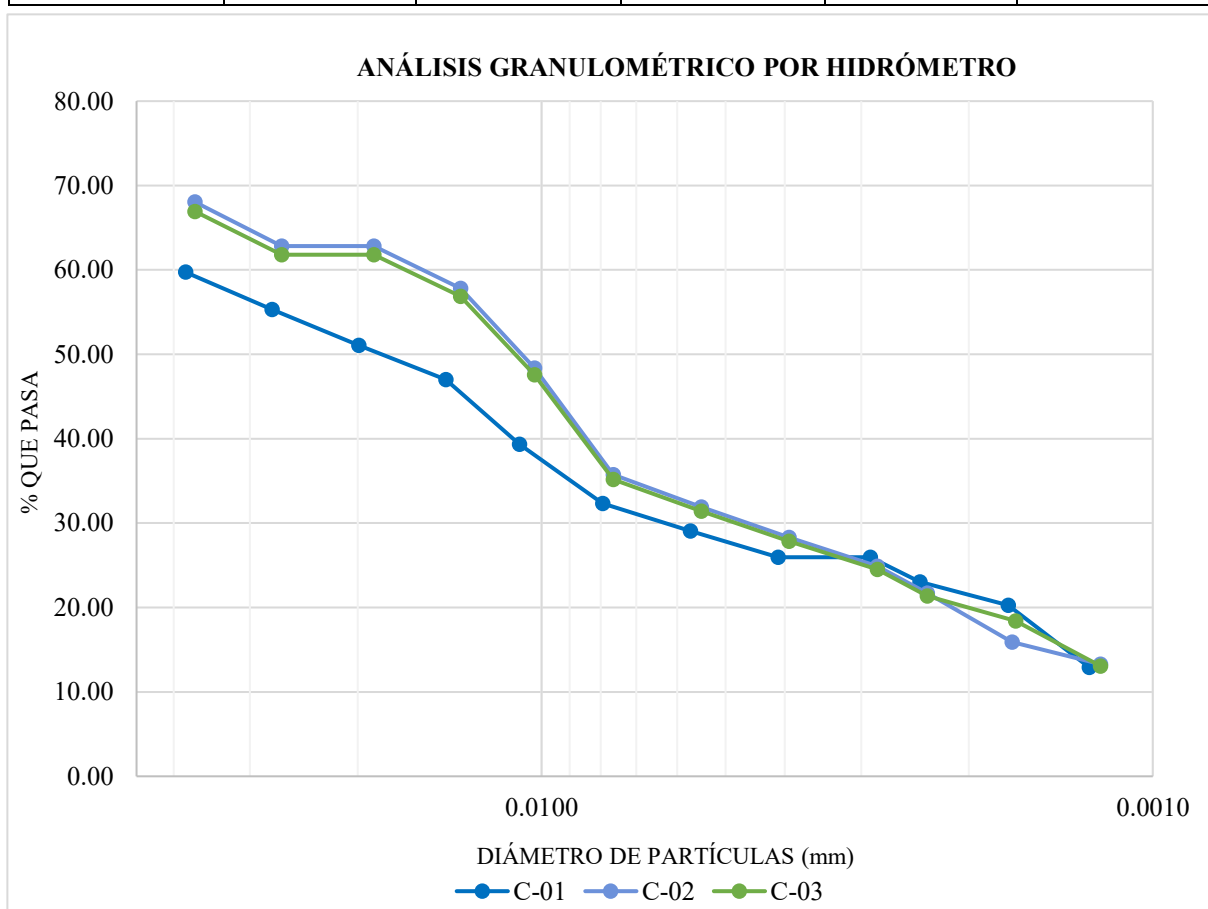


Fig. 49. Curva granulométrica del hidrómetro

Límites de consistencia – MTC E 110 / MTC E 111:

Representan los valores críticos de humedad que marcan la transición del suelo entre diferentes estados de consistencia.

TABLA XXIX

Límites de consistencia

Calicata	Profund. (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C - 01	0.10 – 1.50	46.88	22.35	24.54
C - 02	0.10 – 1.50	41.55	22.84	18.71
C - 03	0.10 – 1.50	42.96	23.67	19.29

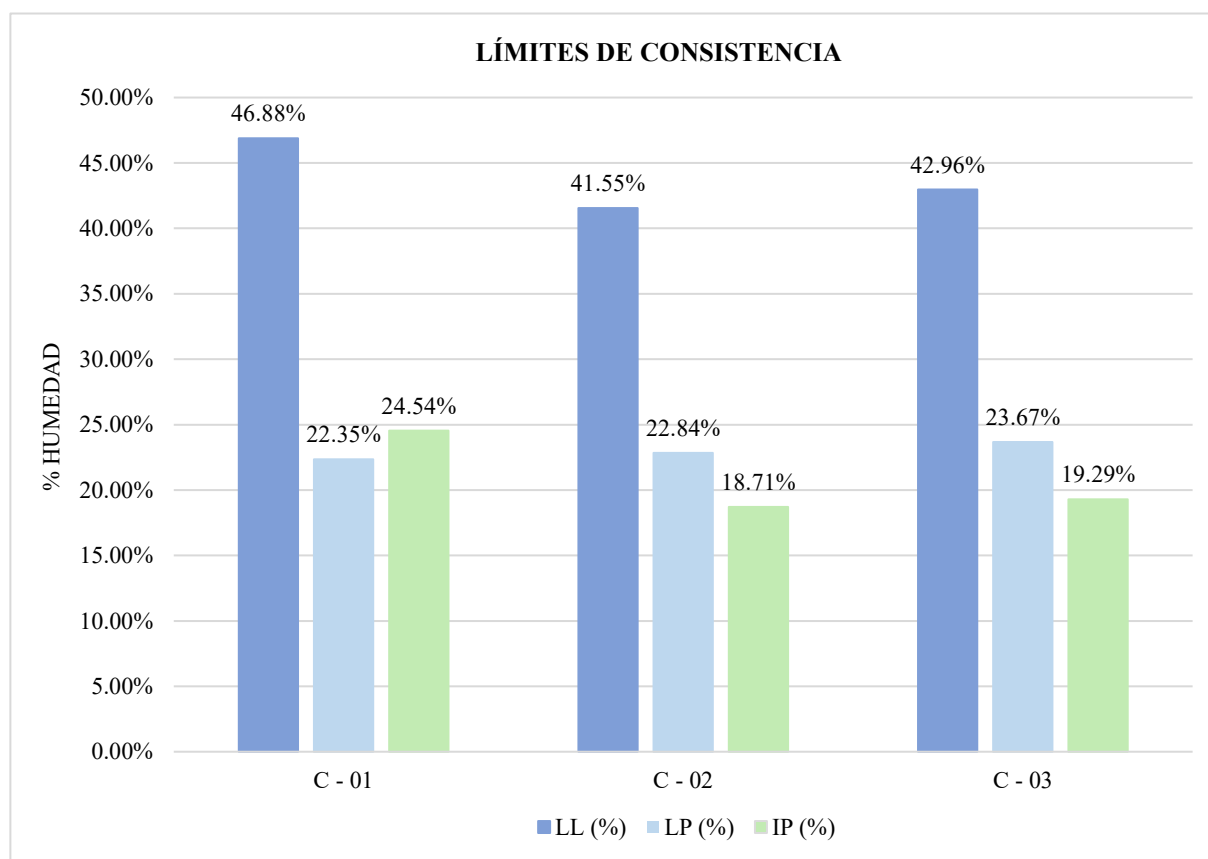


Fig. 50. Límites de consistencia – natural

Clasificación del suelo:

Con base en los resultados de los ensayos, se procedió a realizar la clasificación las muestras de suelo natural según los métodos SUCS y AASHTO.

TABLA XXX

Resultados de la clasificación SUCS – AASHTO

Calicata	Prof. (m)	SUCS	AASHTO
C – 01	0.10 – 1.50	CL	A-7-6 (12)
C – 02	0.10 – 1.50	CL	A-7-6 (11)
C – 03	0.10 – 1.50	CL	A-7-6 (13)

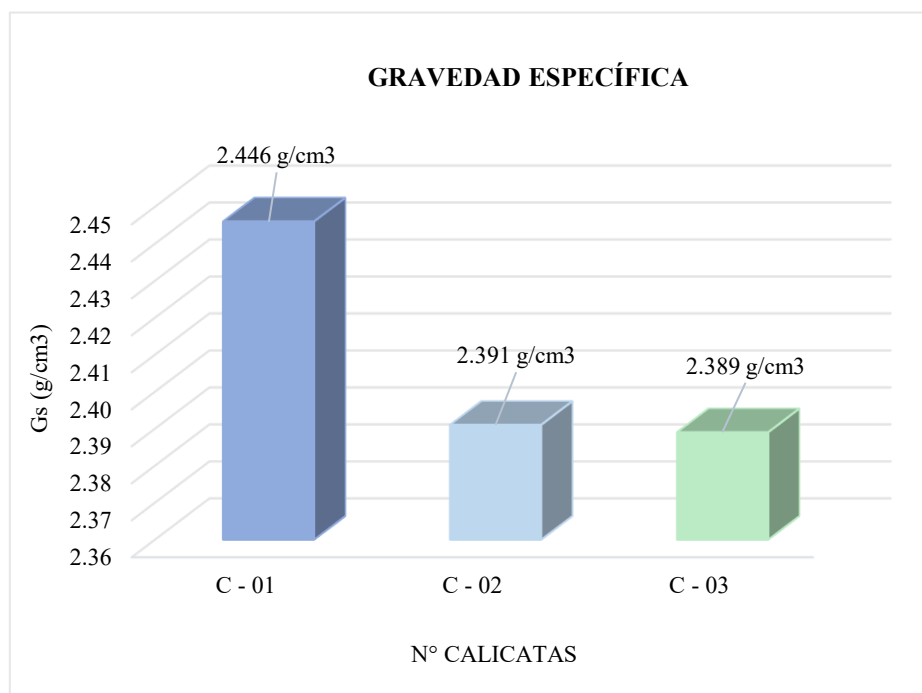
Gravedad específica – MTC E 113:

La densidad relativa se define a la relación entre la masa del sólido y del agua.

TABLA XXXI

Gravedad específica

Calicata	Muestra	Prof. (m)	Gs (g/cm ³)
C – 01	M – 01	0.10 – 1.50	2.446
C – 02	M – 02	0.10 – 1.50	2.391
C – 03	M – 03	0.10 – 1.50	2.389

**Fig. 51.** Gravedad Específica

Proctor modificado – MTC E 115:

El propósito de este proceso es determinar el OCH (%) y MDS (g/cm³), debido a que estos parámetros alcanzan una resistencia y estabilidad mayor.

TABLA XXXII

Proctor modificado (C – 01)

C – 01					
Vuelta 01	%	14.25	17.20	20.00	23.18
	g/cm ³	1.770	1.814	1.755	1.689
Vuelta 02	%	13.63	16.72	19.50	22.11
	g/cm ³	1.655	1.672	1.588	1.537
Vuelta 03	%	7.20	11.18	14.95	19.71
	g/cm ³	1.641	1.699	1.632	1.551
Vuelta \bar{X}	%	11.69	15.03	18.15	21.67
	g/cm ³	1.690	1.730	1.660	1.590

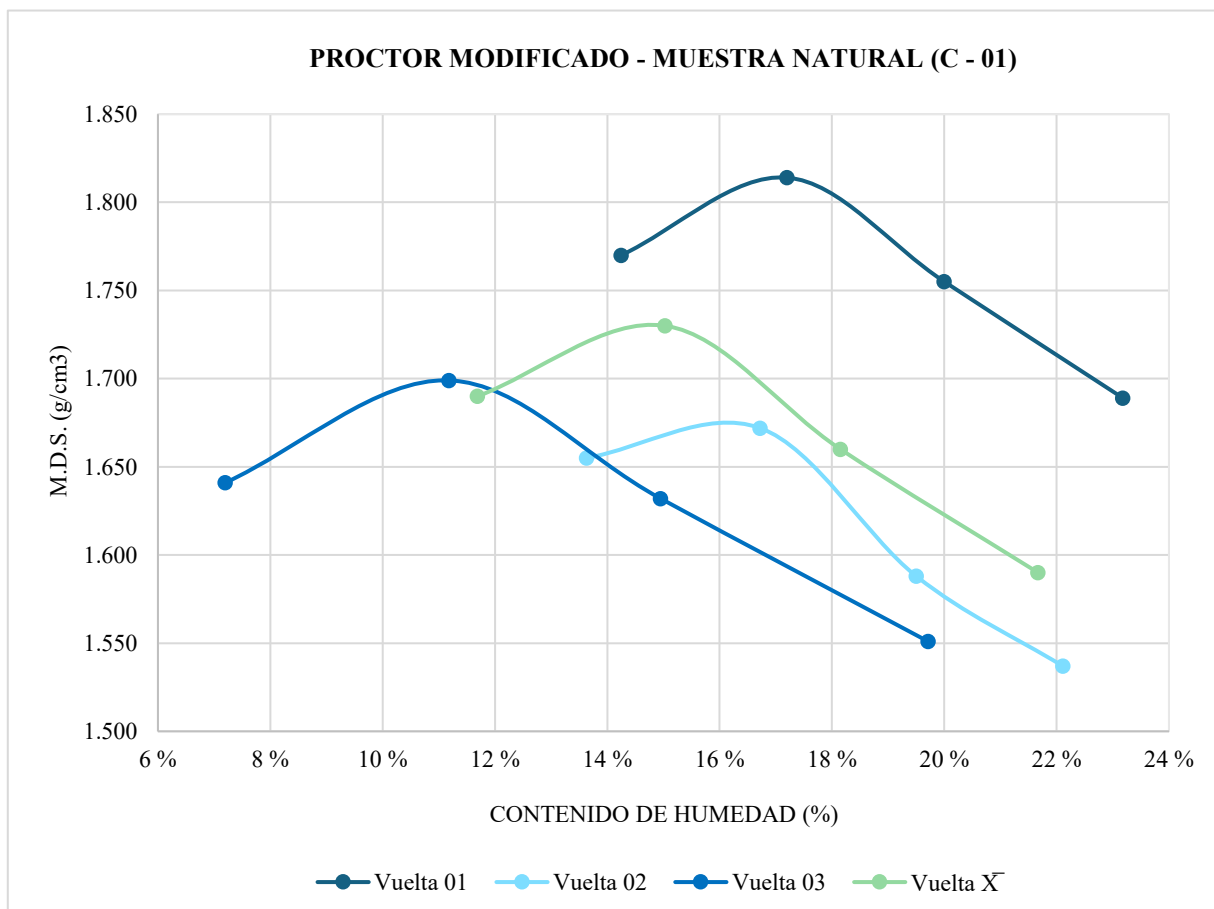
**Fig. 52.** Curva de compactación (C – 01)

TABLA XXXIII
 Proctor modificado (C – 02)

C – 02					
Vuelta 01	%	12.83	16.24	18.80	21.78
	g/cm ³	1.768	1.795	1.739	1.690
Vuelta 02	%	10.75	14.94	19.43	22.62
	g/cm ³	1.588	1.680	1.606	1.503
Vuelta 03	%	10.90	14.22	17.51	20.35
	g/cm ³	1.586	1.647	1.583	1.537
Vuelta \bar{X}	%	11.49	15.13	18.58	21.59
	g/cm ³	1.650	1.710	1.640	1.580

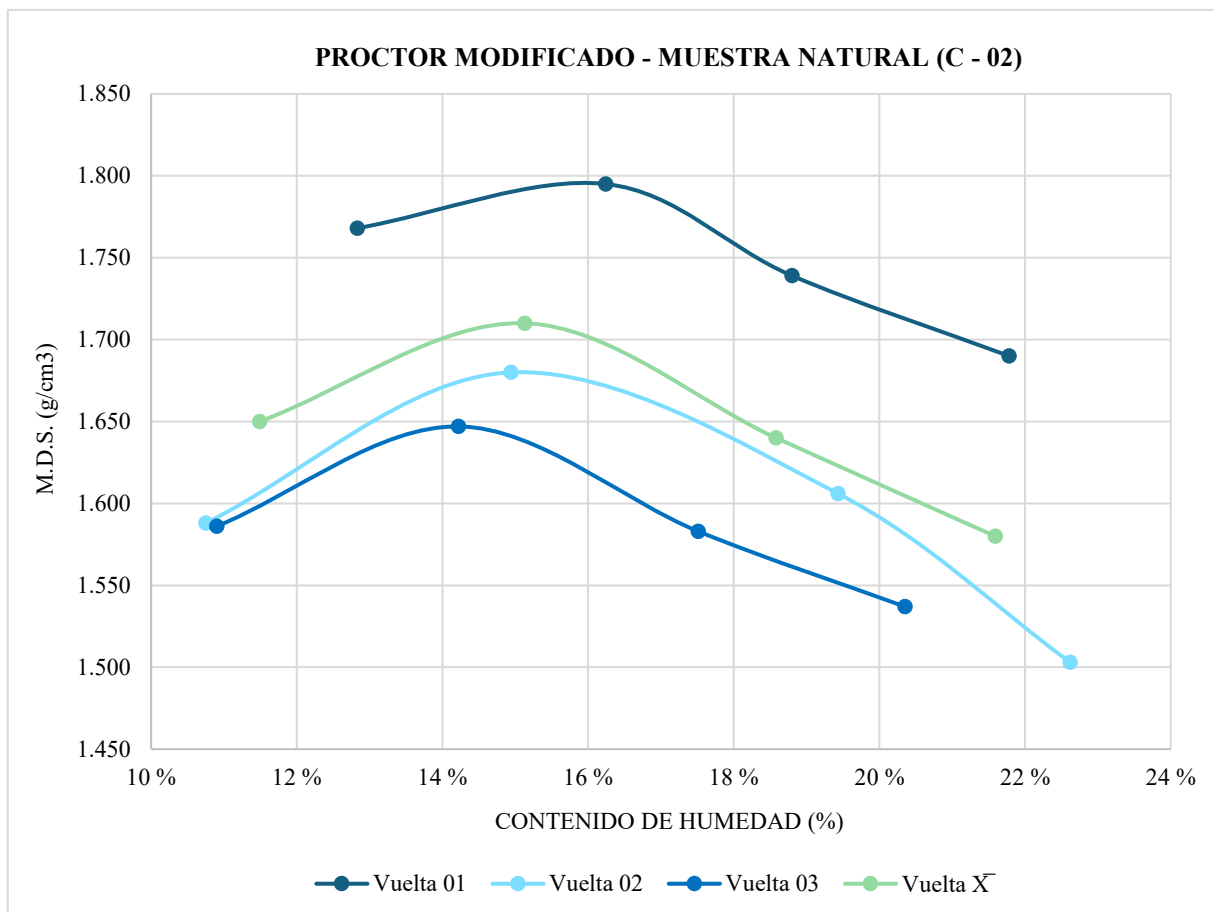


Fig. 53. Curva de compactación (C – 02)

TABLA XXXIV
Proctor modificado (C – 03)

C – 03					
Vuelta 01	%	10.16	15.17	21.04	25.26
	g/cm ³	1.727	1.792	1.683	1.619
Vuelta 02	%	9.23	11.97	15.72	19.71
	g/cm ³	1.663	1.733	1.627	1.560
Vuelta 03	%	14.37	17.37	20.48	23.46
	g/cm ³	1.555	1.634	1.577	1.522
Vuelta \bar{X}	%	11.25	14.84	19.08	22.81
	g/cm ³	1.650	1.720	1.630	1.570

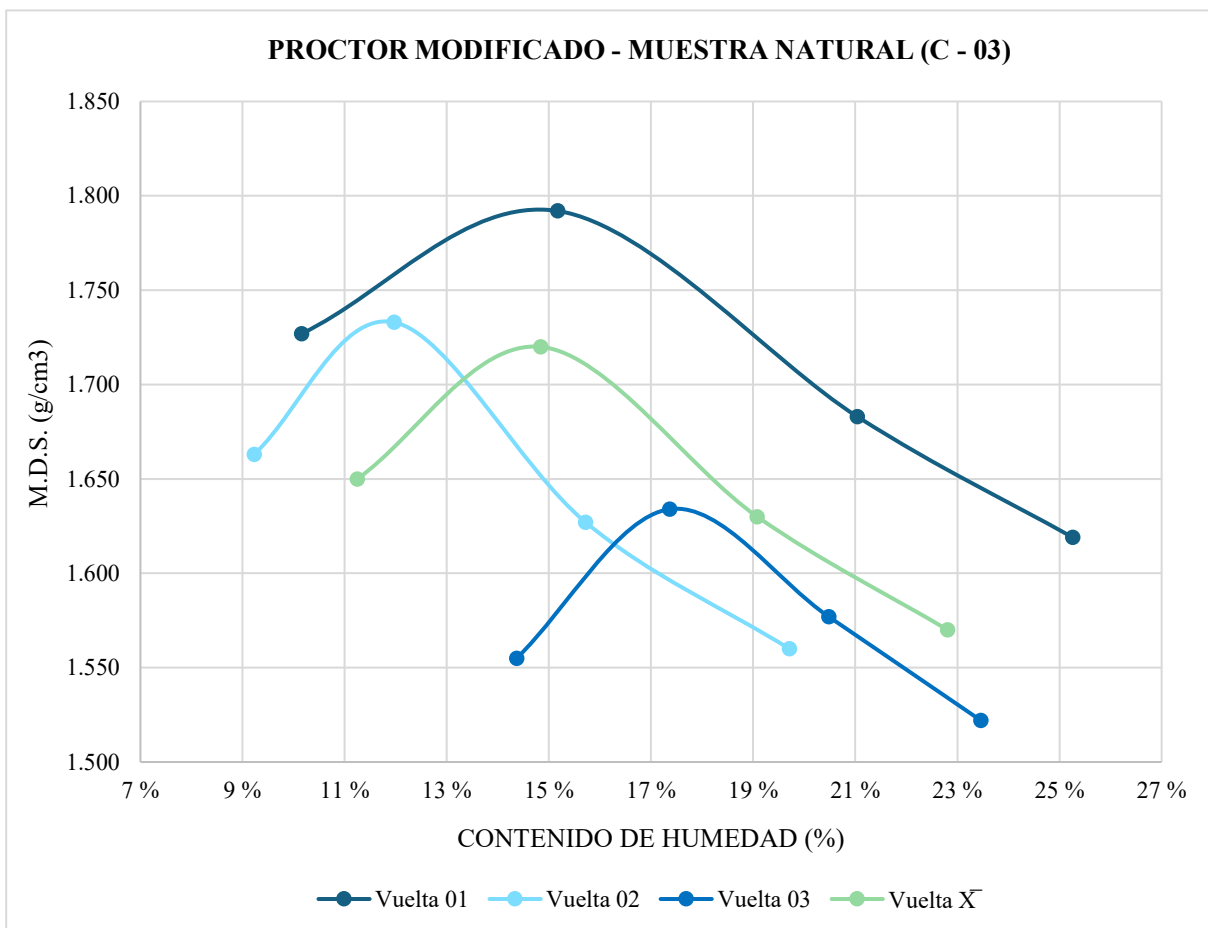


Fig. 54. Curva de compactación (C – 03)

TABLA XXXV

Proctor promedio en muestras naturales

Calicata	Prof. (m)	C.O.H. (%)	M.D.S (g/cm ³)
C – 01	0.10 – 1.50	1.736	14.16
C – 02	0.10 – 1.50	1.714	14.61
C – 03	0.10 – 1.50	1.721	14.39

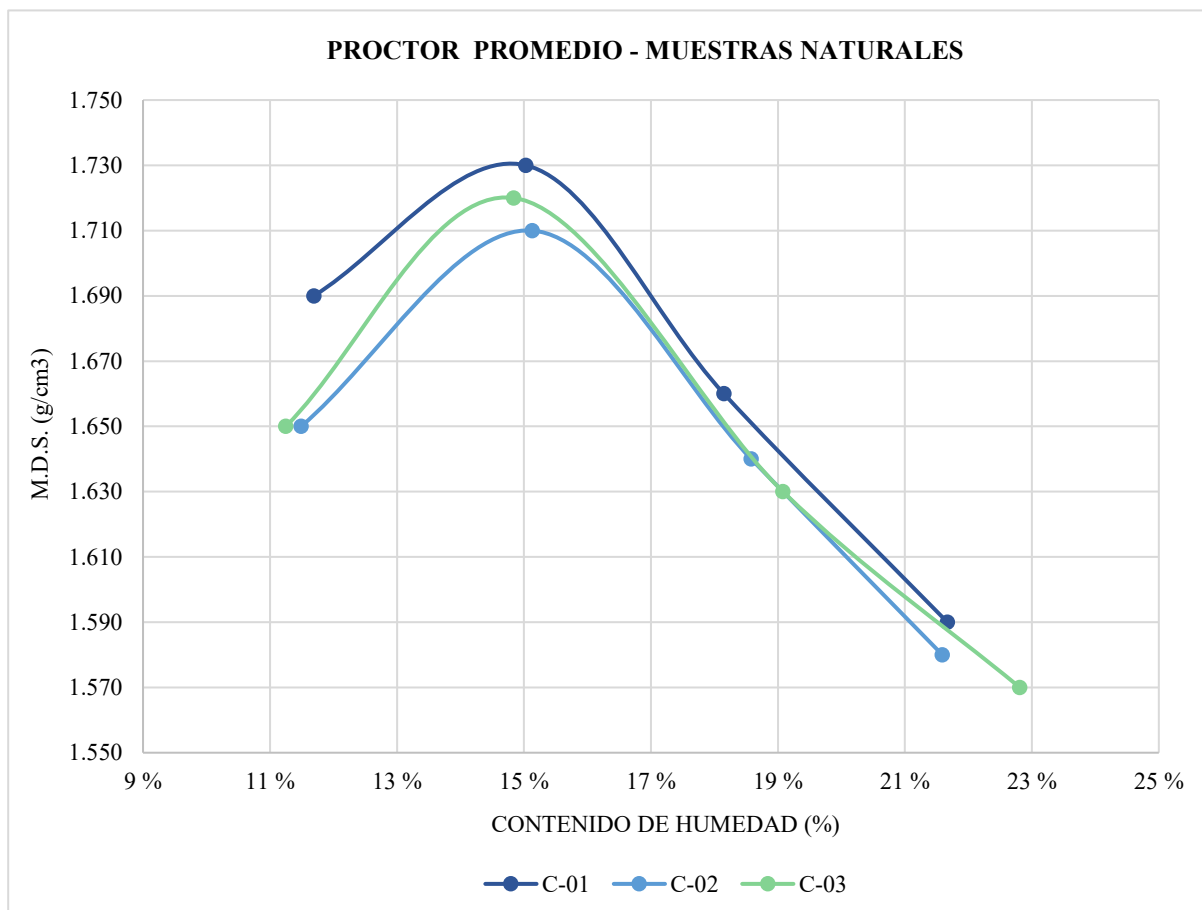


Fig. 55. Proctor promedio de muestras naturales

Capacidad de soporte (CBR) – MTC E 132:

Tiene como propósito medir la capacidad del suelo para resistir la penetración, es así como el valor del CBR se reporta con una base de 2.54mm (0.1”), conforme a lo establecido en la curva de carga-penetración por cada calicata.

TABLA XXXVI

CBR promedio de las muestras naturales

Calicata	Prof. (m)	CBR (95% M.D.S.)	CBR (100% M.D.S.)
C - 01	0.10 - 1.50	3.27%	4.15%
C - 02	0.10 - 1.50	3.67%	4.82%
C - 03	0.10 - 1.50	3.71%	4.50%

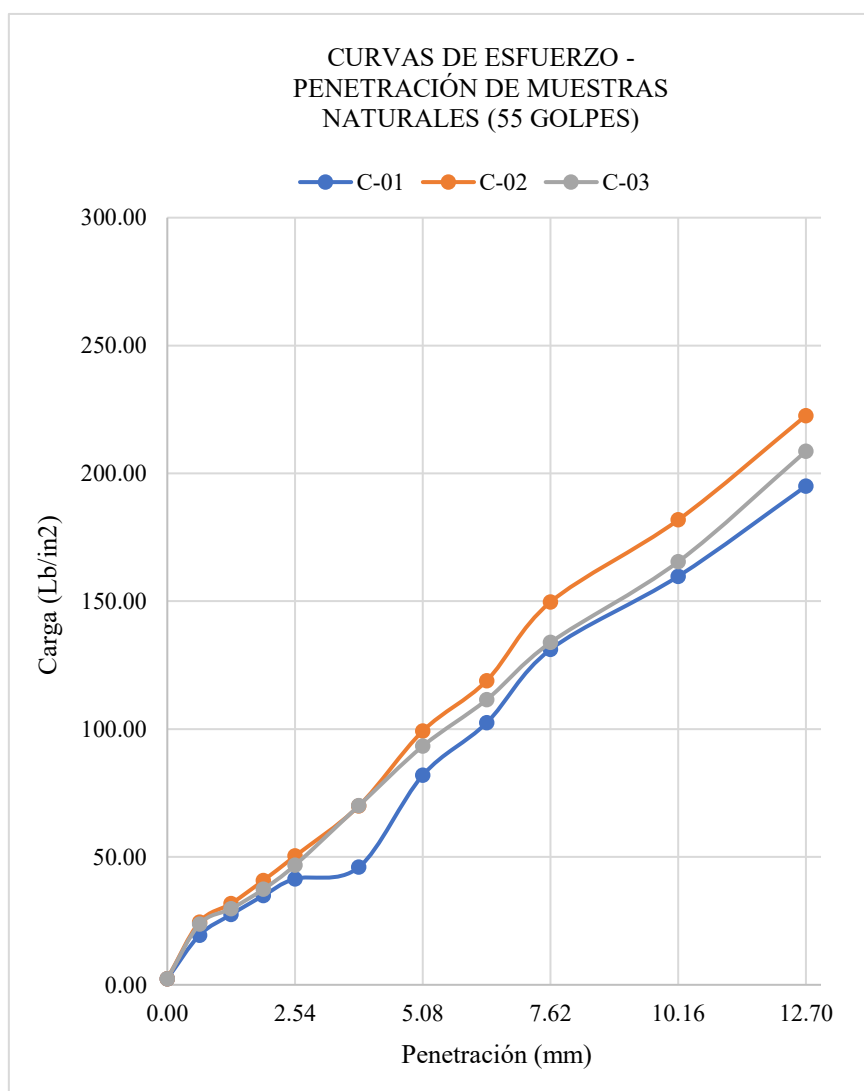


Fig. 56. Curva de esfuerzo – penetración a 55 golpes

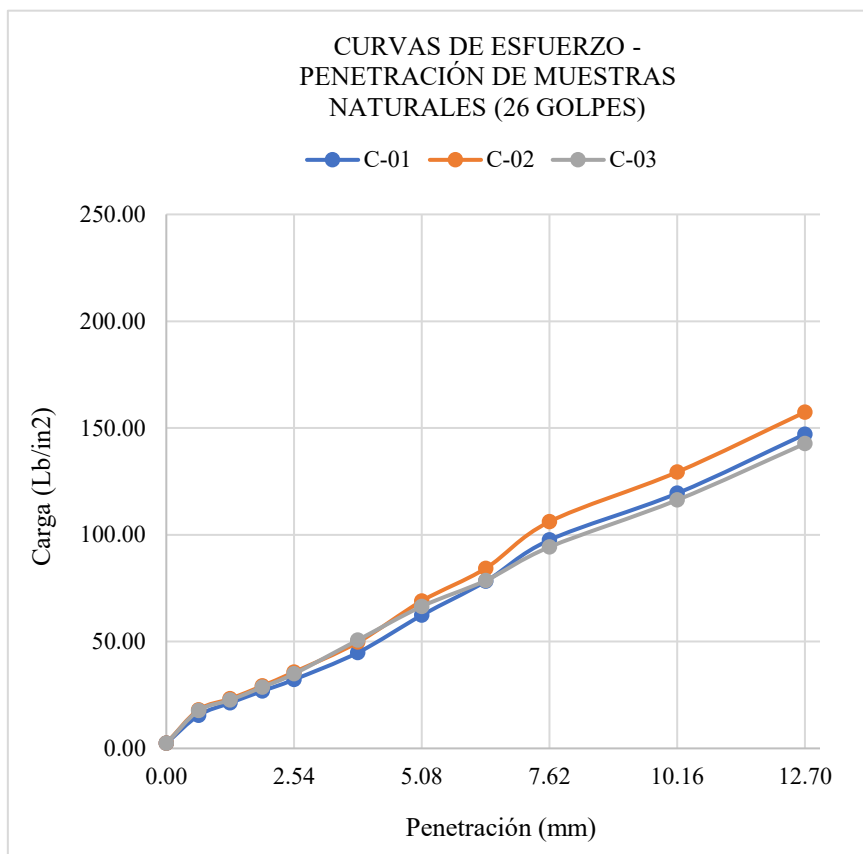


Fig. 57. Curva de esfuerzo – penetración a 26 golpes

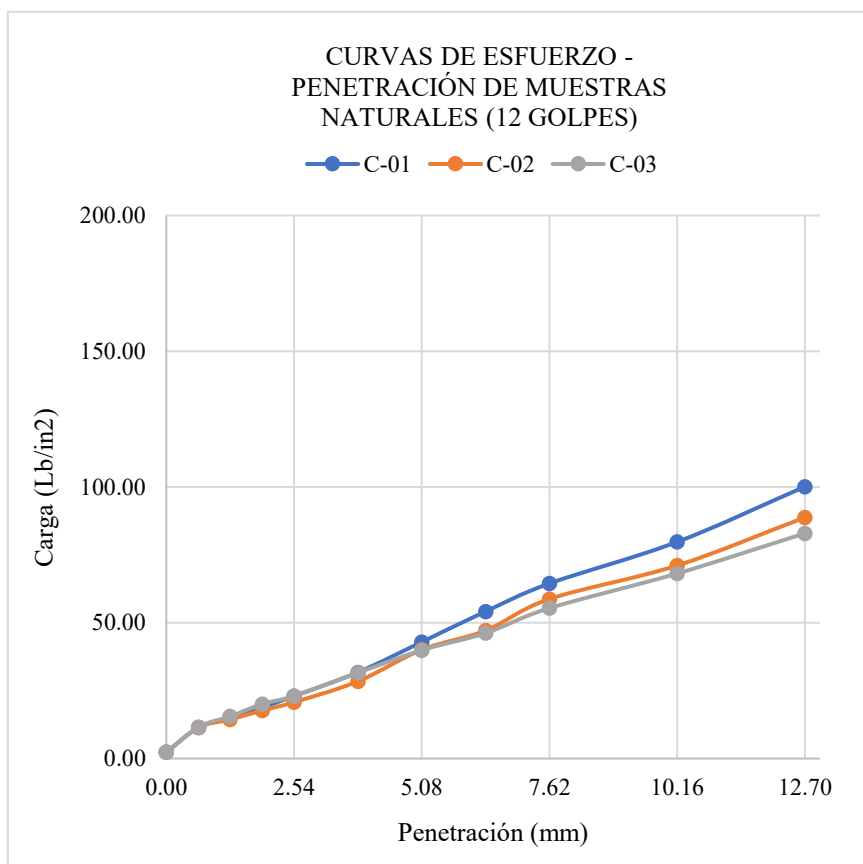


Fig. 58. Curva de esfuerzo – penetración a 12 golpes

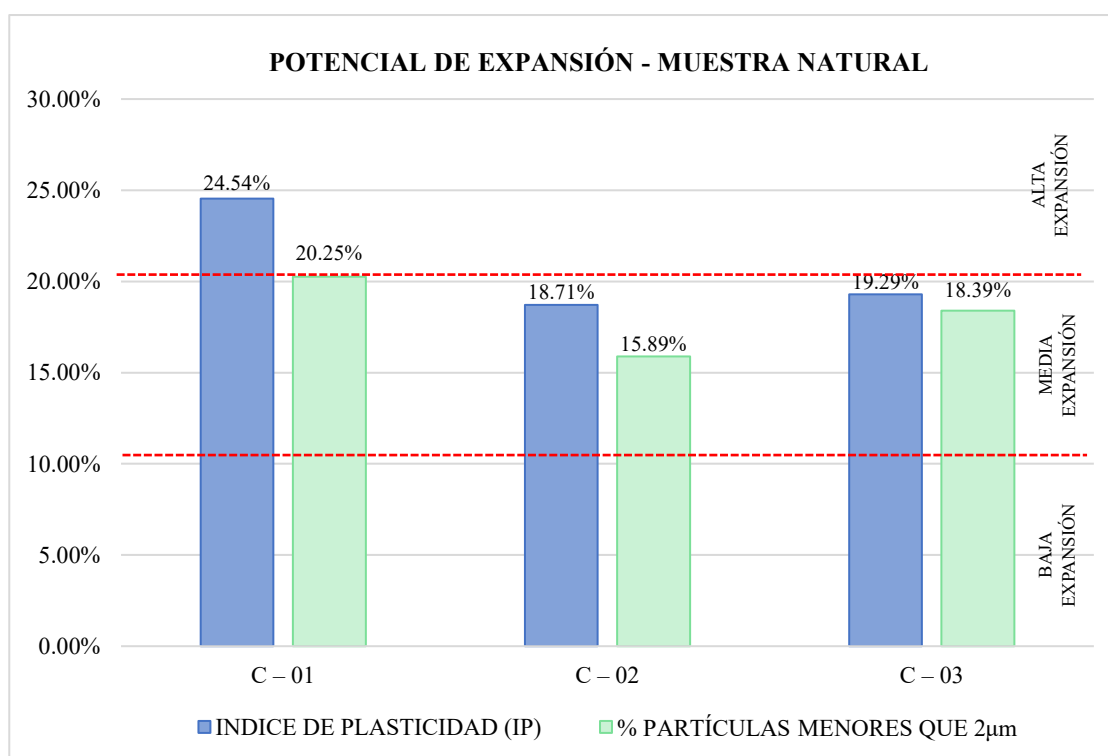
Expansión – E.050:

De acuerdo con la tabla 11 de clasificación de suelos expansivos y la figura 8 sobre el cambio del potencial de volumen establecidas en la normativa E.050 [44], es decir los suelos con baja saturación y alta plasticidad requieren un análisis basado en la determinación de plasticidad y granulometría por sedimentación. Es decir, este análisis tiene por propósito evaluar el potencial de expansión del suelo en función al contenido de partículas menores a $2\mu\text{m}$ y del valor de IP.

TABLA XXXVII

Expansión promedio de las muestras naturales

Calicata	Potencial de expansión (Ep)	% Índice plástico	% partículas $<2\mu\text{m}$
C – 01	Alta	24.54	20.25
C – 02	Media	18.71	15.89
C – 03	Media	19.29	18.39

**Fig. 59.** Potencial de expansión en muestras naturales

Ensayos en muestras experimentales:

Los ensayos realizados en esta sección incluyen el LL, LP, IP, proctor modificado y CBR.

Límites de consistencia – (C – 01): SN + PP (%) + VN (%)

Se documentan los resultados que reflejan las variaciones observadas en estas propiedades.

TABLA XXXVIII

Límites de consistencia – muestras experimentales (C – 01)

DOSIFICACIÓN	CALICATA 01		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
SUELO NATURAL (S.N)	46.88%	22.35%	24.54%
S.N + 0.75% PP + 15.00% VN	45.91%	23.54%	22.37%
S.N + 1.00% PP + 25.00% VN	41.82%	22.68%	19.15%
S.N + 1.50% PP + 60.00% VN	38.36%	22.24%	16.12%

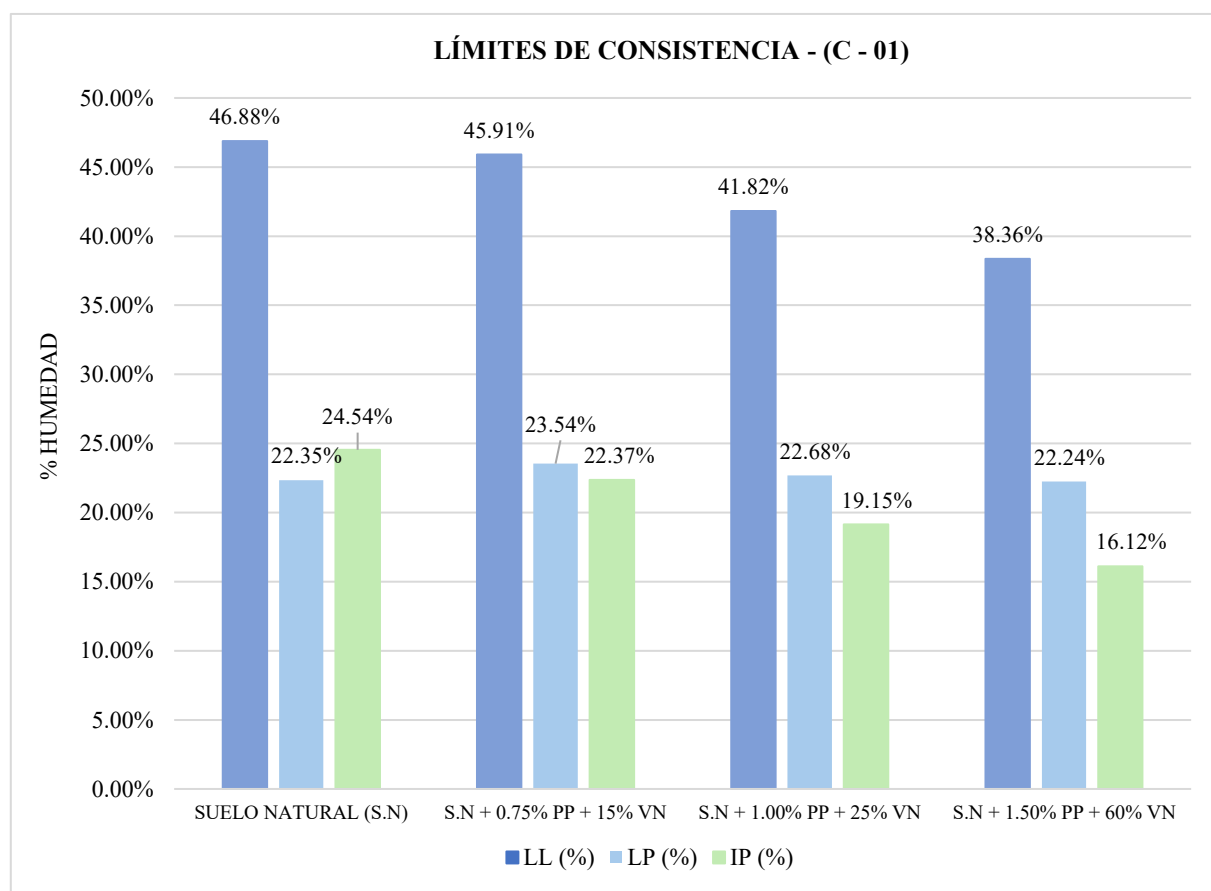


Fig. 60. Límites de consistencia (C – 01)

Límites de consistencia – (C – 02): SN + PP (%) + VN (%)

Se documentan los resultados que reflejan las variaciones observadas en estas propiedades.

TABLA XXXIX

Límites de consistencia – muestras experimentales (C – 02)

DOSIFICACIÓN	CALICATA 02		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
SUELO NATURAL (S.N)	41.55%	22.84%	18.71%
S.N + 0.75% PP + 15.00% VN	38.77%	21.45%	17.32%
S.N + 1.00% PP + 25.00% VN	41.80%	25.85%	15.95%
S.N + 1.50% PP + 60.00% VN	36.52%	22.16%	14.35%

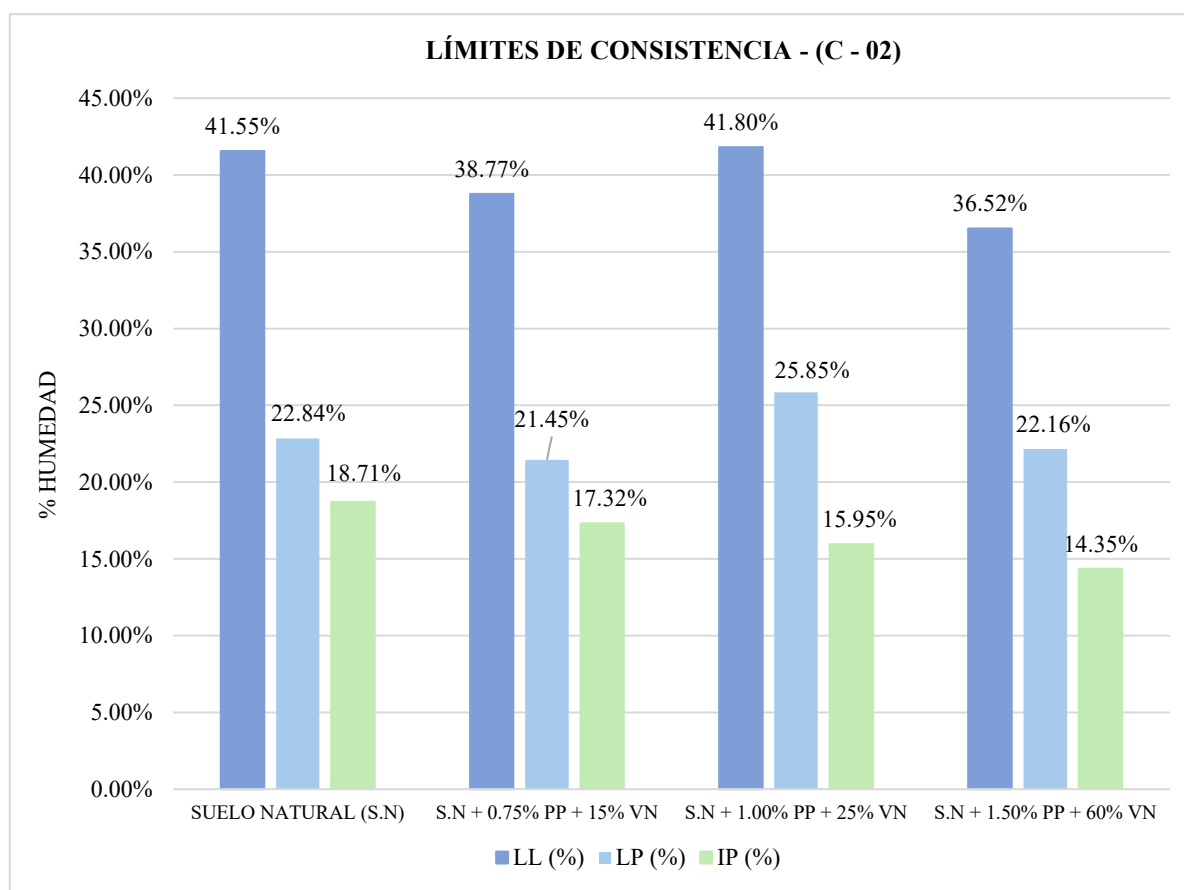


Fig. 61. Límites de consistencia (C – 02)

Límites de consistencia – (C – 03): SN + PP (%) + VN (%)

Se documentan los resultados que reflejan las variaciones observadas en estas propiedades.

TABLA XL

Límites de consistencia – muestras experimentales (C – 03)

DOSIFICACIÓN	CALICATA 03		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
SUELO NATURAL (S.N)	42.96%	23.67%	19.29%
S.N + 0.75% PP + 15.00% VN	41.33%	24.19%	17.14%
S.N + 1.00% PP + 25.00% VN	39.49%	23.65%	15.85%
S.N + 1.50% PP + 60.00% VN	38.29%	24.70%	13.59%

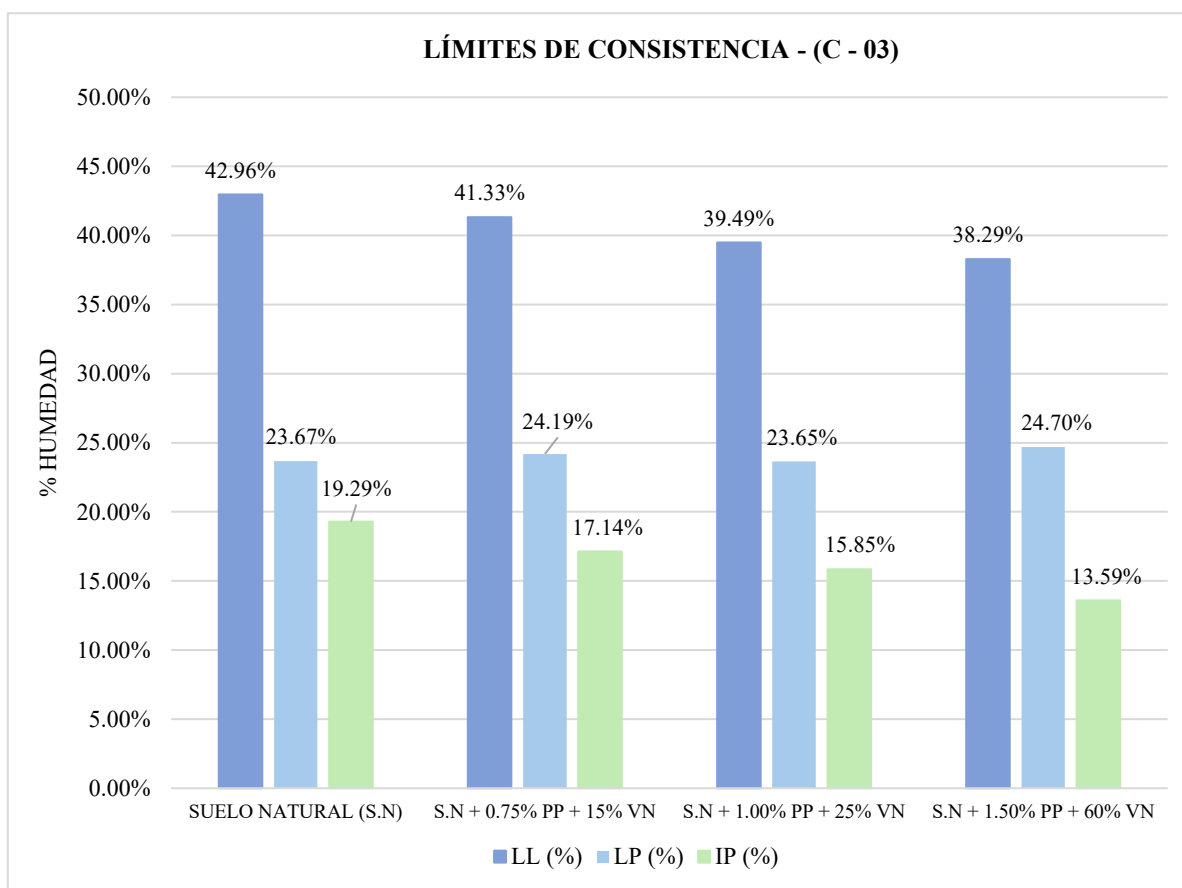


Fig. 62. Límites de consistencia (C – 03)

Proctor modificado – (C – 01): SN + PP (%) + VN (%)

En este punto, se especifican los resultados de la relación del OCH (%) y la MDS (g/cm³) para la realización del CBR.

TABLA XLI

Proctor modificado experimental (C – 01)

CALICATA 01			
DOSIFICACIÓN	Prof. (m)	M.D.S (gr/cm ³)	O.C.H. (%)
SUELO NATURAL (S.N)	1.50	1.736	14.16
S.N + 0.75% PP + 15.00% VN	1.50	1.767	13.97
S.N + 1.00% PP + 25.00% VN	1.50	1.882	14.50
S.N + 1.50% PP + 60.00% VN	1.50	1.812	13.20

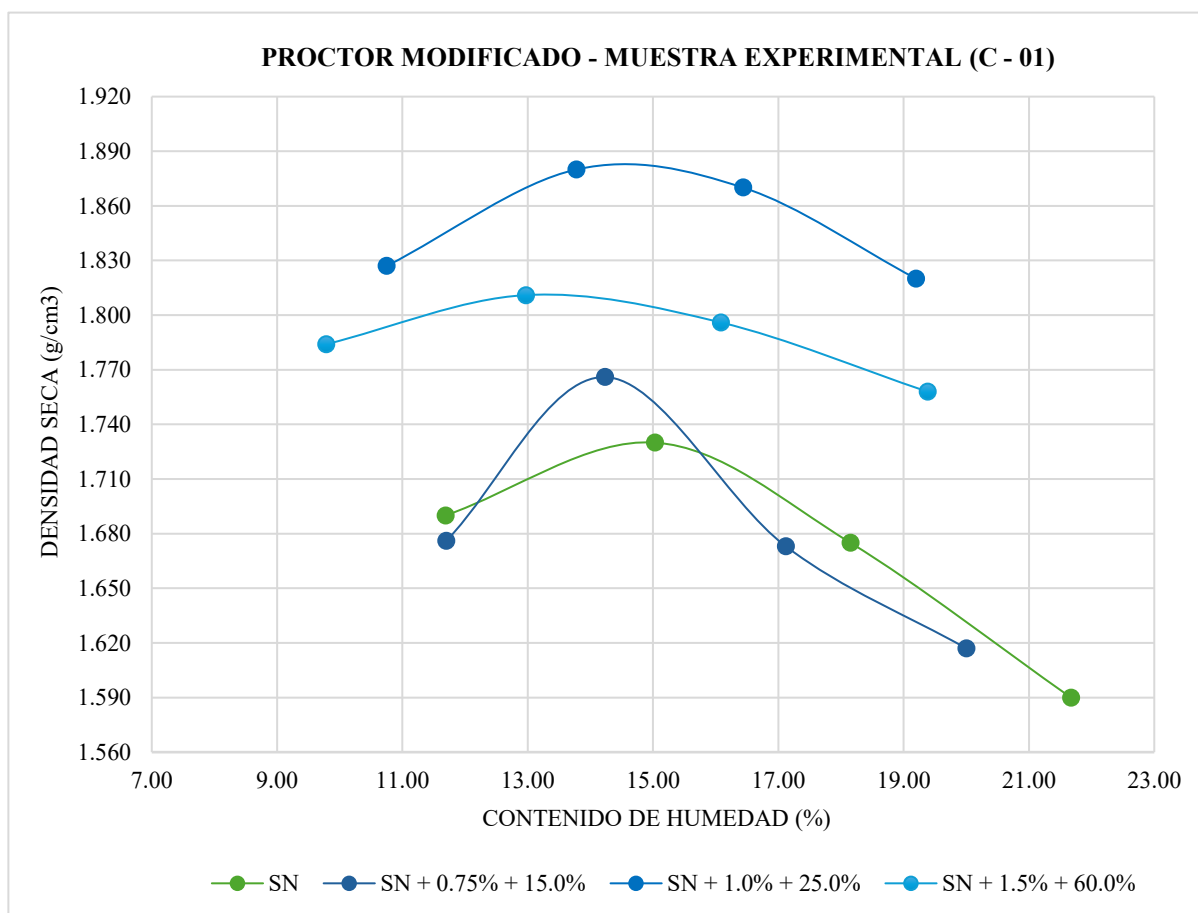


Fig. 63. Curva de compactación – muestra experimental (C – 01)

Proctor modificado – (C – 02): SN + PP (%) + VN (%)

En este punto, se especifican los resultados de la relación del OCH (%) y la MDS (g/cm³) para la realización del CBR.

TABLA XLII

Proctor modificado experimental (C – 02)

CALICATA 02			
DOSIFICACIÓN	Prof. (m)	M.D.S (gr/cm ³)	O.C.H. (%)
SUELO NATURAL (S.N)	1.50	1.714	14.61
S.N + 0.75% PP + 15.00% VN	1.50	1.964	13.60
S.N + 1.00% PP + 25.00% VN	1.50	1.847	12.50
S.N + 1.50% PP + 60.00% VN	1.50	1.794	13.16

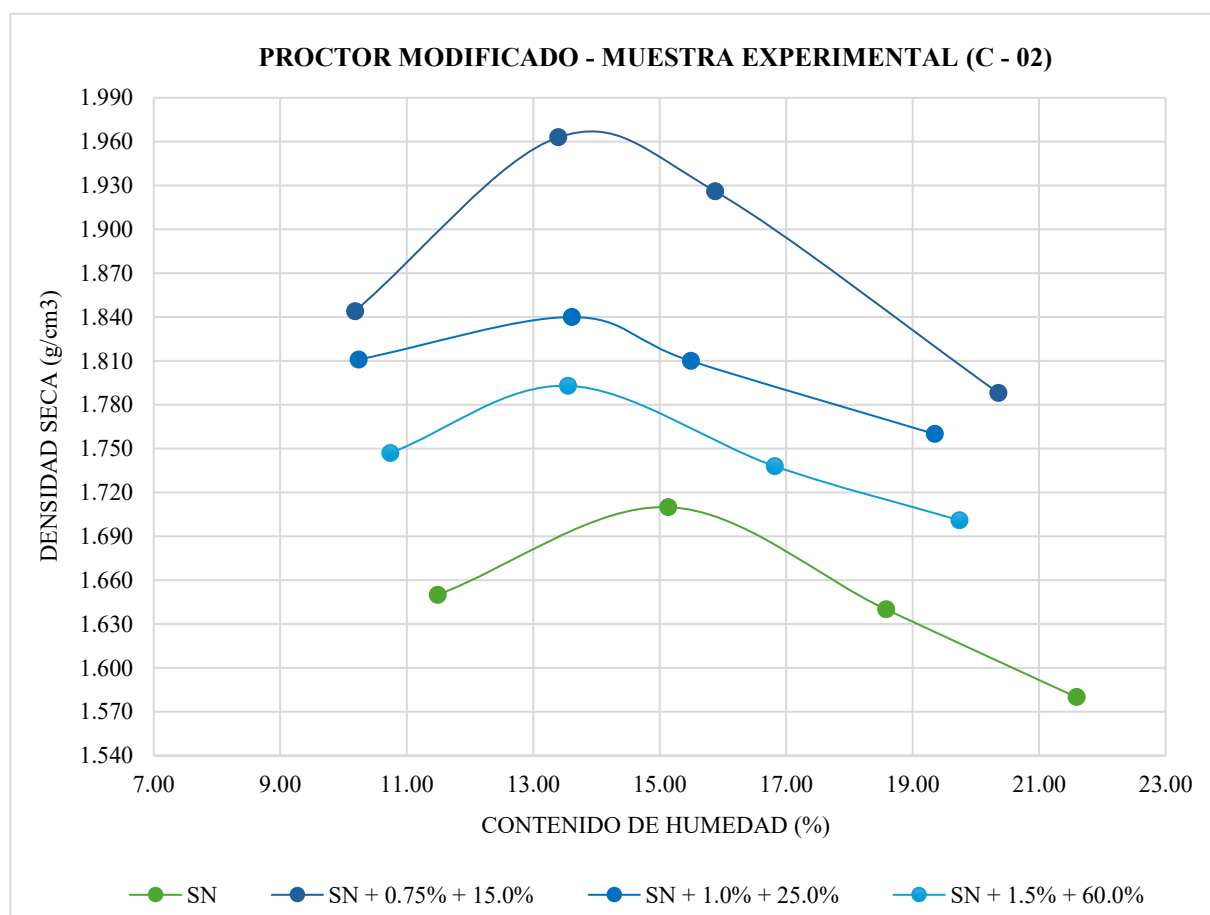


Fig. 64. Curva de compactación – muestra experimental (C – 02)

Proctor modificado – (C – 03): SN + PP (%) + VN (%)

En este punto, se especifican los resultados de la relación del OCH (%) y la MDS (g/cm³) para la realización del CBR.

TABLA XLIII

Proctor modificado experimental (C – 03)

CALICATA 03			
DOSIFICACIÓN	Prof. (m)	M.D.S (gr/cm ³)	O.C.H. (%)
SUELO NATURAL (S.N)	1.50	1.721	14.39
S.N + 0.75% PP + 15.00% VN	1.50	1.931	13.22
S.N + 1.00% PP + 25.00% VN	1.50	1.853	12.90
S.N + 1.50% PP + 60.00% VN	1.50	1.783	13.55

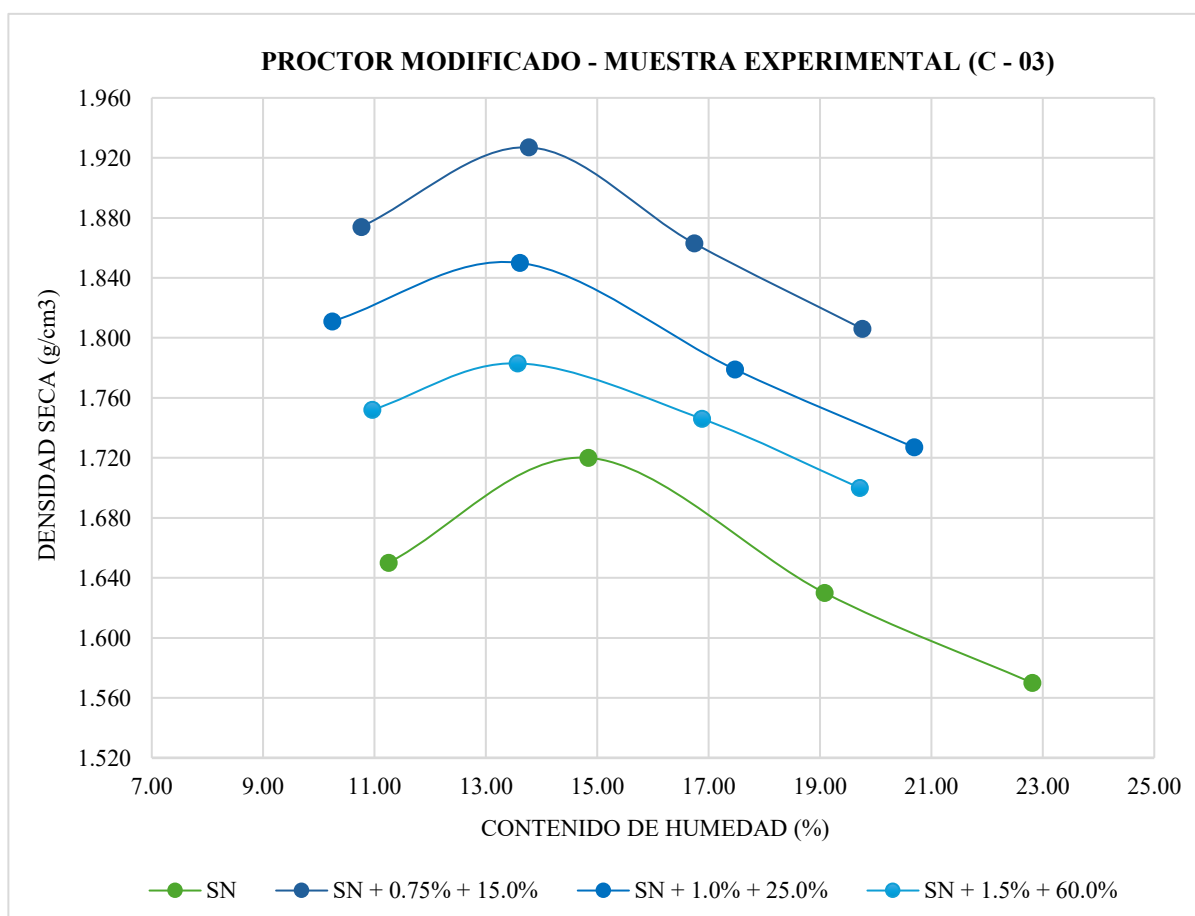


Fig. 65. Curvas de compactación – muestra experimental (C – 03)

Capacidad portante – (C – 01): SN + PP (%) + VN (%)

Se registran los valores obtenidos que corresponden al 95% y 100% de la M.D.S de las muestras experimentales por cada calicata. Asimismo, se presentan curvas de esfuerzo-penetración en donde se muestran las variaciones acontecidas.

TABLA XLIV

CBR promedio – muestras experimentales (C – 01)

DOSIFICACIÓN	C – 01	
	CBR 0.1” (95% M.D.S.)	CBR 0.1” (100% M.D.S.)
SUELO NATURAL (S.N)	3.29%	4.15%
S.N + 0.75% PP + 15.00% VN	7.16%	10.40%
S.N + 1.00% PP + 25.00% VN	8.77%	11.02%
S.N + 1.50% PP + 60.00% VN	9.21%	13.45%

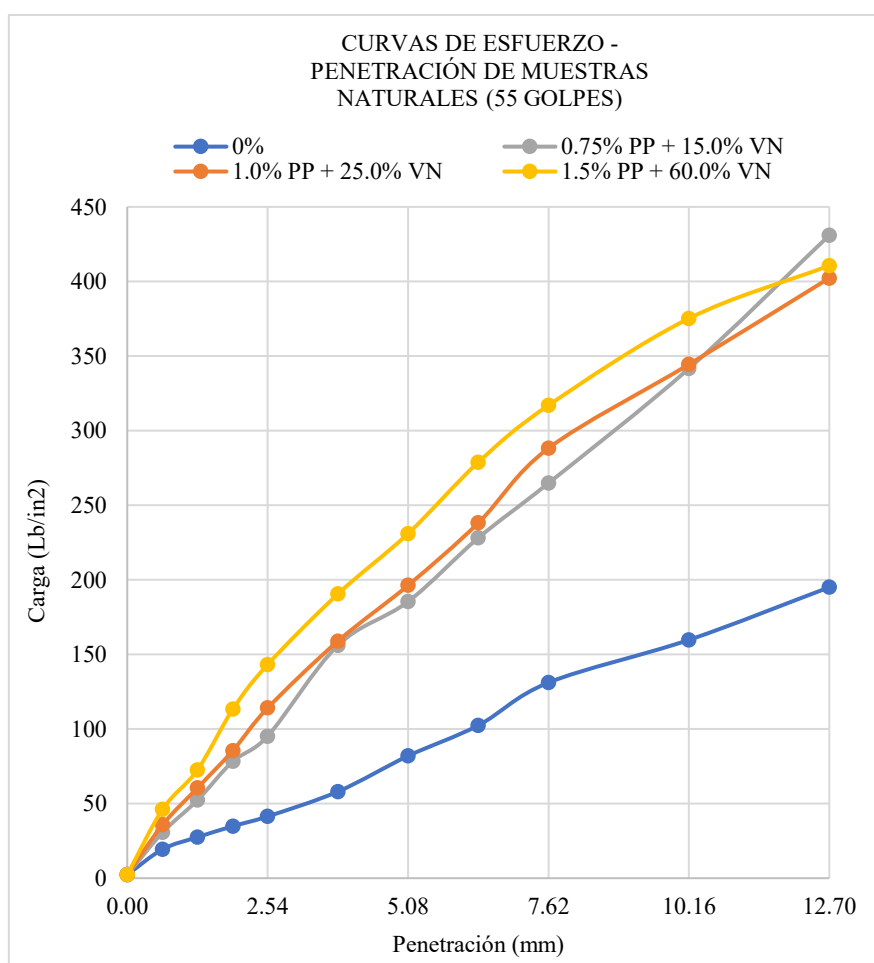


Fig. 66. Relación esfuerzo – penetración (C – 01) a 55 golpes

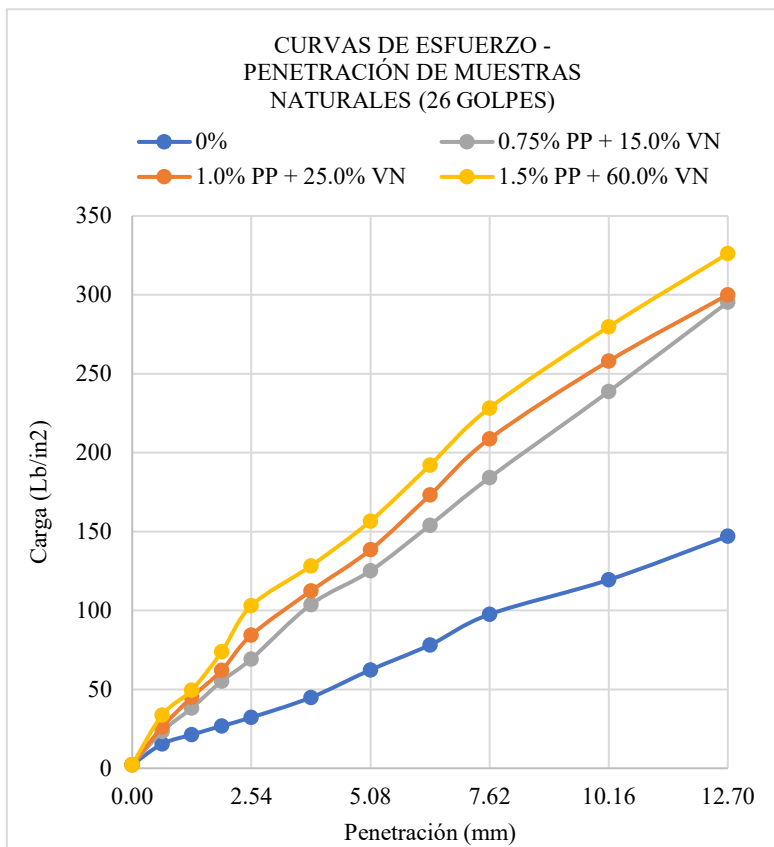


Fig. 67. Relación esfuerzo – penetración (C – 01) a 26 golpes

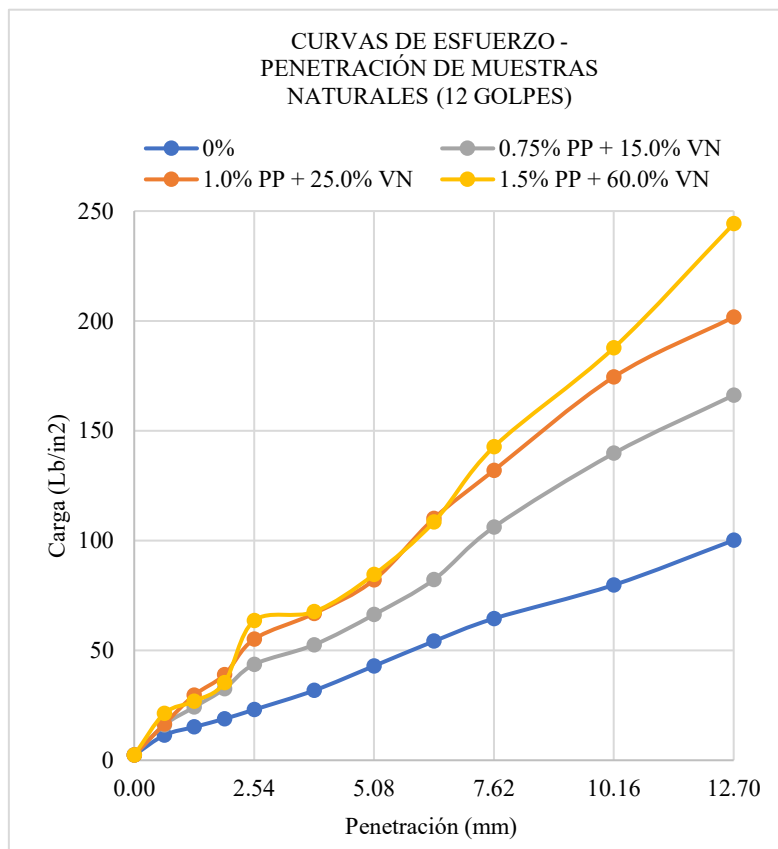


Fig. 68. Relación esfuerzo – penetración (C – 01) a 12 golpes

Capacidad de soporte – (C – 02): SN + PP (%) + VN (%)

Se registran los valores obtenidos que corresponden al 95% y 100% de la M.D.S de las muestras experimentales por cada calicata. Asimismo, se presentan curvas de esfuerzo-penetración en donde se muestran las variaciones acontecidas.

TABLA XLV

CBR promedio – muestras experimentales (C – 02)

DOSIFICACIÓN	C – 02	
	CBR 0.1” (95% M.D.S.)	CBR 0.1” (100% M.D.S.)
SUELO NATURAL (S.N)	3.72%	4.81%
S.N + 0.75% PP + 15.00% VN	8.02%	10.47%
S.N + 1.00% PP + 25.00% VN	8.72%	11.49%
S.N + 1.50% PP + 60.00% VN	9.76%	13.87%

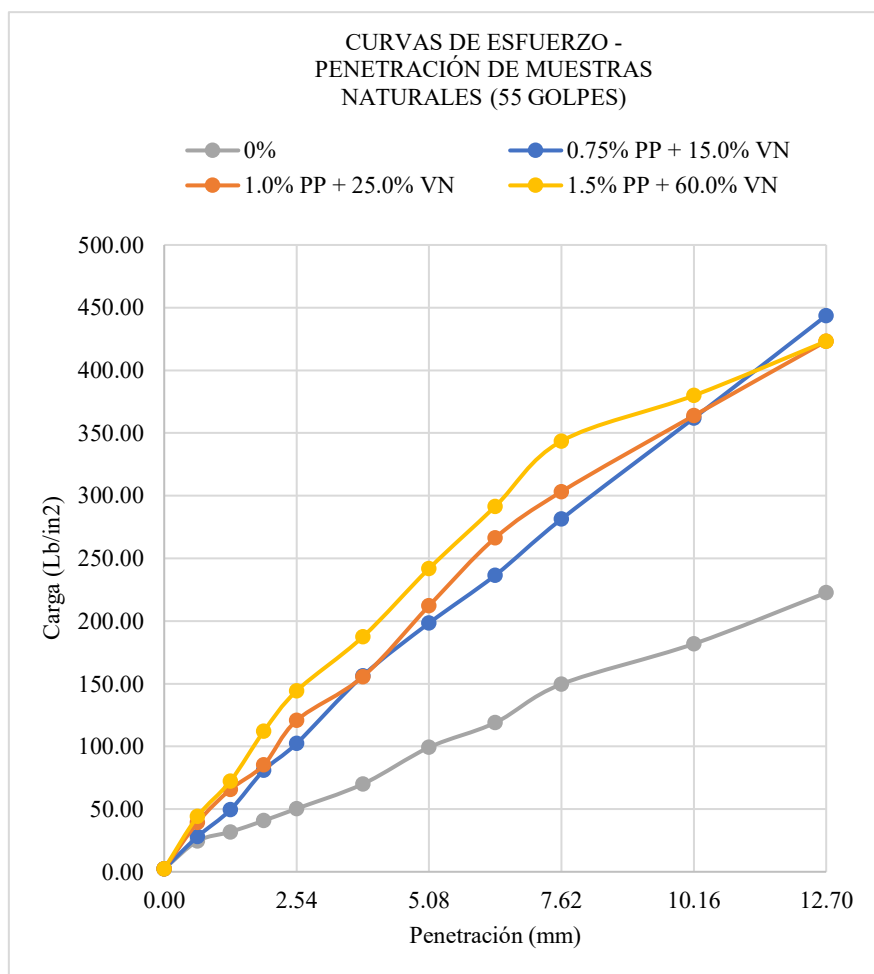


Fig. 69. Relación esfuerzo – penetración (C – 02) a 55 golpes

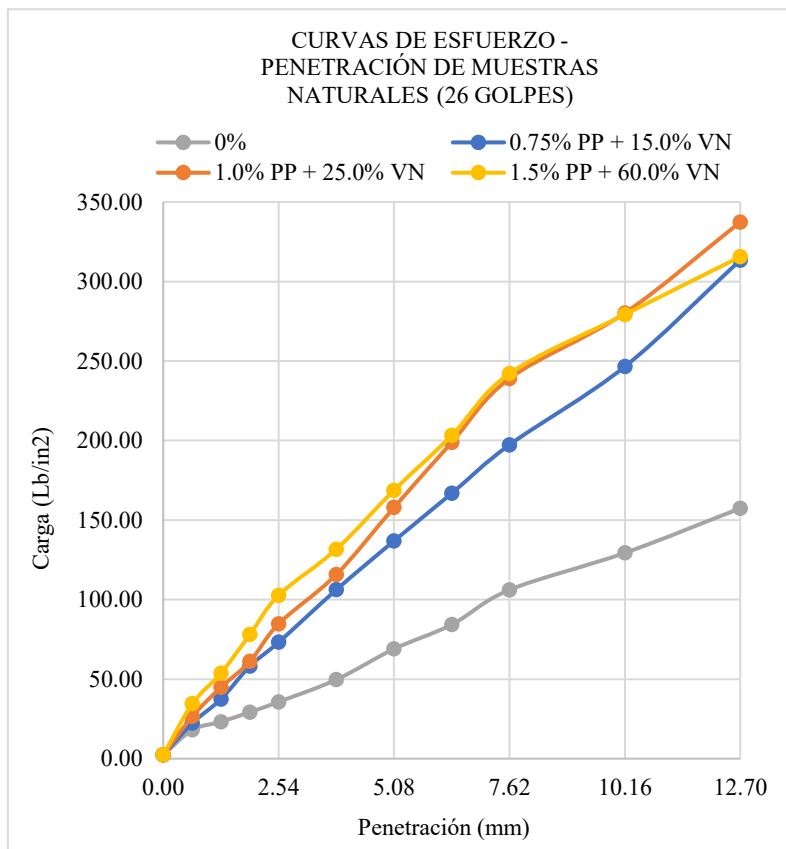


Fig. 70. Relación esfuerzo – penetración (C – 02) a 26 golpes

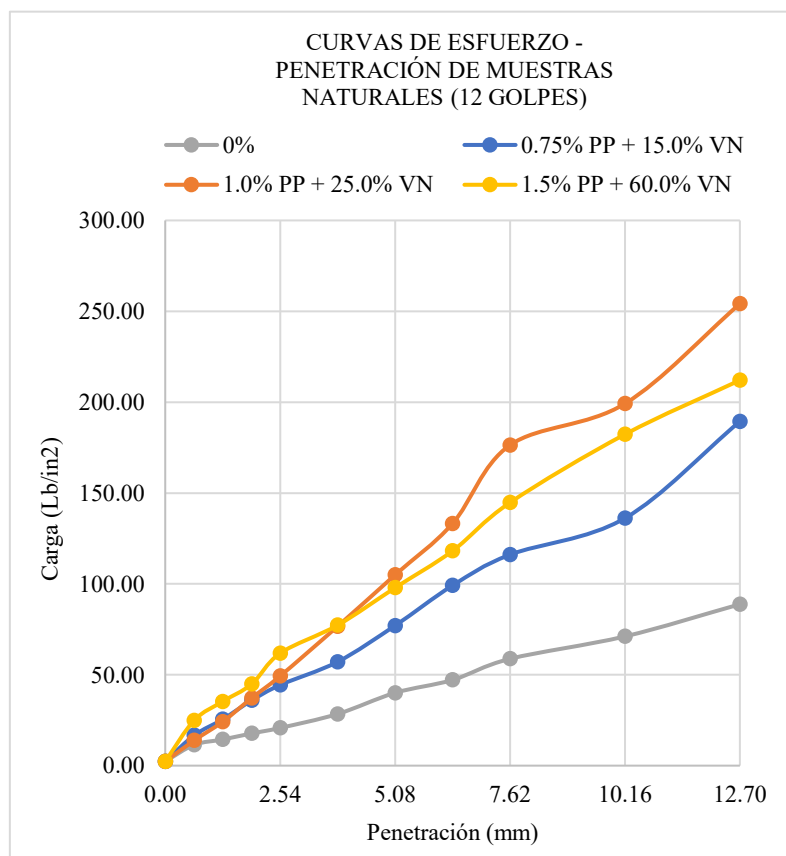


Fig. 71. Relación esfuerzo – penetración (C – 02) a 12 golpes

Capacidad de soporte – (C – 03): SN + PP (%) + VN (%)

Se registran los valores obtenidos que corresponden al 95% y 100% de la M.D.S de las muestras experimentales por cada calicata. Asimismo, se presentan curvas de esfuerzo-penetración en donde se muestran las variaciones acontecidas.

TABLA XLVI

CBR promedio – muestras experimentales (C – 03)

DOSIFICACIÓN	C – 03	
	CBR 0.1” (95% M.D.S.)	CBR 0.1” (100% M.D.S.)
SUELO NATURAL (S.N)	3.70%	4.51%
S.N + 0.75% PP + 15.00% VN	7.48%	9.56%
S.N + 1.00% PP + 25.00% VN	8.67%	12.63%
S.N + 1.50% PP + 60.00% VN	9.89%	14.39%

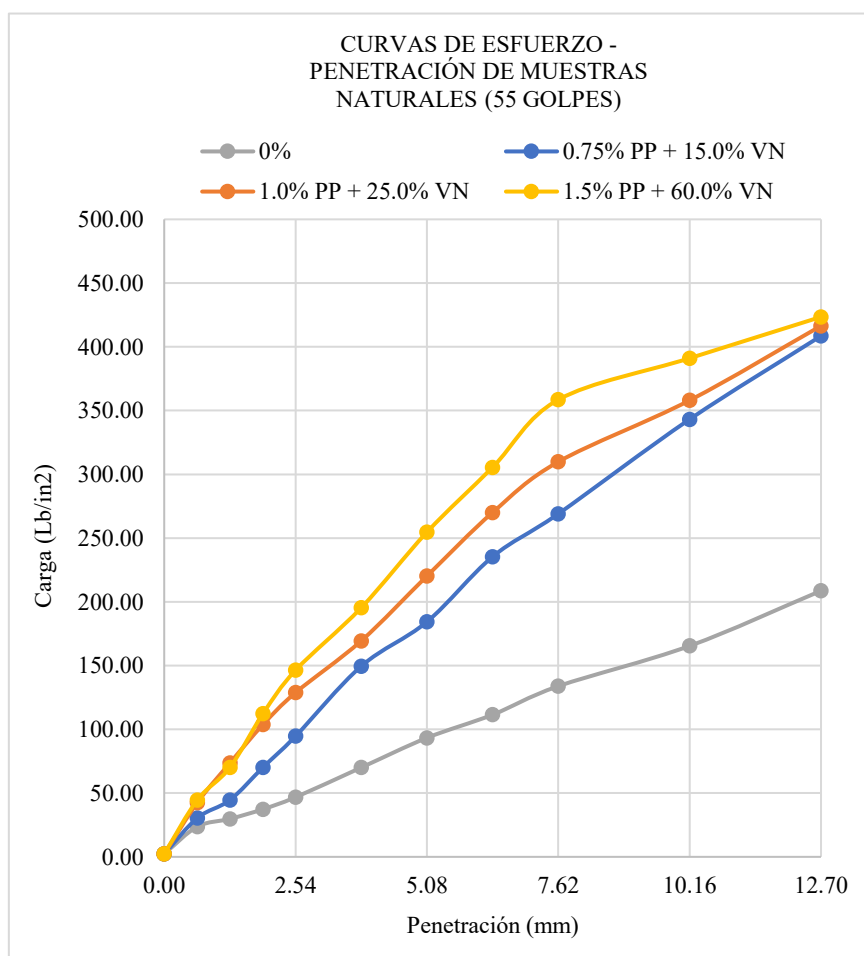


Fig. 72. Relación esfuerzo – penetración (C – 03) a 55 golpes

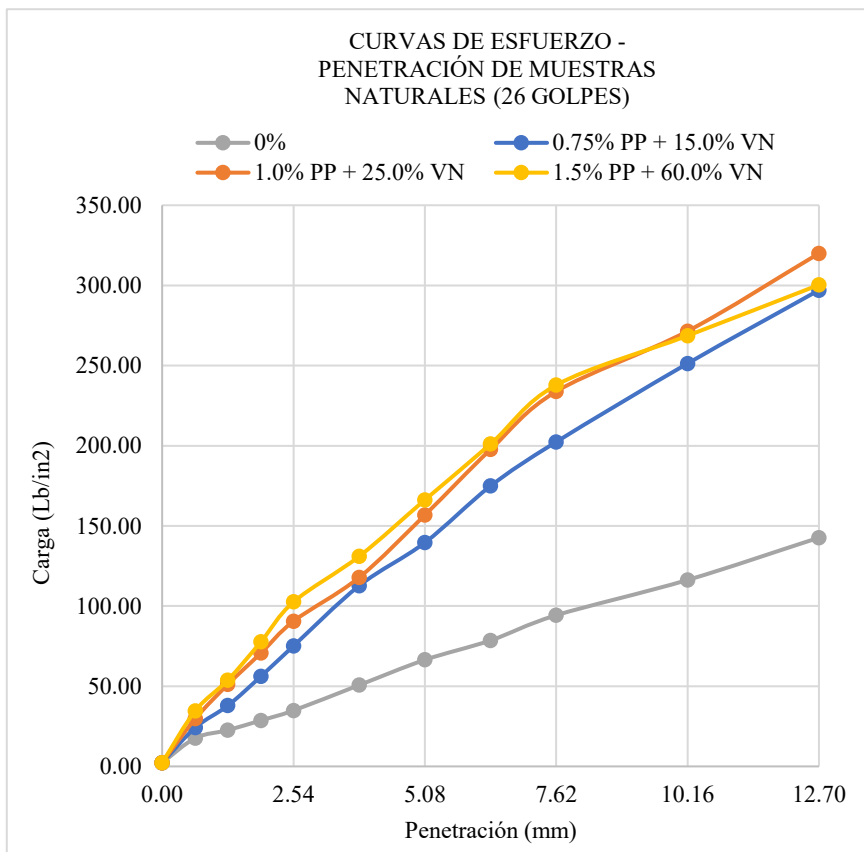


Fig. 73. Relación esfuerzo – penetración (C – 03) a 26 golpes

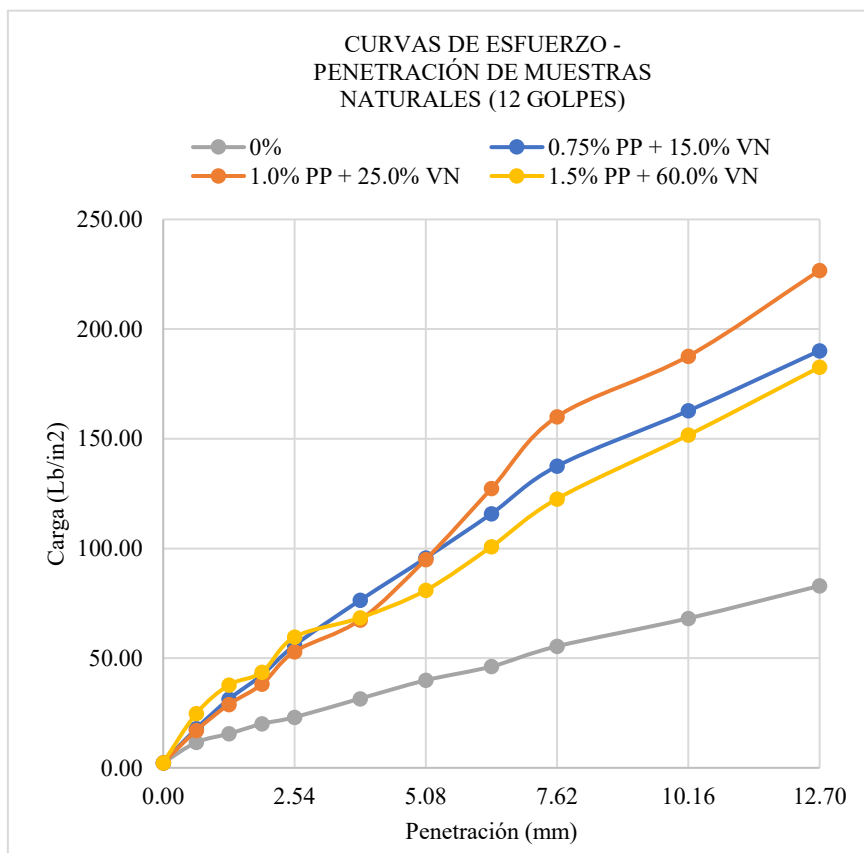


Fig. 74. Relación esfuerzo – penetración (C – 03) a 12 golpes

Expansión – E.050:

De acuerdo con la tabla 11 de clasificación de suelos expansivos y la figura 8 sobre el cambio del potencial de volumen establecidas en la normativa E.050 [44], es decir los suelos con baja saturación y alta plasticidad requieren un análisis basado en la determinación de plasticidad y granulometría por sedimentación. Es decir, este análisis tiene por propósito evaluar el potencial de expansión del suelo en función al contenido de partículas menores a $2\mu\text{m}$ y del valor de IP.

TABLA XLVII

Expansión promedio – muestras experimentales (C – 01)

C – 01		
COMBINACIÓN	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	POTENCIAL DE EXPANSIÓN (%)
Suelo natural (SN)	24.54%	Alta
SN + 0.75% PP + 15.00% VN	22.37%	Media
SN + 1.00% PP + 25.00% VN	19.15%	Baja
SN + 1.50% PP + 60.00% VN	16.12%	Baja

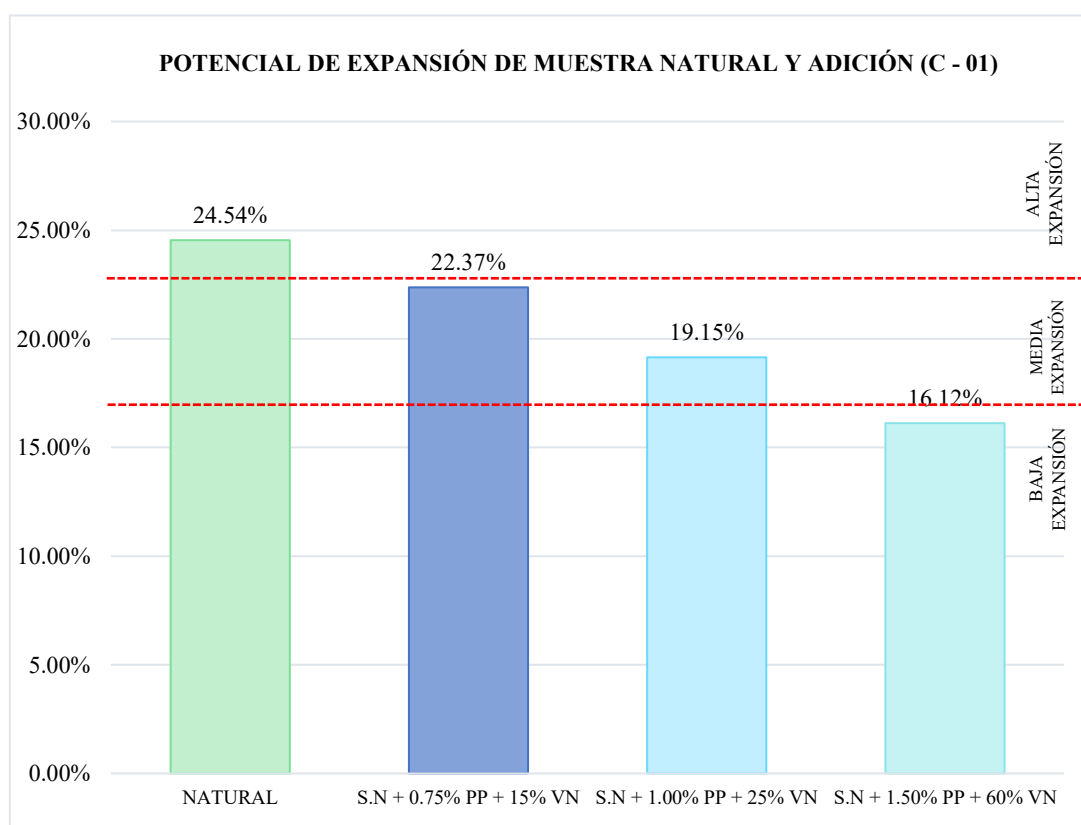
**Fig. 75.** Potencial de expansión de muestra natural y adición (C – 01)

TABLA XLVIII

Expansión promedio – muestras experimentales (C – 02)

C – 02		
COMBINACIÓN	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	POTENCIAL DE EXPANSIÓN (%)
Suelo natural (SN)	18.71%	Media
SN + 0.75% PP + 15.00% VN	17.32%	Baja
SN + 1.00% PP + 25.00% VN	15.95%	Baja
SN + 1.50% PP + 60.00% VN	14.35%	Baja

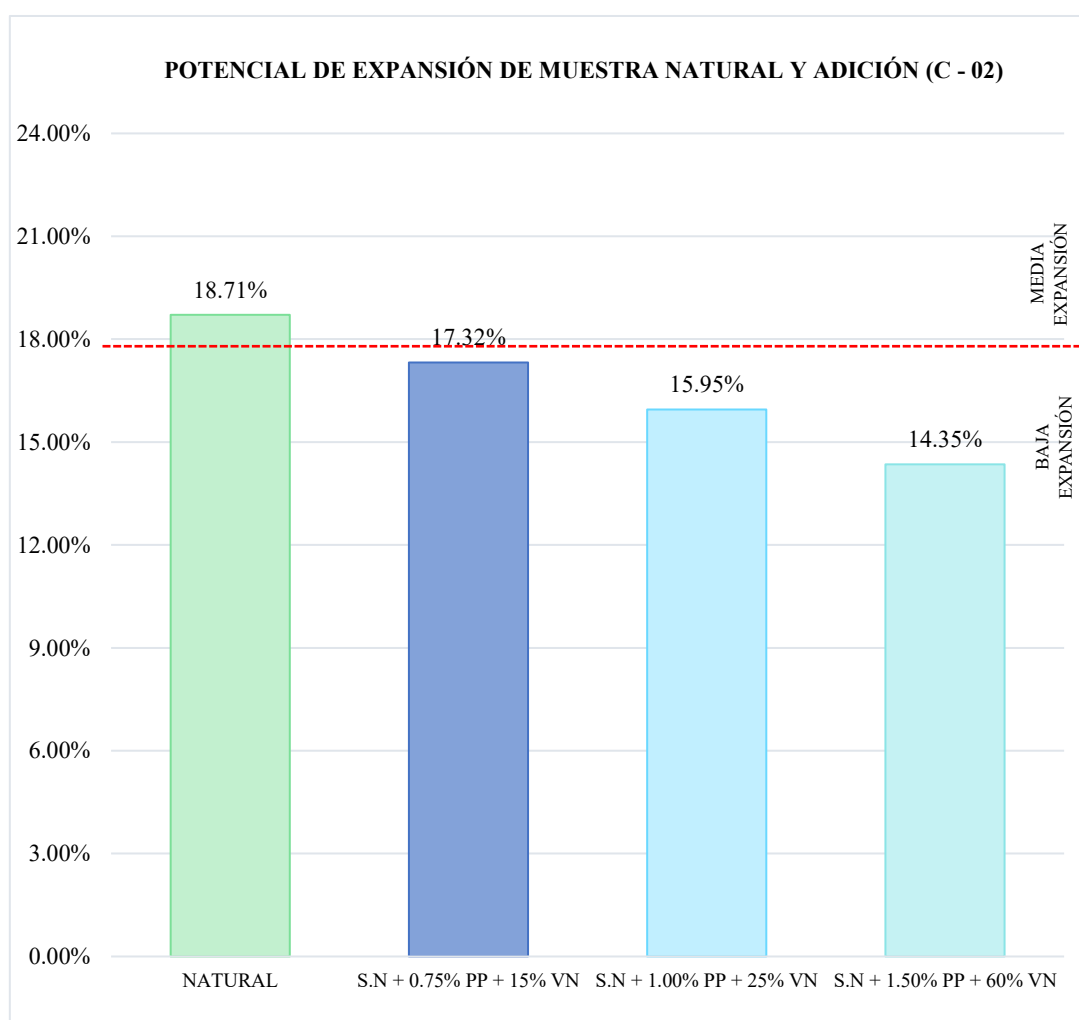
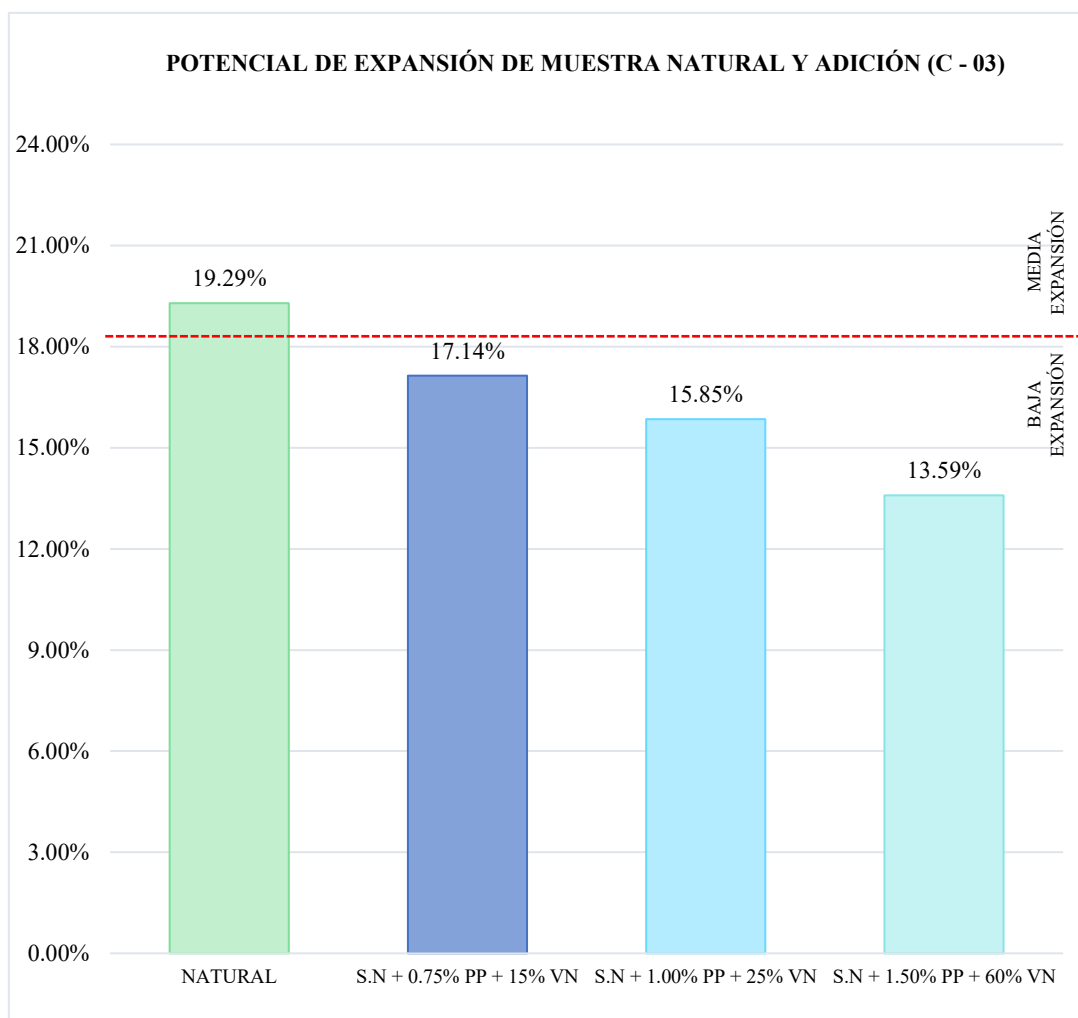


Fig. 76. Potencial de expansión de muestra natural y adición (C – 02)

TABLA XLIX

Expansión promedio – muestras experimentales (C – 03)

C – 03		
COMBINACIÓN	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	POTENCIAL DE EXPANSIÓN (%)
Suelo natural (SN)	19.29%	Media
SN + 0.75% PP + 15.00% VN	17.14%	Baja
SN + 1.00% PP + 25.00% VN	15.85%	Baja
SN + 1.50% PP + 60.00% VN	13.59%	Baja

**Fig. 77.** Potencial de expansión de muestra natural y adición (C – 03)

Interpretación de resultados

Muestras naturales:

En este apartado se realiza el análisis e interpretación de los resultados obtenidos de las muestras inalteradas en las tres calicatas. Por tanto, los ensayos efectuados comprenden el contenido de humedad, granulometría por tamizado e hidrometría, gravedad específica, límites de Atterberg, proctor modificado y ensayo de CBR. Estos estudios permiten una caracterización detallada de las propiedades físico-mecánicas del suelo.

Contenido de humedad:

Según se evidencia en la tabla XXVI, se evaluó el contenido de humedad de las tres calicatas y se obtuvieron los valores del 16.47%, 15.80% y 16.71% respectivamente. Holtz y Kovacs [45], nos dicen que la presencia de humedad elevada está vinculada a la expansividad de suelos entre 15% y 30% los cuales experimentan expansiones volumétricas notorias. En cuanto, a la C-03 presenta un mayor porcentaje, es decir el suelo retiene mayor cantidad de agua en su estructura, siendo este valor moderadamente elevado para los suelos expansivos. Por otro lado, para la C-01 y C-02 tienen valores de humedad menores del 16.47% y 15.80%, lo que indica una capacidad de expansión inferior en relación a la C-03 y relativamente se encuentran dentro de la categoría crítica para suelos arcillosos expansivos.

Distribución granulométrica:

Los ensayos granulométricos tanto como tamizado por sedimentación, se evidencia que la totalidad de las muestras atraviesan la malla N°200, indicando que son suelos de granulometría fina, con predominancia de partículas tipo limo o arcilla.

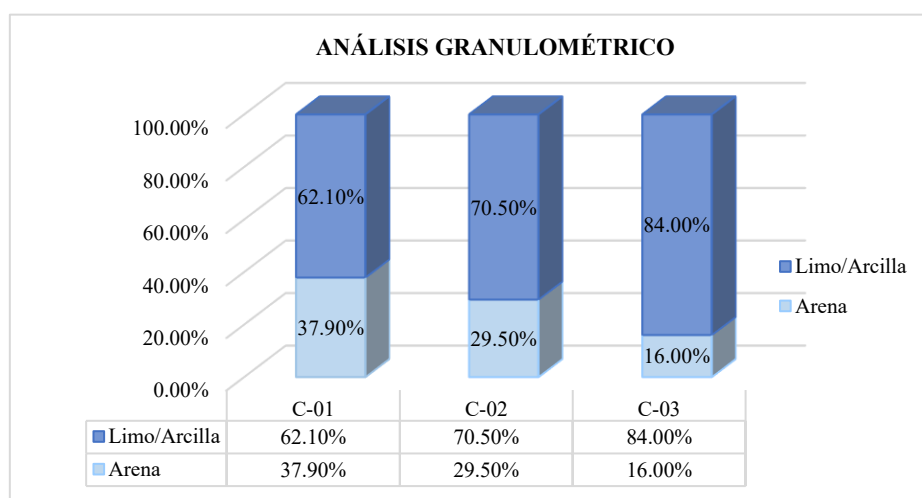


Fig. 78. Granulometría – muestras que pasan la malla N°200

Según lo establecido [25], se clasifica por tamaño de partículas, asimismo se sostiene que las tres calicatas forman parte del grupo de limo/arcillas.

Límites de consistencia:

En la tabla XXIX se presentan los resultados obtenidos a partir de las muestras naturales, aunque en la gráfica 79 destaca en especial el índice de plasticidad.

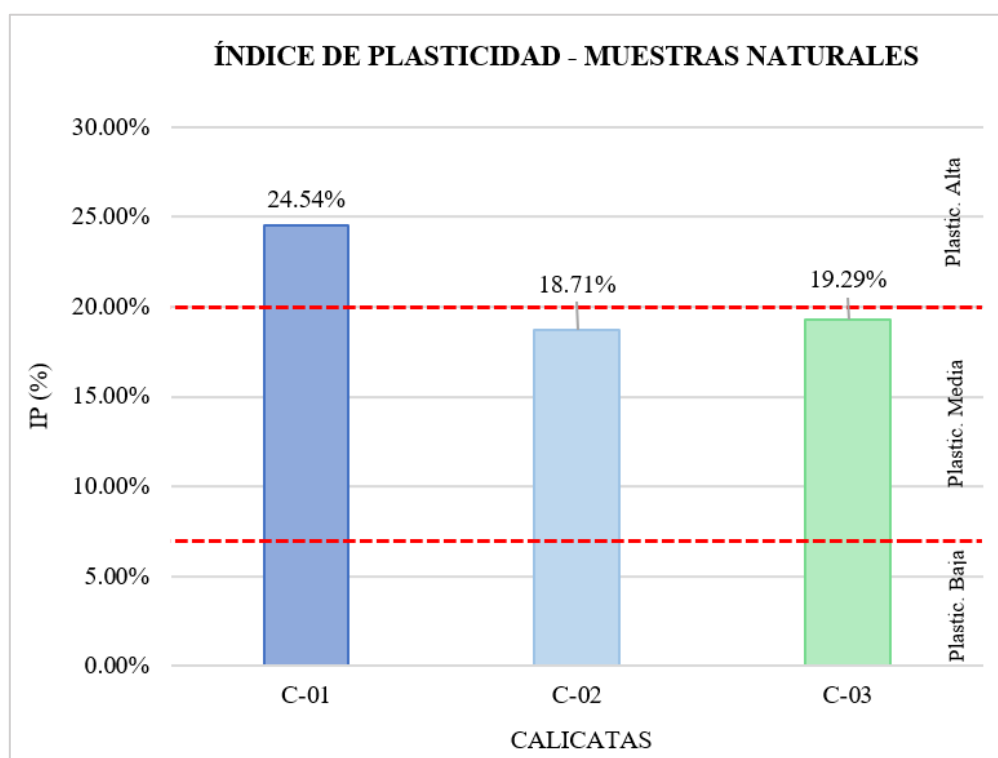


Fig. 79. IP (%) para la (C – 01, C – 02, C – 03)

Según la clasificación de suelos basada en el índice plástico establecida por [25], se determina que la muestra natural de la C-01 posee una plasticidad elevada característica típica de suelos con alto contenido de arcilla. Por otro lado, las muestras C-02 y C-03 exhiben una plasticidad media, lo cual implica una presencia moderada de fracciones arcillosas.

Gravedad específica:

Este parámetro determina la masa por unidad de volumen del suelo y se utiliza, además para calcular propiedades como la relación de vacíos, grado de saturación y porosidad de la muestra. En la tabla XXXI se presentan los valores obtenidos para las tres calicatas analizadas, siendo estos 2.446, 2.391 y 2.389 respectivamente.

Proctor modificado:

La compactación constituye resulta crucial en la subrasante destinada a soportar un pavimento, ya que este proceso va a incrementar la resistencia y reducir la capacidad de deformación [46]. En la figura 80 se presentan los valores de la M.D.S. para cada muestra analizada, registrándose el valor más de 1.736 g/cm³ para la C-1, seguido por la C-2 con 1.714 g/cm³ y 1.646 g/cm³ de la C-3.

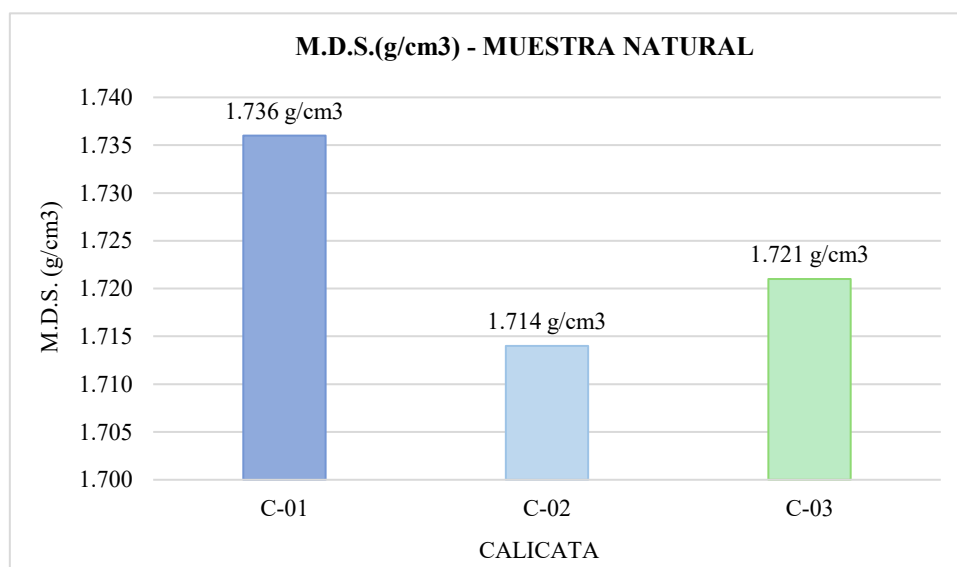


Fig. 80. M.D.S. (g/cm³) – muestra natural

Por otra parte, en la figura 81 se muestran los valores correspondientes a la humedad óptima obtenidos para cada calicata con los valores del 14.16%, 14.61% y 14.39%.

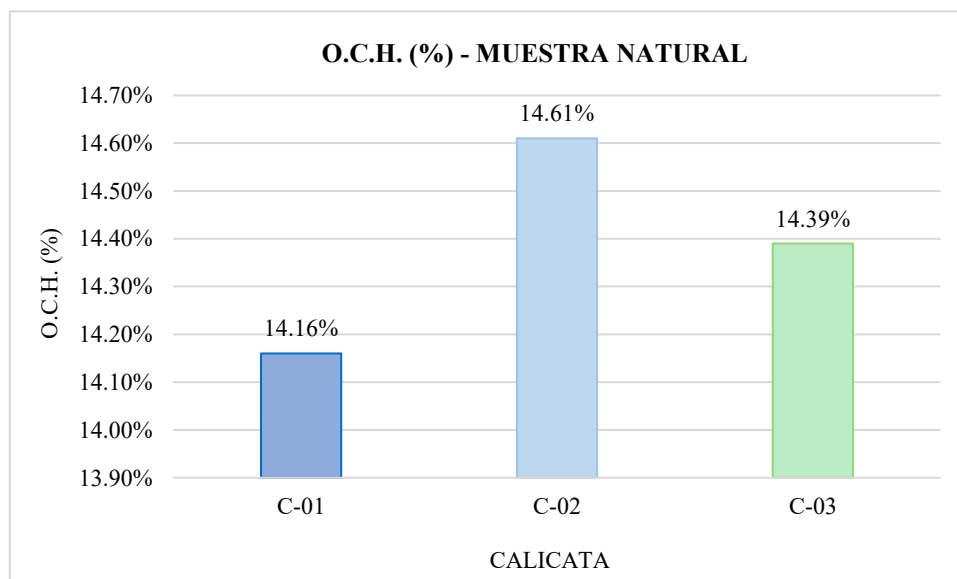


Fig. 81. O.C.H. (%) – muestra natural

Capacidad de soporte (CBR):

El valor estará referido para una penetración de 2.54 mm (0.1”) al 95% y 100%, en la fig.78 se muestra un resumen de las muestras naturales analizadas.

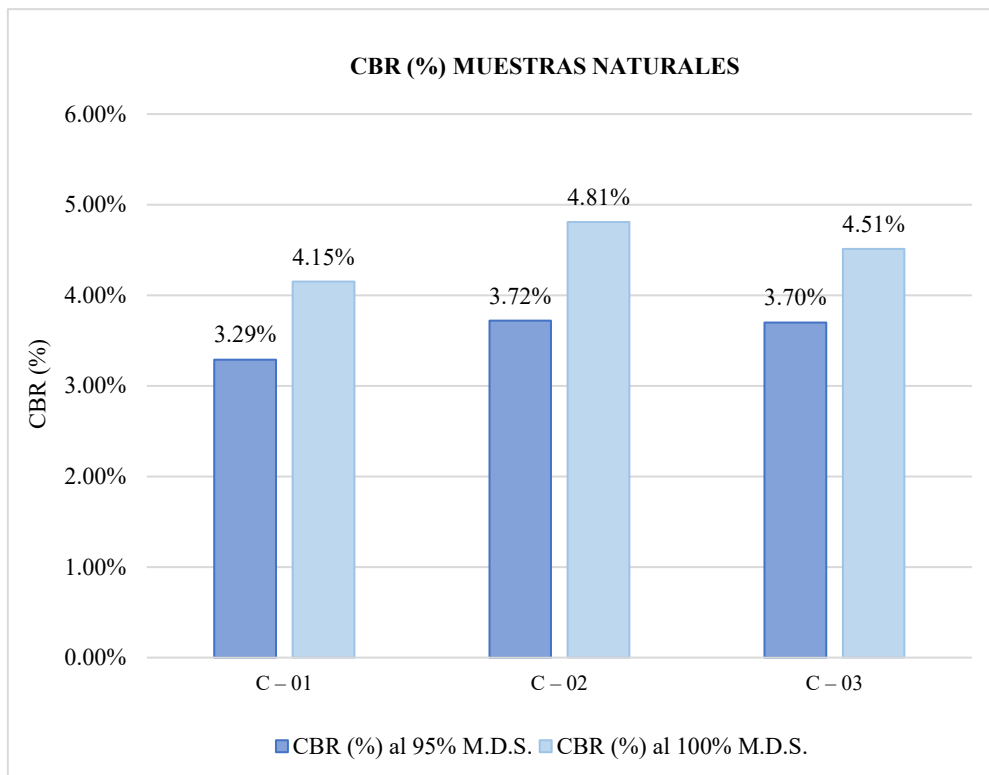


Fig. 82. CBR (%) – muestra natural

A partir de la gráfica anterior, se aprecia que al 100% de la M.D.S del suelo, la C-2 registra el valor más alto de CBR con un 4.81%, así como para la C-1 es 4.15% y en la C-3 es 4.51%. En cuanto, al 95% de la M.D.S. el valor máximo es de 3.72% para la calicata (C-2) y 3.70% de la calicata (C-3), sin embargo, la calicata (C-1) tiene un valor inferior del 3.29%.

Por otro lado, la fig.82 nos indica que las tres muestras arcillosas presentan un $3\% \geq \text{CBR} \leq 6\%$, y los clasifica como una subrasante pobre por el MTC [25], por ello se recomienda mejorar un suelo con estas características.

Muestras experimentales – PP% + VN%:

Se analizan e interpretan los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio aplicados a las muestras tratadas. Con este fin, se analizará la alteración observada en cada propiedad, en comparación con la relación que guardan las combinaciones respecto a las muestras naturales, luego con los cambios obtenidos se evaluará la influencia que tienen los estabilizantes con el suelo, y de esta forma se podrá tener una selección de porcentajes óptimos. Además, los ensayos se desarrollarán a las propiedades mecánicas.

Límite líquido:

TABLA L

Límite líquido (%) de las muestras analizadas

COMBINACIÓN	LÍMITE LÍQUIDO (%)		
	C – 01	C – 02	C – 03
SUELO NATURAL (S.N)	46.88 %	41.55%	42.96%
S.N + 0.75% PP + 15.00% VN	45.91%	38.77%	41.33%
S.N + 1.00% PP + 25.00% VN	41.82%	41.80%	39.49%
S.N + 1.50% PP + 60.00% VN	38.36%	36.52%	38.29%

Calicata N°01:

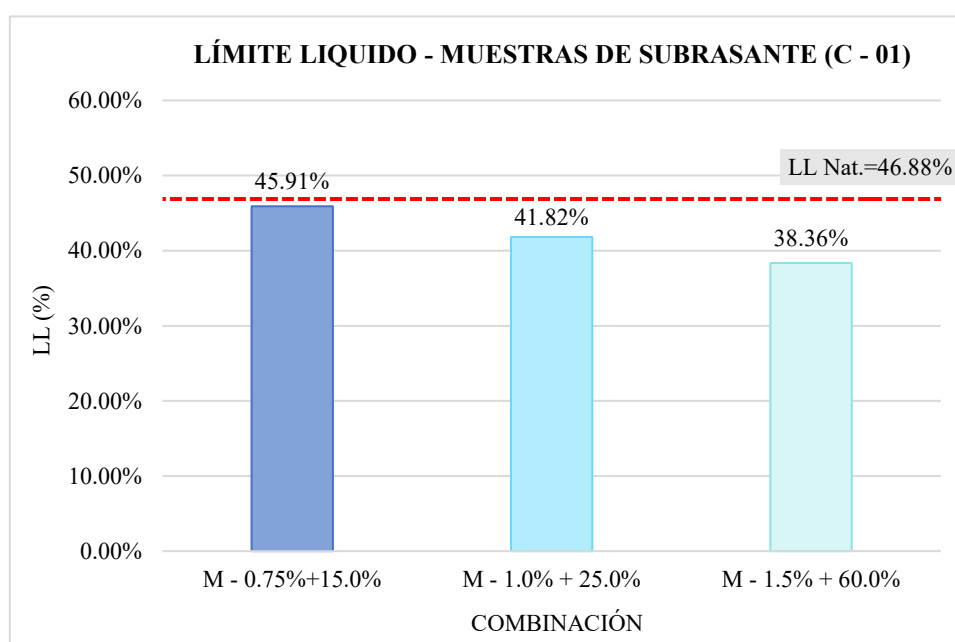
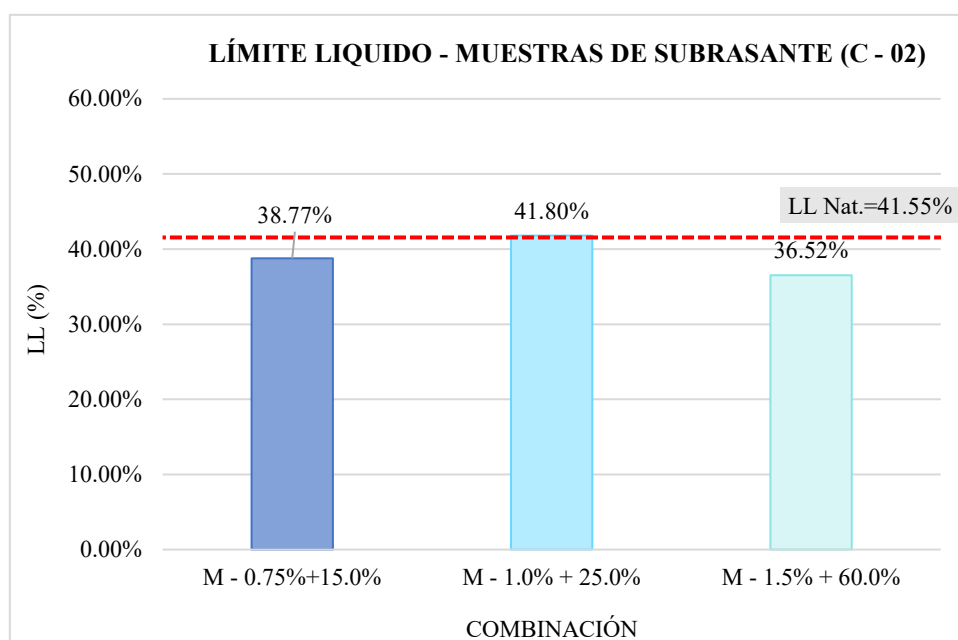


Fig. 83. Comparativo del LL – muestra experimental (C – 01)

Interpretación:

- La variación identificada en la proporción 0.75% PP+15.00% VN: el LL (%) disminuye en 0.98 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00% PP+25.00% VN: el LL (%) disminuye en 0.89 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50% PP+60.00% VN: el LL (%) disminuye en 0.82 en comparación a la natural.

Calicata N°02:**Fig. 84.** Comparativo del LL – muestra experimental (C – 02)**Interpretación:**

- La variación identificada en la proporción 0.75% PP+15.00% VN: el LL (%) disminuye en 0.93 en comparación a la natural
- La variación identificada en la proporción 1.00% PP+25.00% VN: el LL (%) disminuye en 1.01 en comparación a la natural
- La variación identificada en la proporción 1.50% PP+60.00% VN: el LL (%) disminuye en 0.88 en comparación a la natural.

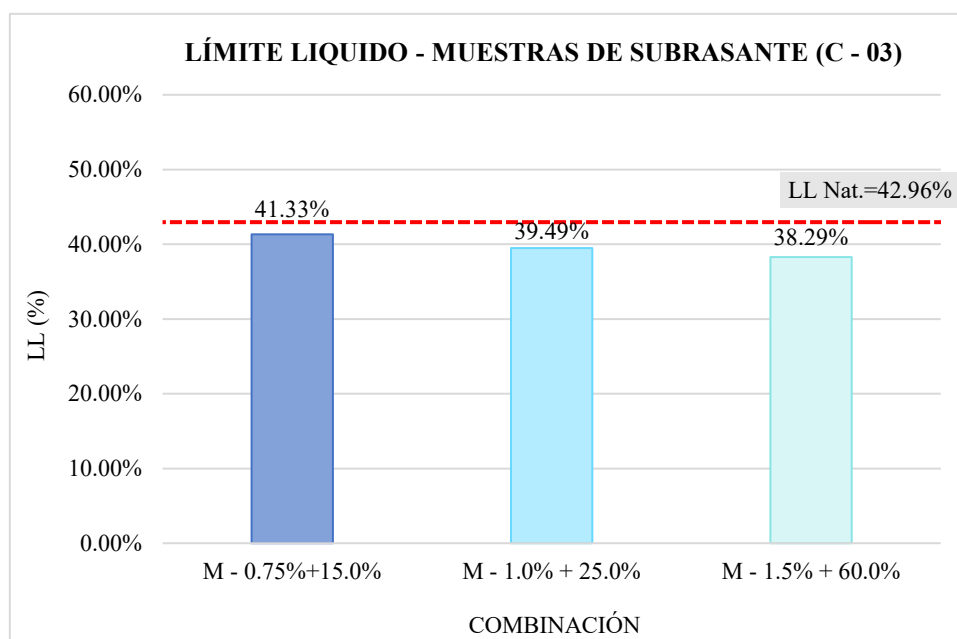
Calicata N°03:

Fig. 85. Comparativo del LL – muestra experimental (C – 03)

Interpretación:

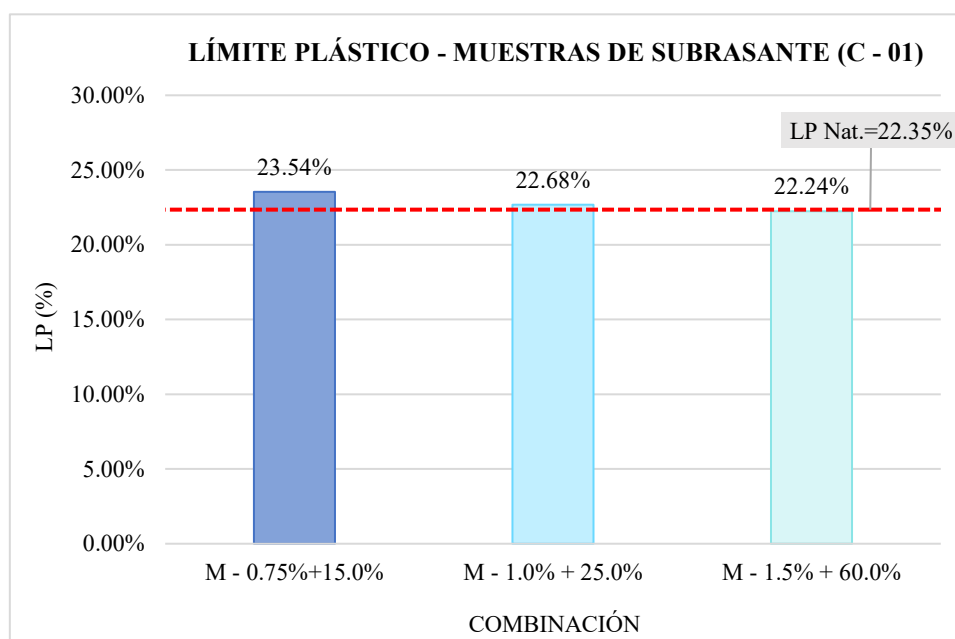
- La variación identificada en la proporción 0.75% PP+15.00% VN: el LL (%) disminuye en 0.96 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00% PP+25.00% VN: el LL (%) disminuye en 0.92 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50% PP+60.00% VN: el LL (%) disminuye en 0.89 en comparación a la natural.

De acuerdo con lo establecido en el MTC E-110, deberá utilizarse el pasante por la malla N° 40, por lo tanto, esta propiedad influenciada por la presencia de las fibras de polipropileno con vinaza y se analizará los cambios que ambos generan. Asimismo, se logra apreciar en las figuras 83, 84 y 85 para las muestras experimentales de las calicatas. Por otro lado, se observa que al incrementar la dosificación de los aditivos, los resultados presentan una ligera variabilidad, lo que indica que hay una disminución uniforme LL (%).

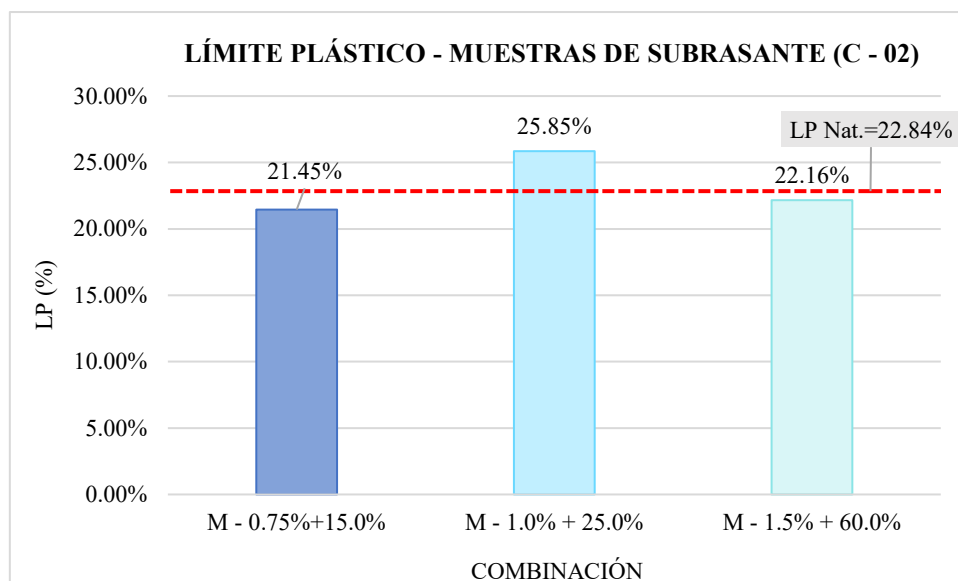
Límite plástico:**TABLA LI**

Límite plástico (%) de las muestras analizadas

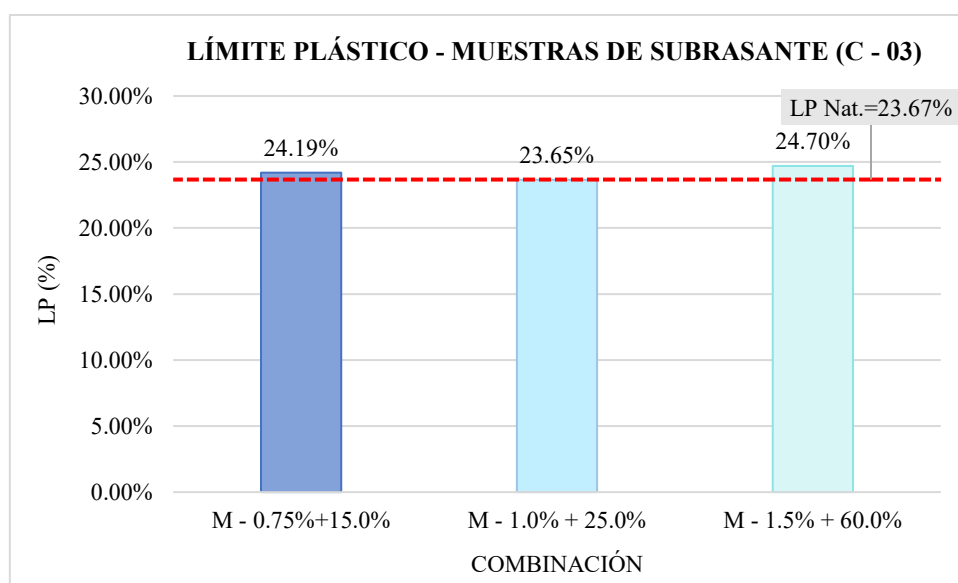
COMBINACIÓN	LÍMITE PLÁSTICO (%)		
	C – 01	C – 02	C – 03
SUELO NATURAL (S.N)	22.35%	22.84%	23.67%
S.N + 0.75% PP + 15.00% VN	23.54%	21.45%	24.19%
S.N + 1.00% PP + 25.00% VN	22.68%	25.85%	23.65%
S.N + 1.50% PP + 60.00% VN	22.24%	22.16%	24.70%

Calicata N°01:**Fig. 86.** Comparativo del LP – muestra experimental (C – 01)**Interpretación:**

- La variación identificada en la proporción 0.75% PP+15.00% VN: el LP (%) disminuye en 1.05 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00% PP+25.00% VN: el LP (%) disminuye en 1.01 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50% PP+60.00% VN: el LP (%) disminuye en 1.00 en comparación a la natural.

Calicata N°02:**Fig. 87.** Comparativo del LP – muestra experimental (C – 02)**Interpretación:**

- La variación identificada en la proporción 0.75% PP+15.00% VN: el LP (%) disminuye en 0.94 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00% PP+25.00% VN: el LP (%) disminuye en 1.13 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50% PP+60.00% VN: el LP (%) disminuye en 0.97 en comparación a la natural.

Calicata N°03:**Fig. 88.** Comparativo del LP – muestra experimental (C – 03)

Interpretación:

- La variación identificada en la proporción 0.75% PP+15.00% VN: el LP (%) disminuye en 1.02 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00% PP+25.00% VN: el LP (%) disminuye en 1.00 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50% PP+60.00% VN: el LP (%) disminuye en 1.04 en comparación a la natural.

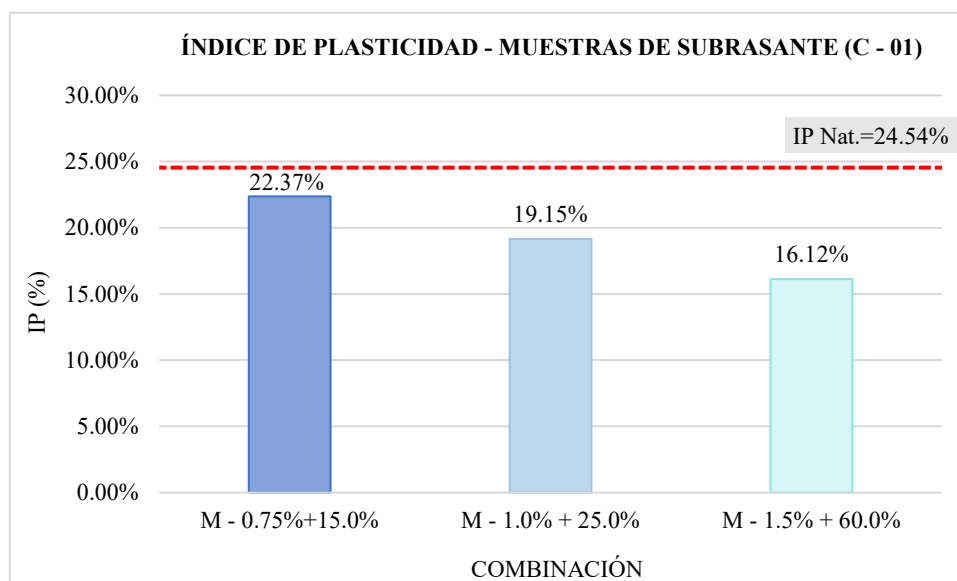
Según lo indicado en el MTC E-111, deberá utilizarse el pasante de la malla N°40. En este sentido, tal como se muestra en las figuras 86, 87 y 88 se aprecia que al incrementar la cantidad de aditivos los resultados tienden a elevarse y presenta un leve aumento del LP (%).

Índice de plasticidad:**TABLA LII**

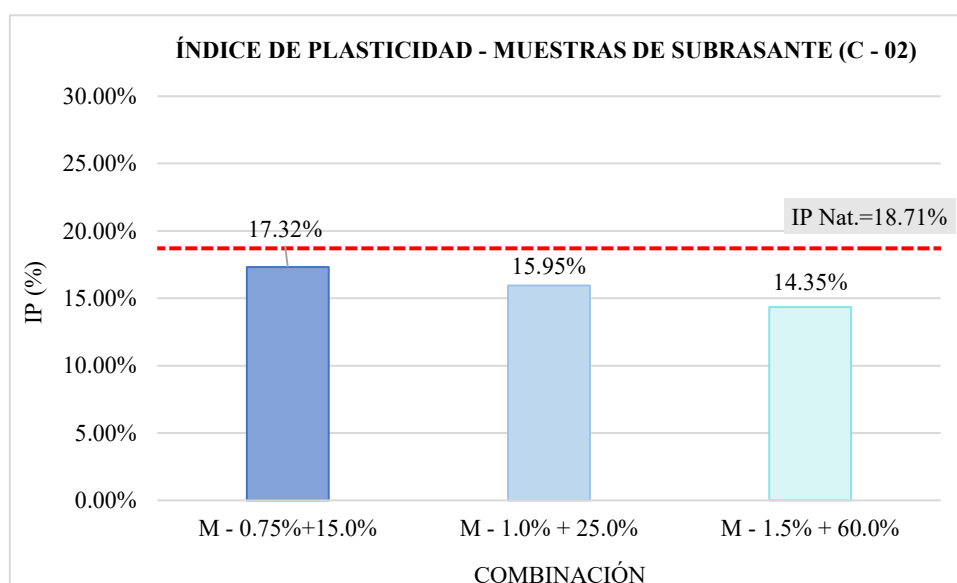
Índice de plasticidad (%) de las muestras analizadas

COMBINACIÓN	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)		
	C – 01	C – 02	C – 03
SUELO NATURAL (S.N)	24.54%	18.71%	19.29%
S.N + 0.75% PP + 15.00% VN	22.37%	17.32%	17.14%
S.N + 1.00% PP + 25.00% VN	19.15%	15.95%	15.85%
S.N + 1.50% PP + 60.00% VN	16.12%	14.35%	13.59%

La tabla LII presenta los resultados obtenidos para cada calicata y la dosificación utilizada. A partir de estos datos, se elaboraron las figuras 89, 90 y 91, las cuales permiten analizar las variaciones mostradas de las muestras analizadas.

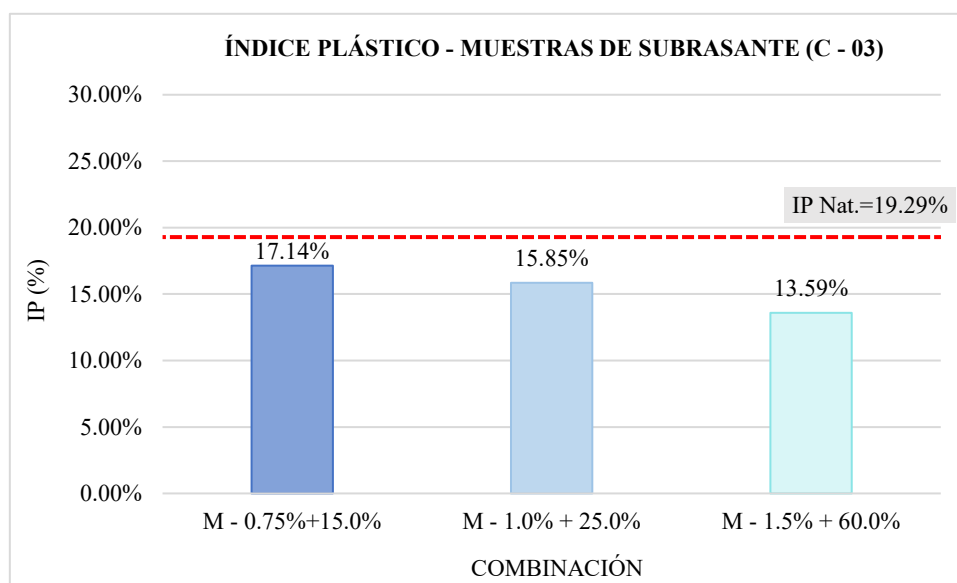
Calicata N°01:**Fig. 89.** Comparativo del IP – muestra experimental (C – 01)**Interpretación:**

- La variación identificada en la proporción 0.75% PP+15.00% VN: el IP (%) disminuye en 0.91 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00% PP+25.00% VN: el IP (%) disminuye en 0.78 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50% PP+60.00% VN: el IP (%) disminuye en 0.66 en comparación a la natural.

Calicata N°02:**Fig. 90.** Comparativo del IP – muestra experimental (C – 02)

Interpretación:

- La variación identificada en la proporción 0.75% PP+15.00% VN: el IP (%) disminuye en 0.93 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00% PP+25.00% VN: el IP (%) disminuye en 0.85 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50% PP+60.00% VN: el IP (%) disminuye en 0.77 en comparación a la natural.

Calicata N°03:**Fig. 91.** Comparativo del IP – muestra experimental (C – 03)**Interpretación:**

- La variación identificada en la proporción 0.75% PP+15.00% VN: el IP (%) disminuye en 0.89 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00% PP+25.00% VN: el IP (%) disminuye en 0.82 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50% PP+60.00% VN: el IP (%) disminuye en 0.70 en comparación a la natural.

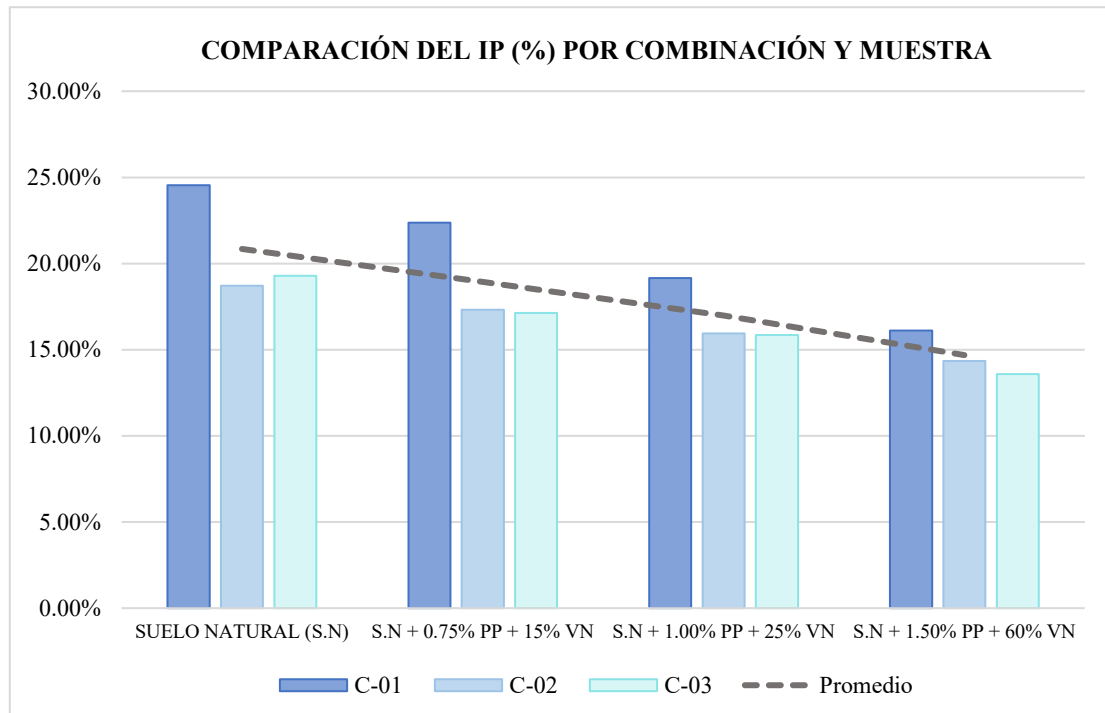


Fig. 92. Comparativo del índice plástico en muestras experimentales

Tal como se observa en la figura 92, la muestra natural tiene el IP más alto, mientras que las combinaciones con fibras de polipropileno y vinaza disminuyen progresivamente. Por lo cual, se realizó el promedio del índice de plasticidad para cada combinación, obteniéndose para el 0.75%+15.00% un IP del 18.94%, en cuanto al 1.00%+25.00% un IP del 16.98% y por último del 1.50%+60.00% un IP de 14.69%, dado que indica un menor IP y potencialmente mayor estabilidad en el suelo de estudio.

Proctor modificado

O.C.H (%):

La tabla LIII, presenta los resultados obtenidos en este ensayo organizados según la calicata y la dosificación utilizada.

TABLA LIII

O.C.H. (%) de todas las muestras experimentales

COMBINACIÓN	O.C.H. (%)		
	C - 01	C - 02	C - 03
SUELO NATURAL (S.N)	14.16%	14.61%	14.39%
S.N + 0.75% PP + 15.00% VN	13.97%	13.60%	13.22%
S.N + 1.00% PP + 25.00% VN	14.50%	12.50%	12.90%
S.N + 1.50% PP + 60.00% VN	13.20%	13.16%	13.55%

A partir de los datos obtenidos, se elaboraron las figuras 93, 94 y 95 las cuales servirán para cuantificar las modificaciones producidas de las muestras analizadas. Asimismo, se realizará un análisis comparativo y una interpretación detallada de los resultados.

Calicata N°01:

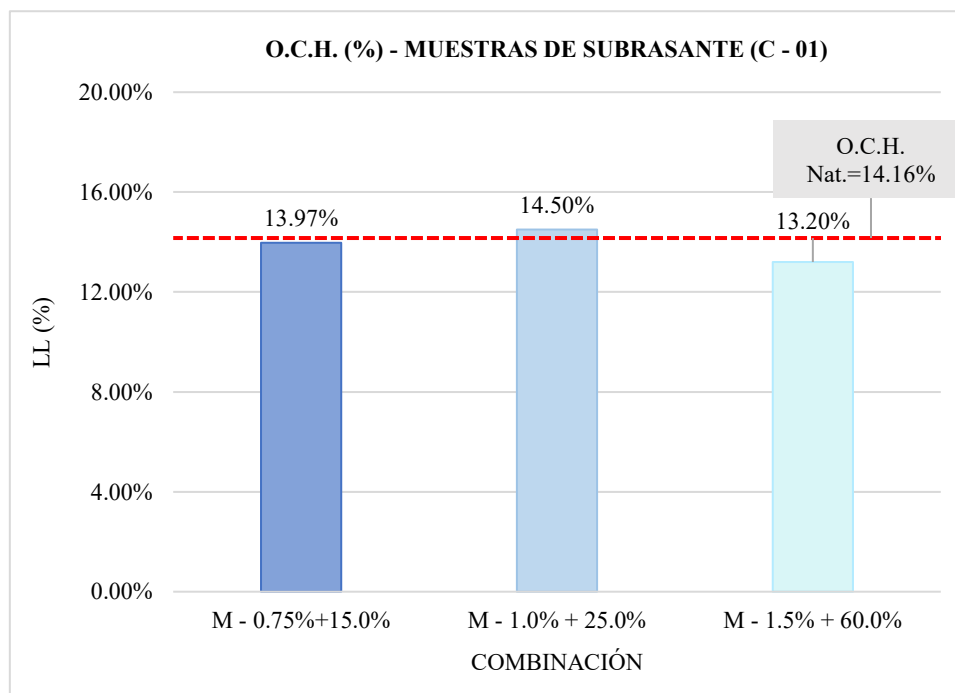
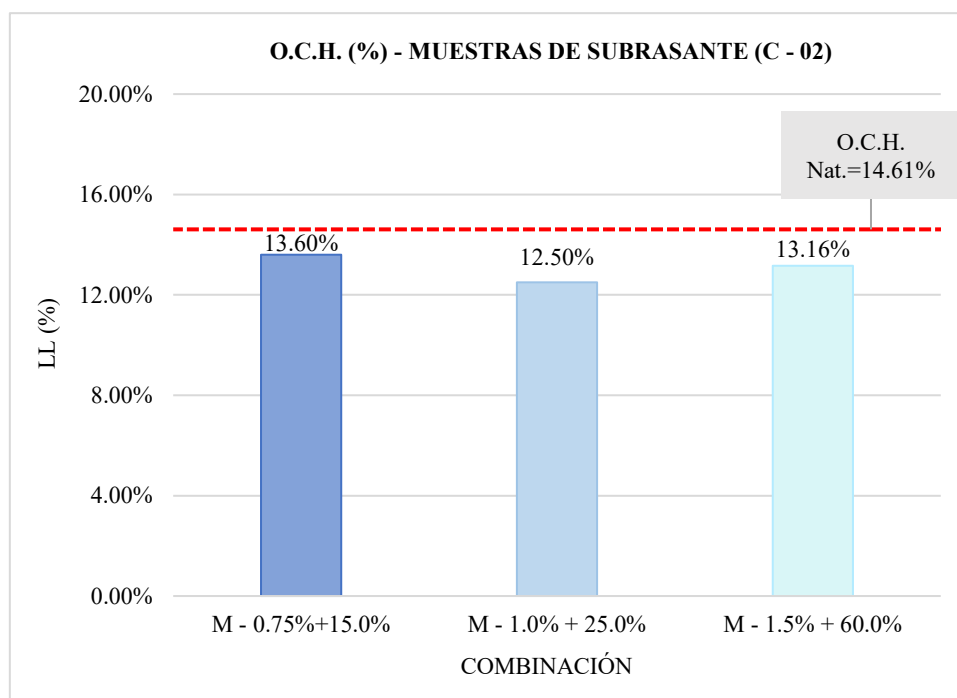


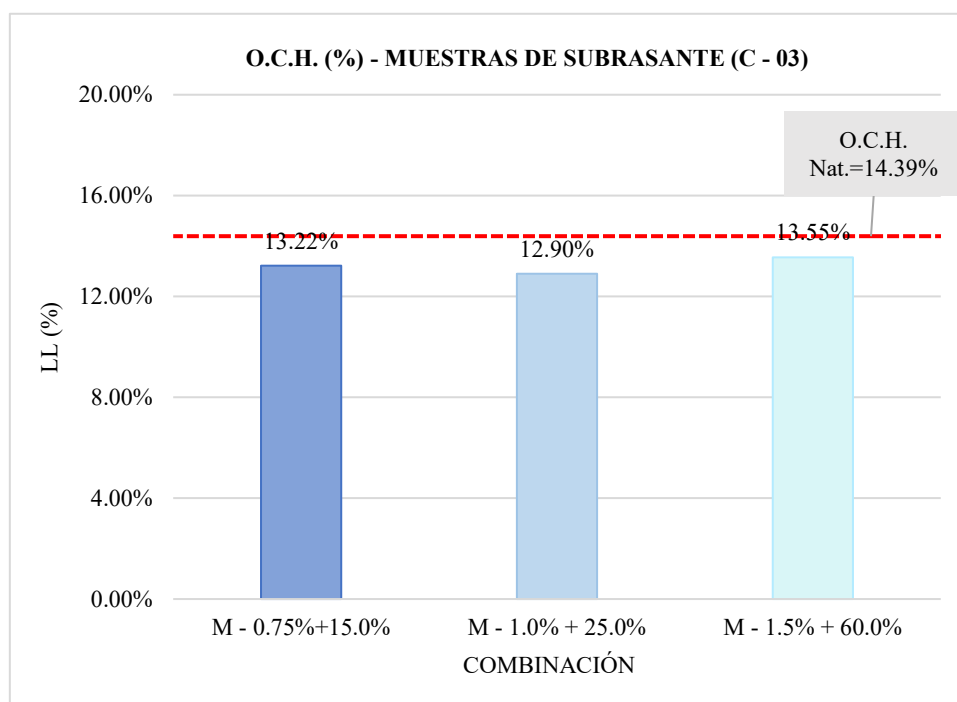
Fig. 93. O.C.H (%) para la (C - 01)

Interpretación:

- La variación identificada en la proporción 0.75% PP+15.00% VN: el OCH (%) disminuye en 0.99 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00% PP+25.00% VN: el OCH (%) disminuye en 1.02 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50% PP+60.00% VN: el OCH (%) disminuye en 0.93 en comparación a la natural.

Calicata N°02:**Fig. 94.** O.C.H (%) para la (C – 02)**Interpretación:**

- La variación identificada en la proporción 0.75% PP+15.00% VN: el OCH (%) disminuye en 0.93 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00% PP+25.00% VN: el OCH (%) disminuye en 0.86 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50% PP+60.00% VN: el OCH (%) disminuye en 0.90 en comparación a la natural.

Calicata N°03:**Fig. 95.** O.C.H (%) para la (C – 03)**Interpretación:**

- La variación identificada en la proporción 0.75%PP + 15.00%VN: el OCH (%) disminuye en 0.92 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00%PP + 25.00%VN: el OCH (%) disminuye en 0.90 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50%PP + 60.00%VN: el OCH (%) disminuye en 0.94 en comparación a la natural.

Se ve influenciada por la incorporación de ambos estabilizantes propuestos, ya que se considera la gradación total de la muestra. Asimismo, permite analizar las modificaciones inducidas por estos aditivos. Tal como se muestra en las figuras 93, 94 y 95, correspondientes a todas las muestras experimentales, se observa que al incrementarse la dosificación genera variaciones en el OCH (%). Es decir, la combinación 1.00%+25.00% y 1.50%+60.00% reduce en proporción promedio a 0.92 veces el valor del suelo natural, lo que indica un aumento en la efectividad del proceso de compactación.

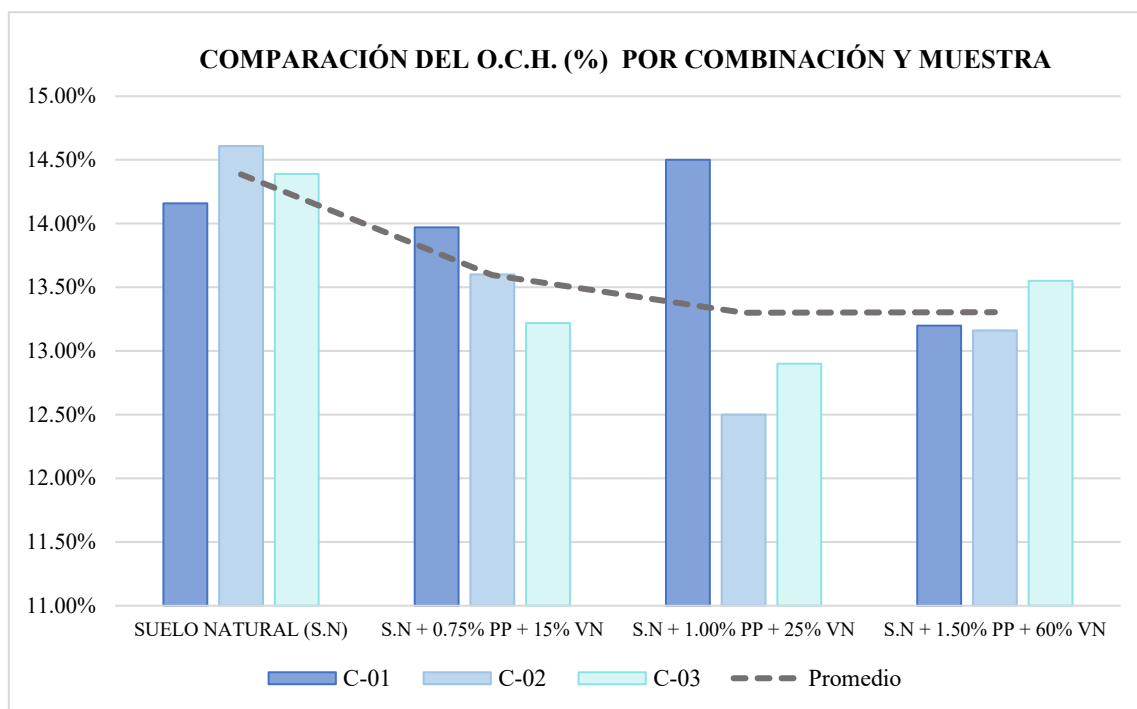


Fig. 96. Cuadro comparativo del O.C.H. (%) por combinación y muestra natural

Comentario

Como se observa en la figura 96 la línea de tendencia promedio que comienza con el suelo natural es de 14.39%, seguido de 0.75%+15.00% siendo 13.60%, el 1.00%+25.00% es 13.30% y para el 1.50%+60.00% de 13.30%. Por tanto, se tiene una reducción de humedad promedio en las dos últimas combinaciones, ya que su valor es de 1.09% a diferencia de la primera que es de 0.79%. En resumen, la combinación óptima es de 1.00%+25.00% que presenta valores constantes en las tres calicatas de 14.50%, 12.59% y 12.90% respectivamente.

M.D.S (g/cm³):

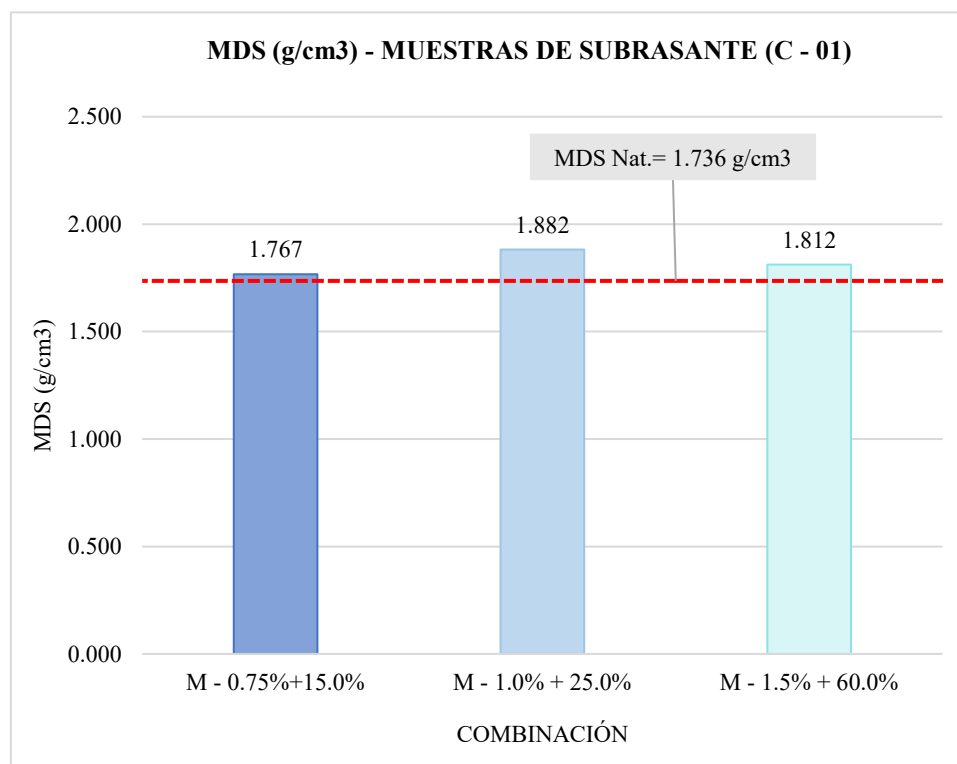
En la tabla LIV, se exponen los valores resultantes del ensayo clasificados según la calicata y el nivel de dosificación utilizada.

TABLA LIV

M.D.S.(g/cm³) de las muestras experimentales

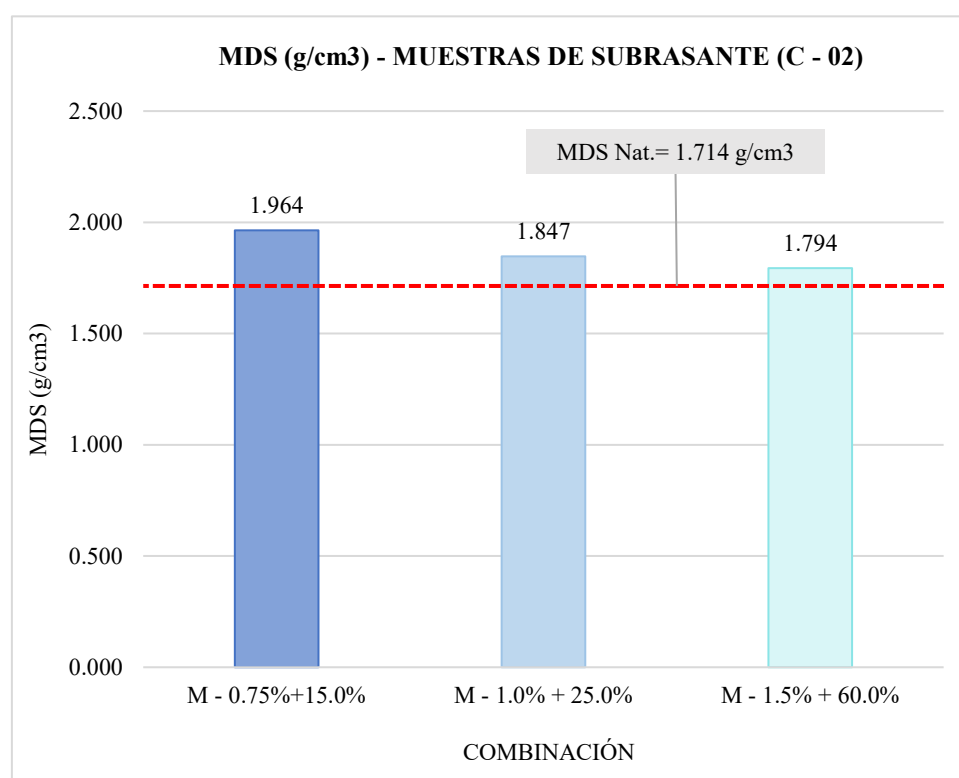
COMBINACIÓN	M.D.S. (g/cm ³)		
	C – 01	C – 02	C – 03
SUELO NATURAL (S.N)	1.736	1.714	1.721
S.N + 0.75% PP + 15.00% VN	1.767	1.964	1.931
S.N + 1.00% PP + 25.00% VN	1.882	1.847	1.854
S.N + 1.50% PP + 60.00% VN	1.812	1.794	1.783

A partir de los datos obtenidos, se desarrollaron las figuras 97, 98 y 99, las cuales permitirán cuantificar las variaciones producidas en las muestras analizadas. De igual manera, se realizará una comparación y un análisis evaluativo de los resultados.

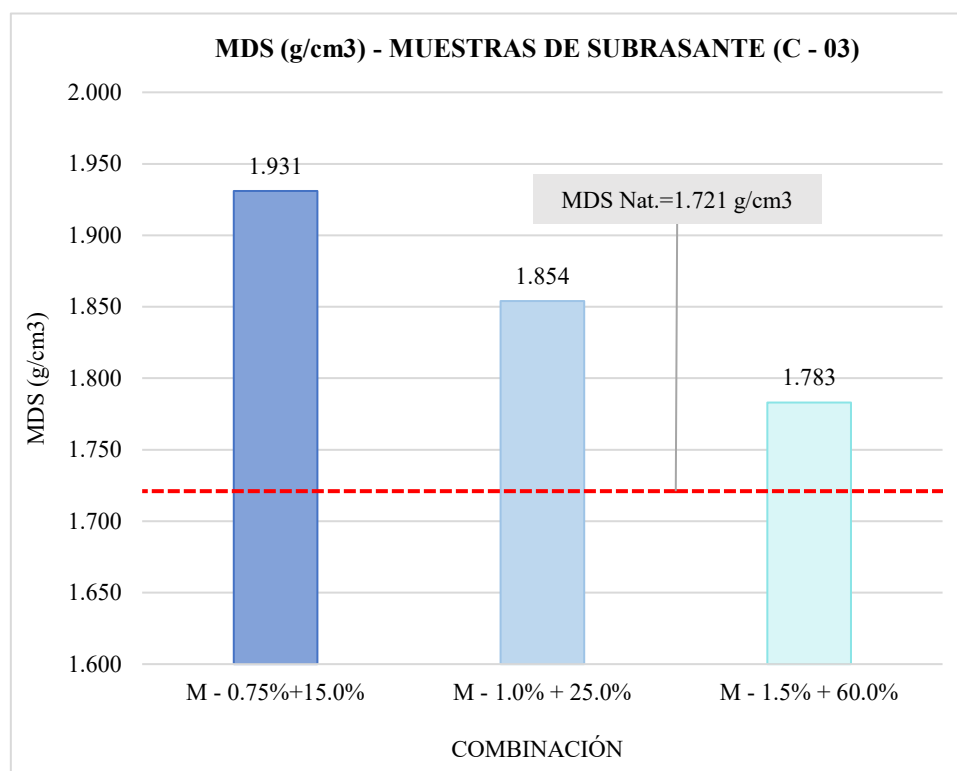
Calicata N°01:**Fig. 97.** M.D.S.(g/cm³) para la (C – 01)

Interpretación:

- La variación identificada en la proporción 0.75%PP+15.00%VN: la MDS (g/cm³) disminuye 1.02 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00%PP+25.00%VN: la M.D.S.(g/cm³) disminuye 1.08 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50%PP+60.00%VN: la M.D.S.(g/cm³) disminuye 1.04 en comparación a la natural.

Calicata N°02:**Fig. 98.** M.D.S.(g/cm³) para la (C – 02)**Interpretación:**

- La variación identificada en la proporción 0.75%PP+15.00%VN: la M.D.S.(g/cm³) disminuye 1.15 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00%PP+25.00%VN: la M.D.S.(g/cm³) disminuye 1.08 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50%PP+60.00%VN: la M.D.S.(g/cm³) disminuye 1.05 en comparación a la natural.

Calicata N°03:**Fig. 99.** M.D.S.(g/cm³) para la (C – 03)**Interpretación:**

- La variación identificada en la proporción 0.75%PP+15.00%VN: la M.D.S.(g/cm³) disminuye 1.12 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00%PP+25.00%VN: la M.D.S.(g/cm³) disminuye 1.08 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50%PP+60.00%VN: la M.D.S.(g/cm³) disminuye 1.04 en comparación a la natural.

En este caso, la inclusión de fibras de polipropileno con vinaza evaluar las modificaciones que estos aditivos inducen. Tal como se muestra en las figuras 97, 98 y 99 correspondientes a las muestras experimentales, se observa que al incrementarse las adiciones los valores de la MDS (g/cm³) presentan una tendencia creciente y se evidencia un incremento progresivo.

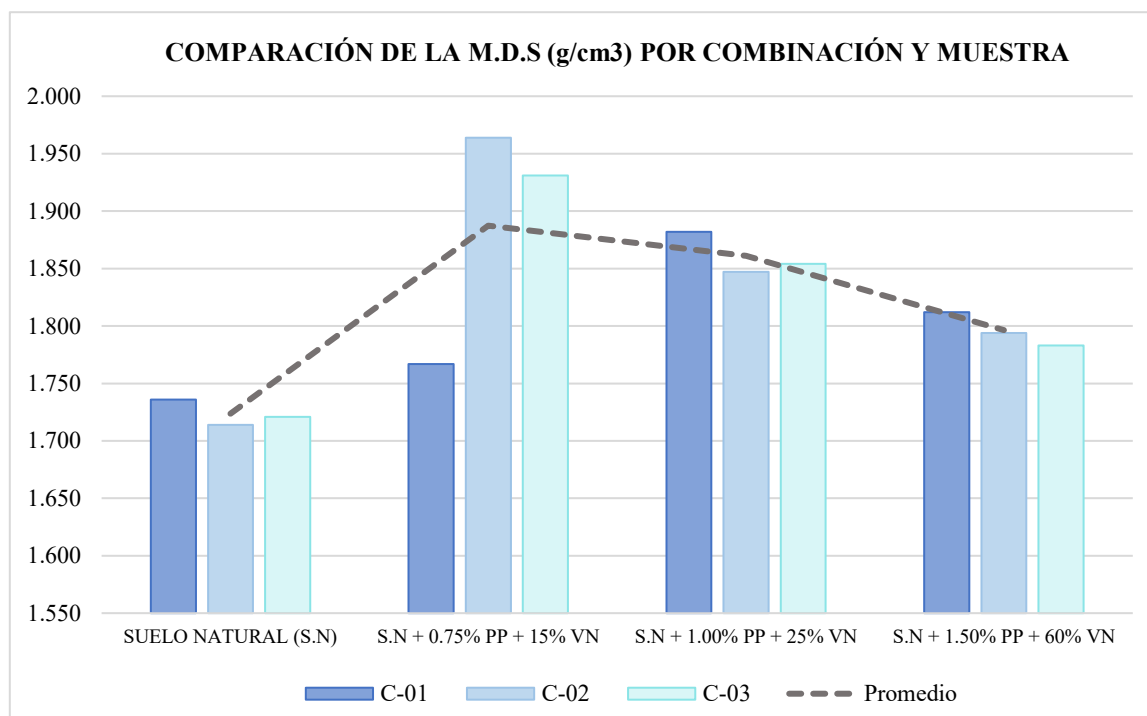


Fig. 100. Comparativa de la M.D.S. (g/cm³) por combinación y muestra natural

Comentario:

Se advierte que con el incremento del porcentaje de fibras de polipropileno con vinaza aumenta su M.D.S (g/cm³) inicial del suelo, siendo el de mejor resultado la adición del 1.00%+25.00%. Por lo cual, el aumento para la calicata (C-1) es 1.736 de suelo natural a 1.767, 1.882 y 1.812 g/cm³, para la calicata (C-02) es 1.714 de suelo natural a 1.964, 1.847 y 1.794 g/cm³. Por último, en la calicata (C-3) va desde 1.721 a 1.931, 1.854 y 1.783 g/cm³.

Capacidad de soporte (95% M.D.S):

En la tabla LV, se exponen los datos correspondientes al ensayo, clasificados por calicata y nivel de dosificación.

TABLA LV
CBR de muestras experimentales al (95% M.D.S.)

COMBINACIÓN	CBR (%) al 95% de la M.D.S. (g/cm ³)		
	C - 01	C - 02	C - 03
SUELO NATURAL (S.N)	3.29%	3.72%	3.70%
S.N + 0.75% PP + 15.00% VN	7.16%	8.02%	7.48%
S.N + 1.00% PP + 25.00% VN	8.77%	8.72%	8.67%
S.N + 1.50% PP + 60.00% VN	9.21%	9.76%	9.89%

A partir de los datos presentados, se elaboraron las figuras 101, 102 y 103, las cuales permitirán cuantificar las variaciones producidas en las muestras analizadas. Además, se realizará una comparación y evaluación de los resultados.

Calicata N°01:

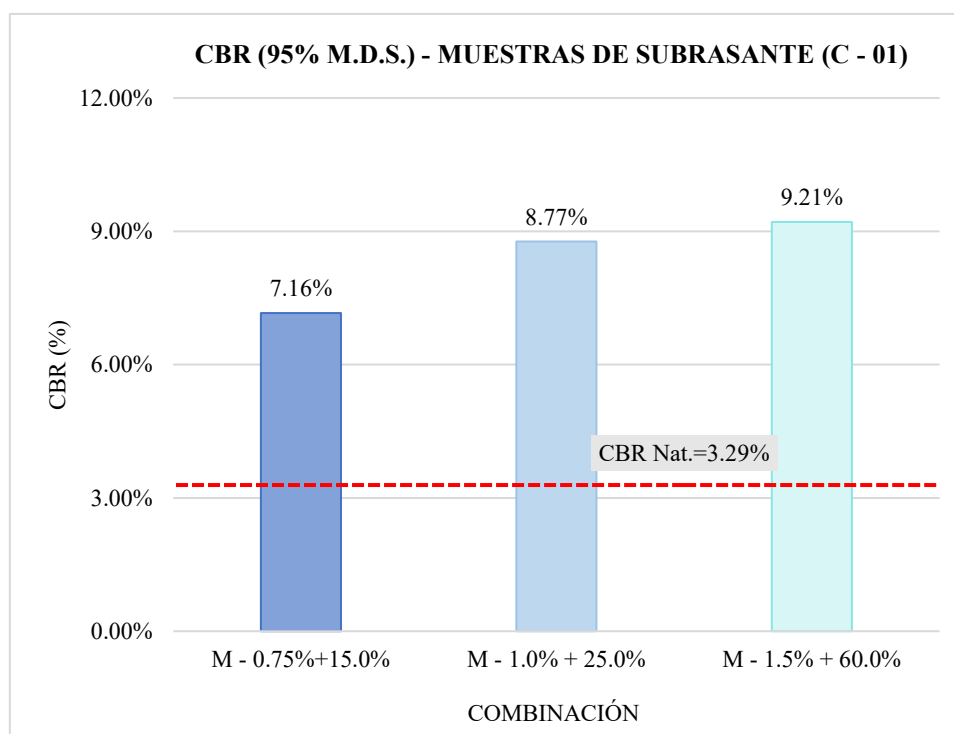
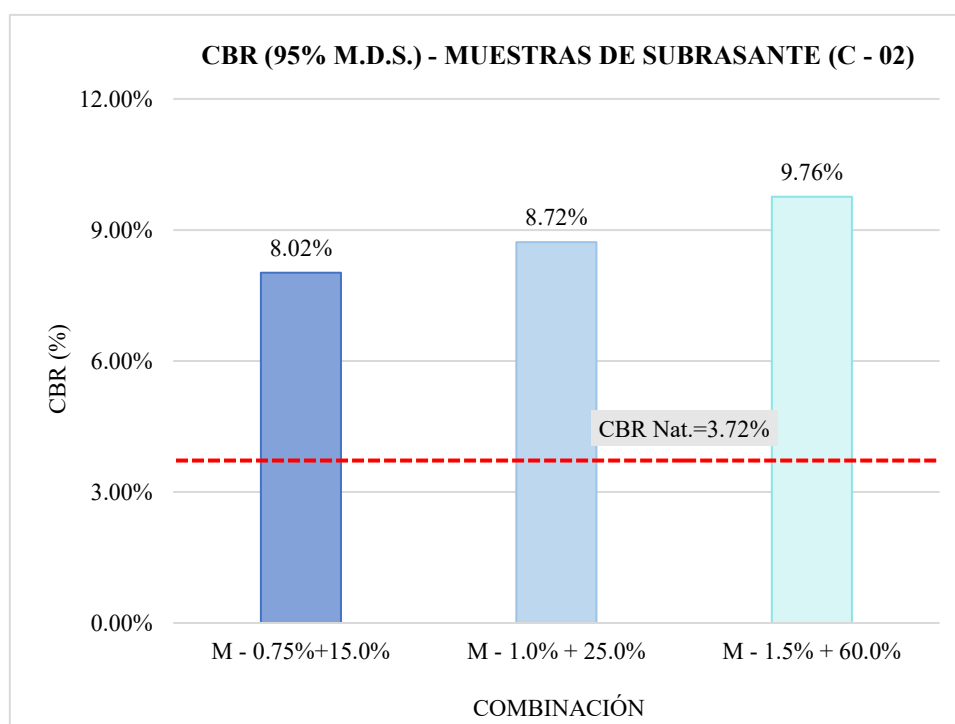


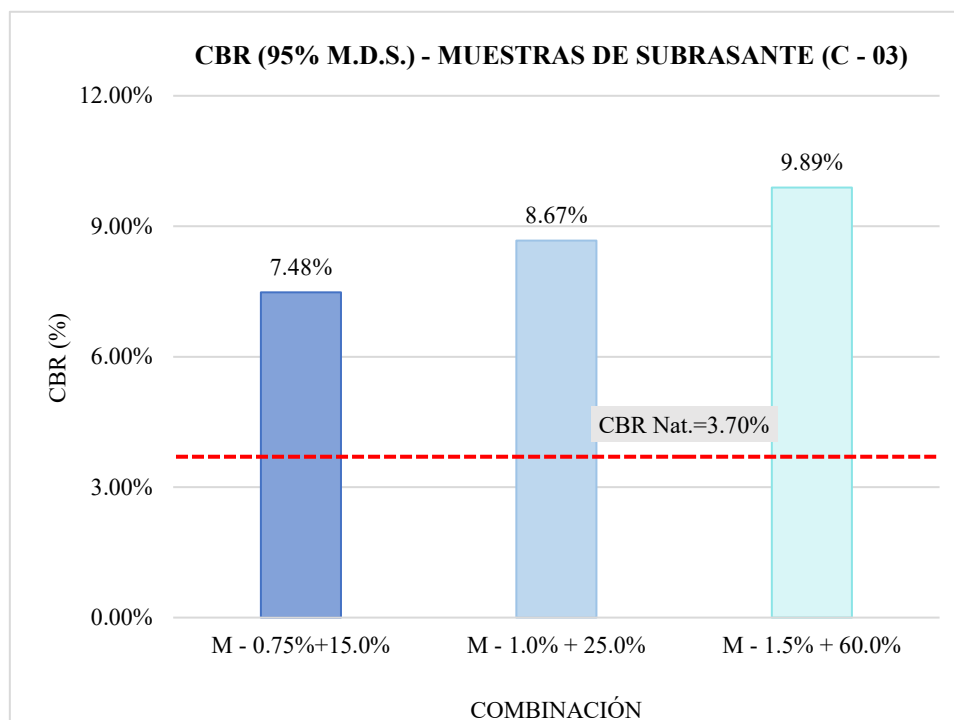
Fig. 101. CBR (95% M.D.S.) para la (C - 01)

Interpretación:

- La variación identificada en la proporción 0.75%PP+15.00%VN: el CBR (95% M.D.S.), disminuye 2.18 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00%PP+25.00%VN: el CBR (95% M.D.S.), disminuye 2.67 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50%PP+60.00%VN: el CBR (95% M.D.S.), disminuye 2.63 en comparación a la natural.

Calicata N°02:**Fig. 102.** CBR (95% M.D.S.) para la (C – 02)**Interpretación:**

- La variación identificada en la proporción 0.75%PP+15.00%VN: el CBR (95% M.D.S.), disminuye 2.16 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00%PP+25.00%VN: el CBR (95% M.D.S.), disminuye 2.34 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50%PP+60.00%VN: el CBR (95% M.D.S.), disminuye 2.62 en comparación a la natural.

Calicata N°03:**Fig. 103.** CBR (95% M.D.S.) para la (C – 03)**Interpretación:**

- La variación identificada en la proporción 0.75%PP+15.00%VN: al CBR (95% M.D.S.), disminuye 2.02 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00%PP+25.00%VN: al CBR (95% M.D.S.), disminuye 2.34 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50%PP+60.00%VN: al CBR (95% M.D.S.), disminuye 2.67 en comparación a la natural.

En la tabla LV, se aprecia para todas las muestras experimentales el CBR al 95% de la M.D.S.(g/cm³). Por tanto, la muestra de la calicata (C-1) tiene un valor de 3.29% y al agregar las dosificaciones los valores resultan 7.16%, 8.77% y 9.21% respectivamente. Asimismo, para la calicata (C-2) su valor es 3.72% luego de añadir es 8.02%, 8.72% y 9.76%. De igual manera, en la calicata (C-3) se tiene un valor de 3.70% con adición es 7.48%, 8.67% y 9.89%, estos resultados evidencian que el CBR al 95% pertenece a la categoría de subrasante regular. Dado que, se pretende incrementar la resistencia del suelo, y a su vez optimizar su M.D.S, esto resulta favorable para el comportamiento del suelo y contribuye con los criterios establecidos.

Capacidad de soporte (100% M.D.S):

En la tabla LVI, se exponen los datos correspondientes al ensayo, clasificados por calicata y nivel de dosificación.

TABLA LVI
CBR de muestras experimentales al (100% M.D.S.)

COMBINACIÓN	CBR (%) al 100% de la M.D.S. (g/cm ³)		
	C - 01	C - 02	C - 03
SUELO NATURAL (S.N)	4.15%	4.81%	4.51%
S.N + 0.75% PP + 15.00% VN	10.40%	10.47%	9.56%
S.N + 1.00% PP + 25.00% VN	11.02%	11.49%	12.64%
S.N + 1.50% PP + 60.00% VN	13.45%	13.87%	14.39%

A partir de los datos presentados, se elaboraron las figuras 104, 105 y 106, las cuales permitirán cuantificar las variaciones producidas en las muestras analizadas. Además, se realizará una comparación y evaluación de los resultados.

Calicata N°01:

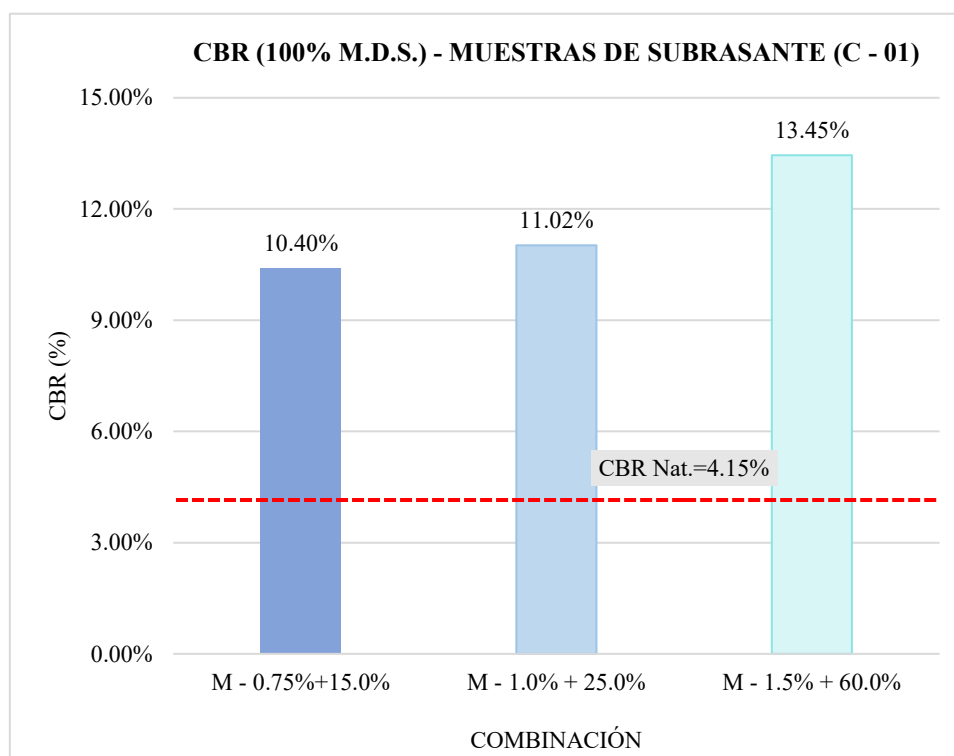
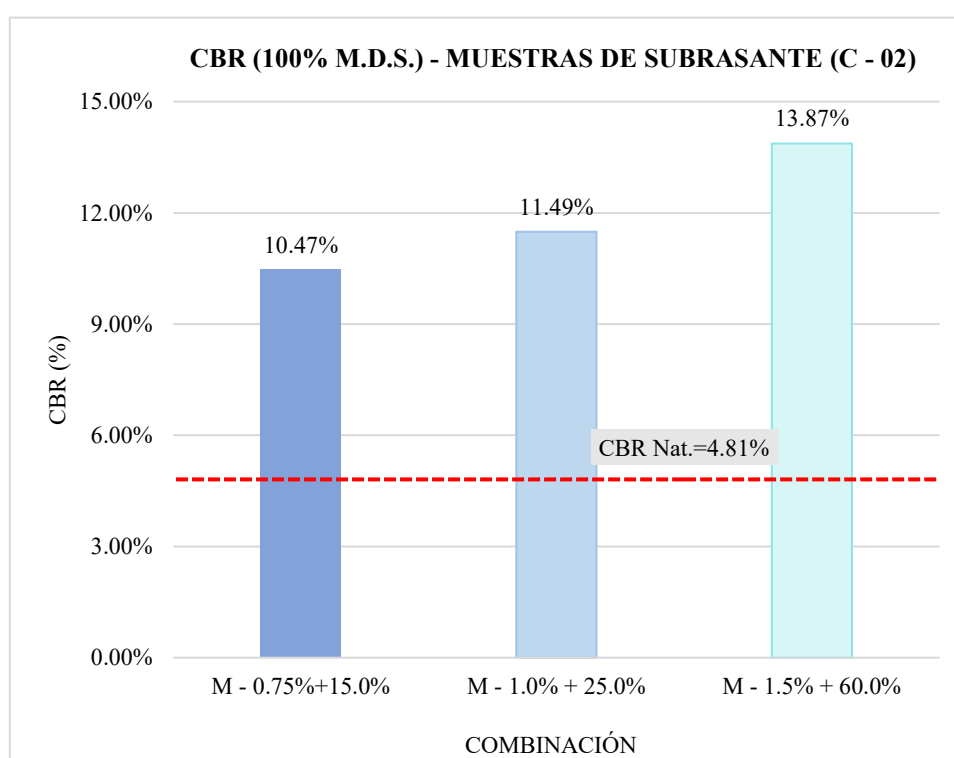


Fig. 104. CBR (100% M.D.S.) para la (C - 01)

Interpretación:

- La variación identificada en la proporción 0.75%PP+15.00%VN: el CBR (100% M.D.S.), disminuye 2.51 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00%PP+25.00%VN: el CBR (100% M.D.S.), disminuye 2.66 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50%PP+60.00%VN: el CBR (100% M.D.S.), disminuye 3.09 en comparación a la natural.

Calicata N°02:**Fig. 105.** CBR (100% M.D.S.) para la (C – 02)**Interpretación:**

- La variación identificada en la proporción 0.75%PP+15.00%VN: el CBR (100% M.D.S.), disminuye 2.18 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00%PP+25.00%VN: el CBR (100% M.D.S.), disminuye 2.39 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50%PP+60.00%VN: el CBR (100% M.D.S.), disminuye 2.88 en comparación a la natural.

Calicata N°03

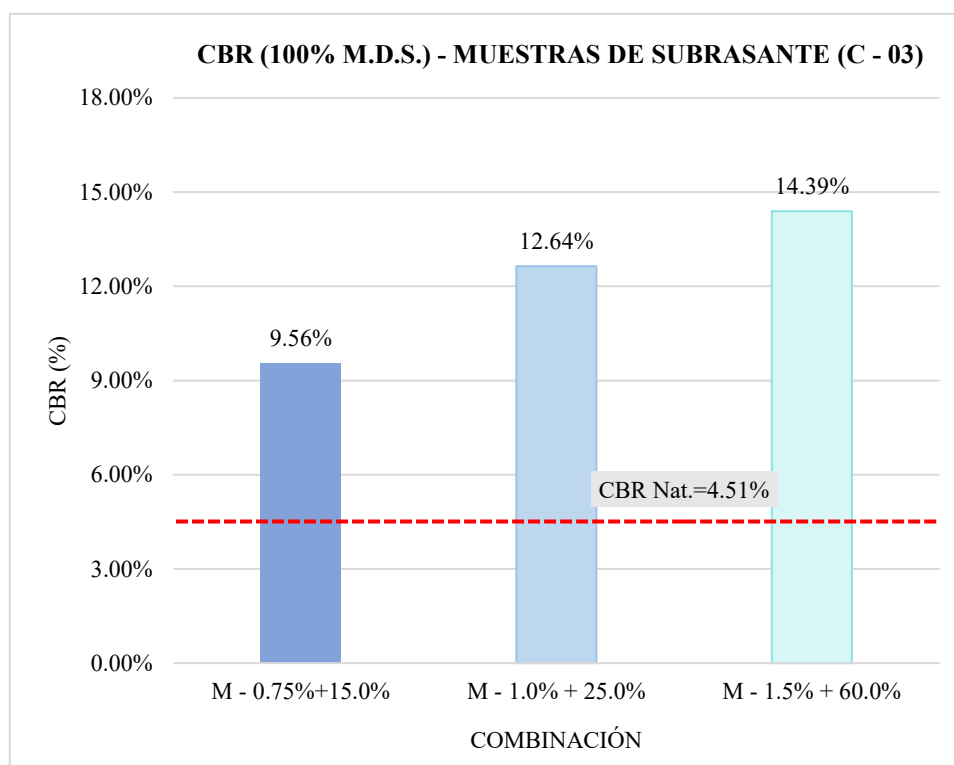


Fig. 106. CBR (100% M.D.S.) para la (C – 03)

Interpretación:

- La variación identificada en la proporción 0.75% PP+15.00% VN: el CBR (100% M.D.S.), disminuye 2.12 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00% PP+25.00% VN: el CBR (100% M.D.S.), disminuye 2.80 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50% PP+60.00% VN: el CBR (100% M.D.S.), disminuye 3.19 en comparación a la natural.

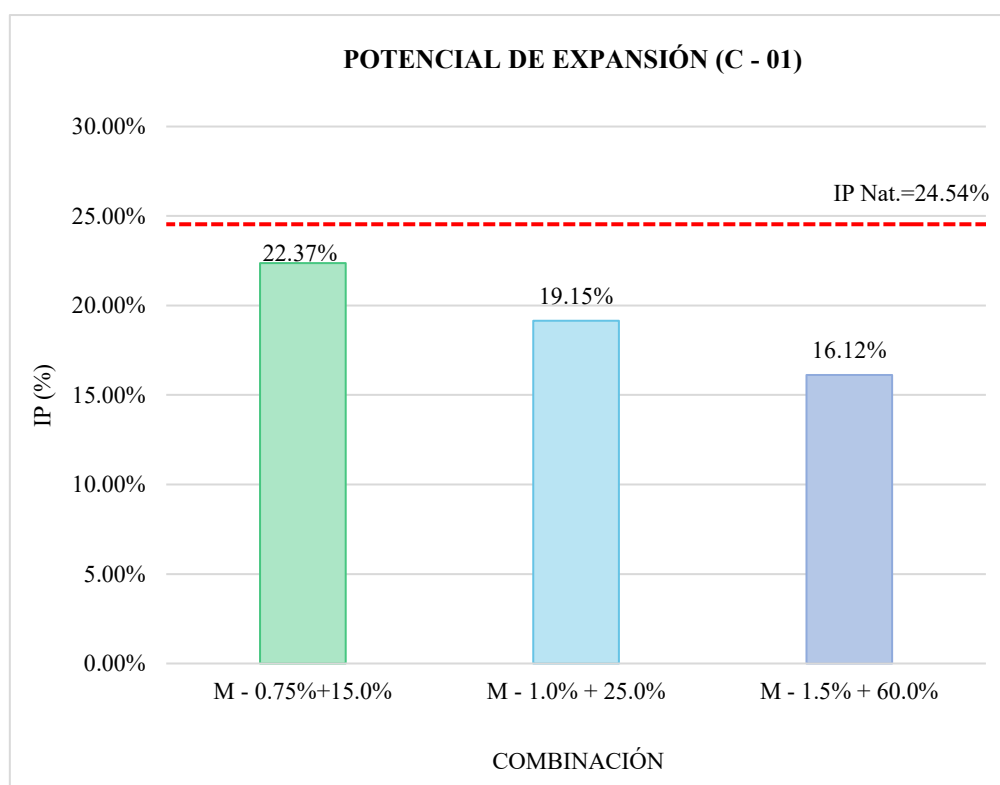
En la tabla LVI, se aprecia para todas las muestras experimentales el CBR al 100% de la M.D.S.(g/cm³). Por ende, la muestra de la calicata (C-1) tiene un valor de 4.15% y al agregar las dosificaciones los valores resultan 10.40%, 11.02% y 13.45% respectivamente. Asimismo, para la calicata (C-2) su valor es 4.81% luego de añadir es 10.47%, 11.49% y 13.87%. De igual manera, en la calicata (C-3) se tiene un valor de 4.51% con adición es 9.56%, 12.64% y 14.39%, estos resultados evidencian que el CBR al 100% pertenece a la categoría de subrasante buena. Es decir, en estas tres muestras los valores obtenidos presentan cambios constantes sobre el CBR, puesto que se evidencia una mejora en la resistencia del suelo.

Expansión:**TABLA LVII**

Expansión promedio – muestras experimentales

COMBINACIÓN	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)			POTENCIAL DE EXPANSIÓN (%)		
	C – 01	C – 02	C – 03	C – 01	C – 02	C – 03
Suelo natural (S.N)	24.54%	18.71%	19.29%	Alta	Media	Media
S.N + 0.75% PP + 15.00% VN	22.37%	17.32%	17.14%	Media	Baja	Baja
S.N + 1.00% PP + 25.00% VN	19.15%	15.95%	15.85%	Baja	Baja	Baja
S.N + 1.50% PP + 60.00% VN	16.12%	14.35%	13.59%	Baja	Baja	Baja

La tabla LVII presenta los resultados correspondientes a cada calicata y combinación utilizada. En función de los datos obtenidos, se elaboraron las figuras 107, 108 y 109, a partir de las cuales se identificarán las variaciones producidas de las muestras analizadas.

Calicata N°01:**Fig. 107.** Potencial de expansión en muestras experimentales (C – 01)

Interpretación:

- La variación identificada en la proporción 0.75%PP+15.00%VN: el potencial de expansión (%) disminuye 0.91 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00%PP+25.00%VN: el potencial de expansión (%) disminuye 0.78 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50%PP+60.00%VN: el potencial de expansión (%) disminuye 0.66 en comparación a la natural.

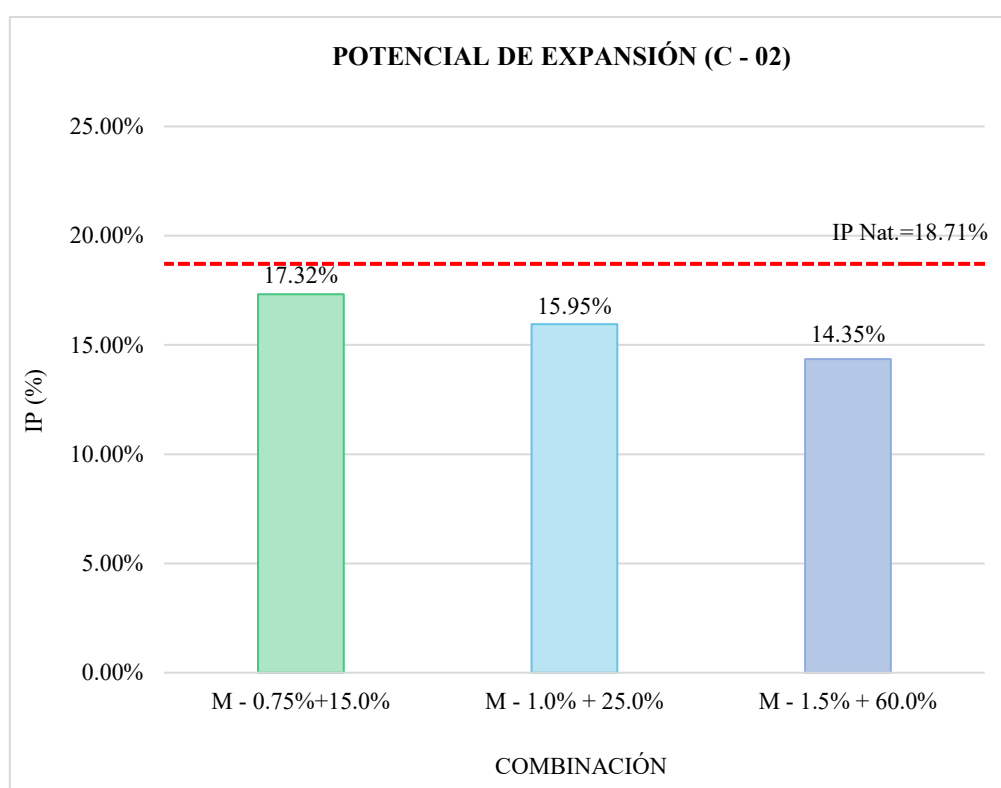
Calicata N°02:

Fig. 108. Potencial de expansión en muestras experimentales (C – 02)

Interpretación:

- La variación identificada en la proporción 0.75%PP+15.00%VN: el potencial de expansión (%) disminuye 0.93 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00%PP+25.00%VN: el potencial de expansión (%) disminuye 0.85 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50%PP+60.00%VN: el potencial de expansión (%) disminuye 0.77 en comparación a la natural.

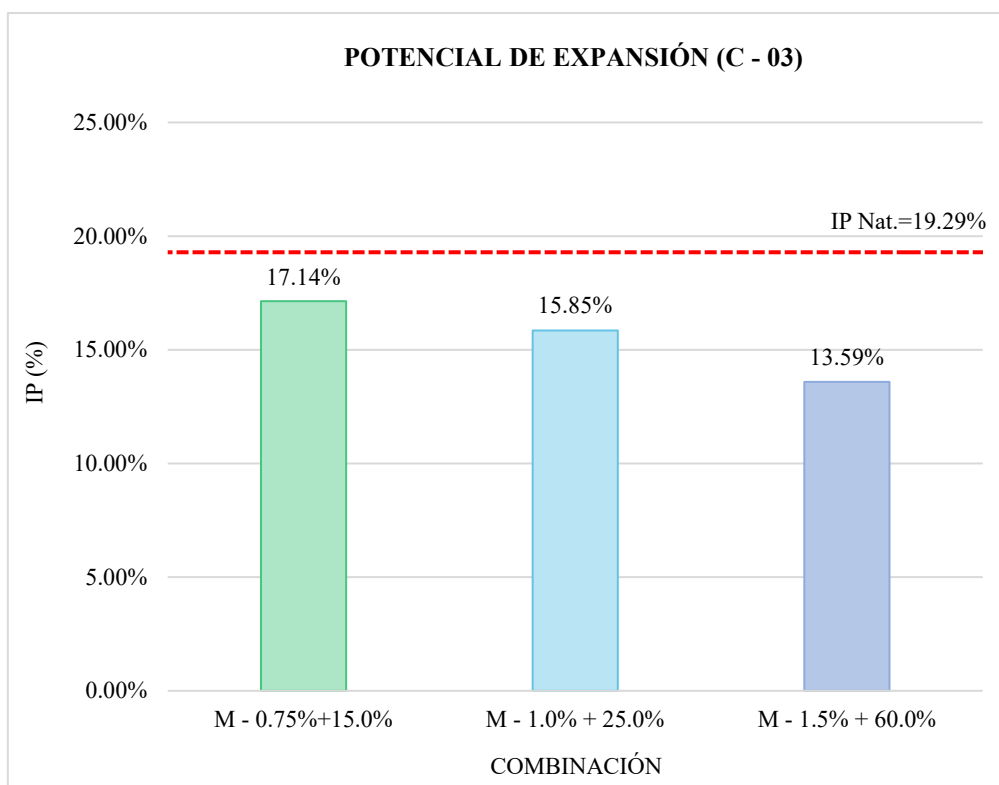
Calicata N°03:

Fig. 109. Potencial de expansión en muestras experimentales (C – 03)

Interpretación:

- La variación identificada en la proporción 0.75% PP+15.00% VN: el potencial de expansión (%) disminuye 0.89 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.00% PP+25.00% VN: el potencial de expansión (%) disminuye 0.82 en comparación a la natural.
- La variación identificada en la proporción 1.50% PP+60.00% VN: el potencial de expansión (%) disminuye 0.70 en comparación a la natural.

En la tabla LVII, los resultados demuestran una tendencia decreciente del IP cuando aumentan las dosificaciones. Es decir, la calicata (C-1) registra una reducción del IP del 22.37% a 16.12%, de igual manera en la calicata (C-2) de 17.32% a 14.35% como también para la calicata (C-3) de 17.14% a 13.59%. Con respecto, al potencial de expansión se observa una disminución de niveles altos a medios hacia niveles bajos en todas las muestras y logra transformar un suelo expansivo en uno de baja expansividad.

Elección de la dosificación efectiva

A partir del análisis de los resultados, se determinó que las fibras de polipropileno con vinaza tienen un efecto significativo sobre las propiedades mecánicas de las muestras evaluadas. Por lo cual, se identificaron que las modificaciones provocadas sobre el suelo natural son variadas en los ensayos que se realizaron para este estudio. Puesto que, para este enfoque el porcentaje elegido es el 1.00%PP+25.00%VN, siendo esta combinación que presenta resultados constantes en ensayos como: el IP (%), OCH (%), MDS (g/cm³) y CBR al (95% y 100%).

En lo que respecta, a la plasticidad del suelo se pretende reducir el valor de este parámetro, ya que ello disminuirá la sensibilidad del suelo al agua cuando funcione como subrasante, lo que contribuirá a una mayor estabilidad de este. Es por ello, que en base a la figura 110 se afirma que el porcentaje óptimo de fibras de polipropileno con vinaza de las muestras C-1, C-2 y C-3 es 1.00%PP+25.00%VN, debido a que mejora significativamente la plasticidad y la expansión sin necesidad de llegar al máximo nivel de aditivos.

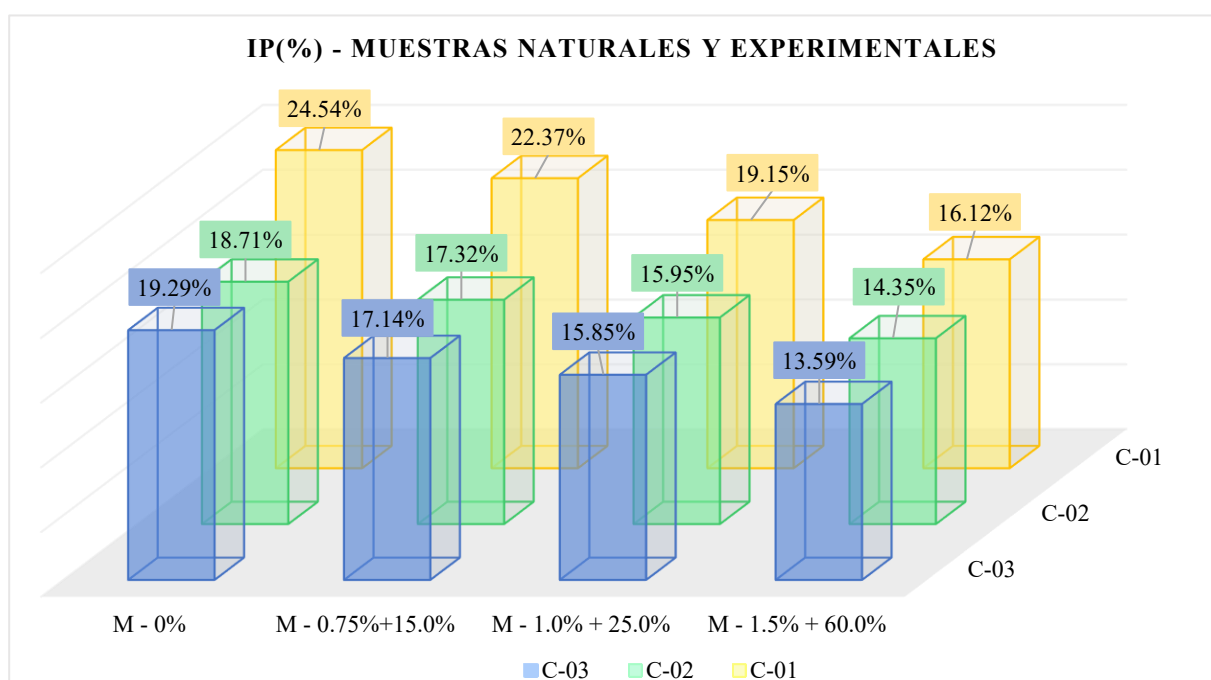


Fig. 110. IP en muestras de subrasante (C – 01, C – 02, C – 03)

Por otra parte, la MDS alcanza a aumentar con la combinación del 1.00%PP+25.00%VN siendo el porcentaje favorable como se aprecia en la figura 111, asimismo al ascender este parámetro va a descender el OCH (%), produciendo variaciones en las propiedades mecánicas del suelo.

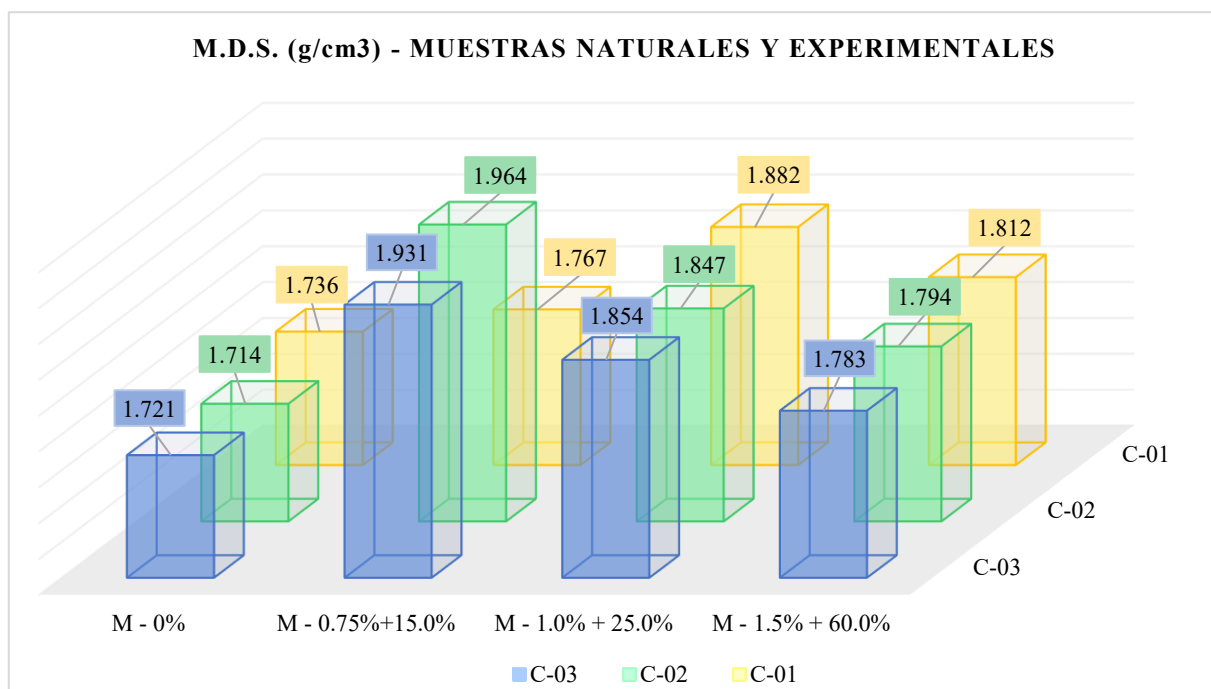


Fig. 111. M.D.S. en muestras de subrasante (C – 01, C – 02, C – 03)

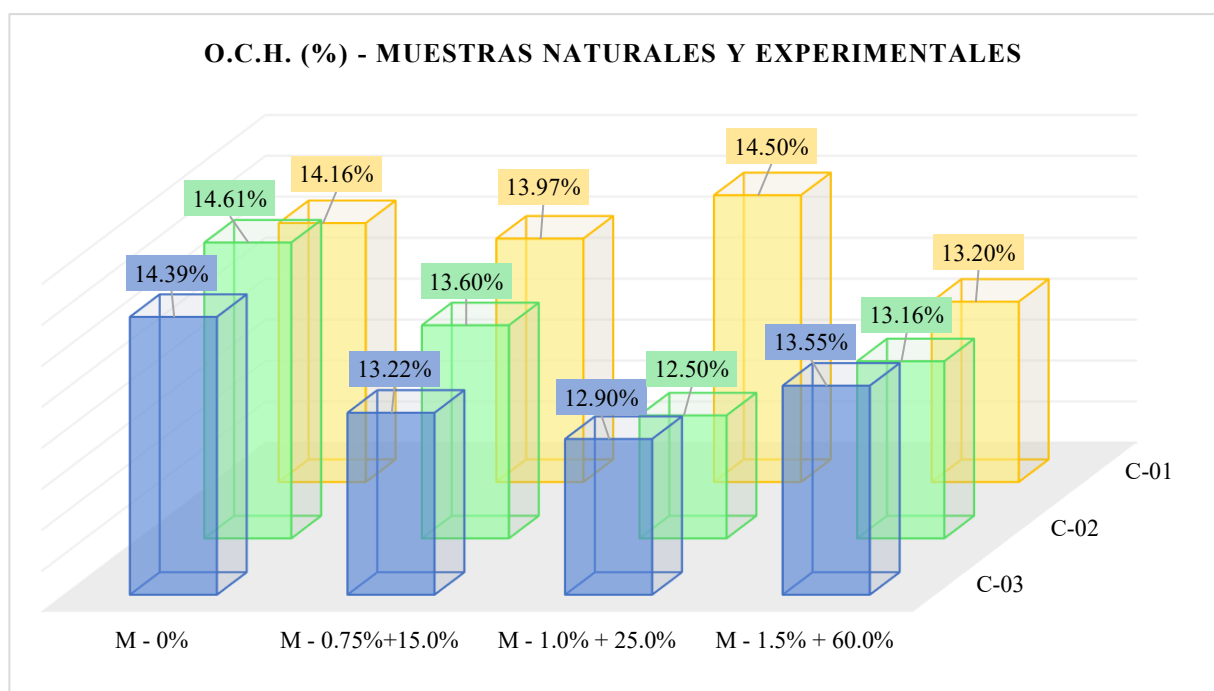


Fig. 112. O.C.H. en muestras de subrasante (C – 01, C – 02, C – 03)

En cuanto, al soporte californiano constituye el principal indicador para determinar la capacidad portante de la subrasante, ya que su incremento posibilita un menor espesor en las capas del pavimento. Asimismo, se muestran los resultados para cada combinación en la figura 106, 107 y 108; apreciándose que el 1.00%PP+25.00%VN tienen un aumento ascendente en el CBR al 95% y 100%, la MDS es de 1.736g/cm³ a 1.882g/cm³. Igualmente, el 1.50%PP+60.00%VN

que también presentó resultados favorables en el CBR al 95% y 100%, sin embargo, su MDS disminuyó en 1.812 g/cm³. No obstante, los resultados indican que el 1.00%PP+25.00%VN, es el porcentaje óptimo, ya que mejoran en ambas propiedades.

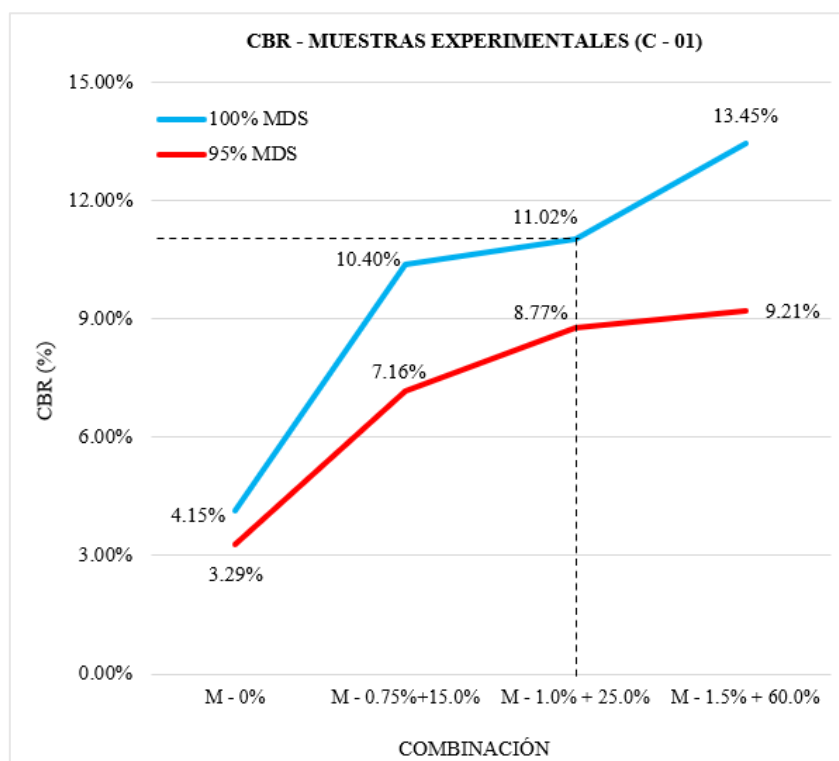


Fig. 113. CBR (95% – 100% MDS) – muestras experimentales (C – 01)

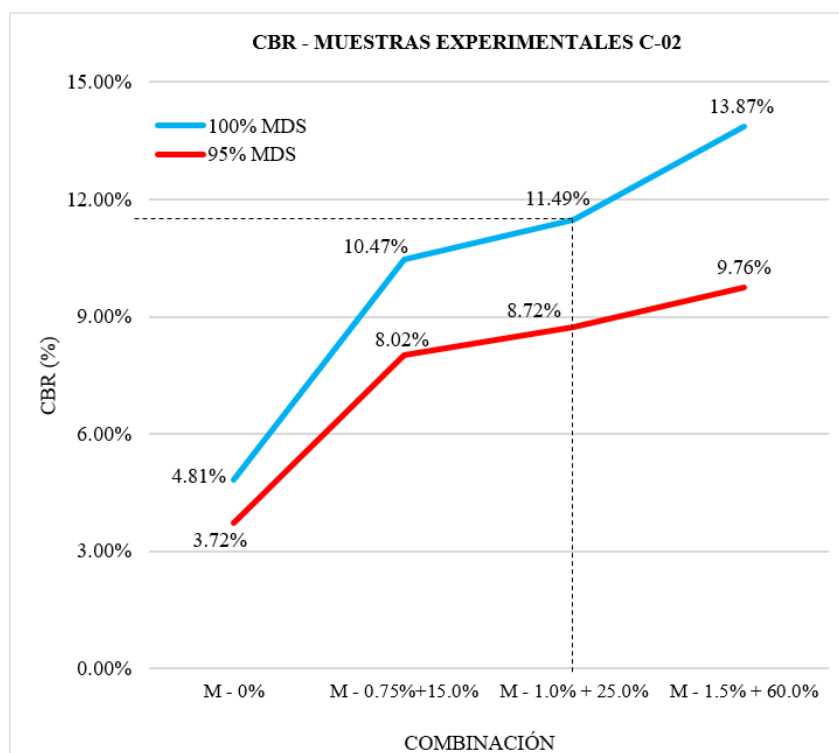


Fig. 114. CBR (95% – 100% MDS) – muestras experimentales (C – 02)

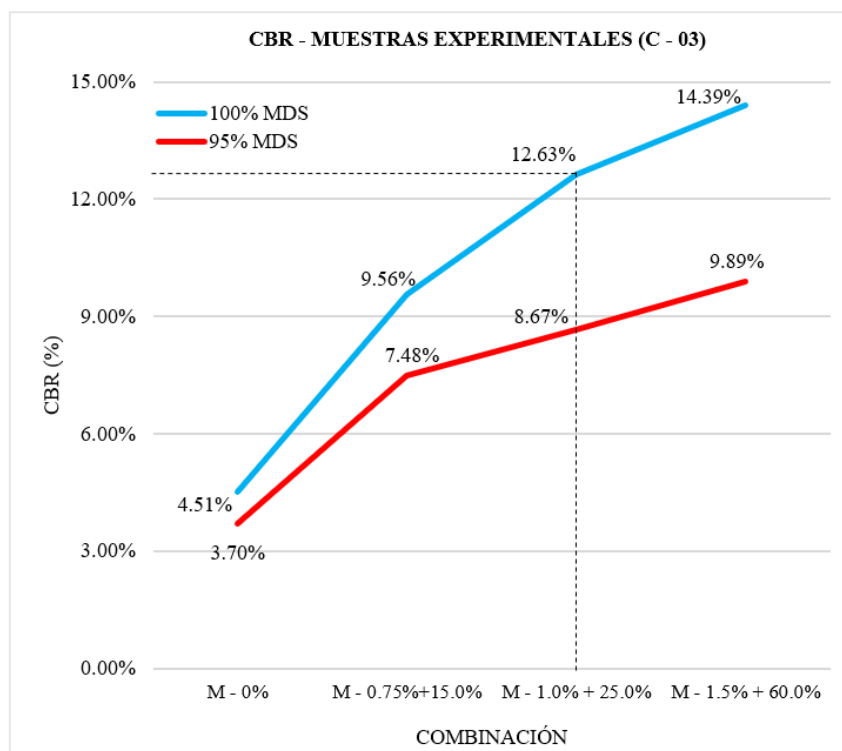


Fig. 115. CBR (95% – 100% MDS) – muestras experimentales (C – 03)

Del análisis presentado, se tiene como combinación óptima el 1.00%PP+25.00%VN, debido a que optimizan las propiedades físicas y mecánicas del suelo evaluado, como se muestra en la figura 116, se aminora el IP (%) lo que permite clasificar las muestras dentro de un rango intermedio de plasticidad ($7 < IP \leq 20$), ya que proporciona una mayor estabilidad para la subrasante.

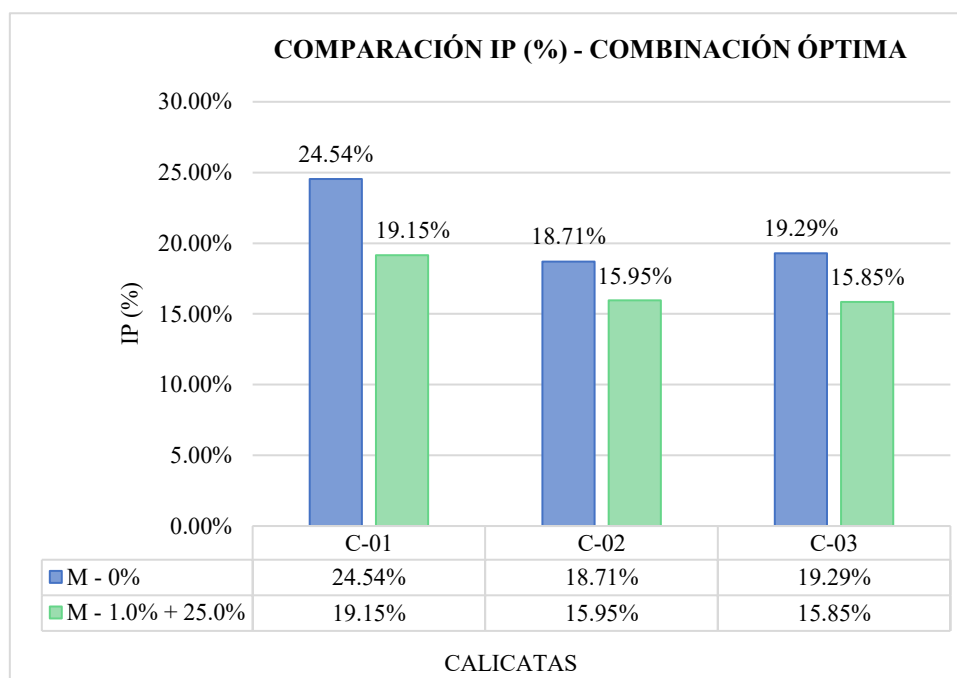


Fig. 116. Comparación del IP (%) con la combinación óptima

Al añadir la combinación óptima de las muestras arcillosas, según la figura 117 el aumento en la MDS (g/cm^3), alcanza un valor 1.08 veces el valor natural de las muestras. Esto implica que las subrasantes se vuelvan considerablemente más resistentes, compactas y densas. Por otro lado, el OCH (%) disminuyó, tal como se anticipa (ver figura 118).

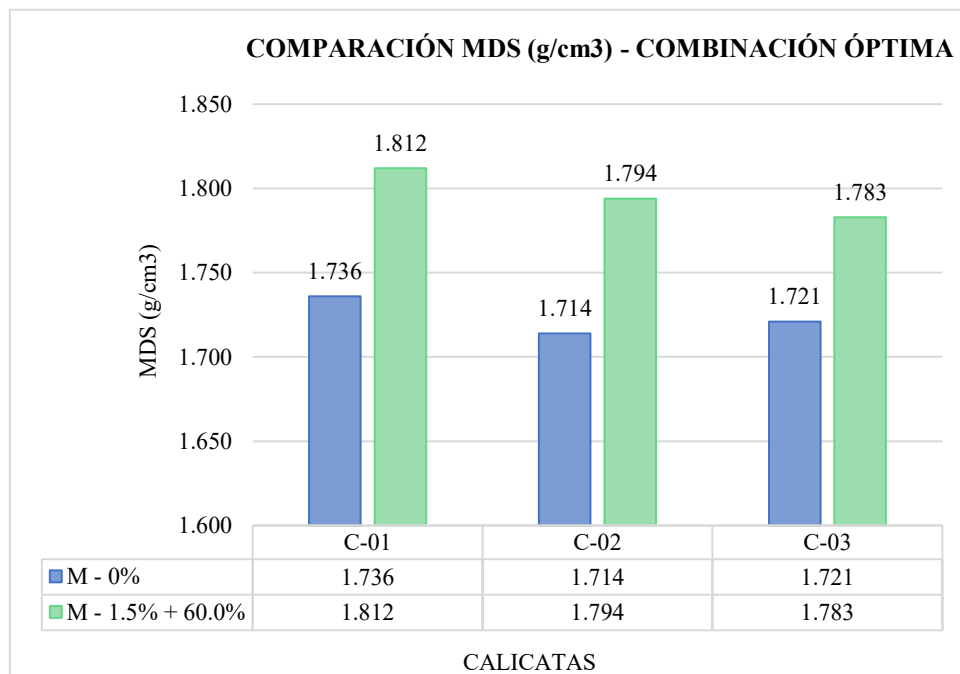


Fig. 117. Comparación de la MDS (g/cm^3) con la combinación óptima

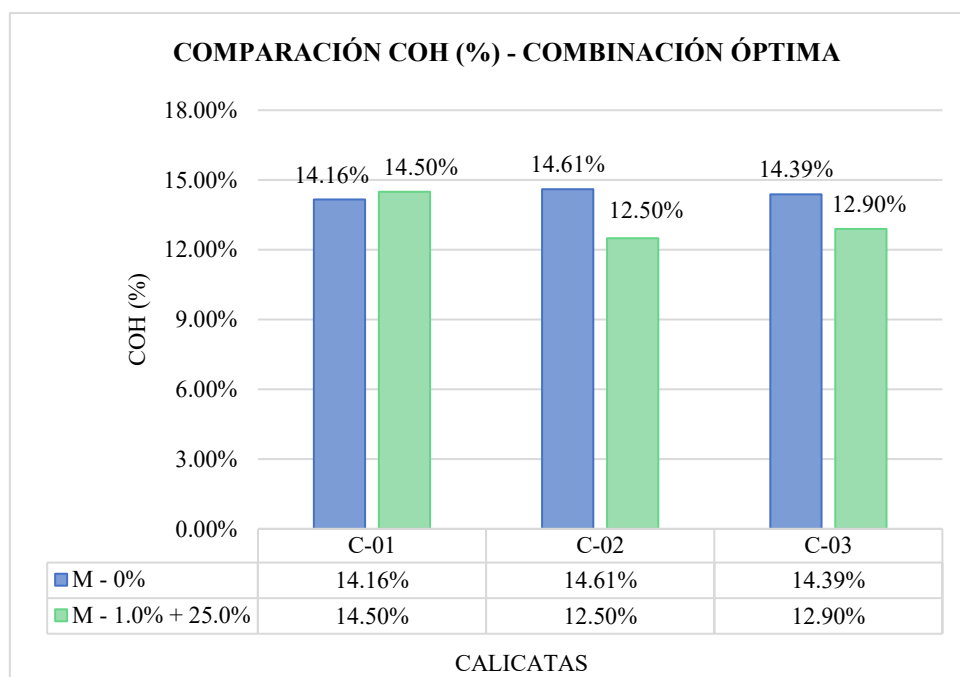


Fig. 118. Comparación del COH (%) con la combinación óptima

De manera similar, las figuras 119 y 120, evidencian que las tres muestras arcillosas presentan inicialmente un bajo valor de soporte, con un CBR al 95% y 100% en un rango de ($3 \leq \text{CBR} < 6$) lo que las clasifica como subrasantes pobres. No obstante, tras la aplicación de la combinación óptima este parámetro se incrementó, alcanzando los valores de ($6 \leq \text{CBR} < 10$) al 95% y para el 100% de ($10 \leq \text{CBR} < 20$), permitiendo su reclasificación como subrasantes de calidad regular y buena, respectivamente.

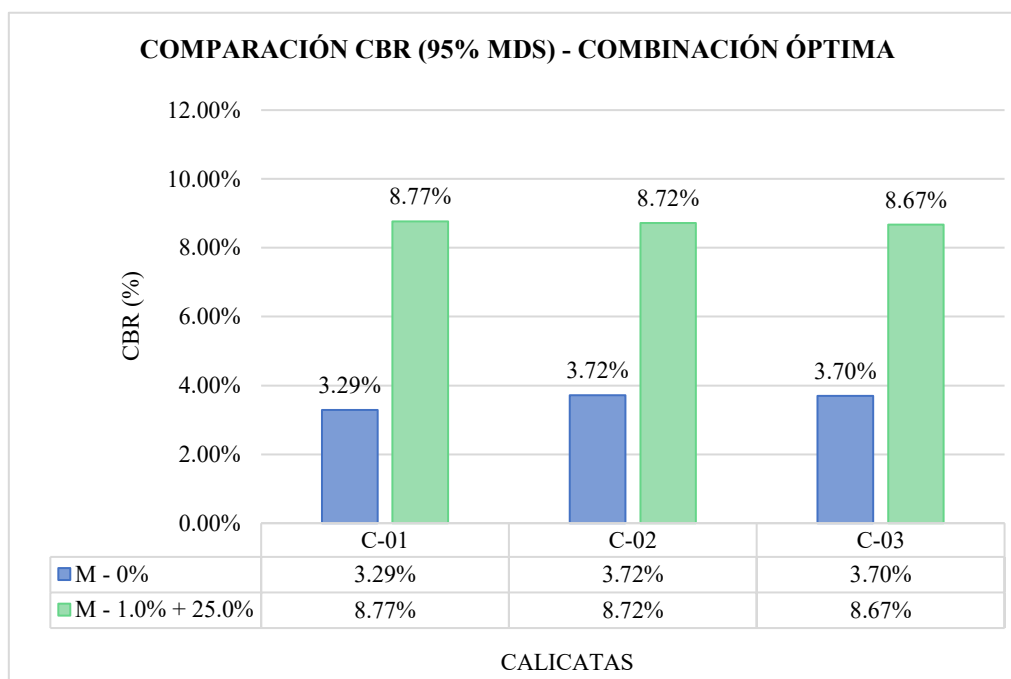


Fig. 119. Comparación del (CBR al 95%) con la combinación óptima

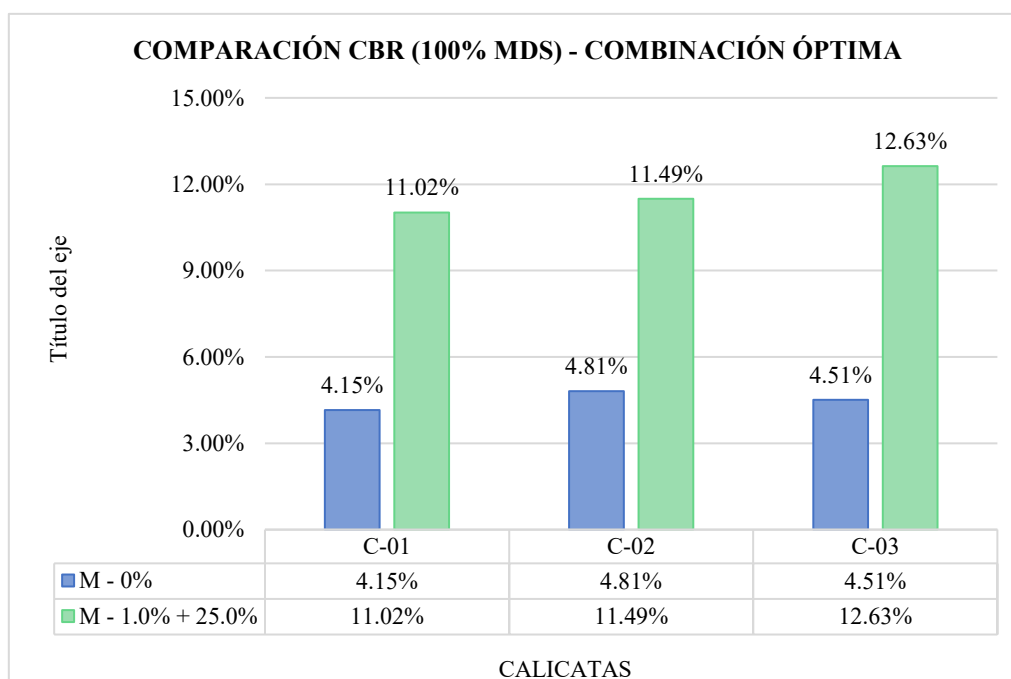


Fig. 120. Comparación del (CBR al 100%) con la combinación óptima

Análisis económico:

Se evalúa la viabilidad económica de la propuesta de estabilización estudiada, que consiste en la incorporación de fibras de polipropileno con vinaza. Para llevar a cabo dicho análisis, será necesario identificar otras alternativas que ofrezcan soluciones a la problemática del suelo, con el objetivo de establecer una comparación entre ambas. Según los ensayos efectuados, se identificó que todas las muestras analizadas pertenecen a suelos con plasticidad media y alta, presentando un alto contenido de arcilla y humedad natural.

Por tanto, el MTC [25] en el cuadro 9.2 propone métodos de estabilización como los materiales de cal (2 - 8%) y cemento (2 - 12%). Ahora bien, la dosificación con la cual se va a trabajar será el 8.00% y 12.00% respectivamente.

La sección que se utilizará será por 1.00m² y un espesor de 0.15, valor establecido conforme a lo indicado por el MTC:

$$\text{Vol.} = 1.00 * 1.00 * 0.15 = 0.15\text{m}^3$$

$$S_g = \frac{\gamma_{\text{sólido}}}{\gamma_{\text{agua}}} \rightarrow \gamma_{\text{sólido}} = S_g * \gamma_{\text{agua}}$$

$$\gamma_{\text{sólido}} = 2,428 * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 2428\text{Kg/m}^3$$

$$P. \text{ sólido}_{\text{suelo}} = 2428 * 0.15 = 364.2\text{Kg}$$

$$\text{Cal } 8\% = 8\% * P. \text{ sólido}_{\text{suelo}} = 29.136\text{Kg}$$

$$\text{Cemento } 12\% = 12\% * P. \text{ sólido}_{\text{suelo}} = 43.704\text{Kg}$$

$$\text{PP } 1\% = 1\% * P. \text{ sólido}_{\text{suelo}} = 3.642\text{Kg}$$

$$\text{VN } 25\% = 0.15 * 25\% = 0.0375\text{m}^3$$

ACU del estabilizante con cal al 8.00%

PARTIDA	TRAZO, REPLANTEO Y CONTROLES TOPOGRÁFICOS					
RENDIMIENTO	m2/DÍA	HH.	8.000		EQ.	1,000.00
						Costo unitario por :m2 S/ 1.86
DESCRIPCIÓN RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL	
MANO DE OBRA						
PEON	HH	1.00	0.008	20.29	S/	0.17
TOPÓGRAFO	HH	1.00	0.008	29.57	S/	0.24
AYUDANTE DE TOPOGRAFÍA	HH	2.00	0.016	29.57	S/	0.48
						S/ 0.89
MATERIALES						
YESO (BOLSA DE 15KG)	bls		0.041	17.90	S/	0.74
						S/ 0.74
EQUIPOS						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.000	0.89	S/	0.03
NIVEL TOPOGRÁFICO	hm	1.00	0.008	8.00	S/	0.07
ESTACIÓN TOTAL	hm	1.00	0.008	15.50	S/	0.13
						S/ 0.23

Fig. 121. “Trazo, replanteo y controles topográficos”

PARTIDA	EXCAVACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE					
RENDIMIENTO	m2/DÍA	HH.	8.000		EQ.	380.00
						Costo Unitario por m3 : S/ 8.59
DESCRIPCIÓN RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL	
MANO DE OBRA						
OPERARIO	HH	1.000	0.021	28.39	S/	0.60
PEON	HH	2.000	0.042	20.22	S/	0.85
						S/ 1.45
EQUIPOS						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.000	1.45	S/	0.04
CARGADOR FRONTAL	hm	1.000	0.021	186.66	S/	3.93
CAMIÓN VOLQUETE 15m3	hm	1.000	0.021	150.40	S/	3.17
						S/ 7.14

Fig. 122. “Excavación – nivel de subrasante”

PARTIDA	BATIDO DE MATERIAL CON CAL VIVA 8% - SUBRASANTE e=0.15m					
RENDIMIENTO	m2/DÍA	HH.	8.000		EQ.	830.00
						Jornada Costo Unitario por m3 : S/ 47.82
DESCRIPCIÓN RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL	
Mano de Obra						
ASISTENTE OBRA	HH	1.000	0.0096	26.15	S/	0.25
OPERARIO	HH	1.000	0.0096	28.39	S/	0.27
PEON	HH	1.000	0.0096	20.22	S/	0.19
						S/ 0.72
Materiales						
CAL VIVA 8%	m2		1.0000	44.57	S/	44.57
						S/ 44.57
Equipo						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.72	S/	0.02
MOTONIVELADORA 130-135HP	hm	1.000	0.0096	259.85	S/	2.50
						S/ 2.53

Fig. 123. “Batido de material – cal viva 8.00% – subrasante (e = 0.15 m)”

PARTIDA PERFILADO, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA SUBRASANTE						
RENDIMIENTO	m2/DÍA	HH.	8.000	EQ.	800.00	
Costo Unitario por m2 : S/						6.98
DESCRIPCIÓN INSUMO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	
Mano de Obra						
OPERARIO	HH	1.000	0.0100	28.39	S/	0.28
OFICIAL	HH	1.000	0.0100	22.33	S/	0.22
PEON	HH	2.000	0.0200	20.22	S/	0.40
						S/ 0.91
Materiales						
AGUA	m3		0.0500	5.00	S/	0.25
						S/ 0.25
Equipo						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.91	S/	0.03
CAMIÓN CISTERNA (1500 Glns.)	HM	1.000	0.0100	175.62	S/	1.76
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOP. 7-9 Ton	HM	1.000	0.0100	143.49	S/	1.43
MOTONIVELADORA 130-135 HP	HM	1.000	0.0100	259.85	S/	2.60
						S/ 5.82

Fig. 124. “Perfilado, nivelación y compactación”



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO						
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL				
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL						
TESIS	"INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO CON VINAZA EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PARA UNA SUBRASANTE"					
TESISTA	SAAVEDRA VASQUEZ, KIARA DALESHKA					
UBICACIÓN	AV. COLECTORA, DISTRITO LA VICTORIA, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE					
FECHA	19 DE ABRIL DE 2024					
PRESUPUESTO A NIVEL DE SUBRASANTE - ESTABILIZACIÓN CON CAL AL 8%						
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANT.	PRECIO UNITARIO	PARCIAL	TOTAL
01	OBRAS PROVISIONALES, TRABAJOS PRELIMINARES, SEGURIDAD Y SALUD					S/ 1.314
01.01.00	TRAZO, REPLANTEO Y CONTROLES TOPOGRAFICOS	m2	1.00	1.31	1.31	
02	MOVIMIENTO DE TIERRAS					S/ 56.084
02.01.01	EXCAVACIÓN NIVEL DE SUBRASANTE	m3	0.15	8.59	1.29	
02.01.02	BATIDO DE MATERIAL CON CAL VIVA 8% - SUBRASANTE e=0.15m	m2	1.00	47.82	47.82	
02.01.03	PERFILADO, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA SUBRASANTE	m2	1.00	6.98	6.98	
					SUBTOTAL	S/ 57.397
					IGV (18%)	S/ 10.331
					TOTAL	S/ 67.729

Fig. 125. “Presupuesto a nivel de subrasante – cal al 8.00%”

De la figura 125, se estima que el costo para estabilizar 1m2 de subrasante arcillosa con grosor de 0.15m será S/.67.30 con cal al 8.00%

ACU del estabilizante con cemento al 12.00%:

PARTIDA		TRAZO, REPLANTEO Y CONTROLES TOPOGRÁFICOS					
RENDIMIENTO	m2/DÍA	HH.	8.000	EQ.	1,000.00	Costo unitario por :m2 S/ 1.86	
DESCRIPCIÓN RECURSO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL	
MANO DE OBRA							
PEON		HH	1.00	0.008	20.29	S/	0.17
TOPÓGRAFO		HH	1.00	0.008	29.57	S/	0.24
AYUDANTE DE TOPOGRAFÍA		HH	2.00	0.016	29.57	S/	0.48
						S/	0.89
MATERIALES							
YESO (BOLSA DE 15KG)		bls		0.041	17.90	S/	0.74
						S/	0.74
EQUIPOS							
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.000	0.89	S/	0.03
NIVEL TOPOGRÁFICO		hm	1.00	0.008	8.00	S/	0.07
ESTACIÓN TOTAL		hm	1.00	0.008	15.50	S/	0.13
						S/	0.23

Fig. 126. “Trazo, replanteo y controles topográficos”

PARTIDA		EXCAVACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE					
RENDIMIENTO	m2/DÍA	HH.	8.000	EQ.	380.00	Costo Unitario por m3 : S/ 8.59	
DESCRIPCIÓN RECURSO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL	
MANO DE OBRA							
OPERARIO		HH	1.000	0.021	28.39	S/	0.60
PEON		HH	2.000	0.042	20.22	S/	0.85
						S/	1.45
EQUIPOS							
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.000	1.45	S/	0.04
CARGADOR FRONTAL		hm	1.000	0.021	186.66	S/	3.93
CAMIÓN VOLQUETE 15m3		hm	1.000	0.021	150.40	S/	3.17
						S/	7.14

Fig. 127. “Excavación – nivel de subrasante”

PARTIDA		BATIDO DE MATERIAL CON CEMENTO 12% - SUBRASANTE e=0.15m					
RENDIMIENTO	m2/DÍA	HH.	8.000	EQ.	830.00	Costo Unitario por m3 : S/ 133.48	
DESCRIPCIÓN RECURSO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL	
Mano de Obra							
ASISTENTE OBRA		HH	1.000	0.0096	26.150	S/	0.25
OPERARIO		HH	1.000	0.0096	28.390	S/	0.27
PEON		HH	1.000	0.0096	20.220	S/	0.19
						S/	0.72
Materiales							
CEMENTO 12%		m2		1.0000	130.23	S/	130.23
						S/	130.23
Equipo							
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	0.721	S/	0.02
MOTONIVELADORA 130-135HP		hm	1.000	0.0096	259.85	S/	2.50
						S/	2.53

Fig. 128. “Batido de material – cemento 12.00% – subrasante (e = 0.15 m)”

PARTIDA							PERFILADO, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA SUBRASANTE	
RENDIMIENTO	m2/DÍA	HH.	8.000	EQ.	800.00	Costo Unitario por m2 : S/		6.98
DESCRIPCIÓN INSUMO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL		
Mano de Obra								
OPERARIO		HH	1.000	0.0100	28.39	S/	0.28	
OFICIAL		HH	1.000	0.0100	22.33	S/	0.22	
PEON		HH	2.000	0.0200	20.22	S/	0.40	
						S/	0.91	
Materiales								
AGUA		m3		0.0500	5.00	S/	0.25	
						S/	0.25	
Equipo								
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	0.91	S/	0.03	
CAMIÓN CISTERNA (1500 Glns.)		HM	1.000	0.0100	175.62	S/	1.76	
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOP. 7-9 Ton		HM	1.000	0.0100	143.49	S/	1.43	
MOTONIVELADORA 130-135 HP		HM	1.000	0.0100	259.85	S/	2.60	
						S/	5.82	

Fig. 129. “Perfilado, nivelación y compactación”



 UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL						
TESIS	"INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO CON VINAZA EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PARA UNA SUBRASANTE"					
TESISTA	SAAVEDRA VASQUEZ, KIARA DALESHKA					
UBICACIÓN	AV. COLECTORA, DISTRITO LA VICTORIA, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE					
FECHA	19 DE ABRIL DE 2024					
PRESUPUESTO A NIVEL DE SUBRASANTE - ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO AL 12%						
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL	TOTAL
01	OBRAS PROVISIONALES, TRABAJOS PRELIMINARES, SEGURIDAD Y SALUD					S/ 1.314
01.01.00	TRAZO, REPLANTEO Y CONTROLES TOPOGRAFICOS	m2	1.00	1.31	1.31	
02	MOVIMIENTO DE TIERRAS					S/ 141.744
02.01.01	EXCAVACIÓN NIVEL DE SUBRASANTE	m3	0.15	8.59	1.29	
02.01.02	BATIDO DE MATERIAL CON CEMENTO AL 12% -SUBRASANTE e=0.15m	m2	1.00	133.48	133.48	
02.01.03	PERFILADO, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA SUBRSANTE	m2	1.00	6.98	6.98	
					SUBTOTAL	S/ 143.057
					IGV (18%)	S/ 25.750
					COSTO TOTAL	S/ 168.807

Fig. 130. “Presupuesto a nivel de subrasante – cemento al 12.00%”

De la figura 130, se estima que el costo para estabilizar 1m2 de subrasante arcillosa con grosor de 0.15m será S/.168.81 con cemento al 12.00%.

ACU del estabilizante de fibras de polipropileno con vinaza (1.00% + 25.00%):

PARTIDA TRAZO, REPLANTEO Y CONTROLES TOPOGRÁFICOS						
RENDIMIENTO	m2/DÍA	HH.	8.000	EQ.	1,000.00	
Costo unitario por :m2						S/ 1.86
DESCRIPCIÓN RECURSO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
MANO DE OBRA						
PEON		HH	1.00	0.008	20.29	S/ 0.17
TOPÓGRAFO		HH	1.00	0.008	29.57	S/ 0.24
AYUDANTE DE TOPOGRAFÍA		HH	2.00	0.016	29.57	S/ 0.48
						S/ 0.89
MATERIALES						
YESO (BOLSA DE 15KG)		bls		0.041	17.90	S/ 0.74
						S/ 0.74
EQUIPOS						
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.000	0.89	S/ 0.03
NIVEL TOPOGRÁFICO		hm	1.00	0.008	8.00	S/ 0.07
ESTACIÓN TOTAL		hm	1.00	0.008	15.50	S/ 0.13
						S/ 0.23

Fig. 131. “Trazo, replanteo y controles topográficos”

PARTIDA EXCAVACIÓN A NIVEL DE SUBRASANTE						
RENDIMIENTO	m2/DÍA	HH.	8.000	EQ.	380.00	
Costo Unitario por m3 :						S/ 8.59
DESCRIPCIÓN RECURSO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL
MANO DE OBRA						
OPERARIO		HH	1.000	0.021	28.39	S/ 0.60
PEON		HH	2.000	0.042	20.22	S/ 0.85
						S/ 1.45
EQUIPOS						
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.000	1.45	S/ 0.04
CARGADOR FRONTAL		hm	1.000	0.021	186.66	S/ 3.93
CAMIÓN VOLQUETE 15m3		hm	1.000	0.021	150.40	S/ 3.17
						S/ 7.14

Fig. 132. “Excavación – nivel de subrasante”

PARTIDA BATIDO DE MATERIAL CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y VINAZA (1.00% + 25.00%) - SUBRASANTE e=0.15m						
RENDIMIENTO		HH	8.000	EQ.	830.00	
Costo Unitario por m3 :						S/ 258.58
DESCRIPCIÓN RECURSO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	Parcial
Mano de Obra						
ASISTENTE OBRA		HH	1.000	0.0096	26.15	S/ 0.25
OPERARIO		HH	1.000	0.0096	28.39	S/ 0.27
PEON		HH	1.000	0.0096	20.22	S/ 0.19
						S/ 0.72
Materiales						
FIBRA DE POLIPROPILENO (1.00%)		m2		1.0000	254.94	S/ 254.94
VINAZA (25.00%)		m3		0.0375	10.50	S/ 0.39
						S/ 255.33
Equipo						
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	0.72	S/ 0.02
MOTONIVELADORA 130-135HP		hm	1.000	0.0096	259.85	S/ 2.50
						S/ 2.53

Fig. 133. “Batido de material – 1.00%PP + 25.00%VN – subrasante (e = 0.15 m)”

PARTIDA							PERFILADO, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA SUBRASANTE	
RENDIMIENTO	m2/DÍA	HH.	8.000	EQ.	800.00	Costo Unitario por m2 : S/		6.98
DESCRIPCIÓN INSUMO		UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL		
Mano de Obra								
OPERARIO		HH	1.000	0.0100	28.39	S/	0.28	
OFICIAL		HH	1.000	0.0100	22.33	S/	0.22	
PEON		HH	2.000	0.0200	20.22	S/	0.40	
							S/	0.91
Materiales								
AGUA		m3		0.0500	5.00	S/	0.25	
							S/	0.25
Equipo								
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	0.91	S/	0.03	
CAMIÓN CISTERNA (1500 Glns.)		HM	1.000	0.0100	175.62	S/	1.76	
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOP. 7-9 Ton		HM	1.000	0.0100	143.49	S/	1.43	
MOTONIVELADORA 130-135 HP		HM	1.000	0.0100	259.85	S/	2.60	
							S/	5.82

Fig. 134. “Perfilado, nivelación y compactación”


 UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL						
TESIS	"INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO CON VINAZA EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PARA UNA SUBRASANTE"					
TESISTA	SAAVEDRA VASQUEZ, KIARA DALESHKA					
UBICACIÓN	AV. COLECTORA, DISTRITO LA VICTORIA, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE					
FECHA	19 DE ABRIL DE 2024					
PRESUPUESTO A NIVEL DE SUBRASANTE - ESTABILIZACIÓN CON FIBRAS DE POLIPROPILENO Y VINAZA (1.00%+25.00%)						
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL	TOTAL
01	OBRAS PROVISIONALES, TRABAJOS PRELIMINARES, SEGURIDAD Y SALUD					S/ 1.314
01.01.00	TRAZO, REPLANTEO Y CONTROLES TOPOGRAFICOS	m2	1.00	1.31	1.31	
02	MOVIMIENTO DE TIERRAS					S/ 266.847
02.01.01	EXCAVACIÓN NIVEL DE SUBRASANTE	m3	0.15	8.59	1.29	
02.01.02	BATIDO DE MATERIAL CON CAL VIVA-SUBRASANTE e=0.3	m2	1.00	258.58	258.58	
02.01.03	PERFILADO, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA SUBRASANTE	m2	1.00	6.98	6.98	
					SUBTOTAL	S/ 268.161
					IGV (18%)	S/ 48.269
					COSTO TOTAL	S/ 316.430

Fig. 135. Presupuesto a nivel de subrasante – 1.00%PP + 25.00%VN

De la figura 135, se estima que el costo para estabilizar 1m2 de subrasante arcillosa con grosor de 0.15m será S/.316.43 con fibras de polipropileno y vinaza.

Análisis comparativo de alternativas

Esta sección, realiza un análisis comparativo entre los resultados del análisis de costos efectuado a nivel de subrasante. En donde se presentan tres alternativas, la primera consiste en estabilizar con cal al 8.00%, la segunda con cemento al 12.00% y por ende con la combinación óptima que es del 1.00%PP + 25.00%VN.

Por lo cual, se considera para el presupuesto que el uso de cal resulta menos costoso en S/.67.30 a comparación del cemento que aumenta a S/.168.81. Sin embargo, las fibras de polipropileno con vinaza resultan ser más costosas en S/316.43, debido a la producción de los estabilizantes.

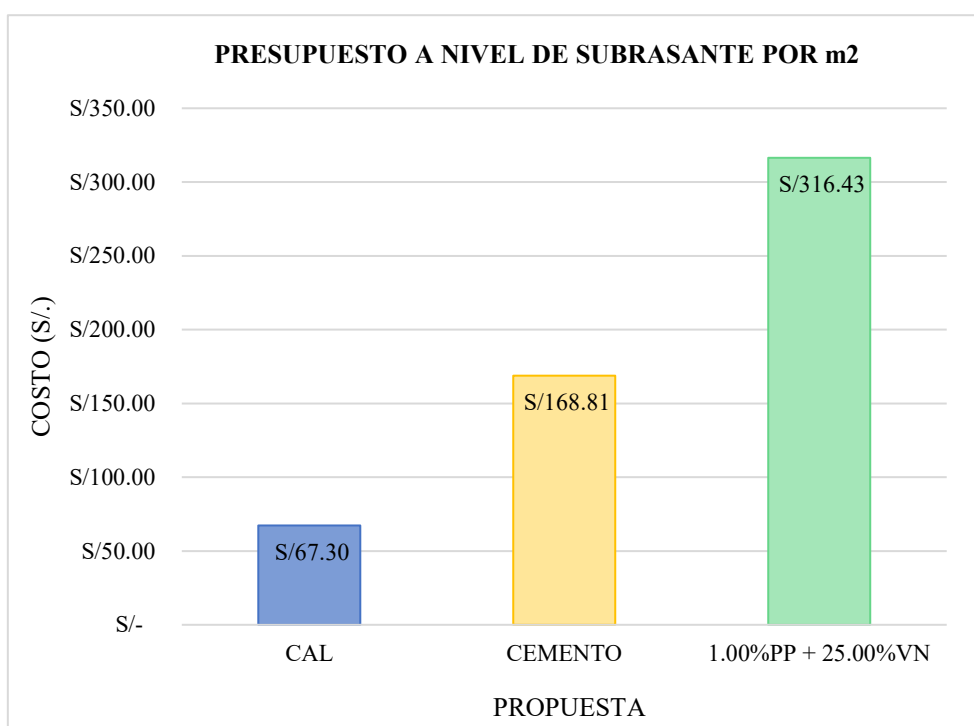


Fig. 136. Presupuesto de insumos por m2

Discusión

En el presente estudio se plantearon objetivos específicos coherentes con la hipótesis y objetivo general, que consiste en establecer la influencia de la incorporación de fibras de polipropileno con vinaza en la estabilización de suelos arcillosos para una subrasante. Para ello, se realizaron los ensayos de caracterización física y comportamiento mecánico, tanto en suelo natural como con adición con los siguientes porcentajes: (0.75%, 1.00%, 1.50%) de fibras de polipropileno y el (15.00%, 25.00%, 60.00%) de vinaza. En consecuencia, se desarrolla la siguiente discusión técnica.

Con respecto, al objetivo específico de caracterizar el suelo arcilloso en su estado natural por el método SUCS y AASHTO, los resultados indican que la muestra C-01 es arcilla arenosa de baja plasticidad (CL), sin embargo las muestras C-02 y C-03 fueron clasificadas como arcilla de baja plasticidad con arena (CL). Mientras que, bajo AASHTO las tres muestras fueron clasificadas como A-7-6, donde se evidencia los suelos con alta fracción fina y condiciones desfavorables como subrasantes. Luego, del tratamiento con fibras de polipropileno y vinaza no se modificó la clasificación, lo cual confirma que la estabilización no alteró la tipología, pero sí impactó en parámetros mecánicos evaluados posteriormente. Estos resultados coinciden con los reportados por Nasiri et al.[15], que caracterizaron arcillas de alta plasticidad (CH) en estado natural y resaltaron la importancia de identificar previamente para anticipar al comportamiento tras el tratamiento. De igual modo, Dhakal et al. [17] reafirmaron que la caracterización inicial permite evaluar los efectos de las adiciones sobre suelos arcillosos. En tal sentido, este tipo de suelos (CL) presenta una alta susceptibilidad a la expansión, debido a su composición rica en minerales como la montmorillonita. Por otro lado, es necesario aplicar métodos de estabilización química que mediante el intercambio catiónico disminuyan la actividad expansiva, lo cual respalda la caracterización realizada en el presente estudio como paso esencial para un tratamiento eficaz.

Respecto al objetivo específico de comparar el grado de expansividad con y sin la adición de fibras de polipropileno con vinaza en suelo arcilloso, los resultados indicaron que las muestras C-01, C-02 y C-03, en estado natural presenta valores de IP en 24.54%, 18.71% y 19.29%, dado que tras la estabilización con 1.00%PP+25.00%VN los valores disminuyen en 19.15%, 15.95% y 15.85%, lo que refleja un cambio en la expansión. Igualmente, se observa en los antecedentes de Solís y Salazar [20], quienes reportaron que el potencial de expansión disminuye de manera constante al aumentar la concentración de fibras de polipropileno (PP). Así como, lo señalado por Corbera y Palomino [19], quienes obtuvieron una disminución del 24.00% al 14.00% con

una adición de 60.00% de vinaza, siendo consistente también con Nasiri et al. [15], quienes reportaron una reducción de la expansividad de 42.00% a 27.00% con una concentración de 15.00% de vinaza. Ya que, teóricamente la estabilización química genera un intercambio iónico efectivo entre las fibras de polipropileno y vinaza con las partículas arcillosas, esto va a reducir las fuerzas de repulsión y por ende la expansión. Es decir, los resultados del presente estudio han sido favorables con la concentración utilizada y se logró el efecto esperado, no obstante, se puede ajustar la dosificación o el procedimiento de aplicación para futuras investigaciones.

En cuanto, al objetivo específico de determinar el grado de compactación con la incorporación de fibras de polipropileno con vinaza en los suelos arcillosos, los resultados muestran que la densidad seca para suelo natural es de 1.736g/cm³ en C-01, 1.714g/cm³ en C-02 y 1.721g/cm³ en C-03, mientras que el contenido humedad es de 14.16%, 14.61% y 14.39% respectivamente. Sin embargo, al añadir 1.00%PP+25.00%VN los valores de densidad aumentan en 1.882g/cm³, 1.847g/cm³ y 1.854g/cm³, así como su humedad constante en 14.50%, 12.50% y 12.90%, evidenciando un incremento respecto a su valor inicial, estos resultados se asemejan a los hallazgos de Corbera y Palomino [19], quienes reportaron un aumento de la MDS de 1.812 g/cm³ en 1.856g/cm³ en suelos estabilizados con 60% de vinaza. Asimismo, Km Komal et al. [16] también documentaron reducciones significativas en el OCH y el aumento de la MDS tras emplear fibras de polipropileno. De igual manera, Solís y Salazar [20] observaron mejoras en las características de compactación, y se deben a la acción de ion de potasio (K⁺) que reduce el espesor de la doble capa difusa y favorece la floculación de partículas arcillosas, disminuyendo las fuerzas expansivas internas y generando un comportamiento más estable frente a cambios de humedad.

Respecto al objetivo específico que determina la capacidad portante con la incorporación de fibras de polipropileno con vinaza en los suelos arcillosos, se mostraron los resultados de las muestras naturales de CBR al 95% de 3.29%, 3.72% y 3.70%, así como del CBR al 100% de 4.15%, 4.81% y 4.51% para la C-01, C-02 y C-03 respectivamente. Mientras que, tras aplicar la dosificación del 1.00%PP+25.00%VN aumenta el CBR al 95% en 8.77%, 8.72% y 8.67%, al igual que el CBR al 100% en 11.02%, 11.49% y 12.63%, donde se observa como incrementó después del tratamiento. En otras palabras, evidencia una mejora sustancial en de la capacidad del suelo para soportar cargas aplicadas durante la penetración, estos resultados son coherentes según lo indican Solís y Salazar [20], quienes documentaron que al mezclar las fibras de polipropileno con el suelo genera una mayor fricción y resistencia al corte. Asimismo, Corbera

y Palomino [19], reportaron que la expansividad del suelo disminuye y el índice de CBR aumenta, es decir influye de manera positiva la vinaza en la estabilización del suelo. Desde el sustento teórico, la mejora el ángulo de fricción y la cohesión, a través de la neutralización de cargas y reducción de la separación entre partículas, favoreciendo un mejor contacto interno y resistir a esfuerzos cortantes.

En relación, al objetivo específico que evalúa el costo de la estabilización de las fibras de polipropileno con vinaza, los resultados indican que mejorar el suelo arcilloso a un espesor de 0.15 por metro cuadrado fue S/.316.43 al utilizar una concentración de 1.00%PP+25.00%VN, en comparación con S/.67.73 por m² con cal al 8.00% y S/.168.81 por m² con cemento al 12.00%, evidenciando que el uso de fibras de polipropileno con vinaza implica una inversión inicial superior. Sin embargo, sus beneficios técnicos en la mejora de la densidad seca y la capacidad de soporte lo posicionan como una alternativa de alta eficiencia para obras que requieren suelos con comportamiento volumétrico controlado y un mejor desempeño mecánico. De igual manera, es consistente lo reportado por Solís y Salazar [20], quienes señalan la efectividad que tienen las fibras de polipropileno inclusive a bajas concentraciones. Así como, Nasiri et al. [15] comprobaron que la dosificación de 15.00% de vinaza permite alcanzar importantes mejoras técnicas con costos controlados. En este sentido, las fibras de polipropileno con vinaza actúan a nivel estructural promoviendo un intercambio iónico eficiente que estabiliza las partículas arcillosas y mejora significativamente la resistencia del suelo. Por tanto, su costo por metro cuadrado es mayor y su implementación resulta altamente favorable en proyectos que demandan soluciones para estabilización duradera, justificando su elección como aditivo frente a métodos convencionales.

Conclusiones

- La hipótesis planteada fue validada, evidenciando que la incorporación de las fibras de polipropileno con vinaza mejora el comportamiento mecánico en los suelos arcillosos, específicamente en el aumento de la densidad seca y valores del CBR, en el caso de la expansión se observó que disminuye. Por lo tanto, estos resultados respaldan el uso de estos agentes estabilizantes y se recomienda continuar optimizando las dosificaciones o condiciones de aplicación para lograr un desempeño integral.
- Se caracterizaron las muestras naturales de suelo arcilloso provenientes de la zona de estudio, donde la muestra C-01 fue clasificada como arcilla arenosa de baja plasticidad (CL), al igual que las muestras C-02 y C-03 como arcilla de baja plasticidad con arena (CL) conforme al sistema SUCS. Mientras que, en AASHTO todas fueron identificadas como A-7-6, lo que evidencia suelos con alta fracción fina y plasticidad desfavorable, estas condiciones son catalogadas como subrasantes de bajo desempeño estructural, por ello se recomienda la estabilización química para su empleo en proyectos viales.
- Respecto al porcentaje de expansividad, los resultados indicaron que en estado natural las muestras C-01, C-02 y C-03 presentaron índices de plasticidad de 24.54%, 18.71% y 19.29% respectivamente. Mientras que, tras la aplicación del 1.00%PP+25.00%VN, estos valores disminuyeron a 19.15%, 15.95% y 15.85%, mostrando que disminuye un 81.47% promedio, igual a lo reportado en antecedentes teóricos en donde se evidenció una reducción. Dado que, los aditivos mejoran las propiedades mecánicas asociadas con la resistencia y estabilidad con las concentraciones evaluadas.
- En cuanto, a la densidad seca se evidenció una mejora significativa con la aplicación de la dosificación óptima del 1.00%PP+25.00%VN, para la muestra C-01 la MDS aumentó de 1.736 a 1.882g/cm³ y el OCH varió de 14.16% a 14.50%. Asimismo, para la C-02 incrementó de 1.714 a 1.847g/cm³ y desde 1.721 a 1.854g/cm³ en la C-03, por ende, el OCH presentó variaciones de 14.61% a 12.50% y de 14.39% a 12.90% respectivamente. Es decir, el aumento de la MDS y la disminución del OCH indican que el suelo es menos vulnerable a cambios volumétricos debido a variaciones de humedad, mejorando su estabilidad volumétrica.

- Con respecto, a la capacidad de soporte aumenta de manera progresiva con la adición del 1.00%PP+25.00%VN, es así como el CBR al 95% para la C-01 aumentó de 3.29% a 8.77% con una MDS de 1.882g/cm³, para la C-02 desde 3.72% a 8.72% con una MDS de 1.847g/cm³ y en la C-03 de 3.70% a 8.67% con una MDS de 1.854g/cm³. Es así, como se evidencia un aumento constante de la densidad seca y la capacidad portante del suelo arcilloso. Por lo que, proporciona una sólida base en aplicaciones posteriores para la estabilizar los suelos.
- Según el análisis económico indica que el 1.00%PP+25.00%VN, implica un costo de S/316.43 por m², en comparación con S/.67.73 de cal al 8% y S/.168.81 para el cemento al 12%, resultando una inversión inicial mayor. Sin embargo, sus beneficios técnicos reflejan la notable mejora en los parámetros mecánicos como la capacidad de soporte, justificando su elección en proyectos que requieran soluciones especializadas para el control de suelos arcillosos de media y alta plasticidad, resaltando la necesidad de evaluar de forma integral el costo frente al beneficio técnico obtenido.

Recomendaciones

- Se recomienda desarrollar ensayos de laboratorio como el corte directo, prueba triaxial, módulo de elasticidad y permeabilidad, debido a que contribuyen a una evaluación más extensa de las características mecánicas.
- Se recomienda aplicar el tratamiento de fibras de polipropileno y vinaza en combinación con otros aditivos tradicionales como cal o cemento, para evaluar posibles sinergias que permitan controlar simultáneamente la expansión y mejorar la resistencia mecánica a un costo más competitivo.
- Se recomienda ampliar la investigación en otros tipos de suelos arcillosos de diferente mineralogía, especialmente suelos ricos en esmectita o montmorillonita, y evaluar la versatilidad de las fibras con vinaza en distintos contextos geotécnicos.
- Se propone realizar ensayos químicos detallados de caracterización mineralógica inicial en suelos a tratar, a fin de identificar la presencia y proporción de minerales expansivos, información clave para ajustar la dosificación del aditivo y maximizar su efectividad.
- A nivel de análisis económico, se sugiere comparar el costo del tratamiento de fibras de polipropileno con vinaza, no solo con métodos tradicionales sino considerando el ahorro potencial en el mantenimiento y utilidad de las estructuras sobre los suelos estabilizados, incorporando estudios de ciclo de vida de proyecto.
- Finalmente, se recomienda evaluar alternativas de adquisición o producción local de las fibras de polipropileno y vinaza, ya que no solo reduce el costo sino también promueve un enfoque más sostenible de materiales reciclados y subproductos industriales. Esto haría más viable su implementación en obras de infraestructura vial de gran escala.

Referencias Bibliográficas

- [1] J. Shamsi Sosahab, A. Ardakani, y M. Hassanlourad, «Resilient response and strength of highly expansive clay subgrade stabilized with recycled concrete aggregate and granulated blast furnace slag», *Constr. Build. Mater.*, vol. 408, p. 133816, dic. 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.133816.
- [2] S. Rababah, H. Aldeeky, H. Qasrawi, y O. Al Hattamleh, «Performance of subgrade soil stabilised with by-product recycled mill scale and cementitious materials», *Int. J. Pavement Eng.*, vol. 23, n.º 3, pp. 708-718, 2022, doi: 10.1080/10298436.2020.1766686.
- [3] A. Puppala, L. Hoyos, C. Viyanant, y C. Musenda, «Fiber and Fly Ash Stabilization Methods to Treat Soft Expansive Soils», pp. 136-145, abr. 2012, doi: 10.1061/40552(301)11.
- [4] Y. Lu y W. Wang, «Elastoplastic responses of unsaturated highly expansive clay stabilized by MOC-based multiphase agent under static and cyclic loadings», *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 20, p. e03005, jul. 2024, doi: 10.1016/j.cscm.2024.e03005.
- [5] S. Kacha, S. Shah, y D. Dhruv, «Investigating characteristics of expansive soil of Rajkot modified with flyash and nanolime», *Mater. Today Proc.*, vol. 63, pp. 314-319, ene. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.03.141.
- [6] C. López-Niño, E. Guevara, V. León, y D. López-Hernández, «Arcillas expansivas del Norte de Venezuela: Caracterización mediante el uso de los límites de Atterberg, índices de consistencia y ensayos de expansión», *Obras Proy.*, n.º 34, Art. n.º 34, dic. 2023, doi: 10.21703/0718-2813.2023.34.2451.
- [7] J. E. Alva Hurtado, *Ingeniería Geotécnica: Trabajos de campo, laboratorio y estudios*. Lima: EDUNI, 2020.
- [8] Instituto Nacional De Defensa Civil (INDECI) y Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo (PNUD), «Plan de prevención ante desastres: usos del suelo y medidas de mitigación ciudad de Chiclayo». Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/3093>
- [9] E. Mukiza, L. Zhang, X. Liu, y N. Zhang, «Utilization of red mud in road base and subgrade materials: A review», *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 141, pp. 187-199, feb. 2019, doi: 10.1016/j.resconrec.2018.10.031.
- [10] T. Ashok Kumar, T. Thyagaraj, y R. G. Robinson, «Swell–shrink behaviour of fly ash-stabilised expansive soils», *Proc. Inst. Civ. Eng. - Ground Improv.*, vol. 176, n.º 3, pp. 160-171, ago. 2023, doi: 10.1680/jgrim.21.00024.
- [11] S. Z. S. Zaliha y H. Kamarudin, «Review on Soil Stabilization Techniques», 2013.
- [12] M. Liu *et al.*, «Evaluation of brown coal fly ash for stabilising expansive clay subgrade: A sustainable solution for pavement construction», *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 204, p. 107533, may 2024, doi: 10.1016/j.resconrec.2024.107533.
- [13] O. Patiño, «LAS VINAZAS Nota Técnica Manejo de Vinazas: Metanización y Compostaje, Aplicaciones Industriales», dic. 2005, Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/8077396/LAS_VINAZAS_Nota_T%C3%A9cnica_Manejo_de_Vinazas_Metanizaci%C3%B3n_y_Compostaje_Aplicaciones_Industriales
- [14] S. Wang, Q. Xue, W. Ma, K. Zhao, y Z. Wu, «Experimental study on mechanical properties of fiber-reinforced and geopolymer-stabilized clay soil», *Constr. Build. Mater.*, vol. 272, p. 121914, feb. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121914.
- [15] H. Nasiri, N. Khayat, y M. Mirzababaei, «Simple yet quick stabilization of clay using a waste by-product», *Transp. Geotech.*, vol. 28, p. 100531, may 2021, doi: 10.1016/j.trgeo.2021.100531.


- [16] Km Komal, S. Bawa, y S. KantSharma, «Laboratory investigation on the effect of polypropylene and nylon fiber on silt stabilized clay», *Mater. Today Proc.*, vol. 52, pp. 1368-1376, ene. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.11.123.
- [17] S. Dhakal, P. Kolay, y V. Puri, «Durability of clayey soil stabilized with calcium sulfoaluminate cement and polypropylene fiber under extreme environment», *Transp. Geotech.*, vol. 44, p. 101164, ene. 2024, doi: 10.1016/j.trgeo.2023.101164.
- [18] E. M. Carrozzo Chavarría y D. S. Salazar Martínez, «Influencia de las fibras de polipropileno y cemento Portland tipo I en las propiedades geotécnicas de suelos arcillosos aplicado en la subrasante de la Carretera Pampas - La Florida, en el tramo km 3+300 hasta km 13+050 ubicado en el distrito Atavillos Bajos en la provincia de Huaral y departamento de Lima», *Repos. Académico USMP*, 2021, Accedido: 11 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/8813>
- [19] V. C. Corbera Cadena, «Efectos de la incorporación de vinaza en la estabilización de los suelos cohesivos para una subrasante en la ciudad de Sullana, 2023».
- [20] F. B. Solís León y D. M. Inga Salazar, «Análisis del comportamiento mecánico del suelo arcilloso reforzado con fibras de polipropileno en la Merced - Junín 2021», *Univ. Cont.*, 2021, Accedido: 5 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11369>
- [21] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, *MANUAL DE CARRETERAS, SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS-SECCIÓN SUELOS Y PAVIMENTOS*, R.D. N°10-2014-MTC/14. Lima, 2014. Accedido: 30 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- [22] R. Bellot Oviedo, «MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE CORRELACION DEFLECTOMETRICA», 2013, p. 32.
- [23] Crespo Villalaz, «Crespo Villalaz - MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES.PDF», Accedido: 30 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/35912353/Crespo_Villalaz_MEC%C3%81NICA_DE_SUELOS_Y_CIMENTACIONES_PDF
- [24] J. Naranjo, «TEXTO PARA LA ASIGNATURA MECÁNICA DE MECANICA DE SUELOS I INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD NACIONAL, SEDE MANIZALES», Accedido: 23 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/29137705/TEXTO_PARA_LA_ASIGNATURA_MEC%C3%81NICA_DE_MECANICA_DE_SUELOS_I_INGENIER%C3%81DA_CIVIL_UNIVERSIDAD_NACIONAL_SEDE_MANIZALES
- [25] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, *MANUAL DE CARRETERAS, SUELOS GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS - SECCIÓN SUELOS Y PAVIMENTOS*, R.D. N°10-2014-MTC/14. Lima, 2014. Accedido: 23 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-05-14%20Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf
- [26] A. Méndez Salas y V. M. Pineda Núñez, «Comportamiento de cimentaciones en suelos expansivos», mar. 2012, Accedido: 23 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/421>
- [27] J. E. Bowles, «Propiedades Geofísicas de Los Suelos», n.º 490, Accedido: 23 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/36589235/Propiedades_Geofisicas_de_Los_Suelos_Bowles_

- [28] B. M. Das, *Fundamentals of geotechnical engineering*, 4th ed. Stamford, CT: Cengage Learning, 2013.
- [29] A. Montejó, *Ingeniería de Pavimentos - Alfonso Montejó.pdf - PDFCOFFEE.COM*, Segunda edición. Colombia: Universidad Católica de Colombia ediciones y publicaciones, 2002. Accedido: 23 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://pdfcoffee.com/ingenieria-de-pavimentos-alfonso-montejopdf-pdf-free.html>
- [30] D. R. Hurtado, «Mejoramiento de suelos expansivos mediante inclusiones de fibras», sep. 2014, Accedido: 18 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/819>
- [31] P. V. Vettorelo y J. J. Clariá, «Suelos Reforzados con Fibras: Estado del Arte y Aplicaciones», mar. 2014, Accedido: 18 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/33976>
- [32] M. R. Abdi, A. Ghalandarzadeh, y L. Shafiei Chafi, «An investigation into the effects of lime on compressive and shear strength characteristics of fiber-reinforced clays», *J. Rock Mech. Geotech. Eng.*, vol. 13, n.º 4, pp. 885-898, ago. 2021, doi: 10.1016/j.jrmge.2020.11.008.
- [33] «(PDF) Investigation of mechanical factor of soil reinforced with four types of fibers: An integrated experimental and extreme learning machine approach», *ResearchGate*, oct. 2024, Accedido: 18 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/327172897_Investigation_of_mechanical_factor_of_soil_reinforced_with_four_types_of_fibers_An_integrated_experimental_and_extreme_learning_machine_approach
- [34] «(PDF) Interfacial shear strength and mechanical behaviour of fiber reinforced soil», *ResearchGate*. Accedido: 18 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/260812587_Interfacial_shear_strength_and_mechanical_behaviour_of_fiber_reinforced_soil
- [35] V. Z. Cerón y M. A. G. Ayerbe, «CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE LAS VINAZAS DE RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR RESULTANTES DE LA PRODUCCIÓN DE ETANOL», 2013.
- [36] R. G. Moran-Salazar *et al.*, «Utilization of vinasses as soil amendment: consequences and perspectives», *SpringerPlus*, vol. 5, n.º 1, p. 1007, jul. 2016, doi: 10.1186/s40064-016-2410-3.
- [37] G. S. Stephen, M. J. Shitindi, M. D. Bura, C. A. Kahangwa, y E. K. Nassary, «Harnessing the potential of sugarcane-based liquid byproducts—molasses and spentwash (vinasse) for enhanced soil health and environmental quality. A systematic review», *Front. Agron.*, vol. 6, feb. 2024, doi: 10.3389/fagro.2024.1358076.
- [38] L. a. D. Carvalho, I. Meurer, C. a. D. S. Junior, C. F. B. Santos, y P. L. Libardi, «Spatial variability of soil potassium in sugarcane areas subjected to the application of vinasse», *An. Acad. Bras. Ciênc.*, vol. 86, pp. 1999-2012, dic. 2014, doi: 10.1590/0001-3765201420130319.
- [39] A. M. Otoyá Zelada, «Influencia de la concentración de vinaza en los suelos de cultivo de *Saccharum Officinarum* L. “caña de azúcar” Casa Grande», 2022, Accedido: 18 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14414/20192>
- [40] M. B. Suárez, «Metodología de Investigación Científica para ingeniería Civil», 2016, p. 38.
- [41] L. A. Torres Lora, «Correlación del límite de contracción y la actividad coloidal en suelos arcillosos, La Victoria – Lambayeque 2019», *Repos. Inst. - USS*, 2019, Accedido: 26 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/6819>

- [42] H. Kang, «Sample size determination and power analysis using the G*Power software», *J. Educ. Eval. Health Prof.*, vol. 18, p. 17, jul. 2021, doi: 10.3352/jeehp.2021.18.17.
- [43] «Análisis de potencia ANOVA unidireccional | Ejemplos de análisis de datos G*Power». Accedido: 10 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://stats.oarc.ucla.edu/other/gpower/one-way-anova-power-analysis/>
- [44] Reglamento nacional de edificaciones, «Norma E.050 Suelos y cimentaciones». Accedido: 30 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2686414/E.050%20Suelos%20y%20Cimentaciones.pdf>
- [45] «AA Holtz & Kovacs - An Introduction to Geotechnical Engineering». Accedido: 30 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/34741616/AA_Holtz_and_Kovacs_An_Introduction_to_Geotechnical_Engineering
- [46] C. Crespo Villalaz, *MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES*, 5ta ed. Mexico: Limusa Noriega Editores, 2004. Accedido: 21 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/35912353/Crespo_Villalaz_MEC%C3%81NICA_DE_SUELOS_Y_CIMENTACIONES_PDF

Anexos

Anexo 1. Ficha técnica emitida por la empresa Caña Brava

	FICHA TECNICA VINAZA	
		Versión: 01

1. DATOS GENERALES

1.1 Datos del Fabricante y comercializador del Producto:

NOMBRE DE LA EMPRESA	SUCROALCOLERA DEL CHIRA - CAÑA BRAVA
R.U.C.	20525538738
DIRECCIÓN DE LA PLANTA	Carretera Ignacio Escudero – Tamarindo Km 5 – Sullana
TELÉFONO	942848816
E-mail	MVegaY@agricolachira.com.pe

1.2 Datos Del Producto:

Nombre del Producto:	VINAZA
Variedad:	Sin Variedad
Tiempo de vida útil:	6 meses, posterior a su fecha de fabricación
Uso:	Materia orgánica rica en sales minerales.

2. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

La vinaza es un sub-producto de proceso de la destilación del vino (Jugo de la caña de azúcar fermentado), el cual pasa a través de los platos de la columna de destilación, los cuales tienen una temperatura de 85°C, lo que produce la evaporación del alcohol por la parte superior mientras que en la parte inferior queda como residuo la vinaza.

3. INSTRUCCIONES DE USO

- Como materia prima para la formulación de abono orgánico.

Página 1 de 4

	FICHA TECNICA	
	VINAZA	Versión: 01

4. **COMPOSICIÓN Y CARÁCTISTICAS**

Se detalla características referenciales de una muestra compósito de vinaza.

COMPOSICIÓN	RESULTADOS
pH	4.22
C.E (ds/m)	18.16
Materia Orgánica (g/100mL)	2.13
Carbonatos (mg CO ₃ /L) (LD: 0,80 mg CO ₃ /L)	<0.8
Bicarbonatos (mg HCO ₃ /L) (LD: 0,80 mg HCO ₃ /L)	<0.8
Humedad (g/100 g)	98.14
Nitrógeno Kjeldahl (mg/L)	0.04
Nitratos (mg/L)	0.04
Cloruros (mg/L)	3352
Sulfatos (mg/L)	922.59
Fosforo Total (mg/L)	82.9
Potasio (mg/L)	4904
Calcio (mg/L)	740.4
Magnesio (mg/L)	396.4
Manganeso (mg/L)	1.09
Sodio (mg/L)	484.8
Hierro (mg/L)	10.86
Demanda Bioquímica de Oxígeno(mg/L)	17250
Demanda Química de Oxígeno(mg/L)	40948
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	1690
Sólidos Volátiles (mg/L)	8230
Ácidos Fúlvicos (g/100g)	23.79
Ácidos Húmicos (g/100g)	0.64
Azúcares Reductores (g/100g)	<0.10
Densidad (g/mL)	1.0182
Relación Carbono Nitrógeno	30.88
Carbono Orgánico Oxidable (g/100 mL)	1.24

5. **PRESENTACIÓN**

A granel, despachado en cisternas.

6. **MATERIAL DE EMPAQUE**

No aplica.

	FICHA TECNICA	
	VINAZA	Versión: 01

7. RECOMENDACIONES

- Mantener las correctas medidas de seguridad para evitar accidentes.
- Verificar los puntos de agua y extintores cómo medida preventiva en caso de derrames.
- Evitar la manipulación de la vinaza durante un derrame.

8. ADVERTENCIAS Y PRECAUCIONES

- Prohibir la entrada a la zona a personal innecesario.
- Evitar que la vinaza se fermente y genere vapores y favorezca a la combustión.
- Evitar cualquier posible fuente de ignición.
- Cortar el suministro eléctrico cercano.
- Evitar las cargas electrostáticas.
- Producto inflamable.

9. ALMACENAMIENTO

- Almacenar el producto en un lugar ventilado y fuera del alcance de fuentes de calor.
- El producto es inflamable en contacto directo con el fuego
- Manténgase alejado de los niños, alimentos y mascotas.

10. AMBITO DE USO

Agrícola.

11. ESPECIFICACIONES ORGANOLÉPTICAS Y FÍSICO-QUÍMICAS

CARACTERÍSTICA	ENSAYO	RESULTADO
ORGANOLÉPTICAS	Apariencia	Líquido viscoso
	Color	Marrón
	Olor	Característico a miel
FÍSICO-QUÍMICAS	Densidad (g/mL)	1.01 - 1.15
	% Humedad	90 - 98 %

12. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación	
Medidas técnicas	Mantener alejado de fuentes de ignición (controle la carga estática).
Precauciones	Evite el contacto con el calor, chispas y llamas. Mantener alejado de los niños.
Medidas de higiene	No fumar durante su manipulación.

	FICHA TECNICA VINAZA	
		Versión: 01

Almacenamiento	
Medidas técnicas	Tomar medidas de precaución contra descargas estáticas. Los vapores pueden viajar hasta una fuente de ignición y regresar con llamas.
Condiciones de almacenamiento	Proteger del calor y la radiación solar directa. No almacenar en temperaturas mayores de 35°C. Mantener alejado de fuentes de calor o ignición.
Incompatibilidades	No almacenar con productos exotérmicos.

13. INFORMACIÓN DE TRANSPORTE

Debe transportarse de acuerdo con la normativa nacional e internacional. Evitar cualquier contaminación y utilizar únicamente envases adecuados. Transportar separado de otros productos para evitar contaminaciones y/o posibles accidentes en caso de derrames.


El producto no está clasificado como mercancía peligrosa para el transporte por carretera, ferrocarril o marítimo.


SUCROALCOLERA DEL CHIRA - CAÑA BRAVA Jefe de Calidad

Anexo 2. Cotización emitida por la empresa Caña Brava

COTIZACIÓN

616-2024




Caña Brava

Razon Social: Sucoalcolera del Chira S.A.
RUC: 20525538738
Dirección: Carretera Ignacio Escudero a Tamarindo Km 6 – Sullana - Piura

Fecha: 24/01/2024
Atención: Juan Jimenez
Empresa: Orgánicos Río Verde

N°	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	PRECIO*	TOTAL
01	Vinaza	M3	33	\$1.90	\$62.70
02	Transporte en cisterna de 30m3	M3	33	\$15.68	\$517.30
Total Valor Venta:					\$580.00
I.G.V.					\$104.40
Importe Total:					\$684.40

Observaciones:
***Precio en Dólares**
*** Flete de transporte a fundo cliente (Olivares San Fernando)**
***Si cliente recoge en sede:**
 Carretera Ignacio Escudero a Tamarindo Km 6 – Sullana - Piura
***Requisitos para ingreso a sede:**
 Carnet de vacuna con sus 03 dosis covid-19
 Presentar en garita de control de ingreso: Carnet (físico o virtual del Minsa) + DNI, SCTR
***Validez de la oferta: 5 días**



Alejandro Blanco Eguiluz
Jefe Comercial ventas no giro

*****Datos para abono:**

BCP			
Moneda	Nro Cuenta Bancaria	Código de Cuenta Interbancario	Observación
Dólares	475-2663908-1-48	002-47500266390814823	Vía Transferencia

Anexo 4. Panel fotográfico**Fig. 137. Extracción (C – 01) – Av. Colectora****Fig. 138. Extracción (C – 02) – Av. Colectora**

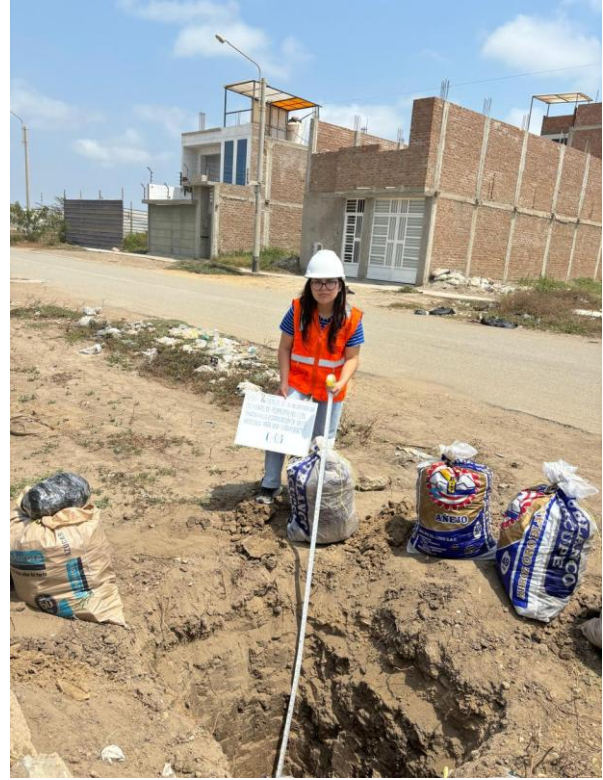


Fig. 139. Extracción (C – 03) – Av. Colectora



Fig. 140. Granulometría para cada calicata

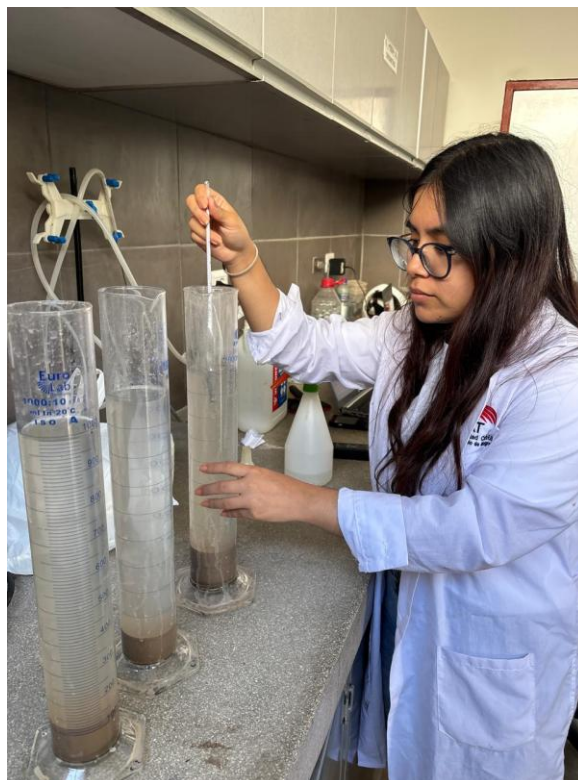


Fig. 141. Hidrometría para cada calicata



Fig. 142. G. Específica para cada calicata



Fig. 143. L. Atterberg para cada calicata



Fig. 144. Proctor para cada calicata



Fig. 145. CBR para cada calicata

Anexo 5. Ensayos de laboratorio**ENLACE DRIVE:**

<https://drive.google.com/drive/folders/1jKsjd0w845ZF9RVuLUWmQw6Es-KB6rak?usp=sharing>