

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE  
TIPO COPOLIMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO  
TRÁNSITO EN LA CARRETERA PUCALOMA - YANAYACU,  
DISTRITO DE SOCOS”

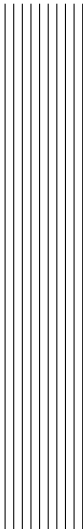
AUTOR:

BACH. CARLOS JAN CURITOMAY NAJARRO

ASESOR:

M.Sc. ING. ANGEL HUGO VILCHEZ PEÑA

AYACUCHO - 2018



# Presentación

Esta tesis es presentada como parte de los requisitos para optar el título académico de Ingeniero Civil, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, la misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el periodo 2017-2018.

Carlos Jan Curitomay Najarro

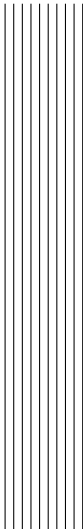
**jeancarlos837@hotmail.com**

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Ayacucho, 2018

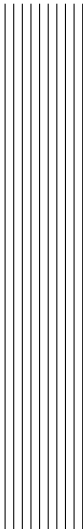


A decorative element consisting of ten thin, vertical, parallel lines of varying heights, creating a textured, column-like appearance on the left side of the page.

## Dedicatoria

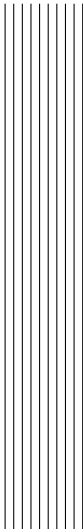
Dedico esta tesis a mis padres Hermogenes y Robertina y a mi querida hermana Mónica por ser ellos el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.



## Agradecimientos

- Mi agradecimiento se dirige a quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto, a Dios, el que en todo momento está conmigo ayudándome a aprender de mis errores y a no cometerlos otra vez.
- A la *Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga* y todos los Catedráticos de la *Escuela Profesional de Ingeniería Civil*.
- A mis padres, por su apoyo transcendental e incondicional en mi vida.
- Al *Ing. Hugo Vilchez*, por sus consejos y la motivación que otorga con su constante emprendimiento.
- A mis tíos *Amancio y Satu, Saturnino, Carlota, Sócrates* ustedes representan una gran inspiración en mi vida y un gran ejemplo a seguir.
- A mis amigos *Epifanio*, por apoyarme de manera paciente, *Richard, Edgar, Wilder, Berly, Juan Carlos, Jose Luis, Diego, Wilfredo, Winny, Mariaelena, Valentina*, que siempre me brindaron su gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión.



## Resumen

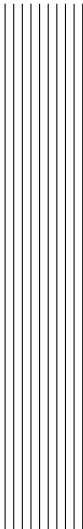
El presente estudio analiza el comportamiento de suelos arcillosos, que sufren cambios de volumen debido a las variaciones en su humedad, adquirida por capilaridad y/o por infiltración. Cualquier construcción ligera asentada sobre este tipo de suelos experimentará deformaciones causadas por la expansión de la arcilla, dichos movimientos se traducen en grietas sobre muros y el levantamiento de pisos. En tal sentido, se han propuesto diferentes soluciones para reducir el cambio volumétrico de las arcillas; algunos métodos modifican las características físico-químicas de las arcillas, agregando diferentes materiales que estabilizan el volumen de las mismas, tal es el caso de la *cal*, *cemento*, *fosfatos*, *sales de aluminio* y recientemente *los polímeros*. Esta investigación utiliza un copolímero: *poliuretano y acrílico*.

Para la investigación se consideraron muestras de suelo natural y suelo tratado con polímero; en ambas muestras se determinaron propiedades índices, compactación, resistencia al esfuerzo de cargas verticales, expansión y contracción; pruebas que determinaron si es factible la utilización de dicho polímero.

El resultado más significativo en esta investigación es el que se refiere a la contracción, expansión y al aumento de la resistencia a la carga, respecto a la del suelo natural.

### **PALABRAS CLAVES:**

Arcilla, polímero, copolímero, expansión, estabilización de suelos.



## Summary

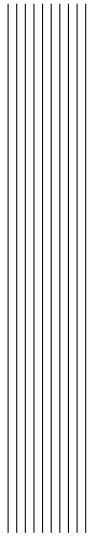
The present study analyzes the behavior of clay soils, which suffer volume changes due to variations in their moisture, acquired by capillarity and/or by infiltration. Any light construction seated on this type of floor will experience deformations caused by the expansion of the clay, these movements are translated into cracks on walls and the lifting of floors. In this sense, different solutions have been proposed to reduce the volumetric change of clays; some methods modify the physical-chemical characteristics of clays, adding different materials that stabilize their volume, such as *lime, cement, phosphates, aluminum salts* and, recently, *polymers*. This research uses a copolymer: *polyurethane and acrylic*.

For the investigation, samples of natural soil and polymer-treated soil were considered; In both samples, index, compaction, resistance to vertical loads, expansion and contraction properties were determined; tests that determined if the use of said polymer is feasible.

The most significant result in this investigation is the one that refers to the contraction, expansion and increase of the resistance to the load, with respect to that of natural soil.

### **KEY WORDS:**

Clay, polymer, copolymer, expansion, soil stabilization.



# Índice general

|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| <b>Portada</b>                    | <b>I</b>     |
| <b>Presentación</b>               | <b>I</b>     |
| <b>Dedicatoria</b>                | <b>II</b>    |
| <b>Agradecimientos</b>            | <b>III</b>   |
| <b>Resumen</b>                    | <b>IV</b>    |
| <b>Summary</b>                    | <b>V</b>     |
| <b>Índice general</b>             | <b>VI</b>    |
| <b>Índice de figuras</b>          | <b>XIII</b>  |
| <b>Índice de cuadros</b>          | <b>XXI</b>   |
| <b>Lista de siglas y símbolos</b> | <b>XXIII</b> |

---

|           |                                                          |          |
|-----------|----------------------------------------------------------|----------|
| <b>I</b>  | <b>INTRODUCCIÓN</b>                                      | <b>1</b> |
|           | <b>Introducción</b>                                      | <b>2</b> |
| <b>II</b> | <b>CUERPO DE LA OBRA</b>                                 | <b>4</b> |
| <b>1.</b> | <b>Capítulo 1</b>                                        | <b>1</b> |
|           | <b>Introducción</b>                                      | <b>1</b> |
| 1.1.      | Antecedentes bibliográficos. . . . .                     | 1        |
| 1.1.1.    | Antecedentes mundiales . . . . .                         | 1        |
| 1.1.2.    | Antecedentes en el Perú . . . . .                        | 2        |
| 1.2.      | Descripción de la realidad problemática. . . . .         | 3        |
| 1.3.      | Formulación del problema. . . . .                        | 3        |
| 1.3.1.    | Problema principal. . . . .                              | 4        |
| 1.3.2.    | Problemas secundarios. . . . .                           | 4        |
| 1.4.      | Justificación e importancia de la investigación. . . . . | 4        |
| 1.4.1.    | Justificación de la investigación . . . . .              | 4        |
| 1.4.2.    | Importancia de la investigación . . . . .                | 5        |
| 1.5.      | Objetivos de la investigación. . . . .                   | 6        |
| 1.5.1.    | Objetivos generales. . . . .                             | 6        |
| 1.5.2.    | Objetivos específicos. . . . .                           | 6        |
| 1.6.      | Hipótesis de la investigación. . . . .                   | 6        |
| 1.6.1.    | Hipótesis global. . . . .                                | 6        |
| 1.6.2.    | Hipótesis secundarias. . . . .                           | 7        |
| 1.7.      | Variables e indicadores. . . . .                         | 7        |
| 1.7.1.    | Definición de las variables. . . . .                     | 7        |
| 1.7.2.    | Clasificación de las variables. . . . .                  | 8        |
| 1.7.2.1.  | Variables independientes. . . . .                        | 8        |
| 1.7.2.2.  | Variables dependientes. . . . .                          | 8        |

---

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.8. Unidad de análisis. . . . .                               | 8         |
| 1.9. Tipo y nivel de investigación. . . . .                    | 8         |
| 1.9.1. Tipo de investigación. . . . .                          | 8         |
| 1.9.2. Nivel de investigación. . . . .                         | 9         |
| 1.9.3. Diseño de investigación. . . . .                        | 9         |
| <b>2. Capítulo 2</b>                                           | <b>11</b> |
| <b>Estado del arte</b>                                         | <b>11</b> |
| 2.1. Geología. . . . .                                         | 11        |
| 2.1.1. Geología Regional . . . . .                             | 11        |
| 2.1.2. Geología local zona de Socos. . . . .                   | 14        |
| 2.2. Naturaleza de los suelos arcillosos . . . . .             | 14        |
| 2.2.1. Origen de las arcillas . . . . .                        | 14        |
| 2.2.2. Estructura de las arcillas . . . . .                    | 15        |
| 2.2.3. Clasificación de las arcillas . . . . .                 | 18        |
| 2.3. Plasticidad de las arcillas . . . . .                     | 20        |
| 2.3.1. Introducción . . . . .                                  | 20        |
| 2.3.2. Plasticidad . . . . .                                   | 23        |
| 2.3.3. Causas y modificadores de la plasticidad . . . . .      | 24        |
| 2.4. Características geotécnicas del suelo arcilloso . . . . . | 30        |
| 2.4.1. Limite de Atterberg . . . . .                           | 30        |
| 2.4.2. Gravedad específica de los sólidos ( $G_s$ ) . . . . .  | 36        |
| 2.4.3. Contenido de humedad del suelo ( $\omega$ ) . . . . .   | 37        |
| 2.4.4. Peso específico ( $\gamma_w$ ) . . . . .                | 38        |
| 2.4.5. Clasificación de los suelos de grano fino . . . . .     | 39        |
| 2.5. Bases teóricas de carreteras no pavimentadas . . . . .    | 41        |
| 2.5.1. Carreteras no pavimentadas . . . . .                    | 41        |
| 2.5.1.1. Definición . . . . .                                  | 41        |

---

|          |                                                                 |    |
|----------|-----------------------------------------------------------------|----|
| 2.5.1.2. | Clasificación . . . . .                                         | 41 |
| 2.5.2.   | Deterioro en carreteras sin pavimentar . . . . .                | 42 |
| 2.5.2.1. | Descripción del mecanismo de deterioro . . . . .                | 42 |
| 2.5.2.2. | Defectos comunes en vías sin pavimentar . . . . .               | 42 |
| 2.5.3.   | Conservación vial . . . . .                                     | 47 |
| 2.5.3.1. | Definición . . . . .                                            | 47 |
| 2.5.3.2. | Enfoque actual . . . . .                                        | 47 |
| 2.5.3.3. | Importancia en la conservación vial . . . . .                   | 48 |
| 2.5.3.4. | Ciclo de vida de un camino . . . . .                            | 48 |
| 2.6.     | Tipos de estabilización de suelos . . . . .                     | 50 |
| 2.6.1.   | Estabilización física . . . . .                                 | 50 |
| 2.6.1.1. | Mezclas de suelos . . . . .                                     | 50 |
| 2.6.1.2. | Vibroflotación . . . . .                                        | 50 |
| 2.6.1.3. | Consolidación previa . . . . .                                  | 50 |
| 2.6.2.   | Estabilización química . . . . .                                | 51 |
| 2.6.2.1. | Estabilización con cal . . . . .                                | 51 |
| 2.6.2.2. | Estabilización con cemento . . . . .                            | 52 |
| 2.6.2.3. | Estabilización con cloruro de sodio . . . . .                   | 52 |
| 2.6.2.4. | Estabilización con cloruro de calcio . . . . .                  | 53 |
| 2.6.3.   | Estabilización o mejoramiento con productos asfálticos. . . . . | 53 |
| 2.6.4.   | Estabilización mecánica. . . . .                                | 53 |
| 2.7.     | El polímero como agente estabilizador . . . . .                 | 54 |
| 2.7.1.   | Polímeros . . . . .                                             | 54 |
| 2.7.2.   | Características de los Polimeros . . . . .                      | 55 |
| 2.7.3.   | Tipos de polímeros . . . . .                                    | 56 |
| 2.7.4.   | Tipos de polimerización . . . . .                               | 57 |
| 2.7.5.   | Estructura de los polímeros . . . . .                           | 58 |
| 2.7.5.1. | Estructura química de los polímeros . . . . .                   | 58 |



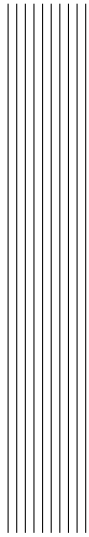
|                                                                                                   |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.7.5.2. Estructura físicas de los polímeros . . . . .                                            | 61        |
| 2.7.6. Copolímeros . . . . .                                                                      | 62        |
| 2.7.7. Copolimero de acrilato hidroxipropilo . . . . .                                            | 64        |
| 2.7.8. Características del Polímero: copolimero-acrílico . . . . .                                | 65        |
| <b>3. Capítulo 3</b>                                                                              | <b>67</b> |
| <b>Metodología de la investigación</b>                                                            | <b>67</b> |
| 3.1. Ubicación de la zona en estudio. . . . .                                                     | 67        |
| 3.2. Equipos para la caracterización Geotécnica . . . . .                                         | 68        |
| 3.3. Equipos para ensayos de Próctor Modificado . . . . .                                         | 69        |
| 3.4. Equipos para ensayos de CBR (Relación de Soporte California) . . . . .                       | 71        |
| 3.5. Herramientas para los ensayos de Próctor Modificado y CBR . . . . .                          | 73        |
| 3.6. Metodología para caracterización Geotécnica . . . . .                                        | 73        |
| 3.6.1. Toma de muestras . . . . .                                                                 | 73        |
| 3.6.2. Contenido de humedad ( $\omega$ ) . . . . .                                                | 73        |
| 3.6.3. Análisis granulométrico por tamizado . . . . .                                             | 75        |
| 3.6.4. Limite Líquido (LL) . . . . .                                                              | 77        |
| 3.6.5. Limite Plástico (LP) . . . . .                                                             | 78        |
| 3.6.6. Límite de Contracción (LC) . . . . .                                                       | 80        |
| 3.6.7. Gravedad Específica (Gs) . . . . .                                                         | 81        |
| 3.7. Metodología para el ensayo de Próctor Modificado . . . . .                                   | 84        |
| 3.7.1. Preparación de la muestra . . . . .                                                        | 84        |
| 3.7.2. Trabajo de compactación de las muestra en los moldes . . . . .                             | 85        |
| 3.7.3. Procedimiento para determinar los parámetros del ensayo de Próctor<br>Modificado . . . . . | 86        |
| 3.8. Metodología para el ensayo Relación de Soporte de California (CBR) . . . . .                 | 88        |
| 3.8.1. Preparación de la muestra . . . . .                                                        | 88        |
| 3.8.2. Moldeado y saturación de las muestra . . . . .                                             | 89        |

---

|                                                                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.8.3. Resistencia a la penetración de las muestras . . . . .                                                    | 90        |
| 3.8.4. Procedimiento para determinar los parámetros del ensayo CBR . . . . .                                     | 92        |
| <b>4. Capítulo 4</b>                                                                                             | <b>97</b> |
| <b>Análisis de resultados</b>                                                                                    | <b>97</b> |
| 4.1. Geología de la Comunidad Campesina de Pucaloma y Yanayacu . . . . .                                         | 97        |
| 4.2. Características de las calicatas . . . . .                                                                  | 99        |
| 4.3. Características de la granulometría . . . . .                                                               | 100       |
| 4.4. Características de los límites de consistencia . . . . .                                                    | 107       |
| 4.5. Características de los límites de contracción . . . . .                                                     | 109       |
| 4.6. Características de la gravedad específica de los sólidos de suelos . . . . .                                | 109       |
| 4.7. Caracterización de la dosificación del suelo-polímero . . . . .                                             | 111       |
| 4.7.1. Límites de consistencia suelo-polímero . . . . .                                                          | 111       |
| 4.7.2. Próctor modificado Método A, suelo-polímero (MDS, OCH) . . . . .                                          | 113       |
| 4.7.3. Gráfico de influencia del polímero en la Densidad Máxima Seca (MDS) .                                     | 126       |
| 4.8. Capacidad de soporte suelo-polímero (CBR) . . . . .                                                         | 129       |
| 4.8.1. CBR con muestra natural de 0% y porcentaje óptimo de polímero . . .                                       | 129       |
| 4.8.2. Hinchamiento o expansión del espécimen con muestra natural y porcen-<br>taje óptimo de polímero . . . . . | 141       |
| 4.8.3. Análisis de expansión de las muestras suelo-natural y suelo-polímero . .                                  | 149       |
| 4.9. Análisis y validación de resultados . . . . .                                                               | 150       |
| 4.9.1. Análisis y validación de resultados de Próctor modificado y CBR . . . .                                   | 150       |
| 4.9.2. Análisis validación de límite de contracción de las muestras suelo-natural<br>y suelo-polímero . . . . .  | 151       |
| 4.10. Costos de estabilización . . . . .                                                                         | 152       |
| 4.10.1. Comparación de costo de estabilización con polímero y otros métodos<br>de estabilización . . . . .       | 152       |

---

|            |                                       |            |
|------------|---------------------------------------|------------|
| <b>III</b> | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> | <b>154</b> |
| 5.         | Capítulo 5                            | 155        |
|            | Conclusiones                          | 155        |
| 6.         | Capítulo 6                            | 159        |
|            | Recomendaciones                       | 159        |
|            | Bibliografía                          | 161        |
| <b>IV</b>  | <b>ANEXOS</b>                         | <b>165</b> |
| 7.         | Anexo A                               | 166        |
| 8.         | Anexo B                               | 171        |
| 9.         | Anexo C                               | 176        |
| 10.        | Anexo D                               | 181        |
| 11.        | Anexo E                               | 190        |
| 12.        | Anexo F                               | 195        |
| 13.        | Anexo G                               | 200        |
| 14.        | Anexo H                               | 217        |
| 15.        | Anexo I                               | 226        |
| 16.        | Anexo J                               | 235        |
| 17.        | Anexo K                               | 237        |
| 18.        | Anexo L                               | 246        |



## Lista de figuras

|                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. Geología regional de la zona de Socos . . . . .                                                                                                  | 13 |
| 2.2. Etapas y factores de formación de la arcilla. . . . .                                                                                            | 15 |
| 2.3. Estructura molecular de láminas Silicas. . . . .                                                                                                 | 16 |
| 2.4. Estructura molecular de láminas Aluminicas. . . . .                                                                                              | 17 |
| 2.5. Estructura molecular de las Filosilicatos. . . . .                                                                                               | 18 |
| 2.6. Diagrama esfuerzo-deformación. . . . .                                                                                                           | 21 |
| 2.7. Zonas características en un flujo plástico según Scott Blair:I, no hay flujo; II, flujo en<br>bloque; III, zona mixta: IV, flujo lineal. . . . . | 21 |
| 2.8. Contenido de humedad en una arcilla. . . . .                                                                                                     | 24 |
| 2.9. Diagrama de moldeabilidad de una pasta de arcilla en función de la proporción de agua. . . . .                                                   | 25 |
| 2.10. Valores de la superficie específica en diferentes cuerpos geométricos. . . . .                                                                  | 27 |
| 2.11. El aumento de presión tiene un efecto orientador sobre las partículas de una masa<br>plástica. . . . .                                          | 28 |
| 2.12. Definición gráfica de los límites de Atterberg. . . . .                                                                                         | 31 |
| 2.13. Límites de humedad. . . . .                                                                                                                     | 31 |
| 2.14. Copa Casagrande. . . . .                                                                                                                        | 32 |
| 2.15. Ensayo de límite líquido. . . . .                                                                                                               | 33 |
| 2.16. Carta de plasticidad. . . . .                                                                                                                   | 40 |

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.17. Sección transversal dañada. . . . .                                                                                       | 43 |
| 2.18. Obras de arte sin mantenimiento. . . . .                                                                                  | 43 |
| 2.19. Ondulaciones Transversales. . . . .                                                                                       | 44 |
| 2.20. Ondulaciones en carreteras. . . . .                                                                                       | 44 |
| 2.21. Presencia de hoyos (baches) en la plataforma. . . . .                                                                     | 45 |
| 2.22. Ahuellamiento. . . . .                                                                                                    | 45 |
| 2.23. Marcas de ahuellamiento en la plataforma. . . . .                                                                         | 46 |
| 2.24. Segregación de agregados. . . . .                                                                                         | 46 |
| 2.25. Segregación de agregados en la plataforma. . . . .                                                                        | 47 |
| 2.26. Conservacion vial. . . . .                                                                                                | 48 |
| 2.27. Condición de la vía sin mantenimiento. . . . .                                                                            | 49 |
| 2.28. Enlace molecular del polímero. . . . .                                                                                    | 55 |
| 2.29. Maraña de macromoléculas. . . . .                                                                                         | 56 |
| 2.30. Configuración sp <sup>3</sup> para los átomos de carbono de la cadena principal de la molécula<br>de polietileno. . . . . | 59 |
| 2.31. Estructura de diferentes polímeros. . . . .                                                                               | 60 |
| 2.32. Sistemas amorfo (a), semicristalino (b) y cristalino (c). . . . .                                                         | 61 |
| 2.33. Tipos de copolímeros. . . . .                                                                                             | 63 |
| 2.34. Representación esquemática de copolímeros. (a)Al azar (b)Alternados (c)En bloque<br>(d)De Injerto. . . . .                | 64 |
| 3.1. Ubicación de la carretera Pucaloma-Yanayacu. . . . .                                                                       | 68 |
| 3.2. Instrumentos para límite Líquido y plástico (Geotecnia & Ingeniería, 2018). . . . .                                        | 69 |
| 3.3. Instrumentos para la determinación de Gravedad Específica. . . . .                                                         | 69 |
| 3.4. Molde de 6 pulgadas y sus Contrapesos (Geotecnia & Ingeniería, 2018). . . . .                                              | 72 |
| 3.5. Prensa de carga CBR (Geotecnia & Ingeniería, 2018). . . . .                                                                | 72 |
| 3.6. Extracción de muestra 01. . . . .                                                                                          | 74 |
| 3.7. Extracción de muestra 02. . . . .                                                                                          | 75 |
| 3.8. Muestras para hallar porcentaje de humedad (Geotecnia & Ingeniería, 2018). . . . .                                         | 76 |

---

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.9. Secado de muestras para determinar el Contenido de Humedad. . . . .                   | 76  |
| 3.10. Zarandeo de material (Geotecnia & Ingeniería, 2018). . . . .                         | 77  |
| 3.11. Ensayo para Límite Líquido en Copa de Casagrande (Geotecnia & Ingeniería, 2018). . . | 79  |
| 3.12. Pesado de las Muestras Secas (Geotecnia & Ingeniería, 2018). . . . .                 | 80  |
| 3.13. Ensayo de Límite de Contracción (Geotecnia & Ingeniería, 2018). . . . .              | 81  |
| 3.14. Liberación de aire de la muestra (Geotecnia & Ingeniería, 2018). . . . .             | 83  |
| 3.15. Pesado del picnómetro con la muestra (Geotecnia & Ingeniería, 2018). . . . .         | 83  |
| 3.16. Pesado y preparado de la Muestra. . . . .                                            | 84  |
| 3.17. Ensayo de compactación (Geotecnia & Ingeniería, 2018). . . . .                       | 85  |
| 3.18. Enrasado del molde (Geotecnia & Ingeniería, 2018). . . . .                           | 86  |
| 3.19. Grafico del ensayo Próctor Modificado tipo A. . . . .                                | 87  |
| 3.20. Pesado y preparado de la Muestra (Geotecnia & Ingeniería, 2018). . . . .             | 88  |
| 3.21. Medición y calibración de instrumentos de CBR (Geotecnia & Ingeniería, 2018). . . .  | 89  |
| 3.22. Saturación de las muestras de suelo (Geotecnia & Ingeniería, 2018). . . . .          | 90  |
| 3.23. Escurrido de la muestra, para su penetración (Geotecnia & Ingeniería, 2018). . . . . | 91  |
| 3.24. Penetración de la muestra (Geotecnia & Ingeniería, 2018). . . . .                    | 91  |
| 3.25. Extracción de muestras para el secado (Geotecnia & Ingeniería, 2018). . . . .        | 92  |
| 3.26. Control de expansión para los tres especímenes. . . . .                              | 96  |
| 3.27. Curva de valor de CBR (Geotecnia & Ingeniería, 2018). . . . .                        | 96  |
| 4.1. Geología de la Comunidad Campesina de Pucaloma y Yanayacu . . . . .                   | 98  |
| 4.2. Formaciones de Socos. . . . .                                                         | 99  |
| 4.3. Curva granulométrica (Lab. Geotecnia e Ingeniería, 2018). . . . .                     | 101 |
| 4.4. Carta de plasticidad SUCS Muestra N°01 (Elaboración propia, 2018). . . . .            | 101 |
| 4.5. Carta de plasticidad AASHTO Muestra N°01 (Elaboración propia, 2018). . . . .          | 102 |
| 4.6. Curva granulométrica (Lab. Geotecnia e Ingeniería, 2018). . . . .                     | 102 |
| 4.7. Carta de plasticidad SUCS Muestra N°02 (Elaboración propia, 2018). . . . .            | 103 |
| 4.8. Carta de plasticidad AASHTO Muestra N°02 (Elaboración propia, 2018). . . . .          | 103 |
| 4.9. Curva granulométrica (Lab. Geotecnia e Ingeniería, 2018). . . . .                     | 104 |

---

---

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.10. Carta de plasticidad SUCS Muestra N°03 (Elaboración propia, 2018). . . . .                      | 104 |
| 4.11. Carta de plasticidad AASHTO Muestra N°03 (Elaboración propia, 2018). . . . .                    | 105 |
| 4.12. Curva granulométrica (Lab. Geotecnia e Ingeniería, 2018). . . . .                               | 105 |
| 4.13. Carta de plasticidad SUCS Muestra N°04 (Elaboración propia, 2018). . . . .                      | 106 |
| 4.14. Carta de plasticidad AASHTO Muestra N°04 (Elaboración propia, 2018). . . . .                    | 106 |
| 4.15. Carta de plasticidad SUCS (Elaboración propia, 2018). . . . .                                   | 111 |
| 4.16. Carta de plasticidad AASHTO (Elaboración propia, 2018). . . . .                                 | 112 |
| 4.17. Curva de compactación, Muestra N°01 polímero al 0% y 10% (Elaboración propia,<br>2018). . . . . | 113 |
| 4.18. Curva de compactación, Muestra N°01 polímero al 0% y 12% (Elaboración propia,<br>2018). . . . . | 114 |
| 4.19. Curva de compactación, Muestra N°01 polímero al 0% y 14% (Elaboración propia,<br>2018). . . . . | 114 |
| 4.20. Curva de compactación Próctor Modificado (Elaboración propia, 2018). . . . .                    | 115 |
| 4.21. Curva de compactación, Muestra N°02 polímero al 0% y 6% (Elaboración propia, 2018).             | 116 |
| 4.22. Curva de compactación, Muestra N°02 polímero al 0% y 8% (Elaboración propia, 2018).             | 117 |
| 4.23. Curva de compactación, Muestra N°02 polímero al 0% y 10% (Elaboración propia,<br>2018). . . . . | 117 |
| 4.24. Curva de compactación Próctor Modificado (Elaboración propia, 2018). . . . .                    | 118 |
| 4.25. Curva de compactación, Muestra N°03 polímero al 0% y 10% (Elaboración propia,<br>2018). . . . . | 119 |
| 4.26. Curva de compactación, Muestra N°03 polímero al 0% y 12% (Elaboración propia,<br>2018). . . . . | 120 |
| 4.27. Curva de compactación, Muestra N°03 polímero al 0% y 14% (Elaboración propia,<br>2018). . . . . | 120 |
| 4.28. Curva de compactación Próctor Modificado (Elaboración propia, 2018). . . . .                    | 121 |
| 4.29. Curva de compactación, Muestra N°04 polímero al 0% y 8% (Elaboración propia, 2018).             | 122 |

---

|                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.30. Curva de compactación, Muestra N°04 polímero al 0% y 10% (Elaboración propia, 2018).    | 123 |
| 4.31. Curva de compactación, Muestra N°04 polímero al 0% y 12% (Elaboración propia, 2018).    | 124 |
| 4.32. Curva de compactación Próctor Modificado (Elaboración propia, 2018).                    | 125 |
| 4.33. Influencia del polímero en la MDS (Elaboración propia, 2018).                           | 126 |
| 4.34. Influencia del polímero en la MDS (Elaboración propia, 2018).                           | 127 |
| 4.35. Influencia del polímero en la MDS (Elaboración propia, 2018).                           | 127 |
| 4.36. Influencia del polímero en la MDS (Elaboración propia, 2018).                           | 128 |
| 4.37. Influencia del polímero en el CBR (Elaboración propia, 2018).                           | 130 |
| 4.38. Influencia del polímero en el CBR (Elaboración propia, 2018).                           | 131 |
| 4.39. Influencia del polímero en el CBR (Elaboración propia, 2018).                           | 133 |
| 4.40. Influencia del polímero en el CBR (Elaboración propia, 2018).                           | 134 |
| 4.41. Influencia del polímero en el CBR (Elaboración propia, 2018).                           | 136 |
| 4.42. Influencia del polímero en el CBR (Elaboración propia, 2018).                           | 137 |
| 4.43. Influencia del polímero en el CBR (Elaboración propia, 2018).                           | 139 |
| 4.44. Influencia del polímero en el CBR (Elaboración propia, 2018).                           | 140 |
| 4.45. Influencia del polímero en la expansión de la Muestra N° 01 (Elaboración propia, 2018). | 142 |
| 4.46. Influencia del polímero en la expansión de la Muestra N° 02 (Elaboración propia, 2018). | 144 |
| 4.47. Influencia del polímero en la expansión de la Muestra N° 03 (Elaboración propia, 2018). | 146 |
| 4.48. Influencia del polímero en la expansión de la Muestra N° 04 (Elaboración propia, 2018). | 148 |
| 4.49. Influencia del polímero en la expansión de las Muestras                                 | 149 |
| 4.50. Influencia del polímero en el incremento de la MDS de las Muestras                      | 150 |
| 4.51. Influencia del polímero en la contracción de las Muestras                               | 151 |
| 4.52. Comparación de costos de estabilización con polímero y otros métodos de estabilización. | 153 |



---

|                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.1. Granulometría de la Calicata 01 (Muestra N° 01). . . . .                                                      | 167 |
| 7.2. Granulometría de la Calicata 02 (Muestra N° 02). . . . .                                                      | 168 |
| 7.3. Granulometría de la Calicata 03 (Muestra N° 03). . . . .                                                      | 169 |
| 7.4. Granulometría de la Calicata 04 (Muestra N° 04). . . . .                                                      | 170 |
| 8.1. Límite líquido y plástico (Muestra N° 01). . . . .                                                            | 172 |
| 8.2. Límite líquido y plástico (Muestra N° 02). . . . .                                                            | 173 |
| 8.3. Límite líquido y plástico (Muestra N° 03). . . . .                                                            | 174 |
| 8.4. Límite líquido y plástico (Muestra N° 04). . . . .                                                            | 175 |
| 9.1. Límite líquido y plástico (Muestra N° 01 polímero 12%). . . . .                                               | 177 |
| 9.2. Límite líquido y plástico (Muestra N° 02 polímero 8%). . . . .                                                | 178 |
| 9.3. Límite líquido y plástico (Muestra N° 03 polímero 12%). . . . .                                               | 179 |
| 9.4. Límite líquido y plástico (Muestra N° 04 polímero 10%). . . . .                                               | 180 |
| 10.1. Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 01 Natural). . . . .                                             | 182 |
| 10.2. Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 02 Natural). . . . .                                             | 183 |
| 10.3. Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 03 Natural). . . . .                                             | 184 |
| 10.4. Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 04 Natural). . . . .                                             | 185 |
| 10.5. Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 01 polímero 12%). . . . .                                        | 186 |
| 10.6. Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 02 polímero 8%). . . . .                                         | 187 |
| 10.7. Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 03 polímero 12%). . . . .                                        | 188 |
| 10.8. Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 04 polímero 10%). . . . .                                        | 189 |
| 11.1. Límite de contracción suelo natural (Muestra N° 01 y Muestra N° 02). . . . .                                 | 191 |
| 11.2. Límite de contracción suelo natural (Muestra N° 03 y Muestra N° 04). . . . .                                 | 192 |
| 11.3. Límite de contracción suelo - polímero (Muestra N° 01 polímero 12% y Muestra N° 02<br>polímero 8%). . . . .  | 193 |
| 11.4. Límite de contracción suelo - polímero (Muestra N° 03 polímero 12% y Muestra N° 04<br>polímero 10%). . . . . | 194 |

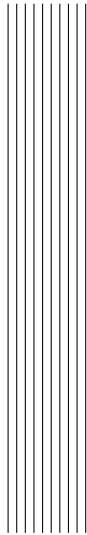
---

---

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 12.1. Ensayo de Gravedad Específica (Muestra N° 01).                                                | 196 |
| 12.2. Ensayo de Gravedad Específica (Muestra N° 02).                                                | 197 |
| 12.3. Ensayo de Gravedad Específica (Muestra N° 03).                                                | 198 |
| 12.4. Ensayo de Gravedad Específica (Muestra N° 04).                                                | 199 |
| 13.1. Ensayo de compactación - próctor modificado suelo natural (Muestra N° 01).                    | 201 |
| 13.2. Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 01 polímero<br>10%). | 202 |
| 13.3. Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 01 polímero<br>12%). | 203 |
| 13.4. Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 01 polímero<br>14%). | 204 |
| 13.5. Ensayo de compactación - próctor modificado suelo natural (Muestra N° 02).                    | 205 |
| 13.6. Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 02 polímero<br>6%).  | 206 |
| 13.7. Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 02 polímero<br>8%).  | 207 |
| 13.8. Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 02 polímero<br>10%). | 208 |
| 13.9. Ensayo de compactación - próctor modificado suelo natural (Muestra N° 03).                    | 209 |
| 13.10 Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 03 polímero<br>10%). | 210 |
| 13.11 Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 03 polímero<br>12%). | 211 |
| 13.12 Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 03 polímero<br>14%). | 212 |
| 13.13 Ensayo de compactación - próctor modificado suelo natural (Muestra N° 04).                    | 213 |
| 13.14 Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 04 polímero<br>8%).  | 214 |

---

|       |                                                                                             |     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 13.15 | Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 03 polímero 10 %). | 215 |
| 13.16 | Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 04 polímero 12 %). | 216 |
| 14.1. | Ensayo de CBR suelo natural (Muestra N° 01).                                                | 218 |
| 14.2. | Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo natural (Muestra N° 01).                 | 219 |
| 14.3. | Ensayo de CBR suelo natural (Muestra N° 02).                                                | 220 |
| 14.4. | Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo natural (Muestra N° 02).                 | 221 |
| 14.5. | Ensayo de CBR suelo natural (Muestra N° 03).                                                | 222 |
| 14.6. | Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo natural (Muestra N° 03).                 | 223 |
| 14.7. | Ensayo de CBR suelo natural (Muestra N° 04).                                                | 224 |
| 14.8. | Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo natural (Muestra N° 04).                 | 225 |
| 15.1. | Ensayo de CBR, suelo - polímero 12% (Muestra N° 01).                                        | 227 |
| 15.2. | Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo - polímero 12% (Muestra N° 01).          | 228 |
| 15.3. | Ensayo de CBR, suelo - polímero 8% (Muestra N° 02).                                         | 229 |
| 15.4. | Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo - polímero 8% (Muestra N° 02).           | 230 |
| 15.5. | Ensayo de CBR, suelo - polímero 12% (Muestra N° 03).                                        | 231 |
| 15.6. | Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo - polímero 12% (Muestra N° 03).          | 232 |
| 15.7. | Ensayo de CBR, suelo - polímero 10% (Muestra N° 04).                                        | 233 |
| 15.8. | Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo - polímero 10% (Muestra N° 04).          | 234 |
| 16.1. | Análisis Granulométrico por Sedimentación.                                                  | 236 |

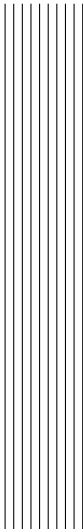


## Lista de cuadros

|                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.1. Grupo mineral de las arcillas. <b>Fuente:</b> [Sposito, 2008] . . . . .                                      | 18  |
| 2.2. Valores de los límites de Atterberg para los minerales de arcilla. <b>Fuente:</b> [Terzaghi, 1944] . . . . . | 34  |
| 2.3. Actividad de las arcillas. <b>Fuente:</b> [Whitman and Lambe, 2002] . . . . .                                | 35  |
| 2.4. Clasificación de suelos expansivos. <b>Fuente:</b> RNE E.050 . . . . .                                       | 36  |
| 2.5. Gravedad específica de los minerales de la arcilla. [Whitman and Lambe, 2002] . . . . .                      | 37  |
| 2.6. Especificación técnica del Copolimero. [Fontseré-Pujol, 2009] . . . . .                                      | 66  |
| 3.1. Resultados del Próctor Modificado en estado natural (elaboración propia). . . . .                            | 70  |
| 3.2. Datos obtenidos del ensayo Próctor Modificado tipo A. . . . .                                                | 87  |
| 3.3. Lecturas de carga para la prensa CBR. . . . .                                                                | 94  |
| 3.4. Datos obtenidos del ensayo CBR. . . . .                                                                      | 95  |
| 3.5. Datos de lectura de expansión de la muestra. . . . .                                                         | 95  |
| 3.6. Datos de lectura de penetración de la muestra. . . . .                                                       | 95  |
| 4.1. Resumen de la distribución granulométrica. . . . .                                                           | 107 |
| 4.2. Resumen de contenido de humedad natural. . . . .                                                             | 107 |
| 4.3. Resumen de contenido de límite líquido. . . . .                                                              | 107 |
| 4.4. Resumen de contenido de límite plástico. . . . .                                                             | 108 |

---

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.5. Resumen de contenido de Índice de Plasticidad. . . . .                           | 108 |
| 4.6. Clasificación según SUCS Y AASHTO. . . . .                                       | 108 |
| 4.7. Resumen del ensayo de Límite de Contracción. . . . .                             | 109 |
| 4.8. Resumen de Gravedad específica de los suelos. . . . .                            | 110 |
| 4.9. Actividad de las arcillas. . . . .                                               | 110 |
| 4.10. Cuadro de Límites de Atterberg. . . . .                                         | 112 |
| 4.11. Curva de compactación para los porcentajes de polímero (Muestra N° 01). . . . . | 115 |
| 4.12. Curva de compactación para los porcentajes de polímero (Muestra N° 02). . . . . | 118 |
| 4.13. Curva de compactación para los porcentajes de polímero (Muestra N° 03). . . . . | 121 |
| 4.14. Curva de compactación para los porcentajes de polímero (Muestra N° 04). . . . . | 125 |
| 4.15. Valores de CBR para diferentes porcentajes de polímero (Muestra N° 01). . . . . | 131 |
| 4.16. Valores de CBR para diferentes porcentajes de polímero (Muestra N° 02). . . . . | 134 |
| 4.17. Valores de CBR para diferentes porcentajes de polímero (Muestra N° 03). . . . . | 137 |
| 4.18. Valores de CBR para diferentes porcentajes de polímero (Muestra N° 03). . . . . | 140 |
| 4.19. Lectura de la expansión de la Muestra n°01 - 0% polímero. . . . .               | 141 |
| 4.20. Lectura de la expansión de la Muestra n° 01 - 12% polímero. . . . .             | 141 |
| 4.21. Lectura de la expansión de la Muestra n°02 - 0% polímero. . . . .               | 143 |
| 4.22. Lectura de la expansión de la Muestra n° 02 - 8% polímero. . . . .              | 143 |
| 4.23. Lectura de la expansión de la Muestra n°03 - 0% polímero. . . . .               | 145 |
| 4.24. Lectura de la expansión de la Muestra n° 03 - 12% polímero. . . . .             | 145 |
| 4.25. Lectura de la expansión de la Muestra n°04 - 0% polímero. . . . .               | 147 |
| 4.26. Lectura de la expansión de la Muestra n° 04 - 10% polímero. . . . .             | 147 |
| 4.27. Resumen de la expansión de las Muestras . . . . .                               | 149 |
| 4.28. Resumen de límite de contracción de las Muestras . . . . .                      | 150 |
| 4.29. Resumen de límite de contracción de las Muestras . . . . .                      | 151 |
| 4.30. Análisis de costos para estabilización de suelos . . . . .                      | 153 |



## Lista de siglas y símbolos

|          |                                            |
|----------|--------------------------------------------|
| L.L      | Límite líquido                             |
| L.P      | Límite plástico                            |
| I.P      | Índice de plasticidad                      |
| L.C      | Límite de contracción                      |
| e        | Deformación unitaria                       |
| t        | Tiempo                                     |
| p        | Presión                                    |
| g        | Gravedad                                   |
| $f$      | Flujo en el sistema                        |
| $W^n$    | Contenido de humedad                       |
| N        | Número de golpes                           |
| W        | Humedad del suelo en el momento del moldeo |
| $V_h$    | Volumen de la pastilla de suelo humedo     |
| $V_s$    | Volumen de la pastilla de suelo seco       |
| $\rho_w$ | densidad del agua                          |
| $M_s$    | Masa del suelo seco                        |
| $G_s$    | Gravedad específica de los sólidos         |

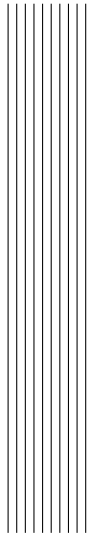
---

|                |                                                     |
|----------------|-----------------------------------------------------|
| $W_s$          | Peso seco del suelo                                 |
| $V_{agua}$     | Volumen del agua en un recipiente calibrado         |
| $\omega$       | Contenido de humedad                                |
| $W_w$          | Peso del agua                                       |
| $M_{cws}$      | Peso del contenedor más el suelo humedo             |
| $M_{cs}$       | Peso del contenedor más el suelo secado en el horno |
| $M_c$          | Peso del contenedor                                 |
| $\gamma_w$     | Peso específico                                     |
| $W_m$          | Peso de la masa                                     |
| $\Delta V$     | Volumen del suelo más parafina                      |
| $V_{parafina}$ | Volumen de la parafina                              |
| H              | Hidrogeno                                           |
| C              | Carbono                                             |
| O              | Oxígeno                                             |
| Hg             | Mercurio                                            |
| PAN            | Poliacrilonitrilo                                   |
| PE             | Polietileno                                         |
| PVC            | Poli-cloruro de vinilo                              |
| POM            | Poli-óxido de metileno                              |
| PET            | Poli-etilen terftalato                              |
| PP             | Polipropileno                                       |
| PS             | Poliestireno                                        |

# Parte I

## INTRODUCCIÓN





# INTRODUCCIÓN

El desarrollo socio-económico de las grandes ciudades demanda nuevas vías de comunicación terrestre y ampliación de las ya existentes, que pueda facilitar sus intercambios comerciales, mejoren su competitividad y promuevan el turismo, entre otros. Estos proyectos de ingeniería civil son promovidos por los gobiernos locales, regionales y central; en la ejecución de estas representan grandes movimientos de tierras si el terreno existente no asegura una buena estabilidad y durabilidad que garantice geotécnicamente el buen comportamiento de la explanada.

El presente estudio se basa en los problemas fundamentales en las obras viales, de la capacidad de soporte de los que conforman la sub rasante, trayendo como consecuencia el constante deterioro de las vías, sobre todo de las trochas carrozables que son obras de articulación vial de mayor incidencia en nuestro país y en nuestra región.

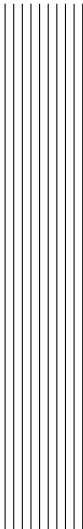
Los suelos arcillosos son un problema desde el punto de vista vial, ya sea para el diseño de una estructura de pavimento o cuando se encuentra como superficie de rodadura en un camino rural. El problema radica en que estos suelos tienen la baja capacidad portante, alta plasticidad, son expansivos y difíciles de compactar por su elevada compresibilidad. En nuestro país tenemos distintos caminos rurales sobre suelos arcillosos, especialmente en la sierra y selva. Estos suelos de baja capacidad portante varían su volumen con los cambios de humedad; por lo que en épocas de lluvias existen muchas dificultades para el tránsito vehicular.

---

Esta investigación analiza el comportamiento del suelo arcilloso, potencialmente expansivo, mezclados con polímeros sintéticos de características co-polimeras, donde no existe algún estudio sobre los aditivos de naturaleza polimérica para estabilizar sub rasante de carreteras en nuestra región.

## Parte II

# CUERPO DE LA OBRA



# Capítulo 1

## Introducción.

### 1.1. Antecedentes bibliográficos.

#### 1.1.1. Antecedentes mundiales

La estabilización de la arcilla en la construcción tiene más de 5.000 años de antigüedad. Las Pirámides de Shensi en el Tibet fueron construidas con mezclas compactadas de arcilla y cal, en la China y la India a lo largo de la historia, se ha utilizado de varias maneras la estabilización de suelos, sin embargo, la estabilización de suelos con polímeros, ha experimentado un importante crecimiento durante los últimos años en España, obteniéndose en general muy buenos resultados. De esta forma España se une al numeroso grupo de países europeos que viene utilizando esta técnica desde hace muchos años.

Los aditivos de naturaleza polimérica tiene ya una larga tradición en los EEUU, donde fueron desarrollados en los años 70 del siglo XX. en un principio, su desarrollo estuvo ligado a la investigación militar con el fin de obtener aditivos para el diseño y ejecución de pistas de aterrizaje de aviones y helicópteros. Posteriormente, su desarrollo pasó al ámbito civil y actualmente existen numerosas compañías que los producen.

Uno de los avances más significativos en este campo del tratamiento de materiales lo encontramos en el empleo de la técnica de estabilización de suelos, que permite el aprovechamiento de los suelos encontrados en los movimientos de tierra a lo largo del trazo. Para conseguirlo, hay que recurrir a aditivos que modifiquen las propiedades de los suelos con dos fines principales: aumentar su capacidad portante y reducir su susceptibilidad al agua. El Perú se conoce numerosas experiencias en la formación de terraplenes a partir de materiales estabilizados in situ con cal o cemento con excelentes resultados. Para valorar su utilidad en la formación de las capas inferiores de la capa de rodadura, es necesario acudir a referencias externas, entre la que destacan ejemplos en estados unidos [[Atienza-Díaz](#), ].

### 1.1.2. Antecedentes en el Perú

En nuestro país existen diversos tramos de carreteras en los cuales se ha implementado la estabilización de los suelos con Polímeros, uno de estos tramos donde se ha empleado esta alternativa es el que se realizó en el año 2003, en la carretera conocida con el nombre de Sub tramo división Pasco-Huánuco, ubicada entre los departamentos de Cerro de Pasco y Huánuco, teniendo esta como principal fin la conectividad de los sitios y municipios entre los cuales están: Huarica, San Rafael y Amdo, entre otros. Los porcentajes de Polímero utilizados en la estabilización del suelo que compone la subrasante de la carretera, estuvieron dentro del rango 3.5 a 5.0%, esto debido a la variación de plasticidad que presentaba el suelo del lugar [[Velandia Sanabria and Parra Pérez, 2016](#)].

Así podemos mencionar también la aplicación de los polímeros en el mantenimiento de pistas de aterrizaje, como es el caso del proyecto del aeropuerto Internacional Lima-Callao, Perú, operado por Lima Airport Partners, donde los problemas principales fueron el desgaste y la emanación de polvo, por parte de los aviones que hacían uso de esta pista, Los trabajos efectuados en el aeropuerto Internacional Jorge Chávez, Lima-Callao, Perú fueron supervisados por el MTC (Ministerio de transportes Y comunicaciones del Perú).

En los últimos años se intensificado el uso de esta alternativa en suelos agresivos de difícil tratamiento, como es el caso de las arcillas.

## 1.2. Descripción de la realidad problemática.

En la actualidad el desarrollo socio-económico de las grandes ciudades demanda nuevas vías de comunicación terrestre y ampliación de las ya existentes, que pueda facilitar sus intercambios comerciales, mejoren su competitividad y promocionen el turismo, entre otras actividades. Estos proyectos de ingeniería civil son promovidos por los gobiernos locales, regionales y central.

Las condiciones meteorológicas, proceso constructivo, y los materiales ocupados en la construcción y otros, son factores que contribuyen a que una carretera de mediano tráfico tenga un buen desempeño a lo largo de su vida útil; por lo cual el diseño, producción y implantación de la mezcla suelo-polímero, involucra una serie de ensayos de laboratorio a fin de asegurar la calidad de la obra a construir.

## 1.3. Formulación del problema.

Las carreteras no pavimentadas principalmente en la región sierra y selva tienden a deteriorarse en forma acelerada, principalmente debido a las constantes lluvias que se presentan. La consistencia de los suelos arcillosos son vulnerables a los factores climáticos y a la acción física de los vehículos, pues el problema radica en que estos suelos poseen baja capacidad portante, alta plasticidad, son expansivos y son difíciles de compactar por su elevada compresibilidad.

### 1.3.1. Problema principal.

Sabemos que en nuestra Región existen diversos caminos rurales sobre suelo arcilloso, así mismo en épocas de lluvia principalmente pierde la capacidad portante iniciándose las fallas tales como ahuellamientos, surcos, baches, etc. Por estas causas afectan la capacidad de soporte que conforma la sub-rasante, trayendo como consecuencia el constante deterioro de las vías.

1. ¿La propuesta de estabilizantes del suelo con Polímeros mejorará las propiedades físico-mecánicas del suelo, en suelos de características arcillosas?

### 1.3.2. Problemas secundarios.

- 1) ¿De qué manera influye el uso de aditivos de características poliméricas para el mejoramiento de las propiedades física-mecánica en la superficie de rodadura en las carreteras no pavimentadas?
- 2) ¿Este método ayudara para mejorar los problemas de características expansivas y de cambio de volumen, en suelos de fundación arcillosa, en obras viales?
- 3) ¿Este método de estabilización para suelos de origen arcilloso, mejorara técnicamente y económicamente, con respecto a otros métodos de estabilización, en la superficie de rodadura de las carreteras no pavimentadas?

## 1.4. Justificación e importancia de la investigación.

### 1.4.1. Justificación de la investigación

Son diversos los aspectos a partir de los cuales es posible justificar el porqué de este estudio. En primer término, esta investigación se justifica por el hecho que su temática es actual, debido a que se estudiara sobre el mejoramiento de las condición del terreno, pretendiendo de resolver problemas de capacidad de soporte, de inestabilidad y asentamiento, que se producen

en terrenos de fundación arcillosos y aumentar la conservación de la superficie de rodadura de las carreteras no pavimentadas.

Se justifica por que las pruebas e investigaciones que se realizarán sobre los *estabilizantes de suelo*, nos permitirá proponer una alternativa en lugar del afirmado, para el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo, en los carreteras vecinales del Perú y de la región de Ayacucho. Por ende la estabilización de suelos es una técnica que puede contribuir notablemente a la reducción del impacto ambiental en las obras de carretera, disminuir las emisiones de ahuellamientos y bajar el costo para el mantenimiento.

#### 1.4.2. Importancia de la investigación

Las investigaciones sobre la estabilidad de suelos ha experimentado un importante crecimiento durante los últimos años, principalmente en los países Europeos, obteniéndose en general muy buenos resultados.

Un buen tratamiento de los suelos de fundación arcillosa mediante una estabilización, permitirá utilizar los suelos del lugar donde se realizará una obra, bajando costos de préstamo y acarreo de material. Con el diseño y técnica de construcción apropiado, el tratamiento con *polímeros* transforma químicamente los suelos arcillosos en materiales utilizables como estructura de pavimento, mejorando características y propiedades del suelo entre estas la resistencia a la compresión y capacidad portante. [Maldonado and Martinez, 2009]

De ahí, la importancia de desarrollar en base a una amplia investigación, una guía básica, para la estabilización de suelos con polímeros en caminos de baja intensidad vehicular en nuestra Región.



## **1.5. Objetivos de la investigación.**

### **1.5.1. Objetivos generales.**

1. Evaluar y mejorar las propiedades físico-mecánicas del suelo en carreteras de mediano tránsito, con estratos de característica arcillosa, mediante la aplicación de polímeros.

### **1.5.2. Objetivos específicos.**

- 1) Contrastar los cambios favorables de las características físico-mecánicas del suelo y adaptar las propiedades del polímero a las condiciones del suelo con fundación arcillosa de nuestra Región.
- 2) Determinar, las características geotécnicas como su grado de expansión y contracción del suelo, en el área de investigación de la carretera vecinal de la Comunidad de Pucaloma y la Comunidad de Yanayacu.
- 3) Evaluar una comparación económica y estimar la optimización con y sin polímero de tipo copolimero en la superficie de rodadura en las carreteras no pavimentadas, en la vía vecinal de Pucaloma-Yanayacu.

## **1.6. Hipótesis de la investigación.**

### **1.6.1. Hipótesis global.**

Al determinar los alcances de estos aditivos de naturaleza polimérica, se lograra modificar las características de un suelo con fundación arcillosa, con el propósito de mejorar su comportamiento físico-mecánico, en cuanto a su resistencia, expansión, contracción y mejorar desde un punto de vista económico.

### **1.6.2. Hipótesis secundarias.**

- 1) Al identificar las características geotécnicas de las arcillas en una determinada área o región, se llega a interpretar las condiciones y la particularidad del suelo arcilloso, aplicar y asignar de manera relativa una mayor o menor proporción del polímero en una muestra y evaluar los cambios que pueda adquirir dicha muestra de suelo.
- 2) Al emplear polímeros sintéticos de tipo copolímero, a las condiciones y características de suelo arcilloso de nuestra región, determinamos los cambios volumétricos y expansivos de este tipo de suelo.
- 3) Es más adecuado el uso del polímero, para mejorar en costos frente a otros métodos de estabilización en terrenos de características arcillosas, para obras viales vecinales como es en el caso de la vía vecinal de Pucaloma-Yanayacu.

## **1.7. Variables e indicadores.**

### **1.7.1. Definición de las variables.**

Para la estructuración de la investigación es necesario delimitar y definir las variables presentes en la misma. Para la presente investigación, la variable independiente se ha denominado el polímero, que se emplea como estabilizante de suelo; el que vendría a definir como variables dependientes el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo de fundación arcillosa en caminos de mediano tránsito, siendo sus indicadores: Límite de contracción, Índice de plasticidad del suelo estabilizado, densidad seca máxima del suelo estabilizado, capacidad de soporte (CBR) del suelo estabilizado.

### 1.7.2. Clasificación de las variables.

#### 1.7.2.1. Variables independientes.

- Tiempo
- polímero
- Grado de saturación
- Cargas aplicadas a las muestras

#### 1.7.2.2. Variables dependientes.

- Mejoramiento de las propiedades de resistencia a la compresión
- Limitar la expansión plástica de la arcilla
- Impermeabilidad de la arcilla

## 1.8. Unidad de análisis.

La unidad de análisis serán las muestras de calicatas obtenidas en la carretera Pucaloma - Yanayacu, perteneciente al distrito de Socos.

## 1.9. Tipo y nivel de investigación.

### 1.9.1. Tipo de investigación.

El tipo de investigación se refiere a la profundidad con la que un investigador ha decidido abordar el objeto de su estudio. De acuerdo a lo expresado, el tipo de investigación se encuentra ligado a los objetivos que se plantean en el trabajo, puesto que estos determinan las finalidades o logros a los que se desean alcanzar, y que a su vez se expresan en los resultados que se obtienen al finalizar el proceso de investigación. En esta investigación titulado *Estabilización*

de suelos arcillosos con polímeros de tipo copolímero, aplicado a obras viales de mediano tránsito en la carretera Pucalloma - Yanayacu, distrito de Socos, está dentro de la modalidad de investigación denominada investigación al que pertenece es CUANTITATIVO. El objeto de esta investigación es adaptar y mejorar las propiedades físico - mecánicas del suelo en carreteras de mediano tránsito, con suelos de fundación arcillosa, mediante la aplicación de polímeros.

### 1.9.2. Nivel de investigación.

El nivel de investigación es: EXPERIMENTAL; por lo que la variable independiente influenciara a las variables dependientes ya que el resultado de este se dará en función de cuanto estén estudiadas.

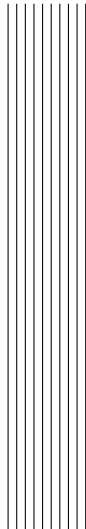
### 1.9.3. Diseño de investigación.

Siguiendo las necesidades de esta investigación, los criterios que se consideran concernientes para dar cumplimiento a los objetivos planteados se muestran a continuación:

1. *Tipo de investigación:* Para este tema, se decidió abordar la presente investigación con los criterios correspondientes al de una investigación cuantitativa, puesto que se desea obtener los objetivos planteados, adaptando el método a las condiciones de la Región y mejorar la estabilidad del suelo de tipo arcilloso.
2. *Número de eventos o variables de estudio:* En esta investigación, se tomó como criterio, la formulación de 2 tipos de variables, una independiente conformada por el tiempo, el agente estabilizante que viene a ser el Polímero, el grado de saturación, cargas aplicadas a la muestra y otra variable dependiente compuesta por: mejoramiento de las propiedades de Resistencia, limitar la expansión plástica de la arcilla, impermeabilidad del material, todo esto a través del Índice de plasticidad del suelo estabilizado, densidad seca máxima del suelo estabilizado, capacidad de soporte (CBR) del suelo estabilizado.

3. *Manipulación de Variables:* Para esta ocasión, en la investigación si existe manipulación de variables, puesto que La investigación tomará como Universo, el suelo que tiene fundación arcillosa, se realizarán los ensayos de laboratorio de las muestras de suelo, por lo tanto este criterio corresponde al de una investigación experimental.
4. *Temporalidad:* Es este criterio cita a dos perspectivas; en la primera, se refiere a la duración del estudio, que la cual es el de una investigación de tipo cuantitativo, puesto que el estudio se realizara en un periodo de tiempo definido y corto; en la segunda perspectiva, se refiere al momento en el que se realiza la investigación y que, en este caso, corresponde al momento actual o contemporánea.
5. *Fuentes de información:* Este criterio se refiere a cuál es el contexto en el que se desarrollara el estudio, y de donde surgirán los datos que darán cuenta de los eventos o variables que son investigados. En este caso se recurrirá a fuentes documentales y los resultados de los ensayos de laboratorio, que aportaran los datos a los que se harán referencia.

Finalmente, el diseño de investigación de este trabajo le corresponderá al de una investigación de tipo cuantitativa, experimental, contemporánea y de fuente documenta como también de resultados de los ensayos.



## Capítulo 2

### Estado del arte.

#### 2.1. Geología.

Para afianzar esta investigación, se tomó como base de información los boletines del Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET), para la zona de Socos y Pucaloma, de donde se extrajeron las muestras.

##### 2.1.1. Geología Regional

###### **Geología Regional Zona de Socos**

El Distrito de Socos se encuentra en la margen derecha de la vía Los Libertadores y dentro del departamento de Ayacucho, por lo que para su descripción geológica regional se ha tomado como base el boletín N° 61 hoja 27-Ñ, confeccionada por el Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET)

En la Carta Geológica de Ayacucho se muestra el afloramiento de rocas sedimentarias, volcánicas y vulcano-sedimentarias con edades correspondientes al Pérmico superior, Triásico superior-Liásico, Paleógeno, Neógeno y Cuaternario. Entre estas unidades existen discordancias considerables que indican estadios de intensa erosión o no deposición.

Las rocas paleógenas-neógenas ocupan una cuenca sedimentaria continental que adquiere su pleno desarrollo probablemente en el Paleógeno, con varias fases parciales de subsidencia y en forma subsecuente. Esta cuenca controla la deposición de las capas rojas de la Formación Socos y las secuencias vulcano-sedimentarias de las Formaciones Huanta y Ayacucho; así mismo, el ascenso de las magmas en el Mio-Plioceno.

Las rocas cuaternarias comprenden depósitos fluvioglaciares, aluviales, coluviales y lagunares. Miembro Inferior: Sobre la formación Socos, en discordancia angular se superpone una secuencia volcánica-clástica compuesta de lavas andesíticas e intercalaciones de rocas sedimentarias y piroclásticas por lavas andesíticas que afloran en Socos y se extienden hacia el Nor-Este del área. Las fajas de lavas son densas, de color oscuro a negro y en superficies intemperizadas, muestran un color rojo intenso y se presentan intrusivos o brechoides. La roca es de granos finos de plagioglasas, escaso olivino (a veces ausente) y minerales oxidados de color rojo englobados en una pasta afaníticas. La roca se clasifica como andesítica basáltica.

Miembro Medio. Se ubica al Sur y Nor-Este de Socos, este miembro está compuesto de tobas líticas que se distinguen por su color rojo, los cuales están constituidos principalmente de fragmentos de cristales de cuarzo y subordinadamente de plagioclasa y clastos pellíticos de andesitas, son porosos poco compactados y localmente contienen capas de areniscas tobáceas. En la parte superior predominan los conglomerados con fragmentos líticos de andesita, riolita y rocas graníticas, cuya matriz puede ser mezclada con la toba, pero enmascarada por otros granos finos de material clásticos. Esta secuencia debido a su poca adherencia y principalmente al lavado pluvial ha dado origen a estructuras piramidales conocidas como pirámides de tierras o pilares de erosión, el grosor de este miembro sería entre 150 - 250 m. Miembro Superior. En los alrededores de Socos, sobre el miembro anterior, descansa una inmensa acumulación clástica de más o menos 150 m. de espesor destacándose grandes bloques angulosos de rocas

volcánicas y plutónicas cuyos intersticios están ocupados por clastos de menor dimensión, teniendo por matriz una arenisca gruesa, cuarzo de color verde y poca compactación.

Este miembro se ha diferenciado en el río Pomarenga y en el sector Nor-Este del área consistente de una secuencia volcánica clástica de 250 m. de espesor que se inicia con un conglomerado compuesto por clastos sub-angulosos de andesita y de una matriz areno-tufácea; encima descansan tobas pomáceas de color rosado dispuestas en capas, algunas con estratificación cruzada y en el corte incrusta una ligera disyunción prismática.

En la parte superior se distinguen bancos de 5 - 8 m. de tobas blancas y rosadas que contienen cuarzo y biotita. En el sector Nor-Oeste, esta unidad de unos 300m. de grosor está constituida por un conglomerado gris rojizo, débilmente compactado, los flancos erosionados son escarpados y deleznales contienen clastos de diverso tamaño de riolita, pórfido y arenisca algo tobácea. En la parte inferior se intercalan clastos de tobas blancas de 1.5 m. de espesor que contienen cuarzo de grano fino y escasa biotita, además fragmentos de pómez y rocas de naturaleza volcánica [Morche, 1995].



Figura 2.1: Geología regional de la zona de Socos

**Fuente:** Elaboración propia



### 2.1.2. Geología local zona de Socos.

En la zona del distrito de Socos, aflora la Formación Socos constituido por conglomerados, areniscas finas y limolitas que en conjunto dan un color rojizo. Sobre esta Formación se encuentra la Formación Huanta que litológicamente en la base está constituido por areniscas y micro conglomerados con clastos redondeados o semiredondeados en una matriz tufo-arcillosa. Hacia arriba siguen areniscas y limolitas abigarradas variando de tonos amarillos o blanquecinos por su contenido tifáceo y por la alteración de la matriz carbonatada. La plasticidad de las arcillas (bentonitas y arcillas rojas), el yeso y los carbonatos han favorecido el plegamiento que afecta a esta unidad.

Hacia la parte alta la secuencia cambia a limolitas y areniscas limolíticas de grano fino y de color gris amarillento intercalados con conglomerados y areniscas de gruesa composición cuarzo-feldespática en la cual se observa abundante ferro magnesiano en una matriz arcillo carbonatada. En esta parte de la Formación Huanta tiene una potencia aproximada de 200 metros e intrayace en evidente discordancia a la Formación de Ayacucho.

## 2.2. Naturaleza de los suelos arcillosos

### 2.2.1. Origen de las arcillas

Las arcillas los podemos encontrar en la naturaleza originadas por la descomposición química de las rocas en forma de sedimentos o depósitos de minerales naturales que fueron transportados y depositados en los lechos de lagos y mares por la acción de arrastre de los ríos. Hay autores que afirman que:

Las arcillas son agregados de partículas microscópicas y sub-microscópicas derivados de la descomposición química que sufren los constituyentes de las rocas. Son suelos plásticos dentro de límites extensos en contenido de humedad y cuando están secos son duros, sin que sea posible despegar polvo de una pasta frotando con los dedos.

Tienen, además, una permeabilidad extremadamente baja [Terzaghi, 1944].

Según [De Pablo Galán, 1964], el origen de las arcillas está en la naturaleza y proceso de alteración de los minerales que componen la roca a una temperatura menor de 450 °C y presiones elevadas, los minerales alterados formaran su estructura y composición química de arcilla. A su vez indica que las rocas en condiciones acidas dan origen a arcillas del tipo caolinitas y en condiciones básicas a montmorillonita o talco.

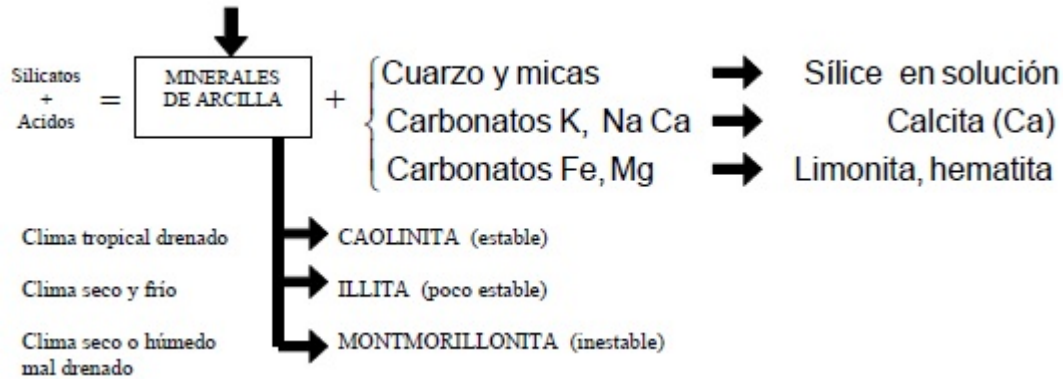


Figura 2.2: Etapas y factores de formación de la arcilla.

### 2.2.2. Estructura de las arcillas

Los átomos que constituyen la estructura de la arcillas son la unión de átomos de aluminosilicato más átomos de oxígeno y/o hidrogeno que están dispuestos en forma de láminas. La estructura atómica fue elaborado por primera vez por *Linus Pauling*.

[Sposito, 2008] define las estructuras de las arcillas de la siguiente manera: las láminas Silicas, resulta de la unión de un átomo de Silicio en el centro y cuatro átomos de oxígeno formando un tetraedro como se muestra en la figura 2.3a, y que se agrupan en unidades hexagonales cuando se agrupan como se muestra en la figura 2.3b. Los tetraedros son pirámides de base triangular, con lados iguales (cuatro triángulos equiláteros). El tetraedro Si-O se encuentra eléctricamente descompensada (el Silicio es un catión tetravalente frente a ocho de los cuatro oxígenos aniones divalentes), por lo cual al unirse con otro catión que puede ser Silicio para neutralizar las cargas y así agruparse en unidades hexagonales que se repiten indefinidamente constituyendo láminas.

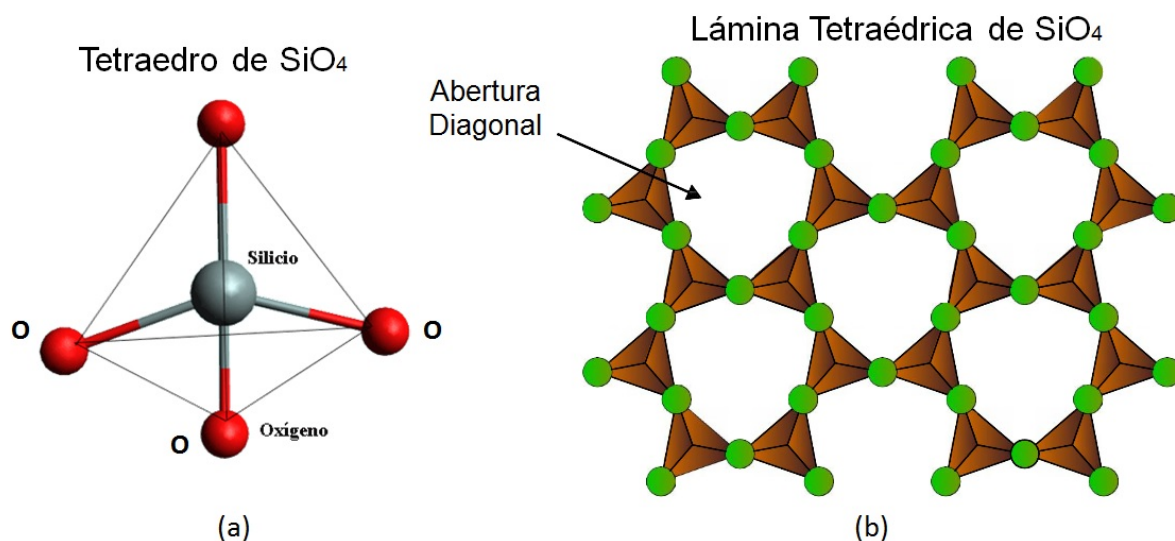


Figura 2.3: Estructura molecular de láminas Silíceas.

Fuente: [Sposito, 2008]

Las láminas Alumínicas, resultan de la unión de un átomo de Aluminio y seis átomos de oxígeno formando un octaedro como se muestra en la figura 2.4a, y se agrupan en redes hexagonales como se muestra en la figura 2.4b. Los octaedros son bipirámides con su plano ecuatorial cuadrada y todas sus caras triangulares equiláteras. Estos octaedros se encuentran también descompensados eléctricamente (dos cargas positivas si el catión es Mg o 3 si es Al, frente a 12 posibles cargas negativas que aportan los seis oxígenos), al unirse se neutralizan y comparten entre sí sus vértices formando láminas de Mg y Al distribuidos en redes hexagonales.

Los filosilicatos pueden estar formados por dos capas: 1:1 una tetraédrica más octaédrica y se denomina bilaminares y se muestra en la figura 2.5a, 2:1 una octaédrica y dos tetraédricas denominados trilaminares se muestra la estructura en la figura 2.5b. Hay algunos filosilicatos que las láminas no son neutras a consecuencia de la sustitución de unos cationes, para lo cual es necesario unas interlaminares para encontrar el equilibrio o neutralidad 2:1:1, los cationes más comunes son alcalinos (Na y K) y alcalinotérreos (Mg y Ca).

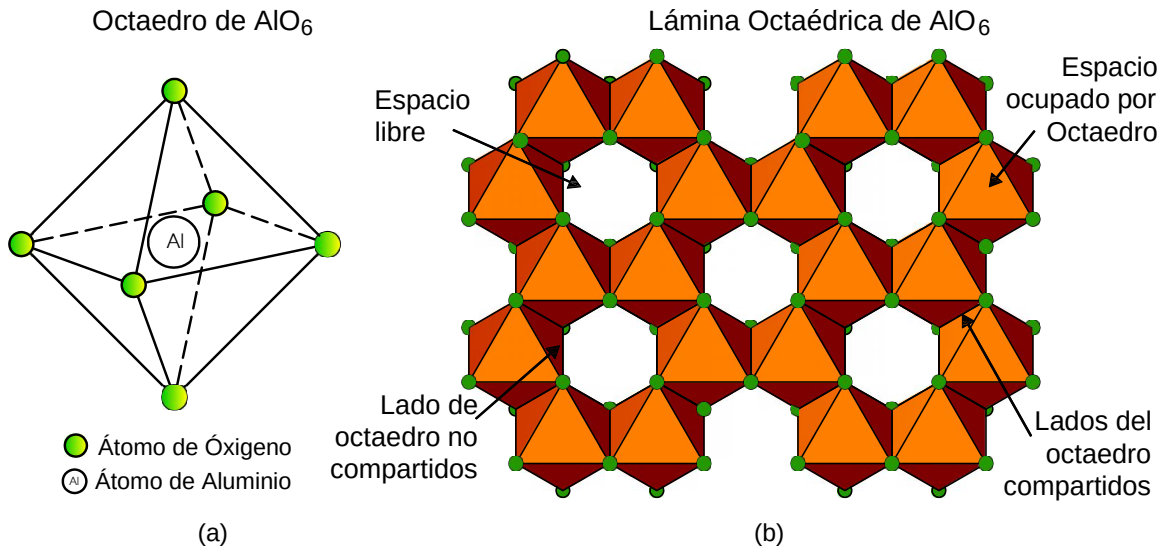
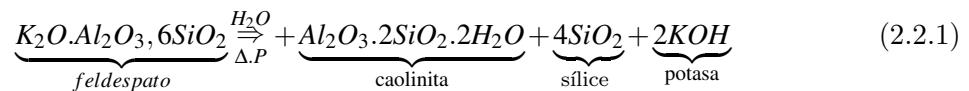


Figura 2.4: Estructura molecular de láminas Aluminicas.

Fuente: [Sposito, 2008]

De lo anterior se deduce que los filosilicatos pueden ser considerados como un empaquetamiento de iones O que engloban a diversos cationes (Si, Al, Mg y H), concepto que pueden ser aplicados a toda la tierra en su conjunto. En resumen, la estructura se origina por un apilamiento de planos paralelos con simetrías hexagonales, alternando los planos de aniones (O,OH) y los cationes (Si, Al y Mg).

Según [De Pablo Galán, 1964]), la Arcilla es una asociación de minerales arcillosos (silicatos complejos hidratados de aluminio), de pequeño tamaño de partícula originada por la alteración hidrotermal de rocas ígneas (granitos, riolitas, dioritas, basaltos) que, bajo condiciones propias de presión, temperatura, acidez, etc., desilicifican a minerales arcillosos sílice libre y alcalies que se lixivian según la conocida reacción:



De las definiciones anteriores se puede concluir que las arcillas son originadas por los intercambios de electrones (gana y pierde para neutralizarse) que sucede dentro de la estructura molecular y por las propiedades moleculares que tienen los elementos que componen una arci-

Cuadro 2.1: Grupo mineral de las arcillas. **Fuente:** [Sposito, 2008]

| Grupo                 | Tipo de capa                           | Tipo de capa<br>(X) | Tipo de formula química                                                                                                    |
|-----------------------|----------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kaolinite             | 1:1                                    | < 0.01              | $[\text{Si}_4]\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ( $n = 0$ or $4$ )                          |
| Illite                | 2:1                                    | 1.2–1.7             | $\text{M}_x[\text{Si}_{6.8}\text{Al}_{1.2}]\text{Al}_3\text{Fe}_{0.25}\text{Mg}_{0.75}\text{O}_{20}(\text{OH})_4$          |
| Vermiculite           | 2:1                                    | 1.2–1.8             | $\text{M}_x[\text{Si}_7\text{Al}]\text{Al}_3\text{Fe}_{0.5}\text{Mg}_{0.5}\text{O}_{20}(\text{OH})_4$                      |
| Smectite <sup>c</sup> | 2:1                                    | 0.4–1.2             | $\text{M}_x[\text{Si}_8]\text{Al}_{3.2}\text{Fe}_{0.2}\text{Mg}_{0.6}\text{O}_{20}(\text{OH})_4$                           |
| Chlorite              | 2:1<br>with<br>hydroxide<br>interlayer | Variable            | $(\text{Al}(\text{OH})_{2.55})_4 [\text{Si}_{6.8}\text{Al}_{1.2}]\text{Al}_{3.4}\text{Mg}_{0.6}\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ |

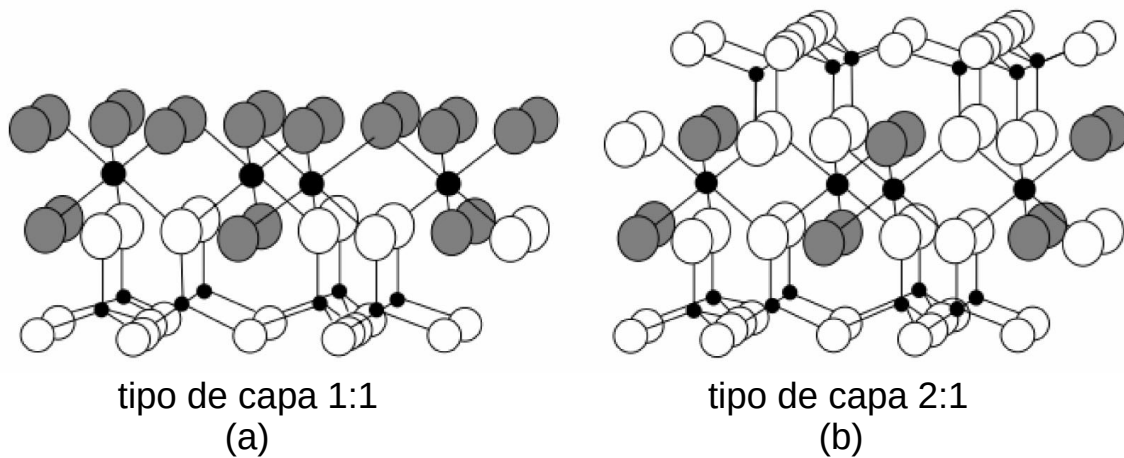


Figura 2.5: Estructura molecular de las Filosilicatos.

**Fuente:** [Sposito, 2008]

lla. Su estructura molecular de las arcillas está compuesto mayor mente por elementos como Aluminio, Silicato, Potasio, Oxígeno e Hidrógeno y de acuerdo al porcentaje que contenga la arcilla de cada elemento será sus propiedades físicas y químicas.

### 2.2.3. Clasificación de las arcillas

Según [De Pablo Galán, 1964], hace referencia que la clasificación de las arcillas desde el punto de vista Geológico son dos, primarias o residuales son arcillas que permanecieron en la misma formación y secundarias que fueron acareadas a lugares diferentes de su origen.

La clasificación de las arcillas según la geología, admite los siguientes:

**Arcillas Caolinitas (Estables).** Su fórmula química es  $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ , son productos de la meteorización del feldespato y otros silicatos de aluminio proveniente de granito y normalmente se encuentra en suelos sedimentadas, se presenta en hojuela hexagonales en bilaminares (1:1), de la superposición indefinida de láminas alumínicas y sílicas, la unión entre partículas es muy fuerte de tal modo que no permite la penetración de moléculas de agua.

**Arcillas Illitas (colapsables).** La fórmula química es  $(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2, (\text{H}_2\text{O})]$ , La illita es un producto de la alteración o meteorización de la moscovita y el feldespato en ambiente de meteorización hídrica y térmica. Es común en sedimentos, suelos, rocas arcillosas sedimentarias, y en roca metamórfica. Se forman por la superposición indefinida de una lámina alumínica entre dos sílicas (2:1), en su constitución interna manifiesta tendencia a formar grumos de materia, que reducen el área expuesta al agua por unidad de volumen por ello su expansividad es menos que la de las montmorillonitas y en general, las arcillas illíticas, se comportan mecánicamente en forma más favorable para el ingeniero.

**Arcillas Montmorillonitas (expansivas).** La estructura es similar al del Illitas, están formadas por una lámina alumínica y dos silícicas (2:1), en este tipo de arcilla la unión entre las retículas es débil, por lo que las moléculas de agua se introduce con facilidad en su estructura, es aquella arcilla susceptible de producir grandes cambios de volumen, en un aumento de humedad del suelo y se contraen al secarse, formando profundas grietas.

La clasificación de las arcillas según [De Pablo Galán, 1964], de los minerales arcillosos se basan en los tres criterios fundamentales que los define:

1. El espesor de la unidad estructural.
2. Su composición química y contenido iónico.
3. Su orden y simetría, que son consecuencias de su origen y de los procesos de metamorfismo posteriores a los que han estado sometido.

Por todo lo mencionado las arcillas tienen comportamiento plástico en estado acuoso y en algunos casos se hinchan. La existencia de carga en las láminas se puede compensarse y neutralizarse, la poca unión entre moléculas y con el aumento de la hidratación puede permitir el intercambio de cationes fácilmente, la arcilla puede adsorber cationes de la fase líquida, intercambiándolos por una cantidad equivalente de otros cationes, a esta propiedad se le conoce como capacidad de intercambio catiónico.

## 2.3. Plasticidad de las arcillas

### 2.3.1. Introducción

El comportamiento de un cuerpo plástico puede considerarse intermedio entre el de un sólido elástico y un líquido viscoso. Todos los cuerpos se llegan a deformar si las fuerzas que sobre ellos se aplican son suficientemente intensas. Cuando un cuerpo está deformado por una acción exterior y ésta cesa, el cuerpo, según sea su naturaleza, puede manifestar dos comportamientos diferentes. Unas veces recuperará su forma primitiva de una manera casi perfecta, y otras la deformación subsistirá sin que el cuerpo manifieste la menor tendencia a recobrar la forma que originariamente tenía. Los primeros son cuerpos elásticos y de los otros se dice que son plásticos o moldeables.

Según Hooke fue el primero que demostró de un modo experimental que para toda clase de acciones exteriores, siempre que las deformaciones producidas no pasen de un cierto límite, existe una proporcionalidad entre la acción deformadora y la deformación producida.

Como se muestra en la figura 2.6, de acuerdo con la ley de Hooke se obtiene primero un segmento rectilíneo OA; al aumentar la carga cesa la proporcionalidad y se obtiene una curva ABC que indica que el cuerpo se va haciendo cada vez más deformable hasta que para una carga OC sobreviene la rotura y la curva termina en el punto C. La ordenada OC' se denomina límite de rotura y la ordenada OA' límite de elasticidad, que puede definirse como el valor de la deformación por encima del cual empiezan a producirse deformaciones permanentes.

[Fernandez Navarro, 1962].

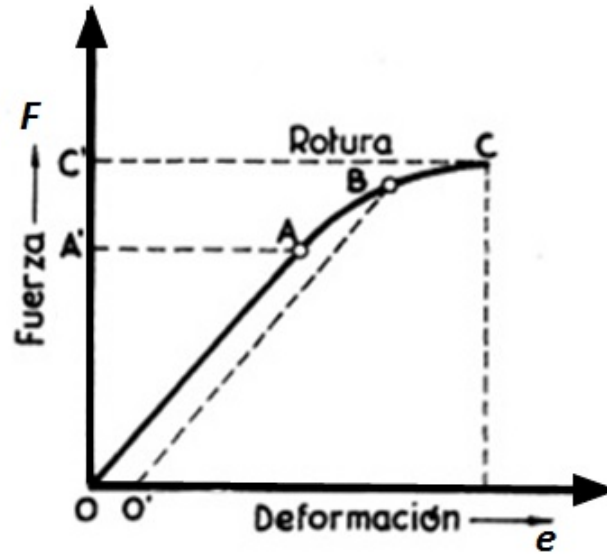


Figura 2.6: Diagrama esfuerzo-deformación.

Fuente: [Fernandez Navarro, 1962]

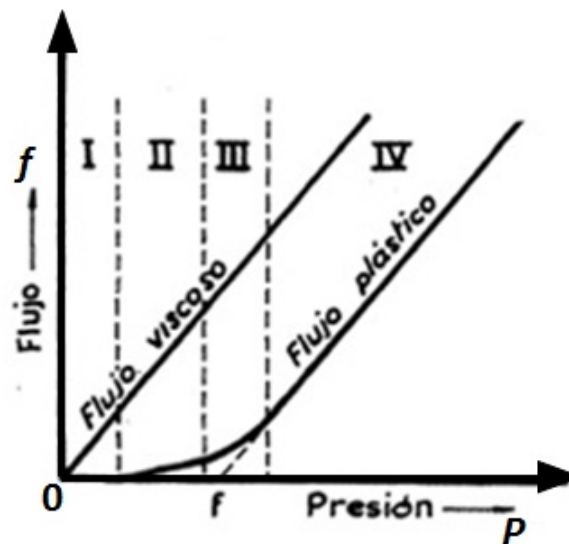


Figura 2.7: Zonas características en un flujo plástico según Scott Blair: I, no hay flujo; II, flujo en bloque; III, zona mixta; IV, flujo lineal.

Fuente: [Fernandez Navarro, 1962]

Un cuerpo plástico, como hemos apuntado al principio, muestra un comportamiento intermedio entre el de un sólido y el de un líquido viscoso. Una de las maneras de poner



de manifiesto su conducta ambigua es someterle a la acción de una presión. Mientras que un líquido en equilibrio comenzaría a fluir inmediatamente y lo haría con una velocidad proporcional a la presión sobre él aplicada, un sólido ideal permanecería indeformable hasta que la presión creciente venciera las fuerzas de enlace entre sus moléculas y sobreviniera la rotura. En cambio, un cuerpo plástico, en condiciones semejantes, queda al principio inmóvil como un sólido, pero, al alcanzar la presión un valor crítico, comienza a comportarse como un líquido y fluye con velocidad proporcional a la presión.

Según *Scott Blair y Bingham* han estudiado el comportamiento a la extrusión de una masa plástica de arcilla y distinguen en él cuatro etapas diferentes que se representan en la figura 2.7.

- En la zona I aún no existe flujo alguno por aplicación de una presión.
- Cuando se rebasa un cierto punto crítico, tiene lugar una deformación en toda la masa de arcilla que empieza a deslizarse gracias a la acción lubricante de una película de agua que procede de someter a una presión creciente la masa arcillosa. Este es un flujo en bloque (zona II).
- Si se continúa elevando la presión, se inicia además un deslizamiento mutuo entre las partículas laminares de la arcilla y se entra en la zona III que se puede denominar de flujo mixto.
- En la región siguiente, IV, se consigue un deslizamiento total entre las partículas de la arcilla y tiene lugar un flujo lineal, comparable al flujo viscoso de un líquido verdadero. Existe una proporcionalidad entre la fuerza aplicada y el efecto de cizalladura resultante que se traduce en el tramo recto de la curva. La prolongación de esta parte recta, correspondiente al flujo lineal, nunca pasa por el origen.

La abscisa  $f$  de su punto de intersección con el eje de las presiones se denomina coeficiente de rigidez estática y es considerado por algunos autores como una medida directa de la plasticidad. [Fernandez Navarro, 1962].

### 2.3.2. Plasticidad

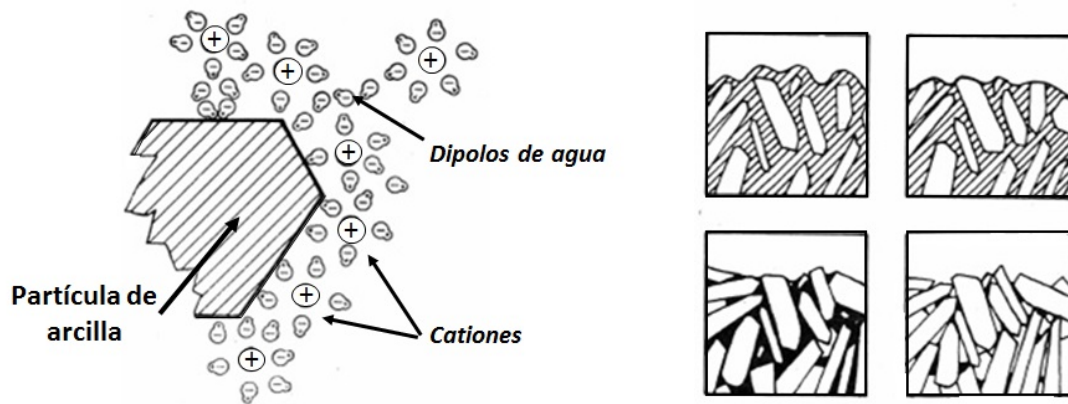
La plasticidad es la capacidad que tienen algunos materiales para modificar su forma por acción de una fuerza exterior, subsistiendo tal deformación después de cesar la causa que la produjo. Cualitativamente podemos, pues, comparar la plasticidad con la maleabilidad de los metales. Una sustancia plástica difiere de un líquido viscoso y de un sólido elástico en que éstos recuperan su forma primitiva cuando cesa la fuerza deformante.

En el aspecto tecnológico, la plasticidad es una de las propiedades más importantes de muchos materiales, hasta el punto de que la utilidad de los mismos viene frecuentemente condicionada a esta cualidad. Prueba de su importancia es que el término plástico ha alcanzado la categoría de ser elegido como título genérico de esa gran familia de materiales que son las macromoléculas de síntesis, cuyas innumerables aplicaciones se deben a su aptitud para ser fácilmente moldeados. [Fernandez Navarro, 1962].

De acuerdo con esto, W. Grimshaw [Grimshaw and Searle, 1971]. clasifican los materiales plásticos en dos amplios grupos:

- 1) Sustancias homogéneas formadas por una sola fase cuyas propiedades plásticas se modifican por alteración de su temperatura o de su presión. Así, el vidrio, la cera, el lacre y otros muchos materiales se vuelven plásticos en el intervalo de temperatura.
- 2) Sustancias heterogéneas formadas por más de una fase que deben su plasticidad a la coexistencia de partículas sólidas y una fase líquida que actúa como lubricante y aglomerante de las primeras. Las propiedades plásticas de estos materiales desaparecen simplemente por secado.

La plasticidad dependerá de la cohesión y la adhesión, de la afinidad entre las partículas de sólido y líquido. Como es sabido, los líquidos de naturaleza polar aumentan la plasticidad de las arcillas, porque ejercen una atracción más intensa sobre sus partículas. Las partículas de arcilla, debido a que presentan enlaces rotos y cargas eléctricas negativas sin neutralizar, cuando se suspenden en agua, se rodean de un manto acuoso en cuyo interior existen iones de diferentes cargas. [Fernandez Navarro, 1962].



(a) Partículas de arcilla rodeadas de dipolos de agua y cationes.

(b) Aspectos de una misma masa de arcilla con diferentes contenidos de humedad.

Figura 2.8: Contenido de humedad en una arcilla.

Fuente: [Fernandez Navarro, 1962]

Las cargas negativas, que muestra la partícula en su periferia, tienden a compensarse por un enjambre de cationes que están difusos por toda la película acuosa, cuyo espesor variará según el número, tamaño, carga y grado de hidratación de dichos cationes, figura 2.8a.

Del espesor de la película húmeda dependerá la separación entre las partículas de arcilla y, en consecuencia, su movilidad. Por eso, cuando el contenido de agua es relativamente elevado, la envoltura acuosa es más gruesa y puede haber flujo viscoso. Por el contrario, si la proporción de agua es baja, las partículas de arcilla se encuentran más próximas y aumenta la cohesión entre ellas como se observa en la figura 2.8a.

La viscosidad de la fase líquida también influye sobre la cohesión entre las partículas. Los líquidos muy móviles, de baja viscosidad, no pueden utilizarse para preparar masas plásticas por ser poco adherentes las películas que forman. El agua, al tener una viscosidad moderada, se puede emplear satisfactoriamente. [Fernandez Navarro, 1962].

### 2.3.3. Causas y modificadores de la plasticidad

Existe una serie de factores que, de un modo u otro, ejercen una marcada influencia en la plasticidad. Estos factores, estudiados por W. Grimshaw [Grimshaw and Searle, 1971]. en su magnífica obra "La química y la física de las arcillas", son:

a) **Influencia del contenido en agua.-** La plasticidad de una arcilla está estrechamente relacionada con la formación de películas de agua (figura 2.8b) alrededor de sus partículas. La máxima plasticidad se consigue, según Norton [[Fernandez Navarro, 1962](#)], cuando la proporción de agua es la justa para llenar la red de estrechos capilares que quedan entre las partículas individuales, formando una membrana tensa que las mantiene unidas. Para contenidos superiores de agua la tensión se relaja y disminuyen las fuerzas de unión. Por el contrario, si la cantidad de agua es muy pequeña, la envoltura que rodea a las partículas se rompe y la plasticidad desaparece.

La cantidad de agua que será preciso añadir a una arcilla para poderla moldear dependerá, pues, de la superficie real de sólido que se tenga y se comprende que, cuanto mayor sea su proporción de finos, así como también la cantidad de materia coloidal, más elevado será el volumen de agua que requiera. Según J. W. Mellor [[Grimshaw and Searle, 1971](#)], ha demostrado que la plasticidad de una arcilla se modifica por efecto de la presión a que se someta y de la deformación que sufra. Por esta razón la cantidad de agua que hay que añadir a una arcilla para que alcance una plasticidad determinada depende del método que se vaya a emplear para moldearla. En general se requerirá mayor proporción de agua cuanto menor sea la presión a que se trabaja.

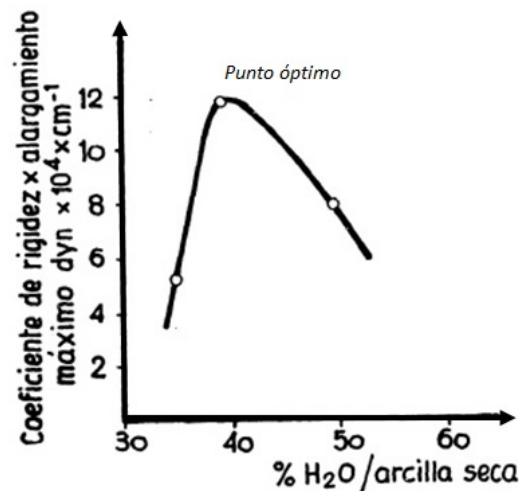


Figura 2.9: Diagrama de moldeabilidad de una pasta de arcilla en función de la proporción de agua.

Fuente: [[Fernandez Navarro, 1962](#)]

b) ***Influencia del tamaño de las partículas.***- Otra de las causas responsables de la plasticidad de las arcillas es la extremada finura de grano de estos minerales. Así, el cuarzo y la caliza, molidos y pasados a través de un tamiz de 200 mallas, cuando se mezclan con una pequeña cantidad de agua, resultan moderadamente plásticos, una arcilla mejora sus propiedades plásticas cuando se aumenta el grado de finura, mientras que la adición de granos gruesos la perjudican.

c) ***Influencia de la forma y estructura de las partículas.***- También uno de los factores que se han considerado como causa de la plasticidad de las arcillas es la forma laminar de sus partículas.

Atterberg estudió una serie de sustancias finamente pulverizadas cuyas partículas eran laminares ( $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{SrCO}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ , etc). Todas ellas podían moldearse fácilmente con un 20 a 25% de agua. Otros minerales con un hábito cristalino más regular, como el cuarzo, feldespato, etcétera, no presentaban ninguna plasticidad, aun cuando se hubieran molido al mismo tamaño.

Le Chatelier [[Fernandez Navarro, 1962](#)], consideró igualmente que la forma laminar de las partículas arcillosas condicionaba su plasticidad.

d) ***Influencia de la agregación de las partículas.***- La experiencia parece demostrar que la distribución de las partículas tiene un marcado efecto en la plasticidad de las arcillas. Se ha encontrado que las arcillas de grano muy fino y las de grano muy grueso son menos plásticas que las que contienen simultáneamente granos finos y gruesos. Según ha sugerido Mellor, esto se debe a que una distribución de granos de diferentes tamaños permite un empaquetamiento más cerrado y más compacto que proporciona una mayor plasticidad.

e) ***Influencia de la superficie específica.***- En las arcillas, debido al pequeño tamaño de sus partículas y a la gran superficie que consecuentemente presentan, aparecen muy exaltados todos los fenómenos de superficie, como son las propiedades coloidales, la atracción intermolecular, etc., y, por tanto, su plasticidad viene también notablemente afectada por el valor de dicha superficie. [[Grimshaw and Searle, 1971](#)].

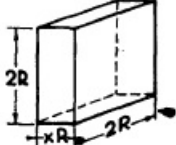
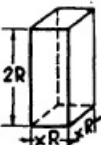
|                                |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                |  |  |  |  |
| Volumen de la partícula        | $\frac{4}{3} \pi R^3$                                                             | $8R^3$                                                                            | $4xR^3$                                                                            | $2x^2R^3$                                                                           |
| Número de partículas por gramo | $\frac{1}{\frac{4}{3} \pi R^3 \rho}$                                              | $\frac{1}{8R^3 \rho}$                                                             | $\frac{1}{4xR^3 \rho}$                                                             | $\frac{1}{2x^2R^3 \rho}$                                                            |
| Superficie de la partícula     | $4\pi R^2$                                                                        | $24R^2$                                                                           | $8R^2 + 8xR^2$                                                                     | $8xR^2 + 2x^2R^2$                                                                   |
| Superficie específica          | $\frac{4\pi R^2}{\frac{4}{3} \pi R^3} = \frac{3}{R\rho}$                          | $\frac{24R^2}{8R^3 \rho} = \frac{3}{R\rho}$                                       | $\frac{8R^2(1+x)}{4xR^3 \rho} = \frac{2(1+x)}{xR\rho}$                             | $\frac{2xR^2(4+x)}{2x^2R^3 \rho} = \frac{4+x}{xR\rho}$                              |

Figura 2.10: Valores de la superficie específica en diferentes cuerpos geométricos.

Fuente: [Grimshaw and Searle, 1971]

Las partículas laminares y aciculares presentan una plasticidad mucho mayor que las que tienen forma esférica o cúbica, En la práctica nunca nos encontraremos con formas cristalinas ideales, pues en su meteorización y arrastre los granos de arcilla se rompen y se deforman.

- f) **Influencia de la orientación de las partículas.**- Las laminillas de arcilla se dispondrán en la masa acostadas unas sobre otras con su plano principal paralelo a la dirección de colocación.

Se comprende que, así dispuestas, la masa resultante ofrezca una mayor resistencia, o más elevado coeficiente de rigidez estática, cuando se aplique una fuerza vertical, o sea perpendicular a la dirección de colocación de las laminillas. En cambio, si la dirección de la fuerza aplicada fuese paralela a la dirección del lecho, el flujo se iniciaría para un valor de la presión mucho más bajo, la plasticidad que normalmente presente una arcilla con sus partículas distribuidas al azar será intermedia entre la de los dos casos anteriores.

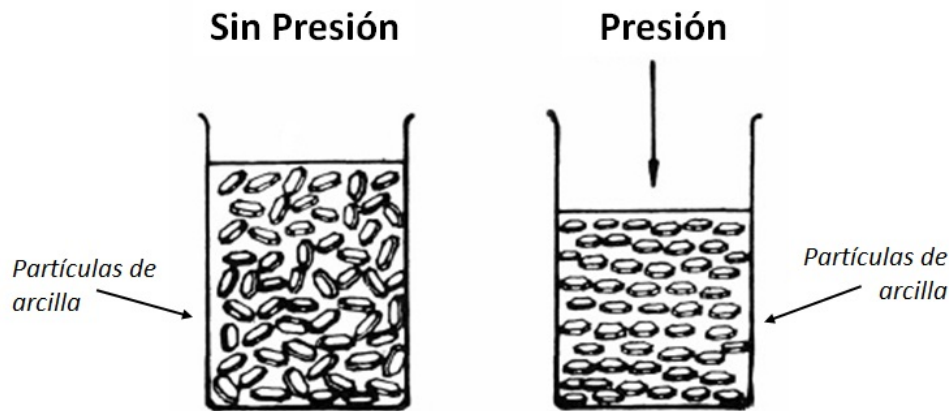


Figura 2.11: El aumento de presión tiene un efecto orientador sobre las partículas de una masa plástica.

Fuente: [Grimshaw and Searle, 1971]

Podemos agregar también que debido a la presión exterior aplicada, tiene lugar una migración de agua hacia el centro de la masa buscando las zonas de menor presión.

Otra manera de alterar la cohesión de una masa de arcilla, es la de modificar su estructura por un golpeo repetido o vibración, lo que equivale a someterla a fuerzas alternativas de tracción y compresión. Este movimiento produce una relajación de las fuerzas de unión entre las partículas al orientarse éstas paralelamente favoreciendo una dirección de deslizamiento. [Grimshaw and Searle, 1971].

g) **Influencia de los electrolitos y floculantes.**- La presencia de sales solubles en una arcilla. Los iones procedentes de estas sales, al disolverse en agua y dissociarse, alterarán el pequeño campo eléctrico creado por las partículas de arcilla cargadas y modificarán las fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión entre las mismas, todo esto, unido a que los electrolitos producen una variación en la tensión superficial de la fase líquida, repercute profundamente en la plasticidad.

La explicación de este fenómeno reside en que los iones  $\text{OH}^-$  procedentes de la disolución alcalina repelen a las partículas de arcilla cargadas negativamente y la repulsión aumenta con la concentración de oxhidrilos, mejorando la fluidez.

- h) ***Influencia de la materia orgánica.***- Los coloides orgánicos, como tanino, lignina, humus, etc., pueden estar presentes en la arcilla y afectar, por tanto, la plasticidad de la misma.

La flora microbiana de los suelos y de las aguas naturales puede desarrollarse también en las arcillas y a sus procesos fermentativos se debe indirectamente un incremento de las propiedades plásticas de las mismas.

En general, cualquier adición que se haga a las arcillas durante ese largo proceso para activar la acción bacteriana, redundará en beneficio de la plasticidad. El ácido tánico mejora la resistencia a la rotura, aunque reduce el margen de plasticidad. Todos los procesos vitales de estos microorganismos, aparte de los residuos orgánicos que acumulan y que actúan como coloides dispersantes, ejercen una acción indirecta alterando la composición y la proporción del aire ocluido en los poros de la masa.

- i) ***Influencia del aire ocluido.***- El aire ocluido en la masa de arcilla, que ya desempeñó un papel importante, primero como agente químico oxidante, durante los largos procesos de meteorización y formación de la arcilla y después, a lo largo de su estancia en el pudridero, favoreciendo y manteniendo el desarrollo de la flora bacteriana vuelve a manifestar su influencia a la hora de trabajar y moldear la arcilla. Su presencia, que entonces fue favorable, ahora resulta perjudicial para la plasticidad, ya que las pequeñas oclusiones gaseosas disminuyen la cohesión de las partículas.

En la práctica también se ha podido comprobar que, eliminando el aire de la arcilla al entrar ésta en una máquina de extrusión, se disminuyen las deformaciones, al mismo tiempo que mejora la resistencia mecánica.



j) **Influencia de la temperatura.**- El tratamiento térmico previo a que se haya podido someter una arcilla es otra causa modificadora de su plasticidad.

Cuando la desecación de la pasta arcillosa se hace en caliente a baja temperatura, la arcilla, al ser humedecida de nuevo, no vuelve a alcanzar la misma plasticidad que inicialmente tenía, sino que ésta es ahora algo menor.

En general la plasticidad se pierde total y definitivamente cuando la arcilla se calienta entre 500° y 750°C, lo que coincide, según ha demostrado Salmang y Rittgen, [Conde, 1968], con la alteración de la estructura reticular de la arcilla.

## 2.4. Características geotécnicas del suelo arcilloso

Consiste en la determinación de las propiedades y composición física, mecánica e hídrica de suelos finos y a su vez permitirá su clasificación.

### 2.4.1. Limite de Atterberg

Son ensayos de laboratorio normalizados que permite determinar la caracterización de los suelos finos y realizar la Clasificación Unificada de Suelos (Unified Soil Classification System, SUCS). Fue desarrollado a principios de 1900 por un científico Sueco Agrónomo *Atterberg*, trabajando en la industria de la cerámica. Más tarde, *K. Terzaghi* (a finales de 1920) y *A. Casagrande* (principios de 1930) fue modificado para fines de mecánica de suelos, en donde propone un método de caracterización en suelos compuestos de grano fino. *Atterberg* clasifico el suelo en estado sólido, semisólido, plástico y líquido, entre la frontera de cada estados del suelo se define los tres principales límites de consistencia son, líquido, plástico y contracción y se les denomina Limites de Atterberg.

Las dos primeras son las más importantes y más utilizadas en la clasificación y caracterización geotécnica. Para determinar los Límites de Atterberg se realiza los ensayos con muestras que pasa la malla # 40 .

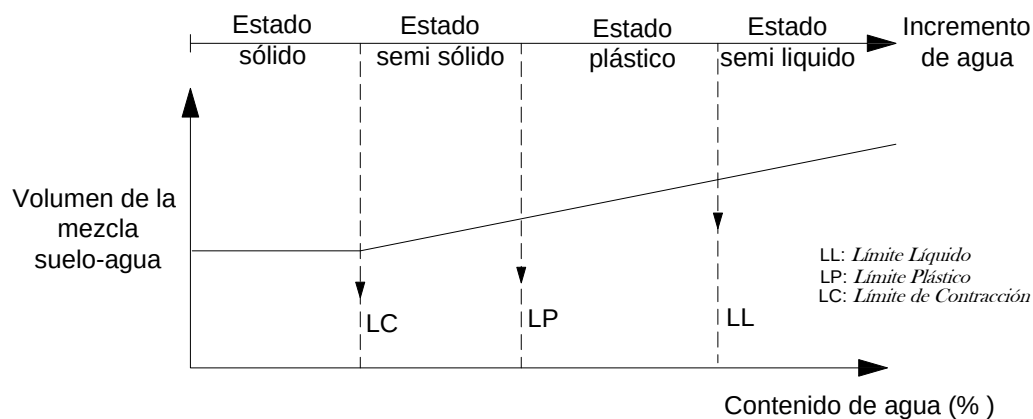


Figura 2.12: Definición gráfica de los límites de Atterberg.

Fuente: [Das and González, 2015]

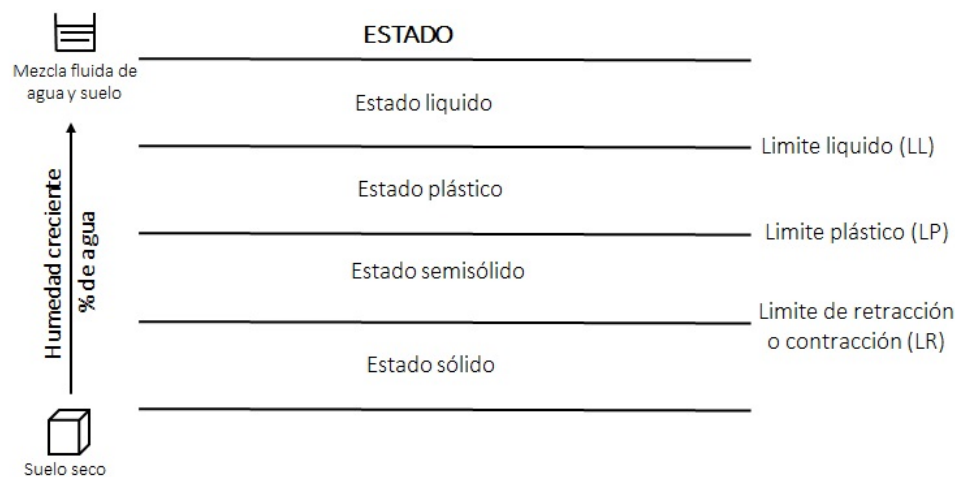


Figura 2.13: Límites de humedad.

Fuente: [Fernandez Navarro, 1962]

**Límite líquido (LL).**- Es el contenido de humedad, en porciento del peso del suelo seco para el cual dos secciones de una pasta de suelo, con las dimensiones indicadas en la figura. 2.15, alcanzan apenas a tocarse sin unirse cuando la taza que las contiene es sometida al impacto de un número fijo de golpes verticales secos. Como la ecuación personal tiene una influencia importante en los resultados del ensayo, se utiliza para ejecutarlo un aparato mecánico normalizado (A. Casagrande, 1932) [Terzaghi, 1944].

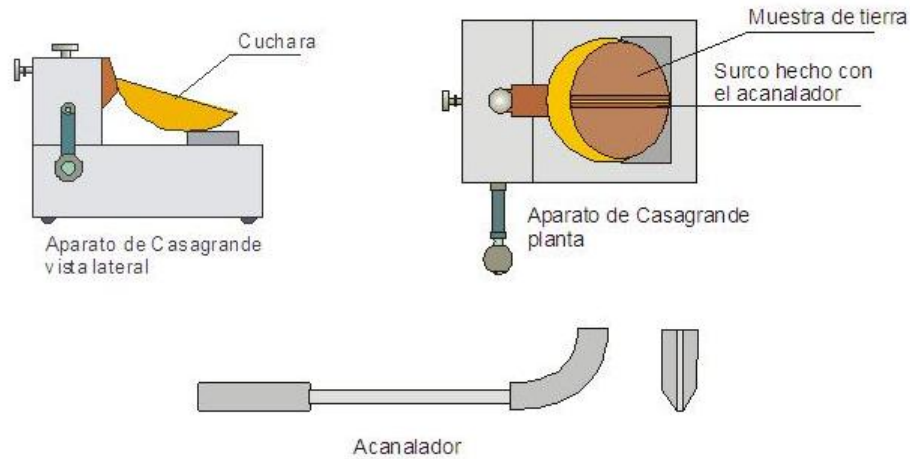


Figura 2.14: Copa Casagrande.

**Fuente:** [Das and González, 2015]

El límite líquido de un suelo se determina utilizando la copa de Casagrande de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 339.129, donde indica que, para determinar el contenido de humedad en la muestra, ésta se cierra en una ranura de 13 mm de longitud mediante 25 golpes. Para determinar el límite líquido de cada espécimen para el contenido de humedad se usa la siguiente ecuación:

$$L.L. = W^n * \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121} \quad (2.4.1)$$

Dónde:

$L.L.$  = Límite líquido.

$N$  = Números de golpes requeridos para cerrar la ranura para el contenido de humedad.

$W^n$  = Contenido de humedad del suelo.

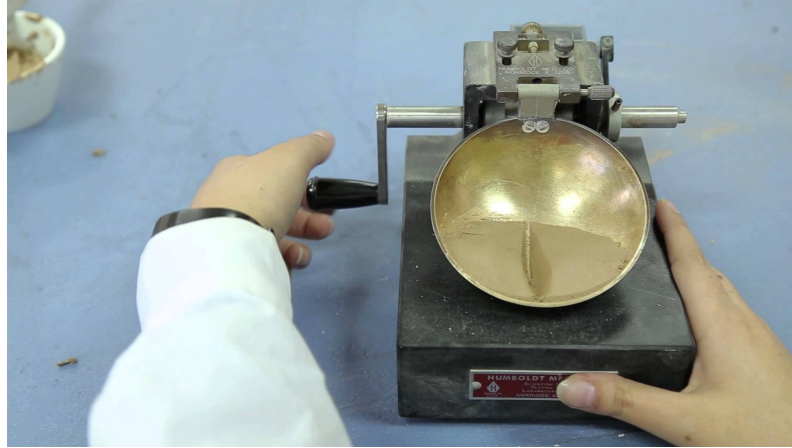


Figura 2.15: Ensayo de límite líquido.

**Fuente:** Elaboración propia

**Límite plástico (LP).**- También denominado límite inferior del estado plástico, es el contenido de humedad para el cual el suelo comienza a fracturarse cuando es amasado en pequeños cilindros, haciendo rodar la masa de suelo entre la mano y una superficie lisa [Terzaghi, 1944]. El límite plástico de un suelo se determina en una superficie lisa de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 339.129, donde indica que, para determinar el contenido de humedad más bajo al formar un rollito de 3.20 mm sin que se desmorone.

**Límite de contracción (LC).**- También denominado límite inferior de cambio de volumen, es el contenido de humedad por debajo del cual una pérdida de humedad por evaporación no trae aparejada una reducción de volumen. Cuando el contenido de humedad pasa por debajo del límite de contracción el suelo cambia de color, tornándose más claro [Terzaghi, 1944]. El límite de contracción se define como contenido mínimo de agua en el que el suelo no causará una disminución, la Norma Técnica Peruana para determinar el Límite de Contracción es la NTP 339.140.

$$L.C. = W - \left( \frac{((V_h - V_s) * \rho_w)}{M_s} \right) * 100 \quad (2.4.2)$$

Dónde:

$L.C.$  = Límite contracción.

$W$  = Humedad del suelo en el momento que fue moldeado, (%).

$V_h$  = Volumen de la pastilla de suelo húmedo, (ml).

$V_s$  = Volumen de la pastilla de suelo seco, (ml).

$\rho_w$  = Densidad del agua, (gr/ml).

$M_s$  = Masa del suelo seco, (gr).

En el Cuadro 2.2 se muestran valores característicos de los límites de Atterberg para algunos minerales de arcilla comúnmente encontrados en los suelos finos.

Cuadro 2.2: Valores de los límites de Atterberg para los minerales de arcilla. **Fuente:** [Terzaghi, 1944]

| Mineral               | Límite Líquido<br>(%) | Límite plástico<br>(%) | Límite de<br>Contracción (%) |
|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------|
| Montmorilonita        | 100-900               | 50-100                 | 8.5-15                       |
| Nontronita            | 37-72                 | 19-27                  |                              |
| Illita                | 60-120                | 35-60                  | 25-29                        |
| Caolinita             | 30-110                | 25-40                  |                              |
| Halosita hidratada    | 50-70                 | 47-60                  |                              |
| Halosita no Hidratada | 35-55                 | 30-45                  |                              |
| Atapulgita            | 160-230               | 100-120                |                              |
| Clorita               | 44-47                 | 36-40                  |                              |
| Alofano               | 200-250               | 130-140                |                              |

**Actividad** Basándose en los límites de Atterberg, Skempton (1953) definió lo que llamó la actividad (A) de los suelos arcillosos ecuación (2.4.3).

$$A = \frac{IP}{\text{fracción de arcilla}(\% < 2\mu m)} \quad (2.4.3)$$

Dónde:

IP; es el índice de plasticidad que refleja el intervalo del estado plástico del suelo y resulta de la diferencia matemática entre el LL y LP.

La fracción de arcilla que pasa en porcentaje del tamaño menores a  $2\mu m$ , se determinara por análisis de granulometría por sedimentación de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 339.128.

Cuadro 2.3: Actividad de las arcillas. **Fuente:** [Whitman and Lambe, 2002]

| Arcilla         | Actividad<br>(Skempton) | Indice Plástico<br>(%) | LL<br>(%)   |
|-----------------|-------------------------|------------------------|-------------|
| Montmorillonita | 0.5 a 7.2               | $\gg 50$               | Tixotrópico |
| Illita          | 0.3 a 0.9               | 33-50                  | 60-90       |
| Caolinita       | 0.1 a 0.4               | 1-40                   | 30-75       |

La actividad de las arcillas (A) es necesaria para clasificar un suelo arcilloso y mediante ella identificar sus propiedades y poder realizar la clasificación de la arcilla y a que grupo pertenece según se indica en la Cuadro 2.3., La mayoría de las arcillas son tixotrópicas<sup>1</sup> en mayor o menor grado de acuerdo a su límite líquido.

La Norma Técnica E-050 Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), exige realizar la evaluación del **Potencial de expansión** del suelo cohesivo en función del porcentaje de partículas menores a  $2\mu m$ , del índice de plasticidad (IP) y de la actividad (A) de la arcilla, la clasificación de suelos expansivos se realiza de tomando como referencia el cuadro 2.4.

<sup>1</sup> *Tixotrópicas*: Es una propiedad específicamente de algunos fluidos, y consiste en que estos pierden su resistencia, o disminuyen su viscosidad al someterlos a una fuerza cortante a medida que pasa el tiempo.

Cuadro 2.4: Clasificación de suelos expansivos. **Fuente:** RNE E.050

| Potencial de expansión | Expansión en consolidómetro, bajo presión vertical de 7 kpa (0.07 kgf/cm <sup>2</sup> ) | Índice de plasticidad | Porcentaje de partículas menores que dos micras |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|
| %                      | %                                                                                       | %                     | %                                               |
| Muy alto               | >30                                                                                     | >32                   | >37                                             |
| Alto                   | 20 - 30                                                                                 | 23 - 45               | 18 - 37                                         |
| Medio                  | 10 - 20                                                                                 | 12 - 34               | 12 - 27                                         |
| Bajo                   | <10                                                                                     | <20                   | <17                                             |

### 2.4.2. Gravedad específica de los sólidos (Gs)

La gravedad específica permite determinar la relación de vacíos de un suelo con respecto al agua y ocasionalmente se puede utilizar en la clasificación. La gravedad específica se define como la relación del peso unitario del material frente al peso unitario del agua.

$$G_s = \frac{W_s}{V_{agua}} \text{ en } (gr/cm^3) \quad (2.4.4)$$

Dónde:

$W_s$  = Peso seco del suelo, (gr).

$V_s = V_{agua}$ , en un recipiente calibrado, (cm<sup>3</sup>).

También se puede utilizar la relación del principio de Arquímedes, consistente en que un cuerpo sumergido dentro de una masa de agua desplaza un volumen de agua igual al del cuerpo sumergido. El volumen de un peso conocido de partículas de suelo puede obtenerse utilizando un recipiente de volumen conocido.

El error proviene de la inadecuada aireación de la mezcla de agua-suelo, ya que el agua y suelo en condiciones normales tiene aire disuelto, si este aire no se remueve bien hará que disminuya el peso específico del material y otro de los errores es la des-calibración de las balanzas [Bowles, 1978].

Cuadro 2.5: Gravedad específica de los minerales de la arcilla. [Whitman and Lambe, 2002]

| Mineral                      | Gravedad específica ( $G_s$ )<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) |
|------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Cuarzo                       | 2.65                                                   |
| Caolinita                    | 2.6                                                    |
| Ilita                        | 2.8                                                    |
| Montmorillonita              | 2.65-2.80                                              |
| Haloisita                    | 2.00-2.55                                              |
| Feldespato de potasio        | 2.57                                                   |
| Feldespato de sodio y calcio | 2.62-2.76                                              |
| Clorita                      | 2.60-2.90                                              |
| Biotita                      | 2.80-3.20                                              |
| Muscovita                    | 2.76-3.10                                              |
| Hornblenda                   | 3.00-3.47                                              |
| Limonita                     | 3.60-4.00                                              |
| Olivino                      | 3.27-3.37                                              |

Para determinar la gravedad específica de los sólidos es de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 339.131, donde describe el procedimiento para determinar la gravedad específica de las partículas sólidas de un material que pasa el tamiz de 4.75 mm (N°4), por medio de un picnómetro. La norma también describe dos procedimientos para determinar la gravedad específica, con muestra seca o húmeda.

### 2.4.3. Contenido de humedad del suelo ( $\omega$ )

La determinación del contenido de humedad en un ensayo rutinario de laboratorio para establecer la cantidad de agua que contiene el suelo en el estado natural en relación a su peso en seco. Tiene la finalidad de determinar el cambio de volumen cohesión y estabilidad mecánica, especialmente en suelos finos.

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \quad (2.4.5)$$

$$\omega = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \cdot 100 \quad (2.4.6)$$



Donde:

$\omega$  = contenido de humedad (%).

$W_{\omega}$  = peso del agua (gr).

$W_s$  = peso de la muestra seca (gr).

$Mcws$  = peso del contenedor más el suelo humedo (gr).

$Mcs$  = peso del contenedor más el suelo secado en el horno (gr).

$M_c$  = peso del contenedor (gr).

Para determinar adecuadamente el contenido de humedad es necesario saber la cantidades mínimas de acuerdo a su granulometría como se muestra en el cuadro 2.2.

En algunos casos no es recomendable el secado del suelo a una temperatura de 110°C, ya que puede alterar sus características como el caso de los suelos orgánicos (turberas), en el mineral que contiene el suelo, algunas arcillas y suelos tropicales, ya que las moléculas de agua están adheridas a la estructura del suelo. Para ello es recomendable secar a una temperatura de 60°C [Bowles, 1978].

Según la Norma Técnica Peruana NTP 339.127, indica el método de ensayo permite determinar en laboratorio el contenido de agua (humedad) con respecto a la masa de los suelos, rocas, y materiales similares, donde la reducción en masa por secado, se debe a la pérdida de agua.

#### 2.4.4. Peso específico ( $\gamma_w$ )

Este procedimiento permite obtener el volumen desplazado de cualquier suelo cohesivo que no se destruya por estar dentro del agua de 1 a 2 min requeridos para hacer el ensayo. No es aplicable para material poroso o a suelos muy seco, a menos que se encuentre en alto estado de densidad ya que una absorción apreciable por capilaridad o por cualquier otra forma puede afectar los resultados [Bowles, 1978].

Para determinar el peso específico se sigue los procedimientos de ensayo de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 339.139 para suelos cohesivos inalterados.

$$\gamma_w = \frac{W_m}{V_m} \text{ en } (gr/cm^3) \quad (2.4.7)$$

Dónde:

$W_m$ : peso de la masa (gr).

$V_m$ : volumen de la masa (cm<sup>3</sup>)

Las muestras inalteradas se pueden impermeabilizar con parafina para evitar que la muestra absorba agua y se puede determinar por la siguiente relación.

$$\gamma_w = \frac{W_m}{\Delta V - V_{parafina}} \text{ en } (gr/cm^3) \quad (2.4.8)$$

Dónde:

$\Delta V$ : Volumen del suelo más parafina (cm<sup>3</sup>).

$V_{parafina}$ : Volumen de la parafina (cm<sup>3</sup>).

### 2.4.5. Clasificación de los suelos de grano fino

Según [Whitlow, 1994], lo que influye más en la clasificación de suelos finos es la forma de las partículas y no el tamaño del suelo, al sufrir un aumento de contenido de humedad, produce un material inestable y disminuyendo la resistencia a esfuerzos cortantes, allí es donde se usa la consistencia plástica del suelo fino para identificar si es arcilla. La relación entre Índice de plasticidad (intervalo del estado plástico resultado de la diferencia de límite líquido con límite plástico) y el límite líquido se utiliza para clasificar los suelos de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 339.134 y mediante la carta de plasticidad como muestra en la figura 2.16. De

acuerdo a la carta de plasticidad figura 2.16, se determina los siguientes grupos.

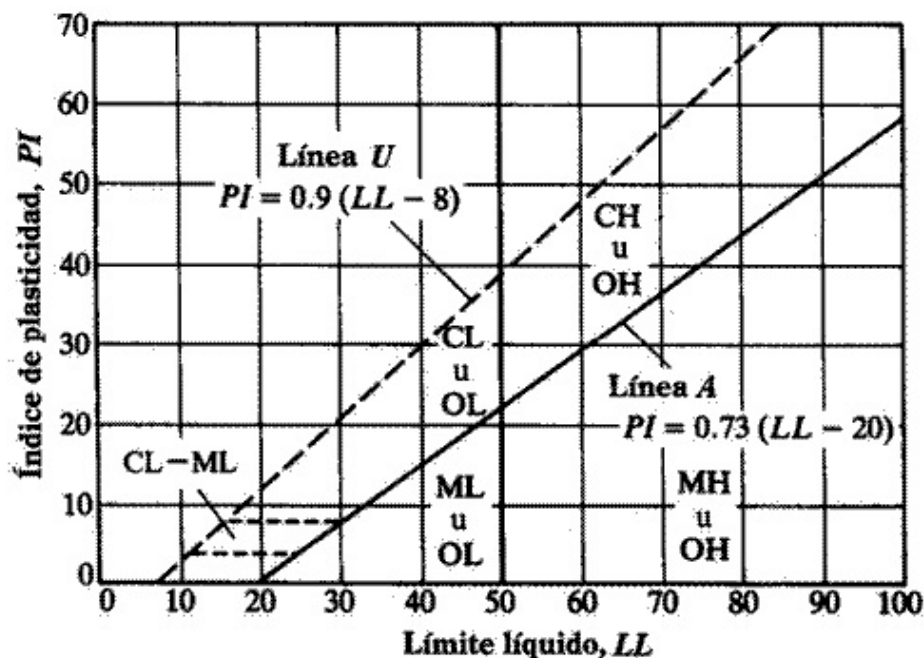


Figura 2.16: Carta de plasticidad.

Fuente: (Norma NTP, 339.134)

Dónde:

LL: límite líquido (%)

IP: índice de plasticidad (%)

Grupos **CL** y **CH**. El grupo **CL** comprende a la zona sobre la línea A de la carta de plasticidad, definida por LL menor 50% e IP mayor 7%.

El grupo **CH** corresponde a la zona arriba de la línea A, definida por LL mayor 50%. Grupos **ML** y **MH**. El grupo **ML** comprende la zona abajo de la línea A, definida por LL menor 50% y la porción sobre la línea A con IP menor 4%. El grupo **MH** corresponde a la zona abajo de la línea A, definida por LL mayor 50%.

En estos grupos quedan comprendidos los limos típicos inorgánicos y limos arcillosos, los tipos comunes de limos inorgánicos y limos arcillosos. Los tipos comunes de limos inorgánicos y polvo de roca, con LL menor 30%, se localizan en el grupo **ML**. Los depósitos eólicos, del tipo loess, con 25% menor LL y menor 35% usualmente, caen también en este grupo.

Los suelos finos que caen sobre la línea A y con 4% menor IP y menor 7% se consideran como casos de frontera, asignándoles el símbolo doble **CL-ML**.

Grupos **OL** y **OH**. Las zonas correspondientes a estos dos grupos son los mismos que la de los grupos **ML** y **MH**, respectivamente, si bien los orgánicos están siempre en lugares próximos a la línea A [Whitlow, 1994].

## 2.5. Bases teóricas de carreteras no pavimentadas

### 2.5.1. Carreteras no pavimentadas

#### 2.5.1.1. Definición

Aquellas que tienen una superficie de rodadura formada por materiales granulares y que han sido sometidas a tratamientos superficiales, con trabajos previos de alineación, con apropiada sección transversal y longitudinal, y adecuado drenaje; o que han sido trabajadas sin ningún tratamiento alguno tales como los caminos de herradura o trochas que son construidos por la necesidad de acceder a lugares remotos.

#### 2.5.1.2. Clasificación

Las carreteras no pavimentadas por las capas superiores y la superficie de rodadura, se pueden clasificar en cuatro categorías [Iturbide, 2002]:

- Carreteras de tierra: constituidas por suelos naturales y grava tratada con zarandeo.
- Carreteras gravosas: constituidas por una capa de revestimiento con material natural granular sin procesar que es seleccionado manualmente o por zarandeo. Su tamaño máximo es de 75mm.
- Carreteras afirmadas: aquellas que funcionan como superficie de rodadura y/o soporte al tráfico vehicular cuya capa de rodadura está constituida por materiales granulares

naturales provenientes de canteras, excedentes de excavaciones o materiales que se ajustan a determinadas especificaciones técnicas en relación con su tamaño, su composición granulométrica, su resistencia y su calidad de finos.

- Carreteras con superficies estabilizadas con materiales de origen industrial.

## 2.5.2. Deterioro en carreteras sin pavimentar

### 2.5.2.1. Descripción del mecanismo de deterioro

El mecanismo de deterioro de un camino sin pavimentar a diferencia de las carreteras pavimentadas consiste en un proceso progresivo más acelerado. Los finos al mezclarse con la humedad aglutinan a las fracciones más gruesas, y bajo la acción abrasiva de los neumáticos (acción del tráfico) llegan a pulverizarse en condiciones secas. Estos finos pulverizados aparecen como material fraccionada en suspensión (polvo) y por la constante pérdida de éstos es que los agregados gruesos están de manera suelta ante la acción del tráfico, y es así que la superficie de rodadura comienza a desgastarse de manera progresiva dando lugar a la formación de las depresiones, baches, y ondulaciones. Estos problemas estructurales y superficiales se presentan debido a la acción del tráfico y a las condiciones climáticas (lluvias, presencia de hielo, efecto del deshielo). El deterioro ocurre en varias etapas, desde un deterioro lento que no se percibe hasta un deterioro crítico donde se evidencia en una descomposición total del camino que involucra una nueva conformación o rehabilitación de la vía.

### 2.5.2.2. Defectos comunes en vías sin pavimentar

Los defectos más comunes en vías sin pavimentar fueron tratados a profundidad por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, quienes publicaron un estudio llamado *Unsurfaced Road Maintenance* (Special Report 87-15) en 1987, actualizado en el reporte del 92-96. Este estudio se basó en la evaluación de la magnitud y gravedad de los defectos donde se identificó seis situaciones o problemas tipificados de la siguiente forma [[Coronado, 2000](#)]:

- a) ***Sección transversal impropia.***- Al ocurrir esto la carretera estará propensa a sufrir

deterioro por problemas de circulación y de drenaje, por lo que se debe presentar una pendiente transversal suficiente para que las aguas superficiales sean evacuadas de manera rápida fuera de la plataforma.



Figura 2.17: Sección transversal dañada.

Fuente: [Coronado, 2000]

- b) ***Drenaje inadecuado.***- Se caracteriza por la acumulación de agua superficial en la plataforma, no necesariamente por el mal drenaje superficial o la inexistencia de elementos de drenaje profundo, sino por falta de mantenimiento en las obras de arte.



Figura 2.18: Obras de arte sin mantenimiento.

Fuente: [Coronado, 2000]

- c) **Ondulaciones.**- Se distinguen por las deformaciones que ocurren en la superficie de rodadura, en intervalos regulares y perpendiculares al tráfico. Su origen se debe a una serie de factores tales como: continuo tráfico de vehículos, pérdida de finos, deficiencias en la capacidad de soporte, pendiente inadecuada y capas granulares de mala calidad.



Figura 2.19: Ondulaciones Transversales.

Fuente: [Coronado, 2000]



Figura 2.20: Ondulaciones en carreteras.

Fuente: Elaboración propia.



- d) **Baches.**- Se genera debido a los siguientes factores: Inexistencia de capas de revestimiento, deficiencias en la composición de la mezcla, ausencia de partículas aglutinantes en la composición de la carpeta de rodado, plataforma mal drenada y sin inclinación transversal.



Figura 2.21: Presencia de hoyos (baches) en la plataforma.

- e) **Surcos de rueda o ahuellamientos.**- Son depresiones que ocurren longitudinalmente al eje del camino. Se originan por la deformación permanente de la base o revestimiento y/o cuando tienen baja capacidad de soporte.

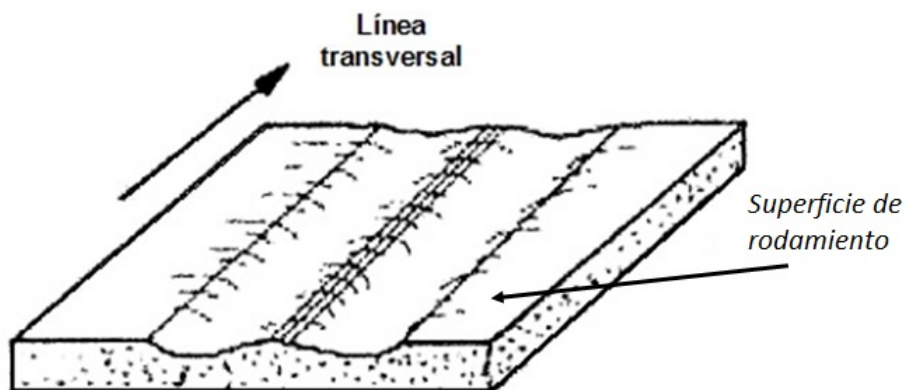


Figura 2.22: Ahuellamiento.

Fuente: [Coronado, 2000]



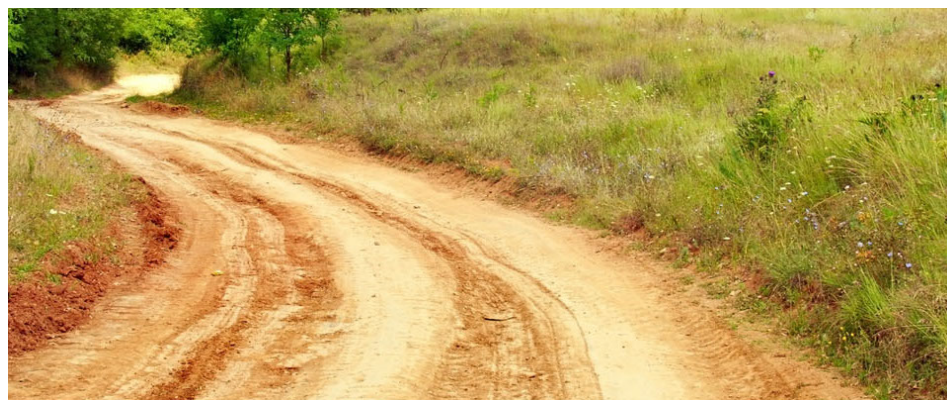


Figura 2.23: Marcas de ahuellamiento en la plataforma.

**Fuente:** Elaboración propia.

- f) ***Segregación de agregados.***- Se genera por el constante paso de vehículos sobre la superficie de circulación. Como resultado los agregados gruesos se depositan junto a los surcos de las ruedas y en su mayoría en los bordes de la plataforma. La causa principal es la falta de aglutinantes en la composición de las mezclas en los materiales.



Figura 2.24: Segregación de agregados.

**Fuente:** [Coronado, 2000]



Figura 2.25: Segregación de agregados en la plataforma.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 2.5.3. Conservación vial

#### 2.5.3.1. Definición

Conjunto de operaciones necesarias para la preservación y mantenimiento de una carretera y de cada uno de sus elementos componentes y complementarios en las buenas condiciones para el tráfico compatibles con las características geométricas, capa de rodadura que tuvo cuando fue construida, o al estado último a que ha llegado después de las posibles mejoras que haya recibido a lo largo del tiempo.

#### 2.5.3.2. Enfoque actual

Se trata de un cambio en la concepción tradicional de trabajo de actuar para reparar lo dañado, adoptándose una política de carácter preventivo para la conservación vial. Esto garantiza que los caminos nacionales y vecinales tengan los niveles necesarios para una adecuada circulación vial en todas las épocas del año.

### 2.5.3.3. Importancia en la conservación vial

Es importante mantener los caminos porque permite:

- Garantizar un confort adecuado y seguridad al usuario.
- Ahorro en los costos de operación de vehículos.
- Disminuye el tiempo perdido en el viaje.
- Mantiene la inversión en las etapas de construcción, reconstrucción o rehabilitación.



Figura 2.26: Conservacion vial.

**Fuente:** [Coronado, 2000]

### 2.5.3.4. Ciclo de vida de un camino

Los deterioros de un camino, como ya se ha mencionado, se deben en principio al efecto del agua y del tráfico. Estos influyen en el progreso de desgaste y en la transitabilidad. Por eso el mantenimiento debe hacerse sostenidamente en el tiempo de manera preventiva, para así poder extender el tiempo de vida útil y reducir las inversiones en mantenimientos periódicos y no llegar a la reconstrucción. El ciclo de deterioro de un camino consta de cuatro fases [Coronado, 2000]:

- \* **Fase A: Construcción.** En esta fase el camino se encuentra en excelentes condiciones para la satisfacción de los conductores (figura 2.27).
- \* **Fase B: Deterioro lento y poco visible.** El camino presenta desgaste después de un tiempo, donde se evidencia de manera significativa el deterioro de la superficie de rodadura. Durante esta fase el camino se encuentra en buen estado (figura 2.27).
- \* **Fase C: Deterioro acelerado.** Aquí la carretera presenta mayor desgaste en la superficie de rodadura y en los demás elementos de la carretera. Se evidencia el deterioro acelerado y cada vez resiste menos al tránsito vehicular. Los daños comienzan a hacerse puntuales y en el tiempo se van extendiendo hasta afectar al camino. Tiene corta duración y es el comienzo de la aceleración del deterioro superficial (figura 2.27).
- \* **Fase D: Descomposición Total** En esta fase los vehículos elevan sus costos de operación y tienen dificultades para circular. La capacidad del camino se ve reducida afectando así a los vehículos en los neumáticos, ejes, amortiguadores y el chasis (figura 2.27).

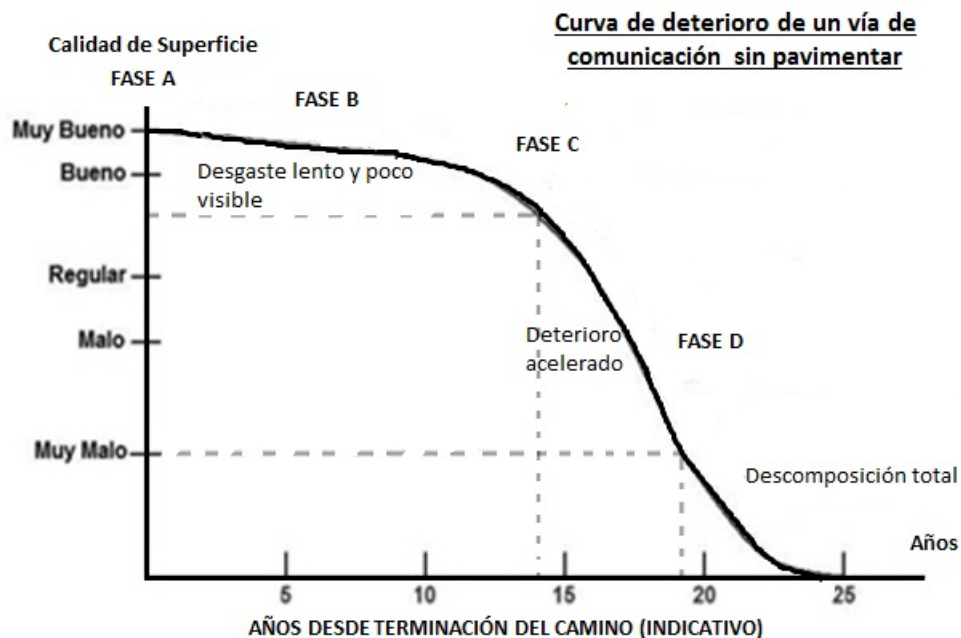


Figura 2.27: Condición de la vía sin mantenimiento.

Fuente: [Coronado, 2000]

## 2.6. Tipos de estabilización de suelos

### 2.6.1. Estabilización física

Este se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Has varios métodos como lo son:

#### 2.6.1.1. Mezclas de suelos

Este tipo de estabilización es de amplio uso, pero por si solo no logra producir los efectos deseados, requiriéndose siempre de por lo menos la compactación como complemento.

Por ejemplo, los suelos de grano grueso como las grava-arenas tiene una alta fricción interna lo que lo hacen soportar grandes esfuerzos, pero esta cualidad no hace que sea estable como para ser firme de una carretera ya que al no tener cohesión sus partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos se pueden separar e incluso salirse del camino. Las arcillas, por lo contrario, tienen una gran cohesión y muy poca fricción lo que provoca que pierda estabilidad cuando exista mucha humedad. La mezcla adecuada de estos dos tipos de suelo pueda dar como resultado un material estable en el que se pueda aprovechar la gran fricción interna de uno y la cohesión del otro para que las partículas se mantengan unidas.

#### 2.6.1.2. Vibroflotación

Corresponden a técnicas de mejoramiento de terrenos mediante vibración profunda. Estas técnicas existen desde hace aproximadamente 70 años y consisten en mejorar las características resistentes, deformaciones o de impermeabilidad de los suelos, corresponden a métodos de compactación en profundidad, aplicables a suelos granulares. [Ortega, 2008]

#### 2.6.1.3. Consolidación previa

La consolidación de un suelo es un proceso lento, puede durar meses y hasta años. Es un proceso asintótico, es decir, que al comienzo es más veloz, y se va haciendo cada vez más



lento, hasta que el suelo llega a una nueva situación de equilibrio en la que ya no se mueve. El no tomar en cuenta este posible movimiento del suelo al proyectar una estructura sobre él puede llevar a consecuencias catastróficas tales como la inclinación, fisuración e incluso el colapso de la misma. En muchos casos es necesario pre-consolidar el suelo antes de proceder a la construcción de una obra importante, como puede ser, por ejemplo, un edificio o una carretera. La pre-consolidación se hace el terreno con un peso semejante o mayor que el que deberá soportar una vez construida la obra, para esto se deposita en la zona interesada una cantidad de tierra con el peso equivalente de la obra.

### 2.6.2. Estabilización química

Se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso de la estabilización.

#### 2.6.2.1. Estabilización con cal

La cal hidratada es el agente estabilizador que se ha usado más intensamente a través de la historia, pero solo recientemente se han hecho estudios científicos relacionados a su empleo como estabilizador de suelos y se han cuantificado sus magníficos resultandos.

Cuando tenemos arcillas muy plásticas podemos disminuir dicha plasticidad y consecuentemente los cambios volumétricos de la misma, asociados a la variación en los contenidos de humedad con el solo hecho de agregarle una pequeña proporción de cal.

Este es un método económico para disminuir la plasticidad de los suelos y darle un aumento en la resistencia. Los porcentajes por agregar varían del 2 al 6% con respecto al suelo seco del material para estabilizar, con estos porcentajes se consigue estabilizar la actividad de las arcillas obteniéndose un descenso en el índice plástico y un aumento en las resistencias.

[Maldonado and Martinez, 2009]

#### 2.6.2.2. Estabilización con cemento

El cemento mezclado con el suelo mejora las propiedades de este desde el punto de vista mecánico. Siendo los suelos por lo general un conjunto de partículas inertes granulares con otras activas de diversos grados de plasticidad, la acción que en ellos produce el cemento es doble. Por su parte actúa como conglomerante de las gravas, arenas y limos, desempeñando el mismo papel que en el hormigón. Por otra parte, el hidrato de calcio, que se forma al contacto del cemento con el agua, libera iones de calcio que por su gran afinidad con el agua, roban algunas de las moléculas de esta interpuesta entre cada dos laminillas de arcilla. El resultado de este proceso es la disminución de la porosidad y de la plasticidad así como un aumento en la resistencia y en la durabilidad. Este tipo de estabilización es de uso cada vez más frecuente y consiste comúnmente en agregar cemento Portland en proporción de un 7% a un 16% por volumen de mezcla. El éxito de la estabilización con cemento depende de tres factores:

- Contenido apropiado de cemento.
- Contenido apropiado de humedad.
- Adecuada compactación.

Por estos las mezclas deben ser sometidas a diversos ensayos como son el de compactación, durabilidad y compresión que aparte de su objetivo específico servirán para dosificar el cemento que se empleará en la mezcla. [Tes, 2012]

#### 2.6.2.3. Estabilización con cloruro de sodio

El principal uso de la sal es como el de controlar el polvo en bases y superficies de rodamiento para transito ligero. También se utiliza en zonas muy secas para evitar la rápida evaporación del agua de compactación. La sal común es capaz de absorber la humedad del aire y de los materiales que lo rodean, de ahí que sea un efectivo matapolvo al mantener la capa con un alto contenido de humedad.

#### 2.6.2.4. Estabilización con cloruro de calcio

Este producto trabaja de forma similar a la sal común, su costo es mayor pero se prefiere debido al efecto oxidante del cloruro de sodio. En todo caso, el cloruro de calcio ayuda al proceso de compactación de la superficie y contribuye con la resistencia del suelo previene el desmoronamiento de la superficie y reduce el polvo. Se suele utilizar de dos formas:

- En granos regulares o Tipo I
- En hojuelas o pelotilla o de Tipo II

#### 2.6.3. Estabilización o mejoramiento con productos asfálticos.

El material asfáltico que se emplea para mejorar un suelo puede ser el cemento asfáltico o bien las emulsiones asfálticas, el primero es el residuo último de las destilaciones del petróleo. En las estabilizaciones, las emulsiones asfálticas son las más usadas ya que este tipo de productos si pueden emplearse con pétreos húmedos y no se necesitan altas temperaturas para hacerlo maniobrables. Este tipo de aglutinantes puede usarse casi con cualquier tipo de material aunque por economía se recomienda que se emplee en suelo de textura gruesa o en materiales triturados que no presenten un alto índice de plasticidad, puede usarse también con las arcillas pero solo lo beneficia en la impermeabilidad, resultando un método muy costoso, además con otros productos se logra obtener mayor eficiencia y menor costo para los suelos plásticos.

#### 2.6.4. Estabilización mecánica.

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

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



## 2.7. El polímero como agente estabilizador

El uso de estos materiales en la estabilización de suelos ha tenido por objeto principal, formar una estructura impermeable al agua; ciertas resinas sintéticas tales como las del sistema anilina y furfural <sup>2</sup>, de naturaleza orgánica aumentan la resistencia mecánica del suelo mejorando su cohesión. En algunos casos, la resistencia al esfuerzo cortante se reduce en tanto que la compactación se mejora en forma notable; es así como a estos materiales se les conoce más como “agentes que mejoran la compactación” que como estabilizantes. Un gran número de productos comerciales caen dentro de esta categoría y su efectividad es muy variable, dependiendo del tipo de suelo y los elementos constituyentes del aditivo [Berry and Reid, 1993].

### 2.7.1. Polímeros

Los Materiales poliméricos están basados en grandes moléculas con enlaces covalentes y formados por la unión de muchas unidades simples (monómero). Los monómeros son las unidades básicas para la formación de materiales plásticos, y según la forma en que se unan pueden dar estructuras lineales o no lineales. Así, esencialmente, un polímero está formado por la unión repetitiva, mediante enlaces covalente, de unidades pequeñas de agrupaciones atómicas denominadas unidades monoméricas o unidades de monómero, formando largas y flexibles cadenas cuyo esqueleto es una hilera de átomos de C, por lo común de varios millares de átomos de longitud. La gran utilidad de los polímeros actuales se debe a que se puede sintetizar el polímero que cumpla una serie de propiedades que se necesiten como, dureza, plasticidad, densidad, etc. [Beltrán et al., 2011] .

---

<sup>2</sup>*furfural*: El furfural, compuesto químico industrial derivado de cultivos agrícolas como el maíz o la avena (entre otros) obtenido industrialmente por deshidratación de azúcares C5 con ácidos minerales líquidos.

### 2.7.2. Características de los Polimeros

- a) **Grado de polimerización**, según las condiciones de síntesis se pueden obtener longitudes de las cadenas moleculares de diferente tamaño y por tanto con propiedades ligeramente diferentes. Todas las moléculas, tanto las pequeñas como las poliméricas, interactúan entre sí promoviendo la atracción electrostática, Sólo intervienen fuerzas de Van der Waals <sup>3</sup>. Algunas moléculas se atraen más que otras y las polares lo hacen más que las no polares. Esta es otra razón por la cual los polímeros pueden ser muy resistentes como materiales. El polietileno, por ejemplo, es muy apolar.

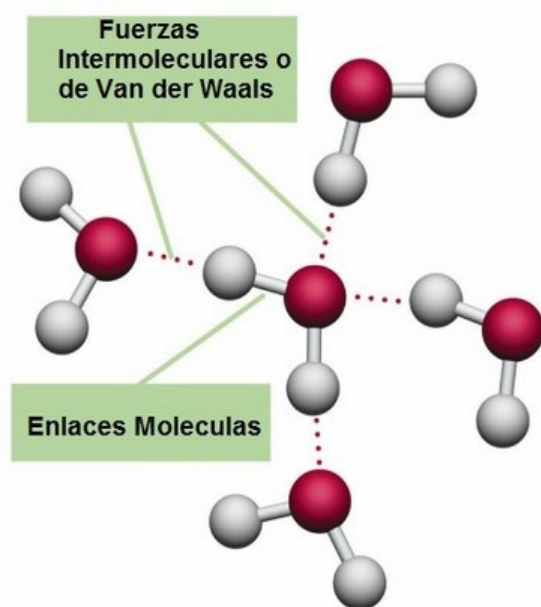


Figura 2.28: Enlace molecular del polímero.

Fuente: [Beltrán et al., 2011]

- b) **Entramado “branching”**, consiste en crear uniones entre diferentes cadenas del mismo polímero para aumentar su dureza y punto de fusión. Las cadenas se encuentran tan enrolladas entre sí, que es difícil desenrollarlas. Esto es lo que hace tan fuertes a muchos polímeros en materiales como plásticos, pinturas, elastómeros y materiales compuestos.

<sup>3</sup> *Van der Waals*: Las fuerzas de Van der Waals son fuerzas de estabilización molecular; forman un enlace químico no covalente en el que participan dos tipos de fuerzas o interacciones, las fuerzas de dispersión (que son fuerzas de atracción) y las fuerzas de repulsión entre las capas electrónicas de 2 átomos contiguos.

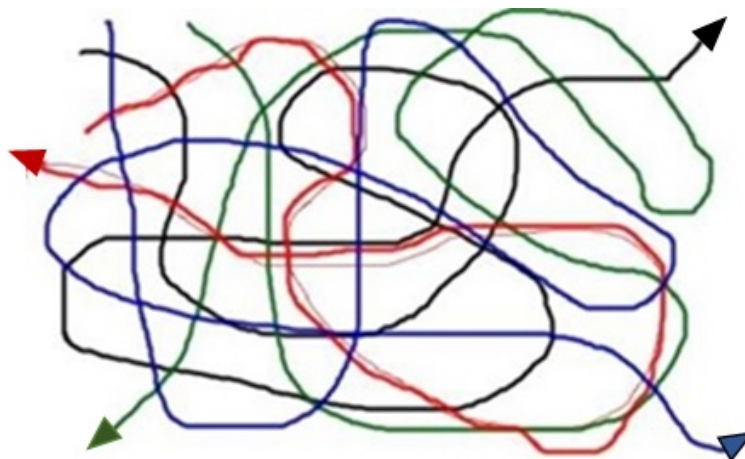


Figura 2.29: Maraña de macromoléculas.

Fuente: [Seymour and Carraher, 1995]

- c) **Uniones puente “cross-linking”**, un ejemplo clásico en la vulcanización del caucho usando azufre. El caucho natural es el cis-poliisopreno (que es un polímero insaturado) y cuando se añade azufre entre 1-5% se producen puentes de azufre entre diferentes cadenas poliméricas lo que se conoce como vulcanizado y aumenta mucho la dureza y resistencia al desgaste. El producto de vulcanización completa (40%) es la ebonita y es un sólido duro y rígido. [Seymour and Carraher, 1995]

### 2.7.3. Tipos de polímeros

Se pueden clasificar según diversos criterios:

#### Según su origen:

- Naturales: Caucho, polisacáridos (celulosa, almidón), proteínas, ácidos nucleicos.
- Artificiales: Plásticos, fibras textiles sintéticas, poliuretano, baquelita.

#### Según su composición:

- Homopolímeros: Un sólo monómero.
- Heteropolímeros: Varios monómeros; si son dos se llaman copolímeros.

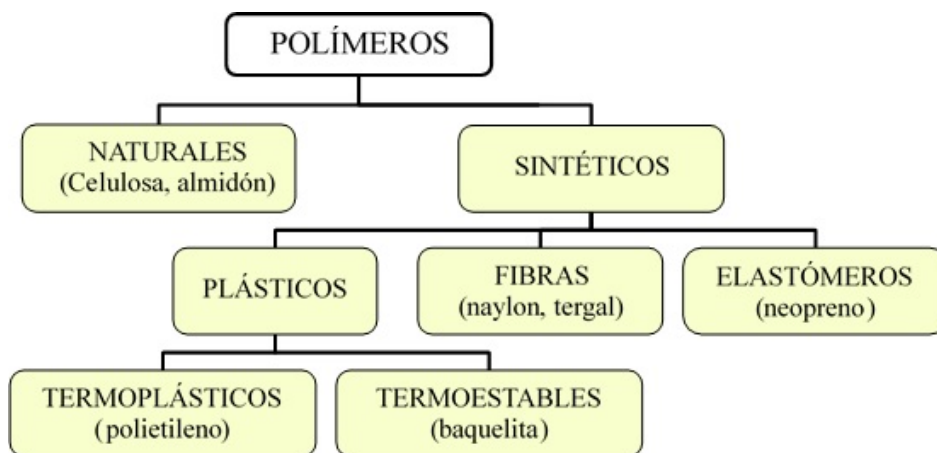
**Según su estructura:**

- Lineales: Los monómeros se unen por dos sitios (cabeza y cola).
- Ramificados: Si algún monómero se puede unir por tres o más sitios.

**Por su comportamiento ante el calor:**

- Termoplásticos: Se reblandecen al calentar y recuperan sus propiedades al enfriar.  
Se moldean en caliente de forma repetida.
- Termoestables: Se reblandecen y moldean en caliente, pero quedan rígidos al ser enfriados por formar nuevos enlaces y no pueden volver a ser moldeados.

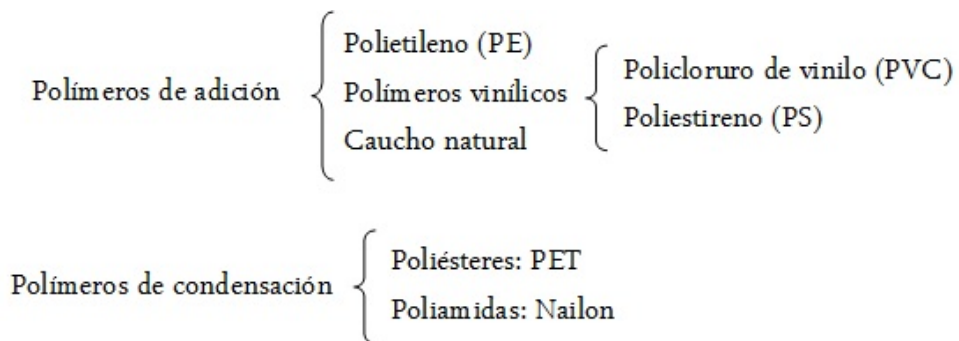
Una clasificación más general podría ser la del siguiente organigrama:



#### 2.7.4. Tipos de polimerización

Existen dos tipos fundamentales de polimerización según Fred W. Billmeyer [Billmeyer, 1975]:

- Adición.
- Condensación.



### 2.7.5. Estructura de los polímeros

Para abordar el estudio de la estructura de los polímeros se suelen considerar dos niveles, estructura química y estructura física. La estructura química se refiere a la construcción de la molécula individual y la estructura física al ordenamiento de unas moléculas respecto a otras. Cuando se hace referencia a la estructura física de los polímeros se trata básicamente de la orientación y cristalinidad que, como veremos, dependen en gran medida de la estructura química.

#### 2.7.5.1. Estructura química de los polímeros

a) **Tipo de átomos en la cadena principal y sustituyentes.** La mayoría de los polímeros son compuestos orgánicos macromoleculares, es decir están formados por largas cadenas lineales, que consisten en una cadena principal o esqueleto a la cual se unen grupos laterales. La cadena principal suele estar compuesta por átomos de carbono unidos entre sí un gran número de veces. Forman largas cadenas, como consecuencia de la capacidad que tiene el átomo de carbono para enlazarse consigo mismo y con otros elementos (Macromoléculas formadas por secuencias de átomos de carbono y otros elementos). En los polímeros la unión entre monómeros se realiza siempre mediante enlaces covalentes. La figura 2.30 muestra un trozo de la cadena de polietileno.

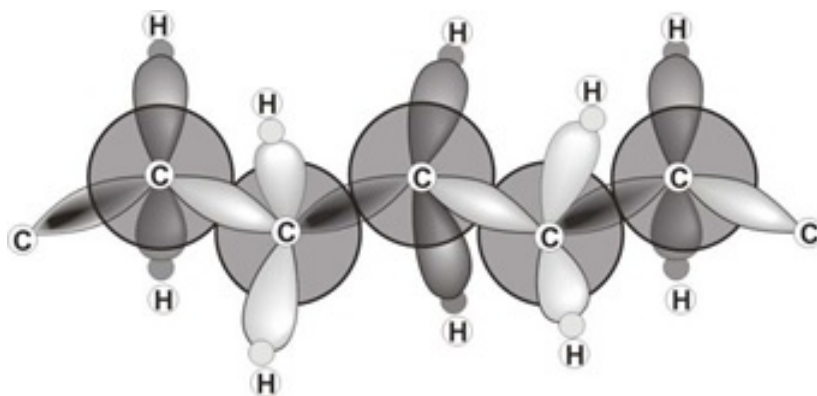


Figura 2.30: Configuración  $sp^3$  para los átomos de carbono de la cadena principal de la molécula de polietileno.

**Fuente:** [Beltrán et al., 2011]

Sin embargo, las fuerzas responsables de la cohesión entre cadenas diferentes pueden ser de naturaleza muy diversa, y están fuertemente condicionadas por las características de los átomos y de los sustituyentes de la cadena principal. La polaridad y el volumen de estos átomos afectarán especialmente a las fuerzas de cohesión entre cadenas, que a su vez determinarán la flexibilidad del material, temperatura de transición vítrea, temperatura de fusión y capacidad de cristalización entre otras propiedades [Beltrán et al., 2011].

En la figura 2.31 se muestra la estructura de varios polímeros que se van a emplear para ilustrar estos aspectos.

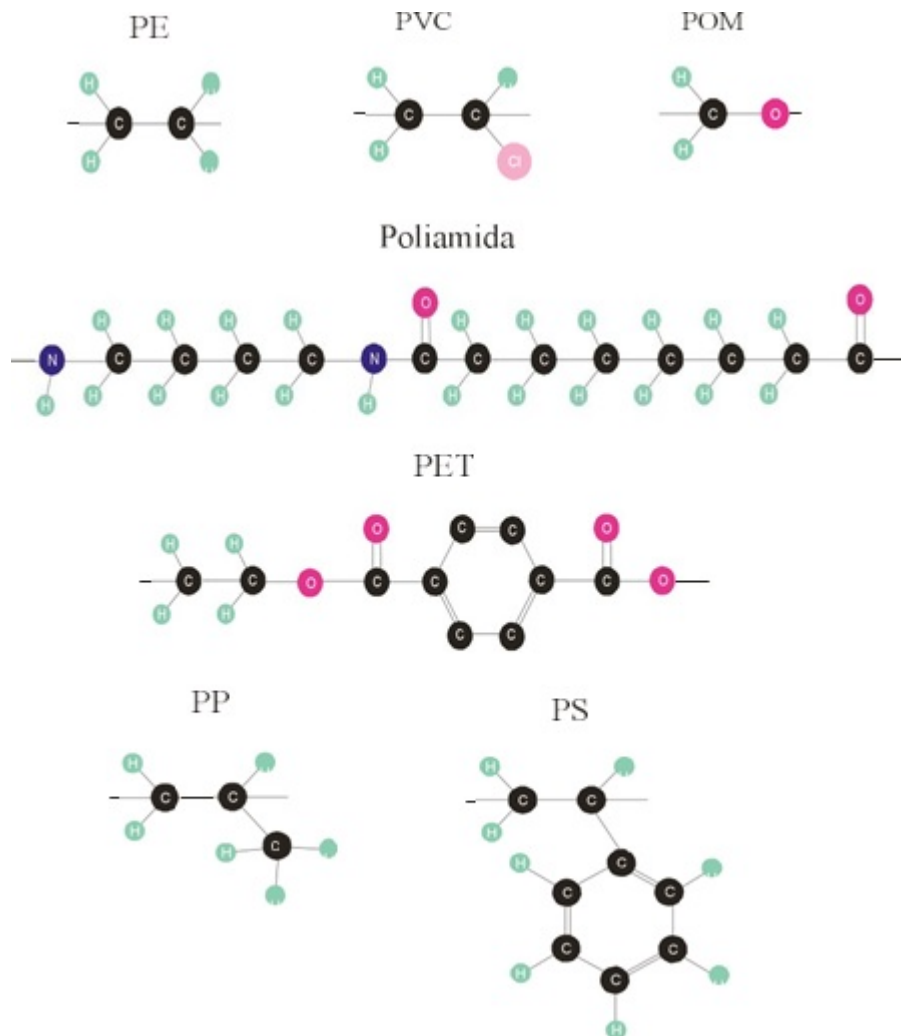
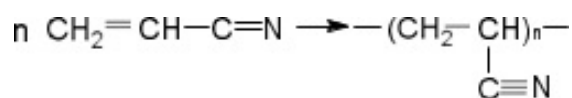


Figura 2.31: Estructura de diferentes polímeros.

Fuente: [Beltrán et al., 2011]

- b) **Uniones entre monómeros.** Uniones entre monómeros en los procesos de polimerización por condensación los monómeros se unen unos con otros siempre de la misma forma. La polimerización del metacrilonitrilo para dar poliacrilonitrilo (PAN) la mayoría de los monómeros polimeriza vía el doble enlace:



### 2.7.5.2. Estructura físicas de los polímeros

Las propiedades físico-químicas más importantes de los polímeros son la cristalinidad, el comportamiento térmico, el comportamiento mecánico y la resistencia a la degradación química en general.

- **Cristalinidad y comportamiento térmico.** El concepto de cristalinidad de un polímero no es similar al que se utiliza en materiales metálicos o cerámicos. Estos compuestos son muy cristalinos y presentan un gran orden a larga distancia. Este no suele ser el caso de la mayoría de los materiales poliméricos donde el orden principal es en el empaquetamiento entre cadenas poliméricas.
- **Estado amorfo y estado cristalino.** Los términos cristalino y amorfo se utilizan normalmente para indicar las regiones ordenadas y desordenadas de los polímeros, respectivamente. La figura 2.32 muestra un esquema de un sistema amorfo, uno semicristalino y otro cristalino. En estado sólido algunos polímeros son completamente amorfos, otros son semicristalinos y, dependiendo de las condiciones de cristalización, un polímero con capacidad de cristalizar puede ser amorfo o semicristalino.

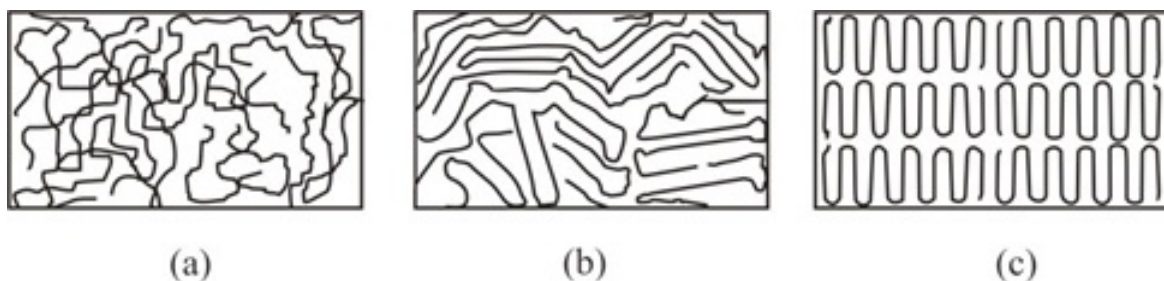


Figura 2.32: Sistemas amorfo (a), semicristalino (b) y cristalino (c).

**Fuente:** [Beltrán et al., 2011]



Los polímeros con capacidad de cristalizar son aquellos cuyas moléculas son química y geométricamente regulares en su estructura. Las irregularidades ocasionales, tales como las ramificaciones de la cadena, o la copolimerización de una pequeña cantidad de otro monómero limitan el alcance de la cristalización.

- Comportamiento térmico. En el estado líquido o fundido las moléculas del polímero se encuentran por lo general ovilladas y enmarañadas si no hay una fuerza externa que las obligue a orientarse en una dirección. Si la energía disponible es suficiente, las moléculas podrán moverse y los átomos de las cadenas podrán rotar alrededor de los ángulos de enlace, produciéndose cambios de conformación. En una situación de este tipo el volumen no ocupado (volumen libre) asociado con cada molécula es alto. En las moléculas reales, la capacidad de rotación de los enlaces de cadena está más o menos limitada por impedimentos estéricos.

### 2.7.6. Copolímeros

Cuando en un proceso de polimerización se utilizan dos o más monómeros químicamente diferentes, el polímero resultante se denomina copolímero. Comúnmente se emplean tan sólo dos, o como máximo tres monómeros diferentes. Los copolímeros se clasifican según la secuencia de los monómeros como copolímeros de bloque, de injerto y al azar, como se muestra en la figura 2.33.

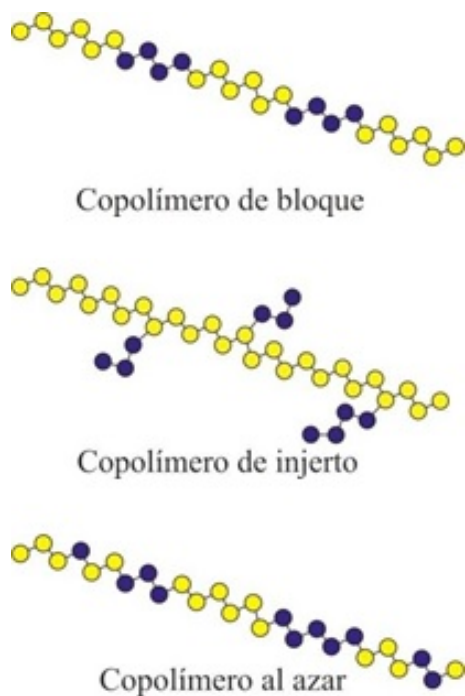


Figura 2.33: Tipos de copolímeros.

**Fuente:** [Beltrán et al., 2011]

La estructura química de los copolímeros es lógicamente mucho más compleja que la de los polímeros, pues al estar formados por más de un monómero, pueden variar además en su composición y en la longitud de secuencia, lo que condiciona las propiedades finales. Las propiedades que pueden controlarse por cambios en la composición del copolímero incluyen: el módulo elástico, la tenacidad, la viscosidad del fundido y la estabilidad térmica. La combinación de monómeros para formar copolímeros puede compararse con la mezcla de metales para formar soluciones sólidas, que es la base de la formación de las aleaciones [Beltrán et al., 2011]. Considérese un copolímero compuesto por dos unidades monoméricas, representadas por un círculo negro y por uno rojo en la figura 2.34.

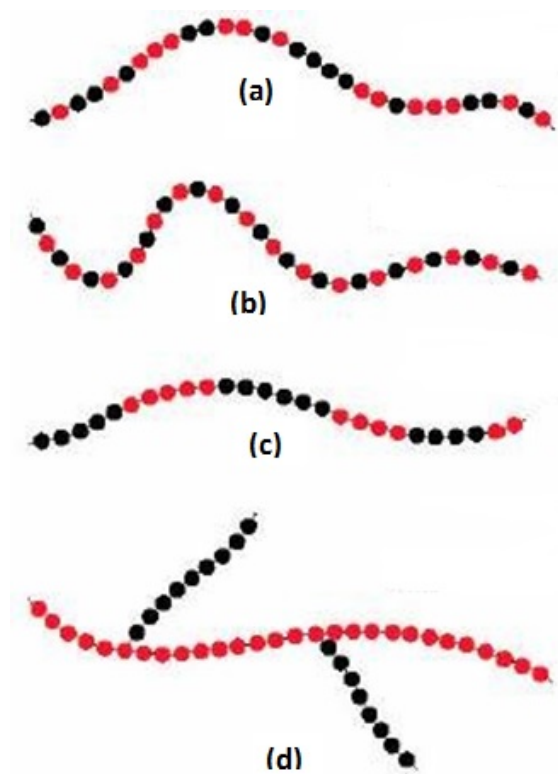


Figura 2.34: Representación esquemática de copolímeros. (a)Al azar (b)Alternados (c)En bloque (d)De Injerto.

Fuente: [Beltrán et al., 2011]

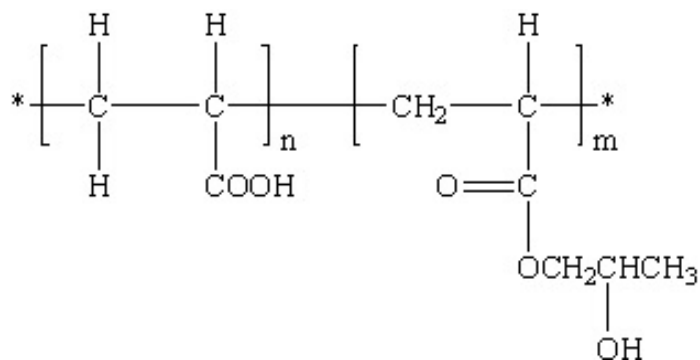
### 2.7.7. Copolímero de acrilato hidroxipropilo

Los polímeros de acrilato pertenecen a un grupo de polímeros que podrían denominarse generalmente como plásticos. Se destacan por su transparencia, resistencia a la rotura y elasticidad. También se conocen comúnmente como acrílicos o poliacrilatos.

Es un copolímero de ácido poliacrílico y acrilato de hidroxipropilo, tiene buenas propiedades de inhibición y dispersión a fosfato de calcio y carbonato de calcio, tiene buenas propiedades de dispersión para el lodo de óxido férrico, arcilla y grasa.

Puede usarse bajo condiciones de pH alto y tiene buena compatibilidad con otras organofosfatos <sup>4</sup>, puede retener eficazmente los sedimentos de sal de zinc y fosfato de calcio, tiene buenas propiedades de inhibición y dispersión a alta temperatura también se usa también como agente estabilizador o viscosizante de suspensiones y emulsiones.

Fórmula estructural:



### 2.7.8. Características del Polímero: copolímero-acrílico

El concentrado de este Polímero se presenta como un líquido blanco, de fuerte reacción alcalina, soluble en agua. Corresponde a una solución acuoso concentrada de silicato de sodio, su composición es de las más variables (monosilicato, metasilicato, polisilicato, etc.) y estas más o menos hidratados o son más o menos solubles, según la forma de prepararlos y el grado de pureza. Se presentan en polvo o en cristales incoloros, en lasas vítreas (vidrio soluble) o en disoluciones acuosas más o menos viscosas. El aditivo en estudio es un catalizador polimérico indicado para suelos cohesivos y semi-cohesivos. Se trata de una sustancia química que reacciona con los iones libres del suelo. La muestra produce unos compuestos hidratados que con el tiempo polimerizan, de forma que el suelo se va volviendo progresivamente más viscoso hasta que toda la disolución petrifica primero, y se solidifica después. Los productos resultantes de la reacción rellenan los poros existentes en contextura del suelo. El resultado es un material conglomerado de elevadas prestaciones mecánicas que permite su empleo en cual-

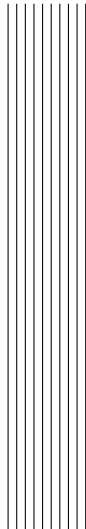
<sup>4</sup> *organofosfatos*: Los compuestos organofosforados son un grupo de sustancias orgánicas derivadas de la estructura química del fósforo y tienen un gran número de aplicaciones y utilidades. Han sido utilizados como aditivos del petróleo, disolventes, en las industrias de colorantes, barnices, cuero artificial, aislantes eléctricos

quier capa de un suelo firme. Las principales propiedades que se pueden observar son la mejora sustancial de la capacidad portante respecto al material natural, la flexibilidad del conglomerado resultante y la reducción drástica de la permeabilidad y por tanto, la susceptibilidad al agua [Fontseré-Pujol, 2009].

Especificación:

Cuadro 2.6: Especificación técnica del Copolimero. [Fontseré-Pujol, 2009]

| Apariencia                       | Índice                                       |          |
|----------------------------------|----------------------------------------------|----------|
|                                  | Neutro                                       | Acido    |
| Apariencia                       | Líquido viscoso de incoloro a amarillo claro |          |
| Contenido solido %               | 30.0±2.0                                     | 30.0±2.0 |
| Monómero libre (as AA)%          | 0.5                                          | 0.5      |
| PH (1% solución)                 | 7.5±1.0                                      | 2.5±0.5  |
| Límite de viscosidad (30°C) dl/g | 0.065~0.095                                  |          |
| Densidad (20°C)g/cm <sup>3</sup> | 1.100                                        |          |



## Capítulo 3

# Metodología de la investigación.

Por el tipo de investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación Experimental. En este capítulo se describen los materiales de estudio. También se menciona los ensayos realizados y el proceso que se siguió en la realización de los especímenes.

### 3.1. Ubicación de la zona en estudio.

El estudio se realizó en el Distrito de Socos, en la carretera que conecta Comunidad Campesina de Pucaloma y la Comunidad Campesina de Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu (Ruta N° AY-795 Trayectoria: Emp. AY-789 (Pucaloma) - Marccari - Emp. AY-794), las cuales se describe de la siguiente manera:

Lugar : Vía Vecinal Comunidad Pucaloma - Comunidad Yanayacu.

Localidad : Comunidad de Pucaloma.

Distrito : Socos.

Provincia : Huamanga.

Región : Ayacucho.

Las coordenadas de ubicación en UTM son E: 593,345.08 N: 8'559,459.75, en el cuadrante 27ñ, se adjunta plano de ubicación en el Anexo K.



Figura 3.1: Ubicación de la carretera Pucalloma-Yanayacu.  
**Fuente:** (Google Earth)

## 3.2. Equipos para la caracterización Geotécnica

Materiales y equipos para determinar Humedad Natural, clasificación, límite líquido, límite plástico, gravedad específica, peso específico y clasificación del material:

- Recipientes para contenido de humedad (aluminio o latón).
- Balanza de sensibilidad de 0.01 gr.
- Balanza de sensibilidad de 0.1 gr.
- Horno con control de temperatura adecuada.
- Juego de tamices y bandeja.
- Probeta graduada para proveer cantidades controladas de agua.
- Plato evaporador de porcelana y espátula para mezcla del suelo con agua.
- Placa de vidrio para ensayo de límite plástico.
- Picnómetro.



Figura 3.2: Instrumentos para límite Líquido y plástico (Geotecnia & Ingeniería, 2018).



Figura 3.3: Instrumentos para la determinación de Gravedad Específica.

### 3.3. Equipos para ensayos de Próctor Modificado

Es un ensayo que relaciona la humedad del suelo con su peso unitario seco, describiendo una curva denominada curva de compactación. Este procedimiento se realiza en un molde de cuatro o seis pulgadas de diámetro con un pistón de diez libras que cae desde una altura de 18 pulgadas, generando así una energía de compactación de  $56000 \text{ lb.pie}/\text{pie}^3$  (Próctor modificado AASHTO T-180-A). Este ensayo se aplica para suelos que poseen el 30% o menos de sus partículas en peso retenidas en el tamiz 3/4, por lo que para el estudio realizado es aplicable. El equipo utilizado para el estudio es el siguiente [MTC, 2014]:



- Recipientes para contenido de humedad (aluminio o latón).
- Molde de seis pulgadas con su collar.
- Pisón o martillo de compactación.
- Balanza de sensibilidad de 0.1 gr.
- Horno de secado.
- Recipientes para contenido de humedad (aluminio o latón).

Al tratarse de suelo de partículas finas, se debe utilizar el material que pasa por el tamiz No. 4, el cual se debe poner dividido en cinco capas y compactarlo con 25 golpes con el pistón de diez libras. Una vez terminado el proceso de compactación se pesa la muestra, el molde y se calcula la humedad. El proceso se repite las veces que sea necesario de tal manera que los valores del peso volumétrico suban y bajen formando una curva tipo Gauss. En el presente estudio se realizó el ensayo próctor modificado para las muestras en su estado natural. Se obtuvo los siguientes resultados:

Cuadro 3.1: Resultados del Próctor Modificado en estado natural (elaboración propia).

| Prueba de próctor modificado |                    |                                            |
|------------------------------|--------------------|--------------------------------------------|
| Muestra                      | Humedad óptima (%) | Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> ) |
| M - 01                       | 14.00              | 1.904                                      |
| M - 02                       | 17.80              | 1.733                                      |
| M - 03                       | 13.30              | 1.914                                      |
| M - 04                       | 16.00              | 1.730                                      |

### 3.4. Equipos para ensayos de CBR (Relación de Soporte California)

El CBR es un ensayo para determinar el índice de calidad de un material de suelos orientado a su utilización en rellenos para estructuras y carreteras. Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase, y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje, el valor de CBR obtenido en este ensayo forma una parte integral de varios métodos de diseño de pavimento flexibles, para la realización del ensayo se sigue internacionalmente la norma (ASTM D 1883-05), según la norma que rige en ensayo, los niveles pre-establecidos de penetración son 0.1 y 0.2 centésimos de pulgada, tomándose como CBR el menor que resulte entre estos dos valores. Antes de realizar el ensayo se deben de conocer tanto las condiciones de hidratación como numero de sobre cargas a colocar sobre el espécimen, ambos factores afectan tremendamente el valor del CBR. Los instrumentos y equipos necesarios para ensayo de CBR son los siguientes: [MTC, 2014]

- Molde de 6 pulgadas de diámetro con su collar.
- Contrapesos.
- Balanza (precisión 0.01 gr.).
- Pisón de compactación.
- Regla metálica para enrasar.
- Muestra que pasa tamiz N° 4.
- Deformímetro, con su trípode.
- Tanque de agua.
- Prensa de carga CBR.



Figura 3.4: Molde de 6 pulgadas y sus Contrapesos (Geotecnia & Ingeniería, 2018).



Figura 3.5: Prensa de carga CBR (Geotecnia & Ingeniería, 2018).

Antes de hacer el ensayo de CBR se debe de partir de un diseño de pavimento donde estén definidas, tanto la condición de hidratación de los materiales, como la sobrecarga sobre material de suelo estudiado. Para la variante de CBR para un rango de humedad, se puede seleccionar el análisis de los resultados a través de un experimento factorial, que produce un gráfico llamado mapa de resistencia que se traduce en la maximización de la calidad del suelo con sus consecuentes beneficios económicos.

## 3.5. Herramientas para los ensayos de Próctor Modificado y CBR

Las herramientas computacionales para realizar la caracterización geotécnica y determinar los parámetros de diseño del Próctor Modificado y el ensayo de CBR, fue en hojas de cálculo Excel.

## 3.6. Metodología para caracterización Geotécnica

### 3.6.1. Toma de muestras

Una muestra de suelo usualmente es empleada para evaluar sus características geotécnicas en los diferentes ensayos; la apertura de las calicatas se realizó in situ en el tramo de la red vial vecinal, que comunica, la Comunidad Campesina de Pucaloma y la Comunidad Campesina de Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu (Ruta N° AY-795 Trayectoria: Emp. AY-789 Pucaloma - Marccari - Emp. AY-794), distrito de Socos, provincia de Huamanga, región Ayacucho. Las calicatas de la cual se extrajo la muestra, se determinó que el suelo era homogéneo y con pocas variaciones en sus características, las calicatas tuvieron una dimensión de 1.0x1.0x1.50 m de profundidad. Una vez extraída la muestra, esta se depositó en bolsas impermeables selladas y en dos costales de 100 kg. cada uno aproximadamente, para luego trasladarlos al laboratorio para realizar los análisis y almacenarlo en un ambiente cerrado.

### 3.6.2. Contenido de humedad ( $\omega$ )

Se determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , el peso del suelos que permanece del secado en horno es usado como el peso de la partícula sólida. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua. En la mayoría de los casos, el secado de un espécimen de ensayo



Figura 3.6: Extracción de muestra 01.

durante toda la noche (en 12 a 16 horas) es suficiente según lo indica NTP 339.127(ASTM D-2216) [MTC, 2014].

Se conoce como humedad de un suelo a la relación entre el peso del agua contenida en el mismo y el peso de su fase sólida:

$$w = 100 \cdot \frac{W_w}{W_s} \text{ en} \quad (3.6.1)$$

Dónde:

$W_w$  = peso del agua de la muestra (gr).

$W_s$  = peso seco del suelo (gr).

La humedad de la muestra analizada son las siguientes:

Para obtener la humedad, se pesó los recipientes de aluminio o latón y se registró los valores obtenidos. Luego se tomó unas muestras representativas del suelo húmedo y se procedió a pesar la misma más el recipiente, para secar la muestra se puso al horno durante 12 horas a una temperatura promedio de 100°C, transcurrido el tiempo y enfriado la muestra se volvió a





Figura 3.7: Extracción de muestra 02.

pesar y se obtuvo el peso de la muestra seca más el recipiente. Es recomendable evitar pesar las muestras calientes ya que puede generar errores en la toma de datos, los resultados se adjuntó en el anexo 02. Los equipos y/o materiales usados son:

- Horno con control de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- Recipientes de aluminio o latón.

### 3.6.3. Análisis granulométrico por tamizado

Para la obtención de la curva granulométrica se utilizó la metodología de la NTP 339.128 (ASTM D-422). Para la determinación de este ensayo se consideró una muestra representativa por cuarteo, se recogió del cuarteo una cantidad, se registró el peso de la muestra, luego se lavó la muestra a través de la malla N°200 (al lavarlos se elimina los limos), después secamos el material retenido (24 hr en el horno), secado la muestra procedemos a pesarla en la balanza digital, a continuación vertimos la muestra en el juego de cernidores, zarandeamos



Figura 3.8: Muestras para hallar porcentaje de humedad (Geotecnia & Ingeniería, 2018).



Figura 3.9: Secado de muestras para determinar el Contenido de Humedad.

manualmente y mecánica las mallas con mucho cuidado de manera de no perder material de la muestra, luego retiramos la primera malla, el material retenido en esta malla se registra su peso, nuevamente se zarandeo el material y se retiró la segunda malla, se vació la muestra y se registra su peso, se repite este procedimiento hasta la última malla, cuyos resultados se adjuntó en el anexo 01. Los equipos y/o materiales usados son:

- Horno con control de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- Recipientes de aluminio o latón.
- Juego de tamices (3", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 3/8", N°4, N°10, N° 20, N° 30, N°40, N°60, N°100,

N°200).

- Escobilla.



Figura 3.10: Zarandeo de material (Geotecnia & Ingeniería, 2018).

#### 3.6.4. Limite Líquido (LL)

La determinación del ensayo de límite líquido es a través de la metodología de la NTP 339.129 (ASTM D-4318). El contenido de humedad que corresponde a una frontera convencional entre los estados semi-líquido y plástico, en el cual el suelo fluirá suficientemente como para cerrar una ranura de ancho determinado hecha en la muestra de suelo cuando un recipiente especificado es golpeado con un número determinado de veces [MTC, 2014].

Preparar la muestra seca, disgregándola con el mortero y pasarlo por la malla No. 40 (0.42 mm) para obtener una muestra representativa de unos 250 gr. Aproximadamente, colocar el suelo pasante de la malla No. 40 en una vasiija de evaporación y añadir una pequeña cantidad de agua, dejar que la muestra se humedezca, mezclar con ayuda de la espátula hasta que el color sea uniforme y conseguir una mezcla homogénea. Se coloca una pequeña cantidad de masa húmeda en la parte central de la copa, una cantidad de masa de suelo entre 50 y 70 gr. y se nivela la superficie, luego se pasa el acanalador por el centro de la copa para cortar en dos la pasta de suelo, La ranura debe apreciarse claramente y que separe completamente



la masa del suelo en dos partes. Poner en movimiento la cazuela con ayuda de la manivela, girar la manivela de manera uniforme y constante a una velocidad de dos revoluciones/seg; y suministrar los golpes que sean necesarios para cerrar la ranura en 12.7 mm. Cuando se cierre la ranura en 12.7 mm, registrar la cantidad de golpes y tomar una muestra de la parte central para la determinación del contenido de humedad, Se pesa recipientes vacíos que contendrán a las muestras para el pesado antes y después del secado. En cada prueba se ha tomado una muestra de aproximadamente 5 gr de suelo en la zona donde se cerró el surco y se procedió a realizar el pesado y luego el secado al horno durante 12 horas a una temperatura promedio de 100°C, pasado este tiempo se vuelve a pesar las muestras secas y se registra los datos. Con los datos obtenidos de la humedad y número de golpes se realizó el grafico semilogarítmico de humedad v/s número de golpes que se describe más adelante. Se determina del grafico el Límite líquido para 25 golpes, cuyos resultados se adjuntó en el anexo 02. Los equipos y/o materiales usados son:

- Horno con control de temperatura (°C).
- Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- Recipientes de aluminio o latón.
- Copa de Casagrande y acanalador.
- Espátula.
- Tamiz N° 40.

### 3.6.5. Límite Plástico (LP)

La determinación del ensayo de límite líquido es a través de la metodología de la NTP 339.129 (ASTM D 4318). El límite plástico es la humedad correspondiente en el cual el suelo se cuarteo y quiebra al formar pequeños rollitos o cilindros pequeños. Se trabaja con el material preparado para el límite líquido se toma aproximadamente 20gr., luego se amasa el suelo y se deja que



Figura 3.11: Ensayo para Límite Líquido en Copa de Casagrande (Geotecnia & Ingeniería, 2018).

pierda humedad hasta una consistencia a la cuál pueda enrollarse sin que se pegue a las manos esparciéndolo y mezclándolo continuamente sobre la placa de vidrio, el rollito debe ser adelgazado en cada movimiento hasta que su diámetro sea de 3.0 mm, la prueba continúa hasta que el rollito empieza a rajarse y tiende a desmoronarse. Una vez que se ha producido el límite plástico se debe colocar el rollito en un recipiente de peso conocido y se pesa para determinar el contenido de humedad y luego llevado al horno por 8 horas a una temperatura promedio de 100 °C cumplido el tiempo se pesa la muestra seca para determinar el contenido de humedad. Seguidamente se vuelve a repetir la operación tomando otra porción de suelo, el límite plástico es el promedio de ambas determinaciones, los resultados se adjuntó en el anexo 02. Los equipos y/o materiales usados son:

- Horno con control de temperatura (°C).
- Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- Recipientes de aluminio o latón.
- Vidrio grueso esmerilado.



Figura 3.12: Pesado de las Muestras Secas (Geotecnia & Ingeniería, 2018).

### 3.6.6. Límite de Contracción (LC)

Este ensayo es aprobado bajo la norma NTP 339.140 (ASTM D 424), para lo cual se preparó una pasta con la muestra y con la humedad de límite líquido obtenido, luego se preparó un recipiente untando por toda la superficie con lubricante para evitar que se adhiriera la muestra y se lleva a la balanza para registrar su peso. Se colocó la muestra en el recipiente en tres capas, se llevó a la balanza para registrar el peso de la muestra más recipiente, luego se procedió con el secado al ambiente de la muestras por 6 horas, una vez secado llevarlo al horno por 18 horas y dejarlo enfriar al ambiente, pesarlo y registrar el dato. Luego se determinó el volumen seco de la muestra por medio del desplazamiento en mercurio, que consistió en colocar la muestra de arcilla sobre el recipiente de vidrio con mercurio, con la ayuda de la placa de vidrio con dos agujas, se recoge y se mide el volumen desplazado de mercurio en las probetas y se vuelve a llenar con mercurio el recipiente de vidrio para determinar por diferencias el volumen inicial de la muestra, finalmente los resultados se adjuntó en el anexo 04. Los equipos y/o materiales usados son [MTC, 2014]:

- Horno con control de temperatura (°C).
- Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- Recipiente volumétrico de vidrio para medir la cantidad de volumen del suelo.

- Plato de evaporación.
- Mercurio.
- Tamiz N° 40.
- Espátula.
- Grasa lubricante (vaselina).
- Placa plástica con tres apoyos.
- Probeta graduada de 25 ml.



Figura 3.13: Ensayo de Límite de Contracción (Geotecnia & Ingeniería, 2018).

### 3.6.7. Gravedad Específica ( $G_s$ )

El método de trabajo del laboratorio para determinar la gravedad específica es un método directo y se basa en la NTP 339.131 (ASTM D 854). Procedimiento, primero que nada deberá calibrarse el picnómetro, para ello se limpia el picnómetro con algún disolvente y luego se enjuaga con agua destilada. Se deja escurrir dejándolo boca abajo 15 minutos. Luego se determinó el peso del picnómetro vacío y el peso del picnómetro con agua de 500ml. Se secó el espécimen expuesto al aire libre y al sol hasta obtener una masa que se pueda triturar en

pequeñas partículas usando un mortero y la mano y se pesa una cantidad de material entre 50 y 100 gr, se vierte agua al picnómetro hasta la mitad de la parte curva, se vacían los sólidos empleando para esto un embudo, se agita el agua hasta que la pasta aguada se forme y elimine en su totalidad los gases y vacíos, se repite el paso anterior unas 5 veces, se completa la capacidad del picnómetro con agua hasta la marca de aforo, de tal manera que la parte inferior del menisco coincida con la marca (500 ml), se pesa y se deja asentar los sólidos y luego vaciar en un recipiente el contenido. Se enjuaga cualquier suelo adherido al picnómetro. Se pesa el picnómetro + agua + sólidos (Figura 3.15), se toma la temperatura de la suspensión, se sustituyen los valores obtenidos en la fórmula y se obtiene la gravedad específica, cuyos resultados se adjuntó en el anexo 05. Los equipos y/o materiales usados son [MTC, 2014]:

- Horno con control de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- Matraz (picnómetro).
- Pipeta.
- Termómetro graduado.
- Tamiz N° 4 y N° 8.
- Guantes de asbesto.
- Baño de agua (Baño maría).





Figura 3.14: Liberación de aire de la muestra (Geotecnia & Ingeniería, 2018).



Figura 3.15: Pesado del picnómetro con la muestra (Geotecnia & Ingeniería, 2018).

## 3.7. Metodología para el ensayo de Próctor Modificado

Se desarrollar este ensayo de acuerdo a la metodología NTP 339.141 (ASTM D-1557), para determinar la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco compactado con una energía de compactación determinada.

### 3.7.1. Preparación de la muestra

Secar el material si este estuviera húmedo, puede ser al aire libre o al horno, posteriormente se tamizo el material a través de las mallas 2", 3/4", 3/8" y N°4 para determinar el método de prueba, posteriormente se preparó 5 muestras de 5 kg. para este ensayo se utilizó el proctor modificado por el método A ( $\% \text{ retenido acumulado N}^{\circ}4 \leq 20\%$ ), por el alto contenido de retención en el tamiz N°4.



Figura 3.16: Pesado y preparado de la Muestra.

### 3.7.2. Trabajo de compactación de las muestra en los moldes

Se determinó y registró: la altura, diámetro interior como también el peso del anillo y del molde a usarse, posteriormente agregamos agua y mezclamos uniformemente las muestras de suelo, cada punto de prueba debe tener un incremento de humedad constante, después colocamos la primera capa en el molde y aplicamos 25 golpes según el método de ensayo, los golpes son aplicados en toda el área, girando el pisón adecuadamente, también cada golpe es aplicado en caída libre, soltar el pisón en el tope, de igual forma se completó las cinco capas, La última capa debe quedar en el collarín de tal forma que luego pueda enrasarse.

Enrasáramos el molde con una regla metálica quitando previamente el collarín luego registramos el peso del suelo + molde. Luego de haber pesado, se tomó dos muestras para hallar el contenido de humedad, como mínimo se tomó 50 gr. de la parte superior e inferior del molde, seguidamente llevamos las muestras al horno para determinar la humedad, de igual manera repetimos el procedimiento para un mínimo de 5 puntos compactados a diferentes contenidos de humedad, dos de los cuales quedan en el lado seco de la curva y los otros dos en el lado húmedo.



Figura 3.17: Ensayo de compactación (Geotecnia & Ingeniería, 2018).





Figura 3.18: Enrasado del molde (Geotecnia & Ingeniería, 2018).

### 3.7.3. Procedimiento para determinar los parámetros del ensayo de Próctor Modificado

Se ha determinado los parámetros del ensayo de próctor modificado del tipo A, usando la hoja de cálculo Microsoft Excel, siguiendo los procedimientos. Se ha ingresado y digitalizado los datos obtenidos del ensayo de Próctor modificado, como se muestra en el cuadro 3.2

Se ha digitado los valores obtenidos de acuerdo a la relación de la densidad y el porcentaje de contenido de humedad, donde en el eje de las abscisas (X) se ingresó los valores de porcentaje de contenido de humedad y en el eje de las ordenadas (Y) el promedio de la densidad seca expresada en ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ), la variación de humedad en las distintas proporciones, suministradas gradualmente, como se muestra en la figura 3.2, son cantidades que van de 200 a 950 gr. de agua.

Para hallar los resultados de la densidad seca en distintas proporciones de humedad, se requirió el control de peso del molde después de la compactación de la muestra en 5 capas en cantidades

Cuadro 3.2: Datos obtenidos del ensayo Próctor Modificado tipo A.

| ENSAYO DE COMPACTACION METODO "A"        |         |                        |                |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------------------|---------|------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> ) :   | 2086.82 | PESO DEL MOLDE (gr.) : | 6016           |       |       |       |       |       |       |       |
| NUMERO DE ENSAYOS                        | 1       | 2                      | 3              | 4     | 5     |       |       |       |       |       |
| PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr.)           | 9984    | 10092                  | 10422          | 10516 | 10356 |       |       |       |       |       |
| PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA (gr.)      | 3968    | 4076                   | 4406           | 4500  | 4340  |       |       |       |       |       |
| DENSIDAD HUMEDA (gr./ cm <sup>3</sup> .) | 1.90    | 1.95                   | 2.11           | 2.16  | 2.08  |       |       |       |       |       |
| DENSIDAD SECA (gr./cm <sup>3</sup> .)    | 1.78    | 1.78                   | 1.88           | 1.85  | 1.75  |       |       |       |       |       |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)                 |         |                        |                |       |       |       |       |       |       |       |
| TARRO N°.                                | R-17    | R-19                   | R-25           | R-26  | R-27  | R-30  | R-13  | R-14  | R-15  | R-16  |
| PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO (gr.)      | 56.66   | 57.83                  | 50.26          | 50.69 | 48.97 | 49.67 | 56.24 | 55.55 | 52.41 | 58.03 |
| PESO DEL TARRO + SUELO SECO (gr.)        | 54.02   | 55.05                  | 47.07          | 47.55 | 45.04 | 45.91 | 50.28 | 49.68 | 46.39 | 51.16 |
| PESO DE AGUA (gr.)                       | 2.64    | 2.78                   | 3.19           | 3.14  | 3.93  | 3.76  | 5.96  | 5.87  | 6.02  | 6.87  |
| PESO DEL TARRO (gr.)                     | 13.91   | 14.18                  | 13.98          | 14.15 | 13.99 | 14.14 | 13.98 | 13.91 | 14.10 | 14.16 |
| PESO DE SUELO SECO (gr.)                 | 40.11   | 40.87                  | 33.09          | 33.40 | 31.05 | 31.77 | 36.30 | 35.77 | 32.29 | 37.00 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)                 | 6.58    | 6.80                   | 9.64           | 9.40  | 12.66 | 11.84 | 16.42 | 16.41 | 18.64 | 18.57 |
| CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%)        | 6.69    | 9.52                   | 12.25          | 16.41 | 18.61 |       |       |       |       |       |
| DENSIDAD MAXIMA SECA=                    | 1.904   | gr/cc.                 | HUMEDAD OPTIMA | =     | 14.00 | %     |       |       |       |       |

aproximadas, luego para hallar el porcentaje de contenido de humedad se extrajo muestras húmedas después de haber terminado el proceso de compactación, muestras obtenidas de la parte superior e inferior del molde, para luego ser llevado al horno para su respectivo secado, estas muestras se les toma el peso antes y después del proceso de secado, de acuerdo a la norma [MTC, 2014].

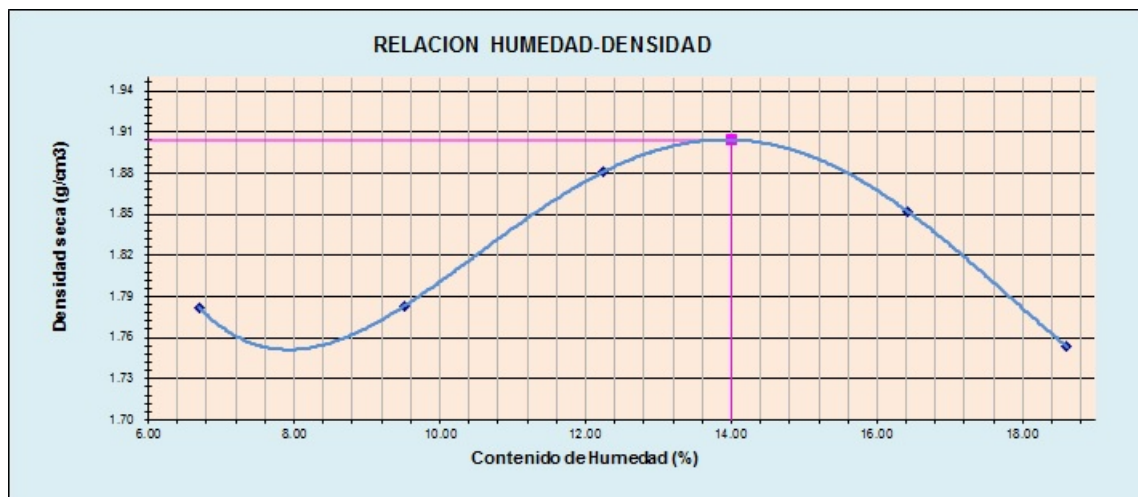


Figura 3.19: Grafico del ensayo Próctor Modificado tipo A.

Del cuadro (3.2) se determinó el porcentaje de humedad óptima y la densidad máxima seca, estos dos datos indican las coordenadas del punto de inflexión de la curva de función Gaussiana, exactamente en el punto más álgido de la curva cóncava, en la intersección de ambos resultados.

## 3.8. Metodología para el ensayo Relación de Soporte de California (CBR)

Se desarrolla este ensayo de acuerdo a la metodología NTP 339.145 (ASTM D-1883), donde se puede medir la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada. Es decir el CBR es nada más y nada menos que la relación entre la carga vs la penetración en un espécimen con una muestra de suelo con una humedad y densidad dada que podemos conseguir de un patrón (Próctor).

### 3.8.1. Preparación de la muestra

Secar el material al sol o en un horno a una temperatura de 60°C, luego desmenuzamos los terrones (podemos usar un mazo con cabeza de hule) debemos cuidar de no romper las partículas individuales en la muestra, luego cuarteamos y conseguimos aproximadamente 20 kg. posteriormente se tamizo el material a través de las mallas 2", 3/4", 3/8" y N°4 y con la ayuda de una espátula ancha mezclamos todo muy bien, finalmente se preparó 3 muestras de 5 kg (basado en una curva de 3 puntos).



Figura 3.20: Pesado y preparado de la Muestra (Geotecnia & Ingeniería, 2018).

### 3.8.2. Moldeado y saturación de las muestra

Se determinó y registró: la altura, diámetro interior como también el peso del anillo y del molde a usarse, luego en el cilindro con su collar colocamos el espaciador y el papel filtro, después llenamos el molde en 5 capas compactamos con los golpes necesarios para cada espécimen, tenemos que hacer uno con 12, 25, 56 golpes por capa. Quitamos el collar y enrasamos bien, invertimos el molde, ponemos el filtro sobre la superficie enrasada y esta va a ser la parte inferior de la muestra, luego colocamos el plato con un vástago graduable, seguidamente sobre este plato se colocó las sobrecargas necesarias (mínimo 4.5 Kg).



Figura 3.21: Medición y calibración de instrumentos de CBR (Geotecnia & Ingeniería, 2018).

Se colocó el molde dentro de un recipiente con agua suficiente para que pueda cubrir por completo el molde, luego se montó el trípode con un extensómetro y se toma una lectura inicial y se tomará cada 24 horas, finalmente después de 96 horas o antes, depende si el material es expansivo o no se tomara la última lectura para calcular el hinchamiento.





Figura 3.22: Saturación de las muestras de suelo (Geotecnia & Ingeniería, 2018).

### 3.8.3. Resistencia a la penetración de las muestras

Luego de que ya hemos hecho todo la saturación y expansión de las muestra, sacamos la muestra y sujetamos bien el plato que pusimos sobre el espécimen y lo inclinamos para drenar la muestra por aproximadamente 15 minutos y Removemos el plato disco, filtro y los contrapesos. Una vez ya escurrido el espécimen se ponen los contrapesos necesarios para semejar el peso del pavimento, colocamos el espécimen en una prensa y aplicamos una carga de 10 lb para asentar el pistón, luego ajustamos el dial de carga y el deformímetro a ceros, seguidamente iniciamos la penetración a una revolución de velocidad de  $0.05''/\text{min}$ . Hacemos lecturas cada  $0.025''$  de penetración y anotamos la carga que se ha conseguido en cada punto, cuando lleguemos a  $0.5''$  paramos de leer y soltamos la carga, Retiramos el espécimen de la prensa y determinamos la humedad (superior, inferior de la muestra), llevando al horno para su secado.

### 3.8. Metodología para el ensayo Relación de Soporte de California (CBR)



Figura 3.23: Ecurrido de la muestra, para su penetración (Geotecnia & Ingeniería, 2018).



Figura 3.24: Penetración de la muestra (Geotecnia & Ingeniería, 2018).



Figura 3.25: Extracción de muestras para el secado (Geotecnia & Ingeniería, 2018).

#### 3.8.4. Procedimiento para determinar los parámetros del ensayo CBR

Se ha determinado los parámetros del Ensayo Relación de Soporte de California (CBR), usando la hoja de cálculo Microsoft Excel, siguiendo los siguientes procedimientos. Se ha ingresado y digitalizado los datos obtenidos del ensayo de CBR, como se muestra en el cuadro 3.4

Luego, que se halla sumergido los especímenes en el estanque con agua, se registra la lectura inicial del comparador de dial. El tiempo de inmersión dependerá del tipo de saturación. Para un ensayo con saturación normal se deja el molde sumergido durante 96 horas, en cambio para un ensayo de saturación completa se dejará el tiempo necesario hasta que no haya más hinchamiento, lo que se comprueba cuando dos lecturas de dial efectuadas con 24 horas de intervalo difieren en menos de 0,03 mm. Durante todo el tiempo de inmersión el nivel de agua se debe mantener constante. Registrada la lectura final del comparador de dial, se retira el trípode y se saca el molde del agua, para dejarlo drenar durante 15 minutos para el posterior

ensayo de penetración.

Las lecturas obtenidas durante el tiempo de su saturación serán introducidas en la hoja Excel, donde se a graficado los valores de acuerdo a la relación de porcentaje de expansión y días de saturación, donde en el eje de las abscisas (X) se ingresó los valores de los días de saturación y en el eje de las ordenadas (Y) el porcentaje de expansión del espécimen (%). Una vez registrado los datos, se observara en el grafico la evolución de la expansión de los especímenes, en general se confeccionan 3 probetas como mínimo, las que poseen distintas energías de compactación (lo usual es con 12, 25 y 56 golpes), como se muestra en el cuadro 3.5.

Luego se llevara la prueba de penetración en la prensa de carga, para lo cual se apoya el pistón de penetración con una carga lo más pequeña posible (no debe exceder de 45 Newton) y se colocan los diales de lectura de tensión y deformación en cero. Esta carga inicial, se necesita para asegurar un apoyo satisfactorio del pistón, pero debe considerarse como carga cero para la relación carga-penetración.

La velocidad de carga aplicada al pistón de penetración será de 1,25 mm/min. aproximadamente. Se anotarán las lecturas de carga, en los siguientes niveles de penetración como, como se muestra en el cuadro 3.6:



Cuadro 3.3: Lecturas de carga para la prensa CBR.

| Milímetros | Pulgadas |
|------------|----------|
| 0.63       | 0.025    |
| 1.27       | 0.050    |
| 1.90       | 0.075    |
| 2.54       | 0.100    |
| 3.17       | 0.125    |
| 3.81       | 0.150    |
| 5.08       | 0.200    |
| 7.62       | 0.300    |
| 10.16      | 0.400    |
| 12.70      | 0.500    |

Finalmente, se retira el total de la muestra de suelo del molde y se determina el contenido de humedad de la capa superior e inferior, con una muestra de 25 mm. de espesor. Se deberá extraer una muestra que abarque el total de la altura del molde.

Se prepara una gráfica con los resultados del ensayo de los tres especímenes poniendo en las abscisas al valor de CBR y en las ordenadas al grado de compactación o la densidad al valor de CBR. Usando los datos obtenidos de las tres probetas, se dibuja la curva CBR contra densidad seca (si se trata de suelos granulares, se graficará la curva solo con la penetración de 5 mm.; en cambio para suelos arcillosos, se graficarán la de 2,5 y 5 mm de penetración). Con ella se puede determinar el CBR correspondiente a una densidad seca preestablecida.

Cuadro 3.4: Datos obtenidos del ensayo CBR.

| MOLDE Nro.                | CUATRO<br>12 GOLPES |       | CINCO<br>25 GOLPES |       | SEIS<br>56 GOLPES |       |
|---------------------------|---------------------|-------|--------------------|-------|-------------------|-------|
| No. GOLPES POR CAPA       | SATURADA            |       | SATURADA           |       | SATURADA          |       |
| CONDICION DE LA MUESTRA   | SATURADA            |       | SATURADA           |       | SATURADA          |       |
| PESO MOLDE + SUELO HUMEDO | 8,468.00            |       | 8,524.00           |       | 8,642.00          |       |
| PESO DEL MOLDE            | 4,868.00            |       | 4,938.00           |       | 4,922.00          |       |
| PESO DEL SUELO HUMEDO     | 3,600.00            |       | 3,586.00           |       | 3,720.00          |       |
| VOLUMEN DEL MOLDE         | 1,993               |       | 1,931              |       | 1,969             |       |
| DENSIDAD HUMEDA           | 1.81                |       | 1.86               |       | 1.89              |       |
| % DE HUMEDAD              | 17.2                |       | 15.5               |       | 16.2              |       |
| DENSIDAD SECA             | 1.54                |       | 1.61               |       | 1.63              |       |
| TARA NRO.                 | TR-9                | TR-2  | TR-15              | TR-16 | TR-4              | TR-3  |
| TARA + SUELO HUMEDO       | 62.68               | 62.51 | 62.50              | 62.43 | 62.14             | 62.67 |
| TARA + SUELO SECO         | 55.46               | 55.50 | 55.37              | 56.64 | 55.23             | 56.12 |
| PESO DEL AGUA             | 7.22                | 7.01  | 7.13               | 5.79  | 6.91              | 6.55  |
| PESO DE TARA              | 14.18               | 14.21 | 14.11              | 14.17 | 13.99             | 14.29 |
| PESO DEL SUELO SECO       | 41.28               | 41.29 | 41.26              | 42.47 | 41.24             | 41.83 |
| % DE HUMEDAD              | 17.49               | 16.98 | 17.28              | 13.63 | 16.76             | 15.66 |
| PROMEDIO DE HUMEDAD       | 17.24               |       | 15.46              |       | 16.21             |       |

Cuadro 3.5: Datos de lectura de expansión de la muestra.

| EXPANSION           |              |                |                 |           |      |                 |           |      |                 |           |      |
|---------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|
| No. GOLPES POR CAPA |              |                | 12              |           |      | 25              |           |      | 56              |           |      |
| FECHA               | HORA<br>A.M. | TIEMPO<br>HRS. | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      |
|                     |              |                |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |
| 10/01/2018          | 13:30        | 0.0            | 160             | 0         | 0    | 150             | 0         | 0    | 160             | 0         | 0    |
| 11/01/2018          | 11:40        | 22.2           | 222             | 1.575     | 1.36 | 199             | 1.245     | 1.07 | 199             | 0.991     | 0.85 |
| 12/01/2018          | 15:30        | 27.8           | 228             | 1.727     | 1.49 | 204             | 1.372     | 1.18 | 209             | 1.245     | 1.07 |
| 13/01/2018          | 11:00        | 19.5           | 229             | 1.753     | 1.51 | 206             | 1.422     | 1.23 | 211             | 1.295     | 1.11 |
| 14/01/2018          | 16:00        | 29.0           | 227             | 1.702     | 1.47 | 206             | 1.422     | 1.23 | 211             | 1.295     | 1.11 |
| 15/01/2018          | 16:00        | 24.0           | 227             | 1.702     | 1.47 | 206             | 1.422     | 1.23 | 211             | 1.295     | 1.11 |

Cuadro 3.6: Datos de lectura de penetración de la muestra.

| PENETRACION         |       |                 |     |          |                |     |          |                |     |          |
|---------------------|-------|-----------------|-----|----------|----------------|-----|----------|----------------|-----|----------|
| No. GOLPES POR CAPA |       | 12              |     |          | 25             |     |          | 56             |     |          |
| PENETRACION         |       | MOLDE No : TRES |     |          | MOLDE No : DOS |     |          | MOLDE No : UNO |     |          |
|                     |       | LECTURA         |     | CARGA    | LECTURA        |     | CARGA    | LECTURA        |     | CARGA    |
| tiempo              | pulg. | DIAL            | LB  | lb/pulg2 | DIAL           | LB  | lb/pulg2 | DIAL           | LB  | lb/pulg2 |
| 0"                  | 0.000 | 0               | 0   | 0        | 0              | 0   | 0        | 0              | 0   | 0        |
| 30"                 | 0.025 | 23              | 160 | 51       | 27             | 175 | 56       | 28             | 179 | 57       |
| 1'                  | 0.050 | 45              | 244 | 78       | 46             | 248 | 79       | 48             | 256 | 81       |
| 1'30"               | 0.075 | 62              | 310 | 99       | 64             | 317 | 101      | 66             | 325 | 103      |
| 2'                  | 0.100 | 75              | 360 | 114      | 78             | 371 | 118      | 79             | 375 | 119      |
| 3'                  | 0.150 | 93              | 429 | 137      | 98             | 448 | 143      | 100            | 456 | 145      |
| 4'                  | 0.200 | 107             | 483 | 154      | 115            | 513 | 163      | 117            | 521 | 166      |
| 5'                  | 0.250 | 120             | 533 | 170      | 130            | 571 | 182      | 134            | 587 | 187      |
| 6'                  | 0.300 | 129             | 567 | 181      | 142            | 617 | 196      | 149            | 644 | 205      |
| 8'                  | 0.400 | 149             | 644 | 205      | 171            | 729 | 232      | 175            | 744 | 237      |

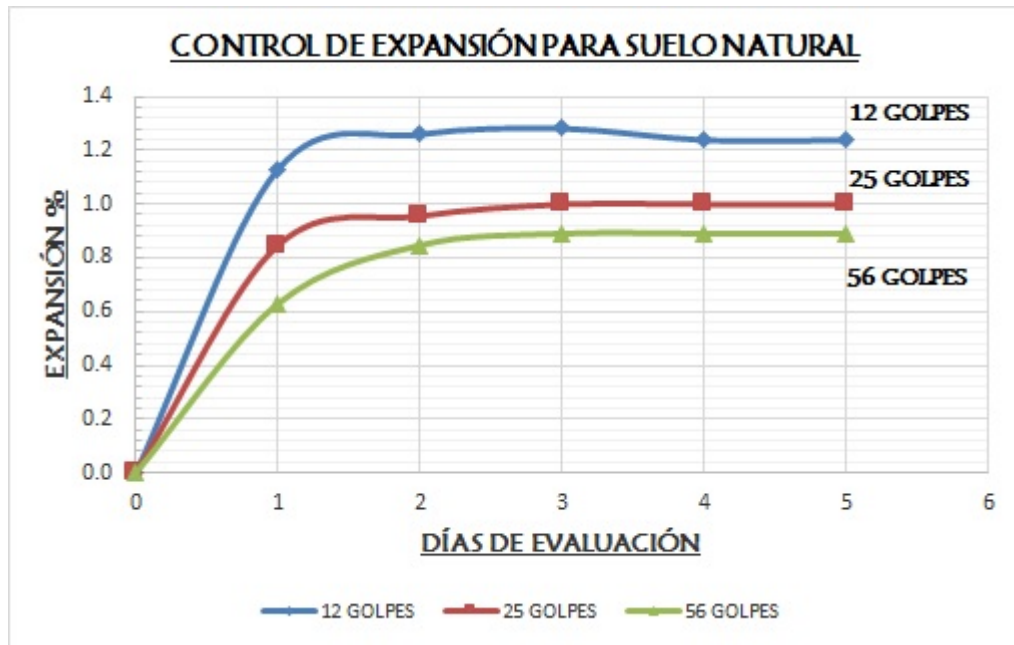


Figura 3.26: Control de expansión para los tres especímenes.

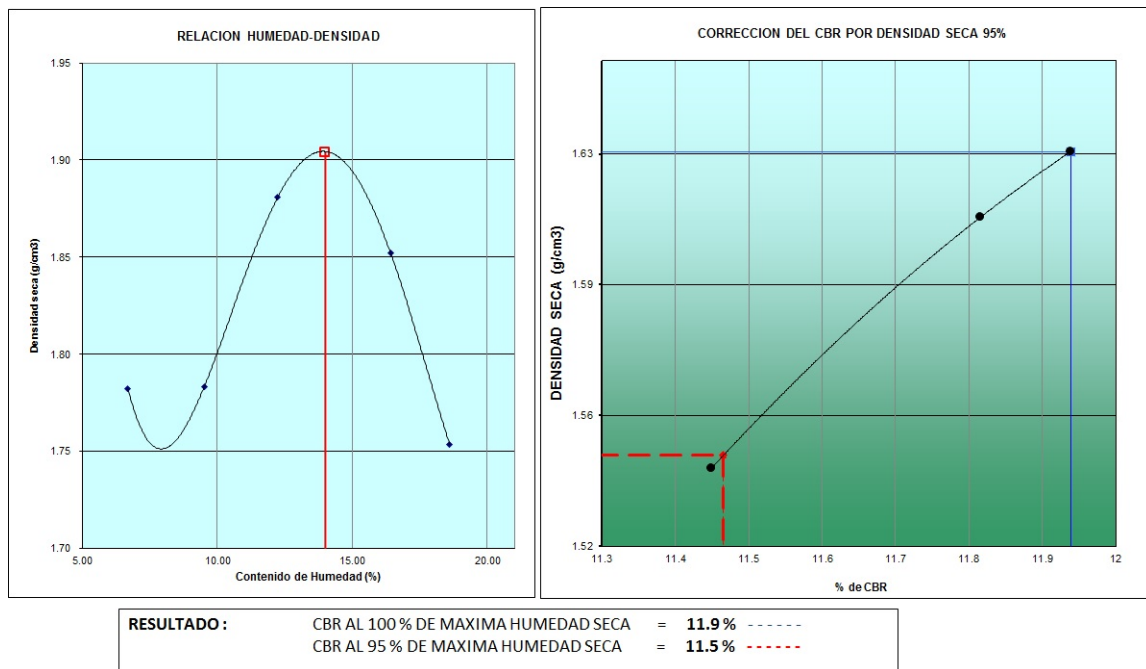
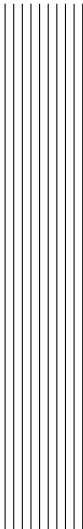


Figura 3.27: Curva de valor de CBR (Geotecnia & Ingeniería, 2018).



## Capítulo 4

### Análisis de resultados.

#### 4.1. Geología de la Comunidad Campesina de Pucallama y Yanayacu

De acuerdo a las investigaciones realizadas por INGEMMET y publicados al Boletín N° 61: GEOLOGIA DEL CUADRANGULO DE AYACUCHO, hoja ñ27 hace referencia que fueron estudiadas y cartografiadas por MÉGARD y PAREDES (1972, inédito; en MORCHE et al., 1995), luego por PALACIOS, O. (1979), y MÉGARD et al, estudio de la Cuenca Neógena de Ayacucho (1984).

Ha sido cartografiada siguiendo diferentes metodologías, habiéndose distinguido para el presente estudio a una pila sedimentaria grano-decreciente dividida en dos secuencias miembro Inferior y Superior [[Morche, 1995](#)].

Del plano geológico se adjunta en Anexo K, se define la presencia de Formaciones de Socos y está formado de los siguientes estratos:

**El miembro Inferior están formados por:**

**Nm-sa**, Conglomerados con matriz arenosa generalmente de color rojo, limos verdes y lavas volcánicas con textura laminar de composición andesítica esporádicamente niveles de tobas.

**Nm-ti**, Conglomerados con clastos de volcánicos y matriz arenosa de color rojo intercalado con arenas rojas y verdes

**Nm-ayi**, Secuencia sedimentaria de color amarillento, conformada mayormente por estratos de arena y limos, resultantes de erosión de rocas piroclásticas, se encuentran también intercalaciones de conglomerados con clastos de naturaleza volcánica.

**El Miembro Superior está formado por:**

**Ppe-ti**, areniscas con laminación sesgada intercalada con limos y lutitas de color rojo.

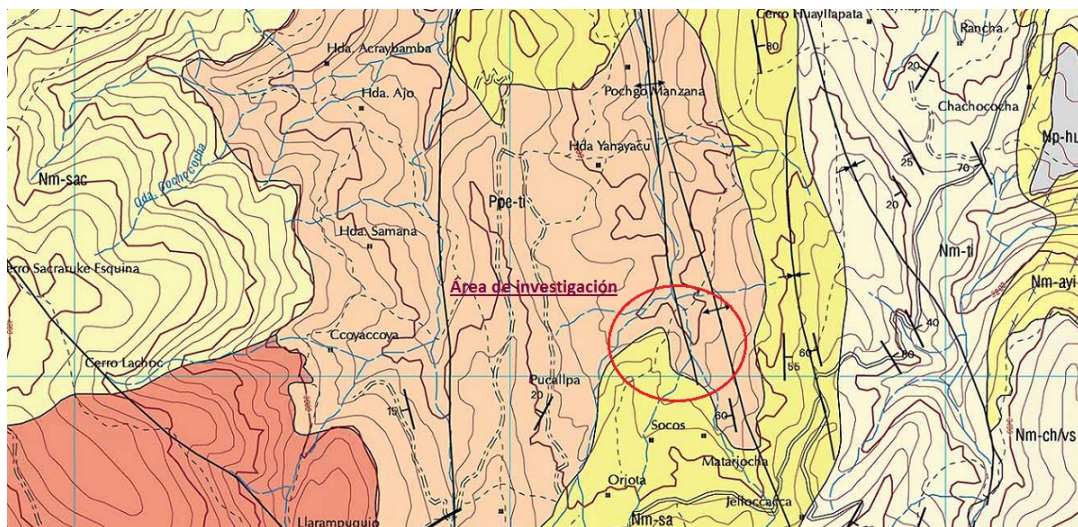


Figura 4.1: Geología de la Comunidad Campesina de Pucaloma y Yanayacu

### Edad y Correlación.

En la publicación de INGEMMET, hace referencia que la edad y correlación de la Formación Ayacucho con referencia a la Formación Socos es:

Esta unidad es probablemente más equivalente a las capas rojas de la Formación Tambo, que descansan discordemente sobre el Grupo Mitú al Noroeste de Ayacucho.

Esta secuencia se habría depositado en el Eoceno inferior a medio y posteriormente plegado en el Eoceno superior por la fase tectónica “Inca”.





Figura 4.2: Formaciones de Socos.

Fuente: [Morche, 1995]

## 4.2. Características de las calicatas

Los suelos presentan las siguientes características:

### **Calicata N° 01**

Localización : Coordenadas UTM: 8539522 Vía Vecinal Comunidad Pucaloma - Comunidad Yanayacu.

Profundidad de la muestra : 1.50 m

Descripción de la muestra : Arcilla color marrón rojizo .

Tipo de suelo : SC

Tipo de muestreo : Alterado

### **Calicata N° 02**

Localización : Coordenadas UTM: 8540378 Vía Vecinal Comunidad Pucaloma - Comunidad Yanayacu.

Profundidad de la muestra : 1.50 m

Descripción de la muestra : Arcilla color rojo.

Tipo de suelo : CL

Tipo de muestreo : Alterado

**Calicata N° 03**

Localización : Coordenadas UTM: 8541331 Vía Vecinal Comunidad Pucaloma - Comunidad Yanayacu.

Profundidad de la muestra : 1.50 m

Descripción de la muestra : Arcilla color rojo.

Tipo de suelo : CL

Tipo de muestreo : Alterado

**Calicata N° 04**

Localización : Coordenadas UTM: 8542191 Vía Vecinal Comunidad Pucaloma - Comunidad Yanayacu.

Profundidad de la muestra : 1.50 m

Descripción de la muestra : Arcilla color marrón claro.

Tipo de suelo : CL

Tipo de muestreo : Alterado

## 4.3. Características de la granulometría

Análisis Granulométrico por Tamizado MTC E 107-2000.

**Referencia Normativa**

- ASTM D 422.
- AASHTO T 88.

**Muestra N° 01 (Calicata N°01 - SC)**

El porcentaje de material que pasa por la malla N° 200 es de 25.14% correspondiendo a suelos arena arcillosa según la clasificación SUCS, con un límite líquido de 32.91%, límite plástico de 21.43% y un índice plástico de 11.19%; de nuestro caso para tener un L.L. menor a 50% corresponde a arenas arcillosas muy finas de baja plasticidad. Ver (Anexo A- N°1 y D- N°13)

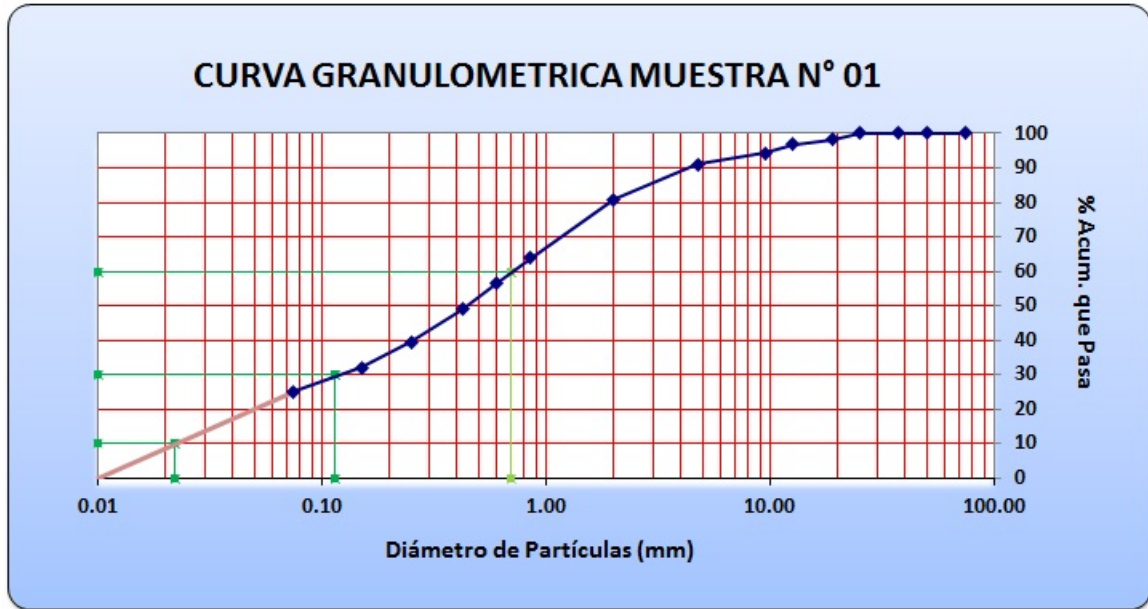


Figura 4.3: Curva granulométrica (Lab. Geotecnia e Ingeniería, 2018).

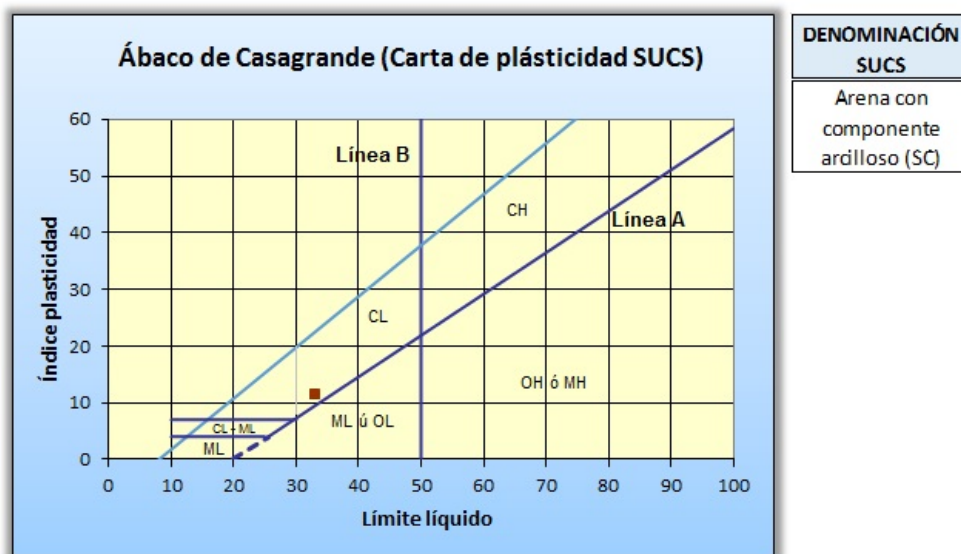


Figura 4.4: Carta de plasticidad SUCS Muestra N°01 (Elaboración propia, 2018).



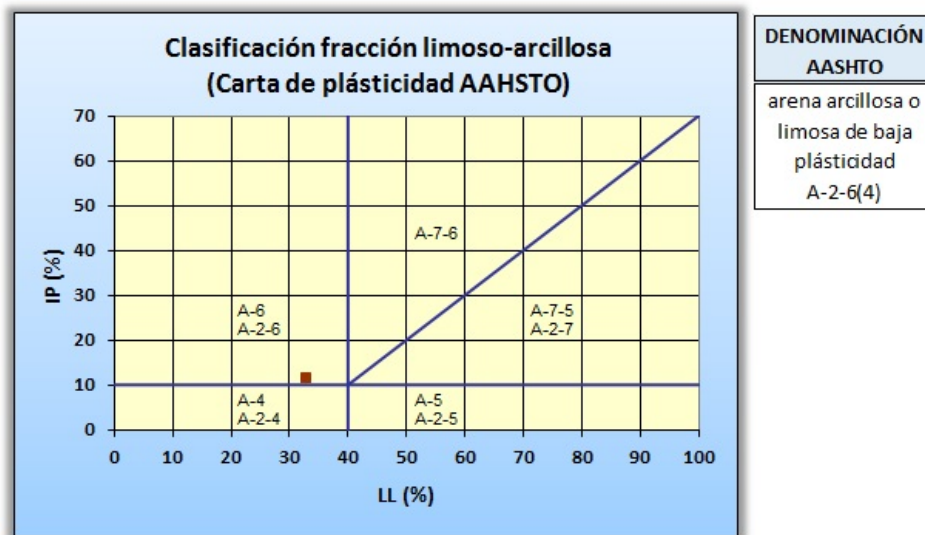


Figura 4.5: Carta de plasticidad AASHTO Muestra N°01 (Elaboración propia, 2018).

#### Muestra N° 02 (Calicata N°02 - CL)

El porcentaje de material que pasa por la malla N° 200 es de 76.54% correspondiendo a suelos finos según la clasificación SUCS, con un límite líquido de 34.44%, límite plástico de 21.76% y un índice plástico de 12.68%; de nuestro caso para tener un L.L. menor a 50% corresponde a una arcilla inorgánica de baja a mediana plasticidad. Ver (Anexo A- N°2 y Anexo D- N°14)

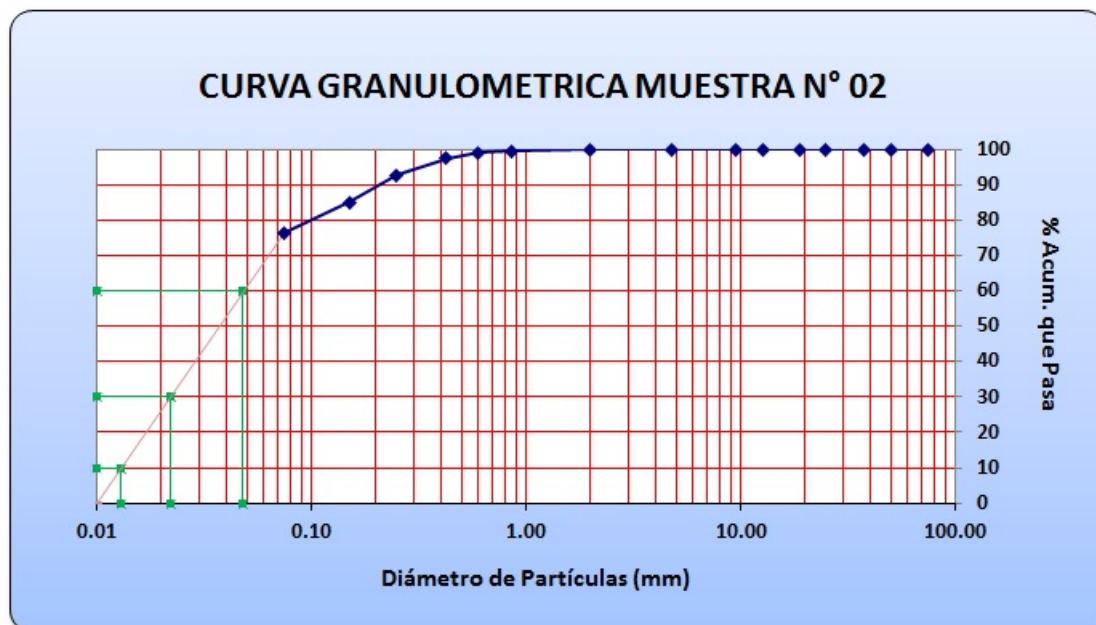


Figura 4.6: Curva granulométrica (Lab. Geotecnia e Ingeniería, 2018).

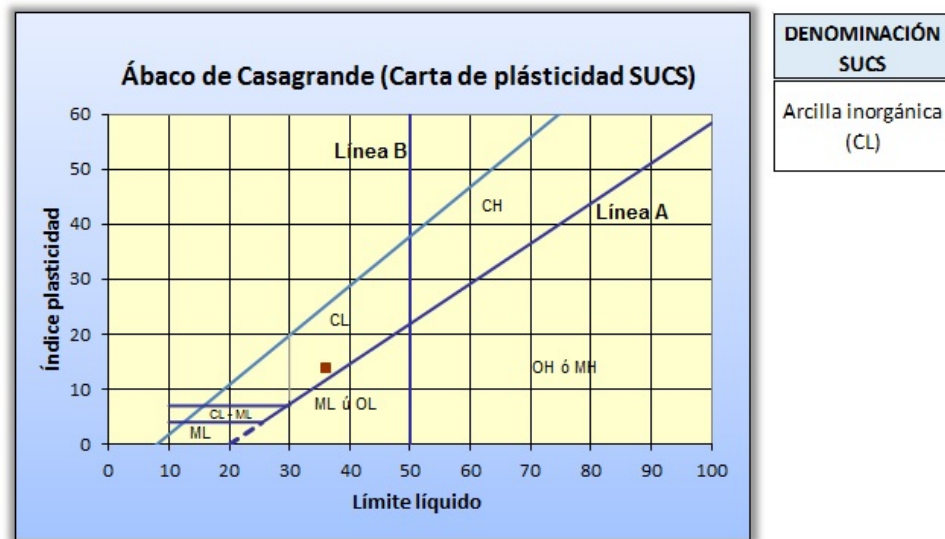


Figura 4.7: Carta de plasticidad SUCS Muestra N°02 (Elaboración propia, 2018).

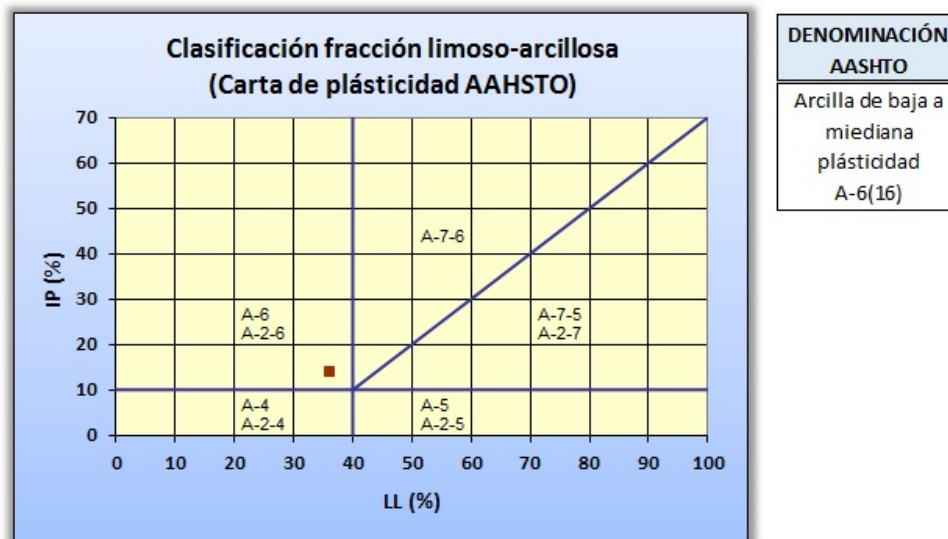


Figura 4.8: Carta de plasticidad AASHTO Muestra N°02 (Elaboración propia, 2018).

#### Muestra N° 03 (Calicata N°03 - CL)

El porcentaje de material que pasa por la malla N° 200 es de 67.78% correspondiendo a suelos finos según la clasificación SUCS, con un límite líquido de 33.12%, límite plástico de 16.23% y un índice plástico de 16.88%; de nuestro caso para tener un L.L. menor a 50% corresponde a una arcilla inorgánica de baja a mediana plasticidad. Ver (Anexo A- N°3 y Anexo D- N°15)

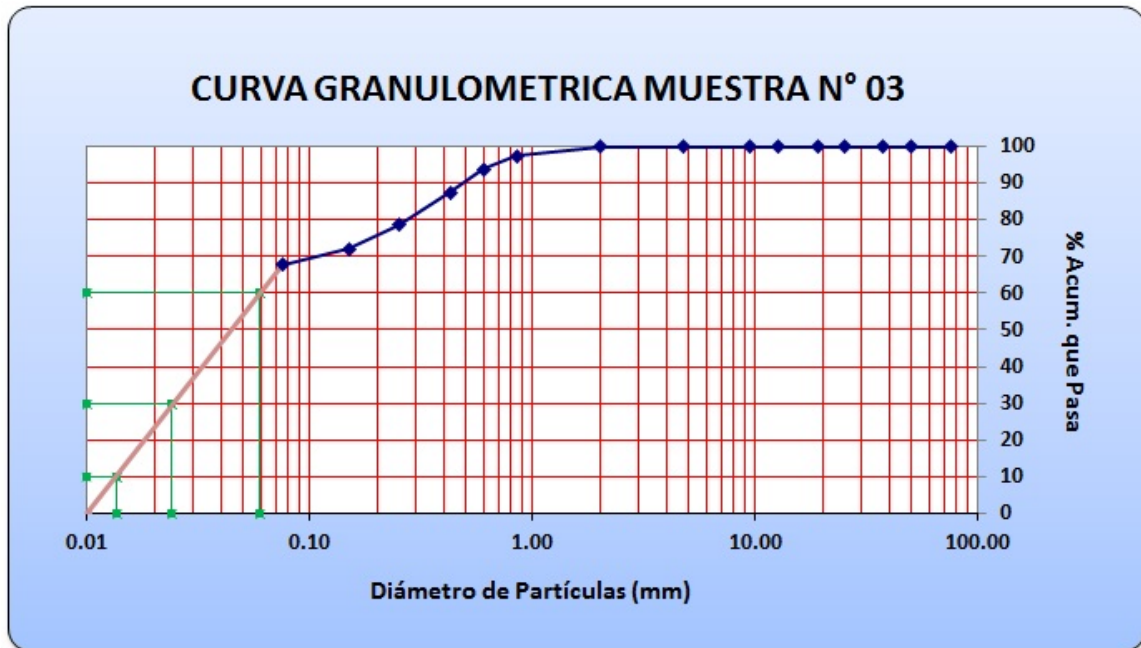


Figura 4.9: Curva granulométrica (Lab. Geotecnia e Ingeniería, 2018).

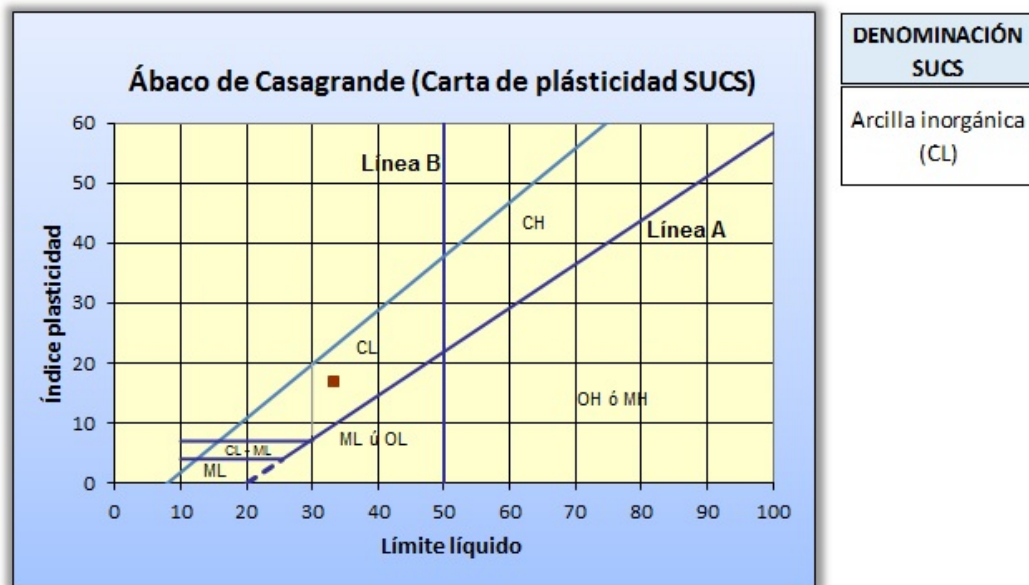


Figura 4.10: Carta de plasticidad SUCS Muestra N°03 (Elaboración propia, 2018).

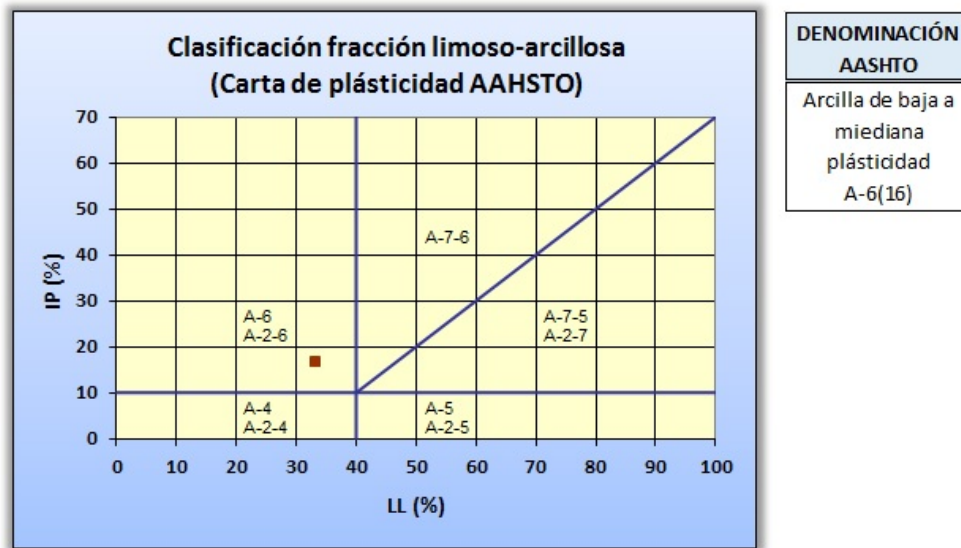


Figura 4.11: Carta de plasticidad AASHTO Muestra N°03 (Elaboración propia, 2018).

#### Muestra N° 04 (Calicata N°04 - CL)

El porcentaje de material que pasa por la malla N° 200 es de 77.41 % correspondiendo a suelos finos según la clasificación SUCS, con un límite líquido de 43.56 %, límite plástico de 23.37 % y un índice plástico de 20.19 %; de nuestro caso para tener un L.L. mayor a 50 % corresponde a una arcilla inorgánica de alta plasticidad. Ver (Anexo A- N°4 y Anexo D- N°16)

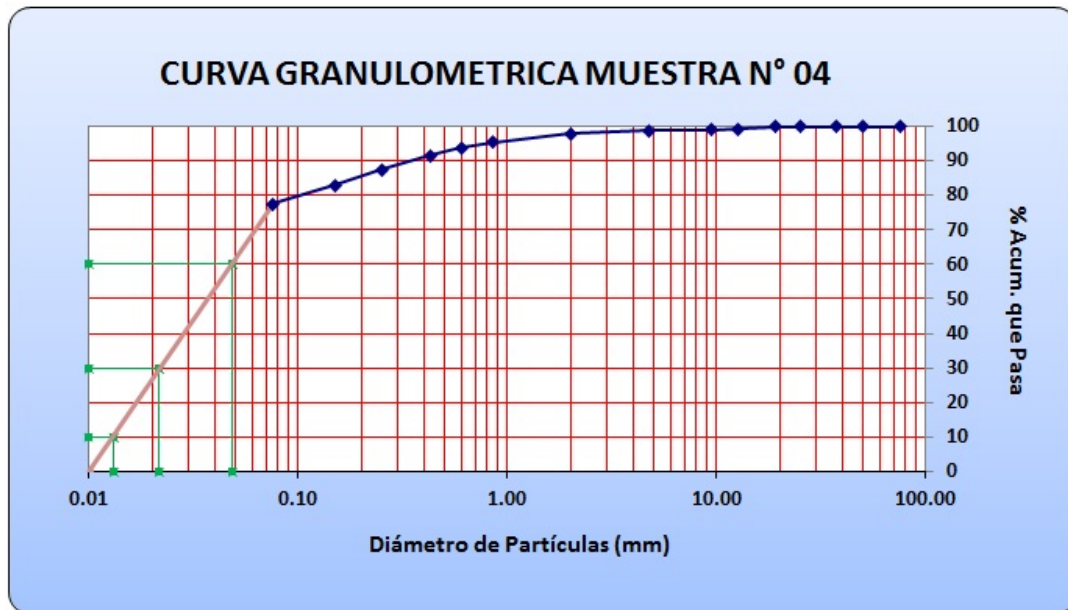


Figura 4.12: Curva granulométrica (Lab. Geotecnia e Ingeniería, 2018).

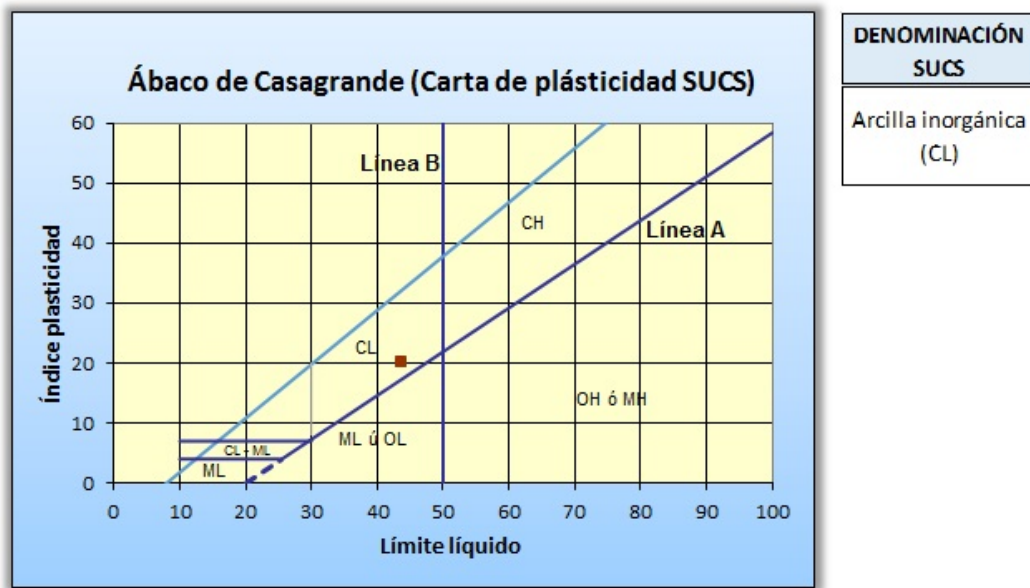


Figura 4.13: Carta de plasticidad SUCS Muestra N°04 (Elaboración propia, 2018).

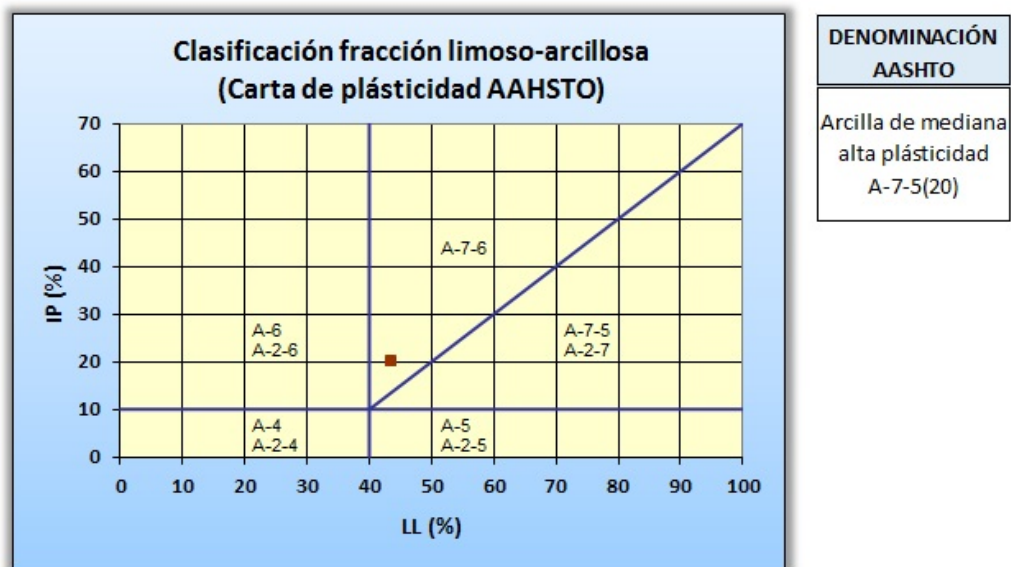


Figura 4.14: Carta de plasticidad AASHTO Muestra N°04 (Elaboración propia, 2018).

El resumen de la distribución granulométrica de las cuatro muestras trabajadas se resumen en el cuadro N° 4.1.



Cuadro 4.1: Resumen de la distribución granulométrica.

| DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA POR TAMIZADO |        |        |        |        |
|------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Muestra                                  | M - 01 | M - 02 | M - 03 | M - 04 |
| % FINOS :                                | 25.14  | 76.54  | 67.78  | 77.41  |
| % ARENA:                                 | 65.87  | 23.46  | 32.22  | 21.26  |
| % GRAVA:                                 | 8.99   | 0.00   | 0.00   | 1.33   |

De la muestra para la granulometría se determinó la humedad natural para las cuatro muestras de suelo, obteniendo los resultados que se muestra en el cuadro 4.2 y los resultados se adjuntan en el Anexo A- N° 1, 2, 3 y 4.

Cuadro 4.2: Resumen de contenido de humedad natural.

| HUMEDAD NATURAL |        |        |        |        |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| Muestra         | M - 01 | M - 02 | M - 03 | M - 04 |
| % w :           | 9.09   | 13.44  | 10.10  | 17.19  |

## 4.4. Características de los límites de consistencia

### Referencia Normativa

- NTP 339.129.
- ASTM D-4318.

En los ensayos para determinar los límites de Atterberg se realizaron para las cuatro muestras de suelo, para determinar Límite líquido, plástico y obtuvieron los siguientes valores como se muestra en el cuadro 4.3 y cuadro 4.4 respectivamente. Ver (Anexo B- N° 5, 6, 7 y 8) y (Anexo D- N° 13, 14, 15 y 16)

Cuadro 4.3: Resumen de contenido de límite líquido.

| LÍMITE LÍQUIDO |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|
| Muestra        | M - 01 | M - 02 | M - 03 | M - 04 |
| L.L. (%) :     | 32.91  | 34.44  | 33.12  | 43.56  |

Cuadro 4.4: Resumen de contenido de límite plástico.

| LÍMITE PLÁSTICO |        |        |        |        |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| Muestra         | M - 01 | M - 02 | M - 03 | M - 04 |
| L.P. (%) :      | 21.43  | 21.76  | 16.23  | 23.37  |

De los valores obtenidos en los ensayos de L.L. Y L.P. se determinó el Índice de Plasticidad mediante la ecuación 4.4.1, los resultados se muestran en el siguiente cuadro 4.5.

$$I.P. = L.L. - L.P. \quad (4.4.1)$$

Cuadro 4.5: Resumen de contenido de Índice de Plasticidad.

| ÍNDICE DE PLASTICIDAD |        |        |        |        |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|
| Muestra               | M - 01 | M - 02 | M - 03 | M - 04 |
| I.P. (%) :            | 11.49  | 12.68  | 16.88  | 20.19  |

Según el SUCS y AASHTO la clasificación que se determinó se muestra en el cuadro 4.6.

Cuadro 4.6: Clasificación según SUCS Y AASHTO.

| CLASIFICACIÓN DE SUELOS |          |          |          |                                     |                                                       |
|-------------------------|----------|----------|----------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Muestra                 | L.L. (%) | L.P. (%) | I.P. (%) | SUCS                                | AASHTO                                                |
| M - 01                  | 32.91    | 21.43    | 11.49    | Arena con componente arcilloso (SC) | arena arcillosa o limosa de baja plasticidad A-2-6(4) |
| M - 02                  | 34.44    | 21.76    | 12.68    | Arcillas Inorgánicas (CL)           | Arcilla de mediana plasticidad A-6(16)                |
| M - 03                  | 33.12    | 16.23    | 16.88    |                                     |                                                       |
| M - 04                  | 43.56    | 23.37    | 20.19    |                                     | Arcilla de alta plasticidad A-7-5(20)                 |

## 4.5. Características de los límites de contracción

Contracción de los suelos MTC E 112-2000.

### Referencia Normativa

- NTP 339.140.
- ASTM D 427.

Para determinar los límites de contracción se realizaron ensayos para las cuatro muestras de suelo, para así determinar Límite de Contracción y se obtuvieron los siguientes valores como se muestra en el cuadro 4.9. Ver (Anexo E)

Cuadro 4.7: Resumen del ensayo de Límite de Contracción.

| LÍMITE DE CONTRACCIÓN SUELO NATURAL |        |        |        |        |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Muestra                             | M - 01 | M - 02 | M - 03 | M - 04 |
| L.C. (%) :                          | 12.31  | 14.02  | 10.60  | 10.20  |

| LÍMITE DE CONTRACCIÓN SUELO - POLÍMERO |        |        |        |        |
|----------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Muestra                                | M - 01 | M - 02 | M - 03 | M - 04 |
| L.C. (%) :                             | 5.88   | 7.41   | 5.40   | 6.40   |

## 4.6. Características de la gravedad específica de los sólidos de suelos

Gravedad específica de los sólidos MTC E 113-2000.

### Referencia Normativa.

- NTP 339.131.
- ASTM D 854-02.

En el cuadro 4.8 se puede observar los parámetros obtenidos del ensayo de Gravedad específica de los sólidos, para las cuatro muestras de suelos de esta investigación.



Cuadro 4.8: Resumen de Gravedad específica de los suelos.

| GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS |        |        |        |        |
|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Muestra                            | M - 01 | M - 02 | M - 03 | M - 04 |
| G.s. :                             | 2.68   | 2.68   | 2.76   | 2.65   |

Los resultados de granulometría por sedimentación se puede observar en el cuadro. Reemplazando en la ecuación (2.4.3) se obtiene la Actividad (A) de arcillas.

Cuadro 4.9: Actividad de las arcillas.

| ACTIVIDAD SUELO NATURAL |          |                                                     |           |                        |                                                                                                                                              |
|-------------------------|----------|-----------------------------------------------------|-----------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Muestra                 | I.P. (%) | Fracción de arcilla (%)<br>Ensayo por Sedimentación | Actividad | Arcilla                | Descripción                                                                                                                                  |
| M- 01                   | 11.49    | 32.4                                                | 0.355     | <b>ILLITA</b>          | Del cuadro 2.3 y de su I.P. se determina que la Muestra N° 01, contiene los minerales que componen una Illita                                |
| M- 02                   | 12.68    | 26.2                                                | 0.484     | <b>ILLITA</b>          | Del cuadro 2.3 y de su I.P. se determina que la Muestra N° 02, contiene los minerales que componen una Illita y sus características          |
| M- 03                   | 16.88    | 36.2                                                | 0.466     | <b>ILLITA</b>          | Del cuadro 2.3 y de su I.P. se determina que la Muestra N° 03, contiene los minerales que componen una Illita y sus características          |
| M- 04                   | 20.19    | 38.7                                                | 0.522     | <b>MONTMORILLONITA</b> | Del cuadro 2.3 y de su I.P. se determina que la Muestra N° 04, contiene los minerales que componen una Montmorillonita y sus características |

Determinado el valor de la Actividad de arcillas y del cuadro se determina se encuentra tres muestras N° 01, 02, 03 entre los rangos 0.3 a 0.9, con los rangos del cuadro 2.3 resulta que las arcillas presentan características de una arcilla del tipo Illita de mediana plasticidad, mientras que la Muestra N° 04 se encuentra entre los rangos 0.5 a 0.72; teniendo en cuenta los rangos del cuadro 2.3 resulta que la arcilla presenta las características de una arcilla del tipo Motmorillonita de plasticidad media a alta, tomando como referencia el cuadro 2.4.

A su vez se determinó la gravedad específica de la muestra, cuyos valores se observan en el cuadro 4.8, se encuentra entre en los rangos 2.65 y 2.80 del cuadro 2.5, se caracteriza dentro de una arcilla de tipo Illita para las Muestras N° 01, 02, 03 y 04, pero esta última con algunas características de la arcilla de tipo Montmorillonita.

## 4.7. Caracterización de la dosificación del suelo-polímero

La dosificación utilizada para las Calicatas extraídas de la carretera que conecta la vía vecinal de la Comunidad Campesina de Pucaloma y la Comunidad Campesina de Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu, fueron en porcentajes de acuerdo al peso de los materiales a estabilizar y de la cantidad de agua como: en el estado natural 0%, 6%, 8%, 10%, 12%, 14%, para hallar una densidad máxima seca (MDS) y el porcentaje óptimo de humedad (OCH).

### 4.7.1. Límites de consistencia suelo-polímero

Con la finalidad de determinar cambios en la consistencia del suelo debido a la utilización del polímero se optó por realizar los ensayos de límites de Atterberg con el suelo modificado. De esta manera se realizó de acuerdo a las normas de los ensayos de límite líquido y límite plástico, obteniéndose los resultados que se detallan a continuación. Ver (Anexo C- N° 9, 10, 11 y 12) y (Anexo D- N° 17, 18, 19 y 20)

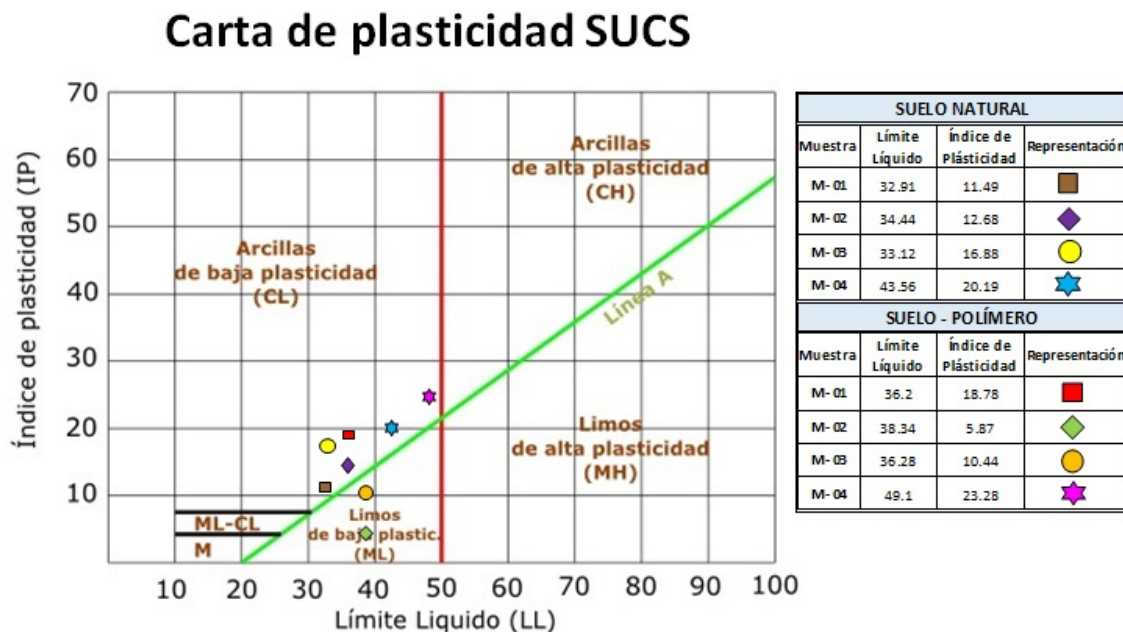


Figura 4.15: Carta de plasticidad SUCS (Elaboración propia, 2018).

## Carta de plasticidad AASHTO

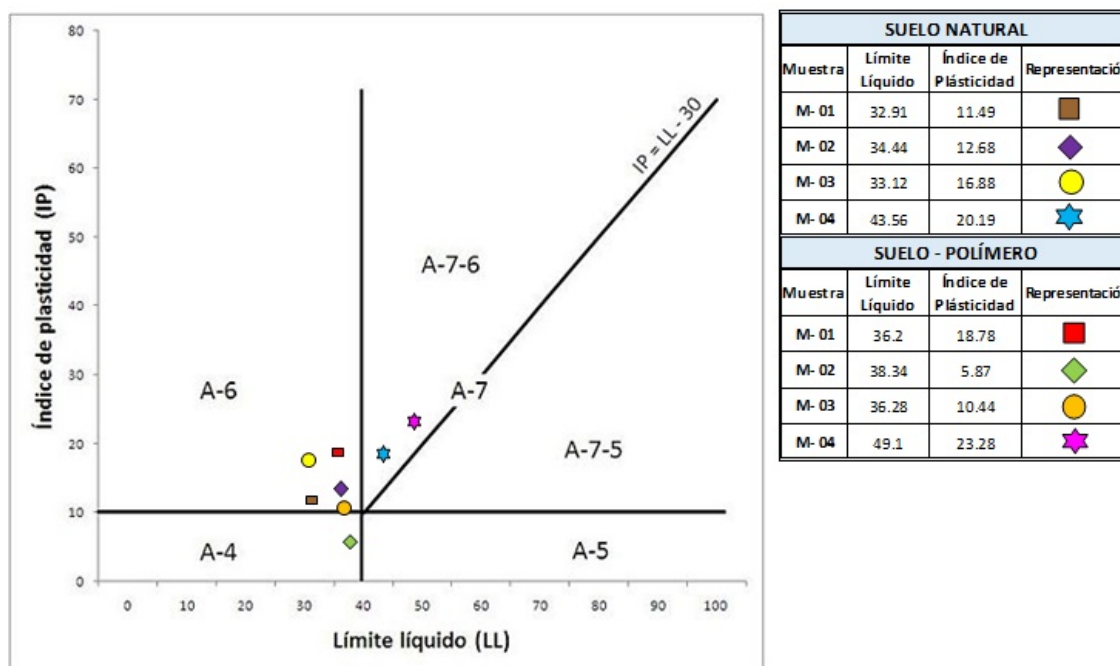


Figura 4.16: Carta de plasticidad AASHTO (Elaboración propia, 2018).

Cuadro 4.10: Cuadro de Límites de Atterberg.

| Muestra de suelo en estado natural. |                    |                     |                           |                    |                      |
|-------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------|--------------------|----------------------|
| MUESTRA                             | Límite líquido (%) | Límite Plástico (%) | Índice de plasticidad (%) | Clasificación SUCS | Clasificación AASHTO |
| Muestra - 01                        | 32.91              | 21.43               | 11.49                     | SC                 | A-2-6 (4)            |
| Muestra - 02                        | 34.44              | 21.76               | 12.68                     | CL                 | A-6 (16)             |
| Muestra - 03                        | 33.12              | 16.23               | 16.88                     | CL                 | A-6 (16)             |
| Muestra - 04                        | 43.56              | 23.37               | 20.19                     | CL                 | A-7-5 (20)           |

| Muestra de suelo mezcla Suelo-Polímero. |                    |                     |                           |                    |                      |
|-----------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------|--------------------|----------------------|
| MUESTRA                                 | Límite líquido (%) | Límite Plástico (%) | Índice de plasticidad (%) | Clasificación SUCS | Clasificación AASHTO |
| Muestra - 01                            | 36.20              | 17.42               | 18.78                     | SC                 | A-2-6 (1)            |
| Muestra - 02                            | 38.34              | 32.47               | 5.87                      | ML                 | A-4                  |
| Muestra - 03                            | 36.28              | 25.83               | 10.44                     | ML                 | A-4 (2)              |
| Muestra - 04                            | 49.10              | 25.82               | 23.28                     | CL                 | A-7-5 (4)            |

### 4.7.2. Próctor modificado Método A, suelo-polímero (MDS, OCH)

**Muestra N° 01 a estabilizar de tipo SC (Arena arcillosa de baja a media plasticidad), parámetros MDS, OCH con 0%, 10%, 12%, 14% de polímero**

Para la muestra n° 01 se pesó aproximadamente 25 kg., para cada molde se utilizó 5 kg de la muestra de suelo, para ser dosificados con porcentajes de 0%, 10%, 12%, 14% de polímero, estos porcentajes se adicionan al porcentaje de agua para su mezcla.

- Para la compactación realizada de la muestra se observa que el incremento en un 10% de Polímero al suelo, el valor de la MDS disminuye ligeramente al valor del suelo natural de 1.904 a 1.900 gr/cm<sup>3</sup>, para OCH también disminuye en comparación al espécimen de suelo natural, como se puede apreciar en la figura N° 4.17.

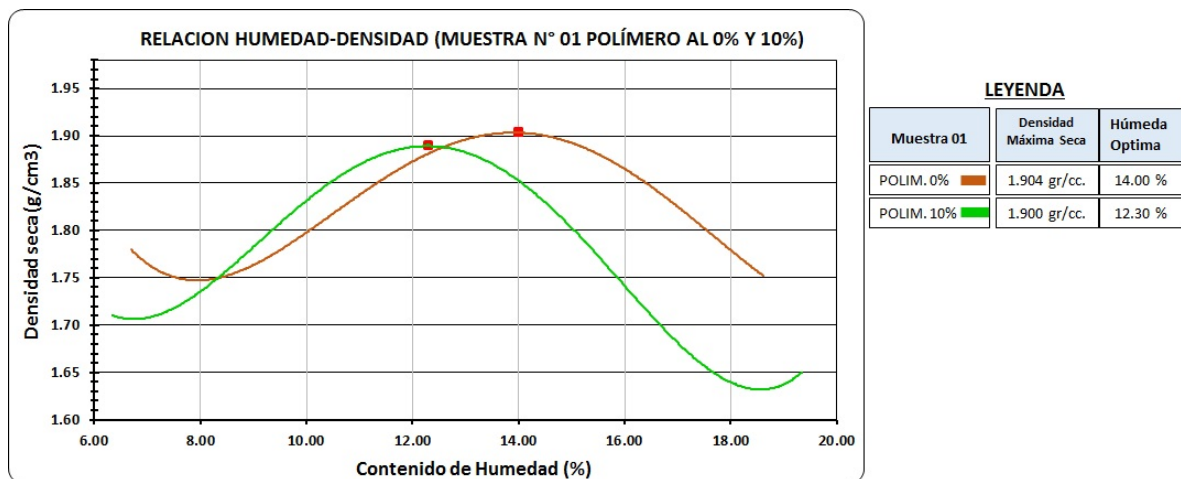


Figura 4.17: Curva de compactación, Muestra N°01 polímero al 0% y 10% (Elaboración propia, 2018).

- Luego al incrementar en un 12% de porcentaje de Polímero al suelo, el valor de la MDS tiende a superar al valor del suelo natural de 1.904 a 1.931 gr/cm<sup>3</sup>, en donde el OCH tiende a disminuir también de 14.00% a 12.70%, como se puede apreciar en la figura N° 4.18.

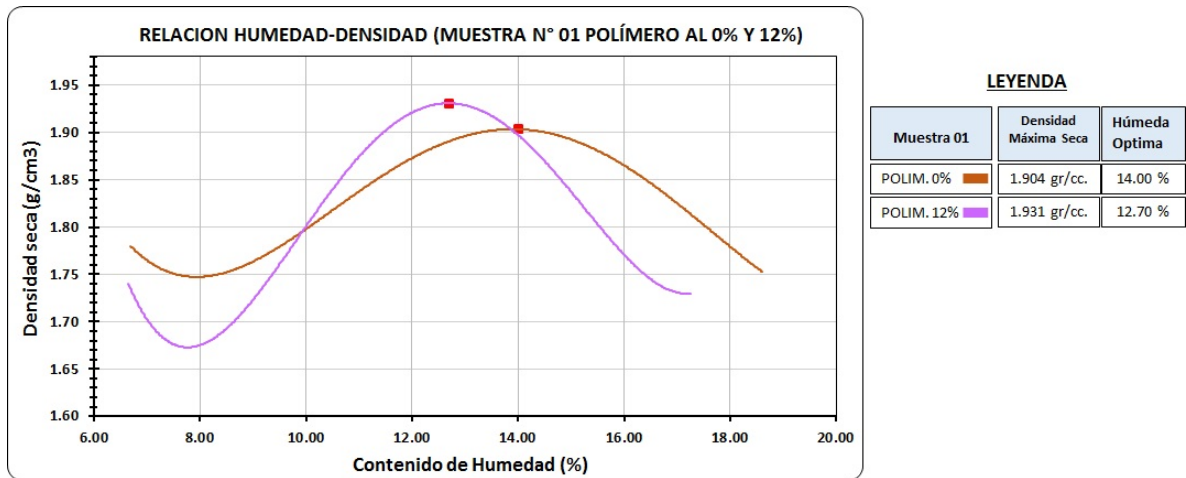


Figura 4.18: Curva de compactación, Muestra N°01 polímero al 0% y 12% (Elaboración propia, 2018).

- Posteriormente al incrementar en un 14% de porcentaje de Polímero al suelo, el valor de la MDS disminuye hasta un 1.881 gr/cm<sup>3</sup> y el OCH se observa que empieza a ascender en un 14.90% con respecto al natural, como se puede apreciar en la figura N° 4.19.

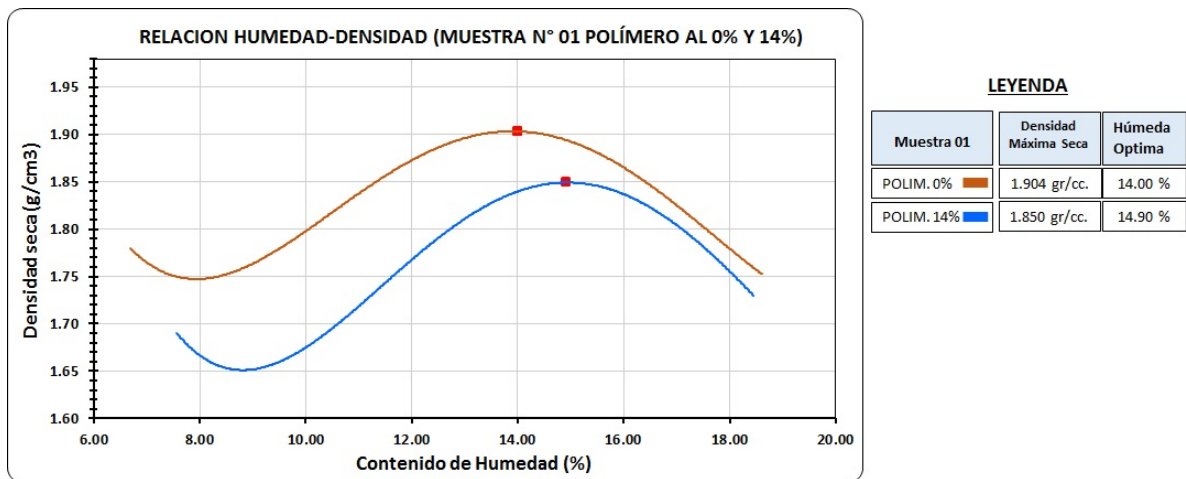
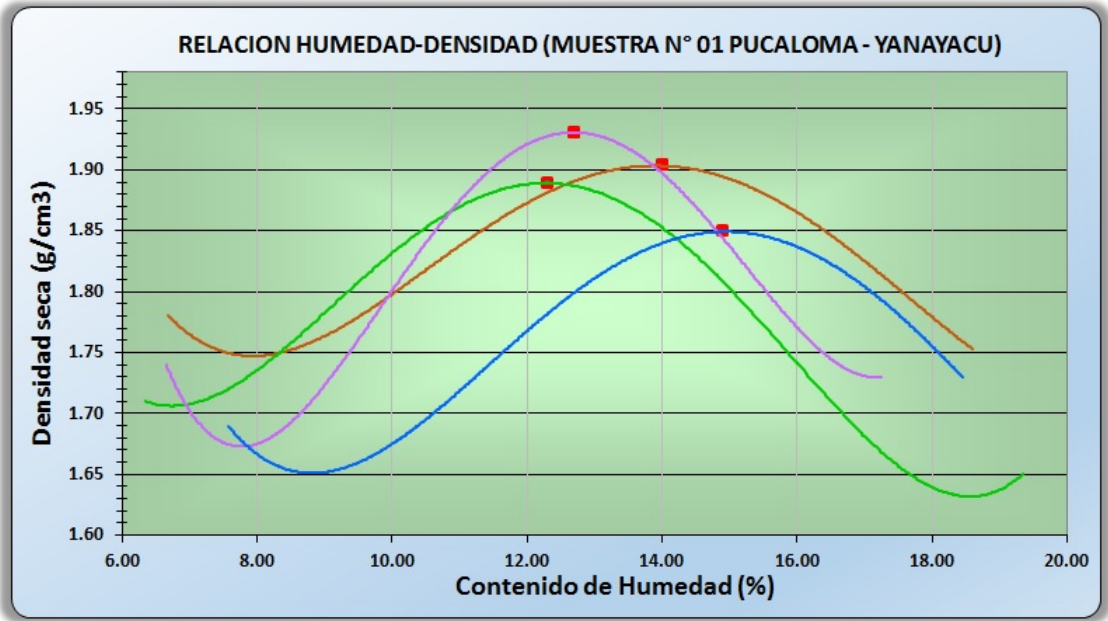


Figura 4.19: Curva de compactación, Muestra N°01 polímero al 0% y 14% (Elaboración propia, 2018).

Para tener idea del desarrollo total del suelo natural frente al suelo Polímero ver la figura 4.20 y el cuadro N° 4.11 en donde se muestran las curvas de compactación realizadas con el ensayo de Próctor Modificado método A. (Ver anexo G- N°33, 34)



**LEYENDA**

| Muestra         | Densidad<br>Máxima<br>Óptima | Húmeda<br>Óptima |
|-----------------|------------------------------|------------------|
| M-01 POLIM. 0%  | 1.904 gr/cc.                 | 14.00 %          |
| M-01 POLIM. 10% | 1.900 gr/cc.                 | 12.30 %          |
| M-01 POLIM. 12% | 1.931 gr/cc.                 | 12.70 %          |
| M-01 POLIM. 14% | 1.850 gr/cc.                 | 14.90 %          |

Figura 4.20: Curva de compactación Próctor Modificado (Elaboración propia, 2018).

Cuadro 4.11: Curva de compactación para los porcentajes de polímero (Muestra N° 01).

| Descripción                               | Tipo | Densidad<br>Máxima Óptima | Humedad<br>Óptima |
|-------------------------------------------|------|---------------------------|-------------------|
| Curva de compactación estado natural      |      | 1.904 gr/cc.              | 14.00 %           |
| Curva de compactación con 10% de Polímero |      | 1.900 gr/cc.              | 12.30 %           |
| Curva de compactación con 12% de Polímero |      | 1.931 gr/cc.              | 12.70 %           |
| Curva de compactación con 14% de Polímero |      | 1.850 gr/cc.              | 14.90 %           |



**Muestra N° 02 a estabilizar de tipo CL (Arcilla de media plasticidad), parámetros MDS, OCH con 0%, 6%, 8%, 10% de polímero**

Para cada muestra se pesó 25 kg. que para cada molde se utilizó 5 kg de la muestra de tipo CL, que para los porcentajes de 6%, 8% y 10% del total del material se obtuvieron los siguientes pesos de polímero 0.18 kg, 0.24 kg, 0.30 kg, estos pesos se adicionaron a la muestra de suelos.

- Para la compactación realizada en esta muestra se observa que el incremento de un 6% de porcentaje de Polímero al suelo, el valor de la MDS tiende a superar al valor del suelo natural de 1.733 a 1.767 gr/cm<sup>3</sup>, pero el OCH se mantiene en 17.80%, igual al espécimen de la muestra de suelo natural (0% Polímero), como se puede apreciar en la figura N° 4.21.

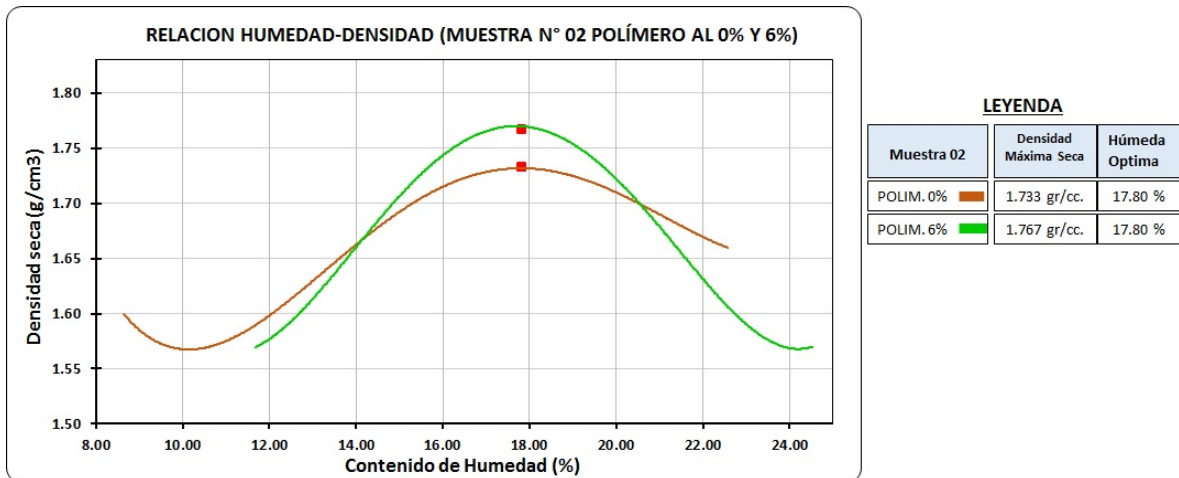


Figura 4.21: Curva de compactación, Muestra N°02 polímero al 0% y 6% (Elaboración propia, 2018).

- Seguidamente al incrementar en un 8% de porcentaje de Polímero al espécimen, el valor de la MDS tiende a superar también al valor del suelo natural de 1.733 a 1.780 gr/cm<sup>3</sup>, pero en este caso ya el OCH tiende a disminuir de 17.80% a 14.60%, con respecto al espécimen natural, como se puede apreciar en la figura N° 4.22.

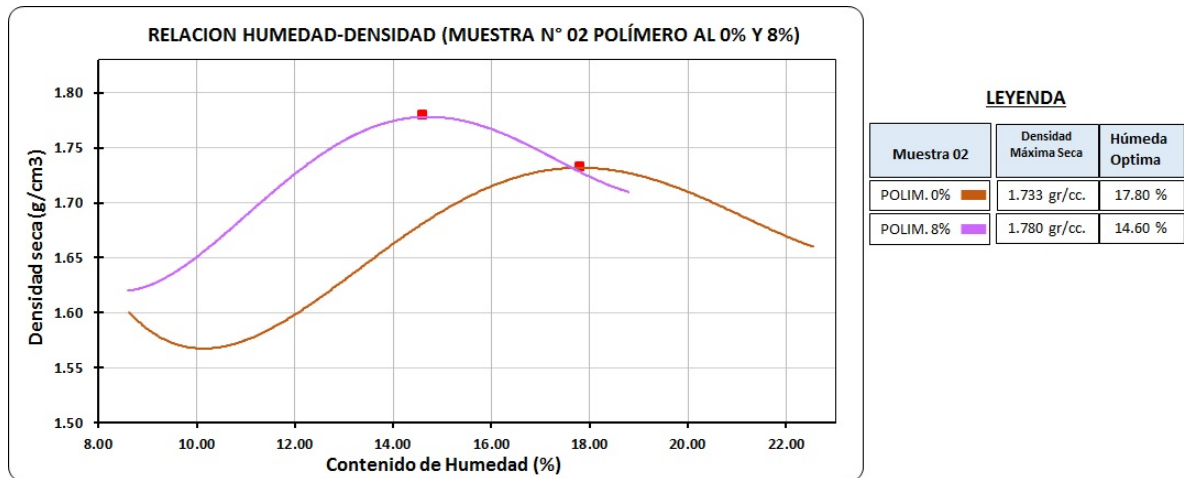


Figura 4.22: Curva de compactación, Muestra N°02 polímero al 0% y 8% (Elaboración propia, 2018).

- Finalmente al incrementar en un 10% de porcentaje de Polímero al suelo, el valor de la MDS disminuye hasta un 1.768 gr/cm<sup>3</sup> haciéndose menos denso y el OCH se incrementa en un 16.20%, ambos con respecto al espécimen en estado natural (0% Polímero), como se puede apreciar en la figura N° 4.23

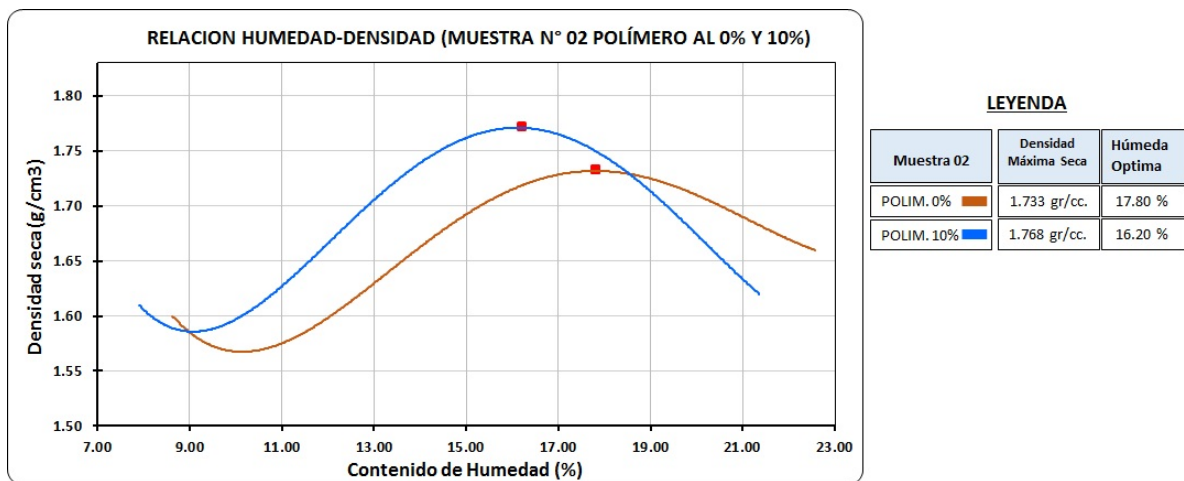


Figura 4.23: Curva de compactación, Muestra N°02 polímero al 0% y 10% (Elaboración propia, 2018).

Se puede observar en la figura 4.24 y el cuadro N° 4.12 un consolidado de lo que se detallo.  
(Ver anexo G- N°35, 36)



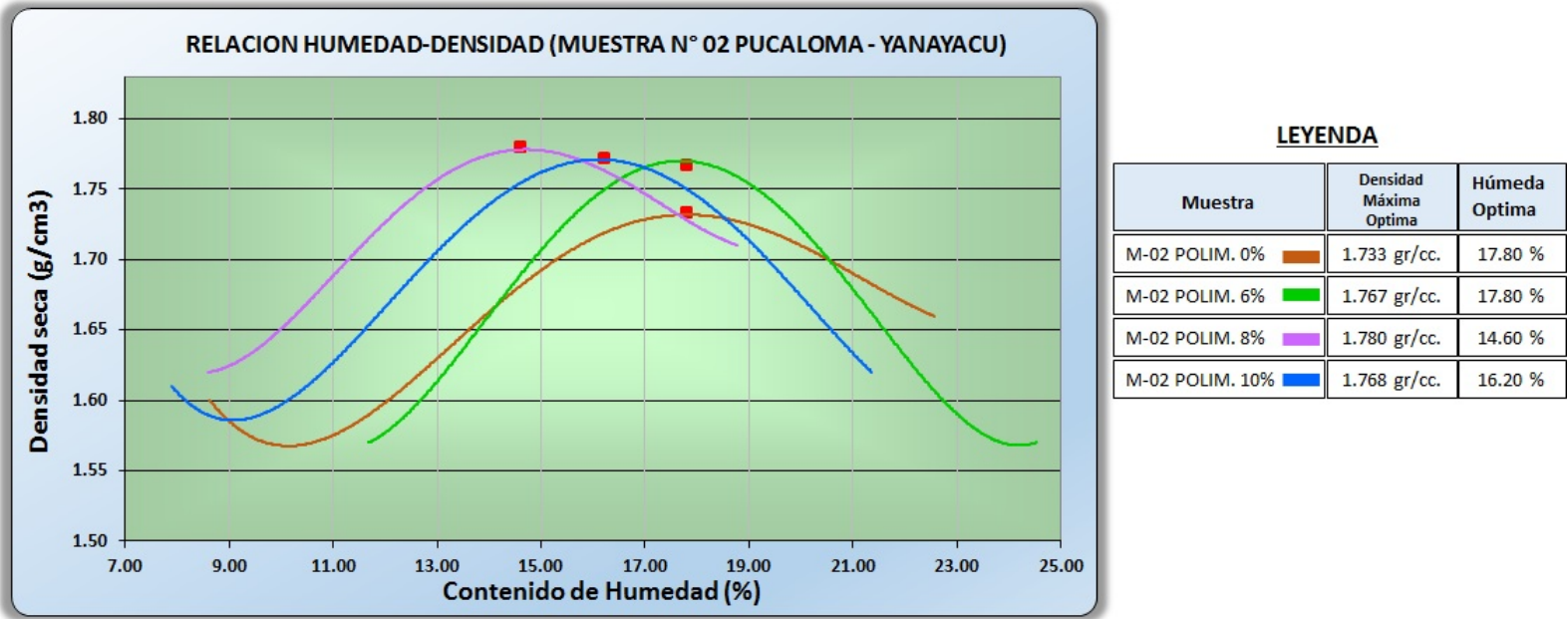


Figura 4.24: Curva de compactación Próctor Modificado (Elaboración propia, 2018).

Cuadro 4.12: Curva de compactación para los porcentajes de polímero (Muestra N° 02).

| Descripción                               | Tipo | Densidad<br>Máxima Óptima | Humedad<br>Óptima |
|-------------------------------------------|------|---------------------------|-------------------|
| Curva de compactación estado natural      |      | 1.733 gr/cc.              | 17.80 %           |
| Curva de compactación con 6% de Polímero  |      | 1.767 gr/cc.              | 17.80 %           |
| Curva de compactación con 8% de Polímero  |      | 1.780 gr/cc.              | 14.60 %           |
| Curva de compactación con 10% de Polímero |      | 1.768 gr/cc.              | 16.20 %           |

**Muestra N° 03 a estabilizar de tipo CL (Arcilla de media plasticidad), parámetros MDS, OCH con 0%, 10%, 12%, 14% de polímero**

Para cada muestra n° 03, se pesó 25 kg. que para cada molde se utilizó 5 kg de la muestra de tipo CL, que para los porcentajes de 10%, 12% y 14% del total del material se obtuvieron los siguientes pesos de polímero 0.28 kg, 0.34 kg, 0.40 kg, estos pesos se adicionaron a la muestra de suelos.

- Para el proceso compactación realizada en esta muestra se observa que el incremento de un 10% de porcentaje de Polímero al suelo, el valor de la MDS tiende a superar al valor del suelo natural de 1.833 a 1.860 gr/cm<sup>3</sup>, de la misma forma se hizo el control del OCH y se observa que tiene una caída de 17.40% en estado natural a 15.20%, como se puede apreciar en la figura N° 4.25.

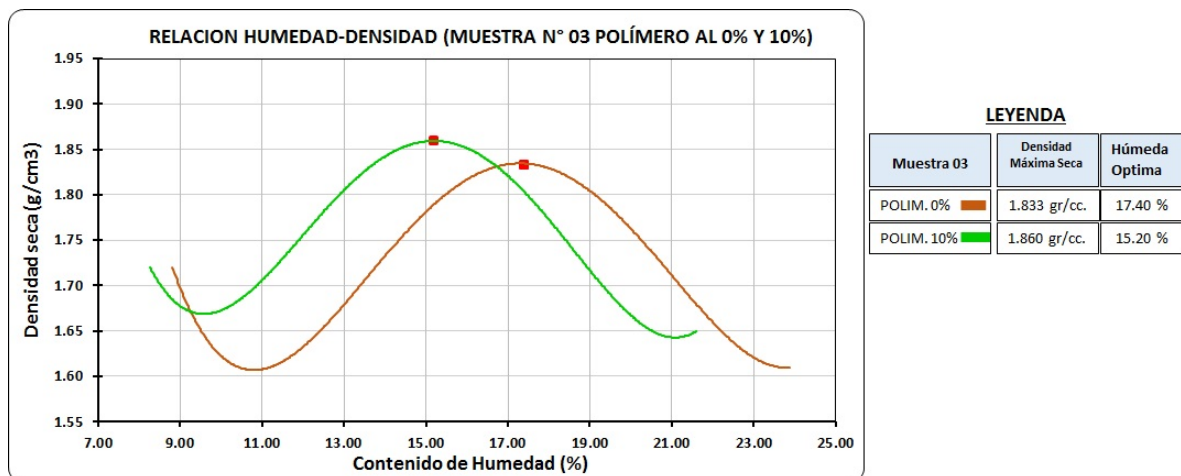


Figura 4.25: Curva de compactación, Muestra N°03 polímero al 0% y 10% (Elaboración propia, 2018).

- Luego al incrementar en un 12% de porcentaje de Polímero al espécimen, el valor de la MDS tiende a acrecentar con respecto al valor del suelo natural de un 1.833 a 1.893 gr/cm<sup>3</sup>, convirtiéndolo en más denso, al igual que en el caso anterior el OCH tiende a disminuir también de 17.40% a 13.30%), como se puede apreciar en la figura N° 4.26

#### 4.7. Caracterización de la dosificación del suelo-polímero

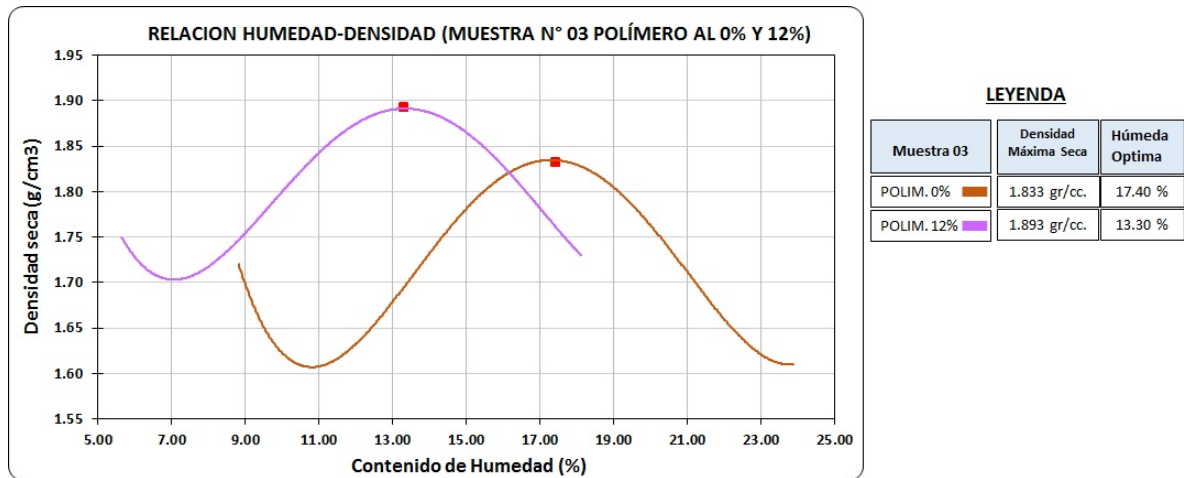


Figura 4.26: Curva de compactación, Muestra N°03 polímero al 0% y 12% (Elaboración propia, 2018).

- Finalmente al incrementar en un 14% de Polímero al suelo, el valor de la MDS sufre una caída hasta un 1.881 gr/cm<sup>3</sup> y el OCH sigue disminuyendo en un 12.80% con referencia a un 17.40% de su estado natural, como se puede apreciar en la figura N° 4.27

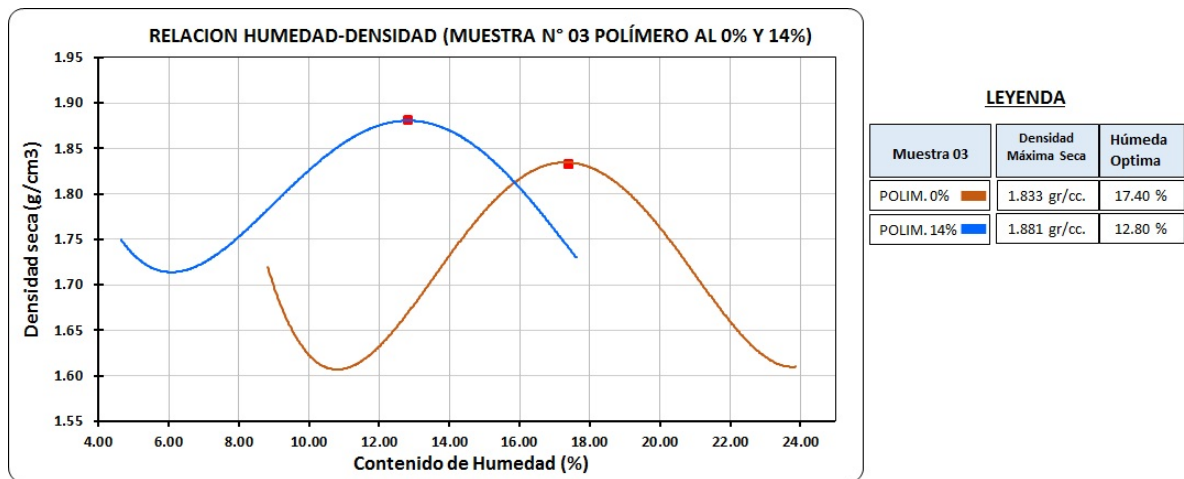


Figura 4.27: Curva de compactación, Muestra N°03 polímero al 0% y 14% (Elaboración propia, 2018).

Un consolidado de lo desarrollado se observa en la figura N° 4.28 y el cuadro N° 4.13 en donde se muestran las curvas de compactación realizadas con el ensayo de Próctor Modificado.

(Ver anexo G- N°37, 38)

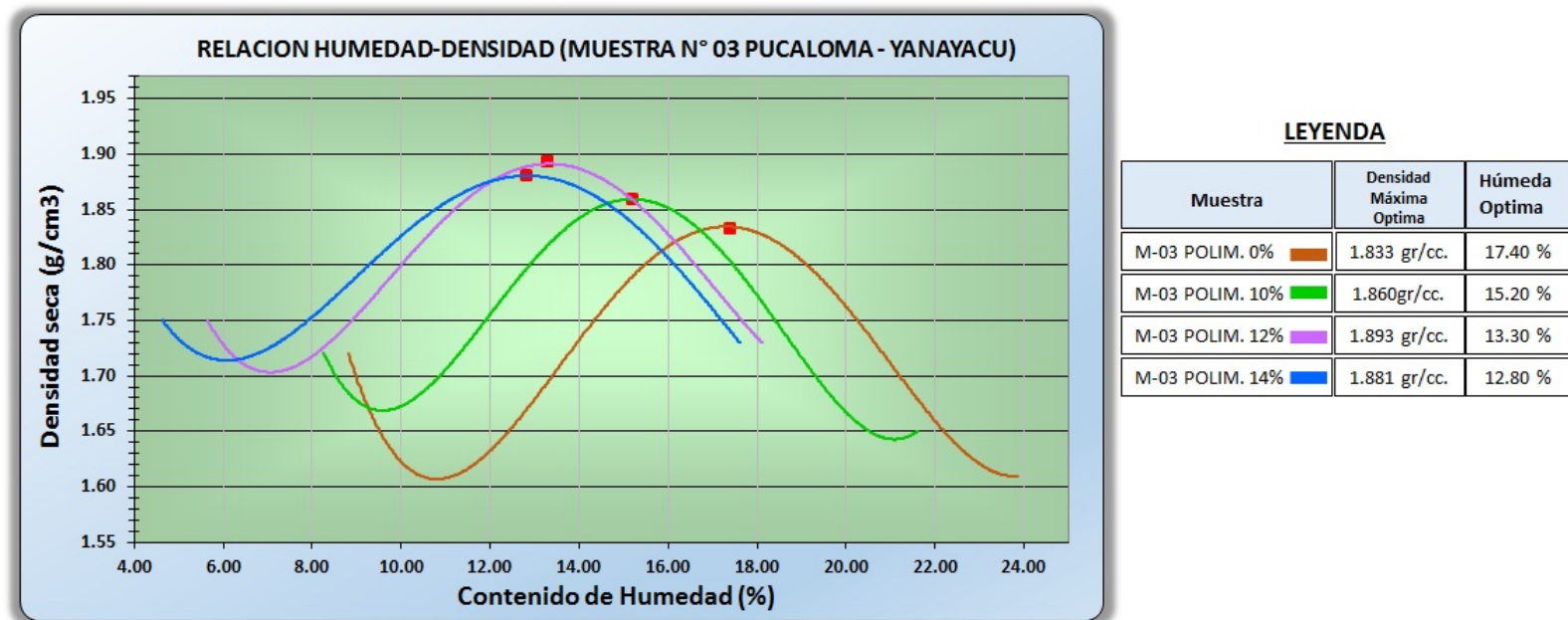


Figura 4.28: Curva de compactación Próctor Modificado (Elaboración propia, 2018).

Cuadro 4.13: Curva de compactación para los porcentajes de polímero (Muestra N° 03).

| Descripción                               | Tipo        | Densidad Máxima Optima | Humedad Optima |
|-------------------------------------------|-------------|------------------------|----------------|
| Curva de compactación estado natural      | <div></div> | 1.833 gr/cc.           | 17.40 %        |
| Curva de compactación con 10% de Polímero | <div></div> | 1.860 gr/cc.           | 15.20 %        |
| Curva de compactación con 12% de Polímero | <div></div> | 1.893 gr/cc.           | 13.30 %        |
| Curva de compactación con 14% de Polímero | <div></div> | 1.881 gr/cc.           | 12.80 %        |

**Muestra N° 04 a estabilizar de tipo CL (Arcilla de mediana a alta plasticidad), parámetros MDS, OCH con 0%, 8%, 10%, 12% de polímero**

Para cada muestra se pesó 25 kg. que para cada molde se utilizó 5 kg de la muestra de tipo CL, que para los porcentajes de 8%, 10% y 12% del total del material se obtuvieron los siguientes pesos de polímero 0.23 kg, 0.29 kg, 0.35 kg, estos pesos se adicionaron a la muestra de suelos.

- Ahora para el proceso de compactación realizada en esta muestra se observa que el incremento en un 8% de Polímero al suelo, el valor de la MDS tiende a superar al valor del suelo natural de 1.730 a 1.740 gr/cm<sup>3</sup>, aquí podemos ver que el aumento de la densidad es ligera, de igual manera en el OCH la disminución es mínima de 16.00% en estado natural a 15.90%, como se puede apreciar en la figura N° 4.29.

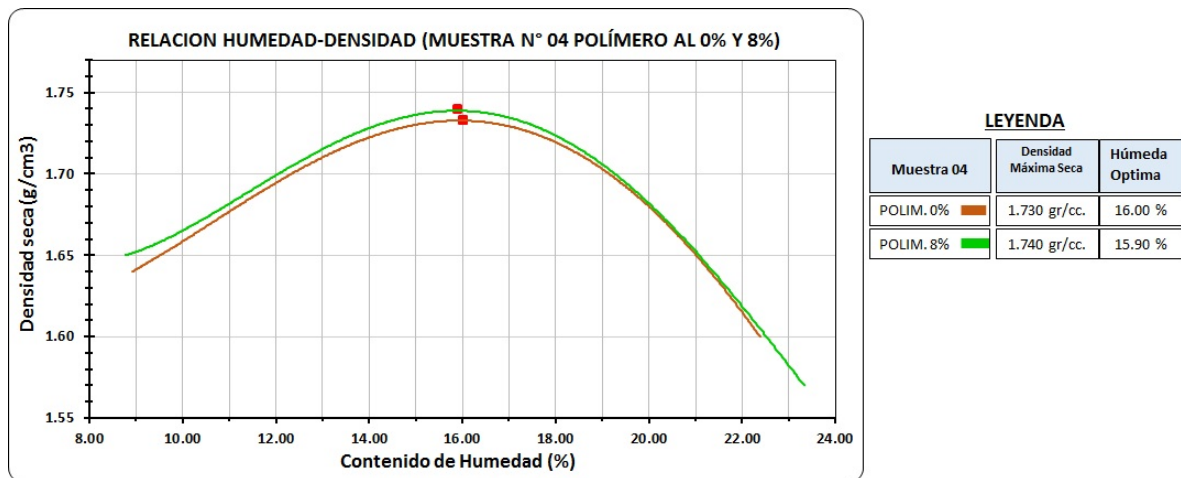


Figura 4.29: Curva de compactación, Muestra N°04 polímero al 0% y 8% (Elaboración propia, 2018).

- Después para el incrementar en un 10% de porcentaje de Polímero al espécimen, el valor de la MDS tiende a superar también al valor del suelo natural de 1.730 a 1.746 gr/cm<sup>3</sup>, pero ya es un aumento muy ligero, para el OCH tiende a disminuir también de 16.00% a 15.20%, de la misma forma el cambio es ligero, como se puede apreciar en la figura N° 4.30.

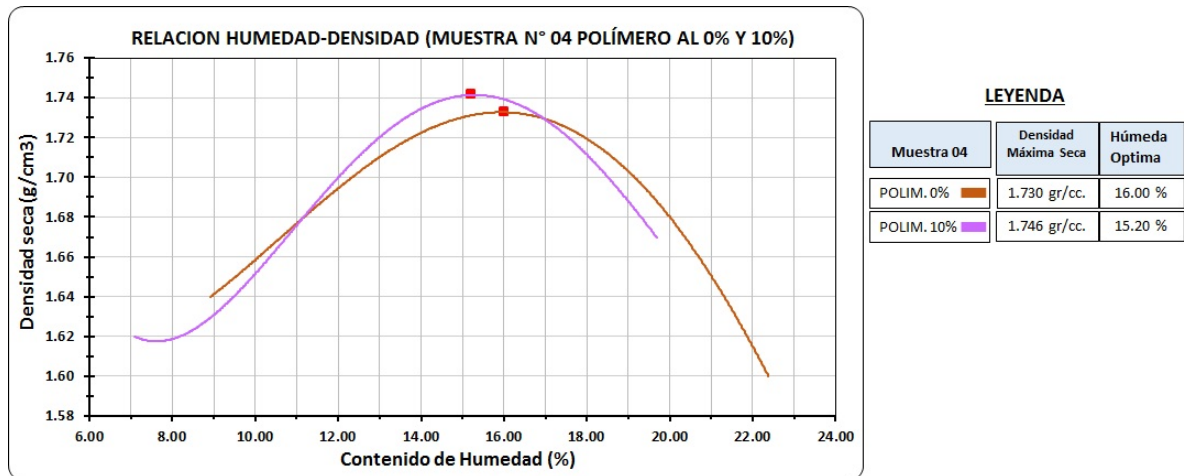


Figura 4.30: Curva de compactación, Muestra N°04 polímero al 0% y 10% (Elaboración propia, 2018).

- Finalmente al incrementar en un 12% de porcentaje de Polímero al suelo, el valor de la MDS disminuye hasta un  $1.721 \text{ gr/cm}^3$ , aún por debajo del valor en estado natural, esto demuestra que a mayor cantidad en porcentaje del polímero, este disminuye aún más en su densidad, podemos decir que en esta muestra que tiene un mayor plasticidad en comparación con el resto, su desarrollo en la mejora de su densidad es poca pero si mejora, ahora observando en el OCH se mantiene en un 12.50% con referencia del estado natural que es de 16.00%, donde desciende mínimamente, como se puede apreciar en la figura N° 4.31.

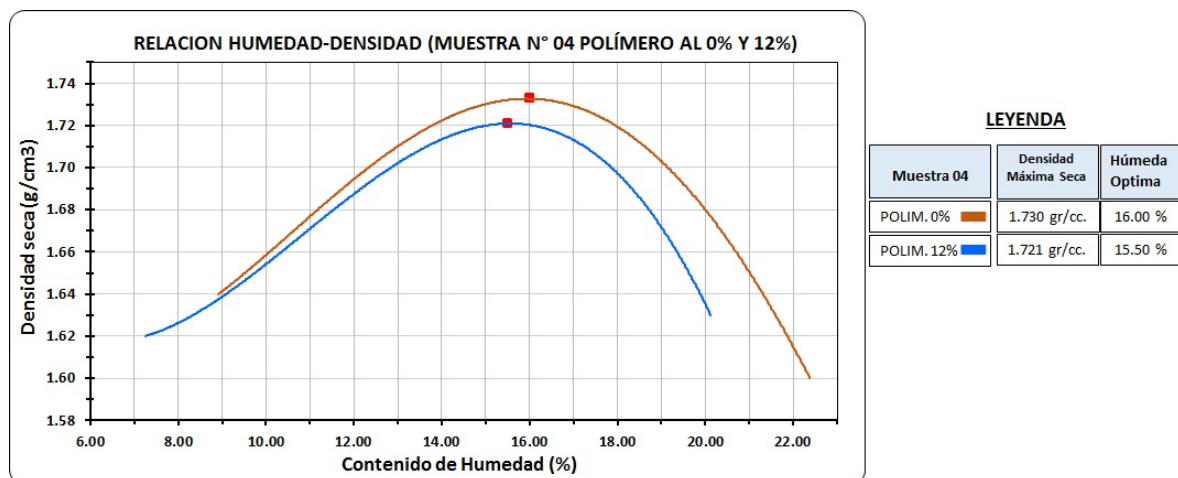
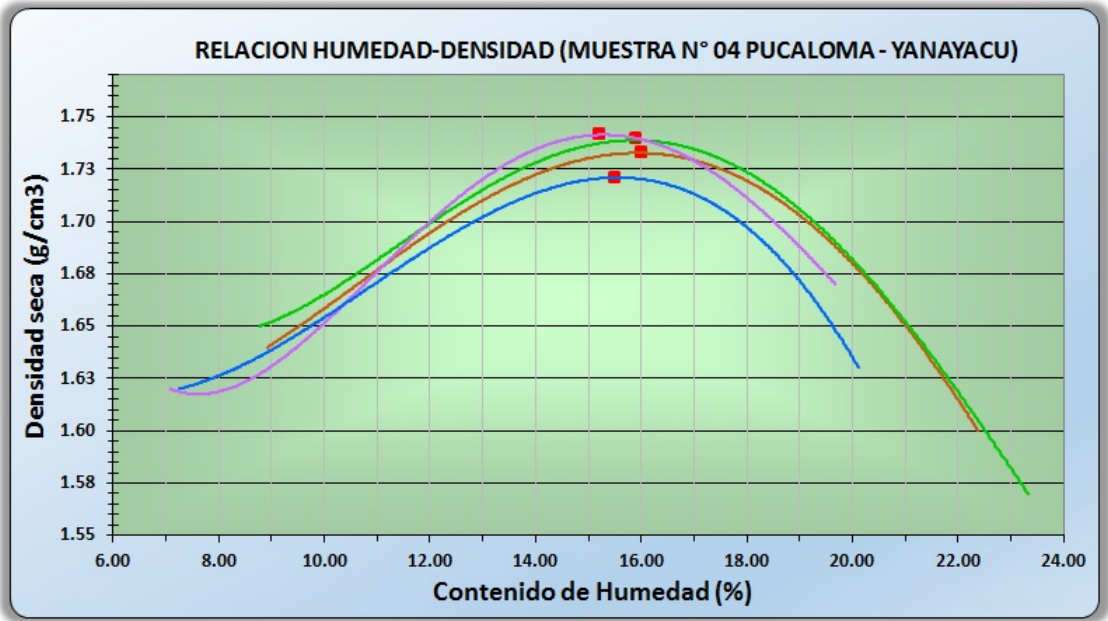


Figura 4.31: Curva de compactación, Muestra N°04 polímero al 0% y 12% (Elaboración propia, 2018).

Podemos englobar todo lo desarrollado en la figura N° 4.32 y el cuadro N° 4.14 en donde se muestran las curvas de compactación realizadas con el ensayo de Próctor Modificado.

(Ver anexo G- N°39, 40)





LEYENDA

| Muestra         | Densidad<br>Máxima<br>Optima | Húmeda<br>Optima |
|-----------------|------------------------------|------------------|
| M-04 POLIM. 0%  | 1.730 gr/cc.                 | 16.00 %          |
| M-04 POLIM. 8%  | 1.740 gr/cc.                 | 15.90 %          |
| M-04 POLIM. 10% | 1.746 gr/cc.                 | 15.20 %          |
| M-04 POLIM. 12% | 1.721 gr/cc.                 | 15.50 %          |

Figura 4.32: Curva de compactación Próctor Modificado (Elaboración propia, 2018).

Cuadro 4.14: Curva de compactación para los porcentajes de polímero (Muestra N° 04).

| Descripción                               | Tipo | Densidad<br>Máxima Optima | Humedad<br>Optima |
|-------------------------------------------|------|---------------------------|-------------------|
| Curva de compactación estado natural      |      | 1.730 gr/cc.              | 16.00 %           |
| Curva de compactación con 8% de Polímero  |      | 1.740 gr/cc.              | 15.90 %           |
| Curva de compactación con 10% de Polímero |      | 1.746 gr/cc.              | 15.20 %           |
| Curva de compactación con 12% de Polímero |      | 1.721 gr/cc.              | 15.50 %           |



### 4.7.3. Gráfico de influencia del polímero en la Densidad Máxima Seca (MDS)

En las figuras N° 4.33, 4.34, 4.35, 4.36, se representan la influencia que tiene el aditivo Polímero-copolímero en la densidad máxima seca del suelo, compactado con la energía Próctor Modificado.

(Ver anexo G)

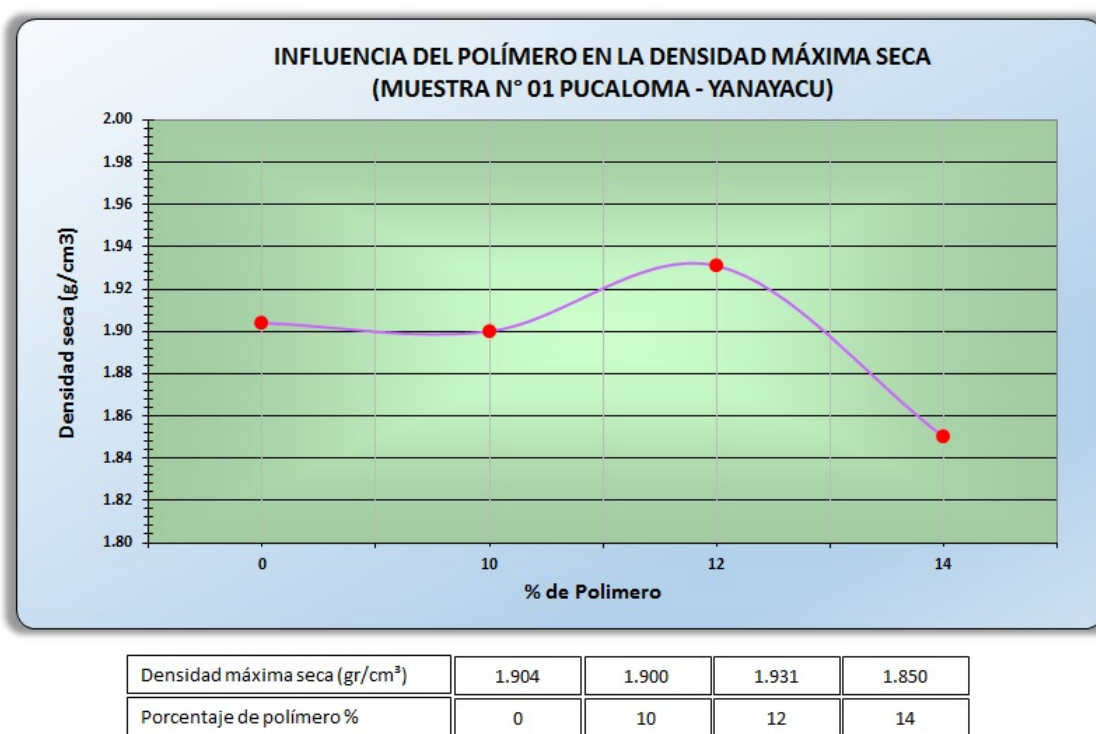


Figura 4.33: Influencia del polímero en la MDS (Elaboración propia, 2018).

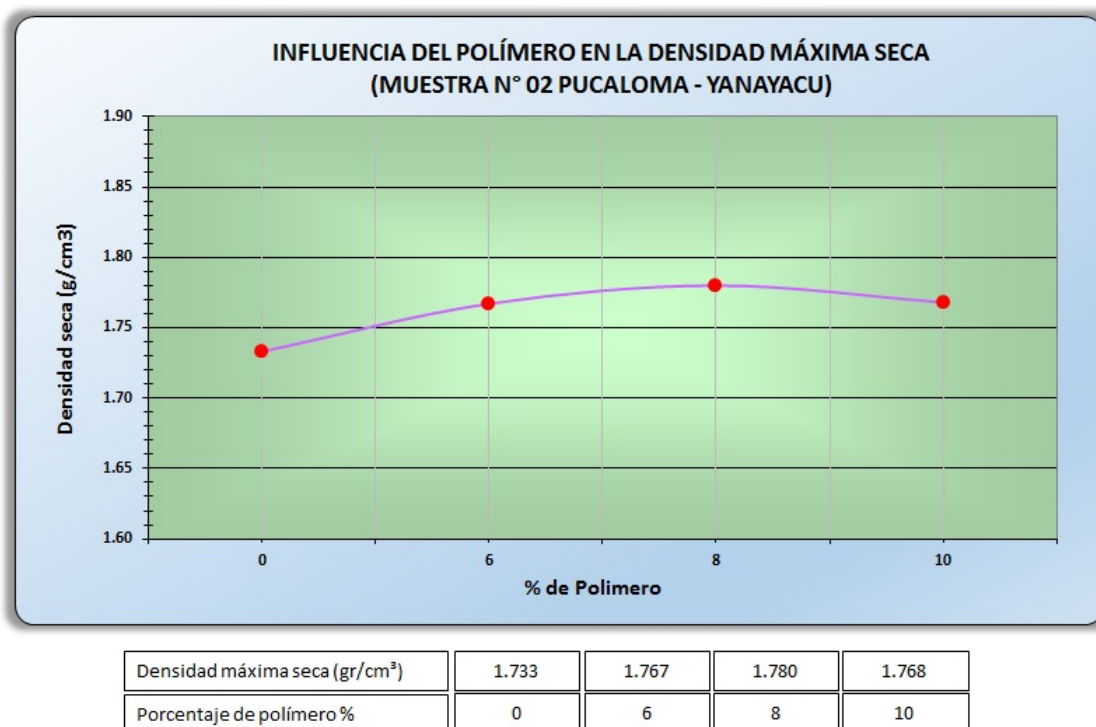


Figura 4.34: Influencia del polímero en la MDS (Elaboración propia, 2018).

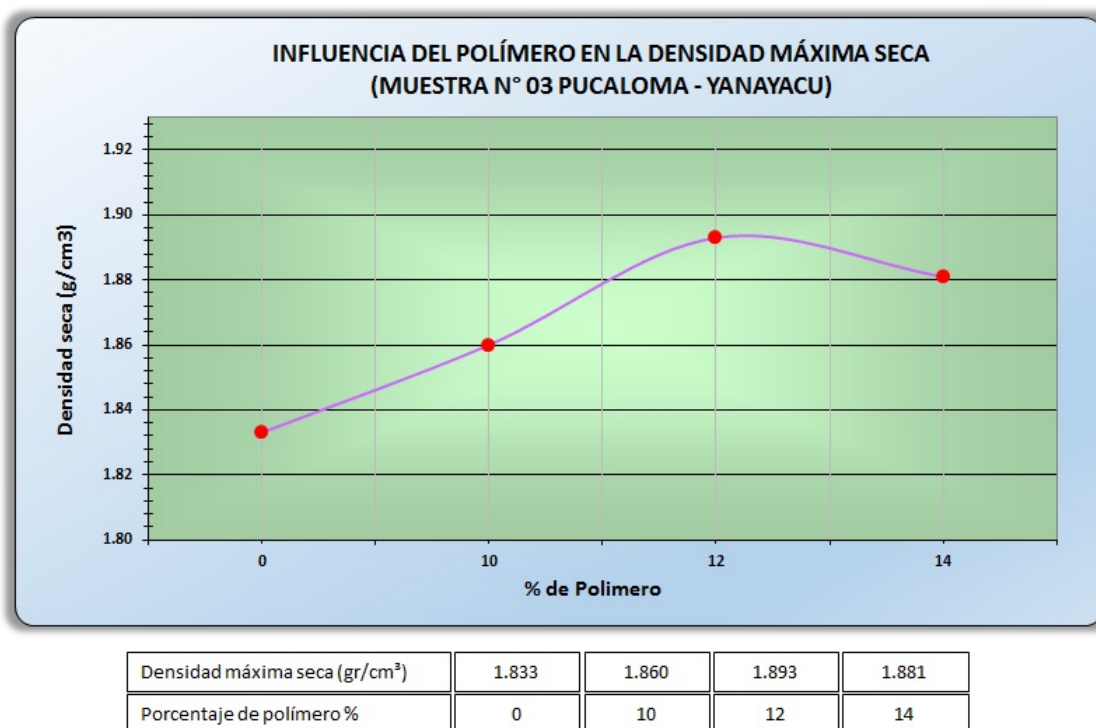


Figura 4.35: Influencia del polímero en la MDS (Elaboración propia, 2018).

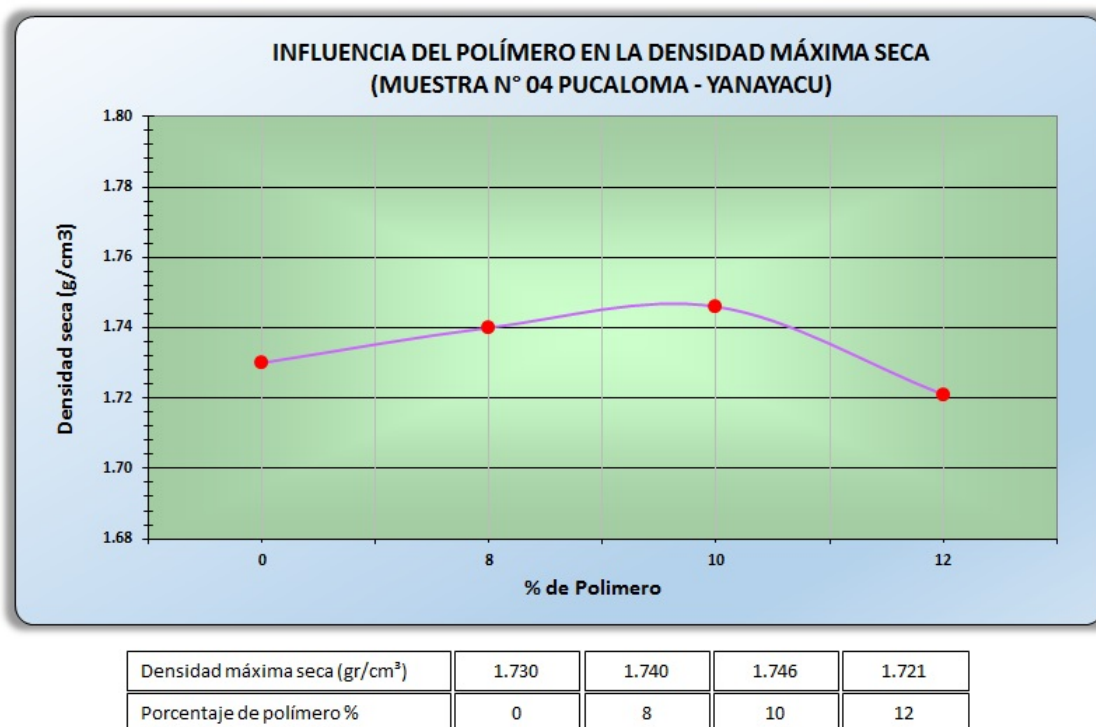


Figura 4.36: Influencia del polímero en la MDS (Elaboración propia, 2018).

Se observa que en las 3 primeras muestras de suelo, al incrementar el porcentaje del aditivo polimérico en el suelo, llega a elevar la MDS con cierto porcentaje y luego presenta una disminución de esta en porcentajes mayores. Pudiendo deberse esto a la menor densidad que presenta el material estabilizador, por lo que al aumentar el contenido de polímero en porcentajes en el suelo, la densidad de esta con respecto a su estado natural disminuye significativamente. Para la cuarta muestra se observa que al incrementar el porcentaje del aditivo polimérico en el suelo, llega a elevar la MDS en valores mínimos, esto puede ser debido a su alta plasticidad que ejerce una baja densidad y que al incrementarse los porcentajes del aditivo polimérico en el suelo, la densidad de esta con respecto a su estado natural disminuye.

## 4.8. Capacidad de soporte suelo-polímero (CBR)

### 4.8.1. CBR con muestra natural de 0% y porcentaje óptimo de polímero

#### Muestra N° 01 (Calicata 01 - SC)

Se analiza la influencia del aditivo polimérico en la resistencia del suelo en estudio. Se indican los valores CBR obtenidos en los ensayos con adición de polímero en porcentajes de 0% y en su estado óptimo hallado a través del Próctor Modificado en 12%, para las tres muestras, con el contenido de humedad optima resultante.

Se observa que el CBR de la primera muestra donde la adición optima del 12% de porcentaje de polímero ha mejorado en relación al suelo natural (0% polímero), todo esto debido a la adherencia entre partículas, causada por el polímero, muestra de ello se reflejó en el ensayo de penetración donde tuvo mayor resistencia con respecto al ensayo en estado natural del suelo, como puede observarse en la figura N° 4.37, 4.38 y el cuadro N° 4.15.

(Ver Anexo H y Anexo I)

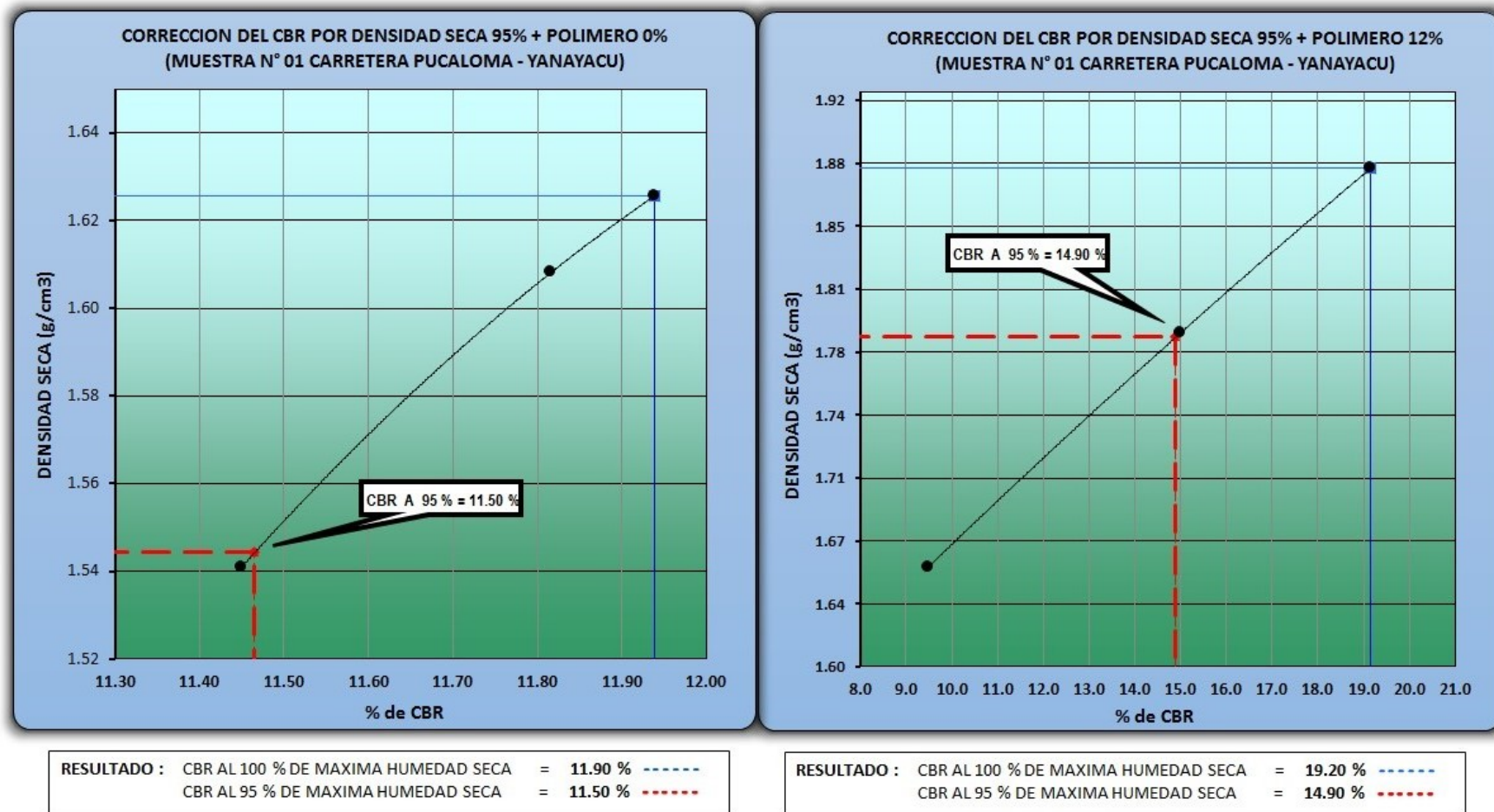


Figura 4.37: Influencia del polímero en el CBR (Elaboración propia, 2018).

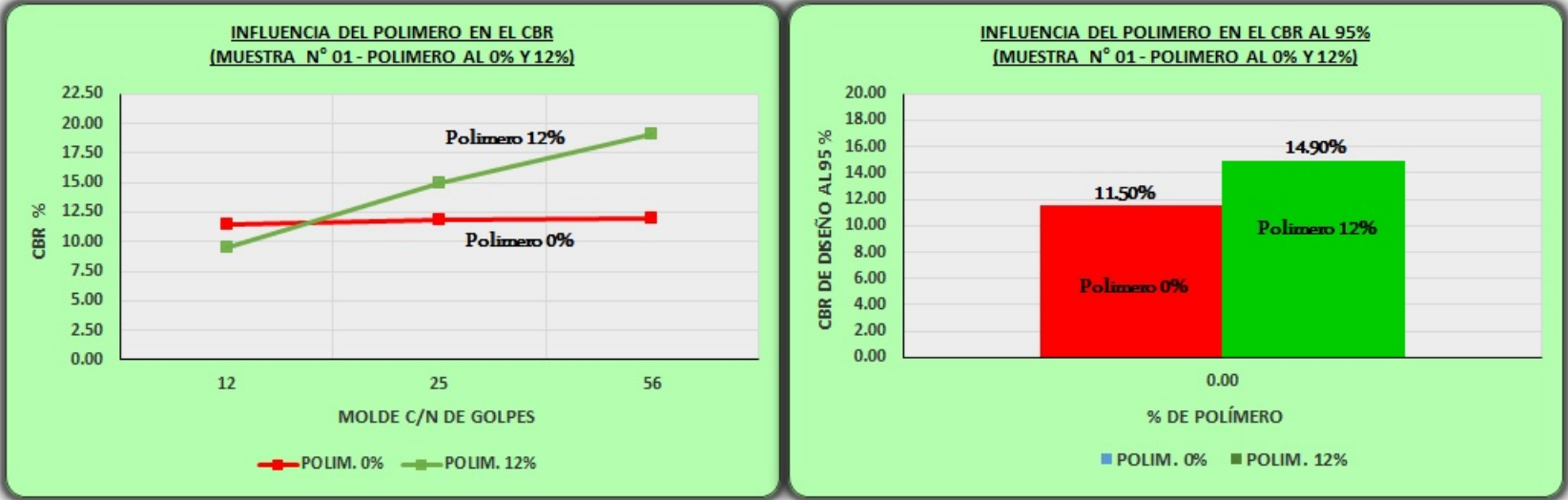


Figura 4.38: Influencia del polímero en el CBR (Elaboración propia, 2018).

Cuadro 4.15: Valores de CBR para diferentes porcentajes de polímero (Muestra N° 01).

| Material                   | Muestra N° 01 (Calica 01 - 5C) |           |           |            |             |
|----------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|------------|-------------|
|                            | CBR                            |           |           | CBR al 95% | CBR al 100% |
|                            | 12 golpes                      | 25 golpes | 56 golpes |            |             |
| Suelo natural 0%           | 11.45                          | 11.82     | 11.94     | 11.50      | 11.90       |
| Suelo con 12 % de polímero | 9.49                           | 15.00     | 19.16     | 14.90      | 19.20       |

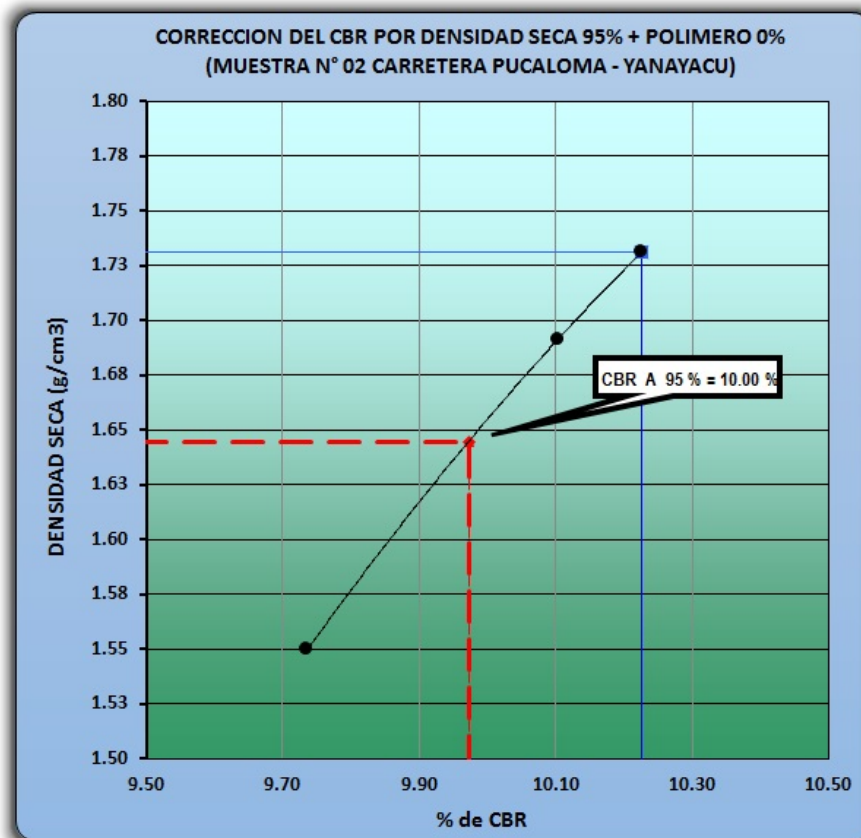
**Muestra N° 02 (Calicata 02 - CL)**

Se analiza la influencia del aditivo polimérico en la resistencia del suelo en estudio. Se indican los valores CBR obtenidos en los ensayos con adición de polímero en porcentajes de 0% y en su estado óptimo hallado a través del Próctor Modificado en 8%, para las tres muestras, con el contenido de humedad optima resultante.

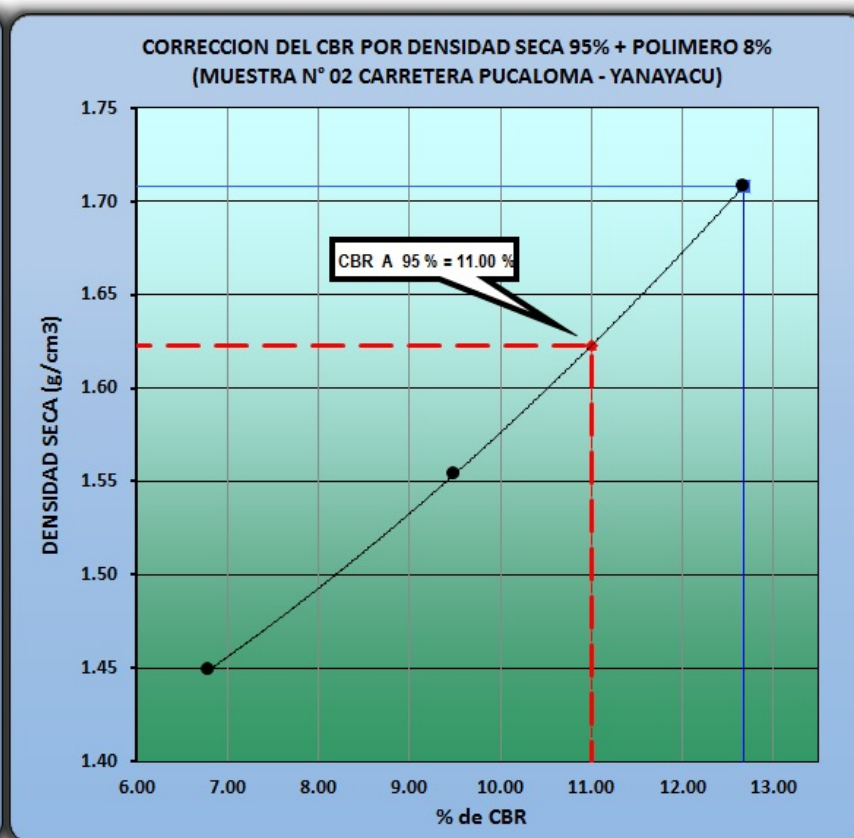
Para la muestra N°02 se observa una ligera mejoría en el valor del CBR con respecto al suelo natural, donde el CBR al 95% en estado natural del suelo es de 10.0% y al incrementar en un 8% de material estabilizador, el valor de CBR al 95% es de 11.00%, esto es debido a la adherencia entre partículas, causada por el polímero, muestra de ello se reflejó en el ensayo de penetración donde tuvo mayor resistencia con respecto al ensayo en estado natural del suelo, como puede observarse en la figura N° 4.39, 4.40 y el cuadro N° 4.16.

(Ver Anexo H y Anexo I)





RESULTADO : CBR AL 100 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 10.20 % ---  
 CBR AL 95 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 10.00 % - - -



RESULTADO : CBR AL 100 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 12.70 % ---  
 CBR AL 95 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 11.00 % - - -

Figura 4.39: Influencia del polímero en el CBR (Elaboración propia, 2018).





Figura 4.40: Influencia del polímero en el CBR (Elaboración propia, 2018).

Cuadro 4.16: Valores de CBR para diferentes porcentajes de polímero (Muestra N° 02).

| Material                  | Muestra N° 02 (Calica 02 - CL) |           |           |            |             |
|---------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|------------|-------------|
|                           | CBR                            |           |           | CBR al 95% | CBR al 100% |
|                           | 12 golpes                      | 25 golpes | 56 golpes |            |             |
| Suelo natural 0%          | 9.74                           | 10.10     | 10.23     | 10.00      | 10.20       |
| Suelo con 8 % de polímero | 6.80                           | 9.49      | 12.67     | 11.00      | 12.70       |

**Muestra N° 03 (Calicata 03 - CL)**

Se analiza la influencia del aditivo polimérico en la resistencia del suelo en estudio. Se indican los valores CBR obtenidos en los ensayos con adición de polímero en porcentajes de 0% y en su estado óptimo hallado a través del Próctor Modificado en 12%, para las tres muestras, con el contenido de humedad optima resultante.

De igual manera se observa en la muestra N°03 una ligera mejoría en el valor del CBR con respecto al suelo natural, donde el CBR al 95% en estado natural del suelo es de 8.80% y al incrementar en un 12% de material estabilizador, el valor de CBR al 95% es de 11.00%, esto es debido a la adherencia entre partículas, causada por el polímero, muestra de ello se reflejó en el ensayo de penetración donde tuvo mayor resistencia con respecto al ensayo en estado natural del suelo, como puede observarse en la figura N° 4.41, 4.42 y el cuadro N° 4.17.

(Ver Anexo H y Anexo I)

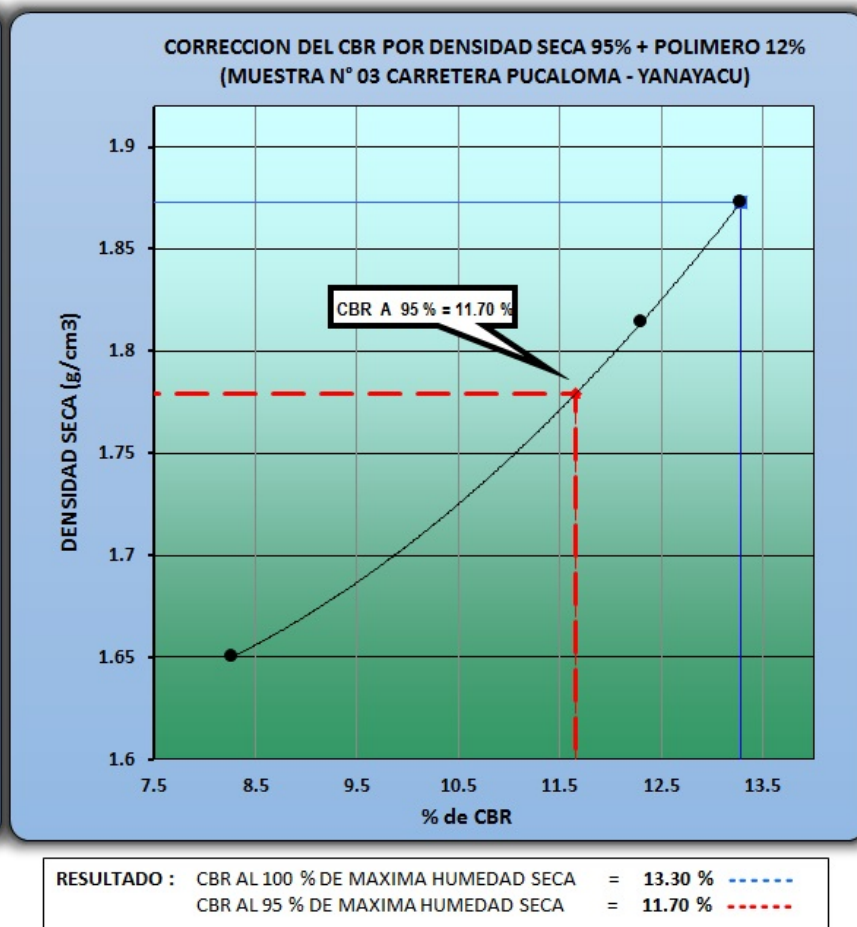
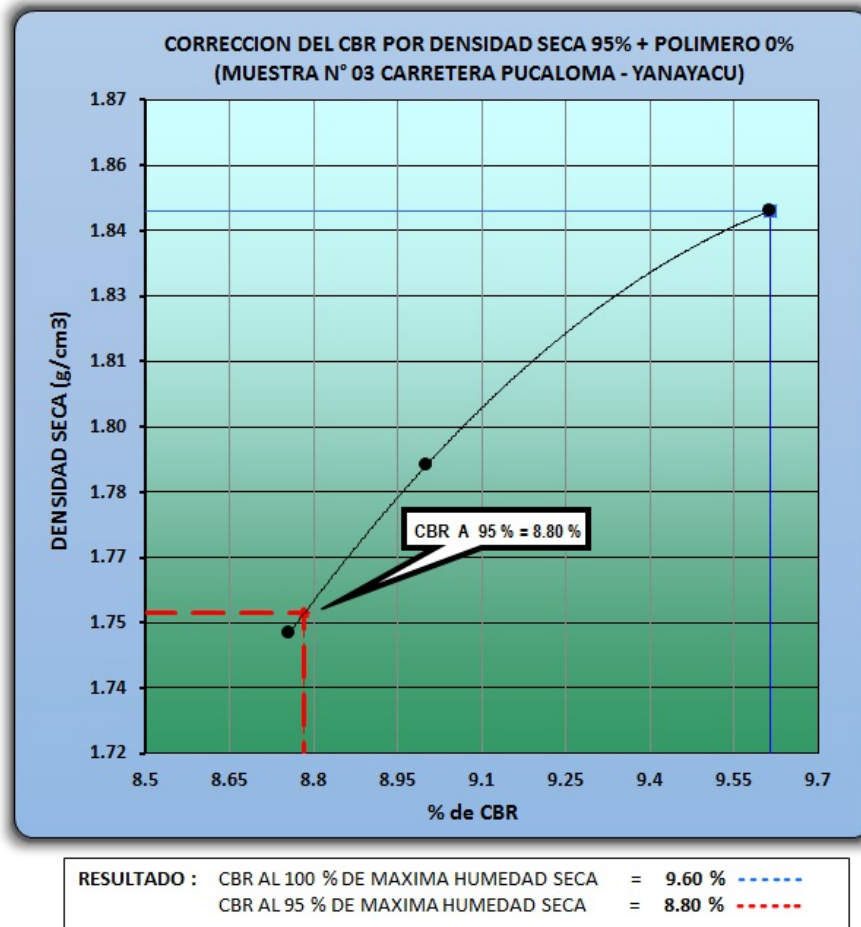


Figura 4.41: Influencia del polímero en el CBR (Elaboración propia, 2018).

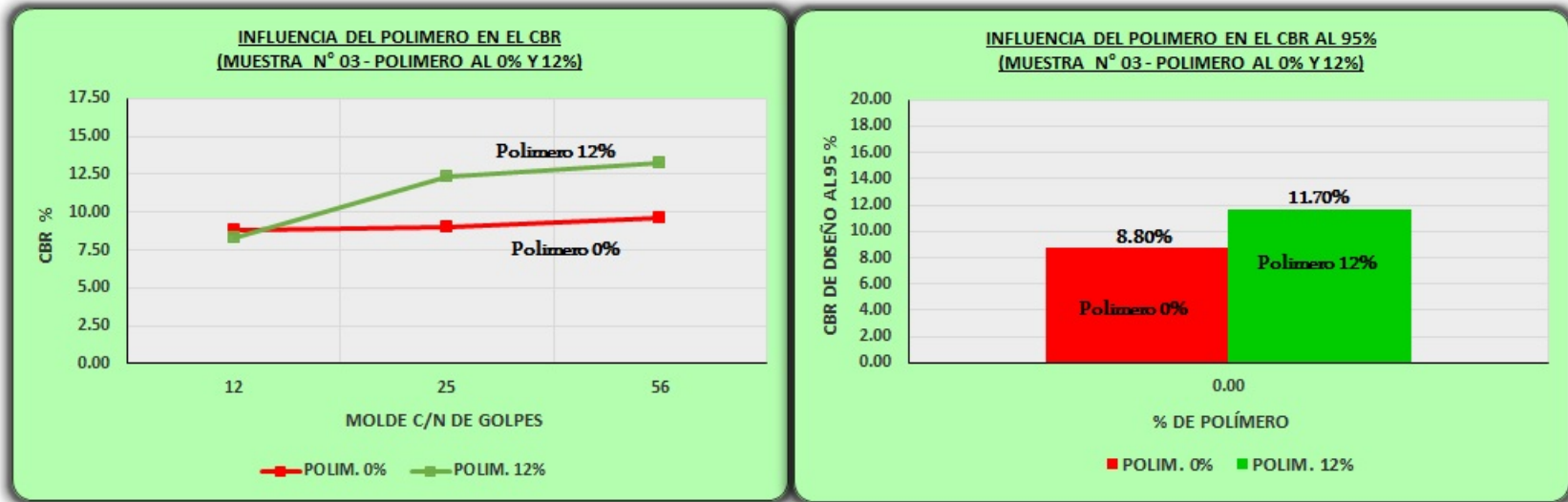


Figura 4.42: Influencia del polímero en el CBR (Elaboración propia, 2018).

Cuadro 4.17: Valores de CBR para diferentes porcentajes de polímero (Muestra N° 03).

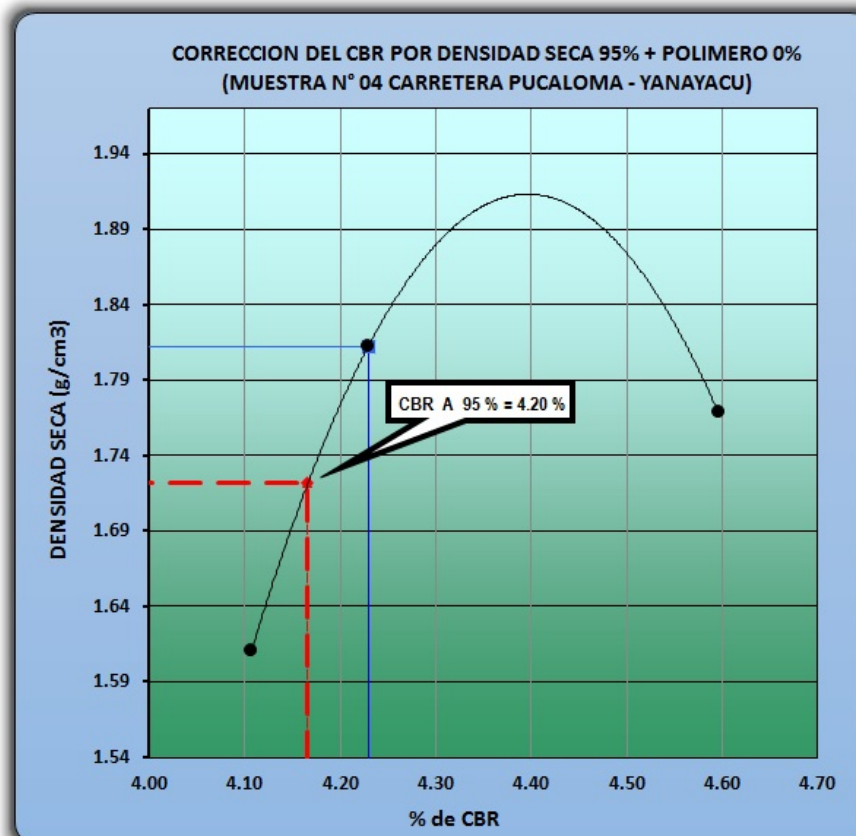
| Material                   | Muestra N° 03 (Calica 03 - CL) |           |           |            |             |
|----------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|------------|-------------|
|                            | CBR                            |           |           | CBR al 95% | CBR al 100% |
|                            | 12 golpes                      | 25 golpes | 56 golpes |            |             |
| Suelo natural 0%           | 8.76                           | 9.00      | 9.61      | 8.80       | 9.60        |
| Suelo con 12 % de polímero | 8.27                           | 12.31     | 13.28     | 11.70      | 13.30       |

**Muestra N° 04 (Calicata 04 - CL)**

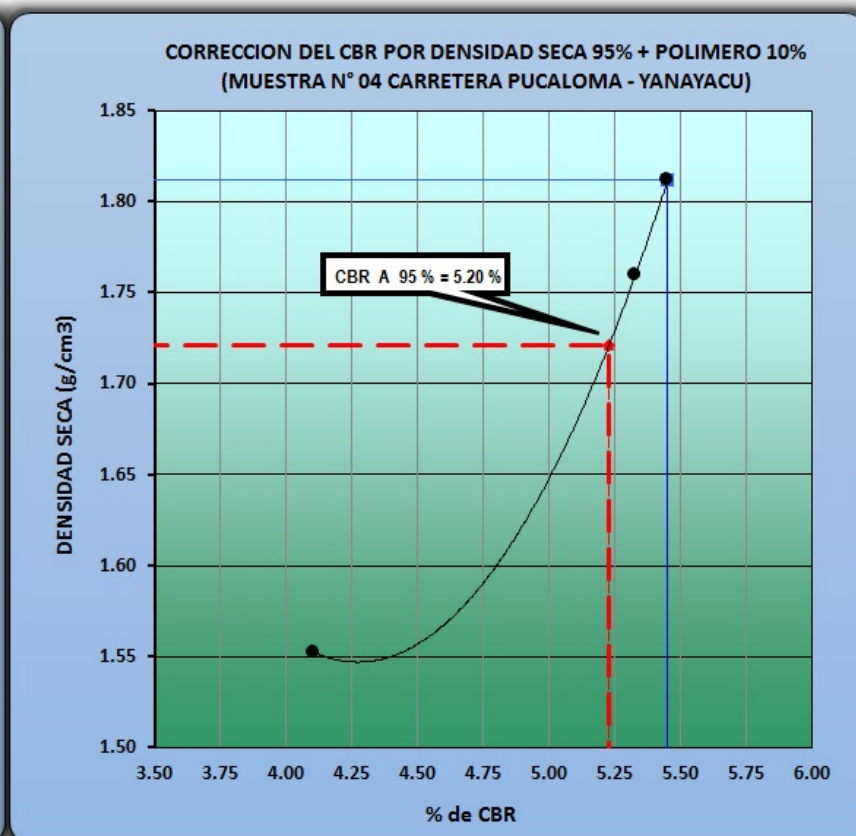
Se analiza la influencia del aditivo polimérico en la resistencia del suelo en estudio. Se indican los valores CBR obtenidos en los ensayos con adición de polímero en porcentajes de 0% y en su estado óptimo hallado a través del Próctor Modificado en 10%, para las tres muestras, con el contenido de humedad optima resultante.

Para la muestra N°04 se observa una ligera mejoría en el valor del CBR con respecto al suelo natural, donde el CBR al 95% en estado natural del suelo es de 4.17% y al incrementar en un 10% de material estabilizador, el valor de CBR al 95% es de 5.20%, esto es debido a la adherencia entre partículas, causada por el polímero, muestra de ello se reflejó en el ensayo de penetración donde también tuvo una ligera resistencia con respecto al ensayo en estado natural del suelo, por lo general la causa sería a que la muestra en estado natural es altamente expansiva y muy blanda, pero al adicionarse el agente estabilizante al suelo, esta mejora en su capacidad de soporte, ver figura N° 4.43, 4.44 y el cuadro N° 4.18.

(Ver Anexo H, y Anexo I)



RESULTADO : CBR AL 100 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 4.20 % - - - - -  
CBR AL 95 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 4.20 % - - - - -



RESULTADO : CBR AL 100 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 5.50 % - - - - -  
CBR AL 95 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 5.20 % - - - - -

Figura 4.43: Influencia del polímero en el CBR (Elaboración propia, 2018).

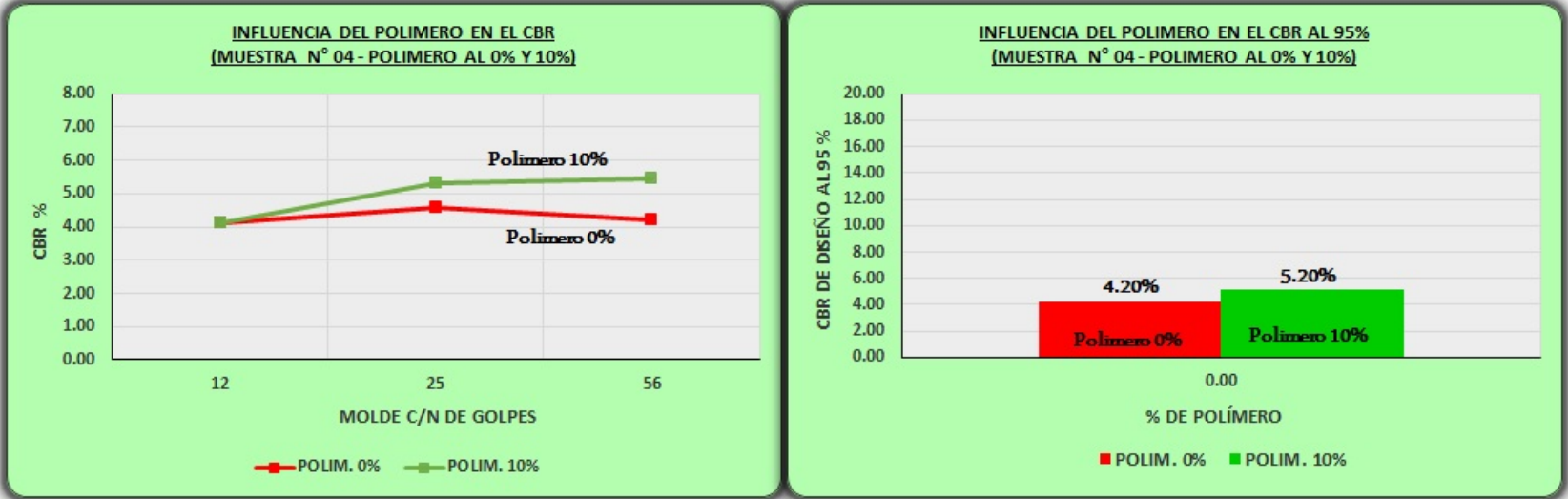


Figura 4.44: Influencia del polímero en el CBR (Elaboración propia, 2018).

Cuadro 4.18: Valores de CBR para diferentes porcentajes de polímero (Muestra N° 03).

| Material                   | Muestra N° 04 (Calica 04 - CL) |           |           |            |             |
|----------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|------------|-------------|
|                            | CBR                            |           |           | CBR al 95% | CBR al 100% |
|                            | 12 golpes                      | 25 golpes | 56 golpes |            |             |
| Suelo natural 0%           | 4.11                           | 4.60      | 4.23      | 4.20       | 4.20        |
| Suelo con 10 % de polímero | 4.11                           | 5.33      | 5.45      | 5.20       | 5.50        |



### 4.8.2. Hinchamiento o expansión del espécimen con muestra natural y porcentaje óptimo de polímero

A continuación se muestran las curvas de la influencia del aditivo polimérico en el proceso de hinchamiento o expansión de las muestras de suelos, adicionadas con el material estabilizante, donde también observamos el tiempo de expansión que toma las muestras con el estabilizante, es claro que es mayor al del natural, donde podemos sacar conclusiones que su total saturación es mayor tiempo con respecto al suelo natural.

#### Muestra N° 01 (Calicata 01 - SC)

Se observa un aumento mínima de expansión volumétrica al incrementar el material estabilizante, pero también hay un cambio drástico en el tiempo de saturación total de la muestra con polímero, se podría decir que su capacidad de permeabilidad es menor y más lenta dificultando su saturación total en comparación de la muestra natural, como se puede observarse en la figura N° 4.45 y el cuadro N° 4.19, 4.20.

(Ver Anexo H, y Anexo I)

Cuadro 4.19: Lectura de la expansión de la Muestra n°01 - 0% polímero.

| LECTURA DE LA EXPANSIÓN DE LA MUESTRA N° 01 – 0% POLÍMERO. |              |                |                 |           |      |                 |           |      |                 |           |      |
|------------------------------------------------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|
| No. GOLPES POR CAPA                                        |              |                | 12              |           |      | 25              |           |      | 56              |           |      |
| FECHA                                                      | HORA<br>A.M. | TIEMPO<br>HRS. | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      |
|                                                            |              |                |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |
| INICIO                                                     | 13:30        | 0.0            | 160             | 0         | 0    | 150             | 0         | 0    | 160             | 0         | 0    |
| FINAL                                                      | 16:00        | 122.5          | 227             | 1.702     | 1.47 | 206             | 1.422     | 1.23 | 211             | 1.295     | 1.11 |

Cuadro 4.20: Lectura de la expansión de la Muestra n° 01 - 12% polímero.

| LECTURA DE LA EXPANSIÓN DE LA MUESTRA N° 01 – 12% POLÍMERO |              |                |                 |           |      |                 |           |      |                 |           |      |
|------------------------------------------------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|
| No. GOLPES POR CAPA                                        |              |                | 12              |           |      | 25              |           |      | 56              |           |      |
| FECHA                                                      | HORA<br>A.M. | TIEMPO<br>HRS. | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      |
|                                                            |              |                |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |
| INICIO                                                     | 13:30        | 0.0            | 200             | 0         | 0    | 204             | 0         | 0    | 202             | 0         | 0    |
| FINAL                                                      | 12:00        | 190.5          | 289             | 2.261     | 1.93 | 284             | 2.032     | 1.74 | 263             | 1.549     | 1.32 |



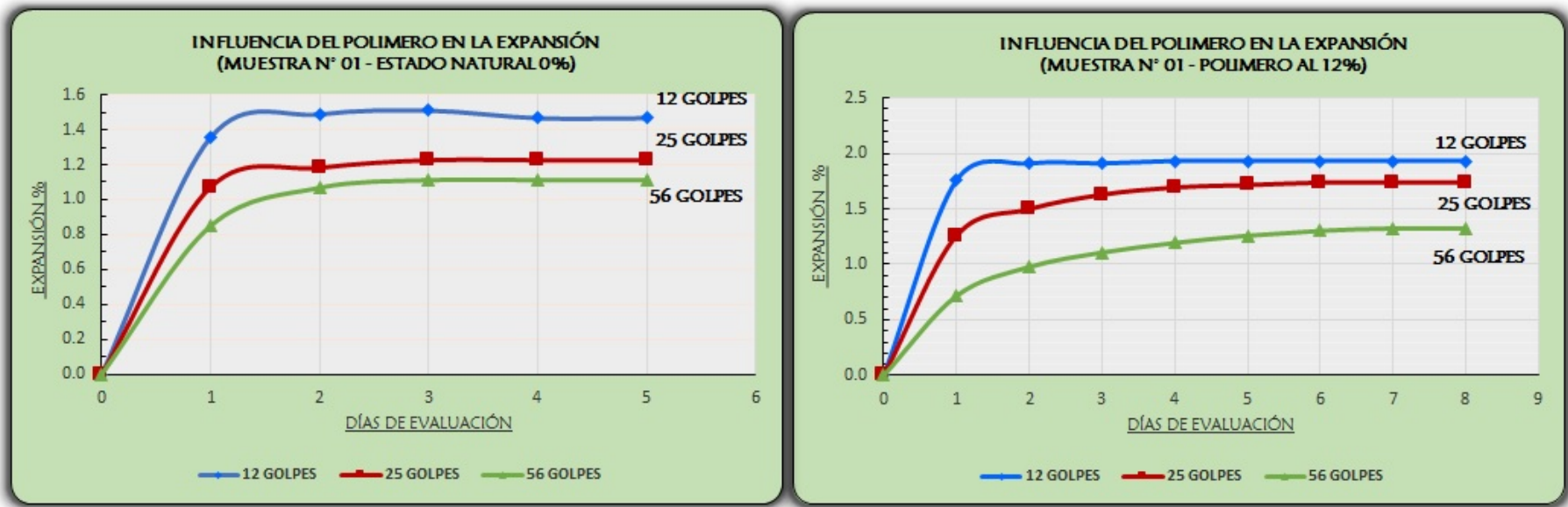


Figura 4.45: Influencia del polímero en la expansión de la Muestra N° 01 (Elaboración propia, 2018).

**Muestra N° 02 (Calicata 02 - CL)**

Se observa un aumento mínima de expansión volumétrica al incrementar el material estabilizante, pero con el aditivo polimérico se logra estabilizar en su expansión el espécimen de 25 y 56 golpes al ser saturado, en comparación con el espécimen de suelo natural, lográndose controlar la expansión con respecto a los demás especímenes, llevando a una evolución más prolongada y controlada, como se puede observarse en la figura N° 4.46 y el cuadro N° 4.21, 4.22.

(Ver Anexo H, y Anexo I)

Cuadro 4.21: Lectura de la expansión de la Muestra n°02 - 0% polímero.

| LECTURA DE LA EXPANSIÓN DE LA MUESTRA N° 02 – 0% POLÍMERO. |              |                |                 |           |             |                 |           |             |                 |           |             |
|------------------------------------------------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------------|-----------|-------------|-----------------|-----------|-------------|
| No. GOLPES POR CAPA                                        |              |                | 12              |           |             | 25              |           |             | 56              |           |             |
| FECHA                                                      | HORA<br>A.M. | TIEMPO<br>HRS. | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |             | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |             | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |             |
|                                                            |              |                |                 | mm.       | %           |                 | mm.       | %           |                 | mm.       | %           |
| <b>INICIO</b>                                              | 13:00        | 0.0            | 197             | 0         | <b>0</b>    | 207             | 0         | <b>0</b>    | 210             | 0         | <b>0</b>    |
| <b>FINAL</b>                                               | 13:00        | 192.0          | 247             | 1.270     | <b>1.09</b> | 259             | 1.321     | <b>1.13</b> | 258             | 1.219     | <b>1.04</b> |

Cuadro 4.22: Lectura de la expansión de la Muestra n° 02 - 8% polímero.

| LECTURA DE LA EXPANSIÓN DE LA MUESTRA N° 02 – 8% POLÍMERO. |              |                |                 |           |             |                 |           |             |                 |           |             |
|------------------------------------------------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|-----------------|-----------|-------------|-----------------|-----------|-------------|
| No. GOLPES POR CAPA                                        |              |                | 12              |           |             | 25              |           |             | 56              |           |             |
| FECHA                                                      | HORA<br>A.M. | TIEMPO<br>HRS. | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |             | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |             | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |             |
|                                                            |              |                |                 | mm.       | %           |                 | mm.       | %           |                 | mm.       | %           |
| <b>INICIO</b>                                              | 13:00        | 0.0            | 200             | 0         | <b>0</b>    | 200             | 0         | <b>0</b>    | 200             | 0         | <b>0</b>    |
| <b>FINAL</b>                                               | 12:30        | 191.5          | 312             | 2.845     | <b>2.43</b> | 301             | 2.565     | <b>2.19</b> | 297             | 2.464     | <b>2.11</b> |

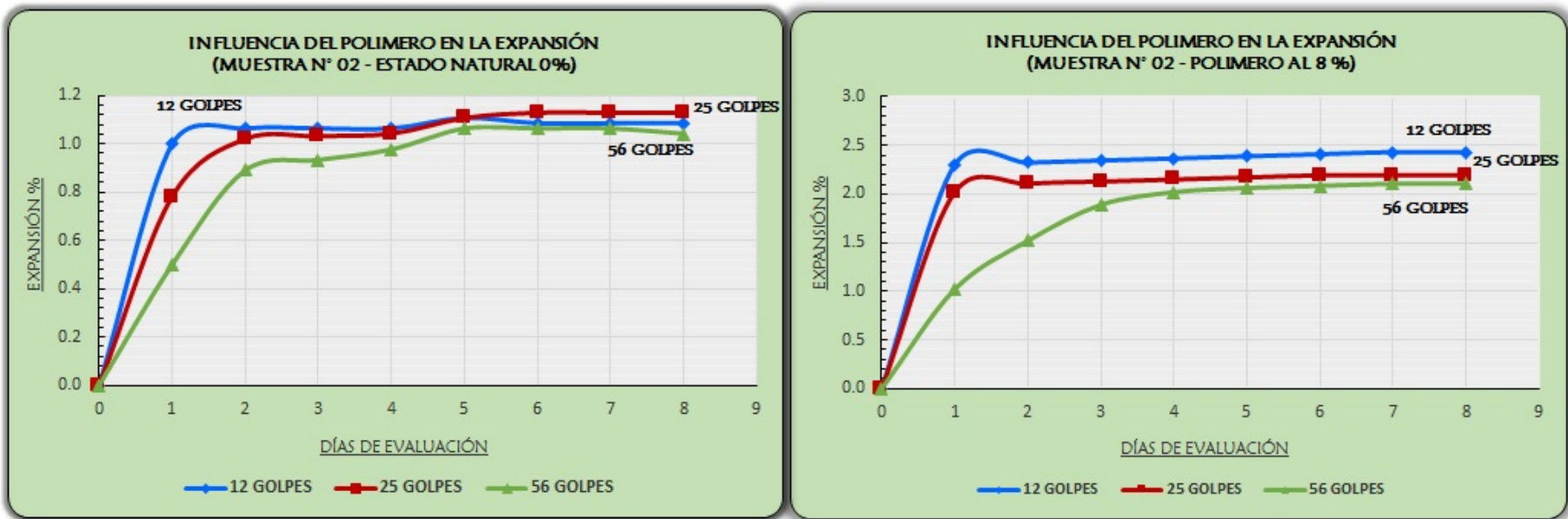


Figura 4.46: Influencia del polímero en la expansión de la Muestra N° 02 (Elaboración propia, 2018).

### Muestra N° 03 (Calicata 03 - CL)

Se observa un aumento significativo de expansión volumétrica al incrementar el material estabilizante, pero hay detalle muy importante que se llegó a observar, la pérdida de la propiedad de expansión de parte de las muestras de suelo en estado natural al ser saturado y en un corto tiempo, esto demuestra el alto nivel de permeabilidad del suelo que a su vez causa la inestabilidad y ocurre un proceso de contracción, al trabajar con el aditivo polimérico, se llega a corregir y mantener la estabilidad en un tiempo mayor como se puede observarse en la figura N° 4.47 y el cuadro N° 4.23, 4.24.

(Ver Anexo H, y Anexo I)

Cuadro 4.23: Lectura de la expansión de la Muestra n°03 - 0% polímero.

| LECTURA DE LA EXPANSIÓN DE LA MUESTRA N° 03 – 0% POLÍMERO. |       |        |                 |           |      |                 |           |      |                 |           |       |
|------------------------------------------------------------|-------|--------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|-------|
| No. GOLPES POR CAPA                                        |       |        | 12              |           |      | 25              |           |      | 56              |           |       |
| FECHA                                                      | HORA  | TIEMPO | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |       |
|                                                            | A.M.  | HRS.   |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %     |
| INICIO                                                     | 14:00 | 0.0    | 263             | 0         | 0    | 400             | 0         | 0    | 380             | 0         | 0     |
| FINAL                                                      | 12:30 | 70.5   | 291             | 0.711     | 0.61 | 421             | 0.533     | 0.46 | 379             | -0.025    | -0.02 |

Cuadro 4.24: Lectura de la expansión de la Muestra n° 03 - 12% polímero.

| LECTURA DE LA EXPANSIÓN DE LA MUESTRA N° 03 – 12% POLÍMERO |       |        |                 |           |      |                 |           |      |                 |           |      |
|------------------------------------------------------------|-------|--------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|
| No. GOLPES POR CAPA                                        |       |        | 12              |           |      | 25              |           |      | 56              |           |      |
| FECHA                                                      | HORA  | TIEMPO | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      |
|                                                            | A.M.  | HRS.   |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |
| INICIO                                                     | 12:00 | 0.0    | 200             | 0         | 0    | 200             | 0         | 0    | 200             | 0         | 0    |
| FINAL                                                      | 12:00 | 168.0  | 284             | 2.134     | 1.82 | 265             | 1.651     | 1.41 | 248             | 1.219     | 1.04 |

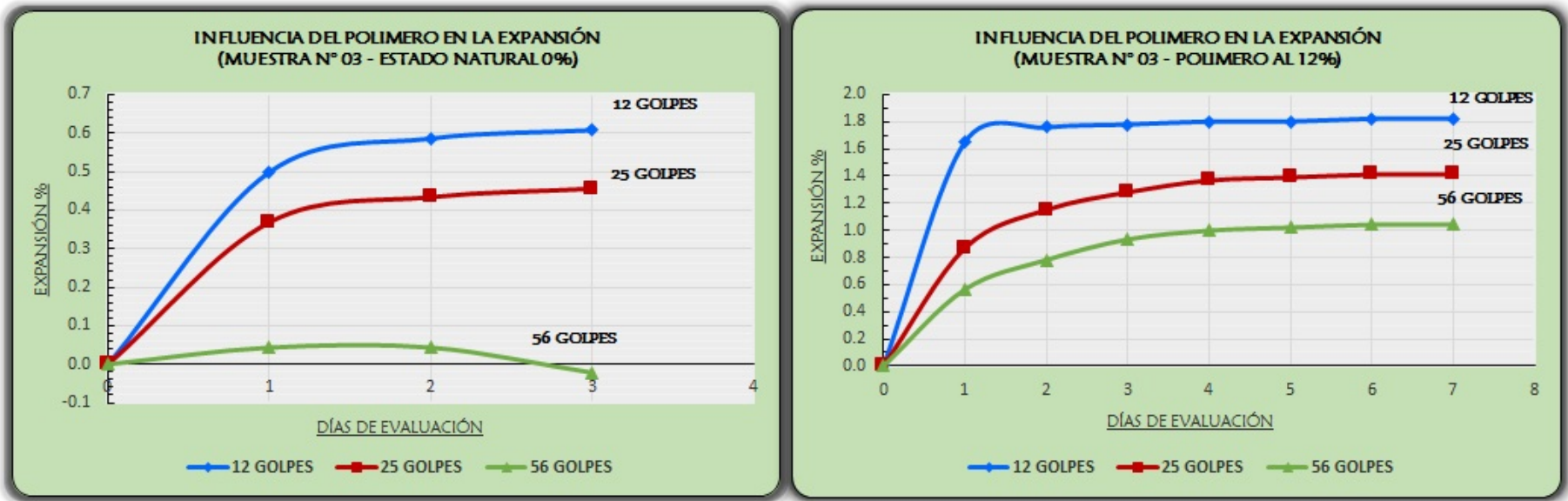


Figura 4.47: Influencia del polímero en la expansión de la Muestra N° 03 (Elaboración propia, 2018).

#### Muestra N° 04 (Calicata 04 - CL)

Se observa una disminución gradual de la expansión volumétrica al incrementar el material estabilizante, también hay un comportamiento expansivo descontrolado en los especímenes del suelo natural, como se observa en la figura N° 4.48, luego al agregar el aditivo polimérico se logra estabilizar en su expansión y controlar los espécimen al ser saturado, llevando a una evolución más prolongada y controlada, en comparación con el espécimen de suelo natural. En este caso también el material a estabilizar es expansivo y blando en estado natural, pero al adicionarse el agente estabilizante al suelo esta mejoró, como se puede observar en la figura N° 4.48 y el cuadro N° 4.25, 4.26.

(Ver Anexo H, y Anexo I)

Cuadro 4.25: Lectura de la expansión de la Muestra n°04 - 0% polímero.

| LECTURA DE LA EXPANSIÓN DE LA MUESTRA N° 04 – 0% POLÍMERO. |       |        |                 |           |      |                 |           |      |                 |           |      |
|------------------------------------------------------------|-------|--------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|
| No. GOLPES POR CAPA                                        |       |        | 12              |           |      | 25              |           |      | 56              |           |      |
| FECHA                                                      | HORA  | TIEMPO | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      |
|                                                            | A.M.  | HRS.   |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |
| INICIO                                                     | 13:45 | 0.0    | 267             | 0         | 0    | 237             | 0         | 0    | 212             | 0         | 0    |
| FINAL                                                      | 11:00 | 261.3  | 486             | 5.563     | 4.80 | 456             | 5.563     | 4.80 | 488             | 7.010     | 6.02 |

Cuadro 4.26: Lectura de la expansión de la Muestra n° 04 - 10% polímero.

| LECTURA DE LA EXPANSIÓN DE LA MUESTRA N° 04 – 10% POLÍMERO |       |        |                 |           |      |                 |           |      |                 |           |      |
|------------------------------------------------------------|-------|--------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|
| No. GOLPES POR CAPA                                        |       |        | 12              |           |      | 25              |           |      | 56              |           |      |
| FECHA                                                      | HORA  | TIEMPO | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      |
|                                                            | A.M.  | HRS.   |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |
| INICIO                                                     | 13:00 | 0.0    | 200             | 0         | 0    | 200             | 0         | 0    | 200             | 0         | 0    |
| FINAL                                                      | 13:30 | 384.5  | 435             | 5.969     | 5.15 | 420             | 5.588     | 4.82 | 420             | 5.588     | 4.80 |



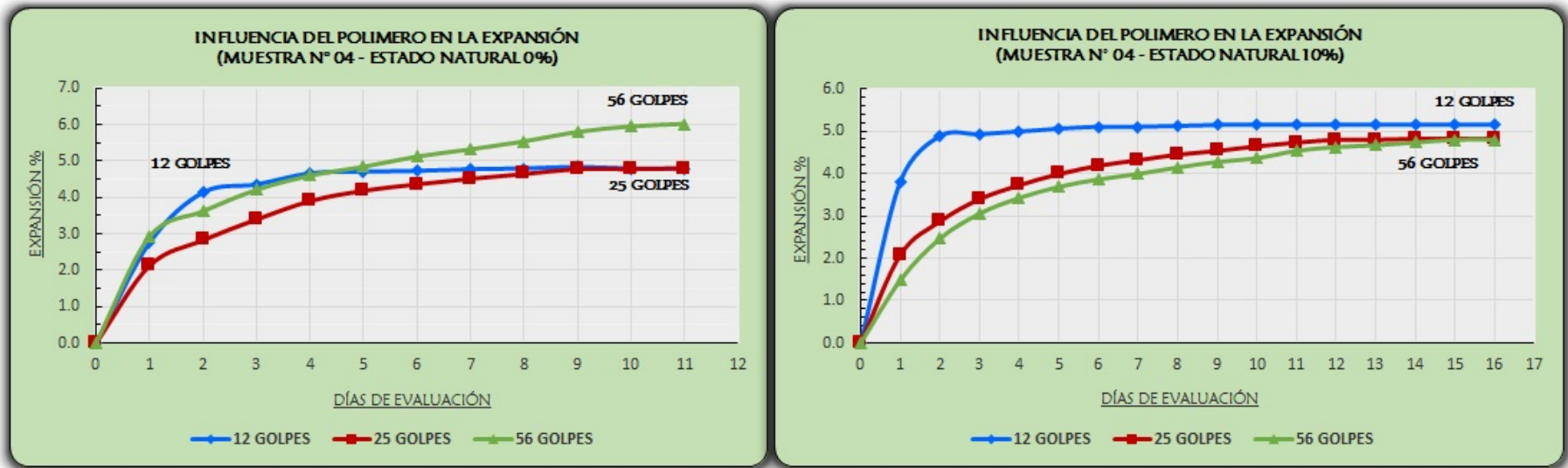


Figura 4.48: Influencia del polímero en la expansión de la Muestra N° 04 (Elaboración propia, 2018).

### 4.8.3. Análisis de expansión de las muestras suelo-natural y suelo-polímero

El polímero hace que la expansión se prolongue en más días, disminuyendo su permeabilidad con respecto a las muestras en estado natural, se puede observar el cuadro N° 4.27 y en la figura N° 4.49 que recurrió a más días para llegar a su saturación completa.

(Ver Anexo H, y Anexo I)

Cuadro 4.27: Resumen de la expansión de las Muestras

|                   | EXPANSIÓN        |              |                   |              |
|-------------------|------------------|--------------|-------------------|--------------|
|                   | LECTURA DIAL (%) |              | DIAS DE EXPANSIÓN |              |
|                   | NATURAL          | CON POLIMERO | NATURAL           | CON POLIMERO |
| <b>MUESTRA 01</b> | 1.11             | 1.32         | <b>5</b>          | <b>8</b>     |
| <b>MUESTRA 02</b> | 1.06             | 2.11         | <b>8</b>          | <b>8</b>     |
| <b>MUESTRA 03</b> | -0.02            | 1.04         | <b>3</b>          | <b>7</b>     |
| <b>MUESTRA 04</b> | 6.02             | 4.8          | <b>11</b>         | <b>16</b>    |

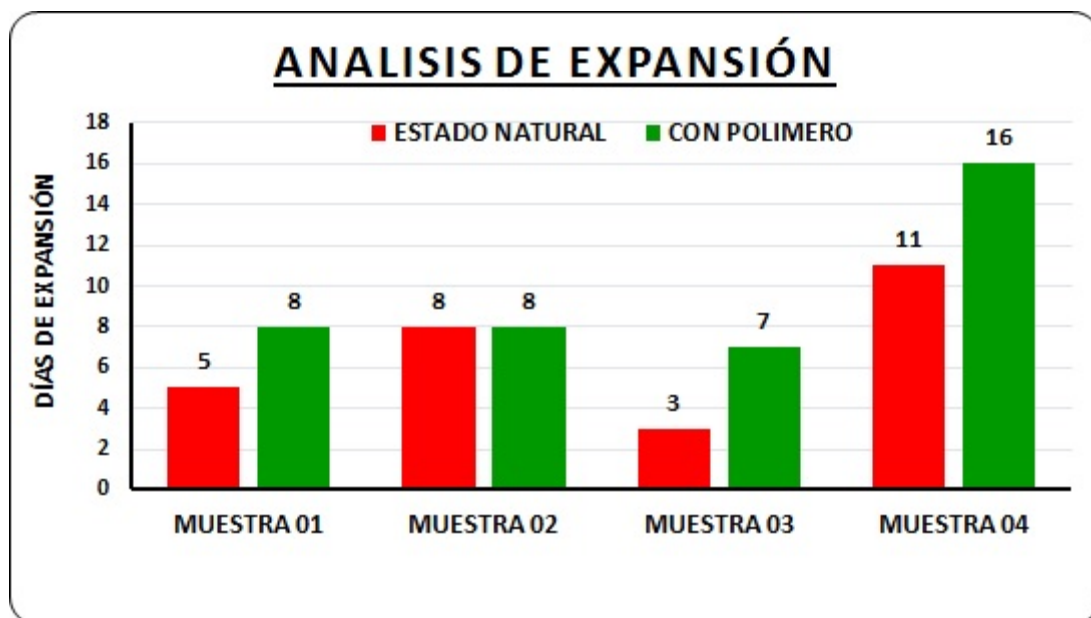


Figura 4.49: Influencia del polímero en la expansión de las Muestras



## 4.9. Análisis y validación de resultados

### 4.9.1. Análisis y validación de resultados de Próctor modificado y CBR

Después de realizado los ensayos y la evaluación de las muestras con y sin polímero se refleja que existe una regular mejoría en cuanto a su resistencia, grado de expansión y contracción, donde también hay un descenso de su permeabilidad, todo esto con las dosificaciones optimas del aditivo de características poliméricas, hallados en el ensayo de Próctor modificado de tipo A, todo estos datos se observa en el cuadro N° 4.28 y en la figura N° 4.50.

Cuadro 4.28: Resumen de límite de contracción de las Muestras

|            | PROCTOR MODIFICADO METODO A   |              | CBR (%)        |       |                     |       |
|------------|-------------------------------|--------------|----------------|-------|---------------------|-------|
|            | DENSIDAD MAXIMA SECA (gr/cm3) |              | ESTADO NATURAL |       | CON POLIMERO OPTIMO |       |
|            | NATURAL                       | CON POLIMERO | 95%            | 100%  | 95%                 | 100%  |
| MUESTRA 01 | 1.904                         | 1.931        | 11.50          | 11.90 | 14.90               | 19.20 |
| MUESTRA 02 | 1.733                         | 1.780        | 10.00          | 10.20 | 11.00               | 12.70 |
| MUESTRA 03 | 1.833                         | 1.893        | 8.80           | 9.60  | 11.70               | 13.30 |
| MUESTRA 04 | 1.730                         | 1.746        | 4.20           | 4.20  | 5.20                | 5.50  |

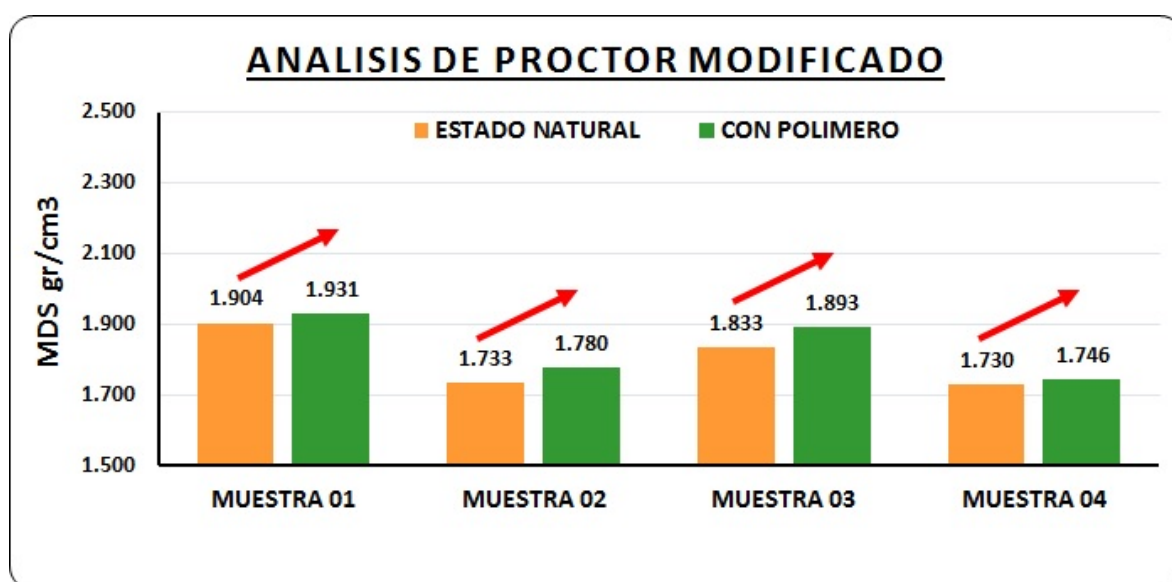


Figura 4.50: Influencia del polímero en el incremento de la MDS de las Muestras

### 4.9.2. Análisis validación de límite de contracción de las muestras suelo-natural y suelo-polímero

El límite de contracción puede emplearse para evaluar el potencial de contracción, o sea la posibilidad de que se desarrollen grietas en obras que incluyen suelos cohesivos. La adición del Polímero en el suelo propicia un mejoramiento del límite de contracción disminuyendo, a su vez, la plasticidad del suelo, como efecto del fenómeno de aglutinación de partículas, se puede observar el cuadro N° 4.29 y en la figura N° 4.51. (Ver Anexo E)

Cuadro 4.29: Resumen de límite de contracción de las Muestras

|            | CONTRACCIÓN              |              |                                        |
|------------|--------------------------|--------------|----------------------------------------|
|            | CONTENIDO DE HUMEDAD (%) |              | VOLUMEN RECUPERADO CON EL POLIMERO (%) |
|            | NATURAL                  | CON POLIMERO |                                        |
| MUESTRA 01 | 12.31                    | 5.88         | 6.43                                   |
| MUESTRA 02 | 14.02                    | 7.41         | 6.61                                   |
| MUESTRA 03 | 10.60                    | 5.40         | 5.20                                   |
| MUESTRA 04 | 10.20                    | 6.40         | 3.80                                   |

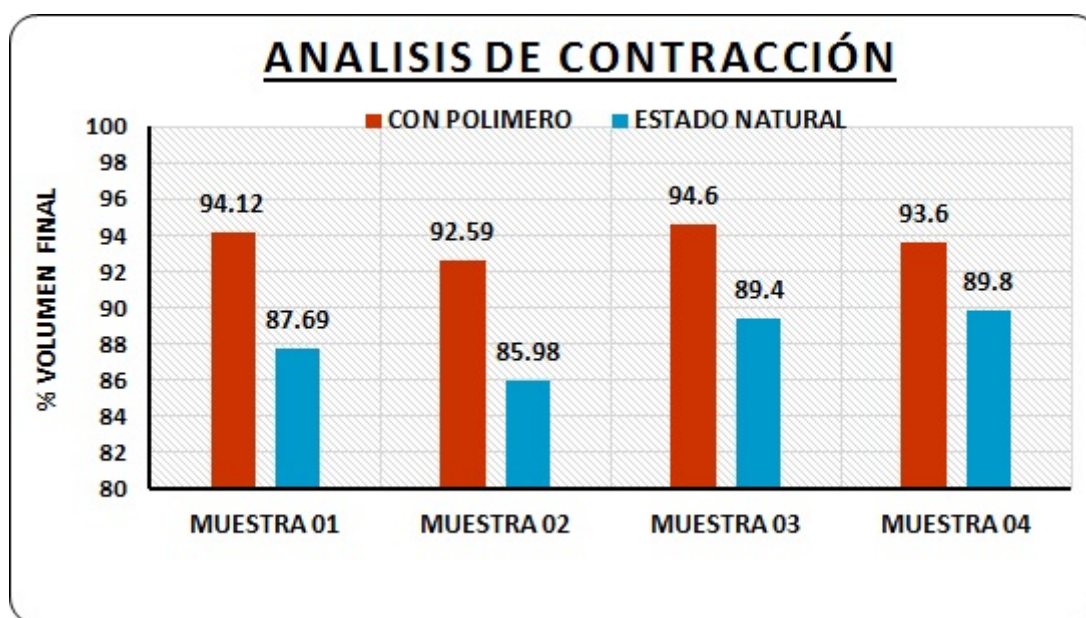


Figura 4.51: Influencia del polímero en la contracción de las Muestras

## 4.10. Costos de estabilización

### 4.10.1. Comparación de costo de estabilización con polímero y otros métodos de estabilización

Se realiza un cálculo de costo de estabilización para los dos materiales. En este caso se considera la misma zona para estabilizar, distancia de donde se abastece de las partículas de polímero igual a la distancia de donde se va extraer el material de préstamo, el estabilizante polimérico se considera un material de aplicación directa. Se asume los siguientes datos:

Longitud a estabilizar = 100 m.

Ancho a estabilizar = 3.0 m

Espesor = 0.20 m

Calculo de material a estabilizar:  $V = 100\text{m} \times 3\text{m} \times 0.20\text{m} = 60 \text{ m}^3$

Este es el volumen que se necesita para estabilizar en ambos casos.

Para saber cuánto nos costaría la estabilización con el polímero, se hizo un pequeño cálculo de cuanto de material de este estabilizante polimérico se va utilizar con el suelo mismo.

Se considerara un terreno arcilloso de baja plasticidad (CL), para nuestro estudio la capacidad de soporte del suelo-polímero en mejores condiciones se encuentra a un porcentaje de polímero de 8%, donde MDS es de  $1.780 \text{ gr/cm}^3$ .

$$W = 1.78 \text{ gr/cm}^3 \times 60 \times 10^6 \text{ cm}^3 = 106800000 \text{ gr} = 106800 \text{ kg}$$

El peso anterior calculado de suelo-polímero es lo que se necesita para estabilizar.

Se calculara el peso del polímero a utilizar:

$$W_c = 106800 \text{ kg} \times 0.08 = 8544 \text{ kg}$$

$$8544 / 1.78 = 4800 \text{ cm}^3$$

Que equivale a un volumen de  $4.8 \text{ m}^3$  de polímero, que es el complemento del volumen del suelo. Teniendo estos datos se procede hacer un cálculo de costos unitarios para saber el costo de la estabilización en los dos casos. Luego de los cálculos realizados se obtuvo un costo de estabilización con 100m de longitud, un ancho de 3.0m y un espesor de 0.20m, como podemos observar en el cuadro N° 4.30 :

(Ver Anexo K)

Cuadro 4.30: Análisis de costos para estabilización de suelos

| Costos                     | Estabilización con material de préstamo | Estabilización con polímero | Estabilización con cloruro de calcio | Estabilización suelo-cemento |
|----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Costo total S/.            | 15,522.26                               | 14,778.51                   | 15,976.30                            | 14,786.30                    |
| Costo por $\text{m}^2$ S/. | 51.74                                   | 49.27                       | 53.25                                | 49.30                        |

Se observa que la estabilización con polímero resulta tener menos costo en relación con la estabilización con material de préstamo y otros métodos de estabilización en el medio, esto lo podemos ver mucho mejor en la figura N° 4.52.

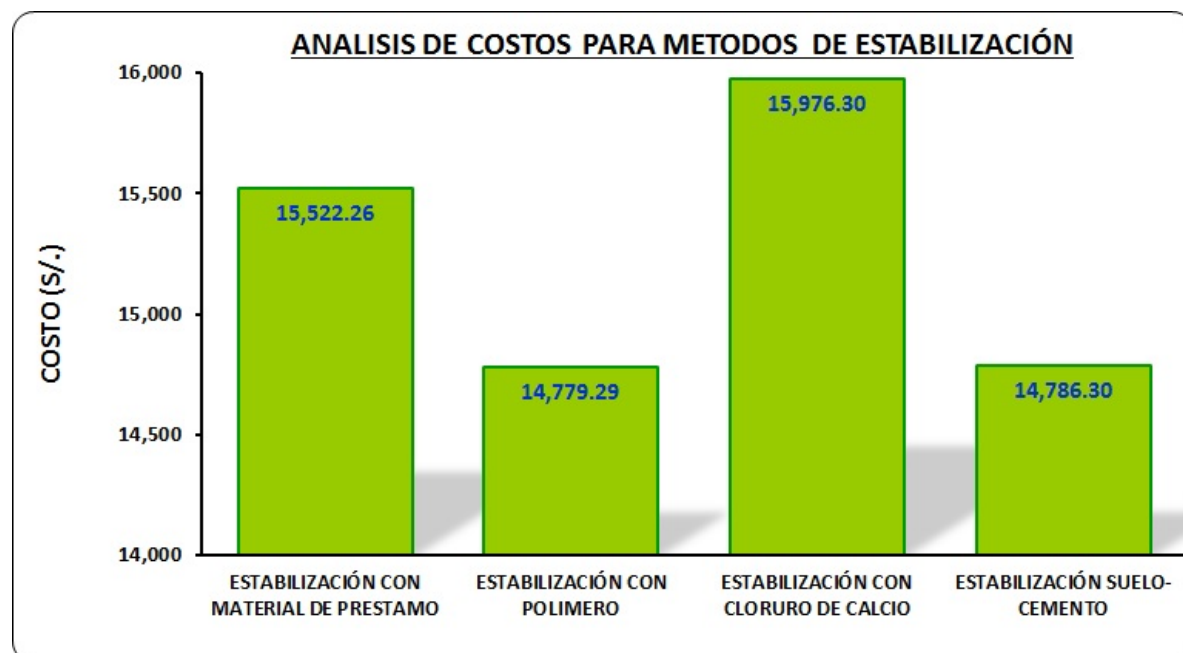
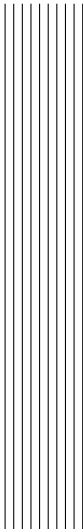


Figura 4.52: Comparación de costos de estabilización con polímero y otros métodos de estabilización.

## Parte III

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



## Capítulo 5

# Conclusiones

En el presente capítulo se presentan algunas conclusiones derivadas del presente trabajo de investigación, donde se llega a las siguientes conclusiones.

1. La caracterización física del suelo sin tratar, se clasificó como una arena arcillosa de baja plasticidad para la Muestra N° 01, y una arcilla inorgánica para las Muestras N° 02, 03, 04 de baja a mediana plasticidad, con un mediano potencial de expansión.
2. El tratamiento del suelo con polímero modificó las características físicas del suelo original, causando un aumento del límite plástico y el límite líquido, lo que generó una mínima disminución en el índice de plasticidad, debido a que los iones de Carbono  $C^{++}$  existentes en el aditivo remueven los iones de silicio  $Si^{++}$  presentes en este tipo de suelos. Podemos decir que el polímero actúa en la acción de adherir las partículas sueltas del suelo, juntándolas y con la energía de compactación reordenándolas, haciéndola más compacta, pero es de poco actuar en los suelos de alta plasticidad.
3. En los ensayos de límite de Atterberg se produjeron cambios tanto en el límite líquido y en el límite plástico, el suelo natural CL (suelo de baja a mediana plasticidad) y el suelo-

---

polímero al 8% y 12%, ubican a la mezcla en un suelo ML (limo de baja compresibilidad), de acuerdo a la clasificación SUCS, lo que significa que esta mezcla reduce su potencial de expansión de alta a baja, esto se observa en el cuadro 4.10.

4. La prueba próctor modificado, que es un indicador de la resistencia al corte de los suelos, también sufrió alteraciones debido a la utilización del polímero. La comparación es conflictiva y complicada cuando se trata de suelos con alta plasticidad.

De acuerdo a nuestro objetivo planteado, las características mecánicas del suelo original también fueron modificadas con la adición del polímero, permitiendo que fueran compactadas con menor humedad. El efecto del aditivo con el agua generó el esponjamiento de las mezclas aumentando su volumen y disminuyendo así su densidad seca máxima a medida que aumentaba el porcentaje de aditivo en la mezcla.

5. De acuerdo a nuestra Hipótesis, se logró incrementar la capacidad de soporte CBR y la resistencia del suelo-polímero, lo anterior se presentó solo para algunos porcentajes de aditivo, ya que las mezclas que mejor comportamiento mecánico presentaron fueron las que contenían los porcentajes intermedios de polímero, lo anterior se vio reflejado en la mejor distribución de las partículas y reducción de los vacíos en las mezclas con porcentajes del 12%, 8%, 12% y 10% de aditivo, para la Muestra N° 01, Muestra N° 02, Muestra N° 03 y Muestra N° 04 respectivamente.
6. Al realizar la saturación a las mezclas suelo-polímero, el porcentaje de expansión presentó un aumento significativo en relación con los resultados de expansión de las mezclas iniciales, pero que el tiempo de saturación al 100% fueron de mayor tiempo, indicando una disminución de permeabilidad con respecto a los moldes sin aditivo, mientras que la capacidad de soporte presenta incrementos importantes al tomar una relación óptima de su densidad máxima seca y contenido de humedad. Por lo anterior, se determinó que la estructura original no sufrió pérdidas de resistencia al saturar, demostrando así la baja sensibilidad del material.

Finalmente, uno de los objetivos secundarios, se logró demostrar que en el ensayo de expan-

---

sión se puede concluir que el uso del estabilizador químico, corrigió el desorden expansivo que tenían las muestras en estado natural, también prolongo el tiempo de saturación de las muestras, haciéndolos un poco menos permeables en su relación de vacío, esto condujo a una saturación en mayor tiempo en las mismas condiciones que los especímenes en estado natural.

7. Efectivamente, la utilización del polímero en la estabilización de suelos arcillosos genera cambios importantes en las propiedades físico-mecánicas del suelo, mejorando sus características y haciéndolos aptos para la utilización en estructuras de pavimentos.

### **Ventajas**

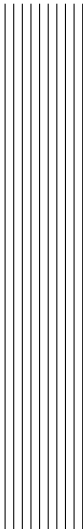
- Aumenta la capacidad para soportar carga y la resistencia al cizallamiento como una capa de desgaste.
- Sumamente resistente al agua y estable en condiciones de humedad sin producir
- Evita la absorción de agua, esto asegura que el suelo se mantenga seco y con gran fricción entre partículas independientemente de la humedad de la capa inferior.
- Control de supresión del polvo, control de emisiones de partículas y de la erosión.
- Buena relación entre costo y rendimiento de las superficies y caminos no pavimentados en una variedad de aplicaciones.
- En suelo arcilloso modifica el contenido de humedad, el cambio de volumen puede ser significativo.

### **Desventajas**

- No es recomendable para el uso de suelos sin cohesión.
- Dificultades del mezclado: no todos los polímeros son compatibles con el tipo de suelo a tratar, la dosificación puede ser menor e incluso mayor, siendo ya antieconómico para el trabajo de estabilización.



- 
- Para suelos de alta plasticidad y capacidad expansiva, los resultados no son muy alentadores, pero esto depende de su naturaleza, por tal motivo se recomienda su análisis previo.
  - Es evidente que una de las desventajas de esto es el alto costo inicial del tratamiento de estabilización debido a que es un producto poco comercial en la región, sin embargo si se realiza un análisis del costo a largo plazo(es decir, la vida útil de la vía); podemos decir que el elevado costo inicial queda sobradamente compensado por la reducción del mantenimiento futuro y el alargamiento de la vida en la vía vecinal estabilizada.

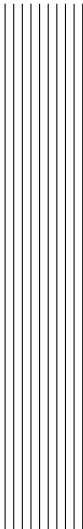


## Capítulo 6

### Recomendaciones

1. Es muy importante tomar en cuenta si la muestra preparada y saturada sobre pasa los 4 días como lo pide la norma, significa que no ha alcanzado su grado de saturación al 100%, esto es común en suelos de alta cohesión como es caso de las arcillas, la saturación total puede tomar más días, por eso es recomendable tener el control.
2. Se recomienda llevar un máximo control en el proceso de compactación y pesado de cada espécimen, ya que esto dependerá de resultado que esperamos para obtener una humedad óptima y una densidad máxima.
3. Llevar el registro de datos de la expansión adecuadamente y en su tiempo, ya que dependerá de ello los resultados.
4. Se recomienda que para el proceso de saturación, cada espécimen debe de escurrir un tiempo regular para este tipo de suelos.
5. Tener cuidado en las unidades, preferentemente se tiene que uniformizar a un solo sistema métrico, para evitar errores de cálculo.

- 
6. Se recomienda tener en cuenta el secado de las muestras en el horno, se debe de tomar en cuenta lo que recomienda la norma sobre el tiempo de secado de las muestras, pues esto afectara en el resultado en su la mala práctica.
  7. Para el ensayo de límite de contracción se trabajó con el mercurio un metal en estado líquido, de alta toxicidad, por lo cual se recomienda tomar las medidas de seguridad necesarias para no ocasionar un accidente y pérdida del metal por su propiedad dúctil, maleable y extremadamente móvil.
  8. Para suelos con alta plasticidad, es recomendable hacer una combinación con grava para su mejor desempeño con el polímero en el futuro.
  9. Tras la realización de esta tesis, y teniendo en cuenta *el estado del arte y el estado de la práctica* en el momento de su culminación y que servirán de base para futuras investigaciones en esta área de la Geotecnia.



## Bibliografía

[Art, ]

[Tes, 2012] (2012). *Estabilización química de las arcillas expansivas mediante el uso de cemento a fin de emplearlo como base de pavimento rígido en el desarrollo de proyectos de viviendas de interés social.*

[Alejandro Zapata y Rodríguez, 2008] Alejandro Zapata y Rodríguez, T. J. C. (2008). *Evaluación de la vulnerabilidad de las carreteras de interés nacional de la provincia Santiago de Cuba ante la odurrencia de eventos naturales.*

[Atienza-Díaz, ] Atienza-Díaz, Manuel Fontseré-Pujol, V. Utilización de polímeros para la estabilización de suelos para su uso en carreteras. *Consejería de Obras Públicas y Transportes YEAR = 2009,*.

[Beltrán et al., 2011] Beltrán, M. et al. (2011). Tema 1. estructura y propiedades de los polímeros. *Tecnología de los Polímeros.*

[Berry and Reid, 1993] Berry, P. L. and Reid, D. (1993). *Mecánica de suelos.* McGraw-Hill.

[Billmeyer, 1975] Billmeyer, F. W. (1975). *Ciencia de los polímeros.* Reverté.

- 
- [Bowles, 1978] Bowles, J. E. (1978). *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. [Engineering properties of soils and their measurement. McGraw-Hill. Bogotá.
- [Conde, 1968] Conde, C. S. (1968). Aplicaciones de la dilatometría en cerámica. *Bol, Soc, Esp. Cerám*, 7(5):293–318.
- [Coronado, 2000] Coronado, J. (2000). Catálogo centroamericano de daños a pavimentos viales. *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras*, 3.
- [Das and González, 2015] Das, B. M. and González, S. R. C. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Cengage Learning.
- [De Pablo Galán, 1964] De Pablo Galán, L. (1964). Las arcillas: Clasificación, identificación, usos y especificaciones industriales. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, pages 49–91.
- [de transporte y Comunicaciones, 2004] de transporte y Comunicaciones, M. (2004). Norma técnica de estabilizadores químicos dirección general de caminos y ferrocarriles (dgc y f-peru) mtc e 1109-2004. *Mtc E 1109-2004*.
- [Fernandez Navarro, 1962] Fernandez Navarro, J. M. (1962). Plasticidad de las arcillas. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr*, 1(7):449473.
- [Fontseré-Pujol, 2009] Fontseré-Pujol, V. (2009). Utilización de polímeros para la estabilización de suelos para su uso en carreteras.
- [Garber N., ] Garber N., L. A. *Ingeniería de Tránsito y de Carreteras*. Thomson.
- [Grimshaw and Searle, 1971] Grimshaw, R. W. and Searle, A. B. (1971). *The chemistry and physics of clays and allied ceramic materials*. Wiley-Interscience.
- [INGEMMET, 2000] INGEMMET (2000). Mapa geológico del Perú. *Instituto Geológico Minero Y Metalurgico Lima*.
- [Ingles and Metcalf, 1972] Ingles, O. G. and Metcalf, J. B. (1972). *Soil stabilization principles and practice*. McGraw-Hill.

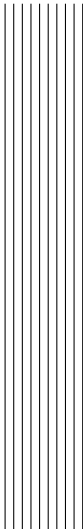
- 
- [Iturbide, 2002] Iturbide, J. C. (2002). Manual centroamericano para diseño de pavimentos. *SIECA. Guatemala*.
- [Juárez Badillo and Rico Rodríguez, 1975] Juárez Badillo, E. and Rico Rodríguez, A. (1975). *Mecánica de suelos, tomo I, fundamentos de la mecánica de suelos*. México: Limusa.
- [Lambe and Whitman, 1972] Lambe, T. W. and Whitman, R. V. (1972). *Mecánica de suelos*. Limusa-Wiley.
- [López-Lara et al., 2010] López-Lara, T., Hernández-Zaragoza, J. B., Horta-Rangel, J., Castaño-Meneses, V. M., and Coronado-Márquez, A. (2010). Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas. *Revista Iberoamericana de Polímeros*.
- [Maldonado and Martinez, 2009] Maldonado, H. and Martinez, A. C. O. (2009). *Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en El Salvador*.
- [Montes, 2010] Montes, C. A. G. (2010). Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (bischofita) frente al cloruro de calcio. *Enlace*.
- [Morche, 1995] Morche, W. (1995). *Geología del cuadrángulo de Ayacucho*. INGEMMET.
- [MTC, 2014] MTC, M. (2014). Manual ensayo de materiales. *MTC. Peru*.
- [Oncebay Cuya, 2017] Oncebay Cuya, E. (2017). *Determinación de las isócronas de consolidación unidimensional para cimentación en arcillas del Centro Educativo de Moya, Distrito de Quinua-Ayacucho*.
- [Ortega, 2008] Ortega, C. A. Q. (2008). *Mejoramiento de suelos en base a los métodos de vibroflotación y vibrosustitución*.
- [Rodríguez, 1969] Rodríguez, A. R. (1969). *Mecánica de suelos*. Editorial Limusa.
- [Seymour and Carraher, 1995] Seymour, R. B. and Carraher, C. E. (1995). *Introducción a la química de los polímeros*. Reverté.

- 
- [Sposito, 2008] Sposito, G. (2008). *The chemistry of soils*. Oxford university press.
- [Terzaghi, 1944] Terzaghi, K. (1944). *Theoretical soil mechanics*. Chapman And Hali, Limited John Wiler And Sons, Inc; New York.
- [Valle Areas, 2010] Valle Areas, W. A. (2010). *Estabilización de suelos arcillosos plásticos con mineralizadores en ambientes sulfatados o yesíferos*.
- [Velandia Sanabria and Parra Pérez, 2016] Velandia Sanabria, C. C. and Parra Pérez, M. L. (2016). Suelo a-2, 6 estabilizado con cemento sustituyendo la fracción pasa el tamiz n° 4 y retiene n° 10 del agregado por polímero de alta densidad (pehd). *Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Civil*.
- [Whitlow, 1994] Whitlow, R. (1994). *Fundamentos de mecánica de suelos*. Number 624.151 W4Y 1990.
- [Whitman and Lambe, 2002] Whitman, R. V. and Lambe, T. W. (2002). *Mecánica de suelos*. Limusa.

## Parte IV

## ANEXOS





## Anexo A

### Análisis granulométrico.

1. Granulometría de la Calicata 01 (Muestra N° 01).
2. Granulometría de la Calicata 02 (Muestra N° 02).
3. Granulometría de la Calicata 03 (Muestra N° 03).
4. Granulometría de la Calicata 04 (Muestra N° 04).

# ANEXO 01

## HUMEDAD Y GRANULOMETRIA POR TAMIZADO

|                     |                                                                                                                                                                                      |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma :             | NTP 339.128 (ASTM D-422) Y NTP 339.127 MTC E-107                                                                                                                                     |
| Proyecto de Tesis : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO – ACRÍLICO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante :       | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                                          |
| Material :          | Arcilla de baja plasticidad                                                                                                                                                          |
| Calicata :          | 01 (Muestra N° 01)                                                                                                                                                                   |
| Profundidad :       | 1.50 mts.                                                                                                                                                                            |
| Ubicación :         | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                                |
| Fecha :             | Noviembre del 2017                                                                                                                                                                   |

|                                       |           |                                         |           |
|---------------------------------------|-----------|-----------------------------------------|-----------|
| Peso recipiente                       | 166.29 gr | Peso recipiente + muestra seca (lavada) | 706.67 gr |
| Peso recipiente + muestra con humedad | 944.48 gr | Peso de muestra seca (lavada)           | 540.38 gr |
| Peso recipiente + muestra seca        | 879.62 gr | Peso de muestra seca (sin lavar)        | 713.33 gr |

| MALLA   | Abertura (mm) | Material retenido |        | Porcentaje Acumulado |          |
|---------|---------------|-------------------|--------|----------------------|----------|
|         |               | (gr)              | (%)    | Retenido             | Que pasa |
| 3"      | 75.000        | 0.00              | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 2"      | 50.000        | 0.00              | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 1 1/2"  | 37.500        | 0.00              | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 1"      | 25.000        | 0.00              | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 3/4"    | 19.000        | 13.12             | 1.85   | 1.85                 | 98.15    |
| 1/2"    | 12.700        | 9.25              | 1.30   | 3.15                 | 96.85    |
| 3/8"    | 9.500         | 17.34             | 2.44   | 5.58                 | 94.42    |
| Nro.004 | 4.750         | 24.22             | 3.41   | 8.99                 | 91.01    |
| Nro.010 | 2.000         | 71.84             | 10.10  | 19.09                | 80.91    |
| Nro.020 | 0.850         | 120.45            | 16.94  | 36.03                | 63.97    |
| Nro.030 | 0.600         | 54.29             | 7.63   | 43.67                | 56.33    |
| Nro.040 | 0.425         | 51.79             | 7.28   | 50.95                | 49.05    |
| Nro.060 | 0.250         | 68.10             | 9.58   | 60.53                | 39.47    |
| Nro.100 | 0.150         | 52.66             | 7.41   | 67.93                | 32.07    |
| Nro.200 | 0.075         | 49.24             | 6.92   | 74.86                | 25.14    |
| FONDO   |               | 5.84              | 25.14  | 100.00               | 0.00     |
| TOTAL   |               | 538.14            | 100.00 | --                   | --       |

| LÍMITE DE CONSISTENCIA                |       |
|---------------------------------------|-------|
| Límite líquido ASTM D-4318 (%)        | 32.91 |
| Límite plástico ASTM D-4318 (%)       | 21.43 |
| Índice de plasticidad ASTM D-4318 (%) | 11.19 |
| Humedad natural (%)                   | 9.09  |

| DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA |       |
|-----------------------------|-------|
| % FINOS                     | 25.14 |
| % GRAVA                     | 8.99  |
| % ARENA                     | 65.87 |

| CLASIFICACIÓN (SUCS) |  |
|----------------------|--|
| SC                   |  |

| CLASIFICACIÓN (AASHTO) |  |
|------------------------|--|
| A-2-6(4)               |  |

| PARÁMETROS DE CURVA |       |    |
|---------------------|-------|----|
| D 10:               | 0.022 | mm |
| D 30:               | 0.115 | mm |
| D 60:               | 0.695 | mm |
| Cu:                 | 31.59 |    |
| Cc:                 | 0.86  |    |

## CURVA GRANULOMETRICA MUESTRA N° 01

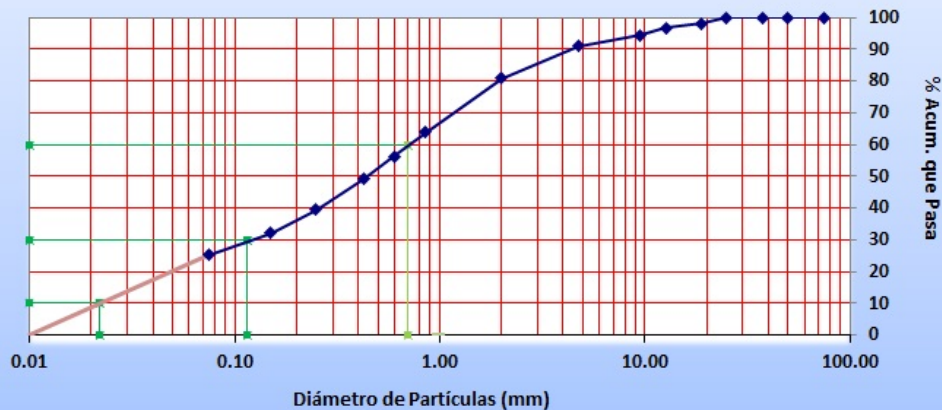


Figura 7.1: Granulometría de la Calicata 01 (Muestra N° 01).

## ANEXO 02

### HUMEDAD Y GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

|                   |   |                                                                                                                                                                                      |
|-------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma             | : | NTP 339.128 (ASTM D-422) Y NTP 339.127 MTC E-107                                                                                                                                     |
| Proyecto de Tesis | : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO – ACRÍLICO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante       | : | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                                          |
| Material          | : | Arcilla de mediana plasticidad                                                                                                                                                       |
| Calicata          | : | 02 (Muestra N° 02)                                                                                                                                                                   |
| Profundidad       | : | 1.50 mts.                                                                                                                                                                            |
| Ubicación         | : | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                                |
| Fecha             | : | Noviembre del 2017                                                                                                                                                                   |

|                                       |           |                                         |           |
|---------------------------------------|-----------|-----------------------------------------|-----------|
| Peso recipiente                       | 168.60 gr | Peso recipiente + muestra seca (lavada) | 256.41 gr |
| Peso recipiente + muestra con humedad | 586.29 gr | Peso de muestra seca (lavada)           | 87.81 gr  |
| Peso recipiente + muestra seca        | 536.79 gr | Peso de muestra seca (sin lavar)        | 368.19 gr |

| MALLA   | Abertura (mm) | Material retenido |        | Porcentaje Acumulado |          |
|---------|---------------|-------------------|--------|----------------------|----------|
|         |               | (gr)              | (%)    | Retenido             | Que pasa |
| 3"      | 75.000        | 0.00              | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 2"      | 50.000        | 0.00              | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 1 1/2"  | 37.500        | 0.00              | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 1"      | 25.000        | 0.00              | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 3/4"    | 19.000        | 0.00              | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 1/2"    | 12.700        | 0.00              | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 3/8"    | 9.500         | 0.00              | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| Nro.004 | 4.750         | 0.00              | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| Nro.010 | 2.000         | 0.20              | 0.05   | 0.05                 | 99.95    |
| Nro.020 | 0.850         | 1.34              | 0.36   | 0.42                 | 99.58    |
| Nro.030 | 0.600         | 2.23              | 0.61   | 1.02                 | 98.98    |
| Nro.040 | 0.425         | 5.80              | 1.58   | 2.60                 | 97.40    |
| Nro.060 | 0.250         | 16.82             | 4.57   | 7.17                 | 92.83    |
| Nro.100 | 0.150         | 28.37             | 7.71   | 14.89                | 85.11    |
| Nro.200 | 0.075         | 31.52             | 8.57   | 23.46                | 76.54    |
| FONDO   |               | 1.18              | 76.54  | 100.00               | 0.00     |
| TOTAL   |               | 87.46             | 100.00 | --                   | --       |

| LÍMITE DE CONSISTENCIA                |       |
|---------------------------------------|-------|
| Límite líquido ASTM D-4318 (%)        | 34.44 |
| Límite plástico ASTM D-4318 (%)       | 21.76 |
| Índice de plasticidad ASTM D-4318 (%) | 12.68 |
| Humedad natural (%)                   | 13.44 |

| DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA |       |
|-----------------------------|-------|
| % FINOS                     | 76.54 |
| % GRAVA                     | 0.00  |
| % ARENA                     | 23.46 |

| CLASIFICACIÓN (SUCS) |  |
|----------------------|--|
| CL                   |  |

| CLASIFICACIÓN (AASHTO) |  |
|------------------------|--|
| A-6(16)                |  |

| PARÁMETROS DE CURVA |       |    |
|---------------------|-------|----|
| D 10:               | 0.013 | mm |
| D 30:               | 0.022 | mm |
| D 60:               | 0.048 | mm |
| Cu:                 | 3.69  |    |
| Cc:                 | 0.78  |    |

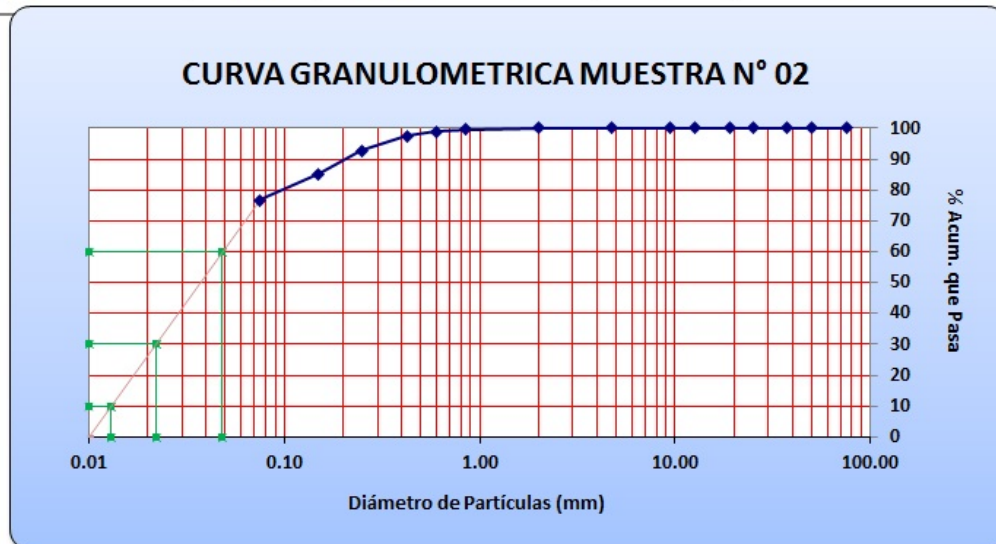


Figura 7.2: Granulometría de la Calicata 02 (Muestra N° 02).

(Geotecnia & Ingeniería, 2018)

### ANEXO 03

#### HUMEDAD Y GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

|                   |   |                                                                                                                                                                                      |
|-------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma             | : | NTP 339.128 (ASTM D-422) Y NTP 339.127 MTC E-107                                                                                                                                     |
| Proyecto de Tesis | : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO – ACRÍLICO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante       | : | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                                          |
| Material          | : | Arcilla de mediana plasticidad                                                                                                                                                       |
| Calicata          | : | 03 (Muestra N° 03)                                                                                                                                                                   |
| Profundidad       | : | 1.50 mts.                                                                                                                                                                            |
| Ubicación         | : | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                                |
| Fecha             | : | Noviembre del 2017                                                                                                                                                                   |

|                                       |           |                                         |           |
|---------------------------------------|-----------|-----------------------------------------|-----------|
| Peso recipiente                       | 169.74 gr | Peso recipiente + muestra seca (lavada) | 364.70 gr |
| Peso recipiente + muestra con humedad | 833.32 gr | Peso de muestra seca (lavada)           | 194.96 gr |
| Peso recipiente + muestra seca        | 772.43 gr | Peso de muestra seca (sin lavar)        | 602.69 gr |

| MALLA   | Abertura (mm) | Material retenio |        | Porcentaje Acumulado |          |
|---------|---------------|------------------|--------|----------------------|----------|
|         |               | (gr)             | (%)    | Retenido             | Que pasa |
| 3"      | 75.000        | 0.00             | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 2"      | 50.000        | 0.00             | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 1 1/2"  | 37.500        | 0.00             | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 1"      | 25.000        | 0.00             | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 3/4"    | 19.000        | 0.00             | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 1/2"    | 12.700        | 0.00             | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 3/8"    | 9.500         | 0.00             | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| Nro.004 | 4.750         | 0.00             | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| Nro.010 | 2.000         | 0.50             | 0.08   | 0.08                 | 99.92    |
| Nro.020 | 0.850         | 14.56            | 2.42   | 2.50                 | 97.50    |
| Nro.030 | 0.600         | 22.42            | 3.72   | 6.22                 | 93.78    |
| Nro.040 | 0.425         | 37.73            | 6.26   | 12.48                | 87.52    |
| Nro.060 | 0.250         | 54.28            | 9.01   | 21.49                | 78.51    |
| Nro.100 | 0.150         | 39.11            | 6.49   | 27.98                | 72.02    |
| Nro.200 | 0.075         | 25.58            | 4.24   | 32.22                | 67.78    |
| FONDO   |               | 0.72             | 67.78  | 100.00               | 0.00     |
| TOTAL   |               | 194.90           | 100.00 | --                   | --       |

| LÍMITE DE CONSISTENCIA                |       |       |
|---------------------------------------|-------|-------|
| Límite líquido ASTM D-4318 (%)        |       | 33.12 |
| Límite plástico ASTM D-4318 (%)       |       | 16.23 |
| Índice de plasticidad ASTM D-4318 (%) |       | 16.88 |
| Humedad natural (%)                   |       | 10.10 |
| DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA           |       |       |
| % FINOS                               |       | 67.78 |
| % GRAVA                               |       | 0.00  |
| % ARENA                               |       | 32.22 |
| CLASIFICACIÓN (SUCS)                  |       |       |
| CL                                    |       |       |
| CLASIFICACIÓN (AASHTO)                |       |       |
| A-6(16)                               |       |       |
| PARÁMETROS DE CURVA                   |       |       |
| D 10:                                 | 0.014 | mm    |
| D 30:                                 | 0.024 | mm    |
| D 60:                                 | 0.059 | mm    |
| Cu:                                   | 4.37  |       |
| Cc:                                   | 0.72  |       |

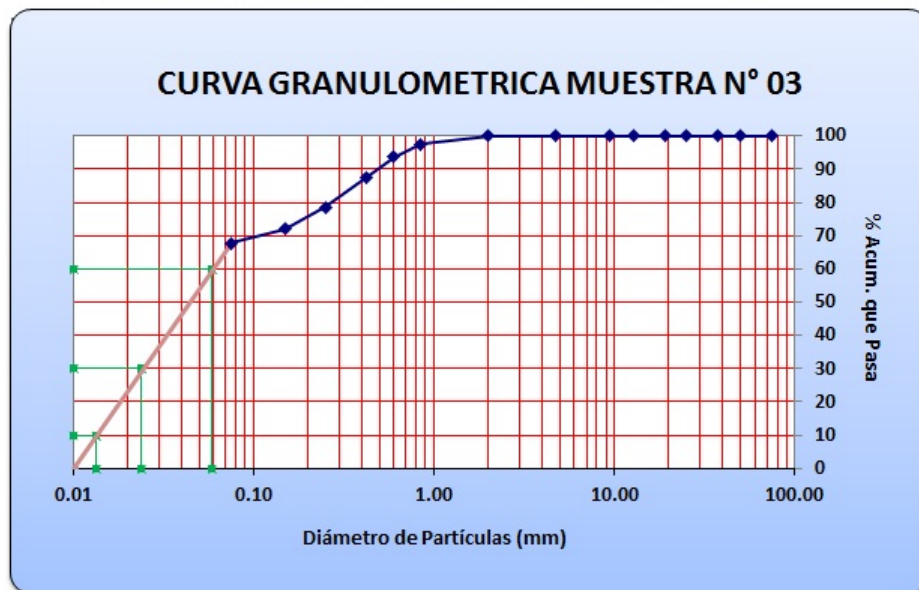


Figura 7.3: Granulometría de la Calicata 03 (Muestra N° 03).



# ANEXO 04

## HUMEDAD Y GRANULOMETRIA POR TAMIZADO

|                   |   |                                                                                                                                                                                      |
|-------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma             | : | NTP 339.128 (ASTM D-422) Y NTP 339.127 MTC E-107                                                                                                                                     |
| Proyecto de Tesis | : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO – ACRÍLICO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante       | : | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                                          |
| Material          | : | Arcilla de alta plasticidad                                                                                                                                                          |
| Calicata          | : | 04 (Muestra N° 04)                                                                                                                                                                   |
| Profundidad       | : | 1.50 mts.                                                                                                                                                                            |
| Ubicación         | : | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                                |
| Fecha             | : | Noviembre del 2017                                                                                                                                                                   |

|                                       |           |                                        |           |
|---------------------------------------|-----------|----------------------------------------|-----------|
| Peso recipiente                       | 170.73 gr | Peso recipiente + muestra seca (lavad) | 267.91 gr |
| Peso recipiente + muestra con humedad | 672.73 gr | Peso de muestra seca (lavada)          | 97.18 gr  |
| Peso recipiente + muestra seca        | 599.10 gr | Peso de muestra seca (sin lavar)       | 428.37 gr |

| MALLA   | Abertura (mm) | Material retenio |        | Porcentaje Acumulado |          |
|---------|---------------|------------------|--------|----------------------|----------|
|         |               | (gr)             | (%)    | Retenido             | Que pasa |
| 3"      | 75.000        | 0.00             | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 2"      | 50.000        | 0.00             | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 1 1/2"  | 37.500        | 0.00             | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 1"      | 25.000        | 0.00             | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 3/4"    | 19.000        | 0.00             | 0.00   | 0.00                 | 100.00   |
| 1/2"    | 12.700        | 3.45             | 0.81   | 0.81                 | 99.19    |
| 3/8"    | 9.500         | 1.13             | 0.26   | 1.07                 | 98.93    |
| Nro.004 | 4.750         | 1.11             | 0.26   | 1.33                 | 98.67    |
| Nro.010 | 2.000         | 3.25             | 0.76   | 2.09                 | 97.91    |
| Nro.020 | 0.850         | 10.90            | 2.55   | 4.63                 | 95.37    |
| Nro.030 | 0.600         | 6.97             | 1.63   | 6.26                 | 93.74    |
| Nro.040 | 0.425         | 9.56             | 2.23   | 8.49                 | 91.51    |
| Nro.060 | 0.250         | 16.96            | 3.96   | 12.45                | 87.55    |
| Nro.100 | 0.150         | 19.63            | 4.58   | 17.04                | 82.96    |
| Nro.200 | 0.075         | 23.80            | 5.56   | 22.59                | 77.41    |
| FONDO   |               | 0.32             | 77.41  | 100.00               | 0.00     |
| TOTAL   |               | 97.08            | 100.00 | —                    | —        |

| LÍMITE DE CONSISTENCIA                |       |       |
|---------------------------------------|-------|-------|
| Limite líquido ASTM D-4318 (%)        |       | 43.56 |
| Limite plástico ASTM D-4318 (%)       |       | 23.37 |
| Índice de plasticidad ASTM D-4318 (%) |       | 20.19 |
| Humedad natural (%)                   |       | 17.19 |
| DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA           |       |       |
| % FINOS                               |       | 77.41 |
| % GRAVA                               |       | 1.33  |
| % ARENA                               |       | 21.26 |
| CLASIFICACIÓN (SUCS)                  |       |       |
| CL                                    |       |       |
| CLASIFICACIÓN (AASHTO)                |       |       |
| A-7-5 (20)                            |       |       |
| PARÁMETROS DE CURVA                   |       |       |
| D 10:                                 | 0.013 | mm    |
| D 30:                                 | 0.022 | mm    |
| D 60:                                 | 0.048 | mm    |
| Cu:                                   | 3.69  |       |
| Cc:                                   | 0.74  |       |

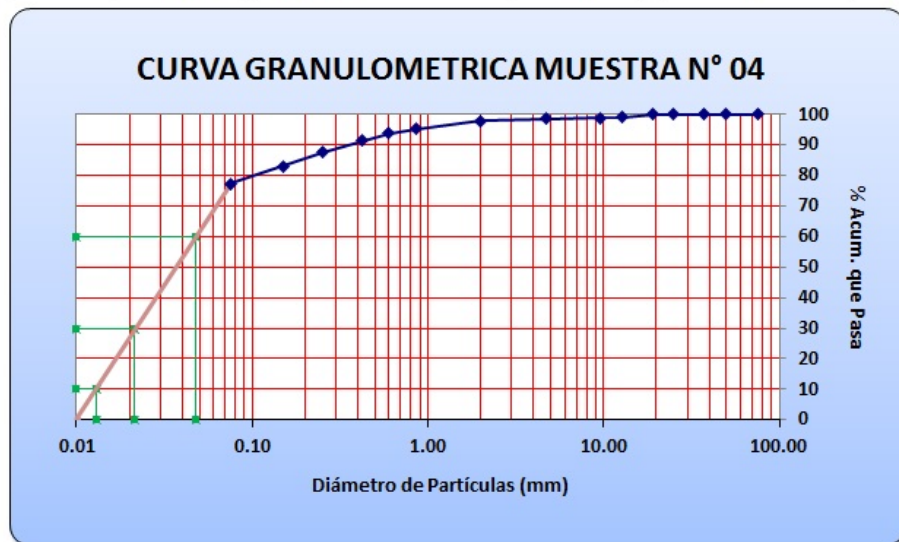
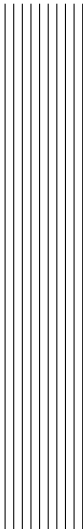


Figura 7.4: Granulometría de la Calicata 04 (Muestra N° 04).  
(Geotecnia & Ingeniería, 2018)



## Anexo B

### Límites de consistencia (Para suelo natural).

5. Límite líquido y plástico (Muestra N° 01).
6. Límite líquido y plástico (Muestra N° 02).
7. Límite líquido y plástico (Muestra N° 03).
8. Límite líquido y plástico (Muestra N° 04).

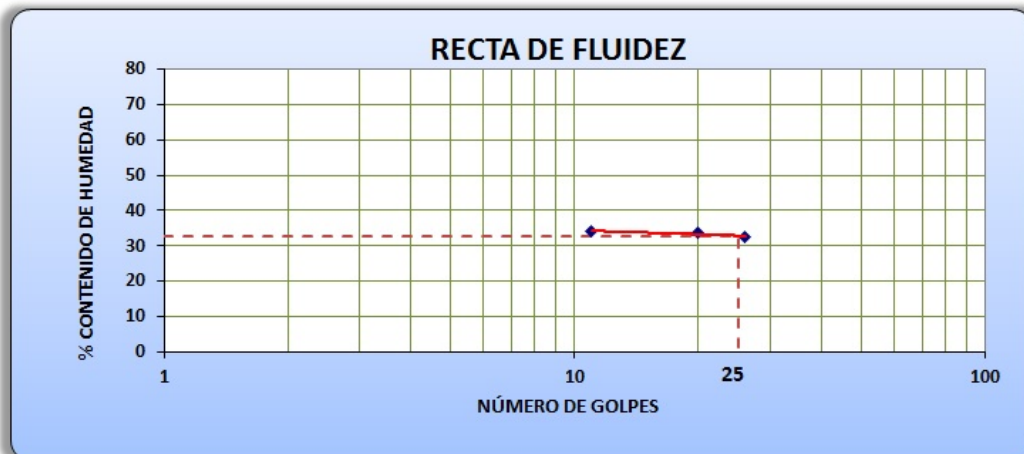
## ANEXO 05

### LÍMITE DE ATTERBERG

|                   |   |                                                                                                                                                                                       |
|-------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma             | : | NTP 339.129 (ASTM D-4318) MTC E-110 y E-111                                                                                                                                           |
| Proyecto de Tesis | : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO – ACRÍLICO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALO MA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante       | : | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                                           |
| Material          | : | Arcilla de baja plasticidad                                                                                                                                                           |
| Calicata          | : | 01 (Muestra N° 01)                                                                                                                                                                    |
| Profundidad       | : | 1.50 mts.                                                                                                                                                                             |
| Ubicación         | : | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                                 |
| Fecha             | : | Noviembre del 2017                                                                                                                                                                    |

#### LÍMITE LÍQUIDO (L.L.) ASTM D4318

|                    |       |       |       |
|--------------------|-------|-------|-------|
| Nro. de Golpes     | 11    | 26    | 20    |
| Nro. de Recipiente | R-17  | R-18  | R-19  |
| Wrecpiente         | 13.90 | 14.23 | 14.16 |
| Wrecpiente sw      | 23.18 | 24.80 | 22.82 |
| Wrecpiente s       | 20.82 | 22.21 | 20.63 |
| Ww                 | 2.36  | 2.59  | 2.19  |
| Ws                 | 6.92  | 7.98  | 6.47  |
| W (%)              | 34.10 | 32.46 | 33.85 |
| (L.L.)             | 32.91 |       |       |



#### LÍMITE PLÁSTICO (L.P) ASTM D4318

|                    |       |       |
|--------------------|-------|-------|
| Nro. de Recipiente | R-16  | R-23  |
| Wrecpiente         | 7.15  | 7.18  |
| Wrecpiente sw      | 7.32  | 7.35  |
| Wrecpiente s       | 7.29  | 7.32  |
| Ww                 | 0.03  | 0.03  |
| Ws                 | 0.14  | 0.14  |
| W (%)              | 21.43 | 21.43 |
| (L.P.)             | 21.43 |       |

Figura 8.1: Límite líquido y plástico (Muestra N° 01).

(Geotecnia & Ingeniería, 2018)

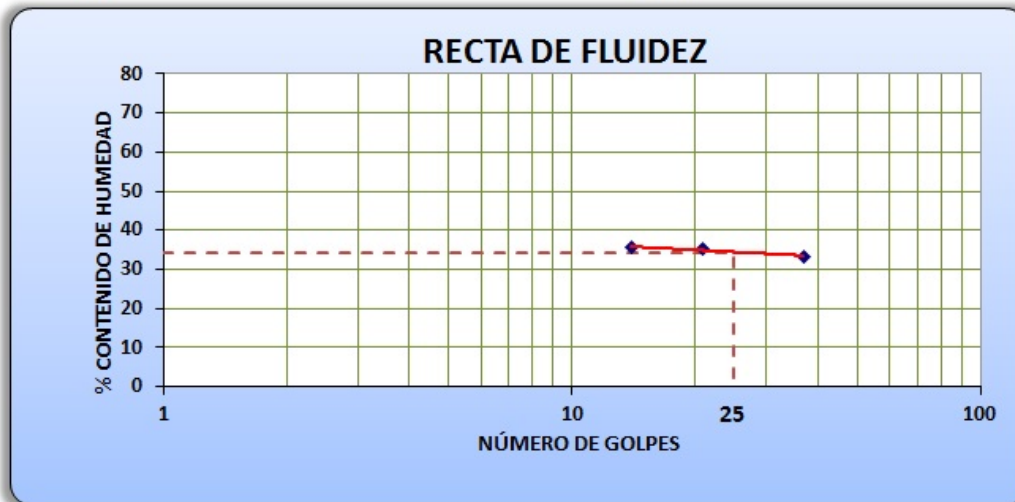
# ANEXO 06

## LÍMITE DE ATTERBERG

|                   |   |                                                                                                                                                                                      |
|-------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma             | : | NTP 339.129 (ASTM D-4318) MTC E-110 y E-111                                                                                                                                          |
| Proyecto de Tesis | : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO – ACRÍLICO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante       | : | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                                          |
| Material          | : | Arcilla de mediana plasticidad                                                                                                                                                       |
| Calicata          | : | 02 (Muestra N° 02)                                                                                                                                                                   |
| Profundidad       | : | 1.50 mts.                                                                                                                                                                            |
| Ubicación         | : | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                                |
| Fecha             | : | Noviembre del 2017                                                                                                                                                                   |

### LÍMITE LÍQUIDO (L.L.) ASTM D4318

|                   |       |       |       |
|-------------------|-------|-------|-------|
| Nro. de Golpes    | 14    | 21    | 37    |
| Nro. de Recplente | R-20  | R-25  | R-26  |
| Wrecplente        | 14.19 | 13.99 | 14.16 |
| Wrecplente sw     | 22.86 | 23.66 | 22.21 |
| Wrecplente s      | 20.59 | 21.13 | 20.20 |
| Ww                | 2.27  | 2.53  | 2.01  |
| Ws                | 6.40  | 7.14  | 6.04  |
| W (%)             | 35.47 | 35.43 | 33.28 |
| (L.L.)            | 34.44 |       |       |



### LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) ASTM D4318

|                   |       |       |
|-------------------|-------|-------|
| Nro. de Recplente | R-28  | R-30  |
| Wrecplente        | 7.11  | 7.14  |
| Wrecplente sw     | 7.32  | 7.38  |
| Wrecplente s      | 7.28  | 7.34  |
| Ww                | 0.04  | 0.04  |
| Ws                | 0.17  | 0.20  |
| W (%)             | 23.53 | 20.00 |
| (L.P.)            | 21.76 |       |

Figura 8.2: Límite líquido y plástico (Muestra N° 02).

(Geotecnia & Ingeniería, 2018)



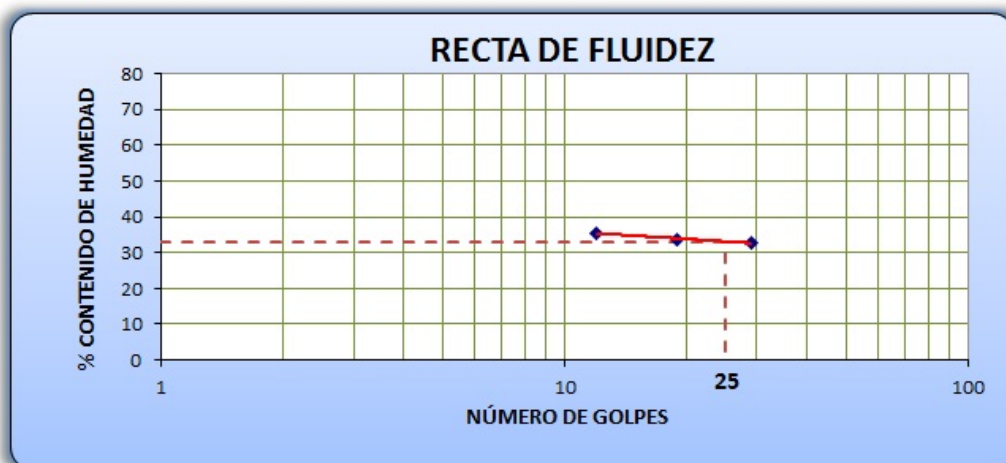
# ANEXO 07

## LÍMITE DE ATTERBERG

|                   |   |                                                                                                                                                                                      |
|-------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma             | : | NTP 339.129 (ASTM D-4318) MTC E-110 y E-111                                                                                                                                          |
| Proyecto de Tesis | : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO – ACRÍLICO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante       | : | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                                          |
| Material          | : | Arcilla de mediana plasticidad                                                                                                                                                       |
| Calicata          | : | 03 (Muestra N° 03)                                                                                                                                                                   |
| Profundidad       | : | 1.50 mts.                                                                                                                                                                            |
| Ubicación         | : | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                                |
| Fecha             | : | Noviembre del 2017                                                                                                                                                                   |

### LÍMITE LÍQUIDO (L.L.) ASTM D4318

|                    |       |       |       |
|--------------------|-------|-------|-------|
| Nro. de Golpes     | 12    | 19    | 29    |
| Nro. de Recipiente | R-14  | R-23  | R-24  |
| Wrecipiente        | 13.90 | 13.96 | 14.11 |
| Wrecipiente sw     | 22.53 | 23.31 | 24.16 |
| Wrecipiente s      | 20.27 | 20.95 | 21.68 |
| Ww                 | 2.26  | 2.36  | 2.48  |
| Ws                 | 6.37  | 6.99  | 7.57  |
| W (%)              | 35.48 | 33.76 | 32.76 |
| (L.L.)             | 33.12 |       |       |



### LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) ASTM D4318

|                    |       |       |
|--------------------|-------|-------|
| Nro. de Recipiente | R-19  | R-20  |
| Wrecipiente        | 7.08  | 7.04  |
| Wrecipiente sw     | 7.32  | 7.30  |
| Wrecipiente s      | 7.29  | 7.26  |
| Ww                 | 0.03  | 0.04  |
| Ws                 | 0.21  | 0.22  |
| W (%)              | 14.29 | 18.18 |
| (L.P.)             | 16.23 |       |

Figura 8.3: Límite líquido y plástico (Muestra N° 03).

(Geotecnia & Ingeniería, 2018)

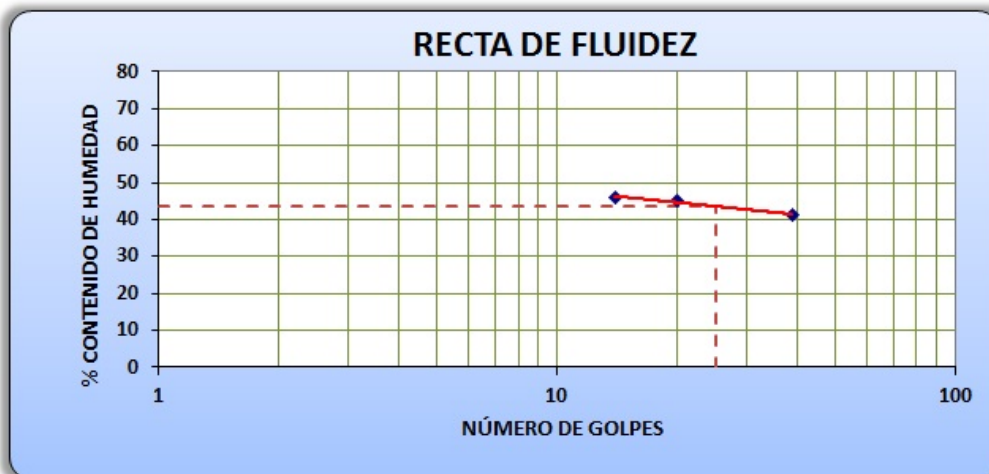
# ANEXO 08

## LÍMITE DE ATTERBERG

|                   |   |                                                                                                                                                                                      |
|-------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma             | : | NTP 339.129 (ASTM D-4318) MTC E-110 y E-111                                                                                                                                          |
| Proyecto de Tesis | : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO – ACRÍLICO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante       | : | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                                          |
| Material          | : | Arcilla de mediana plasticidad                                                                                                                                                       |
| Calicata          | : | 04 (Muestra N° 04)                                                                                                                                                                   |
| Profundidad       | : | 1.50 mts.                                                                                                                                                                            |
| Ubicación         | : | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                                |
| Fecha             | : | Noviembre del 2017                                                                                                                                                                   |

### LÍMITE LÍQUIDO (L.L.) ASTM D4318

|                    |       |       |       |
|--------------------|-------|-------|-------|
| Nro. de Golpes     | 14    | 20    | 39    |
| Nro. de Recipiente | R-11  | R-12  | R-16  |
| Wrecipiente        | 13.98 | 13.98 | 14.15 |
| Wrecipiente sw     | 23.21 | 23.19 | 22.19 |
| Wrecipiente s      | 20.30 | 20.33 | 19.84 |
| Ww                 | 2.91  | 2.86  | 2.35  |
| Ws                 | 6.32  | 6.35  | 5.69  |
| W (%)              | 46.04 | 45.04 | 41.30 |
| (L.L.)             | 43.56 |       |       |

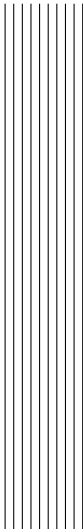


### LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) ASTM D4318

|                    |       |       |
|--------------------|-------|-------|
| Nro. de Recipiente | R-11  | R-18  |
| Wredpiente         | 7.05  | 7.15  |
| Wredpiente sw      | 7.35  | 7.43  |
| Wredpiente s       | 7.29  | 7.38  |
| Ww                 | 0.06  | 0.05  |
| Ws                 | 0.24  | 0.23  |
| W (%)              | 25.00 | 21.74 |
| (L.P.)             | 23.37 |       |

Figura 8.4: Límite líquido y plástico (Muestra N° 04).

(Geotecnia & Ingeniería, 2018)



## Anexo C

### Límites de consistencia (Para suelo - polímero).

9. Límite líquido y plástico (Muestra N° 01 polímero 12%).
10. Límite líquido y plástico (Muestra N° 02 polímero 8%).
11. Límite líquido y plástico (Muestra N° 03 polímero 12%).
12. Límite líquido y plástico (Muestra N° 04 polímero 10%).

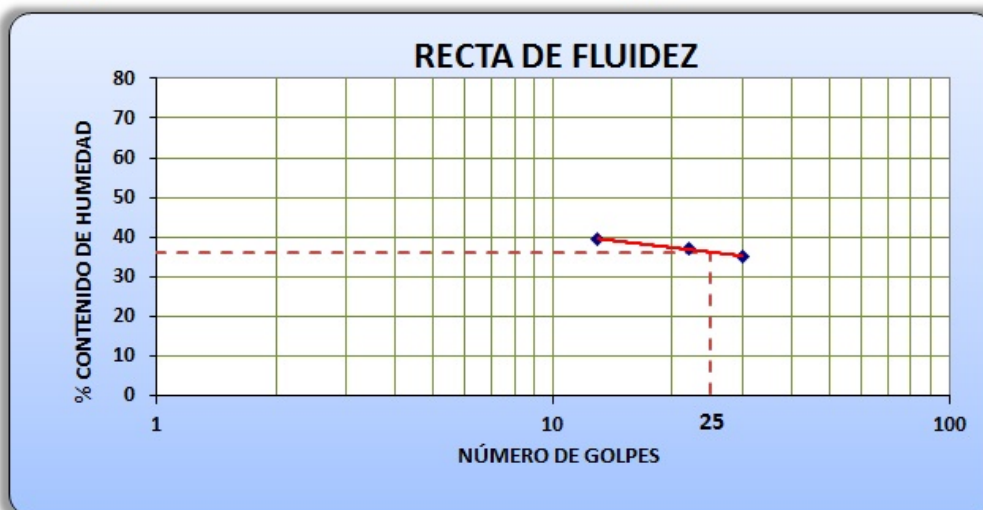
# ANEXO 09

## LÍMITE DE ATTERBERG

|                   |   |                                                                                                                                                                                      |
|-------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma             | : | NTP 339.129 (ASTM D-4318) MTC E-110 y E-111                                                                                                                                          |
| Proyecto de Tesis | : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO – ACRÍLICO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante       | : | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                                          |
| Material          | : | Arcilla de baja plasticidad                                                                                                                                                          |
| Calicata          | : | 01 (Muestra N° 01)                                                                                                                                                                   |
| Polímero          | : | 12%                                                                                                                                                                                  |
| Profundidad       | : | 1.50 mts.                                                                                                                                                                            |
| Ubicación         | : | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                                |
| Fecha             | : | Noviembre del 2017                                                                                                                                                                   |

## LÍMITE LÍQUIDO (LL) ASTM D4318

|                    |       |       |       |
|--------------------|-------|-------|-------|
| Nro. de Golpes     | 13    | 22    | 30    |
| Nro. de Recipiente | R-23  | R-24  | R-25  |
| Wrecipiente        | 14.01 | 14.14 | 14.02 |
| Wrecipiente sw     | 20.83 | 19.79 | 21.45 |
| Wrecipiente s      | 18.90 | 18.26 | 19.52 |
| Ww                 | 1.93  | 1.53  | 1.93  |
| Ws                 | 4.89  | 4.12  | 5.50  |
| W (%)              | 39.47 | 37.14 | 35.09 |
| (L.L.)             | 36.20 |       |       |



## LÍMITE PLÁSTICO (L.P) ASTM D4318

|                    |       |       |
|--------------------|-------|-------|
| Nro. de Recipiente | R-15  | R-16  |
| Wrecipiente        | 7.17  | 7.16  |
| Wrecipiente sw     | 7.43  | 7.37  |
| Wrecipiente s      | 7.39  | 7.34  |
| Ww                 | 0.04  | 0.03  |
| Ws                 | 0.22  | 0.18  |
| W (%)              | 18.18 | 16.67 |
| (L.P.)             | 17.42 |       |

Figura 9.1: Límite líquido y plástico (Muestra N° 01 polímero 12%).

(Geotecnia & Ingeniería, 2018)

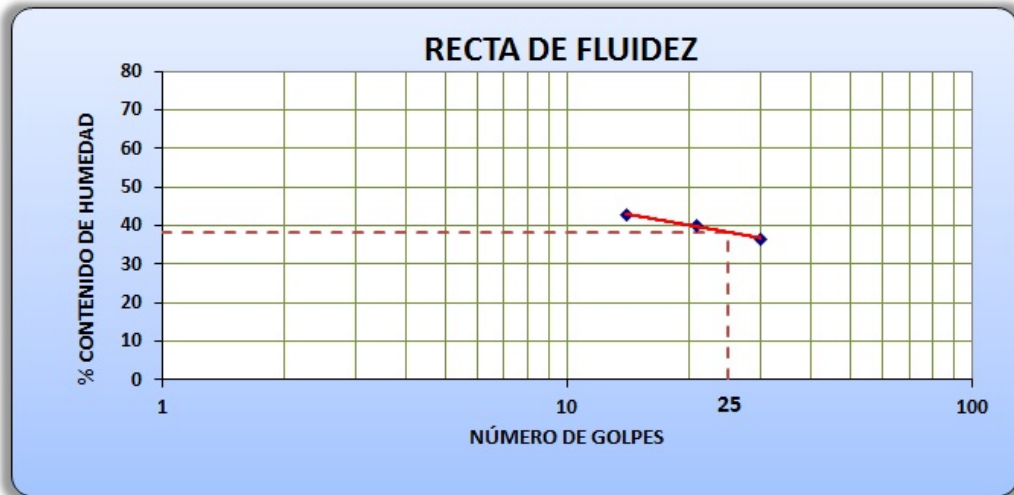
## ANEXO 10

### LÍMITE DE ATTERBERG

|                   |   |                                                                                                                                                                                       |
|-------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma             | : | NTP 339.129 (ASTM D-4318) MTC E-110 y E-111                                                                                                                                           |
| Proyecto de Tesis | : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO – ACRÍLICO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALO MA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante       | : | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                                           |
| Material          | : | Arcilla de mediana plasticidad                                                                                                                                                        |
| Calicata          | : | 02 (Muestra N° 02)                                                                                                                                                                    |
| Polímero          | : | 8%                                                                                                                                                                                    |
| Profundidad       | : | 1.50 mts.                                                                                                                                                                             |
| Ubicación         | : | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                                 |
| Fecha             | : | Noviembre del 2017                                                                                                                                                                    |

#### LÍMITE LÍQUIDO (L.L.) ASTM D4318

|                    |       |       |       |
|--------------------|-------|-------|-------|
| Nro. de Golpes     | 14    | 21    | 30    |
| Nro. de Recipiente | R-14  | R-15  | R-16  |
| Wrecipiente        | 13.89 | 14.09 | 14.16 |
| Wrecipiente sw     | 29.12 | 28.93 | 32.13 |
| Wrecipiente s      | 24.55 | 24.68 | 27.31 |
| Ww                 | 4.57  | 4.25  | 4.82  |
| Ws                 | 10.66 | 10.59 | 13.15 |
| W (%)              | 42.87 | 40.13 | 36.65 |
| (L.L.)             | 38.34 |       |       |



#### LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) ASTM D4318

|                    |       |       |
|--------------------|-------|-------|
| Nro. de Recipiente | R-13  | R-14  |
| Wrecipiente        | 7.10  | 7.12  |
| Wrecipiente sw     | 7.28  | 7.27  |
| Wrecipiente s      | 7.24  | 7.23  |
| Ww                 | 0.04  | 0.04  |
| Ws                 | 0.14  | 0.11  |
| W (%)              | 28.57 | 36.36 |
| (L.P.)             | 32.47 |       |

Figura 9.2: Límite líquido y plástico (Muestra N° 02 polímero 8%).

(Geotecnia & Ingeniería, 2018)

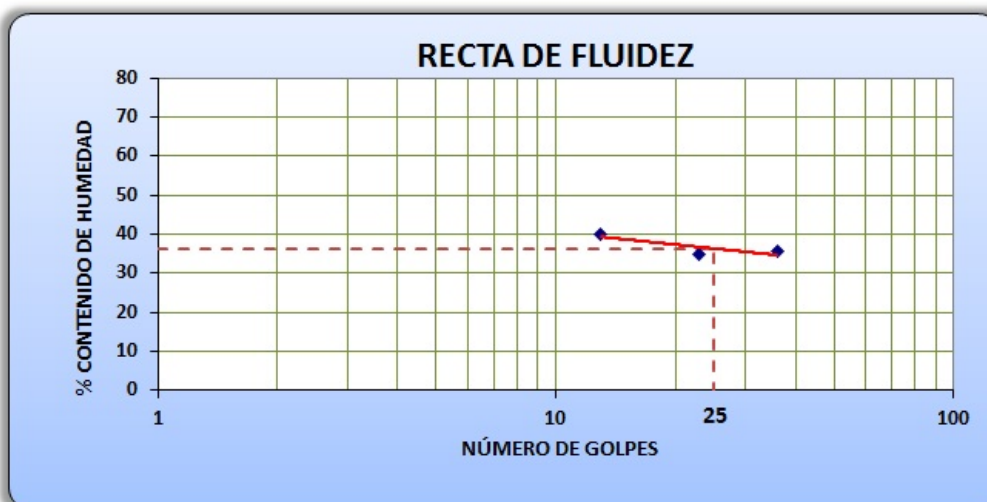
# ANEXO 11

## LÍMITE DE ATTERBERG

|                   |   |                                                                                                                                                                                      |
|-------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma             | : | NTP 339.129 (ASTM D-4318) MTC E-110 y E-111                                                                                                                                          |
| Proyecto de Tesis | : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO – ACRÍLICO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante       | : | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                                          |
| Material          | : | Arcilla de mediana plasticidad                                                                                                                                                       |
| Calicata          | : | 03 (Muestra N° 03)                                                                                                                                                                   |
| Polímero          | : | 12%                                                                                                                                                                                  |
| Profundidad       | : | 1.50 mts.                                                                                                                                                                            |
| Ubicación         | : | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                                |
| Fecha             | : | Noviembre del 2017                                                                                                                                                                   |

### LÍMITE LÍQUIDO (L.L.) ASTM D4318

|                    |       |       |       |
|--------------------|-------|-------|-------|
| Nro. de Golpes     | 13    | 23    | 36    |
| Nro. de Recipiente | R-26  | R-27  | R-29  |
| Wrecipiente        | 14.18 | 14.00 | 14.26 |
| Wrecipiente sw     | 30.95 | 36.40 | 32.33 |
| Wrecipiente s      | 26.15 | 30.62 | 27.58 |
| Ww                 | 4.80  | 5.78  | 4.75  |
| Ws                 | 11.97 | 16.62 | 13.32 |
| W (%)              | 40.10 | 34.78 | 35.66 |
| (L.L.)             | 36.28 |       |       |



### LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) ASTM D4318

|                    |       |       |
|--------------------|-------|-------|
| Nro. de Recipiente | R-22  | R-23  |
| Wrecipiente        | 7.20  | 7.18  |
| Wrecipiente sw     | 7.39  | 7.38  |
| Wrecipiente s      | 7.35  | 7.34  |
| Ww                 | 0.04  | 0.04  |
| Ws                 | 0.15  | 0.16  |
| W (%)              | 26.67 | 25.00 |
| (L.P.)             | 25.83 |       |

Figura 9.3: Límite líquido y plástico (Muestra N° 03 polímero 12%).



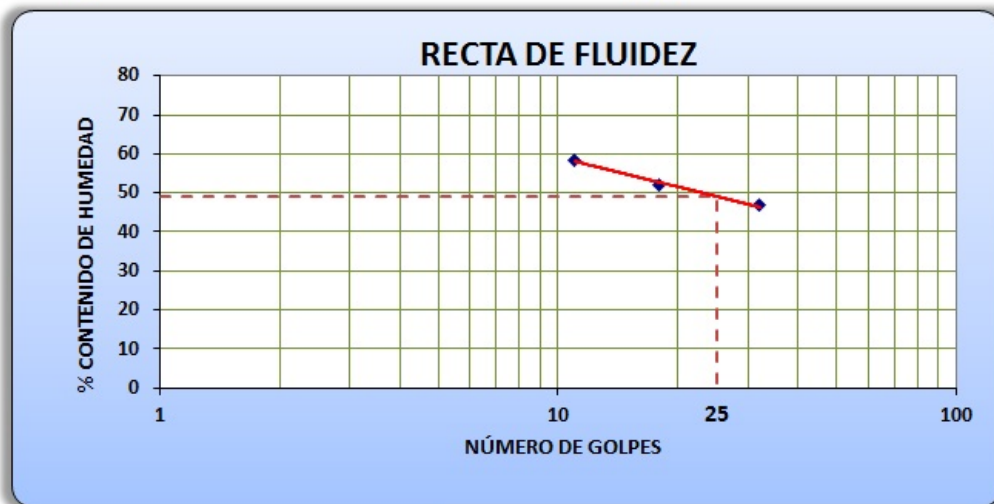
## ANEXO 12

### LÍMITE DE ATTERBERG

|                   |   |                                                                                                                                                                                      |
|-------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma             | : | NTP 339.129 (ASTM D-4318) MTC E-110 y E-111                                                                                                                                          |
| Proyecto de Tesis | : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO – ACRÍLICO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante       | : | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                                          |
| Material          | : | Arcilla de mediana a alta plasticidad                                                                                                                                                |
| Calicata          | : | 04 (Muestra N° 04)                                                                                                                                                                   |
| Polímero          | : | 10%                                                                                                                                                                                  |
| Profundidad       | : | 1.50 mts.                                                                                                                                                                            |
| Ubicación         | : | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                                |
| Fecha             | : | Noviembre del 2017                                                                                                                                                                   |

#### LÍMITE LÍQUIDO (L.L.) ASTM D4318

|                    |       |       |       |
|--------------------|-------|-------|-------|
| Nro. de Golpes     | 11    | 18    | 32    |
| Nro. de Recipiente | R-23  | R-24  | R-25  |
| Wrecipiente        | 13.99 | 14.12 | 13.99 |
| Wrecipiente sw     | 35.32 | 41.13 | 37.34 |
| Wrecipiente s      | 27.45 | 31.90 | 29.90 |
| Ww                 | 7.87  | 9.23  | 7.44  |
| Ws                 | 13.46 | 17.78 | 15.91 |
| W (%)              | 58.47 | 51.91 | 46.76 |
| (L.L.)             | 49.10 |       |       |

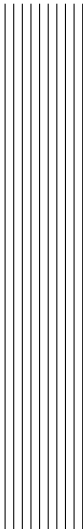


#### LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) ASTM D4318

|                    |       |       |
|--------------------|-------|-------|
| Nro. de Recipiente | R-15  | R-16  |
| Wrecipiente        | 7.17  | 7.16  |
| Wrecipiente sw     | 7.35  | 7.32  |
| Wrecipiente s      | 7.31  | 7.29  |
| Ww                 | 0.04  | 0.03  |
| Ws                 | 0.14  | 0.13  |
| W (%)              | 28.57 | 23.08 |
| (L.P.)             | 25.82 |       |

Figura 9.4: Límite líquido y plástico (Muestra N° 04 polímero 10%).

(Geotecnia & Ingeniería, 2018)



## Anexo D

### Clasificación por SUCS y AASHTO.

13. Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 01 Natural).
14. Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 02 Natural).
15. Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 03 Natural).
16. Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 04 Natural).
17. Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 01 polimero 12%).
18. Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 02 polimero 8%).
19. Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 03 polimero 12%).
20. Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 04 polimero 10%).



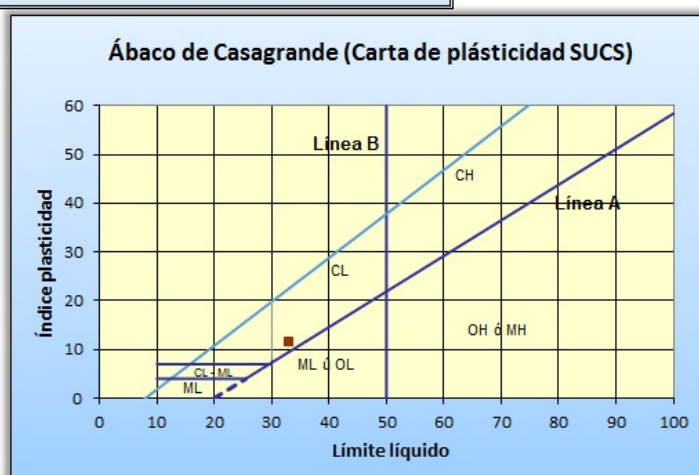
### ANEXO 13

#### CLASIFICACIÓN POR SUCS Y AASHTO

|                     |                                                                                                                                                                           |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma :             | NTP 339.134 (ASTM D-222)                                                                                                                                                  |
| Proyecto de Tesis : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante :       | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                               |
| Material :          | Arcilla de baja plasticidad                                                                                                                                               |
| Calicata :          | 01 (Muestra N° 01)                                                                                                                                                        |
| Profundidad :       | 1.50 mts.                                                                                                                                                                 |
| Ubicación :         | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                     |
| Fecha :             | Diciembre del 2017                                                                                                                                                        |

| LÍMITE DE CONSISTENCIA            |       | CARACTERÍSTICAS DE GRADUACIÓN |          | DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA |          |
|-----------------------------------|-------|-------------------------------|----------|-----------------------------|----------|
| Límite líquido ASTM D-4318 (%)    | 32.91 | D 10:                         | 0.072 mm | % FINOS                     | 25.14    |
| Límite plástico ASTM D-4318 (%)   | 21.43 | D 30:                         | 0.115 mm | % GRAVA                     | 8.99     |
| Índice de plasticidad ASTM D-4318 | 11.19 | D 60:                         | 0.695 mm | % ARENA                     | 65.87    |
| Humedad natural (%)               | 9.09  | Cu:                           | 31.59    | CLASIFICACIÓN (SUCS)        | SC       |
|                                   |       | Cc:                           | 0.86     | CLASIFICACIÓN (AASHTO)      | A-2-6(4) |

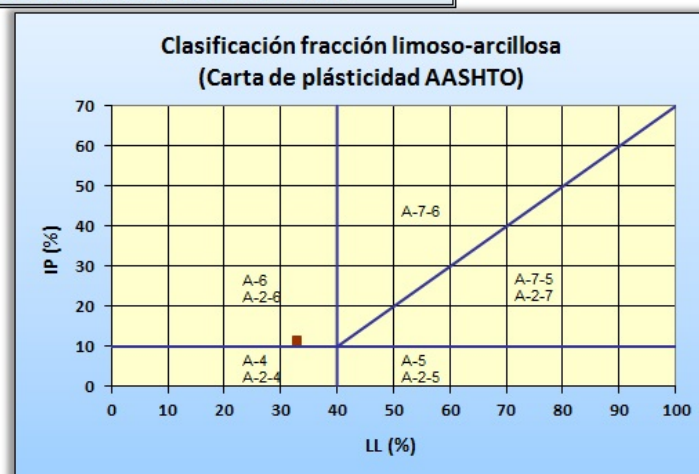
#### CLASIFICACIÓN PARA SUELO FINOS – SUCS



#### DENOMINACIÓN SUCS

Arena con componente arcilloso (SC)

#### CLASIFICACIÓN PARA SUELO FINOS – AASHTO



#### DENOMINACIÓN AASHTO

Arena arcillosa o limosa de baja plasticidad A-2-6(4)

Figura 10.1: Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 01 Natural).

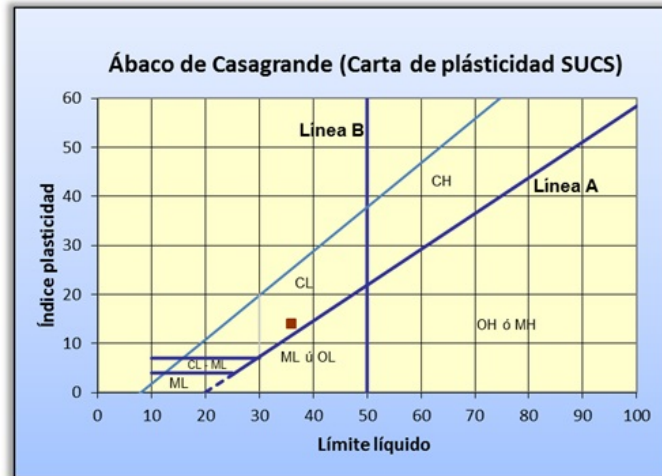
# ANEXO 14

## CLASIFICACIÓN POR SUCS Y AASHTO

|                   |   |                                                                                                                                                                            |
|-------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma             | : | NTP 839.134 (ASTM D-222)                                                                                                                                                   |
| Proyecto de Tesis | : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO , APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante       | : | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                                |
| Material          | : | Arcilla de mediana plasticidad                                                                                                                                             |
| Calicata          | : | 02 (Muestra N° 02)                                                                                                                                                         |
| Profundidad       | : | 1.50 mts.                                                                                                                                                                  |
| Ubicación         | : | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                      |
| Fecha             | : | Diciembre del 2017                                                                                                                                                         |

| LÍMITE DE CONSISTENCIA            |       | CARACTERÍSTICAS DE GRADUACIÓN |          | DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA |         |
|-----------------------------------|-------|-------------------------------|----------|-----------------------------|---------|
| Límite líquido ASTM D-4318 (%)    | 34.44 | D 10:                         | 0.013 mm | % FINOS                     | 76.54   |
| Límite plástico ASTM D-4318 (%)   | 21.76 | D 30:                         | 0.022 mm | % GRAVA                     | 0.00    |
| Índice de plasticidad ASTM D-4318 | 12.68 | D 60:                         | 0.048 mm | % ARENA                     | 23.46   |
| Humedad natural (%)               | 13.44 | Cu:                           | 3.69     | CLASIFICACIÓN (SUCS)        | CL      |
|                                   |       | Cc:                           | 0.78     | CLASIFICACIÓN (AASHTO)      | A-6(16) |

## CLASIFICACIÓN PARA SUELO FINOS – SUCS



## DENOMINACIÓN SUCS

Arcilla inorgánica (CL)

## CLASIFICACIÓN PARA SUELO FINOS – AASHTO



## DENOMINACIÓN AASHTO

Arcilla de baja a mediana plasticidad  
A-6(16)

Figura 10.2: Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 02 Natural).

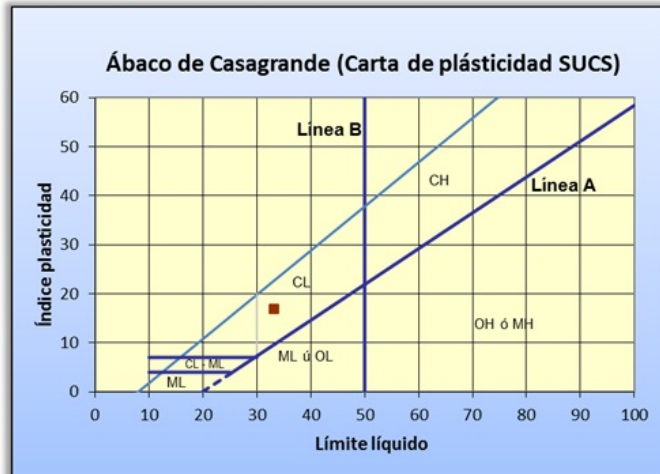
# ANEXO 15

## CLASIFICACIÓN POR SUCS Y AASHTO

|                     |                                                                                                                                                                           |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma :             | NTP 339.134 (ASTM D-222)                                                                                                                                                  |
| Proyecto de Tesis : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante :       | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                               |
| Material :          | Arcilla de mediana plasticidad                                                                                                                                            |
| Calicata :          | 03 (Muestra N° 03)                                                                                                                                                        |
| Profundidad :       | 1.50 mts.                                                                                                                                                                 |
| Ubicación :         | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                     |
| Fecha :             | Diciembre del 2017                                                                                                                                                        |

| LÍMITE DE CONSISTENCIA            |       | CARACTERÍSTICAS DE GRADUACIÓN |          | DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA |         |
|-----------------------------------|-------|-------------------------------|----------|-----------------------------|---------|
| Límite líquido ASTM D-4318 (%)    | 33.12 | D 10:                         | 0.014 mm | % FINOS                     | 67.78   |
| Límite plástico ASTM D-4318 (%)   | 16.23 | D 30:                         | 0.024 mm | % GRAVA                     | 0.00    |
| Índice de plasticidad ASTM D-4318 | 16.88 | D 60:                         | 0.059 mm | % ARENA                     | 32.22   |
| Humedad natural (%)               | 10.10 | Cu:                           | 4.37     | CLASIFICACIÓN (SUCS)        | CL      |
|                                   |       | Cc:                           | 0.72     | CLASIFICACIÓN (AASHTO)      | A-6(16) |

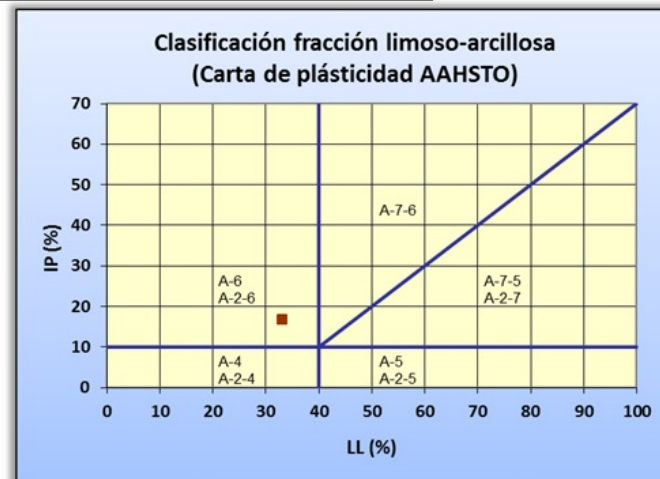
## CLASIFICACIÓN PARA SUELO FINOS – SUCS



## DENOMINACIÓN SUCS

Arcilla inorgánica (CL)

## CLASIFICACIÓN PARA SUELO FINOS – AASHTO



## DENOMINACIÓN AASHTO

Arcilla de baja a mediana plasticidad  
A-6(16)

Figura 10.3: Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 03 Natural).

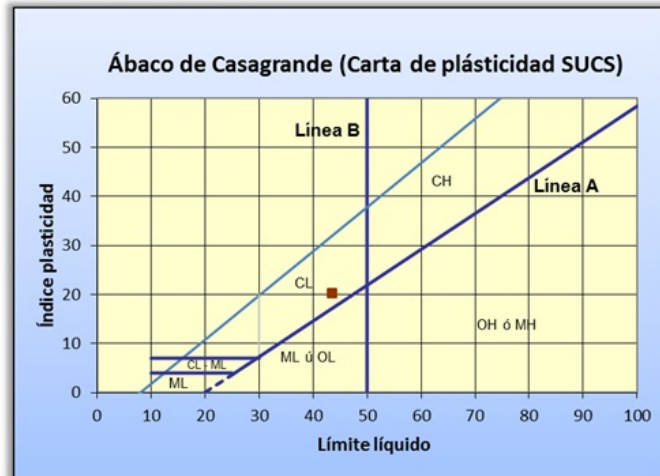
# ANEXO 16

## CLASIFICACIÓN POR SUCS Y AASHTO

|                     |                                                                                                                                                                           |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma :             | NTP 339.134 (ASTM D-222)                                                                                                                                                  |
| Proyecto de Tesis : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante :       | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAYNAJARRO                                                                                                                                |
| Material :          | Arcilla de alta plasticidad                                                                                                                                               |
| Calicata :          | 04 (Muestra N° 04)                                                                                                                                                        |
| Profundidad :       | 1.50 mts.                                                                                                                                                                 |
| Ubicación :         | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                     |
| Fecha :             | Diciembre del 2017                                                                                                                                                        |

| LÍMITE DE CONSISTENCIA            |       | CARACTERÍSTICAS DE GRADUACIÓN |          | DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA |           |
|-----------------------------------|-------|-------------------------------|----------|-----------------------------|-----------|
| Límite líquido ASTM D-4318 (%)    | 43.56 | D 10:                         | 0.013 mm | % FINOS                     | 77.41     |
| Límite plástico ASTM D-4318 (%)   | 23.37 | D 30:                         | 0.022 mm | % GRAVA                     | 1.33      |
| Índice de plasticidad ASTM D-4318 | 20.19 | D 60:                         | 0.048 mm | % ARENA                     | 21.26     |
| Humedad natural (%)               | 17.19 | Cu:                           | 3.69     | CLASIFICACIÓN (SUCS)        | CL        |
|                                   |       | Cc:                           | 0.74     | CLASIFICACIÓN (AASHTO)      | A-7-5(20) |

## CLASIFICACIÓN PARA SUELO FINOS – SUCS



## DENOMINACIÓN SUCS

Arcilla inorgánica (CL)

## CLASIFICACIÓN PARA SUELO FINOS – AASHTO



## DENOMINACIÓN AASHTO

Arcilla de mediana alta plasticidad  
A-7-5(20)

Figura 10.4: Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 04 Natural).



# ANEXO 17

## CLASIFICACIÓN POR SUCS Y AASHTO

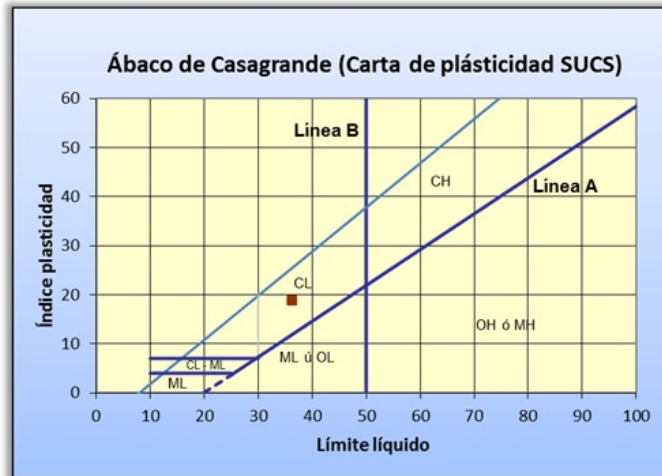
|                   |   |                                                                                                                                                                            |
|-------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma             | : | NTP 339.134 (ASTM D-222)                                                                                                                                                   |
| Proyecto de Tesis | : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO , APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante       | : | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                                |
| Material          | : | Arcilla de baja plasticidad                                                                                                                                                |
| Calicata          | : | 01 (Muestra N° 01)                                                                                                                                                         |
| Polímero          | : | 12%                                                                                                                                                                        |
| Profundidad       | : | 1.50 mts.                                                                                                                                                                  |
| Ubicación         | : | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                      |
| Fecha             | : | Abril del 2018                                                                                                                                                             |

| LÍMITE DE CONSISTENCIA            |       |
|-----------------------------------|-------|
| Límite líquido ASTM D-4318 (%)    | 36.2  |
| Límite plástico ASTM D-4318 (%)   | 17.42 |
| Índice de plasticidad ASTM D-4318 | 18.78 |
| Humedad natural (%)               | 9.09  |

| CARACTERÍSTICAS DE GRADUACIÓN |       |    |
|-------------------------------|-------|----|
| D 10:                         | 0.022 | mm |
| D 30:                         | 0.115 | mm |
| D 60:                         | 0.695 | mm |
| Cu:                           | 31.59 |    |
| Cc:                           | 0.86  |    |

| DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA |          |
|-----------------------------|----------|
| % FINOS                     | 25.14    |
| % GRAVA                     | 8.99     |
| % ARENA                     | 65.87    |
| CLASIFICACIÓN (SUCS)        | SC       |
| CLASIFICACIÓN (AASHTO)      | A-2-6(1) |

## CLASIFICACIÓN PARA SUELO FINOS – SUCS



## DENOMINACIÓN SUCS

Arena con componente arcilloso (SC)

## CLASIFICACIÓN PARA SUELO FINOS – AASHTO



## DENOMINACIÓN AASHTO

Grava y arena arcillosa o limosa  
A-2-6(1)

Figura 10.5: Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 01 polímero 12%).

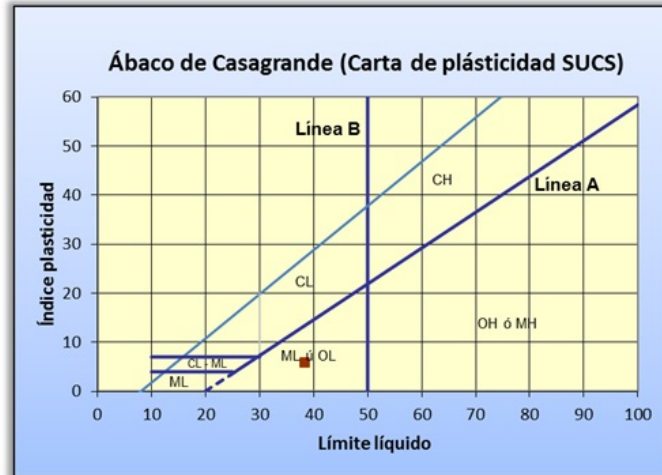
# ANEXO 18

## CLASIFICACIÓN POR SUCS Y AASHTO

|                   |   |                                                                                                                                                                            |
|-------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma             | : | NTP 339.134 (ASTM D-222)                                                                                                                                                   |
| Proyecto de Tesis | : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO , APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante       | : | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                                |
| Material          | : | Arcilla de mediana plasticidad                                                                                                                                             |
| Calicata          | : | 02 (Muestra N° 02)                                                                                                                                                         |
| Polímero          | : | 8%                                                                                                                                                                         |
| Profundidad       | : | 1.50 mts.                                                                                                                                                                  |
| Ubicación         | : | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                      |
| Fecha             | : | Abril del 2018                                                                                                                                                             |

| LÍMITE DE CONSISTENCIA            |       | CARACTERÍSTICAS DE GRADUACIÓN |          | DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA |       |
|-----------------------------------|-------|-------------------------------|----------|-----------------------------|-------|
| Límite líquido ASTM D-4318 (%)    | 38.34 | D 10:                         | 0.013 mm | % FINOS                     | 76.54 |
| Límite plástico ASTM D-4318 (%)   | 32.47 | D 30:                         | 0.022 mm | % GRAVA                     | 0.00  |
| Índice de plasticidad ASTM D-4318 | 5.87  | D 60:                         | 0.048 mm | % ARENA                     | 23.46 |
| Humedad natural (%)               | 13.44 | Cu:                           | 3.69     | CLASIFICACIÓN (SUCS)        | ML    |
|                                   |       | Cc:                           | 0.78     | CLASIFICACIÓN (AASHTO)      | A-4   |

## CLASIFICACIÓN PARA SUELO FINOS – SUCS



## DENOMINACIÓN SUCS

Suelo limoso (ML)

## CLASIFICACIÓN PARA SUELO FINOS – AASHTO



## DENOMINACIÓN AASHTO

Limo baja plasticidad con grava  
A-4

Figura 10.6: Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 02 polímero 8%).

# ANEXO 19

## CLASIFICACIÓN POR SUCS Y AASHTO

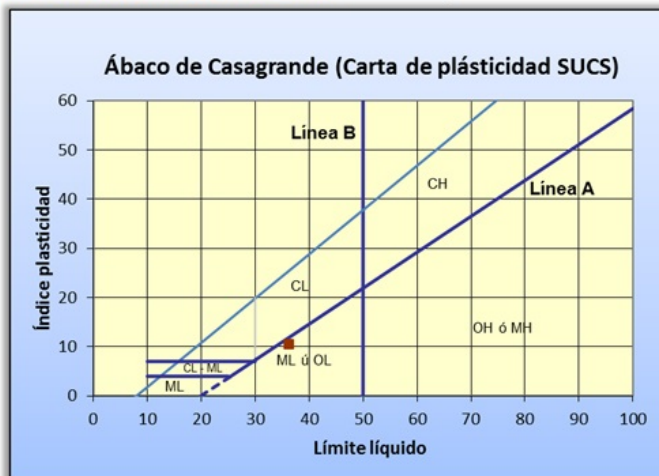
|                   |   |                                                                                                                                                                           |
|-------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma             | : | NTP 339.134 (ASTM D-222)                                                                                                                                                  |
| Proyecto de Tesis | : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante       | : | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                               |
| Material          | : | Arcilla de mediana plasticidad                                                                                                                                            |
| Calicata          | : | 03 (Muestra N° 03)                                                                                                                                                        |
| Polímero          | : | 12%                                                                                                                                                                       |
| Profundidad       | : | 1.50 mts.                                                                                                                                                                 |
| Ubicación         | : | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                     |
| Fecha             | : | Abril del 2018                                                                                                                                                            |

| LÍMITE DE CONSISTENCIA            |       |
|-----------------------------------|-------|
| Límite líquido ASTM D-4318 (%)    | 36.28 |
| Límite plástico ASTM D-4318 (%)   | 25.83 |
| Índice de plasticidad ASTM D-4318 | 10.44 |
| Humedad natural (%)               | 10.10 |

| CARACTERÍSTICAS DE GRADUACIÓN |       |    |
|-------------------------------|-------|----|
| D 10:                         | 0.014 | mm |
| D 30:                         | 0.024 | mm |
| D 60:                         | 0.059 | mm |
| Cu:                           | 4.37  |    |
| Cc:                           | 0.72  |    |

| DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA |        |
|-----------------------------|--------|
| % FINOS                     | 67.78  |
| % GRAVA                     | 0.00   |
| % ARENA                     | 32.22  |
| CLASIFICACIÓN (SUCS)        | ML     |
| CLASIFICACIÓN (AASHTO)      | A-4(2) |

### CLASIFICACIÓN PARA SUELO FINOS – SUCS



#### DENOMINACIÓN SUCS

Suelo limoso (ML)

### CLASIFICACIÓN PARA SUELO FINOS – AASHTO



#### DENOMINACIÓN AASHTO

Limo baja plasticidad gravoso  
A-4(2)

Figura 10.7: Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 03 polímero 12%).

## ANEXO 20

### CLASIFICACIÓN POR SUCS Y AASHTO

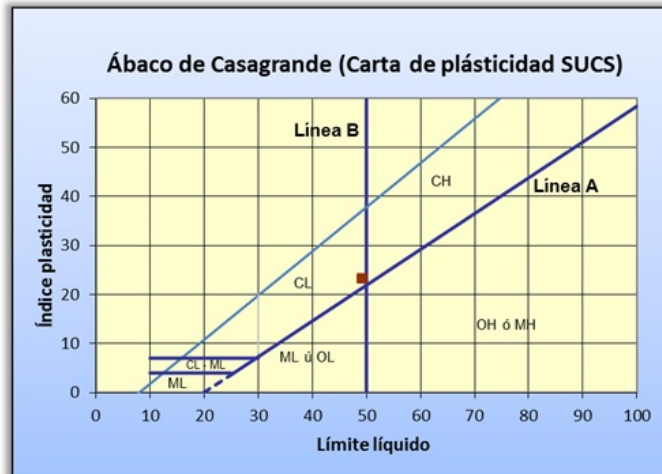
|                   |   |                                                                                                                                                                           |
|-------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma             | : | NTP 339.134 (ASTM D-222)                                                                                                                                                  |
| Proyecto de Tesis | : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante       | : | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                               |
| Material          | : | Arcilla de alta plasticidad                                                                                                                                               |
| Calicata          | : | 04 (Muestra N° 04)                                                                                                                                                        |
| Polímero          | : | 10%                                                                                                                                                                       |
| Profundidad       | : | 1.50 mts.                                                                                                                                                                 |
| Ubicación         | : | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                     |
| Fecha             | : | Abril del 2018                                                                                                                                                            |

| LÍMITE DE CONSISTENCIA            |       |
|-----------------------------------|-------|
| Límite líquido ASTM D-4318 (%)    | 49.1  |
| Límite plástico ASTM D-4318 (%)   | 25.82 |
| Índice de plasticidad ASTM D-4318 | 23.28 |
| Humedad natural (%)               | 17.19 |

| CARACTERÍSTICAS DE GRADUACIÓN |          |
|-------------------------------|----------|
| D 10:                         | 0.013 mm |
| D 30:                         | 0.022 mm |
| D 60:                         | 0.048 mm |
| Cu:                           | 3.69     |
| Cc:                           | 0.74     |

| DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA |          |
|-----------------------------|----------|
| % FINOS                     | 77.41    |
| % GRAVA                     | 1.33     |
| % ARENA                     | 21.26    |
| CLASIFICACIÓN (SUCS)        | CL       |
| CLASIFICACIÓN (AASHTO)      | A-7-5(4) |

#### CLASIFICACIÓN PARA SUELO FINOS – SUCS



#### DENOMINACIÓN SUCS

Arcilla inorgánica (CL)

#### CLASIFICACIÓN PARA SUELO FINOS – AASHTO

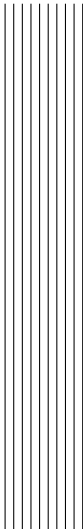


#### DENOMINACIÓN AASHTO

Arcilla media plasticidad  
A-7-5(4)

Figura 10.8: Clasificación por SUCS y AASHTO (Muestra N° 04 polímero 10%).





## Anexo E

### Límite de contracción (Para suelo - natural y suelo - polímero).

21. Límite de contracción suelo natural (Muestra N° 01 Natural).
22. Límite de contracción suelo natural (Muestra N° 02 Natural).
23. Límite de contracción suelo natural (Muestra N° 03 Natural).
24. Límite de contracción suelo natural (Muestra N° 04 Natural).
25. Límite de contracción suelo - polímero (Muestra N° 01 polímero 12%).
26. Límite de contracción suelo - polímero (Muestra N° 02 polímero 8%).
27. Límite de contracción suelo - polímero (Muestra N° 03 polímero 12%).
28. Límite de contracción suelo - polímero (Muestra N° 04 polímero 10%).

## ANEXO 21

| LÍMITE DE CONTRACCIÓN |                                                                                                                                                                           |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma :               | NTP 339.140 (ASTM D-427)                                                                                                                                                  |
| Proyecto de Tesis :   | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante :         | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                               |
| Material :            | Arcilla de baja plasticidad                                                                                                                                               |
| Calicata :            | 01 (Muestra N° 01)                                                                                                                                                        |
| Ubicación :           | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                     |
| Fecha :               | Mayo del 2018                                                                                                                                                             |

## ANEXO 21

| TESIS : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO EN LA CARRETERA PUCALOMA - YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS |                                                                      |                         |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------|
| LÍMITE DE CONTRACCIÓN SUELO NATURAL                                                                                                                                              |                                                                      | NTP 339.140(ASTM D 427) |        |
| Observaciones :                                                                                                                                                                  |                                                                      | Ubicación :             | C - 1  |
|                                                                                                                                                                                  |                                                                      | Polímero :              | 0%     |
|                                                                                                                                                                                  |                                                                      | Potencia :              | 1.50 m |
| 1                                                                                                                                                                                | RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN                                            | N°                      | 1      |
| 2                                                                                                                                                                                | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN + PESO DEL SUELO HÚMEDO           | gr                      | 133.84 |
| 3                                                                                                                                                                                | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN + PESO DEL SUELO SECO             | gr                      | 125.38 |
| 4                                                                                                                                                                                | PESO DEL AGUA CONTENIDA (2) - (3)                                    | gr                      | 8.46   |
| 5                                                                                                                                                                                | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN                                   | gr                      | 101.66 |
| 6                                                                                                                                                                                | PESO DEL SUELO SECO (W <sub>0</sub> ) (3) - (5)                      | gr                      | 23.72  |
| 7                                                                                                                                                                                | CONTENIDO DE HUMEDAD (w) (4) / (6) * 100                             | %                       | 35.67  |
| 8                                                                                                                                                                                | VOLUMEN DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN (V)                            | cm <sup>3</sup>         | 18.54  |
| 9                                                                                                                                                                                | VOLUMEN DE LA TORTA DE SUELO SECO (V <sub>0</sub> )                  | cm <sup>3</sup>         | 13.00  |
| 10                                                                                                                                                                               | (V - V <sub>0</sub> ) = (8) - (9)                                    | cm <sup>3</sup>         | 5.54   |
| 11                                                                                                                                                                               | ((V - V <sub>0</sub> ) / (W <sub>0</sub> )) * 100 = (10) / (6) * 100 | %                       | 23.36  |
| 12                                                                                                                                                                               | LÍMITE DE CONTRACCIÓN (7) - (11)                                     | %                       | 12.31  |

## ANEXO 22

| LÍMITE DE CONTRACCIÓN |                                                                                                                                                                           |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma :               | NTP 339.140 (ASTM D-427)                                                                                                                                                  |
| Proyecto de Tesis :   | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante :         | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                               |
| Material :            | Arcilla de mediana plasticidad                                                                                                                                            |
| Calicata :            | 02 (Muestra N° 02)                                                                                                                                                        |
| Ubicación :           | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                     |
| Fecha :               | Mayo del 2018                                                                                                                                                             |

## ANEXO 22

| TESIS : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO EN LA CARRETERA PUCALOMA - YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS |                                                                      |                         |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------|
| LÍMITE DE CONTRACCIÓN SUELO NATURAL                                                                                                                                              |                                                                      | NTP 339.140(ASTM D 427) |        |
| Observaciones :                                                                                                                                                                  |                                                                      | Ubicación :             | C - 2  |
|                                                                                                                                                                                  |                                                                      | Polímero :              | 0%     |
|                                                                                                                                                                                  |                                                                      | Potencia :              | 1.50 m |
| 1                                                                                                                                                                                | RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN                                            | N°                      | 2      |
| 2                                                                                                                                                                                | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN + PESO DEL SUELO HÚMEDO           | gr                      | 59.89  |
| 3                                                                                                                                                                                | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN + PESO DEL SUELO SECO             | gr                      | 52.00  |
| 4                                                                                                                                                                                | PESO DEL AGUA CONTENIDA (2) - (3)                                    | gr                      | 7.89   |
| 5                                                                                                                                                                                | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN                                   | gr                      | 32.6   |
| 6                                                                                                                                                                                | PESO DEL SUELO SECO (W <sub>0</sub> ) (3) - (5)                      | gr                      | 19.4   |
| 7                                                                                                                                                                                | CONTENIDO DE HUMEDAD (w) (4) / (6) * 100                             | %                       | 40.67  |
| 8                                                                                                                                                                                | VOLUMEN DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN (V)                            | cm <sup>3</sup>         | 16.22  |
| 9                                                                                                                                                                                | VOLUMEN DE LA TORTA DE SUELO SECO (V <sub>0</sub> )                  | cm <sup>3</sup>         | 11.05  |
| 10                                                                                                                                                                               | (V - V <sub>0</sub> ) = (8) - (9)                                    | cm <sup>3</sup>         | 5.17   |
| 11                                                                                                                                                                               | ((V - V <sub>0</sub> ) / (W <sub>0</sub> )) * 100 = (10) / (6) * 100 | %                       | 26.65  |
| 12                                                                                                                                                                               | LÍMITE DE CONTRACCIÓN (7) - (11)                                     | %                       | 14.02  |

Figura 11.1: Límite de contracción suelo natural (Muestra N° 01 y Muestra N° 02).

## ANEXO 23

## LÍMITE DE CONTRACCIÓN

|                     |                                                                                                                                                                           |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma :             | NTP 339.140 (ASTM D-427)                                                                                                                                                  |
| Proyecto de Tesis : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante :       | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                               |
| Material :          | Arcilla de mediana plasticidad                                                                                                                                            |
| Calicata :          | 03 (Muestra N° 03)                                                                                                                                                        |
| Ubicación :         | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                     |
| Fecha :             | Mayo del 2018                                                                                                                                                             |

## ANEXO 23

|                                                                                                                                                                                       |                                                                      |                         |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------|
| <b>TESIS :</b> ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS |                                                                      |                         |        |
| LÍMITE DE CONTRACCIÓN SUELO NATURAL                                                                                                                                                   |                                                                      | NTP 339.140(ASTM D 427) |        |
| Observaciones :                                                                                                                                                                       |                                                                      | Ubicación :             | C - 3  |
|                                                                                                                                                                                       |                                                                      | Polímero :              | 0%     |
|                                                                                                                                                                                       |                                                                      | Potencia :              | 1.50 m |
| 1                                                                                                                                                                                     | RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN                                            | N°                      | 1      |
| 2                                                                                                                                                                                     | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN + PESO DEL SUELO HÚMEDO           | gr                      | 133.52 |
| 3                                                                                                                                                                                     | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN + PESO DEL SUELO SECO             | gr                      | 125.09 |
| 4                                                                                                                                                                                     | PESO DEL AGUA CONTENIDA (2) - (3)                                    | gr                      | 8.43   |
| 5                                                                                                                                                                                     | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN                                   | gr                      | 101.61 |
| 6                                                                                                                                                                                     | PESO DEL SUELO SECO (W <sub>o</sub> ) (3) - (5)                      | gr                      | 23.48  |
| 7                                                                                                                                                                                     | CONTENIDO DE HUMEDAD (w) (4) / (6) * 101                             | %                       | 35.90  |
| 8                                                                                                                                                                                     | VOLUMEN DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN (V)                            | cm <sup>3</sup>         | 18.54  |
| 9                                                                                                                                                                                     | VOLUMEN DE LA TORTA DE SUELO SECO (V <sub>o</sub> )                  | cm <sup>3</sup>         | 12.60  |
| 10                                                                                                                                                                                    | (V - V <sub>o</sub> ) = (8) - (9)                                    | cm <sup>3</sup>         | 5.94   |
| 11                                                                                                                                                                                    | ((V - V <sub>o</sub> ) / (W <sub>o</sub> )) * 100 = (10) / (6) * 101 | %                       | 25.30  |
| 12                                                                                                                                                                                    | LÍMITE DE CONTRACCIÓN (7) - (11)                                     | %                       | 10.60  |

## ANEXO 24

## LÍMITE DE CONTRACCIÓN

|                     |                                                                                                                                                                           |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma :             | NTP 339.140 (ASTM D-427)                                                                                                                                                  |
| Proyecto de Tesis : | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante :       | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                               |
| Material :          | Arcilla de media a alta plasticidad                                                                                                                                       |
| Calicata :          | 04 (Muestra N° 04)                                                                                                                                                        |
| Ubicación :         | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                     |
| Fecha :             | Mayo del 2018                                                                                                                                                             |

## ANEXO 24

|                                                                                                                                                                                       |                                                                      |                         |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------|
| <b>TESIS :</b> ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS |                                                                      |                         |        |
| LÍMITE DE CONTRACCIÓN SUELO NATURAL                                                                                                                                                   |                                                                      | NTP 339.140(ASTM D 427) |        |
| Observaciones :                                                                                                                                                                       |                                                                      | Ubicación :             | C - 4  |
|                                                                                                                                                                                       |                                                                      | Polímero :              | 0%     |
|                                                                                                                                                                                       |                                                                      | Potencia :              | 1.50 m |
| 1                                                                                                                                                                                     | RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN                                            | N°                      | 2      |
| 2                                                                                                                                                                                     | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN + PESO DEL SUELO HÚMEDO           | gr                      | 58.68  |
| 3                                                                                                                                                                                     | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN + PESO DEL SUELO SECO             | gr                      | 50.37  |
| 4                                                                                                                                                                                     | PESO DEL AGUA CONTENIDA (2) - (3)                                    | gr                      | 8.31   |
| 5                                                                                                                                                                                     | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN                                   | gr                      | 32.59  |
| 6                                                                                                                                                                                     | PESO DEL SUELO SECO (W <sub>o</sub> ) (3) - (5)                      | gr                      | 17.78  |
| 7                                                                                                                                                                                     | CONTENIDO DE HUMEDAD (w) (4) / (6) * 102                             | %                       | 46.74  |
| 8                                                                                                                                                                                     | VOLUMEN DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN (V)                            | cm <sup>3</sup>         | 16.22  |
| 9                                                                                                                                                                                     | VOLUMEN DE LA TORTA DE SUELO SECO (V <sub>o</sub> )                  | cm <sup>3</sup>         | 9.72   |
| 10                                                                                                                                                                                    | (V - V <sub>o</sub> ) = (8) - (9)                                    | cm <sup>3</sup>         | 6.5    |
| 11                                                                                                                                                                                    | ((V - V <sub>o</sub> ) / (W <sub>o</sub> )) * 100 = (10) / (6) * 102 | %                       | 36.56  |
| 12                                                                                                                                                                                    | LÍMITE DE CONTRACCIÓN (7) - (11)                                     | %                       | 10.2   |

Figura 11.2: Límite de contracción suelo natural (Muestra N° 03 y Muestra N° 04).



## ANEXO 25

| LÍMITE DE CONTRACCIÓN |                                                                                                                                                                           |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma :               | NTP 339.140 (ASTM D-427)                                                                                                                                                  |
| Proyecto de Tesis :   | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante :         | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                               |
| Material :            | Arcilla de baja plasticidad                                                                                                                                               |
| Calicata :            | 01 (Muestra N° 01)                                                                                                                                                        |
| Ubicación :           | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                     |
| Fecha :               | Mayo del 2018                                                                                                                                                             |

## ANEXO 25

|                                                                                                                                                                                         |                                                            |                         |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------|--------|
| <b>TESIS :</b> ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO EN LA CARRETERA PUCALOMA - YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS |                                                            |                         |        |
| LÍMITE DE CONTRACCIÓN SUELO - POLÍMERO                                                                                                                                                  |                                                            | NTP 339.140(ASTM D 427) |        |
| Observaciones :                                                                                                                                                                         | Ubicación :                                                | C - 1                   |        |
|                                                                                                                                                                                         | Polímero :                                                 | 12%                     |        |
|                                                                                                                                                                                         | Potencia :                                                 | 1.50 m                  |        |
| 1                                                                                                                                                                                       | RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN                                  | N°                      | 1      |
| 2                                                                                                                                                                                       | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN + PESO DEL SUELO HÚMEDO | gr                      | 132.51 |
| 3                                                                                                                                                                                       | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN + PESO DEL SUELO SECO   | gr                      | 124.10 |
| 4                                                                                                                                                                                       | PESO DEL AGUA CONTENIDA (2) - (3)                          | gr                      | 8.41   |
| 5                                                                                                                                                                                       | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN                         | gr                      | 101.65 |
| 6                                                                                                                                                                                       | PESO DEL SUELO SECO (Wo) (3) - (5)                         | gr                      | 22.45  |
| 7                                                                                                                                                                                       | CONTENIDO DE HUMEDAD (w) (4) / (6) * 100                   | %                       | 37.46  |
| 8                                                                                                                                                                                       | VOLUMEN DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN (V)                  | cm <sup>3</sup>         | 18.54  |
| 9                                                                                                                                                                                       | VOLUMEN DE LA TORTA DE SUELO SECO (Vo)                     | cm <sup>3</sup>         | 11.45  |
| 10                                                                                                                                                                                      | (V - Vo) = (8) - (9)                                       | cm <sup>3</sup>         | 7.09   |
| 11                                                                                                                                                                                      | ((V - Vo) / (Wo)) * 100 = (10) / (6) * 100                 | %                       | 31.58  |
| 12                                                                                                                                                                                      | LÍMITE DE CONTRACCIÓN (7) - (11)                           | %                       | 5.88   |

## ANEXO 26

| LÍMITE DE CONTRACCIÓN |                                                                                                                                                                           |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma :               | NTP 339.140 (ASTM D-427)                                                                                                                                                  |
| Proyecto de Tesis :   | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante :         | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                               |
| Material :            | Arcilla de mediana plasticidad                                                                                                                                            |
| Calicata :            | 02 (Muestra N° 02)                                                                                                                                                        |
| Ubicación :           | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                     |
| Fecha :               | Mayo del 2018                                                                                                                                                             |

## ANEXO 26

|                                                                                                                                                                                         |                                                            |                         |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------|-------|
| <b>TESIS :</b> ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO EN LA CARRETERA PUCALOMA - YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS |                                                            |                         |       |
| LÍMITE DE CONTRACCIÓN SUELO - POLÍMERO                                                                                                                                                  |                                                            | NTP 339.140(ASTM D 427) |       |
| Observaciones :                                                                                                                                                                         | Ubicación :                                                | C - 2                   |       |
|                                                                                                                                                                                         | Polímero :                                                 | 8%                      |       |
|                                                                                                                                                                                         | Potencia :                                                 | 1.50 m                  |       |
| 1                                                                                                                                                                                       | RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN                                  | N°                      | 2     |
| 2                                                                                                                                                                                       | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN + PESO DEL SUELO HÚMEDO | gr                      | 59.65 |
| 3                                                                                                                                                                                       | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN + PESO DEL SUELO SECO   | gr                      | 52.09 |
| 4                                                                                                                                                                                       | PESO DEL AGUA CONTENIDA (2) - (3)                          | gr                      | 7.56  |
| 5                                                                                                                                                                                       | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN                         | gr                      | 32.65 |
| 6                                                                                                                                                                                       | PESO DEL SUELO SECO (Wo) (3) - (5)                         | gr                      | 19.44 |
| 7                                                                                                                                                                                       | CONTENIDO DE HUMEDAD (w) (4) / (6) * 100                   | %                       | 38.89 |
| 8                                                                                                                                                                                       | VOLUMEN DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN (V)                  | cm <sup>3</sup>         | 16.22 |
| 9                                                                                                                                                                                       | VOLUMEN DE LA TORTA DE SUELO SECO (Vo)                     | cm <sup>3</sup>         | 10.10 |
| 10                                                                                                                                                                                      | (V - Vo) = (8) - (9)                                       | cm <sup>3</sup>         | 6.12  |
| 11                                                                                                                                                                                      | ((V - Vo) / (Wo)) * 100 = (10) / (6) * 100                 | %                       | 31.48 |
| 12                                                                                                                                                                                      | LÍMITE DE CONTRACCIÓN (7) - (11)                           | %                       | 7.41  |

Figura 11.3: Límite de contracción suelo - polímero (Muestra N° 01 polímero 12% y Muestra N° 02 polímero 8%).

## ANEXO 27

| LÍMITE DE CONTRACCIÓN |                                                                                                                                                                           |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma :               | NTP 339.140 (ASTM D-427)                                                                                                                                                  |
| Proyecto de Tesis :   | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante :         | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                               |
| Material :            | Arcilla de mediana plasticidad                                                                                                                                            |
| Calicata :            | 03 (Muestra N° 03)                                                                                                                                                        |
| Ubicación :           | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                     |
| Fecha :               | Mayo del 2018                                                                                                                                                             |

## ANEXO 27

| TESIS : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS |                                                                        |                         |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------|
| LÍMITE DE CONTRACCIÓN SUELO - POLÍMERO                                                                                                                                         |                                                                        | NTP 339.140(ASTM D 427) |        |
| Observaciones :                                                                                                                                                                | Ubicación :                                                            | C - 3                   |        |
|                                                                                                                                                                                | Polímero :                                                             | 12%                     |        |
|                                                                                                                                                                                | Potencia :                                                             | 1.50 m                  |        |
| 1                                                                                                                                                                              | RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN                                              | N°                      | 1      |
| 2                                                                                                                                                                              | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN + PESO DEL SUELO HÚMEDO             | gr                      | 133.02 |
| 3                                                                                                                                                                              | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN + PESO DEL SUELO SECO               | gr                      | 124.9  |
| 4                                                                                                                                                                              | PESO DEL AGUA CONTENIDA (2) - (3)                                      | gr                      | 8.12   |
| 5                                                                                                                                                                              | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN                                     | gr                      | 101.67 |
| 6                                                                                                                                                                              | PESO DEL SUELO SECO (W <sub>o</sub> ) (3) - (5)                        | gr                      | 23.23  |
| 7                                                                                                                                                                              | CONTENIDO DE HUMEDAD (w) (4) / (6) * 101                               | %                       | 34.95  |
| 8                                                                                                                                                                              | VOLUMEN DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN (V)                              | cm <sup>3</sup>         | 18.54  |
| 9                                                                                                                                                                              | VOLUMEN DE LA TORTA DE SUELO SECO (V <sub>o</sub> )                    | cm <sup>3</sup>         | 11.68  |
| 10                                                                                                                                                                             | ( V - V <sub>o</sub> ) = (8) - (9)                                     | cm <sup>3</sup>         | 6.87   |
| 11                                                                                                                                                                             | (( V - V <sub>o</sub> ) / ( W <sub>o</sub> )) * 100 = (10) / (6) * 101 | %                       | 29.55  |
| 12                                                                                                                                                                             | LÍMITE DE CONTRACCIÓN (7) - (11)                                       | %                       | 5.40   |

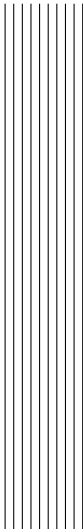
## ANEXO 28

| LÍMITE DE CONTRACCIÓN |                                                                                                                                                                           |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma :               | NTP 339.140 (ASTM D-427)                                                                                                                                                  |
| Proyecto de Tesis :   | "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS" |
| Solicitante :         | Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO                                                                                                                               |
| Material :            | Arcilla de mediana a alta plasticidad                                                                                                                                     |
| Calicata :            | 04 (Muestra N° 04)                                                                                                                                                        |
| Ubicación :           | Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.                                                                                                     |
| Fecha :               | Mayo del 2018                                                                                                                                                             |

## ANEXO 28

| TESIS : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS |                                                                        |                         |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------|
| LÍMITE DE CONTRACCIÓN SUELO - POLÍMERO                                                                                                                                         |                                                                        | NTP 339.140(ASTM D 427) |       |
| Observaciones :                                                                                                                                                                | Ubicación :                                                            | C - 4                   |       |
|                                                                                                                                                                                | Polímero :                                                             | 10%                     |       |
|                                                                                                                                                                                | Potencia :                                                             | 1.50 m                  |       |
| 1                                                                                                                                                                              | RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN                                              | N°                      | 2     |
| 2                                                                                                                                                                              | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN + PESO DEL SUELO HÚMEDO             | gr                      | 57.49 |
| 3                                                                                                                                                                              | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN + PESO DEL SUELO SECO               | gr                      | 49.61 |
| 4                                                                                                                                                                              | PESO DEL AGUA CONTENIDA (2) - (3)                                      | gr                      | 7.88  |
| 5                                                                                                                                                                              | PESO DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN                                     | gr                      | 32.63 |
| 6                                                                                                                                                                              | PESO DEL SUELO SECO (W <sub>o</sub> ) (3) - (5)                        | gr                      | 16.98 |
| 7                                                                                                                                                                              | CONTENIDO DE HUMEDAD (w) (4) / (6) * 102                               | %                       | 46.41 |
| 8                                                                                                                                                                              | VOLUMEN DEL RECIPIENTE DE CONTRACCIÓN (V)                              | cm <sup>3</sup>         | 16.22 |
| 9                                                                                                                                                                              | VOLUMEN DE LA TORTA DE SUELO SECO (V <sub>o</sub> )                    | cm <sup>3</sup>         | 9.43  |
| 10                                                                                                                                                                             | ( V - V <sub>o</sub> ) = (8) - (9)                                     | cm <sup>3</sup>         | 6.79  |
| 11                                                                                                                                                                             | (( V - V <sub>o</sub> ) / ( W <sub>o</sub> )) * 100 = (10) / (6) * 102 | %                       | 39.99 |
| 12                                                                                                                                                                             | LÍMITE DE CONTRACCIÓN (7) - (11)                                       | %                       | 6.4   |

Figura 11.4: Límite de contracción suelo - polímero (Muestra N° 03 polímero 12% y Muestra N° 04 polímero 10%).



## Anexo F

### Ensayo de Gravedad Específica de solidos mediante picnómetro.

- 29. Ensayo de Gravedad Específica (Muestra N° 01).
- 30. Ensayo de Gravedad Específica (Muestra N° 02).
- 31. Ensayo de Gravedad Específica (Muestra N° 03).
- 32. Ensayo de Gravedad Específica (Muestra N° 04).

## ANEXO 29

## ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS MEDIANTE PICNÓMETRO.

Proyecto de Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO , APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS"

Solicitante : Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO

Calicata : 01 (Muestra N° 01) SUCS (SC)

Ubicación : Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.

| Ensayo | Masa Picnómetro (gr.) | Masa del recipiente (gr.) | Masa recip + Muestra seca (gr.) | Muestra de Masa Seca (gr.) | Masa Frasco + Agua (gr.) | Masa Frasco + Agua + Muestra (gr.) | Temperatura (T °c) | Factor De Corrección (α) |
|--------|-----------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------------|
| 1      | 222.38                | 168.85                    | 220.38                          | 51.53                      | 719.76                   | 752.72                             | 10                 | 0.99997                  |
| 2      | 222.35                | 170.61                    | 224.19                          | 53.58                      | 719.73                   | 752.58                             | 10                 | 0.99997                  |
| 3      | 222.30                | 169.50                    | 222.54                          | 53.04                      | 719.88                   | 752.67                             | 10                 | 0.99997                  |
| 4      | 222.28                | 169.25                    | 221.04                          | 51.79                      | 719.75                   | 752.51                             | 10                 | 0.99997                  |

$$G_{s1} = 2.775$$

$$G_{s2} = 2.585$$

$$G_{s3} = 2.619$$

$$G_{s4} = 2.721$$

$$G_{sPromed.} = 2.68$$

## SATURACIÓN TEORICA O CERO VACIOS.

| NUMERO DE ENSAYOS | DENSIDAD SECA (gr./cm <sup>3</sup> ) | CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%) |
|-------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 1                 | 1.78                                 | 6.69                              |
| 2                 | 1.78                                 | 9.52                              |
| 3                 | 1.88                                 | 12.25                             |
| 4                 | 1.85                                 | 16.41                             |
| 5                 | 1.75                                 | 18.61                             |

|   | CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | G <sub>sPromed.</sub> | CERO VACIOS | DENSIDAD SATURADA |
|---|--------------------------|-----------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 12.25                    | 2.68                  | 100         | 2.015             |
| 2 | 14.00                    | 2.68                  | 100         | 1.946             |
| 3 | 16.41                    | 2.68                  | 100         | 1.859             |
| 4 | 20.00                    | 2.68                  | 100         | 1.743             |

|                                               |       |
|-----------------------------------------------|-------|
| DENSIDAD MAXIMA SECA (gr./cm <sup>3</sup> ) = | 1.904 |
| HUMEDAD OPTIMA (%) =                          | 14.00 |

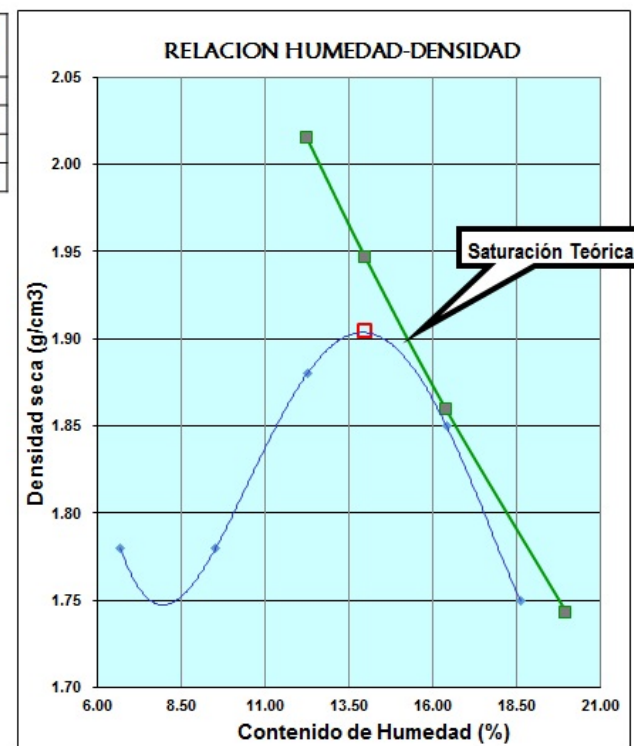


Figura 12.1: Ensayo de Gravedad Específica (Muestra N° 01).



## ANEXO 30

## ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS MEDIANTE PICNÓMETRO.

Proyecto de Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO , APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS"

Solicitante : Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO

Calicata : 02 (Muestra N° 02) SUCS (CL)

Ubicación : Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.

| Ensayo | Masa Picnómetro (gr.) | Masa del recipiente (gr.) | Masa recip + Muestra seca (gr.) | Muestra de Masa Seca (gr.) | Masa Frasco + Agua (gr.) | Masa Frasco + Agua + Muestra (gr.) | Temperatura (T °c) | Factor De Corrección (α) |
|--------|-----------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------------|
| 1      | 222.90                | 167.29                    | 218.38                          | 51.09                      | 719.94                   | 751.65                             | 10                 | 0.99997                  |
| 2      | 222.70                | 164.58                    | 214.88                          | 50.30                      | 719.75                   | 751.91                             | 10                 | 0.99997                  |
| 3      | 222.68                | 163.84                    | 215.45                          | 51.61                      | 719.87                   | 751.92                             | 10                 | 0.99997                  |
| 4      | 222.75                | 168.80                    | 220.46                          | 51.66                      | 719.77                   | 751.99                             | 10                 | 0.99997                  |

|       |       |
|-------|-------|
| Gs1.= | 2.636 |
| Gs2.= | 2.773 |
| Gs3.= | 2.638 |
| Gs4.= | 2.657 |

GsPromed.= 2.68

## SATURACIÓN TEORICA O CERO VACIOS.

| NUMERO DE ENSAYOS | DENSIDAD SECA (gr./cm3.) | CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%) |
|-------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 1                 | 1.60                     | 8.63                              |
| 2                 | 1.59                     | 11.69                             |
| 3                 | 1.71                     | 15.74                             |
| 4                 | 1.72                     | 19.38                             |
| 5                 | 1.66                     | 22.56                             |

|   | CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | GsPromed. | CERO VACIOS | DENSIDAD SATURADA |
|---|--------------------------|-----------|-------------|-------------------|
| 1 | 15.74                    | 2.68      | 100         | 1.883             |
| 2 | 17.80                    | 2.68      | 100         | 1.813             |
| 3 | 19.38                    | 2.68      | 100         | 1.762             |
| 4 | 24.00                    | 2.68      | 100         | 1.630             |

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| DENSIDAD MAXIMA SECA (gr./cm3.) = | 1.733 |
| HUMEDAD OPTIMA (%) =              | 17.80 |

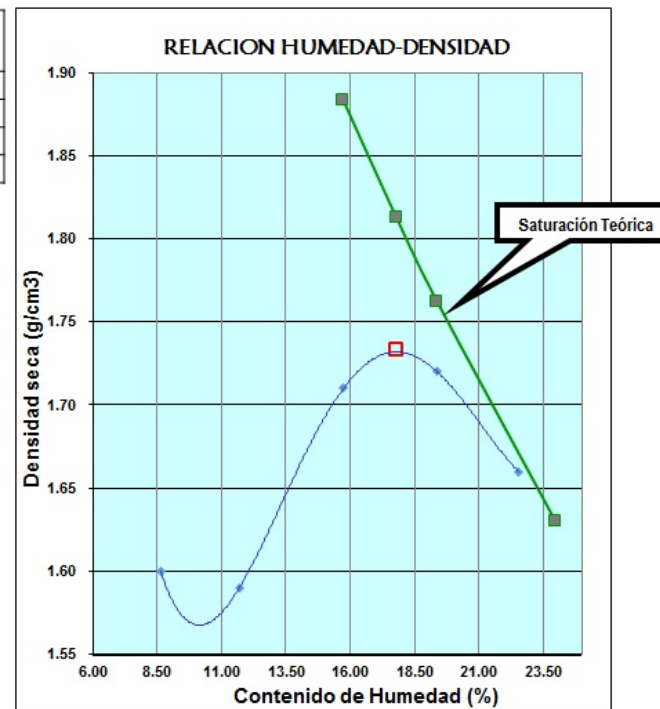


Figura 12.2: Ensayo de Gravedad Específica (Muestra N° 02).

## ANEXO 31

## ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS MEDIANTE PICNÓMETRO.

Proyecto de Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO , APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS"

Solicitante : Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO

Calicata : 03 (Muestra N° 03) SUCS (CL)

Ubicación : Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.

| Ensayo | Masa Picnómetro (gr.) | Masa del recipiente (gr.) | Masa recip + Muestra seca (gr.) | Muestra de Masa Seca (gr.) | Masa Frasco + Agua (gr.) | Masa Frasco + Agua + Muestra (gr.) | Temperatura (T °c) | Factor De Corrección (α) |
|--------|-----------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------------|
| 1      | 222.23                | 167.91                    | 218.59                          | 50.68                      | 719.83                   | 752.48                             | 12                 | 0.99950                  |
| 2      | 222.22                | 165.39                    | 217.13                          | 51.74                      | 719.8                    | 752.59                             | 12                 | 0.99950                  |
| 3      | 222.20                | 167.27                    | 219.37                          | 52.10                      | 719.7                    | 752.59                             | 12                 | 0.99950                  |
| 4      | 222.24                | 166.37                    | 217.19                          | 50.82                      | 719.8                    | 752.52                             | 12                 | 0.99950                  |

|       |       |
|-------|-------|
| Gs1.= | 2.809 |
| Gs2.= | 2.729 |
| Gs3.= | 2.711 |
| Gs4.= | 2.806 |

GsPromed.= 2.76

## SATURACIÓN TEORICA O CERO VACIOS.

| NUMERO DE ENSAYOS | DENSIDAD SECA (gr./cm3.) | CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%) |
|-------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 1                 | 1.72                     | 8.82                              |
| 2                 | 1.75                     | 14.34                             |
| 3                 | 1.83                     | 17.95                             |
| 4                 | 1.71                     | 21.02                             |
| 5                 | 1.61                     | 23.87                             |

|   | CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | GsPromed. | CERO VACIOS | DENSIDAD SATURADA |
|---|--------------------------|-----------|-------------|-------------------|
| 1 | 17.40                    | 2.76      | 100         | 1.866             |
| 2 | 17.95                    | 2.76      | 100         | 1.847             |
| 3 | 21.02                    | 2.76      | 100         | 1.748             |
| 4 | 22.50                    | 2.76      | 100         | 1.704             |

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| DENSIDAD MAXIMA SECA (gr./cm3.) = | 1.833 |
| HUMEDAD OPTIMA (%) =              | 17.40 |

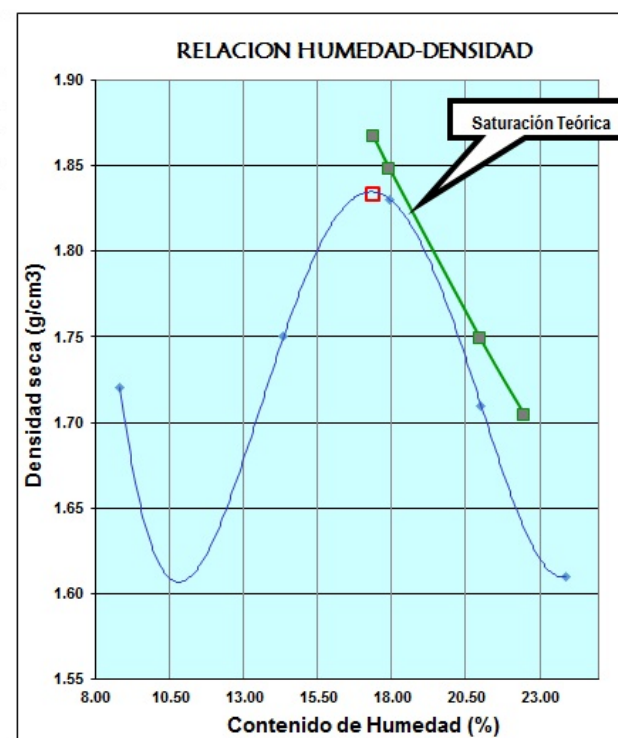


Figura 12.3: Ensayo de Gravedad Específica (Muestra N° 03).

## ANEXO 32

## ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS MEDIANTE PIGNÓMETRO.

Proyecto de Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO , APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS"

Solicitante : Tesista Bach. Carlos Jan, CURITOMAY NAJARRO

Calicata : 04 (Muestra N° 04) SUCS (CL)

Ubicación : Comunidad Campesina de Pucaloma y Andrés Avelino Cáceres de Yanayacu.

| Ensayo | Masa Pignómetro (gr.) | Masa del recipiente (gr.) | Masa recip + Muestra seca (gr.) | Muestra de Masa Seca (gr.) | Masa Frasco + Agua (gr.) | Masa Frasco + Agua + Muestra (gr.) | Temperatura (T °c) | Factor De Corrección (α) |
|--------|-----------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------------|
| 1      | 222.25                | 168.80                    | 222.60                          | 53.80                      | 719.69                   | 751.79                             | 10                 | 0.99997                  |
| 2      | 222.24                | 168.85                    | 217.69                          | 48.84                      | 719.67                   | 751.84                             | 10                 | 0.99997                  |
| 3      | 222.24                | 169.16                    | 221.94                          | 52.78                      | 719.7                    | 751.79                             | 10                 | 0.99997                  |
| 4      | 222.23                | 169.83                    | 221.60                          | 51.77                      | 719.73                   | 751.94                             | 10                 | 0.99997                  |

$$Gs1.= 2.479$$

$$Gs2.= 2.930$$

$$Gs3.= 2.551$$

$$Gs4.= 2.647$$

$$GsPromed.= 2.65$$

## SATURACIÓN TEORICA O CERO VACIOS.

| NUMERO DE ENSAYOS | DENSIDAD SECA (gr./cm3.) | CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%) |
|-------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 1                 | 1.64                     | 8.92                              |
| 2                 | 1.70                     | 12.33                             |
| 3                 | 1.73                     | 16.88                             |
| 4                 | 1.66                     | 20.70                             |
| 5                 | 1.60                     | 22.38                             |

|   | CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | GsPromed. | CERO VACIOS | DENSIDAD SATURADA |
|---|--------------------------|-----------|-------------|-------------------|
| 1 | 16.00                    | 2.65      | 100         | 1.862             |
| 2 | 16.88                    | 2.65      | 100         | 1.832             |
| 3 | 20.70                    | 2.65      | 100         | 1.712             |
| 4 | 25.00                    | 2.65      | 100         | 1.595             |

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| DENSIDAD MAXIMA SECA (gr./cm3.) = | 1.73  |
| HUMEDAD OPTIMA (%) =              | 16.00 |

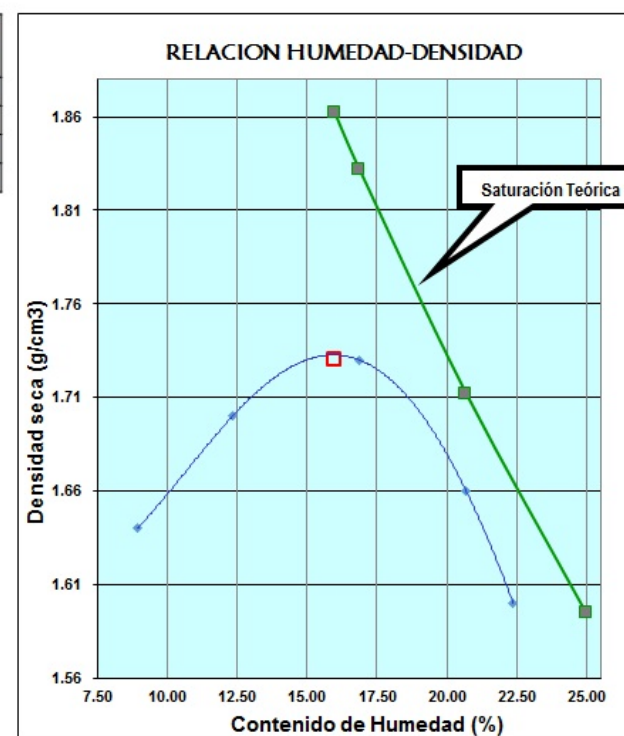
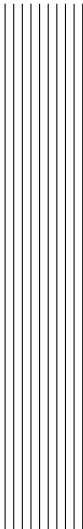


Figura 12.4: Ensayo de Gravedad Específica (Muestra N° 04).



## Anexo G

### Ensayo de compactación de suelos - próctor modificado Método A (Para suelo - natural y suelo - polímero).

- 33. Ensayo de compactación - próctor modificado suelo natural (Muestra N° 01).
- 34. Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 01 polímero 10 %, 12 %, 14 %).
- 35. Ensayo de compactación - próctor modificado suelo natural (Muestra N° 02).
- 36. Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 02 polímero 6 %, 8 %, 10 %).
- 37. Ensayo de compactación - próctor modificado suelo natural (Muestra N° 03).
- 38. Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 03 polímero 10 %, 12 %, 14 %).
- 39. Ensayo de compactación - próctor modificado suelo natural (Muestra N° 04).
- 40. Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 04 polímero 8 %, 10 %, 12 %).



**ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS - PROCTOR MODIFICADO  
ASTM D 1557**

**PROYECTO** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN

**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO

**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)

**REFERENCIA** : C-1 PROG. 0+471

**FECHA** : OCTUBRE 2017

**CAPAS** : 5

**GOLPES** : 25

**CASF.(SUCS)** : SC

**CLASF. (AASHTO)** : A-2-6(4)

**Polimero** : 0%

| ENSAYO DE COMPACTACION METODO "A"   |         |                        |       |       |       |
|-------------------------------------|---------|------------------------|-------|-------|-------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :           | 2086.82 | PESO DEL MOLDE (gr.) : | 6016  |       |       |
| NUMERO DE ENSAYOS                   | 1       | 2                      | 3     | 4     | 5     |
| PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr.)      | 9984    | 10092                  | 10422 | 10516 | 10356 |
| PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA (gr.) | 3968    | 4076                   | 4406  | 4500  | 4340  |
| DENSIDAD HUMEDA (gr./ cm3.)         | 1.90    | 1.95                   | 2.11  | 2.16  | 2.08  |
| DENSIDAD SECA (gr./cm3.)            | 1.78    | 1.78                   | 1.88  | 1.85  | 1.75  |

| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            |              |       |                |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------|--------------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TARRO N°.                           | R-17         | R-19  | R-25           | R-26  | R-27  | R-30  | R-13  | R-14  | R-15  | R-16  |
| PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO (gr.) | 56.66        | 57.83 | 50.26          | 50.69 | 48.97 | 49.67 | 56.24 | 55.55 | 52.41 | 58.03 |
| PESO DEL TARRO + SUELO SECO (gr.)   | 54.02        | 55.05 | 47.07          | 47.55 | 45.04 | 45.91 | 50.28 | 49.68 | 46.39 | 51.16 |
| PESO DE AGUA (gr.)                  | 2.64         | 2.78  | 3.19           | 3.14  | 3.93  | 3.76  | 5.96  | 5.87  | 6.02  | 6.87  |
| PESO DEL TARRO (gr.)                | 13.91        | 14.18 | 13.98          | 14.15 | 13.99 | 14.14 | 13.98 | 13.91 | 14.10 | 14.16 |
| PESO DE SUELO SECO (gr.)            | 40.11        | 40.87 | 33.09          | 33.40 | 31.05 | 31.77 | 36.30 | 35.77 | 32.29 | 37.00 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            | 6.58         | 6.80  | 9.64           | 9.40  | 12.66 | 11.84 | 16.42 | 16.41 | 18.64 | 18.57 |
| CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%)   | 6.69         |       | 9.52           |       | 12.25 |       | 16.41 |       | 18.61 |       |
| DENSIDAD MAXIMA SECA=               | 1.904 gr/cc. |       | HUMEDAD OPTIMA |       | =     |       | 14.00 |       | %     |       |

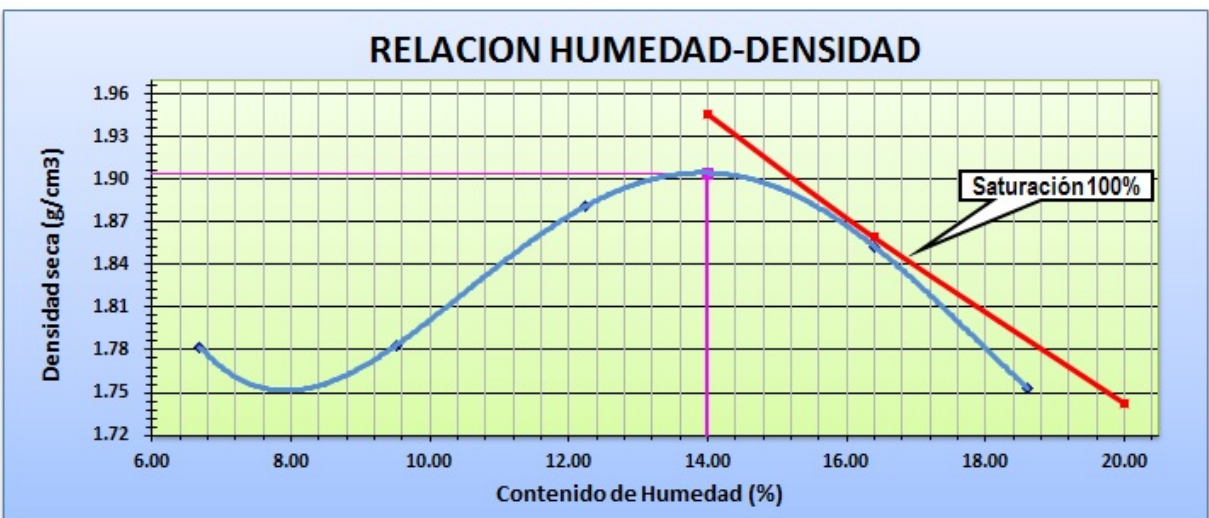


Figura 13.1: Ensayo de compactación - próctor modificado suelo natural (Muestra N° 01).

**ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS - PROCTOR MODIFICADO  
ASTM D 1557**

**OBRA** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO-ACRILICO EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN CAPAS : 5

**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO GOLPES : 25

**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE) CASF.(SUCS) : SC

**REFERENCIA** : C-1 PROG. 0+471 M.D. CLASF. (AASHTO) : A-2-6(4)

**FECHA** : 12/02/2018 Polimero : 10%

| ENSAYO DE COMPACTACION METODO "A"       |         |                        |       |       |       |
|-----------------------------------------|---------|------------------------|-------|-------|-------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> ) :  | 2086.82 | PESO DEL MOLDE (gr.) : | 6015  |       |       |
| NUMERO DE ENSAYOS                       | 1       | 2                      | 3     | 4     | 5     |
| PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr.)          | 9813    | 10184                  | 10289 | 10407 | 10134 |
| PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA (gr.)     | 3798    | 4169                   | 4274  | 4392  | 4119  |
| DENSIDAD HUMEDA (gr./cm <sup>3</sup> .) | 1.82    | 2.00                   | 2.05  | 2.10  | 1.97  |
| DENSIDAD SECA (gr./cm <sup>3</sup> .)   | 1.71    | 1.82                   | 1.85  | 1.84  | 1.65  |

| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            |       |       |        |       |                  |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------|-------|-------|--------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TARRO N°.                           | R-11  | R-12  | R-13   | R-14  | R-15             | R-16  | R-17  | R-18  | R-19  | R-20  |
| PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO (gr.) | 50.81 | 50.73 | 50.62  | 50.53 | 50.87            | 50.84 | 50.46 | 50.54 | 50.36 | 50.26 |
| PESO DEL TARRO + SUELO SECO (gr.)   | 48.59 | 48.57 | 47.24  | 47.40 | 47.41            | 47.36 | 45.87 | 46.01 | 44.57 | 44.34 |
| PESO DE AGUA (gr.)                  | 2.22  | 2.16  | 3.38   | 3.13  | 3.46             | 3.48  | 4.59  | 4.53  | 5.79  | 5.92  |
| PESO DEL TARRO (gr.)                | 13.97 | 14.27 | 13.98  | 13.89 | 14.09            | 14.16 | 13.90 | 14.18 | 14.16 | 14.20 |
| PESO DE SUELO SECO (gr.)            | 34.62 | 34.30 | 33.26  | 33.51 | 33.32            | 33.20 | 31.97 | 31.83 | 30.41 | 30.14 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            | 6.41  | 6.30  | 10.16  | 9.34  | 10.38            | 10.48 | 14.36 | 14.23 | 19.04 | 19.64 |
| CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%)   | 6.35  |       | 9.75   |       | 10.43            |       | 14.29 |       | 19.34 |       |
| DENSIDAD MAXIMA SECA=               | 1.900 |       | gr/cc. |       | HUMEDAD OPTIMA = |       | 12.30 |       | %     |       |

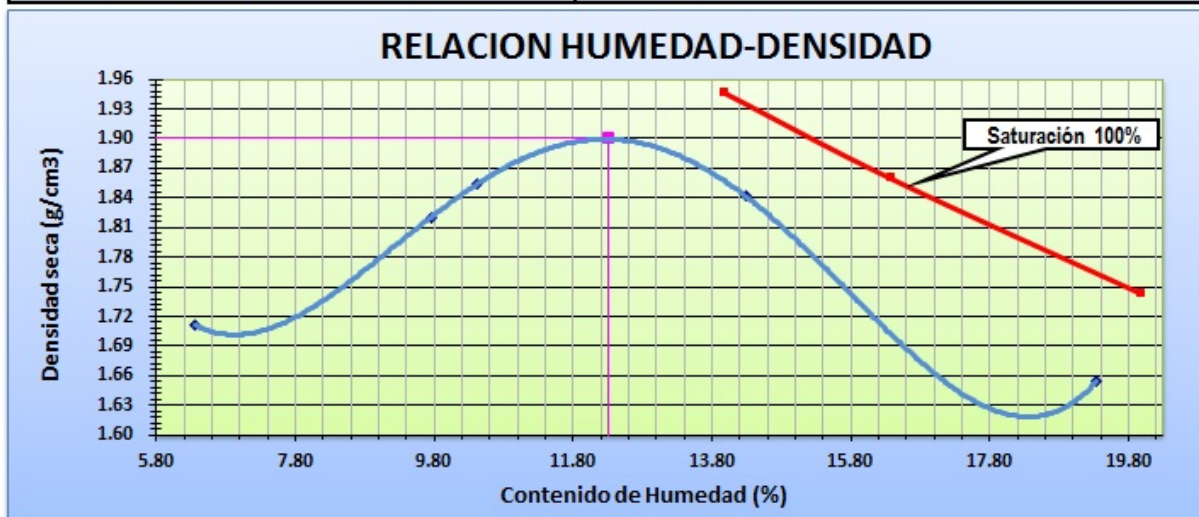


Figura 13.2: Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 01 polímero 10%).



**ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS - PROCTOR MODIFICADO  
ASTM D 1557**

**OBRA** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO-ACRILICO EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN CAPAS : 5

**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO GOLPES : 25

**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE) CASF.(SUCS) : SC

**REFERENCIA** : C-1 PROG. 0+471 M.D. CLASF. (AASHTO) : A-2-6(4)

**FECHA** : 14/02/2018 Polimero : 12%

| ENSAYO DE COMPACTACION METODO "A"      |         |                        |       |       |       |
|----------------------------------------|---------|------------------------|-------|-------|-------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> ) : | 2086.82 | PESO DEL MOLDE (gr.) : | 6015  |       |       |
| NUMERO DE ENSAYOS                      | 1       | 2                      | 3     | 4     | 5     |
| PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr.)         | 9894    | 10136                  | 10370 | 10422 | 10244 |
| PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA (gr.)    | 3879    | 4121                   | 4355  | 4407  | 4229  |
| DENSIDAD HUMEDA (gr./cm <sup>3</sup> ) | 1.86    | 1.97                   | 2.09  | 2.11  | 2.03  |
| DENSIDAD SECA (gr./cm <sup>3</sup> )   | 1.74    | 1.80                   | 1.88  | 1.84  | 1.73  |

| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            |       |       |        |       |                  |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------|-------|-------|--------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TARRO N°.                           | R-11  | R-12  | R-13   | R-14  | R-15             | R-16  | R-17  | R-18  | R-19  | R-20  |
| PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO (gr.) | 50.31 | 50.57 | 50.56  | 50.41 | 50.57            | 50.30 | 50.33 | 50.51 | 50.37 | 50.48 |
| PESO DEL TARRO + SUELO SECO (gr.)   | 48.02 | 48.33 | 47.21  | 47.12 | 46.91            | 46.71 | 45.62 | 45.75 | 45.04 | 45.14 |
| PESO DE AGUA (gr.)                  | 2.29  | 2.24  | 3.35   | 3.29  | 3.66             | 3.59  | 4.71  | 4.76  | 5.33  | 5.34  |
| PESO DEL TARRO (gr.)                | 13.96 | 14.26 | 13.98  | 13.89 | 14.10            | 14.16 | 13.90 | 14.16 | 14.16 | 14.20 |
| PESO DE SUELO SECO (gr.)            | 34.06 | 34.07 | 33.23  | 33.23 | 32.81            | 32.55 | 31.72 | 31.59 | 30.88 | 30.94 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            | 6.72  | 6.57  | 10.08  | 9.90  | 11.16            | 11.03 | 14.85 | 15.07 | 17.26 | 17.26 |
| CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%)   | 6.65  |       | 9.99   |       | 11.09            |       | 14.96 |       | 17.26 |       |
| DENSIDAD MAXIMA SECA=               | 1.931 |       | gr/cc. |       | HUMEDAD OPTIMA = |       | 12.70 |       | %     |       |

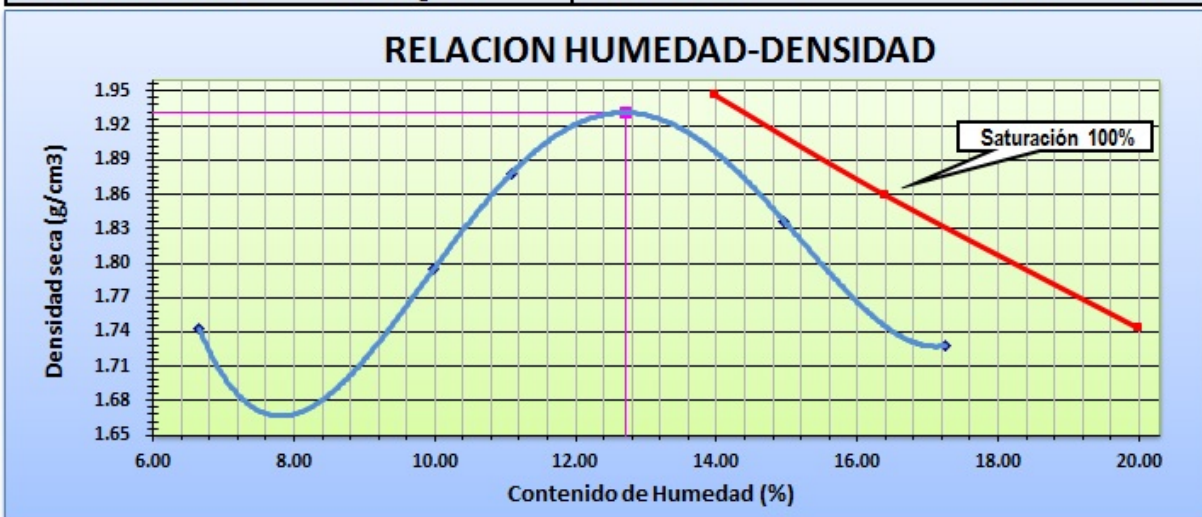


Figura 13.3: Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 01 polímero 12%).



**ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS - PROCTOR MODIFICADO  
ASTM D 1557**

**OBRA** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO-ACRILICO EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN **CAPAS** : 5

**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO **GOLPES** : 25

**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE) **CASF.(SUCS)** : SC

**REFERENCIA** : C-1 PROG. 0+471 M.D. **CLASF. (AASHTO)** : A-2-6(4)

**FECHA** : 16/02/2018 **Polimero** : 14%

| ENSAYO DE COMPACTACION METODO "A"   |         |                        |       |       |       |
|-------------------------------------|---------|------------------------|-------|-------|-------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :           | 2086.82 | PESO DEL MOLDE (gr.) : | 6015  |       |       |
| NUMERO DE ENSAYOS                   | 1       | 2                      | 3     | 4     | 5     |
| PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr.)      | 9801    | 10004                  | 10256 | 10448 | 10296 |
| PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA (gr.) | 3786    | 3989                   | 4241  | 4433  | 4281  |
| DENSIDAD HUMEDA (gr./ cm3.)         | 1.81    | 1.91                   | 2.03  | 2.12  | 2.05  |
| DENSIDAD SECA (gr./cm3.)            | 1.69    | 1.72                   | 1.80  | 1.83  | 1.73  |

| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            |       |       |        |       |                |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------|-------|-------|--------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TARRO N°.                           | R-11  | R-12  | R-13   | R-14  | R-15           | R-16  | R-17  | R-18  | R-19  | R-20  |
| PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO (gr.) | 50.39 | 50.44 | 50.69  | 50.54 | 50.78          | 50.58 | 50.31 | 50.76 | 50.46 | 50.65 |
| PESO DEL TARRO + SUELO SECO (gr.)   | 47.85 | 47.87 | 47.07  | 46.87 | 46.62          | 46.49 | 45.17 | 45.68 | 44.82 | 44.96 |
| PESO DE AGUA (gr.)                  | 2.54  | 2.57  | 3.62   | 3.67  | 4.16           | 4.09  | 5.14  | 5.08  | 5.64  | 5.69  |
| PESO DEL TARRO (gr.)                | 13.96 | 14.26 | 13.98  | 13.89 | 14.09          | 14.16 | 13.90 | 14.14 | 14.16 | 14.20 |
| PESO DE SUELO SECO (gr.)            | 33.89 | 33.61 | 33.09  | 32.98 | 32.53          | 32.33 | 31.27 | 31.54 | 30.66 | 30.76 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            | 7.49  | 7.65  | 10.94  | 11.13 | 12.79          | 12.65 | 16.44 | 16.11 | 18.40 | 18.50 |
| CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%)   | 7.57  |       | 11.03  |       | 12.72          |       | 16.27 |       | 18.45 |       |
| DENSIDAD MAXIMA SECA=               | 1.850 |       | gr/cc. |       | HUMEDAD OPTIMA |       | =     |       | 14.90 |       |
|                                     |       |       |        |       |                |       |       |       | %     |       |

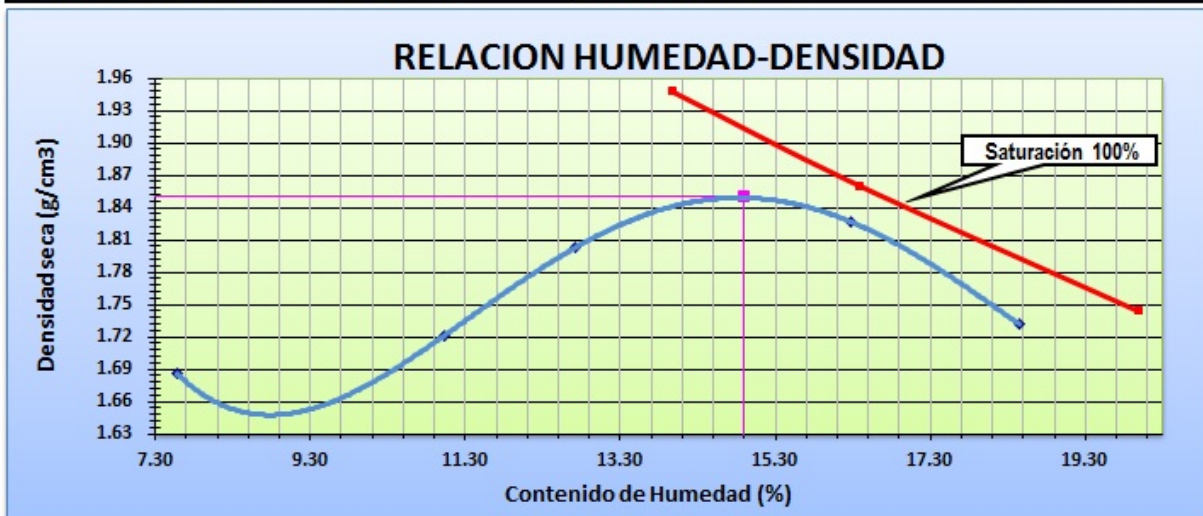


Figura 13.4: Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 01 polímero 14%).

**ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS - PROCTOR MODIFICADO  
ASTM D 1557**

**PROYECTO** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN **CAPAS** : 5

**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO **GOLPES** : 25

**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE) **CASF.(SUCS)** : CL

**REFERENCIA** : C-2 PROG. 1+981 **CLASF. (AASHTO)** : A-6(16)

**FECHA** : OCTUBRE 2017 **Polimero** : 0%

| ENSAYO DE COMPACTACION METODO "A"   |         |                        |       |       |       |
|-------------------------------------|---------|------------------------|-------|-------|-------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :           | 2086.82 | PESO DEL MOLDE (gr.) : | 6016  |       |       |
| NUMERO DE ENSAYOS                   | 1       | 2                      | 3     | 4     | 5     |
| PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr.)      | 9635    | 9711                   | 10147 | 10304 | 10274 |
| PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA (gr.) | 3619    | 3695                   | 4131  | 4288  | 4258  |
| DENSIDAD HUMEDA (gr./ cm3.)         | 1.73    | 1.77                   | 1.98  | 2.05  | 2.04  |
| DENSIDAD SECA (gr./cm3.)            | 1.60    | 1.59                   | 1.71  | 1.72  | 1.66  |

| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            |              |       |                |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------|--------------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TARRO N°.                           | R-11         | R-12  | R-13           | R-14  | R-15  | R-16  | R-21  | R-22  | R-28  | R-29  |
| PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO (gr.) | 78.85        | 80.07 | 57.25          | 54.39 | 45.29 | 47.43 | 56.53 | 54.42 | 66.38 | 68.06 |
| PESO DEL TARRO + SUELO SECO (gr.)   | 73.62        | 74.92 | 52.68          | 50.19 | 41.05 | 42.90 | 49.54 | 47.97 | 56.66 | 58.26 |
| PESO DE AGUA (gr.)                  | 5.23         | 5.15  | 4.57           | 4.20  | 4.24  | 4.53  | 6.99  | 6.45  | 9.72  | 9.80  |
| PESO DEL TARRO (gr.)                | 13.98        | 14.28 | 13.97          | 13.91 | 14.10 | 14.15 | 14.03 | 14.16 | 14.14 | 14.22 |
| PESO DE SUELO SECO (gr.)            | 59.64        | 60.64 | 38.71          | 36.28 | 26.95 | 28.75 | 35.51 | 33.81 | 42.52 | 44.04 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            | 8.77         | 8.49  | 11.81          | 11.58 | 15.73 | 15.76 | 19.68 | 19.08 | 22.86 | 22.25 |
| CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%)   | 8.63         |       | 11.69          |       | 15.74 |       | 19.38 |       | 22.56 |       |
| DENSIDAD MAXIMA SECA=               | 1.733 gr/cc. |       | HUMEDAD OPTIMA |       | =     |       | 17.80 |       | %     |       |

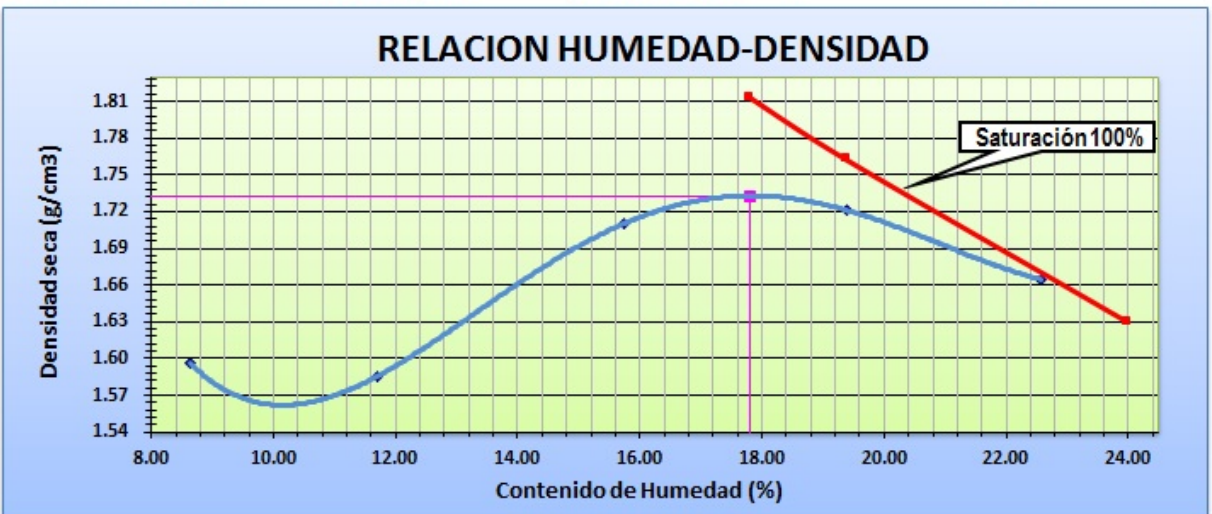


Figura 13.5: Ensayo de compactación - próctor modificado suelo natural (Muestra N° 02).



**ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS - PROCTOR MODIFICADO  
ASTM D 1557**

**PROYECTO** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN CAPAS : 5

**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO GOLPES : 25

**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE) CASE.(SUCS) : CL

**REFERENCIA** : C-2 PROG. 1+981 M.D. CLASF. (AASHTO) : A-6(16)

**FECHA** : 19/02/2018 Polimero : 6%

| ENSAYO DE COMPACTACION METODO "A"      |         |                        |       |       |       |
|----------------------------------------|---------|------------------------|-------|-------|-------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> ) : | 2086.82 | PESO DEL MOLDE (gr.) : | 6015  |       |       |
| NUMERO DE ENSAYOS                      | 1       | 2                      | 3     | 4     | 5     |
| PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr.)         | 9677    | 10006                  | 10354 | 10277 | 10086 |
| PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA (gr.)    | 3662    | 3991                   | 4339  | 4262  | 4071  |
| DENSIDAD HUMEDA (gr./cm <sup>3</sup> ) | 1.75    | 1.91                   | 2.08  | 2.04  | 1.95  |
| DENSIDAD SECA (gr./cm <sup>3</sup> )   | 1.57    | 1.67                   | 1.77  | 1.69  | 1.57  |

| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            |              |       |                |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------|--------------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TARRO N°.                           | R-11         | R-12  | R-13           | R-14  | R-15  | R-16  | R-21  | R-22  | R-28  | R-29  |
| PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO (gr.) | 50.47        | 50.61 | 50.34          | 50.75 | 50.43 | 50.48 | 50.62 | 50.36 | 50.47 | 50.34 |
| PESO DEL TARRO + SUELO SECO (gr.)   | 46.66        | 46.79 | 45.81          | 46.20 | 44.93 | 45.03 | 44.35 | 44.11 | 43.40 | 43.15 |
| PESO DE AGUA (gr.)                  | 3.81         | 3.82  | 4.53           | 4.55  | 5.50  | 5.45  | 6.27  | 6.25  | 7.07  | 7.19  |
| PESO DEL TARRO (gr.)                | 14.03        | 14.16 | 13.97          | 14.11 | 13.99 | 14.22 | 14.00 | 14.15 | 14.24 | 14.15 |
| PESO DE SUELO SECO (gr.)            | 32.63        | 32.63 | 31.84          | 32.09 | 30.94 | 30.81 | 30.35 | 29.96 | 29.16 | 29.00 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            | 11.68        | 11.71 | 14.23          | 14.18 | 17.78 | 17.69 | 20.66 | 20.86 | 24.25 | 24.79 |
| CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%)   | 11.69        |       | 14.20          |       | 17.73 |       | 20.76 |       | 24.52 |       |
| DENSIDAD MAXIMA SECA=               | 1.767 gr/cc. |       | HUMEDAD OPTIMA |       | =     |       | 17.80 |       | %     |       |

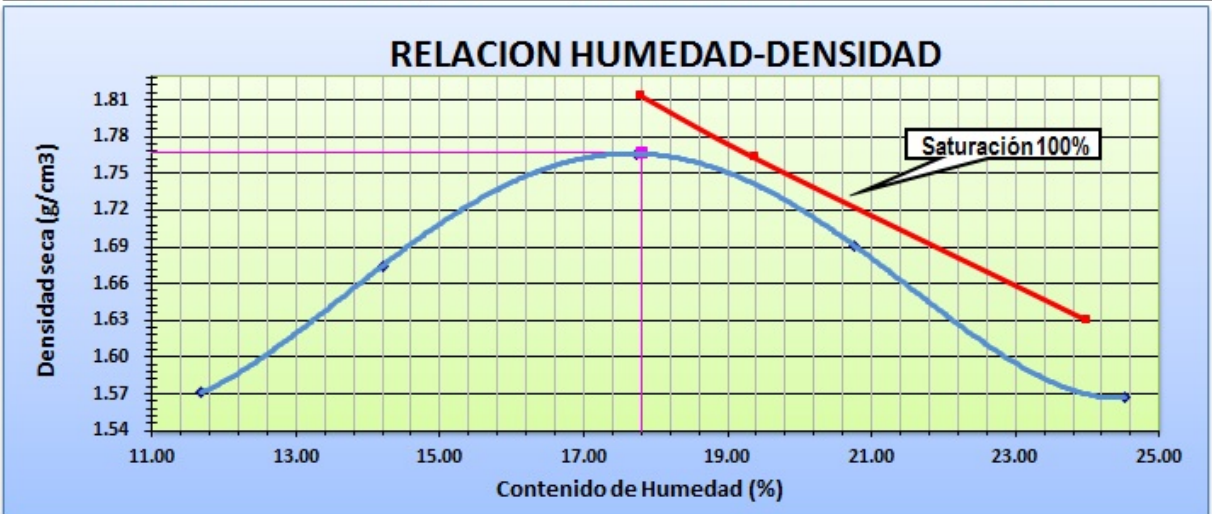


Figura 13.6: Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 02 polímero 6%).

**ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS - PROCTOR MODIFICADO  
ASTM D 1557**

**PROYECTO** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN

**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO

**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)

**REFERENCIA** : C-2 PROG. 1+981 M.D.

**FECHA** : 21/02/2018

CAPAS : 5

GOLPES : 25

CASF.(SUCS) : CL

CLASF. (AASHTO) : A-6(16)

Polimero : 8%

**ENSAYO DE COMPACTACION METODO "A"**

|                                        |         |                        |       |       |       |
|----------------------------------------|---------|------------------------|-------|-------|-------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> ) : | 2086.82 | PESO DEL MOLDE (gr.) : | 6015  |       |       |
| NUMERO DE ENSAYOS                      | 1       | 2                      | 3     | 4     | 5     |
| PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr.)         | 9683    | 9937                   | 10286 | 10252 | 10247 |
| PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA (gr.)    | 3668    | 3922                   | 4271  | 4237  | 4232  |
| DENSIDAD HUMEDA (gr./cm <sup>3</sup> ) | 1.76    | 1.88                   | 2.05  | 2.03  | 2.03  |
| DENSIDAD SECA (gr./cm <sup>3</sup> )   | 1.62    | 1.69                   | 1.77  | 1.71  | 1.72  |

**CONTENIDO DE HUMEDAD (%)**

| TARRO N°.                           | R-21  | R-22  | R-23   | R-24  | R-25             | R-26  | R-27  | R-28  | R-29  | R-30  |
|-------------------------------------|-------|-------|--------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO (gr.) | 50.62 | 50.30 | 50.51  | 50.52 | 50.81            | 50.46 | 50.50 | 50.33 | 50.23 | 50.58 |
| PESO DEL TARRO + SUELO SECO (gr.)   | 47.74 | 47.42 | 46.93  | 46.85 | 45.81            | 45.49 | 44.70 | 44.63 | 44.70 | 44.97 |
| PESO DE AGUA (gr.)                  | 2.88  | 2.88  | 3.58   | 3.67  | 5.00             | 4.97  | 5.80  | 5.70  | 5.53  | 5.61  |
| PESO DEL TARRO (gr.)                | 14.03 | 14.15 | 13.97  | 14.11 | 13.99            | 14.21 | 14.00 | 14.14 | 14.24 | 14.15 |
| PESO DE SUELO SECO (gr.)            | 33.71 | 33.27 | 32.96  | 32.74 | 31.82            | 31.28 | 30.70 | 30.49 | 30.46 | 30.82 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            | 8.54  | 8.66  | 10.86  | 11.21 | 15.71            | 15.89 | 18.89 | 18.69 | 18.15 | 18.20 |
| CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%)   | 8.60  |       | 11.04  |       | 15.80            |       | 18.79 |       | 18.18 |       |
| DENSIDAD MAXIMA SECA=               | 1.780 |       | gr/cc. |       | HUMEDAD OPTIMA = |       | 14.60 |       | %     |       |

**RELACION HUMEDAD-DENSIDAD**



Figura 13.7: Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 02 polímero 8%).



**ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS - PROCTOR MODIFICADO  
ASTM D 1557**

**PROYECTO** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN

**CAPAS** : 5

**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO

**GOLPES** : 25

**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)

**CASF.(SUCS)** : CL

**REFERENCIA** : C-2 PROG. 1+981 M.D.

**CLASF. (AASHTO)** : A-6(16)

**FECHA** : 23/02/2018

**Polimero** : 10%

**ENSAYO DE COMPACTACION METODO "A"**

|                                        |         |                        |       |       |       |
|----------------------------------------|---------|------------------------|-------|-------|-------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> ) : | 2086.82 | PESO DEL MOLDE (gr.) : | 6015  |       |       |
| NUMERO DE ENSAYOS                      | 1       | 2                      | 3     | 4     | 5     |
| PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr.)         | 9629    | 9716                   | 10147 | 10316 | 10121 |
| PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA (gr.)    | 3614    | 3701                   | 4132  | 4301  | 4106  |
| DENSIDAD HUMEDA (gr./cm <sup>3</sup> ) | 1.73    | 1.77                   | 1.98  | 2.06  | 1.97  |
| DENSIDAD SECA (gr./cm <sup>3</sup> )   | 1.61    | 1.61                   | 1.74  | 1.76  | 1.62  |

**CONTENIDO DE HUMEDAD (%)**

| TARRO N°.                           | R-11  | R-12   | R-13           | R-14  | R-15  | R-16  | R-17  | R-18  | R-19  | R-20  |
|-------------------------------------|-------|--------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO (gr.) | 50.28 | 50.37  | 50.21          | 50.42 | 50.29 | 50.45 | 50.65 | 50.26 | 50.70 | 50.55 |
| PESO DEL TARRO + SUELO SECO (gr.)   | 47.62 | 47.73  | 46.80          | 46.92 | 45.84 | 45.98 | 45.27 | 44.88 | 44.33 | 44.09 |
| PESO DE AGUA (gr.)                  | 2.66  | 2.64   | 3.41           | 3.50  | 4.45  | 4.47  | 5.38  | 5.38  | 6.37  | 6.46  |
| PESO DEL TARRO (gr.)                | 13.96 | 14.26  | 13.98          | 13.89 | 14.09 | 14.16 | 13.90 | 14.15 | 14.16 | 14.20 |
| PESO DE SUELO SECO (gr.)            | 33.66 | 33.47  | 32.82          | 33.03 | 31.75 | 31.82 | 31.37 | 30.73 | 30.17 | 29.89 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            | 7.90  | 7.89   | 10.39          | 10.60 | 14.02 | 14.05 | 17.15 | 17.51 | 21.11 | 21.61 |
| CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%)   | 7.90  | 10.49  | 14.03          | 17.33 | 21.36 |       |       |       |       |       |
| DENSIDAD MAXIMA SECA=               | 1.768 | gr/cc. | HUMEDAD OPTIMA | =     | 16.20 | %     |       |       |       |       |

**RELACION HUMEDAD-DENSIDAD**

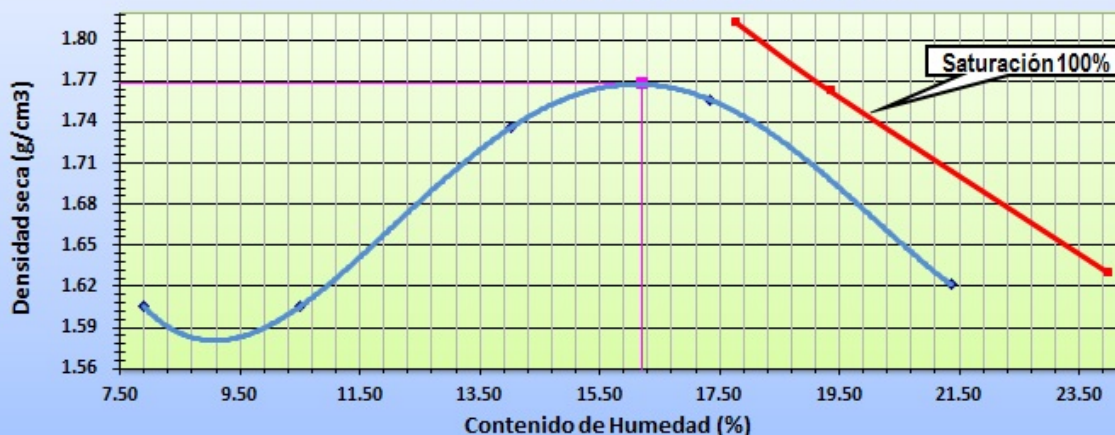


Figura 13.8: Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 02 polímero 10%).

**ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS - PROCTOR MODIFICADO  
ASTM D 1557**

**PROYECTO** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN CAPAS : 5

**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO GOLPES : 25

**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE) CASE.(SUCS) : CL

**REFERENCIA** : C-3 PROG. 3+071 M.D. CLASF. (AASHTO) : A-6(16)

**FECHA** : NOVIEMBRE 2017 Polimero : 0%

| ENSAYO DE COMPACTACION METODO "A"   |         |                        |       |       |       |
|-------------------------------------|---------|------------------------|-------|-------|-------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :           | 2086.82 | PESO DEL MOLDE (gr.) : |       |       |       |
| NUMERO DE ENSAYOS                   | 1       | 2                      | 3     | 4     | 5     |
| PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr.)      | 9924    | 10198                  | 10519 | 10345 | 10167 |
| PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA (gr.) | 3909    | 4183                   | 4504  | 4330  | 4152  |
| DENSIDAD HUMEDA (gr./ cm3.)         | 1.87    | 2.00                   | 2.16  | 2.07  | 1.99  |
| DENSIDAD SECA (gr./cm3.)            | 1.72    | 1.75                   | 1.83  | 1.71  | 1.61  |

| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            |       |        |       |                |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------|-------|--------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TARRO N°.                           | R-21  | R-22   | R-23  | R-24           | R-25  | R-26  | R-27  | R-28  | R-29  | R-30  |
| PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO (gr.) | 50.25 | 50.46  | 50.31 | 50.20          | 50.66 | 50.64 | 50.30 | 50.74 | 50.55 | 50.47 |
| PESO DEL TARRO + SUELO SECO (gr.)   | 47.37 | 47.46  | 45.83 | 45.64          | 45.04 | 45.13 | 43.93 | 44.44 | 43.54 | 43.48 |
| PESO DE AGUA (gr.)                  | 2.88  | 3.00   | 4.48  | 4.56           | 5.62  | 5.51  | 6.37  | 6.30  | 7.01  | 6.99  |
| PESO DEL TARRO (gr.)                | 14.05 | 14.10  | 14.23 | 14.18          | 14.02 | 14.14 | 13.97 | 14.12 | 14.23 | 14.14 |
| PESO DE SUELO SECO (gr.)            | 33.32 | 33.36  | 31.60 | 31.46          | 31.02 | 30.99 | 29.96 | 30.32 | 29.31 | 29.34 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            | 8.64  | 8.99   | 14.18 | 14.49          | 18.12 | 17.78 | 21.26 | 20.78 | 23.92 | 23.82 |
| CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%)   | 8.82  |        | 14.34 |                | 17.95 |       | 21.02 |       | 23.87 |       |
| DENSIDAD MAXIMA SECA=               | 1.833 | gr/cc. |       | HUMEDAD OPTIMA |       | =     | 17.40 | %     |       |       |

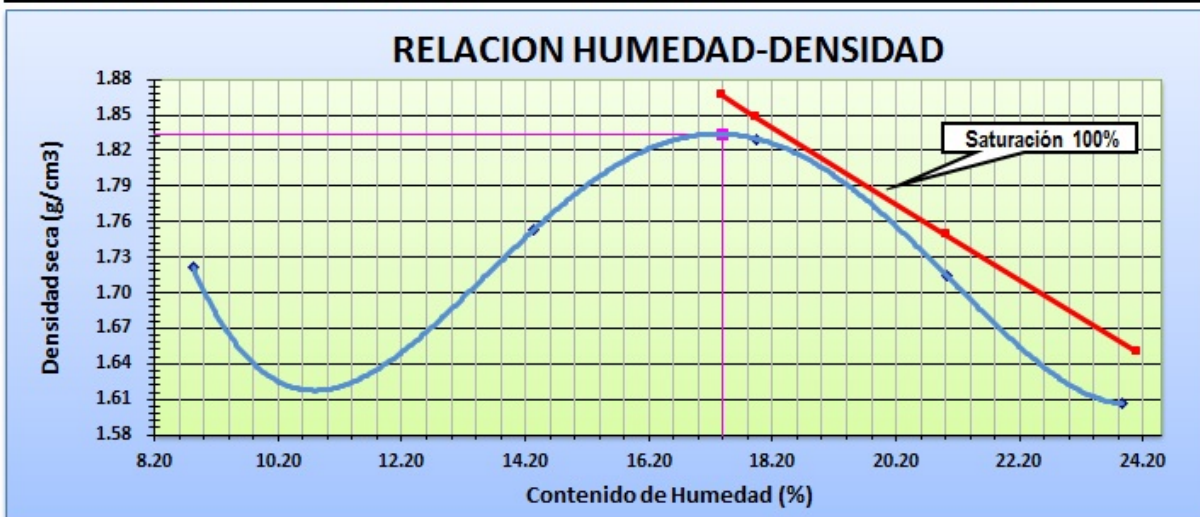


Figura 13.9: Ensayo de compactación - próctor modificado suelo natural (Muestra N° 03).



**ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS - PROCTOR MODIFICADO  
ASTM D 1557**

**PROYECTO** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN CAPAS : 5

**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO GOLPES : 25

**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE) CASF.(SUCS) : CL

**REFERENCIA** : C-3 PROG. 3+071 M.D. CLASF. (AASHTO) : A-6(16)

**FECHA** : 01/03/2018 Polimero : 10%

**ENSAYO DE COMPACTACION METODO "A"**

|                                         |         |       |       |       |       |
|-----------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> ) :  | 2086.82 |       |       |       |       |
| PESO DEL MOLDE (gr.) :                  | 6015    |       |       |       |       |
| NUMERO DE ENSAYOS                       | 1       | 2     | 3     | 4     | 5     |
| PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr.)          | 9912    | 10173 | 10493 | 10334 | 10203 |
| PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA (gr.)     | 3897    | 4158  | 4478  | 4319  | 4188  |
| DENSIDAD HUMEDA (gr./cm <sup>3</sup> .) | 1.87    | 1.99  | 2.15  | 2.07  | 2.01  |
| DENSIDAD SECA (gr./cm <sup>3</sup> .)   | 1.72    | 1.77  | 1.85  | 1.75  | 1.65  |

**CONTENIDO DE HUMEDAD (%)**

| TARRO N°.                           | R-21         | R-22  | R-23           | R-24  | R-25  | R-26  | R-27  | R-28  | R-29  | R-30  |
|-------------------------------------|--------------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO (gr.) | 50.39        | 50.47 | 50.83          | 50.61 | 50.68 | 50.67 | 50.69 | 50.79 | 50.51 | 50.27 |
| PESO DEL TARRO + SUELO SECO (gr.)   | 47.61        | 47.70 | 46.77          | 46.65 | 45.71 | 45.51 | 45.09 | 45.00 | 44.11 | 43.82 |
| PESO DE AGUA (gr.)                  | 2.78         | 2.77  | 4.06           | 3.96  | 4.97  | 5.16  | 5.60  | 5.79  | 6.40  | 6.45  |
| PESO DEL TARRO (gr.)                | 14.05        | 14.18 | 13.99          | 14.12 | 14.00 | 14.18 | 14.05 | 14.16 | 14.25 | 14.18 |
| PESO DE SUELO SECO (gr.)            | 33.56        | 33.52 | 32.78          | 32.53 | 31.71 | 31.33 | 31.04 | 30.84 | 29.86 | 29.64 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            | 8.28         | 8.26  | 12.39          | 12.17 | 15.67 | 16.47 | 18.04 | 18.77 | 21.43 | 21.76 |
| CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%)   | 8.27         |       | 12.28          |       | 16.07 |       | 18.41 |       | 21.60 |       |
| DENSIDAD MAXIMA SECA=               | 1.860 gr/cc. |       | HUMEDAD OPTIMA |       | =     |       | 15.20 |       | %     |       |

**RELACION HUMEDAD-DENSIDAD**

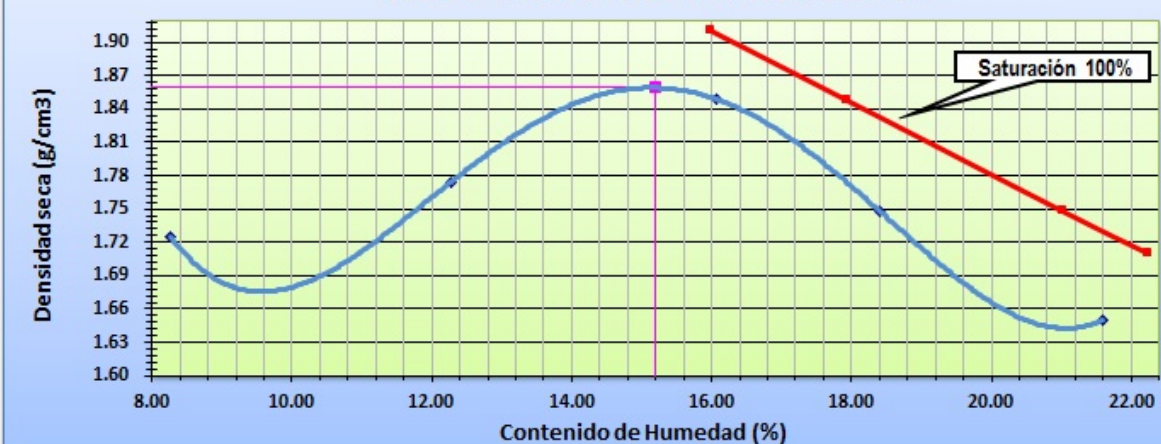


Figura 13.10: Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 03 polímero 10%).



**ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS - PROCTOR MODIFICADO  
ASTM D 1557**

**PROYECTO** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN

**CAPAS** : 5

**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO

**GOLPES** : 25

**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)

**CASF.(SUCS)** : CL

**REFERENCIA** : C-3 PROG. 3+071 M.D.

**CLASF. (AASHTO)** : A-6(16)

**FECHA** : 03/03/2018

**Polimero** : 12%

**ENSAYO DE COMPACTACION METODO "A"**

|                                          |                |                        |             |             |             |
|------------------------------------------|----------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> ) :   | <b>2086.82</b> | PESO DEL MOLDE (gr.) : | <b>6015</b> |             |             |
| NUMERO DE ENSAYOS                        | <b>1</b>       | <b>2</b>               | <b>3</b>    | <b>4</b>    | <b>5</b>    |
| PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr.)           | 9878           | 10092                  | 10472       | 10410       | 10282       |
| PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA (gr.)      | 3863           | 4077                   | 4457        | 4395        | 4267        |
| DENSIDAD HUMEDA (gr./ cm <sup>3</sup> .) | 1.85           | 1.95                   | 2.14        | 2.11        | 2.04        |
| DENSIDAD SECA (gr./cm <sup>3</sup> .)    | <b>1.75</b>    | <b>1.78</b>            | <b>1.89</b> | <b>1.81</b> | <b>1.73</b> |

**CONTENIDO DE HUMEDAD (%)**

| TARRO N°.                           | R-21         | R-22   | R-23           | R-24  | R-25         | R-26  | R-27  | R-28  | R-29  | R-30  |
|-------------------------------------|--------------|--------|----------------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO (gr.) | 50.70        | 50.44  | 50.51          | 50.46 | 50.38        | 50.50 | 50.24 | 50.17 | 50.60 | 50.29 |
| PESO DEL TARRO + SUELO SECO (gr.)   | 48.76        | 48.48  | 47.30          | 47.31 | 46.20        | 46.32 | 45.17 | 45.06 | 45.03 | 44.75 |
| PESO DE AGUA (gr.)                  | 1.94         | 1.96   | 3.21           | 3.15  | 4.18         | 4.18  | 5.07  | 5.11  | 5.57  | 5.54  |
| PESO DEL TARRO (gr.)                | 14.04        | 14.18  | 14.00          | 14.13 | 13.99        | 14.17 | 14.01 | 14.16 | 14.26 | 14.18 |
| PESO DE SUELO SECO (gr.)            | 34.72        | 34.30  | 33.30          | 33.18 | 32.21        | 32.15 | 31.16 | 30.90 | 30.77 | 30.57 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            | 5.59         | 5.71   | 9.64           | 9.49  | 12.98        | 13.00 | 16.27 | 16.54 | 18.10 | 18.12 |
| CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%)   | 5.65         | 5.65   | 9.57           | 9.57  | 12.99        | 12.99 | 16.40 | 16.40 | 18.11 | 18.11 |
| DENSIDAD MAXIMA SECA=               | <b>1.893</b> | gr/cc. | HUMEDAD OPTIMA | =     | <b>13.30</b> | %     |       |       |       |       |

**RELACION HUMEDAD-DENSIDAD**

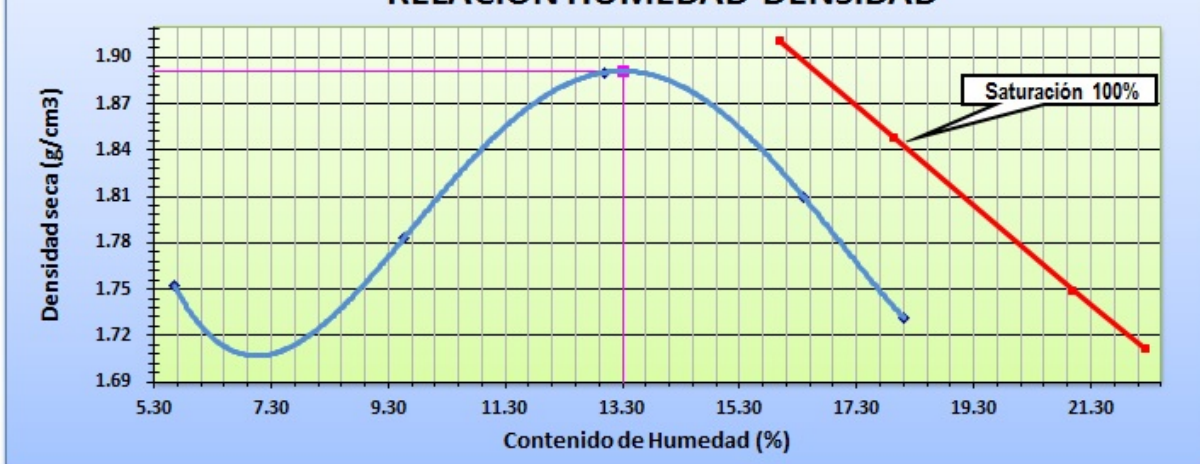


Figura 13.11: Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 03 polímero 12%).

**ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS - PROCTOR MODIFICADO  
ASTM D 1557**

**PROYECTO** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN

**CAPAS** : 5

**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO

**GOLPES** : 25

**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)

**CASF.(SUCS)** : CL

**REFERENCIA** : C-3 PROG. 3+071 M.D.

**CLASF. (AASHTO)** : A-6(16)

**FECHA** : 05/03/2018

**Polimero** : 14%

**ENSAYO DE COMPACTACION METODO "A"**

|                                         |         |       |       |       |       |
|-----------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> ) :  | 2086.82 |       |       |       |       |
| PESO DEL MOLDE (gr.) :                  | 6015    |       |       |       |       |
| NUMERO DE ENSAYOS                       | 1       | 2     | 3     | 4     | 5     |
| PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr.)          | 9846    | 10024 | 10411 | 10439 | 10273 |
| PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA (gr.)     | 3831    | 4009  | 4396  | 4424  | 4258  |
| DENSIDAD HUMEDA (gr./cm <sup>3</sup> .) | 1.84    | 1.92  | 2.11  | 2.12  | 2.04  |
| DENSIDAD SECA (gr./cm <sup>3</sup> .)   | 1.75    | 1.77  | 1.88  | 1.85  | 1.73  |

**CONTENIDO DE HUMEDAD (%)**

| TARRO N°.                           | R-21  | R-22  | R-23   | R-24  | R-25           | R-26  | R-27  | R-28  | R-29  | R-30  |   |
|-------------------------------------|-------|-------|--------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO (gr.) | 50.18 | 50.63 | 50.54  | 50.62 | 50.71          | 50.41 | 50.48 | 50.46 | 50.45 | 50.26 |   |
| PESO DEL TARRO + SUELO SECO (gr.)   | 48.58 | 49.01 | 47.67  | 47.78 | 46.66          | 46.55 | 45.84 | 45.71 | 45.08 | 44.81 |   |
| PESO DE AGUA (gr.)                  | 1.60  | 1.62  | 2.87   | 2.84  | 4.05           | 3.86  | 4.64  | 4.75  | 5.37  | 5.45  |   |
| PESO DEL TARRO (gr.)                | 14.04 | 14.17 | 13.98  | 14.12 | 13.99          | 14.17 | 14.01 | 14.16 | 14.26 | 14.18 |   |
| PESO DE SUELO SECO (gr.)            | 34.54 | 34.84 | 33.69  | 33.66 | 32.67          | 32.38 | 31.83 | 31.55 | 30.82 | 30.63 |   |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            | 4.63  | 4.65  | 8.52   | 8.44  | 12.40          | 11.92 | 14.58 | 15.06 | 17.42 | 17.79 |   |
| CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%)   | 4.64  |       | 8.48   |       | 12.16          |       | 14.82 |       | 17.61 |       |   |
| DENSIDAD MAXIMA SECA=               | 1.881 |       | gr/cc. |       | HUMEDAD OPTIMA |       | =     |       | 12.80 |       | % |

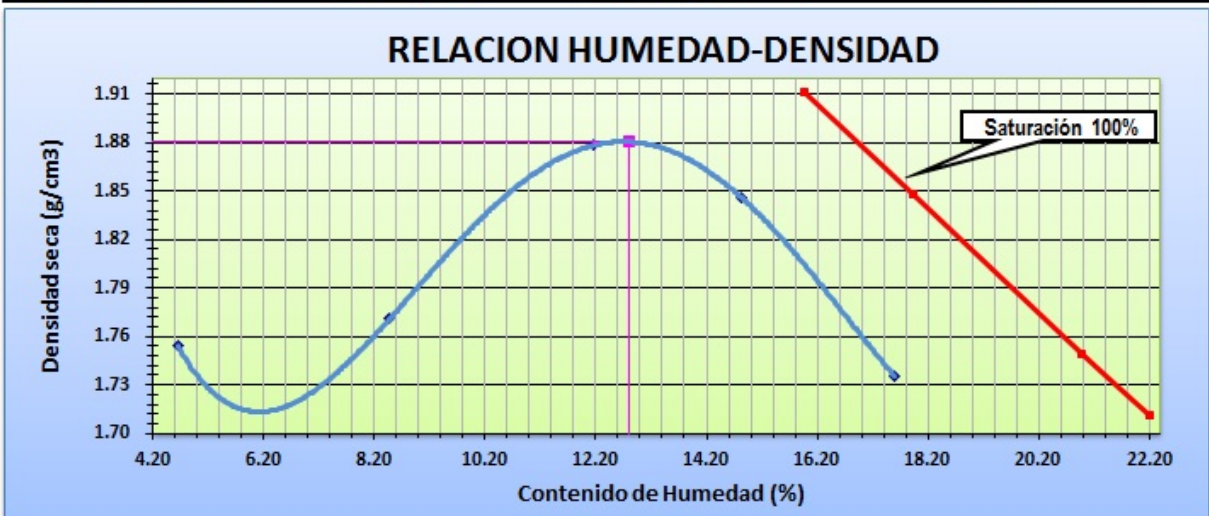


Figura 13.12: Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 03 polímero 14%).



**ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS - PROCTOR MODIFICADO  
ASTM D 1557**

**PROYECTO** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN CAPAS : 5

**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO GOLPES : 25

**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE) CASF.(SUCS) : CL

**REFERENCIA** : C-4 PROG. 4+013 CLASF. (AASHTO) : A-7-5(20)

**FECHA** : NOVIEMBRE 2017 Polimero : 0%

| ENSAYO DE COMPACTACION METODO "A"       |         |                        |       |       |       |
|-----------------------------------------|---------|------------------------|-------|-------|-------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> ) :  | 2086.82 | PESO DEL MOLDE (gr.) : | 6016  |       |       |
| NUMERO DE ENSAYOS                       | 1       | 2                      | 3     | 4     | 5     |
| PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr.)          | 9753    | 10000                  | 10229 | 10199 | 10113 |
| PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA (gr.)     | 3737    | 3984                   | 4213  | 4183  | 4097  |
| DENSIDAD HUMEDA (gr./cm <sup>3</sup> .) | 1.79    | 1.91                   | 2.02  | 2.00  | 1.96  |
| DENSIDAD SECA (gr./cm <sup>3</sup> .)   | 1.64    | 1.70                   | 1.73  | 1.66  | 1.60  |

| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            |       |       |        |       |                |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------|-------|-------|--------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TARRO N°.                           | R-12  | R-13  | R-16   | R-17  | R-11           | R-20  | R-27  | R-28  | R-25  | R-26  |
| PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO (gr.) | 53.82 | 53.19 | 55.47  | 54.86 | 50.89          | 50.26 | 55.71 | 55.46 | 57.04 | 56.84 |
| PESO DEL TARRO + SUELO SECO (gr.)   | 50.51 | 50.05 | 50.97  | 50.33 | 45.49          | 45.12 | 48.72 | 48.22 | 49.00 | 49.20 |
| PESO DE AGUA (gr.)                  | 3.31  | 3.14  | 4.50   | 4.53  | 5.40           | 5.14  | 6.99  | 7.24  | 8.04  | 7.64  |
| PESO DEL TARRO (gr.)                | 14.28 | 13.99 | 14.16  | 13.92 | 13.99          | 14.20 | 14.01 | 14.16 | 13.98 | 14.15 |
| PESO DE SUELO SECO (gr.)            | 36.23 | 36.06 | 36.81  | 36.41 | 31.50          | 30.92 | 34.71 | 34.06 | 35.02 | 35.05 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            | 9.14  | 8.71  | 12.22  | 12.44 | 17.14          | 16.62 | 20.14 | 21.26 | 22.96 | 21.80 |
| CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%)   | 8.92  |       | 12.33  |       | 16.88          |       | 20.70 |       | 22.38 |       |
| DENSIDAD MAXIMA SECA=               | 1.730 |       | gr/cc. |       | HUMEDAD OPTIMA |       | =     |       | 16.00 |       |
|                                     |       |       |        |       |                |       |       |       | %     |       |

**ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS - PROCTOR MODIFICADO  
ASTM D 1557**

**PROYECTO** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN

**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO

**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)

**REFERENCIA** : C-4 PROG. 4+013 M.D.

**FECHA** : 13/03/2018

**CAPAS** : 5

**GOLPES** : 25

**CASF.(SUCS)** : CL

**CLASF. (AASHTO)** : A-7-5(20)

**Polimero** : 8%

**ENSAYO DE COMPACTACION METODO "A"**

|                                        |         |      |       |       |       |
|----------------------------------------|---------|------|-------|-------|-------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> ) : | 2086.82 |      |       |       |       |
| PESO DEL MOLDE (gr.) :                 | 6015    |      |       |       |       |
| NUMERO DE ENSAYOS                      | 1       | 2    | 3     | 4     | 5     |
| PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr.)         | 9758    | 9992 | 10246 | 10236 | 10056 |
| PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA (gr.)    | 3743    | 3977 | 4231  | 4221  | 4041  |
| DENSIDAD HUMEDA (gr./cm <sup>3</sup> ) | 1.79    | 1.91 | 2.03  | 2.02  | 1.94  |
| DENSIDAD SECA (gr./cm <sup>3</sup> )   | 1.65    | 1.70 | 1.74  | 1.70  | 1.57  |

**CONTENIDO DE HUMEDAD (%)**

| TARRO N°.                           | R-21  | R-22  | R-23   | R-24  | R-25           | R-26  | R-28  | R-29  | R-20  | R-30  |
|-------------------------------------|-------|-------|--------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO (gr.) | 50.47 | 50.49 | 50.68  | 50.52 | 50.67          | 50.20 | 50.43 | 50.21 | 50.75 | 50.96 |
| PESO DEL TARRO + SUELO SECO (gr.)   | 47.45 | 47.64 | 46.62  | 46.72 | 45.42          | 45.00 | 44.61 | 44.36 | 43.80 | 44.04 |
| PESO DE AGUA (gr.)                  | 3.02  | 2.85  | 4.06   | 3.80  | 5.25           | 5.20  | 5.82  | 5.85  | 6.95  | 6.92  |
| PESO DEL TARRO (gr.)                | 14.03 | 14.17 | 13.98  | 14.11 | 13.99          | 14.17 | 14.15 | 14.25 | 14.20 | 14.18 |
| PESO DE SUELO SECO (gr.)            | 33.42 | 33.47 | 32.64  | 32.61 | 31.43          | 30.83 | 30.46 | 30.11 | 29.60 | 29.86 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            | 9.04  | 8.52  | 12.44  | 11.65 | 16.70          | 16.87 | 19.11 | 19.43 | 23.48 | 23.17 |
| CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%)   | 8.78  |       | 12.05  |       | 16.79          |       | 19.27 |       | 23.33 |       |
| DENSIDAD MAXIMA SECA=               | 1.740 |       | gr/cc. |       | HUMEDAD OPTIMA |       | =     |       | 15.90 |       |
|                                     |       |       |        |       |                |       |       |       | %     |       |

**RELACION HUMEDAD-DENSIDAD**

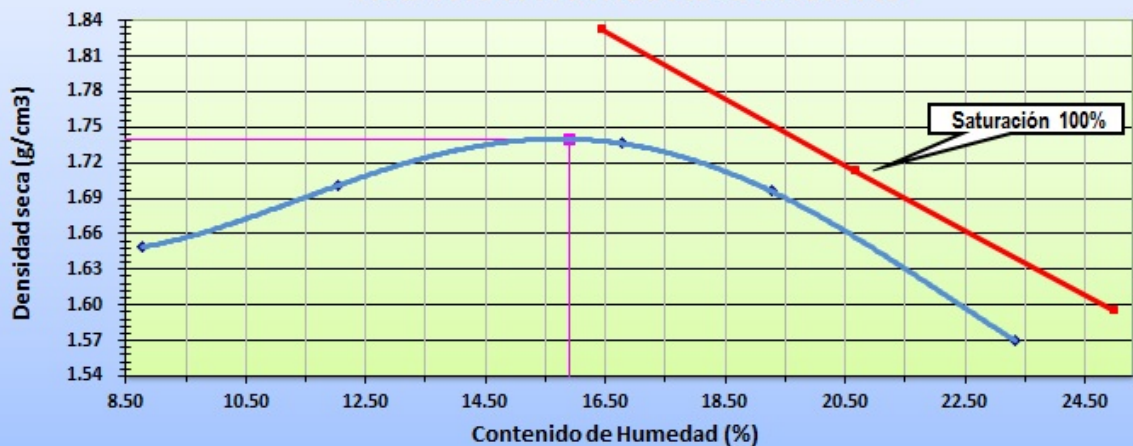


Figura 13.14: Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 04 polímero 8%).



**ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS - PROCTOR MODIFICADO  
ASTM D 1557**

**PROYECTO** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN

**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO

**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)

**REFERENCIA** : C-4 PROG. 4+013 M.D.

**FECHA** : 15/03/2018

**CAPAS** : 5

**GOLPES** : 25

**CASF.(SUCS)** : CL

**CLASF. (AASHTO)** : A-7-5(20)

**Polimero** : 10%

**ENSAYO DE COMPACTACION METODO "A"**

|                                         |         |      |       |       |       |
|-----------------------------------------|---------|------|-------|-------|-------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> ) :  | 2086.82 |      |       |       |       |
| PESO DEL MOLDE (gr.) :                  | 6015    |      |       |       |       |
| NUMERO DE ENSAYOS                       | 1       | 2    | 3     | 4     | 5     |
| PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr.)          | 9636    | 9872 | 10128 | 10240 | 10176 |
| PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA (gr.)     | 3621    | 3857 | 4113  | 4225  | 4161  |
| DENSIDAD HUMEDA (gr./cm <sup>3</sup> .) | 1.74    | 1.85 | 1.97  | 2.02  | 1.99  |
| DENSIDAD SECA (gr./cm <sup>3</sup> .)   | 1.62    | 1.67 | 1.73  | 1.73  | 1.67  |

**CONTENIDO DE HUMEDAD (%)**

| TARRO N°.                           | R-21  | R-22  | R-23   | R-24  | R-25           | R-26  | R-27  | R-28  | R-29  | R-30  |   |
|-------------------------------------|-------|-------|--------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO (gr.) | 50.32 | 50.36 | 50.58  | 50.50 | 50.42          | 50.60 | 50.71 | 50.53 | 50.20 | 50.49 |   |
| PESO DEL TARRO + SUELO SECO (gr.)   | 47.93 | 47.96 | 47.00  | 46.99 | 46.01          | 46.27 | 45.42 | 45.24 | 44.26 | 44.55 |   |
| PESO DE AGUA (gr.)                  | 2.39  | 2.40  | 3.58   | 3.51  | 4.41           | 4.33  | 5.29  | 5.29  | 5.94  | 5.94  |   |
| PESO DEL TARRO (gr.)                | 14.04 | 14.18 | 13.98  | 14.12 | 13.99          | 14.17 | 14.02 | 14.16 | 14.26 | 14.18 |   |
| PESO DE SUELO SECO (gr.)            | 33.89 | 33.78 | 33.02  | 32.87 | 32.02          | 32.10 | 31.40 | 31.08 | 30.00 | 30.37 |   |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            | 7.05  | 7.10  | 10.84  | 10.68 | 13.77          | 13.49 | 16.85 | 17.02 | 19.80 | 19.56 |   |
| CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%)   | 7.08  |       | 10.76  |       | 13.63          |       | 16.93 |       | 19.68 |       |   |
| DENSIDAD MAXIMA SECA=               | 1.746 |       | gr/cc. |       | HUMEDAD OPTIMA |       | =     |       | 15.20 |       | % |

**RELACION HUMEDAD-DENSIDAD**

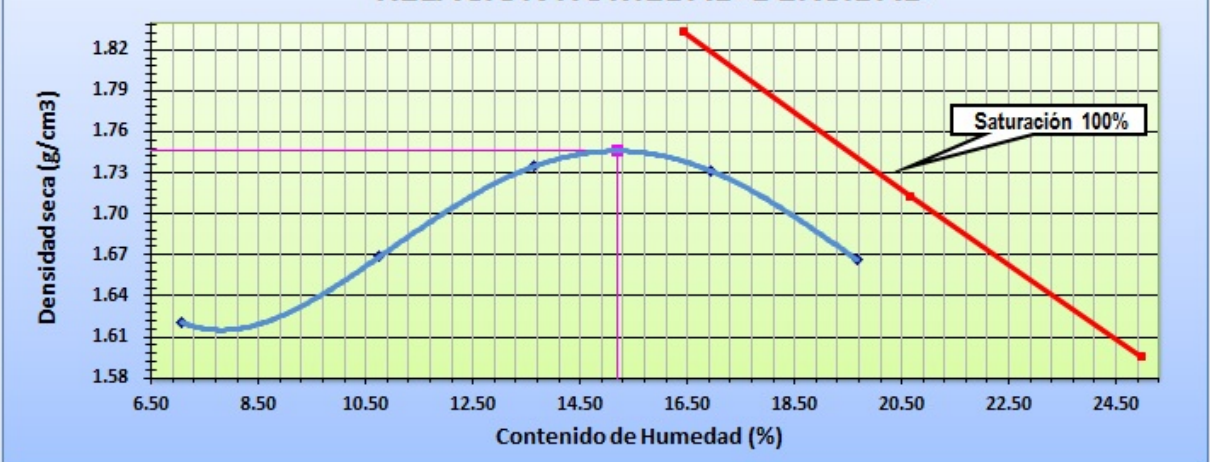


Figura 13.15: Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 03 polímero 10%).

**ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS - PROCTOR MODIFICADO  
ASTM D 1557**

**PROYECTO** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN **CAPAS** : 5

**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO **GOLPES** : 25

**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE) **CASF.(SUCS)** : CL

**REFERENCIA** : C-4 PROG. 4+013 M.D. **CLASF. (AASHTO)** : A-7-5(20)

**FECHA** : 17/03/2018 **Polimero** : 12%

| ENSAYO DE COMPACTACION METODO "A"   |         |                        |       |       |       |
|-------------------------------------|---------|------------------------|-------|-------|-------|
| VOLUMEN DEL MOLDE (cm3) :           | 2086.82 | PESO DEL MOLDE (gr.) : | 6015  |       |       |
| NUMERO DE ENSAYOS                   | 1       | 2                      | 3     | 4     | 5     |
| PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr.)      | 9636    | 9873                   | 10144 | 10180 | 10103 |
| PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA (gr.) | 3621    | 3858                   | 4129  | 4165  | 4088  |
| DENSIDAD HUMEDA (gr./ cm3.)         | 1.74    | 1.85                   | 1.98  | 2.00  | 1.96  |
| DENSIDAD SECA (gr./cm3.)            | 1.62    | 1.67                   | 1.72  | 1.69  | 1.63  |

| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            |       |       |                          |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TARRO N°.                           | R-21  | R-22  | R-23                     | R-24  | R-25  | R-26  | R-27  | R-28  | R-29  | R-30  |
| PESO DEL TARRO + SUELO HUMEDO (gr.) | 50.31 | 50.38 | 50.33                    | 50.71 | 50.69 | 50.28 | 50.57 | 50.38 | 50.33 | 50.40 |
| PESO DEL TARRO + SUELO SECO (gr.)   | 47.88 | 47.91 | 46.73                    | 47.12 | 45.85 | 45.61 | 45.01 | 44.67 | 44.37 | 44.25 |
| PESO DE AGUA (gr.)                  | 2.43  | 2.47  | 3.60                     | 3.59  | 4.84  | 4.67  | 5.56  | 5.71  | 5.96  | 6.15  |
| PESO DEL TARRO (gr.)                | 14.04 | 14.18 | 13.99                    | 14.12 | 14.00 | 14.17 | 14.02 | 14.16 | 14.26 | 14.18 |
| PESO DE SUELO SECO (gr.)            | 33.84 | 33.73 | 32.74                    | 33.00 | 31.85 | 31.44 | 30.99 | 30.51 | 30.11 | 30.07 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)            | 7.18  | 7.32  | 11.00                    | 10.88 | 15.20 | 14.85 | 17.94 | 18.72 | 19.79 | 20.45 |
| CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD (%)   | 7.25  |       | 10.94                    |       | 15.02 |       | 18.33 |       | 20.12 |       |
| DENSIDAD MAXIMA SECA= 1.721 gr/cc.  |       |       | HUMEDAD OPTIMA = 15.50 % |       |       |       |       |       |       |       |

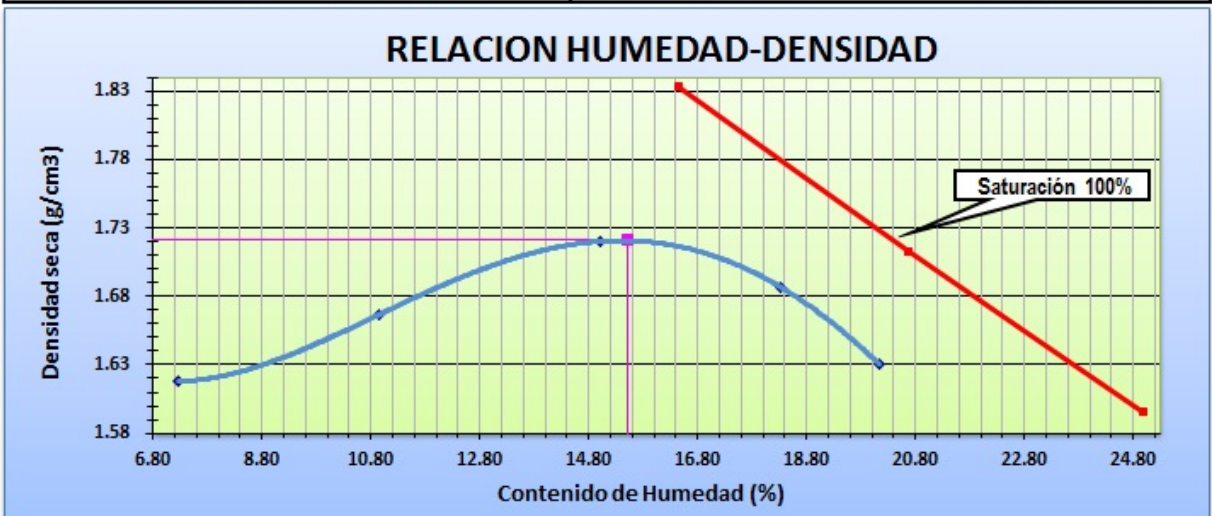
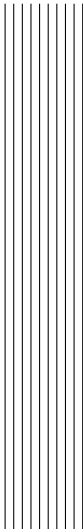


Figura 13.16: Ensayo de compactación - próctor modificado suelo - polímero (Muestra N° 04 polímero 12%).



## Anexo H

# Ensayo de CBR (Relación de soporte de California) para suelo natural

41. Ensayo de CBR, suelo natural (Muestra N° 01).
42. Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo natural (Muestra N° 01).
43. Ensayo de CBR, suelo natural (Muestra N° 02).
44. Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo natural (Muestra N° 02).
45. Ensayo de CBR, suelo natural (Muestra N° 03).
46. Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo natural (Muestra N° 03).
47. Ensayo de CBR, suelo natural (Muestra N° 04).
48. Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo natural (Muestra N° 04).



## ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) - ASTM 1883 CURVAS : ESFUERZOS DEFORMACION

**PROYECTO** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS  
**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO  
**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)  
**REFERENCIA** : C-1 PROG. 0+471  
**FECHA** : : OCTUBRE 2017

Polimero : 0%  
 CASF.(SUCS) : SC  
 CLASF. (AASHTO) : A-2-6(4)

### DATOS DE ENSAYO Y CALCULOS

| MOLDE Nro.<br>No. GOLPES POR CAPA<br>CONDICION DE LA MUESTRA | CUATRO<br>12 GOLPES |       | CINCO<br>25 GOLPES |       | SEIS<br>56 GOLPES |       |
|--------------------------------------------------------------|---------------------|-------|--------------------|-------|-------------------|-------|
|                                                              | SATURADA            |       | SATURADA           |       | SATURADA          |       |
| PESO MOLDE + SUELO HUMEDO                                    | 8,468.00            |       | 8,524.00           |       | 8,642.00          |       |
| PESO DEL MOLDE                                               | 4,868.00            |       | 4,938.00           |       | 4,922.00          |       |
| PESO DEL SUELO HUMEDO                                        | 3,600.00            |       | 3,586.00           |       | 3,720.00          |       |
| VOLUMEN DEL MOLDE                                            | 1.993               |       | 1.931              |       | 1.969             |       |
| DENSIDAD HUMEDA                                              | 1.81                |       | 1.86               |       | 1.89              |       |
| % DE HUMEDAD                                                 | 17.2                |       | 15.5               |       | 16.2              |       |
| DENSIDAD SECA                                                | 1.54                |       | 1.61               |       | 1.63              |       |
| TARA NRO.                                                    | TR-9                | TR-2  | TR-15              | TR-16 | TR-4              | TR-3  |
| TARA + SUELO HUMEDO                                          | 62.68               | 62.51 | 62.50              | 62.43 | 62.14             | 62.67 |
| TARA + SUELO SECO                                            | 55.46               | 55.50 | 55.37              | 56.64 | 55.23             | 56.12 |
| PESO DEL AGUA                                                | 7.22                | 7.01  | 7.13               | 5.79  | 6.91              | 6.55  |
| PESO DE TARA                                                 | 14.18               | 14.21 | 14.11              | 14.17 | 13.99             | 14.29 |
| PESO DEL SUELO SECO                                          | 41.28               | 41.29 | 41.26              | 42.47 | 41.24             | 41.83 |
| % DE HUMEDAD                                                 | 17.49               | 16.98 | 17.28              | 13.63 | 16.76             | 15.66 |
| PROMEDIO DE HUMEDAD                                          | 17.24               |       | 15.46              |       | 16.21             |       |

### EXPANSION

| No. GOLPES POR CAPA |              |                | 12              |           |      | 25              |           |      | 56              |           |      |
|---------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|
| FECHA               | HORA<br>A.M. | TIEMPO<br>HRS. | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      |
|                     |              |                |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |
| 10/01/2018          | 13:30        | 0.0            | 160             | 0         | 0    | 150             | 0         | 0    | 160             | 0         | 0    |
| 11/01/2018          | 11:40        | 22.2           | 222             | 1.575     | 1.36 | 199             | 1.245     | 1.07 | 199             | 0.991     | 0.85 |
| 12/01/2018          | 15:30        | 27.8           | 228             | 1.727     | 1.49 | 204             | 1.372     | 1.18 | 209             | 1.245     | 1.07 |
| 13/01/2018          | 11:00        | 19.5           | 229             | 1.753     | 1.51 | 206             | 1.422     | 1.23 | 211             | 1.295     | 1.11 |
| 14/01/2018          | 16:00        | 29.0           | 227             | 1.702     | 1.47 | 206             | 1.422     | 1.23 | 211             | 1.295     | 1.11 |
| 15/01/2018          | 16:00        | 24.0           | 227             | 1.702     | 1.47 | 206             | 1.422     | 1.23 | 211             | 1.295     | 1.11 |

### PENETRACION

| No. GOLPES POR CAPA |       | 12              |       |          | 25             |       |          | 56             |       |          |
|---------------------|-------|-----------------|-------|----------|----------------|-------|----------|----------------|-------|----------|
| PENETRACION         |       | MOLDE No : TRES |       |          | MOLDE No : DOS |       |          | MOLDE No : UNO |       |          |
|                     |       | LECTURA         | CARGA |          | LECTURA        | CARGA |          | LECTURA        | CARGA |          |
| tiempo              | pulg. | DIAL            | LB    | lb/pulg2 | DIAL           | LB    | lb/pulg2 | DIAL           | LB    | lb/pulg2 |
| 0"                  | 0.000 | 0               | 0     | 0        | 0              | 0     | 0        | 0              | 0     | 0        |
| 30"                 | 0.025 | 23              | 160   | 51       | 27             | 175   | 56       | 28             | 179   | 57       |
| 1'                  | 0.050 | 45              | 244   | 78       | 46             | 248   | 79       | 48             | 256   | 81       |
| 1'30"               | 0.075 | 62              | 310   | 99       | 64             | 317   | 101      | 66             | 325   | 103      |
| 2'                  | 0.100 | 75              | 360   | 114      | 78             | 371   | 118      | 79             | 375   | 119      |
| 3'                  | 0.150 | 93              | 429   | 137      | 98             | 448   | 143      | 100            | 456   | 145      |
| 4'                  | 0.200 | 107             | 483   | 154      | 115            | 513   | 163      | 117            | 521   | 166      |
| 5'                  | 0.250 | 120             | 533   | 170      | 130            | 571   | 182      | 134            | 587   | 187      |
| 6'                  | 0.300 | 129             | 567   | 181      | 142            | 617   | 196      | 149            | 644   | 205      |
| 8'                  | 0.400 | 149             | 644   | 205      | 171            | 729   | 232      | 175            | 744   | 237      |

Figura 14.1: Ensayo de CBR suelo natural (Muestra N° 01).

**ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) - ASTM 1883**  
**CURVAS : ESFUERZOS DEFORMACION**

**PROYECTO** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN  
**UBICACION** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO

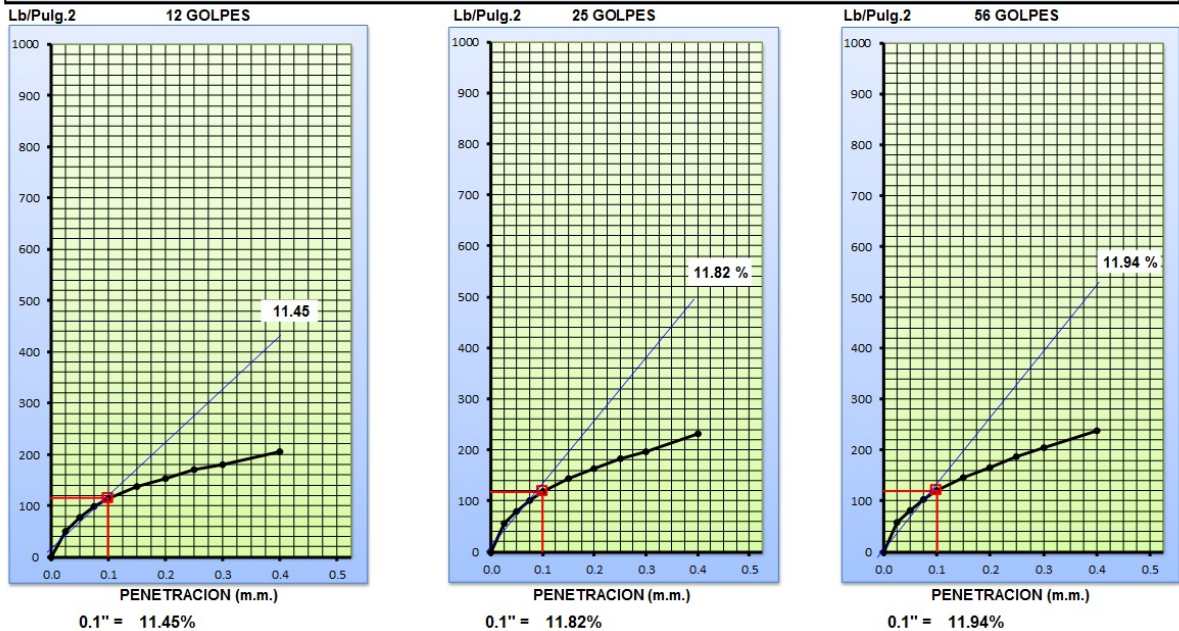
**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)

**REFERENCIA** : C-1 PROG. 0+471

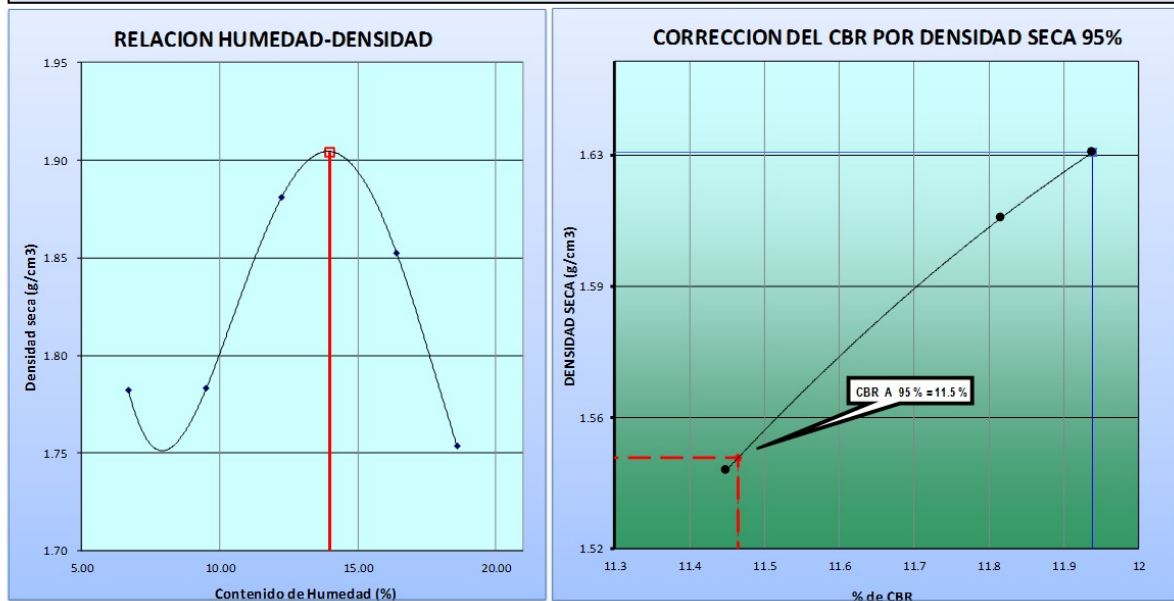
**FECHA** : OCTUBRE 2017

POLIMERO : 0%  
 CASF.(SUCS) : SC  
 CLASF. (AASHTO) : A-2-6(4)

**GRAFICO PENETRACION - CARGA UNITARIA**



**DETERMINACION DEL CBR**



**RESULTADO :** CBR AL 100 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 11.9 %  
 CBR AL 95 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 11.5 %

Figura 14.2: Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo natural (Muestra N° 01).



## ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) - ASTM 1883 CURVAS : ESFUERZOS DEFORMACION

**PROYECTO** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN

**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO

**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)

**REFERENCIA** : C-2 PROG. 1+981

**FECHA** : OCTUBRE 2017

Polimero : 0%

CASF.(SUCS) : CL

CLASF. (AASHTO) : A-6(16)

### DATOS DE ENSAYO Y CALCULOS

| MOLDE Nro.                | UNO<br>12 |       | DOS<br>25 |       | TRES<br>56 |       |
|---------------------------|-----------|-------|-----------|-------|------------|-------|
| No. GOLPES POR CAPA       | SATURADA  |       | SATURADA  |       | SATURADA   |       |
| CONDICION DE LA MUESTRA   | SATURADA  |       | SATURADA  |       | SATURADA   |       |
| PESO MOLDE + SUELO HUMEDO | 8,043.00  |       | 8,430.00  |       | 8,676.00   |       |
| PESO DEL MOLDE            | 4,030.00  |       | 4,100.00  |       | 4,261.00   |       |
| PESO DEL SUELO HUMEDO     | 4,013.00  |       | 4,330.00  |       | 4,415.00   |       |
| VOLUMEN DEL MOLDE         | 2,131     |       | 2,129     |       | 2,123      |       |
| DENSIDAD HUMEDA           | 1.88      |       | 2.03      |       | 2.08       |       |
| % DE HUMEDAD              | 21.5      |       | 20.3      |       | 20.1       |       |
| DENSIDAD SECA             | 1.55      |       | 1.69      |       | 1.73       |       |
| TARA NRO.                 | TR-11     | TR-12 | TR-15     | TR-16 | TR-19      | TR-20 |
| TARA + SUELO HUMEDO       | 64.76     | 64.72 | 64.62     | 64.34 | 64.41      | 64.15 |
| TARA + SUELO SECO         | 55.69     | 55.89 | 55.96     | 56.03 | 55.71      | 56.06 |
| PESO DEL AGUA             | 9.07      | 8.83  | 8.66      | 8.31  | 8.70       | 8.09  |
| PESO DE TARA              | 14.00     | 14.30 | 14.12     | 14.18 | 14.18      | 14.21 |
| PESO DEL SUELO SECO       | 41.69     | 41.59 | 41.84     | 41.85 | 41.53      | 41.85 |
| % DE HUMEDAD              | 21.76     | 21.23 | 20.70     | 19.86 | 20.95      | 19.33 |
| PROMEDIO DE HUMEDAD       | 21.50     |       | 20.28     |       | 20.14      |       |

### EXPANSION

| No. GOLPES POR CAPA |       |        | 12              |           |      | 25              |           |      | 56              |           |      |
|---------------------|-------|--------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|
| FECHA               | HORA  | TIEMPO | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      |
|                     |       |        |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |
| 03/01/2018          | 13:00 | 0.0    | 197             | 0         | 0    | 207             | 0         | 0    | 210             | 0         | 0    |
| 04/01/2018          | 12:20 | 23.3   | 243             | 1.168     | 1.00 | 243             | 0.914     | 0.78 | 233             | 0.584     | 0.50 |
| 05/01/2018          | 18:10 | 29.8   | 246             | 1.245     | 1.06 | 254             | 1.194     | 1.02 | 251             | 1.041     | 0.89 |
| 06/01/2018          | 11:30 | 17.3   | 246             | 1.245     | 1.06 | 254.5           | 1.207     | 1.03 | 253             | 1.092     | 0.93 |
| 07/01/2018          | 11:00 | 23.5   | 246             | 1.245     | 1.06 | 255             | 1.219     | 1.04 | 255             | 1.143     | 0.98 |
| 08/01/2018          | 16:00 | 29.0   | 248             | 1.295     | 1.11 | 258             | 1.295     | 1.11 | 259             | 1.245     | 1.06 |
| 09/01/2018          | 18:00 | 26.0   | 247             | 1.270     | 1.09 | 259             | 1.321     | 1.13 | 259             | 1.245     | 1.06 |
| 10/01/2018          | 16:00 | 22.0   | 247             | 1.270     | 1.09 | 259             | 1.321     | 1.13 | 259             | 1.245     | 1.06 |
| 11/01/2018          | 13:00 | 21.0   | 247             | 1.270     | 1.09 | 259             | 1.321     | 1.13 | 258             | 1.219     | 1.04 |

### PENETRACION

| No. GOLPES POR CAPA |       | 12              |       |          | 25              |       |          | 56              |       |          |
|---------------------|-------|-----------------|-------|----------|-----------------|-------|----------|-----------------|-------|----------|
| PENETRACION         |       | MOLDE No : TRES |       |          | MOLDE No : DOS  |       |          | MOLDE No : UNO  |       |          |
|                     |       | LECTURA<br>DIAL | CARGA |          | LECTURA<br>DIAL | CARGA |          | LECTURA<br>DIAL | CARGA |          |
| tiempo              | pulg. |                 | LB    | lb/pulg2 |                 | LB    | lb/pulg2 |                 | LB    | lb/pulg2 |
| 0"                  | 0.000 | 0               | 0     | 0        | 0               | 0     | 0        | 0               | 0     | 0        |
| 30"                 | 0.025 | 21              | 152   | 48       | 22              | 156   | 50       | 15              | 129   | 41       |
| 1'                  | 0.050 | 37              | 214   | 68       | 39              | 221   | 70       | 33              | 198   | 63       |
| 1'30"               | 0.075 | 50              | 264   | 84       | 54              | 279   | 89       | 51              | 267   | 85       |
| 2'                  | 0.100 | 61              | 306   | 97       | 64              | 317   | 101      | 65              | 321   | 102      |
| 3'                  | 0.150 | 74              | 356   | 113      | 85              | 398   | 127      | 86              | 402   | 128      |
| 4'                  | 0.200 | 86              | 402   | 128      | 99              | 452   | 144      | 102             | 463   | 148      |
| 5'                  | 0.250 | 94              | 433   | 138      | 111             | 498   | 159      | 117             | 521   | 166      |
| 6'                  | 0.300 | 102             | 463   | 148      | 120             | 533   | 170      | 129             | 567   | 181      |
| 8'                  | 0.400 | 120             | 533   | 170      | 139             | 606   | 193      | 152             | 656   | 209      |

Figura 14.3: Ensayo de CBR suelo natural (Muestra N° 02).

**ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) - ASTM 1883**  
**CURVAS : ESFUERZOS DEFORMACION**

**PROYECTO** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO  
 COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN  
**UBICACION** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO

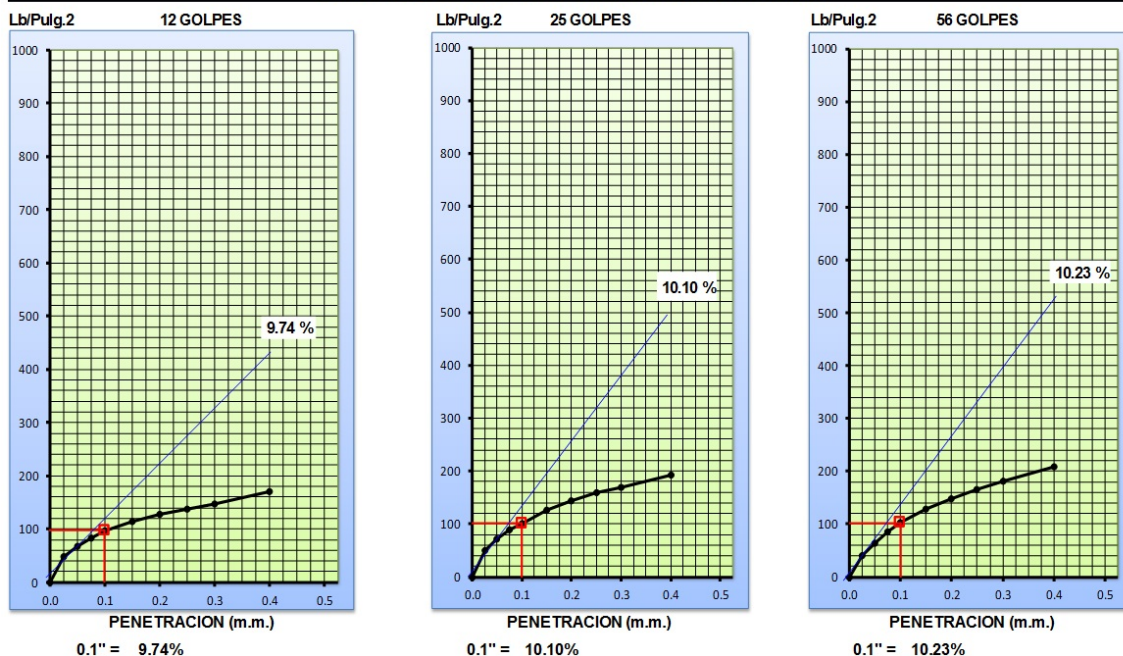
**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)

**REFERENCIA** : C-2 PROG. 1+981

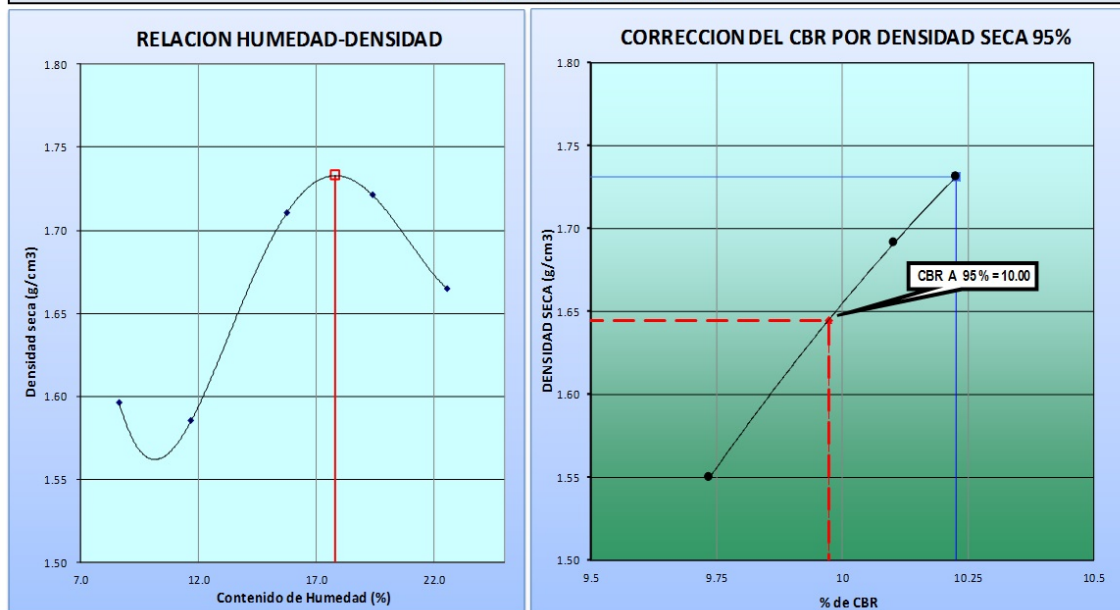
**FECHA** : OCTUBRE 2017

POLIMER( 0%  
 CASF.(SUCS) : CL  
 CLASF. (AASHTO) : A-6(16)

**GRAFICO PENETRACION - CARGA UNITARIA**



**DETERMINACION DEL CBR**



**RESULTADO :** CBR AL 100 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 10.2 %  
 CBR AL 95 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 10.0 %

Figura 14.4: Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo natural (Muestra N° 02).



## ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) - ASTM 1883 CURVAS : ESFUERZOS DEFORMACION

**OBRA** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS  
**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO  
**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)  
**REFERENCIA** : C-3 PROG. 3+071 M.D.  
**FECHA** : NOVIEMBRE 2017

Polimero : 0%  
 CASF.(SUCS) : CL  
 CLASF. (AASHTO) : A-6(16)

### DATOS DE ENSAYO Y CALCULOS

| MOLDE Nro.<br>No. GOLPES POR CAPA | UNO<br>12 |       | DOS<br>25 |       | TRES<br>56 |       |
|-----------------------------------|-----------|-------|-----------|-------|------------|-------|
| CONDICION DE LA MUESTRA           | SATURADA  |       | SATURADA  |       | SATURADA   |       |
| PESO MOLDE + SUELO HUMEDO         | 8,441.00  |       | 8,599.00  |       | 8,772.00   |       |
| PESO DEL MOLDE                    | 4,030.00  |       | 4,100.00  |       | 4,261.00   |       |
| PESO DEL SUELO HUMEDO             | 4,411.00  |       | 4,499.00  |       | 4,511.00   |       |
| VOLUMEN DEL MOLDE                 | 2.131     |       | 2.129     |       | 2.123      |       |
| DENSIDAD HUMEDA                   | 2.07      |       | 2.11      |       | 2.12       |       |
| % DE HUMEDAD                      | 18.4      |       | 18.3      |       | 15.2       |       |
| DENSIDAD SECA                     | 1.75      |       | 1.79      |       | 1.84       |       |
| TARA NRO.                         | TR-21     | TR-22 | TR-26     | TR-27 | TR-29      | TR-30 |
| TARA + SUELO HUMEDO               | 60.22     | 60.57 | 61.66     | 61.28 | 62.65      | 62.25 |
| TARA + SUELO SECO                 | 52.83     | 53.56 | 54.26     | 54.00 | 55.70      | 56.48 |
| PESO DEL AGUA                     | 7.39      | 7.01  | 7.40      | 7.28  | 6.95       | 5.77  |
| PESO DE TARA                      | 14.04     | 14.15 | 14.16     | 14.00 | 14.24      | 14.16 |
| PESO DEL SUELO SECO               | 38.79     | 39.41 | 40.10     | 40.00 | 41.46      | 42.32 |
| % DE HUMEDAD                      | 19.05     | 17.79 | 18.45     | 18.20 | 16.76      | 13.63 |
| PROMEDIO DE HUMEDAD               | 18.42     |       | 18.33     |       | 15.20      |       |

### EXPANSION

| No. GOLPES POR CAPA |              |                | 12              |           |      | 25              |           |      | 56              |           |       |
|---------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|-------|
| FECHA               | HORA<br>A.M. | TIEMPO<br>HRS. | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |       |
|                     |              |                |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %     |
| 26/12/2017          | 14:00        | 0.0            | 263             | 0         | 0    | 400             | 0         | 0    | 380             | 0         | 0     |
| 27/12/2017          | 13:30        | 23.5           | 286             | 0.584     | 0.50 | 417             | 0.432     | 0.37 | 382             | 0.051     | 0.04  |
| 28/12/2017          | 12:20        | 22.8           | 290             | 0.686     | 0.59 | 420             | 0.508     | 0.43 | 382             | 0.051     | 0.04  |
| 29/12/2017          | 12:30        | 24.2           | 291             | 0.711     | 0.61 | 421             | 0.533     | 0.46 | 379             | -0.025    | -0.02 |

### PENETRACION

| No. GOLPES POR CAPA |       | 12              |       |          | 25              |       |          | 56              |       |          |
|---------------------|-------|-----------------|-------|----------|-----------------|-------|----------|-----------------|-------|----------|
| PENETRACION         |       | MOLDE No : TRES |       |          | MOLDE No : DOS  |       |          | MOLDE No : UNO  |       |          |
|                     |       | LECTURA<br>DIAL | CARGA |          | LECTURA<br>DIAL | CARGA |          | LECTURA<br>DIAL | CARGA |          |
| tiempo              | pulg. |                 | LB    | lb/pulg2 |                 | LB    | lb/pulg2 |                 | LB    | lb/pulg2 |
| 0"                  | 0.000 | 0               | 0     | 0        | 0               | 0     | 0        | 0               | 0     | 0        |
| 30"                 | 0.025 | 18              | 141   | 45       | 16              | 133   | 42       | 15              | 129   | 41       |
| 1'                  | 0.050 | 33              | 198   | 63       | 32              | 194   | 62       | 28              | 179   | 57       |
| 1'30"               | 0.075 | 46              | 248   | 79       | 44              | 241   | 77       | 46              | 248   | 79       |
| 2'                  | 0.100 | 53              | 275   | 88       | 55              | 283   | 90       | 60              | 302   | 96       |
| 3'                  | 0.150 | 71              | 344   | 110      | 73              | 352   | 112      | 75              | 360   | 114      |
| 4'                  | 0.200 | 84              | 394   | 126      | 87              | 406   | 129      | 86              | 402   | 128      |
| 5'                  | 0.250 | 95              | 437   | 139      | 98              | 448   | 143      | 97              | 444   | 141      |
| 6'                  | 0.300 | 103             | 467   | 149      | 109             | 490   | 156      | 116             | 517   | 165      |
| 8'                  | 0.400 | 123             | 544   | 173      | 129             | 567   | 181      | 128             | 563   | 179      |

Figura 14.5: Ensayo de CBR suelo natural (Muestra N° 03).

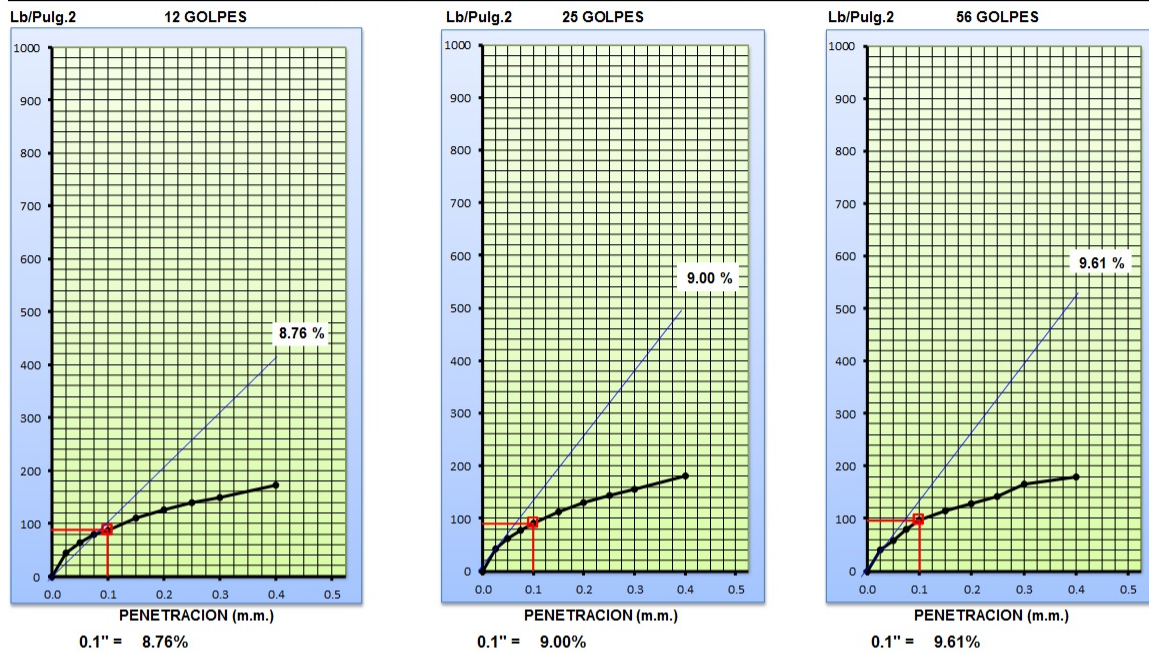
**ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) - ASTM 1883**  
**CURVAS : ESFUERZOS DEFORMACION**

**OBRA** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

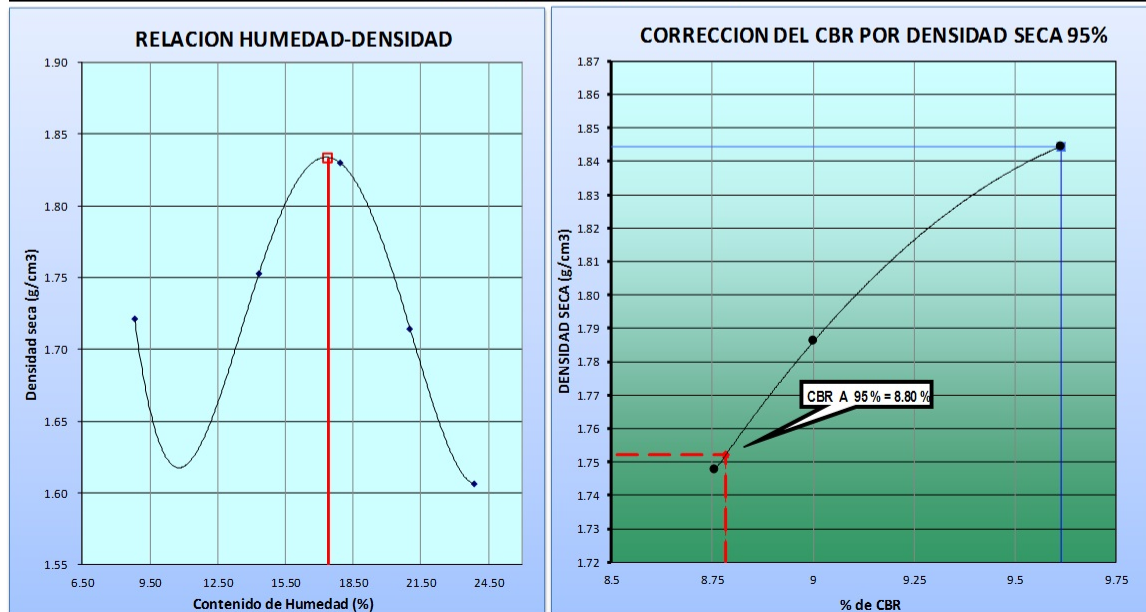
**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO  
**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)  
**REFERENCIA** : C-3 PROG. 3+071 M.D.  
**FECHA** : NOVIEMBRE 2017

**POLIMERO** : 0%  
**CASF.(SUCS)** : CL  
**CLASF. (AASHTO)** : A-6(16)

**GRAFICO PENETRACION - CARGA UNITARIA**



**DETERMINACION DEL CBR**



**RESULTADO :** CBR AL 100 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 9.6 %  
 CBR AL 95 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 8.8 %

Figura 14.6: Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo natural (Muestra N° 03).



## ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) - ASTM 1883 CURVAS : ESFUERZOS DEFORMACION

**PROYECTO** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN

**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO

**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)

**REFERENCIA** : C-4 PROG. 4+013

**FECHA** : : NOVIEMBRE 2017

**POLÍMERO** : 0%

**CASF.(SUCS)** : CL

**CLASF. (AASHTO)** : A-7-5(20)

### DATOS DE ENSAYO Y CALCULOS

| MOLDE Nro.                | CUATRO   |       | CINCO    |       | SEIS     |       |
|---------------------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| No. GOLPES POR CAPA       | 12       |       | 25       |       | 56       |       |
| CONDICION DE LA MUESTRA   | SATURADA |       | SATURADA |       | SATURADA |       |
| PESO MOLDE + SUELO HUMEDO | 8,831.00 |       | 9,082.00 |       | 9,203.00 |       |
| PESO DEL MOLDE            | 4,869.00 |       | 4,939.00 |       | 4,922.00 |       |
| PESO DEL SUELO HUMEDO     | 3,962.00 |       | 4,143.00 |       | 4,281.00 |       |
| VOLUMEN DEL MOLDE         | 1,993    |       | 1,931    |       | 1,969    |       |
| DENSIDAD HUMEDA           | 1.99     |       | 2.15     |       | 2.17     |       |
| % DE HUMEDAD              | 23.5     |       | 21.3     |       | 20.0     |       |
| DENSIDAD SECA             | 1.61     |       | 1.77     |       | 1.81     |       |
| TARA NRO.                 | TR-21    | TR-22 | TR-26    | TR-27 | TR-29    | TR-30 |
| TARA + SUELO HUMEDO       | 59.86    | 59.24 | 58.39    | 58.27 | 57.43    | 57.57 |
| TARA + SUELO SECO         | 50.43    | 51.41 | 50.41    | 50.70 | 49.71    | 50.90 |
| PESO DEL AGUA             | 9.43     | 7.83  | 7.98     | 7.57  | 7.72     | 6.67  |
| PESO DE TARA              | 14.03    | 14.16 | 14.17    | 14.00 | 14.24    | 14.16 |
| PESO DEL SUELO SECO       | 36.40    | 37.25 | 36.24    | 36.70 | 35.47    | 36.74 |
| % DE HUMEDAD              | 25.91    | 21.02 | 22.02    | 20.63 | 21.76    | 18.15 |
| PROMEDIO DE HUMEDAD       | 23.47    |       | 21.33    |       | 19.96    |       |

### EXPANSION

| No. GOLPES POR CAPA |           |             | 12           |           |      | 25           |           |      | 56           |           |      |
|---------------------|-----------|-------------|--------------|-----------|------|--------------|-----------|------|--------------|-----------|------|
| FECHA               | HORA A.M. | TIEMPO HRS. | LECTURA DIAL | EXPANSION |      | LECTURA DIAL | EXPANSION |      | LECTURA DIAL | EXPANSION |      |
|                     |           |             |              | mm.       | %    |              | mm.       | %    |              | mm.       | %    |
| 27/12/2017          | 13:45     | 0.0         | 267          | 0         | 0    | 237          | 0         | 0    | 212          | 0         | 0    |
| 28/12/2017          | 12:20     | 22.6        | 393          | 3.200     | 2.76 | 334          | 2.464     | 2.12 | 346          | 3.404     | 2.92 |
| 29/12/2017          | 12:35     | 24.2        | 456          | 4.801     | 4.14 | 366          | 3.277     | 2.82 | 378          | 4.216     | 3.62 |
| 30/12/2017          | 14:10     | 25.6        | 466          | 5.055     | 4.36 | 392          | 3.937     | 3.39 | 405          | 4.902     | 4.21 |
| 31/12/2017          | 18:30     | 28.3        | 480          | 5.410     | 4.66 | 415          | 4.521     | 3.90 | 423          | 5.359     | 4.60 |
| 01/01/2018          | 18:00     | 23.5        | 482          | 5.461     | 4.71 | 428          | 4.851     | 4.18 | 434          | 5.639     | 4.84 |
| 02/01/2018          | 12:40     | 18.7        | 483          | 5.486     | 4.73 | 436          | 5.055     | 4.36 | 447          | 5.969     | 5.12 |
| 03/01/2018          | 13:30     | 24.8        | 485          | 5.537     | 4.77 | 443          | 5.232     | 4.51 | 456          | 6.198     | 5.32 |
| 04/01/2018          | 12:25     | 22.9        | 486          | 5.563     | 4.80 | 449          | 5.385     | 4.64 | 466          | 6.452     | 5.54 |
| 05/01/2018          | 18:00     | 29.6        | 488          | 5.613     | 4.84 | 455          | 5.537     | 4.77 | 478          | 6.756     | 5.80 |
| 06/01/2018          | 11:20     | 17.3        | 486          | 5.563     | 4.80 | 455          | 5.537     | 4.77 | 485          | 6.934     | 5.95 |
| 07/01/2018          | 11:00     | 23.7        | 486          | 5.563     | 4.80 | 456          | 5.563     | 4.80 | 488          | 7.010     | 6.02 |

### PENETRACION

| No. GOLPES POR CAPA |       | 12              |     |       | 25             |     |       | 56             |     |       |
|---------------------|-------|-----------------|-----|-------|----------------|-----|-------|----------------|-----|-------|
| PENETRACION         |       | MOLDE No : TRES |     |       | MOLDE No : DOS |     |       | MOLDE No : UNO |     |       |
|                     |       | LECTURA         |     | CARGA | LECTURA        |     | CARGA | LECTURA        |     | CARGA |
| tiempo              | pulg. | DIAL            | LB  |       | DIAL           | LB  |       | DIAL           | LB  |       |
| 0"                  | 0.000 | 0               | 0   | 0     | 0              | 0   | 0     | 0              | 0   | 0     |
| 30"                 | 0.025 | 8               | 102 | 33    | 10             | 110 | 35    | 7              | 98  | 31    |
| 1'                  | 0.050 | 11              | 114 | 36    | 14             | 125 | 40    | 10             | 110 | 35    |
| 1'30"               | 0.075 | 14              | 125 | 40    | 17             | 137 | 44    | 12             | 117 | 37    |
| 2'                  | 0.100 | 15              | 129 | 41    | 19             | 144 | 46    | 16             | 133 | 42    |
| 3'                  | 0.150 | 19              | 144 | 46    | 23             | 160 | 51    | 18             | 141 | 45    |
| 4'                  | 0.200 | 21              | 152 | 48    | 27             | 175 | 56    | 21             | 152 | 48    |
| 5'                  | 0.250 | 24              | 164 | 52    | 30             | 187 | 59    | 25             | 167 | 53    |
| 6'                  | 0.300 | 26              | 171 | 55    | 34             | 202 | 64    | 28             | 179 | 57    |
| 8'                  | 0.400 | 29              | 183 | 58    | 40             | 225 | 72    | 35             | 206 | 66    |

Figura 14.7: Ensayo de CBR suelo natural (Muestra N° 04).

**ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) - ASTM 1883**  
**CURVAS : ESFUERZOS DEFORMACION**

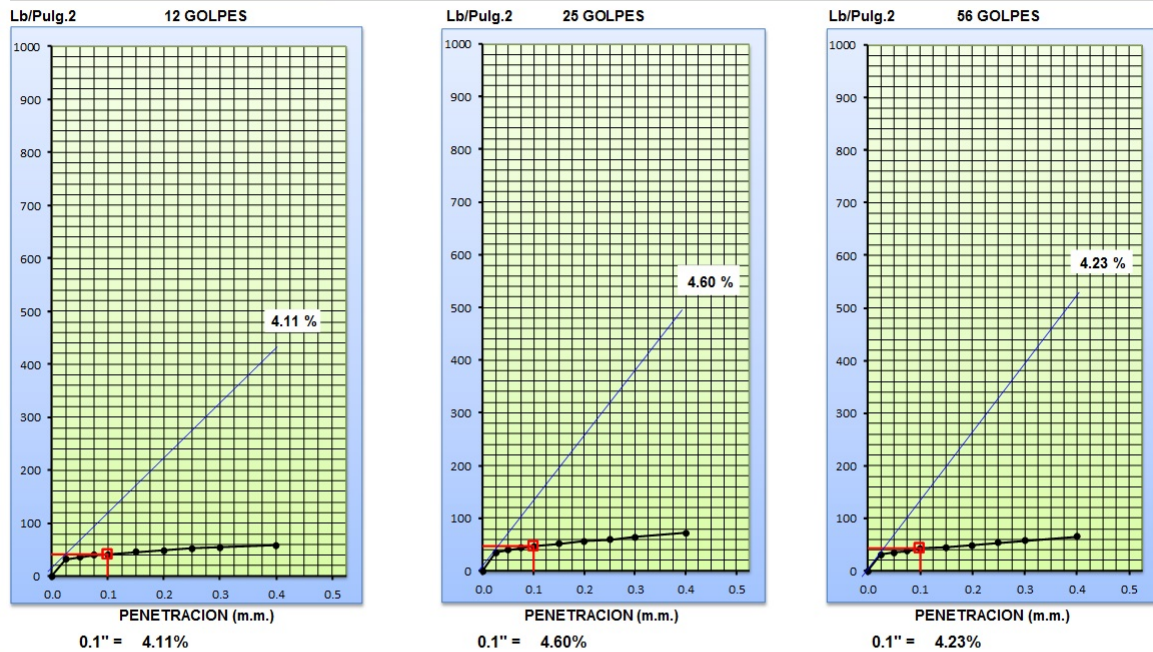
**PROYECTO** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN  
**UBICACION** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO  
**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)

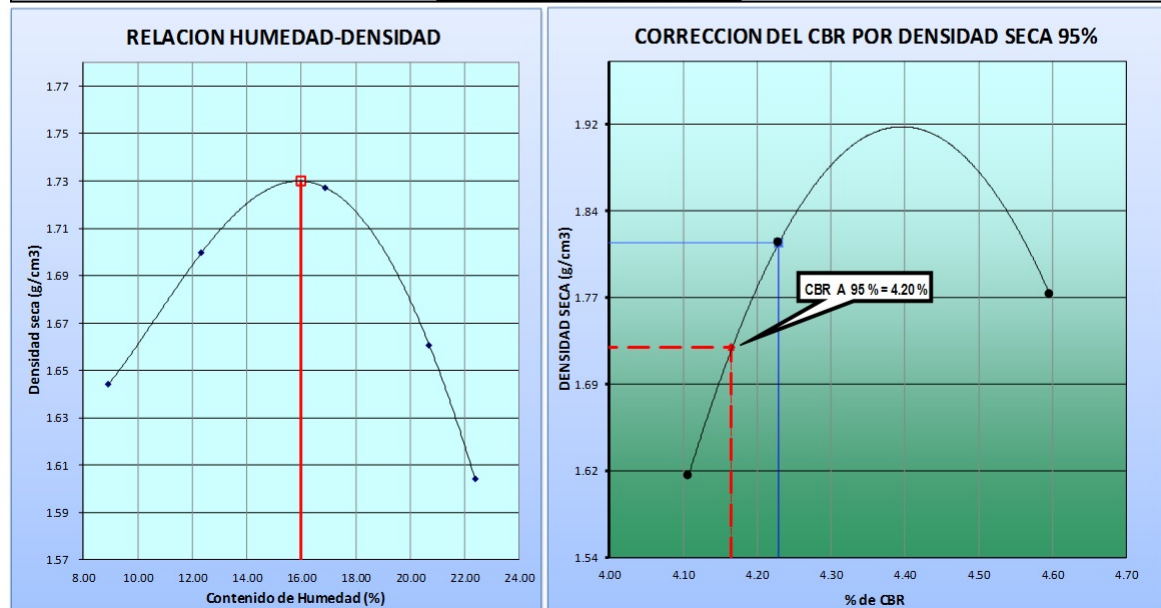
**REFERENCIA** : C-4 PROG. 4+013  
**FECHA** : NOVIEMBRE 2017

POLIMERO : 0%  
 CASF.(SUCS) : CL  
 CLASF. (AASHTO) : A-7-5(20)

**GRAFICO PENETRACION - CARGA UNITARIA**

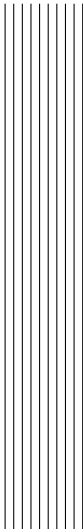


**DETERMINACION DEL CBR**



**RESULTADO :** CBR AL 100 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 4.2 %  
 CBR AL 95 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 4.2 %

Figura 14.8: Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo natural (Muestra N° 04).



## Anexo I

# Ensayo de CBR (Relación de soporte de California) para suelo - polímero

- 49. Ensayo de CBR, suelo - polímero 12 % (Muestra N° 01).
- 50. Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo - polímero 12 % (Muestra N° 01).
- 51. Ensayo de CBR, suelo - polímero 8 % (Muestra N° 02).
- 52. Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo - polímero 8 % (Muestra N° 02).
- 53. Ensayo de CBR, suelo - polímero 12 % (Muestra N° 03).
- 54. Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo - polímero 12 % (Muestra N° 03).
- 55. Ensayo de CBR, suelo - polímero 10 % (Muestra N° 04).
- 56. Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo - polímero 10 % (Muestra N° 04).



## ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) - ASTM 1883 CURVAS : ESFUERZOS DEFORMACION

**OBRA** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS  
**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO  
**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)  
**REFERENCIA** : C-1 PROG. 0+471  
**FECHA** : 05/04/2018

Polimero : 12%  
 CASF.(SUCS) : SC  
 CLASF. (AASHTO) : A-2-6(4)

### DATOS DE ENSAYO Y CALCULOS

| MOLDE Nro.                | UNO<br>12 GOLPES |       | DOS<br>25 GOLPES |       | TRES<br>56 GOLPES |       |
|---------------------------|------------------|-------|------------------|-------|-------------------|-------|
| No. GOLPES POR CAPA       | SATURADA         |       | SATURADA         |       | SATURADA          |       |
| CONDICION DE LA MUESTRA   | SATURADA         |       | SATURADA         |       | SATURADA          |       |
| PESO MOLDE + SUELO HUMEDO | 8,144.00         |       | 8,467.00         |       | 8,804.00          |       |
| PESO DEL MOLDE            | 4,030.00         |       | 4,100.00         |       | 4,261.00          |       |
| PESO DEL SUELO HUMEDO     | 4,114.00         |       | 4,367.00         |       | 4,543.00          |       |
| VOLUMEN DEL MOLDE         | 2.131            |       | 2.129            |       | 2.123             |       |
| DENSIDAD HUMEDA           | 1.93             |       | 2.05             |       | 2.14              |       |
| % DE HUMEDAD              | 16.6             |       | 14.9             |       | 14.0              |       |
| DENSIDAD SECA             | 1.66             |       | 1.79             |       | 1.88              |       |
| TARA NRO.                 | TR-21            | TR-22 | TR-23            | TR-24 | TR-29             | TR-30 |
| TARA + SUELO HUMEDO       | 50.67            | 50.46 | 50.26            | 50.71 | 50.78             | 50.46 |
| TARA + SUELO SECO         | 45.30            | 45.46 | 45.43            | 46.10 | 46.14             | 46.17 |
| PESO DEL AGUA             | 5.37             | 5.00  | 4.83             | 4.61  | 4.64              | 4.29  |
| PESO DE TARA              | 14.05            | 14.18 | 13.99            | 14.13 | 14.27             | 14.19 |
| PESO DEL SUELO SECO       | 31.25            | 31.28 | 31.44            | 31.97 | 31.87             | 31.98 |
| % DE HUMEDAD              | 17.18            | 15.98 | 15.36            | 14.42 | 14.56             | 13.41 |
| PROMEDIO DE HUMEDAD       | 16.58            |       | 14.89            |       | 13.99             |       |

### EXPANSIÓN

| No. GOLPES POR CAPA |              |                | 12              |           |      | 25              |           |      | 56              |           |      |
|---------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|------|
| FECHA               | HORA<br>A.M. | TIEMPO<br>HRS. | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      | LECTURA<br>DIAL | EXPANSION |      |
|                     |              |                |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |                 | mm.       | %    |
| 27/04/2018          | 13:30        | 0.0            | 200             | 0         | 0    | 204             | 0         | 0    | 202             | 0         | 0    |
| 28/04/2018          | 13:30        | 24.0           | 281             | 2.057     | 1.76 | 262             | 1.473     | 1.26 | 235             | 0.838     | 0.72 |
| 29/04/2018          | 13:00        | 23.5           | 288             | 2.235     | 1.91 | 273             | 1.753     | 1.50 | 247             | 1.143     | 0.98 |
| 30/04/2018          | 12:30        | 23.5           | 288             | 2.235     | 1.91 | 279             | 1.905     | 1.63 | 253             | 1.295     | 1.11 |
| 01/05/2018          | 13:00        | 24.5           | 289             | 2.261     | 1.93 | 282             | 1.981     | 1.69 | 257             | 1.397     | 1.19 |
| 02/05/2018          | 13:00        | 24.0           | 289             | 2.261     | 1.93 | 283             | 2.007     | 1.72 | 260             | 1.473     | 1.26 |
| 03/05/2018          | 12:00        | 23.0           | 289             | 2.261     | 1.93 | 284             | 2.032     | 1.74 | 262             | 1.524     | 1.30 |
| 04/05/2018          | 12:00        | 24.0           | 289             | 2.261     | 1.93 | 284             | 2.032     | 1.74 | 263             | 1.549     | 1.32 |
| 05/05/2018          | 12:00        | 24.0           | 289             | 2.261     | 1.93 | 284             | 2.032     | 1.74 | 263             | 1.549     | 1.32 |

### PENETRACIÓN

| No. GOLPES POR CAPA |       | 12              |       |          | 25              |       |          | 56              |       |          |
|---------------------|-------|-----------------|-------|----------|-----------------|-------|----------|-----------------|-------|----------|
| PENETRACION         |       | MOLDE No : TRES |       |          | MOLDE No : DOS  |       |          | MOLDE No : UNO  |       |          |
| tiempo              | pulg. | LECTURA<br>DIAL | CARGA |          | LECTURA<br>DIAL | CARGA |          | LECTURA<br>DIAL | CARGA |          |
|                     |       |                 | LB    | lb/pulg2 |                 | LB    | lb/pulg2 |                 | LB    | lb/pulg2 |
| 0"                  | 0.000 | 0               | 0     | 0        | 0               | 0     | 0        | 0               | 0     | 0        |
| 30"                 | 0.025 | 25              | 167   | 53       | 35              | 206   | 66       | 47              | 252   | 80       |
| 1'                  | 0.050 | 40              | 225   | 72       | 61              | 306   | 97       | 83              | 390   | 124      |
| 1'30"               | 0.075 | 50              | 264   | 84       | 84              | 394   | 126      | 114             | 510   | 162      |
| 2'                  | 0.100 | 59              | 298   | 95       | 104             | 471   | 150      | 138             | 602   | 192      |
| 3'                  | 0.150 | 69              | 337   | 107      | 125             | 552   | 176      | 172             | 733   | 233      |
| 4'                  | 0.200 | 81              | 383   | 122      | 142             | 617   | 196      | 197             | 829   | 264      |
| 5'                  | 0.250 | 88              | 410   | 130      | 157             | 675   | 215      | 216             | 902   | 287      |
| 6'                  | 0.300 | 96              | 440   | 140      | 170             | 725   | 231      | 234             | 971   | 309      |
| 8'                  | 0.400 | 110             | 494   | 157      | 198             | 833   | 265      | 273             | 1121  | 357      |

Figura 15.1: Ensayo de CBR, suelo - polímero 12% (Muestra N° 01).

**ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) - ASTM 1883**  
**CURVAS : ESFUERZOS DEFORMACION**

**OBRA** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN  
**UBICACION** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO

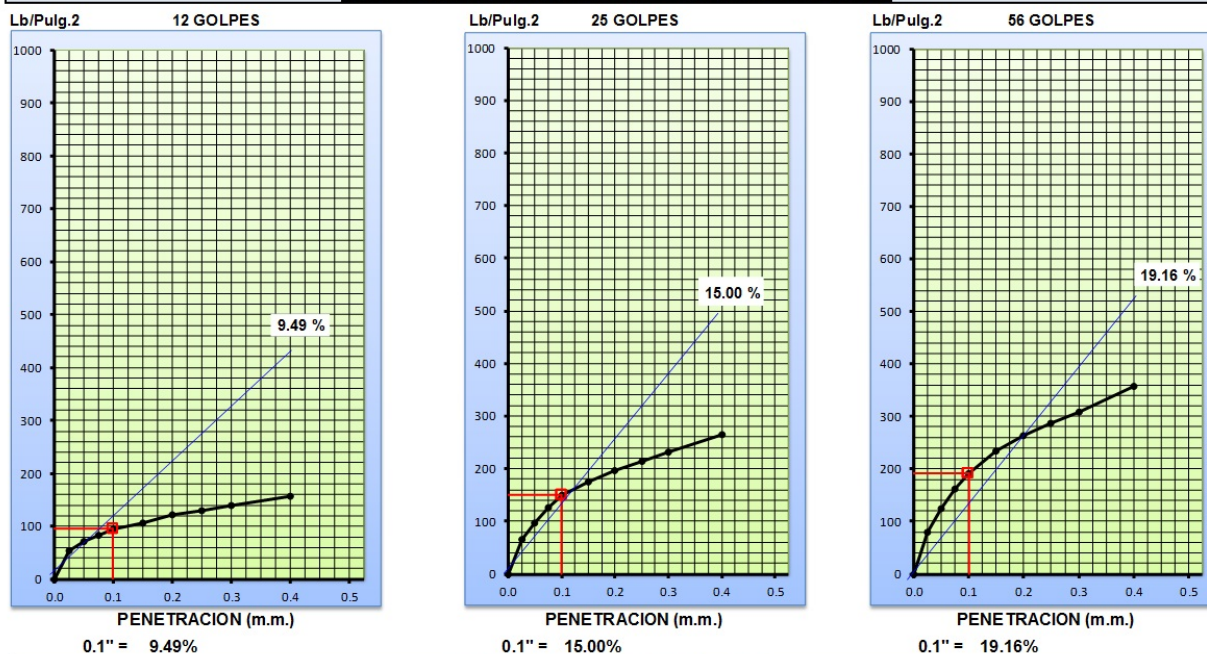
**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)

**REFERENCIA** : C-1 PROG. 0+471

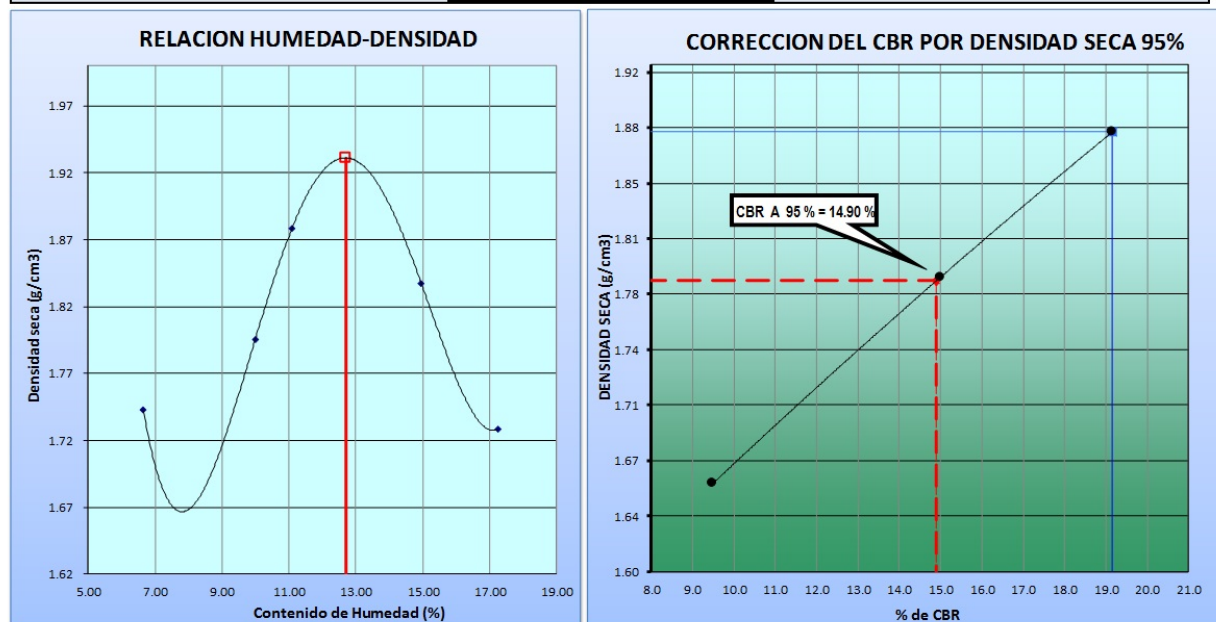
**FECHA** : 05/04/2018

**POLIMERO** : 12%  
**CASF.(SUCS)** : SC  
**CLASF. (AASHTO)** : A-2-6(4)

**GRAFICO PENETRACION - CARGA UNITARIA**



**DETERMINACION DEL CBR**



**RESULTADO :** CBR AL 100 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 19.2 %  
 CBR AL 95 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 14.9 %

Figura 15.2: Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo - polímero 12% (Muestra N° 01).



## ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) - ASTM 1883 CURVAS : ESFUERZOS DEFORMACION

**OBRA** : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS  
**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO  
**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)  
**REFERENCIA** : C-2 PROG. 1+981  
**FECHA** : 15/04/2018

Polimero : 8%  
 CASF.(SUCS) : CL  
 CLASF. (AASHTO) : A-6(16)

### DATOS DE ENSAYO Y CALCULOS

| MOLDE Nro.                | UNO      |       | DOS      |       | TRES     |       |
|---------------------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| No. GOLPES POR CAPA       | 12       |       | 25       |       | 56       |       |
| CONDICION DE LA MUESTRA   | SATURADA |       | SATURADA |       | SATURADA |       |
| PESO MOLDE + SUELO HUMEDO | 7,858.00 |       | 8,143.00 |       | 8,587.00 |       |
| PESO DEL MOLDE            | 4,030.00 |       | 4,100.00 |       | 4,261.00 |       |
| PESO DEL SUELO HUMEDO     | 3,828.00 |       | 4,043.00 |       | 4,326.00 |       |
| VOLUMEN DEL MOLDE         | 2,131    |       | 2,129    |       | 2,123    |       |
| DENSIDAD HUMEDA           | 1.80     |       | 1.90     |       | 2.04     |       |
| % DE HUMEDAD              | 23.9     |       | 22.2     |       | 19.3     |       |
| DENSIDAD SECA             | 1.45     |       | 1.55     |       | 1.71     |       |
| TARA NRO.                 | TR-11    | TR-12 | TR-13    | TR-14 | TR-15    | TR-16 |
| TARA + SUELO HUMEDO       | 50.29    | 50.31 | 50.40    | 50.79 | 50.69    | 50.34 |
| TARA + SUELO SECO         | 43.15    | 43.47 | 43.76    | 44.09 | 44.41    | 44.86 |
| PESO DEL AGUA             | 7.14     | 6.84  | 6.64     | 6.70  | 6.28     | 5.48  |
| PESO DE TARA              | 13.96    | 14.26 | 13.98    | 13.89 | 14.09    | 14.16 |
| PESO DEL SUELO SECO       | 29.19    | 29.21 | 29.78    | 30.20 | 30.32    | 30.70 |
| % DE HUMEDAD              | 24.46    | 23.42 | 22.30    | 22.19 | 20.71    | 17.85 |
| PROMEDIO DE HUMEDAD       | 23.94    |       | 22.25    |       | 19.28    |       |

### EXPANSION

| No. GOLPES POR CAPA |       |        | 12           |           |      | 25           |           |      | 56           |           |      |
|---------------------|-------|--------|--------------|-----------|------|--------------|-----------|------|--------------|-----------|------|
| FECHA               | HORA  | TIEMPO | LECTURA DIAL | EXPANSION |      | LECTURA DIAL | EXPANSION |      | LECTURA DIAL | EXPANSION |      |
|                     |       |        |              | mm.       | %    |              | mm.       | %    |              | mm.       | %    |
| 16/04/2018          | 13:00 | 0.0    | 200          | 0         | 0    | 200          | 0         | 0    | 200          | 0         | 0    |
| 17/04/2018          | 13:00 | 24.0   | 306          | 2.692     | 2.30 | 293          | 2.362     | 2.02 | 247          | 1.194     | 1.02 |
| 18/04/2018          | 13:10 | 24.2   | 307          | 2.718     | 2.32 | 297          | 2.464     | 2.11 | 270          | 1.778     | 1.52 |
| 19/04/2018          | 12:50 | 23.7   | 308          | 2.743     | 2.34 | 298          | 2.489     | 2.13 | 287          | 2.210     | 1.89 |
| 20/04/2018          | 13:00 | 24.2   | 309          | 2.769     | 2.37 | 299          | 2.515     | 2.15 | 293          | 2.362     | 2.02 |
| 21/04/2018          | 12:00 | 23.0   | 310          | 2.794     | 2.39 | 300          | 2.540     | 2.17 | 295          | 2.413     | 2.06 |
| 22/04/2018          | 12:40 | 24.7   | 311          | 2.819     | 2.41 | 301          | 2.565     | 2.19 | 296          | 2.438     | 2.08 |
| 23/04/2018          | 12:30 | 23.8   | 312          | 2.845     | 2.43 | 301          | 2.565     | 2.19 | 297          | 2.464     | 2.11 |
| 24/04/2018          | 12:30 | 24.0   | 312          | 2.845     | 2.43 | 301          | 2.565     | 2.19 | 297          | 2.464     | 2.11 |

### PENETRACION

| No. GOLPES POR CAPA |       | 12              |       |          | 25             |       |          | 56             |       |          |
|---------------------|-------|-----------------|-------|----------|----------------|-------|----------|----------------|-------|----------|
| PENETRACION         |       | MOLDE No : TRES |       |          | MOLDE No : DOS |       |          | MOLDE No : UNO |       |          |
|                     |       | LECTURA DIAL    | CARGA |          | LECTURA DIAL   | CARGA |          | LECTURA DIAL   | CARGA |          |
| tiempo              | pulg. |                 | LB    | lb/pulg2 |                | LB    | lb/pulg2 |                | LB    | lb/pulg2 |
| 0"                  | 0.000 | 0               | 0     | 0        | 0              | 0     | 0        | 0              | 0     | 0        |
| 30"                 | 0.025 | 17              | 137   | 44       | 30             | 187   | 59       | 47             | 252   | 80       |
| 1'                  | 0.050 | 24              | 164   | 52       | 41             | 229   | 73       | 61             | 306   | 97       |
| 1'30"               | 0.075 | 30              | 187   | 59       | 50             | 264   | 84       | 74             | 356   | 113      |
| 2'                  | 0.100 | 37              | 214   | 68       | 59             | 298   | 95       | 85             | 398   | 127      |
| 3'                  | 0.150 | 43              | 237   | 75       | 66             | 325   | 103      | 101            | 460   | 146      |
| 4'                  | 0.200 | 51              | 267   | 85       | 75             | 360   | 114      | 116            | 517   | 165      |
| 5'                  | 0.250 | 57              | 290   | 92       | 82             | 387   | 123      | 130            | 571   | 182      |
| 6'                  | 0.300 | 64              | 317   | 101      | 98             | 448   | 143      | 143            | 621   | 198      |
| 8'                  | 0.400 | 77              | 367   | 117      | 119            | 529   | 168      | 168            | 717   | 228      |

Figura 15.3: Ensayo de CBR, suelo - polímero 8% (Muestra N° 02).



**ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) - ASTM 1883**  
**CURVAS : ESFUERZOS DEFORMACION**

**OBRA** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN  
**UBICACION** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO

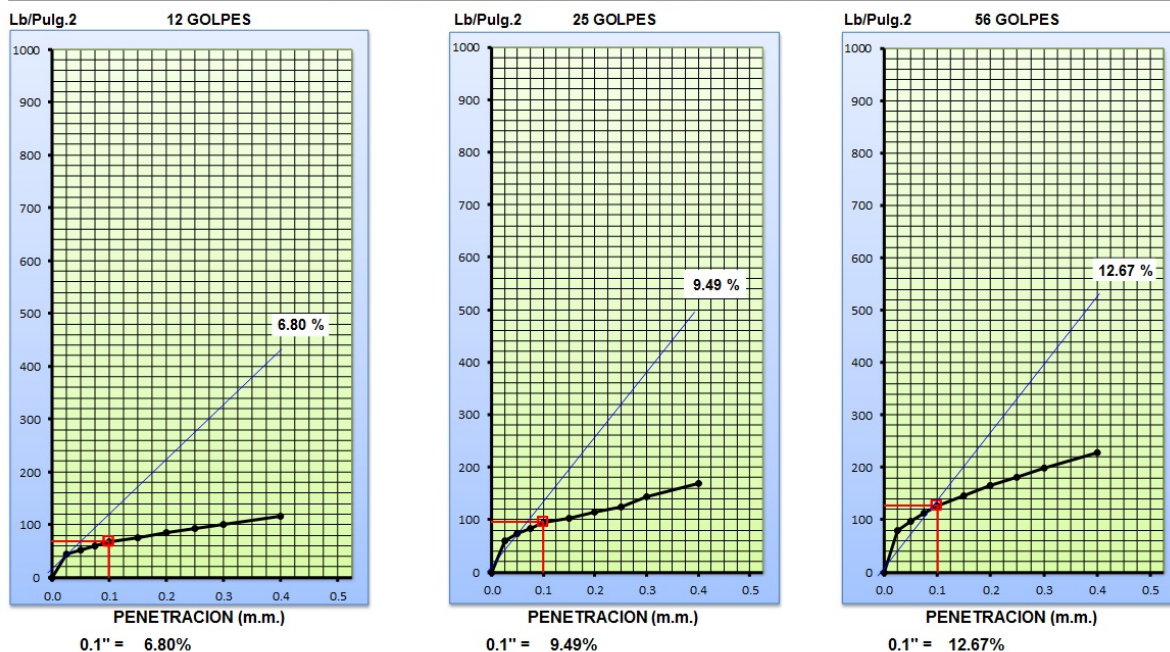
**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)

**REFERENCIA** : C-2 PROG. 1+981

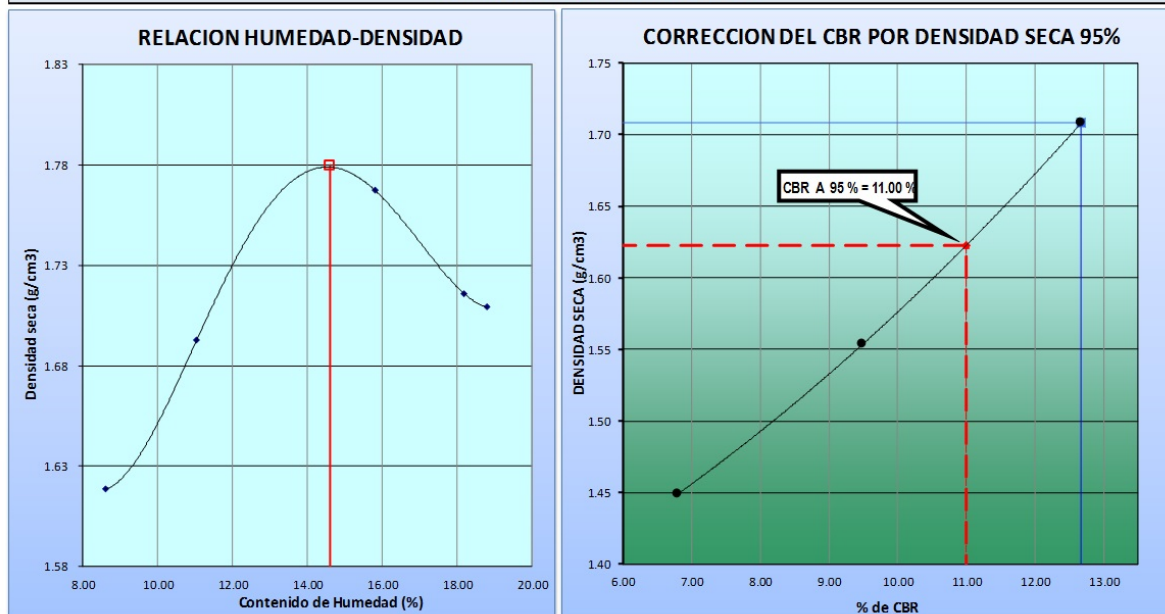
**FECHA** : 15/04/2018

**POLIMERO** : 8%  
**CASF.(SUCS)** : CL  
**CLASF. (AASHTO)** : A-6(16)

**GRAFICO PENETRACION - CARGA UNITARIA**



**DETERMINACION DEL CBR**



**RESULTADO :** CBR AL 100 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 12.7 %  
 CBR AL 95 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 11.0 %

Figura 15.4: Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo - polímero 8% (Muestra N° 02).

## ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) - ASTM 1883 CURVAS : ESFUERZOS DEFORMACION

**OBRA** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN

**UBICACIÓN** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO

**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)

**REFERENCIA** : C-3 PROG. 3+071

**FECHA** : 25/04/2018

Polímero : 12%  
CASF.(SUCS) : CL  
CLASF. (AASHTO) : A-6(16)

### DATOS DE ENSAYO Y CALCULOS

| MOLDE Nro.                | UNO      |       | DOS      |       | TRES     |       |
|---------------------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| No. GOLPES POR CAPA       | 12       |       | 25       |       | 56       |       |
| CONDICION DE LA MUESTRA   | SATURADA |       | SATURADA |       | SATURADA |       |
| PESO MOLDE + SUELO HUMEDO | 8,217.00 |       | 8,584.00 |       | 8,813.00 |       |
| PESO DEL MOLDE            | 4,030.00 |       | 4,100.00 |       | 4,261.00 |       |
| PESO DEL SUELO HUMEDO     | 4,187.00 |       | 4,484.00 |       | 4,552.00 |       |
| VOLUMEN DEL MOLDE         | 2.131    |       | 2.129    |       | 2.123    |       |
| DENSIDAD HUMEDA           | 1.96     |       | 2.11     |       | 2.14     |       |
| % DE HUMEDAD              | 19.1     |       | 16.1     |       | 14.5     |       |
| DENSIDAD SECA             | 1.65     |       | 1.81     |       | 1.87     |       |
| TARA NRO.                 | TR-19    | TR-20 | TR-21    | TR-22 | TR-29    | TR-30 |
| TARA + SUELO HUMEDO       | 50.38    | 50.53 | 50.47    | 50.70 | 50.46    | 50.32 |
| TARA + SUELO SECO         | 44.24    | 45.07 | 45.31    | 45.73 | 45.72    | 45.91 |
| PESO DEL AGUA             | 6.14     | 5.46  | 5.16     | 4.97  | 4.74     | 4.41  |
| PESO DE TARA              | 14.16    | 14.20 | 14.04    | 14.18 | 14.27    | 14.18 |
| PESO DEL SUELO SECO       | 30.08    | 30.87 | 31.27    | 31.55 | 31.45    | 31.73 |
| % DE HUMEDAD              | 20.41    | 17.69 | 16.50    | 15.75 | 15.07    | 13.90 |
| PROMEDIO DE HUMEDAD       | 19.05    |       | 16.13    |       | 14.49    |       |

### EXPANSION

| No. GOLPES POR CAPA |       |        | 12      |           |      | 25      |           |      | 56      |           |      |
|---------------------|-------|--------|---------|-----------|------|---------|-----------|------|---------|-----------|------|
| FECHA               | HORA  | TIEMPO | LECTURA | EXPANSION |      | LECTURA | EXPANSION |      | LECTURA | EXPANSION |      |
|                     |       |        |         | DIAL      | %    |         | DIAL      | %    |         | DIAL      | %    |
| 07/05/2018          | 12:00 | 0.0    | 200     | 0         | 0    | 200     | 0         | 0    | 200     | 0         | 0    |
| 08/05/2018          | 13:30 | 25.5   | 276     | 1.930     | 1.65 | 240     | 1.016     | 0.87 | 226     | 0.660     | 0.56 |
| 09/05/2018          | 12:10 | 22.7   | 281     | 2.057     | 1.76 | 253     | 1.346     | 1.15 | 236     | 0.914     | 0.78 |
| 10/05/2018          | 12:00 | 23.8   | 282     | 2.083     | 1.78 | 259     | 1.499     | 1.28 | 243     | 1.092     | 0.93 |
| 11/05/2018          | 12:00 | 24.0   | 283     | 2.108     | 1.80 | 263     | 1.600     | 1.37 | 246     | 1.168     | 1.00 |
| 12/05/2018          | 13:00 | 25.0   | 283     | 2.108     | 1.80 | 264     | 1.626     | 1.39 | 247     | 1.194     | 1.02 |
| 13/05/2018          | 12:00 | 23.0   | 284     | 2.134     | 1.82 | 265     | 1.651     | 1.41 | 248     | 1.219     | 1.04 |
| 14/05/2018          | 12:00 | 24.0   | 284     | 2.134     | 1.82 | 265     | 1.651     | 1.41 | 248     | 1.219     | 1.04 |

### PENETRACION

| No. GOLPES POR CAPA |       | 12              |       |          | 25             |       |          | 56             |       |          |
|---------------------|-------|-----------------|-------|----------|----------------|-------|----------|----------------|-------|----------|
| PENETRACION         |       | MOLDE No : TRES |       |          | MOLDE No : DOS |       |          | MOLDE No : UNO |       |          |
|                     |       | LECTURA         | CARGA |          | LECTURA        | CARGA |          | LECTURA        | CARGA |          |
| tiempo              | pulg. | DIAL            | LB    | lb/pulg2 | DIAL           | LB    | lb/pulg2 | DIAL           | LB    | lb/pulg2 |
| 0"                  | 0.000 | 0               | 0     | 0        | 0              | 0     | 0        | 0              | 0     | 0        |
| 30"                 | 0.025 | 23              | 160   | 51       | 32             | 194   | 62       | 37             | 214   | 68       |
| 1'                  | 0.050 | 34              | 202   | 64       | 53             | 275   | 88       | 57             | 290   | 92       |
| 1'30"               | 0.075 | 43              | 237   | 75       | 68             | 333   | 106      | 75             | 360   | 114      |
| 2'                  | 0.100 | 49              | 260   | 83       | 82             | 387   | 123      | 90             | 417   | 133      |
| 3'                  | 0.150 | 58              | 294   | 94       | 97             | 444   | 141      | 108            | 487   | 155      |
| 4'                  | 0.200 | 65              | 321   | 102      | 110            | 494   | 157      | 126            | 556   | 177      |
| 5'                  | 0.250 | 72              | 348   | 111      | 121            | 537   | 171      | 140            | 610   | 194      |
| 6'                  | 0.300 | 78              | 371   | 118      | 129            | 567   | 181      | 151            | 652   | 207      |
| 8'                  | 0.400 | 91              | 421   | 134      | 146            | 633   | 201      | 177            | 752   | 239      |

Figura 15.5: Ensayo de CBR, suelo - polímero 12% (Muestra N° 03).



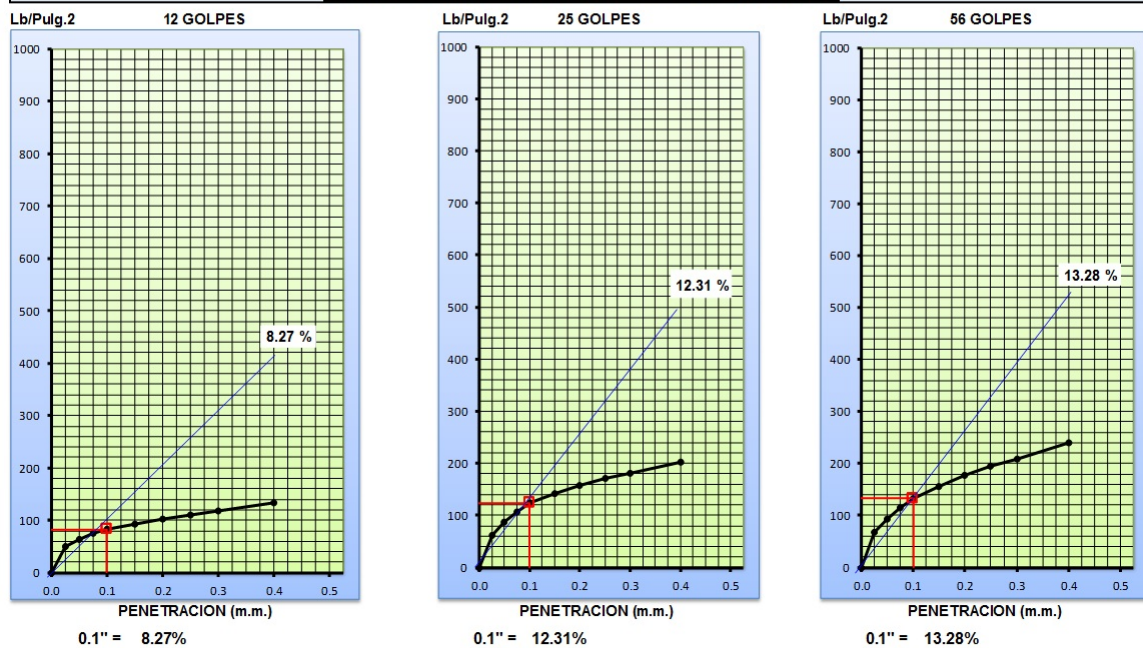
**ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) - ASTM 1883**  
**CURVAS : ESFUERZOS DEFORMACION**

**OBRA** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO COPOLIMERO, EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

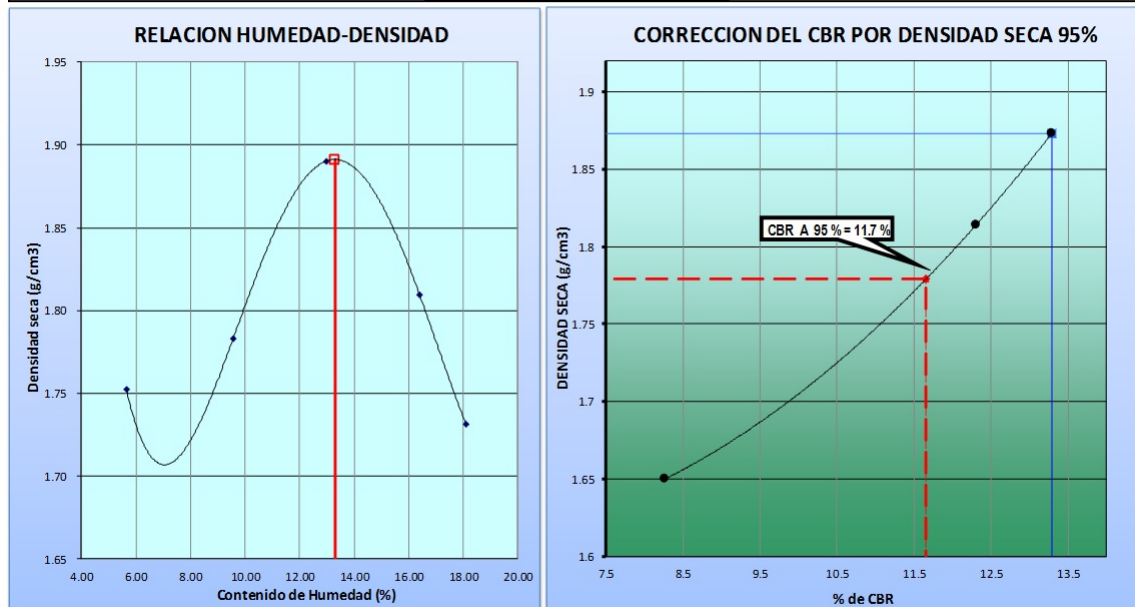
**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN  
**UBICACION** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO  
**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)  
**REFERENCIA** : C-3 PROG. 3+071  
**FECHA** : 25/04/2018

**POLIMERO** : 12%  
**CASF.(SUCS)** : CL  
**CLASF. (AASHTO)** : A-6(16)

**GRAFICO PENETRACION - CARGA UNITARIA**



**DETERMINACION DEL CBR**



**RESULTADO :** CBR AL 100 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 13.3 %  
 CBR AL 95 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 11.7 %

Figura 15.6: Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo - polímero 12% (Muestra N° 03).

## ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) - ASTM 1883 CURVAS : ESFUERZOS DEFORMACION

OBRA : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO  
COPOLIMERO EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

SOLICITANTE : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN

UBICACIÓN : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO

ESTRUCTURA : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)

REFERENCIA : C-4 PROG. 4+013 M.D.

FECHA : 30/04/2018

POLÍMERO : 10%

CASF.(SUCS) : CL

CLASF. (AASHTO) : A-7-5(20)

### DATOS DE ENSAYO Y CALCULOS

| MOLDE Nro.                | CUATRO   |       | CINCO    |       | SEIS     |       |
|---------------------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| No. GOLPES POR CAPA       | 12       |       | 25       |       | 56       |       |
| CONDICION DE LA MUESTRA   | SATURADA |       | SATURADA |       | SATURADA |       |
| PESO MOLDE + SUELO HUMEDO | 8,731.00 |       | 9,094.00 |       | 9,244.00 |       |
| PESO DEL MOLDE            | 4,869.00 |       | 4,939.00 |       | 4,922.00 |       |
| PESO DEL SUELO HUMEDO     | 3,862.00 |       | 4,155.00 |       | 4,322.00 |       |
| VOLUMEN DEL MOLDE         | 1,993    |       | 1,931    |       | 1,969    |       |
| DENSIDAD HUMEDA           | 1.94     |       | 2.15     |       | 2.19     |       |
| % DE HUMEDAD              | 24.8     |       | 22.3     |       | 21.2     |       |
| DENSIDAD SECA             | 1.55     |       | 1.76     |       | 1.81     |       |
| TARA NRO.                 | TR-17    | TR-18 | TR-19    | TR-20 | TR-25    | TR-27 |
| TARA + SUELO HUMEDO       | 50.44    | 50.59 | 50.12    | 50.52 | 50.53    | 50.49 |
| TARA + SUELO SECO         | 42.74    | 43.78 | 42.95    | 44.56 | 43.45    | 44.85 |
| PESO DEL AGUA             | 7.70     | 6.81  | 7.17     | 5.96  | 7.08     | 5.64  |
| PESO DE TARA              | 13.90    | 14.16 | 14.16    | 14.20 | 13.99    | 14.00 |
| PESO DEL SUELO SECO       | 28.84    | 29.62 | 28.79    | 30.36 | 29.46    | 30.85 |
| % DE HUMEDAD              | 26.70    | 22.99 | 24.90    | 19.63 | 24.03    | 18.28 |
| PROMEDIO DE HUMEDAD       | 24.85    |       | 22.27    |       | 21.16    |       |

### EXPANSION

| No. GOLPES POR CAPA |           |             | 12           |           |      | 25           |           |      | 56           |           |      |
|---------------------|-----------|-------------|--------------|-----------|------|--------------|-----------|------|--------------|-----------|------|
| FECHA               | HORA A.M. | TIEMPO HRS. | LECTURA DIAL | EXPANSION |      | LECTURA DIAL | EXPANSION |      | LECTURA DIAL | EXPANSION |      |
|                     |           |             |              | mm.       | %    |              | mm.       | %    |              | mm.       | %    |
| 17/04/2018          | 13:00     | 0.0         | 200          | 0         | 0    | 200          | 0         | 0    | 200          | 0         | 0    |
| 18/04/2018          | 12:20     | 23.3        | 374          | 4.420     | 3.81 | 295          | 2.413     | 2.08 | 268          | 1.727     | 1.48 |
| 19/04/2018          | 12:50     | 24.5        | 423          | 5.664     | 4.88 | 331          | 3.327     | 2.87 | 313          | 2.870     | 2.46 |
| 20/04/2018          | 13:10     | 24.3        | 425          | 5.715     | 4.93 | 355          | 3.937     | 3.39 | 340          | 3.556     | 3.05 |
| 21/04/2018          | 12:00     | 22.8        | 428          | 5.791     | 4.99 | 370          | 4.318     | 3.72 | 357          | 3.988     | 3.42 |
| 22/04/2018          | 12:50     | 24.8        | 431          | 5.867     | 5.06 | 382          | 4.623     | 3.99 | 369          | 4.293     | 3.68 |
| 23/04/2018          | 12:40     | 23.8        | 433          | 5.918     | 5.10 | 391          | 4.851     | 4.18 | 377          | 4.496     | 3.86 |
| 24/04/2018          | 12:30     | 23.8        | 433          | 5.918     | 5.10 | 397          | 5.004     | 4.31 | 383          | 4.648     | 3.99 |
| 25/04/2018          | 12:30     | 24.0        | 434          | 5.944     | 5.12 | 403          | 5.156     | 4.45 | 390          | 4.826     | 4.14 |
| 26/04/2018          | 12:30     | 24.0        | 435          | 5.969     | 5.15 | 407          | 5.258     | 4.53 | 396          | 4.978     | 4.27 |
| 27/04/2018          | 12:30     | 24.0        | 435          | 5.969     | 5.15 | 412          | 5.385     | 4.64 | 400          | 5.080     | 4.36 |
| 28/04/2018          | 13:30     | 25.0        | 435          | 5.969     | 5.15 | 416          | 5.486     | 4.73 | 408          | 5.283     | 4.53 |
| 29/04/2018          | 13:30     | 24.0        | 435          | 5.969     | 5.15 | 419          | 5.563     | 4.80 | 412          | 5.385     | 4.62 |
| 30/04/2018          | 12:00     | 22.5        | 435          | 5.969     | 5.15 | 419          | 5.563     | 4.80 | 414          | 5.436     | 4.67 |
| 01/05/2018          | 13:00     | 25.0        | 435          | 5.969     | 5.15 | 420          | 5.588     | 4.82 | 417          | 5.512     | 4.73 |
| 02/05/2018          | 13:00     | 24.0        | 435          | 5.969     | 5.15 | 420          | 5.588     | 4.82 | 420          | 5.588     | 4.80 |
| 03/05/2018          | 13:30     | 24.5        | 435          | 5.969     | 5.15 | 420          | 5.588     | 4.82 | 420          | 5.588     | 4.80 |

### PENETRACION

| No. GOLPES POR CAPA |       | 12              |       |          | 25             |       |          | 56             |       |          |
|---------------------|-------|-----------------|-------|----------|----------------|-------|----------|----------------|-------|----------|
| PENETRACION         |       | MOLDE No : TRES |       |          | MOLDE No : DOS |       |          | MOLDE No : UNO |       |          |
| tiempo              | pulg. | LECTURA DIAL    | CARGA |          | LECTURA DIAL   | CARGA |          | LECTURA DIAL   | CARGA |          |
|                     |       |                 | LB    | lb/pulg2 |                | LB    | lb/pulg2 |                | LB    | lb/pulg2 |
| 0"                  | 0.000 | 0               | 0     | 0        | 0              | 0     | 0        | 0              | 0     | 0        |
| 30"                 | 0.025 | 7               | 98    | 31       | 14             | 125   | 40       | 16             | 133   | 42       |
| 1'                  | 0.050 | 10              | 110   | 35       | 18             | 141   | 45       | 19             | 144   | 46       |
| 1'30"               | 0.075 | 13              | 121   | 39       | 22             | 156   | 50       | 23             | 160   | 51       |
| 2'                  | 0.100 | 15              | 129   | 41       | 25             | 167   | 53       | 26             | 171   | 55       |
| 3'                  | 0.150 | 19              | 144   | 46       | 30             | 187   | 59       | 29             | 183   | 58       |
| 4'                  | 0.200 | 22              | 156   | 50       | 35             | 206   | 66       | 33             | 198   | 63       |
| 5'                  | 0.250 | 25              | 167   | 53       | 39             | 221   | 70       | 37             | 214   | 68       |
| 6'                  | 0.300 | 28              | 179   | 57       | 43             | 237   | 75       | 42             | 233   | 74       |
| 8'                  | 0.400 | 33              | 198   | 63       | 52             | 271   | 86       | 53             | 275   | 88       |

Figura 15.7: Ensayo de CBR, suelo - polímero 10% (Muestra N° 04).



**ENSAYO DE CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) - ASTM 1883**  
**CURVAS : ESFUERZOS DEFORMACION**

**OBRA** : ESTABILIZACION DE SUELOS DE TIPO ARCILLOSO CON POLIMEROS DE TIPO  
 COPOLIMERO EN LA CARRETERA PUCALOMA-YANAYACU. DIST. SOCOS

**SOLICITANTE** : CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN  
**UBICACION** : DISTRITO SOCOS, HUAMANGA, AYACUCHO

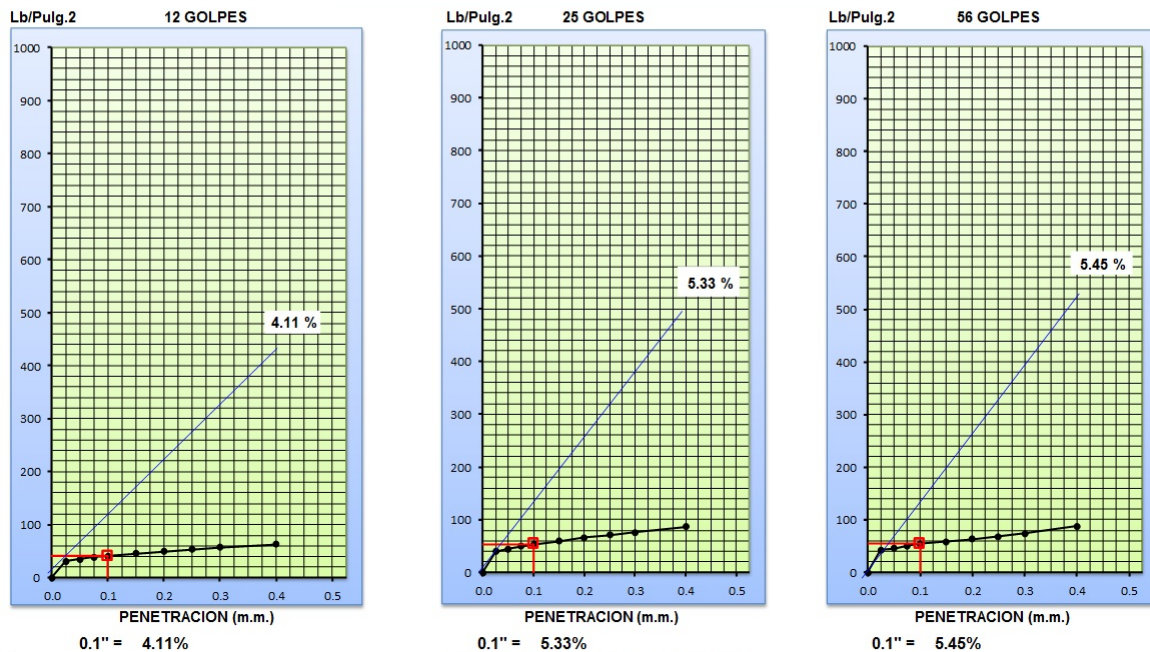
**ESTRUCTURA** : MEJORAMIENTO. (SUBRASANTE)

**REFERENCIA** : C-4 PROG. 4+013 M.D.

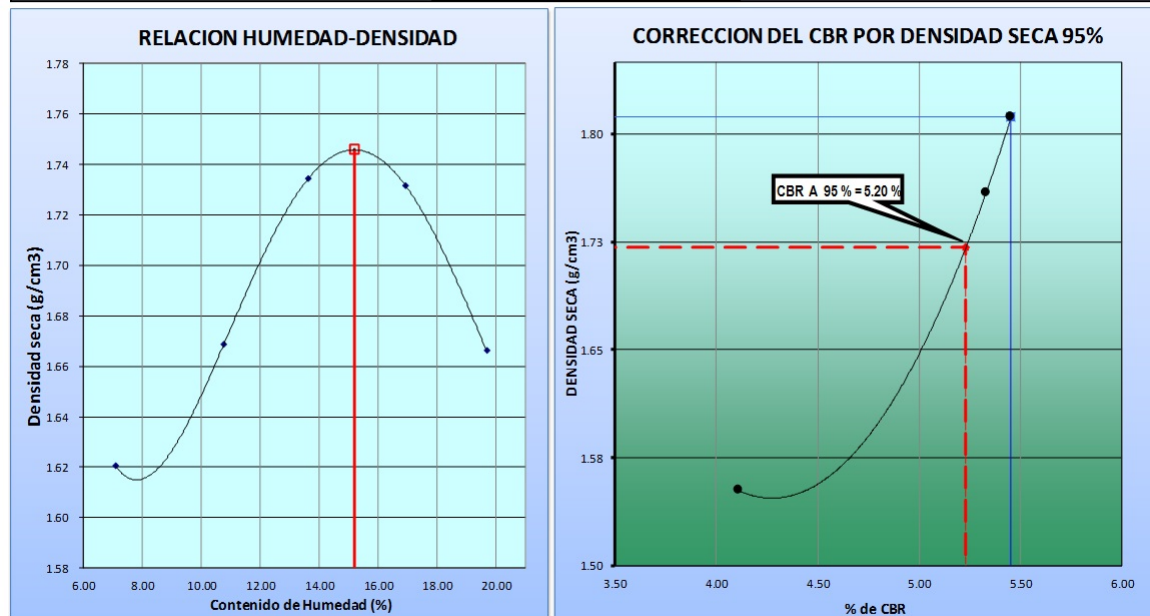
**FECHA** : 30/04/2018

**POLIMERO** : 10%  
**CASF.(SUCS)** : CL  
**CLASF. (AASHTO)** : A-7-5(20)

**GRAFICO PENETRACION - CARGA UNITARIA**

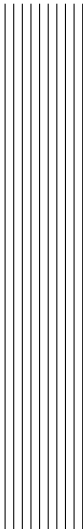


**DETERMINACION DEL CBR**



**RESULTADO :** CBR AL 100 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 5.5 %  
 CBR AL 95 % DE MAXIMA HUMEDAD SECA = 5.2 %

Figura 15.8: Ensayo de CBR, curvas: esfuerzos deformación suelo - polímero 10% (Muestra N° 04).



## Anexo J

# Ensayo de granulometría por Sedimentación

57. Analisis Granulométrico por Sedimentación.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE INVESTIGACION EN PASTOS Y GANADERIA

LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR

Jr. Abraham Valdelomar N° 249 – Telf. 315936 RPM # 966942996

Ayacucho – Perú

“Año del Diálogo y Reconciliación Nacional”

Región : Ayacucho HR. 0001  
Provincia : Huamanga  
Distrito : Socos  
Comunidad : Pucaloma - Yanayacu  
Proyecto : Tesis  
Solicitante : Bach. Carlos Jan Curitomay Najarro

### ANALISIS FISICO DE SUELOS

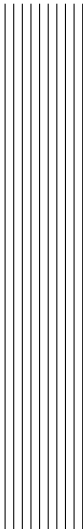
| Muestra | Análisis Granulométrico |        |           |
|---------|-------------------------|--------|-----------|
|         | % Arena                 | % Limo | % Arcilla |
| M-01    | 13.1                    | 54.5   | 32.4      |
| M-02    | 15.6                    | 58.2   | 26.2      |
| M-03    | 13.1                    | 50.7   | 36.2      |
| M-04    | 15.6                    | 45.7   | 38.7      |

Ayacucho, 22 de Abril del 2018.

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS  
PLANTA, AGUAS Y FERTILIZANTES  
RESPONSABLE

Juan B. Giron Molina  
C.I.P. 77120

Figura 16.1: Analisis Granulométrico por Sedimentación.



## Anexo K

# Comparación de costos de estabilización con polímero y otros métodos de estabilización.

58. Presupuesto estabilización con material de préstamo.

59. Análisis de precios unitarios.

60. Presupuesto estabilización con polímero.

61. Análisis de precios unitarios.

62. Presupuesto estabilización con cloruro de calcio.

63. Análisis de precios unitarios.

64. Presupuesto estabilización suelo-cemento.

65. Análisis de precios unitarios.

**Presupuesto**

Presupuesto 0203001 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLIMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO EN LA CARRETERA PUCALOMA - YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS  
 Subpresupuesto 001 ESTABILIZACIÓN CON MATERIAL DE PRESTAMO L=100M Y A=3M  
 Cliente CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN Costo al 15/05/2018  
 Lugar AYACUCHO - HUAMANGA - AYACUCHO

| Item  | Descripción                                                 | Und. | Metrado | Precio S/. | Parcial S/. |
|-------|-------------------------------------------------------------|------|---------|------------|-------------|
| 01    | MOVIMIENTO DE TIERRAS                                       |      |         |            | 11,958.60   |
| 01.01 | PERFILADO DE CUNETA DE TIERRA CON EQUIPO                    | m2   | 300.00  | 2.34       | 702.00      |
| 01.02 | TENDIDO DE MATERIAL PUESTA A OBRA                           | m3   | 60.00   | 12.12      | 727.20      |
| 01.03 | RIEGOS, MEZCLADO Y HOMOGENIZADO DE MATERIAL                 | m3   | 60.00   | 14.63      | 877.80      |
| 01.04 | CONFORMACION DE PLATAFORMA                                  | m3   | 60.00   | 57.56      | 3,453.60    |
| 01.05 | PERFILADO Y COMPACTACION                                    | m2   | 300.00  | 18.75      | 5,625.00    |
| 01.06 | CURADO DE MATERIAL                                          | m2   | 300.00  | 0.19       | 57.00       |
| 01.07 | ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE                           | m3   | 60.00   | 8.60       | 516.00      |
|       | COSTO DIRECTO                                               |      |         |            | 11,958.60   |
|       | GASTOS GENERALES 0.0000%                                    |      |         |            |             |
|       | UTILIDAD (10%)                                              |      |         |            | 1,195.86    |
|       | SUBTOTAL                                                    |      |         |            | 13,154.46   |
|       | IGV                                                         |      |         |            | 2,367.80    |
|       | TOTAL PRESUPUESTO                                           |      |         |            | 15,522.26   |
|       | SON : QUINCE MIL QUINIENTOS VEINTIDOS Y 26/100 NUEVOS SOLES |      |         |            |             |

### Análisis de precios unitarios

|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
|----------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------|------------|------------------------------|
| Presupuesto    | 0203001               | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO EN LA CARRETERA PUCALOMA - YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS |              |                                 |            |                              |
| Subpresupuesto | 001                   | ESTABILIZACIÓN CON MATERIAL DE PRESTAMO L=100M Y A=3M                                                                                                                    |              |                                 |            | Fecha presupuesto 15/05/2018 |
| Partida        | 01.01                 | PERFILADO DE CUNETAS DE TIERRA CON EQUIPO                                                                                                                                |              |                                 |            |                              |
| Rendimiento    | m2/DIA                | MO. 840.0000                                                                                                                                                             | EQ. 840.0000 | Costo unitario directo por : m2 |            | <b>2.34</b>                  |
| Código         | Descripción Recurso   | Unidad                                                                                                                                                                   | Cuadrilla    | Cantidad                        | Precio S/. | Parcial S/.                  |
|                | Mano de Obra          |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0101010003     | OPERARIO              | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0095                          | 18.00      | 0.17                         |
| 0101010005     | PEON                  | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0095                          | 10.00      | 0.10                         |
|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 0.27                         |
|                | Equipos               |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0301010006     | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo                                                                                                                                                                      |              | 5.0000                          | 0.27       | 0.01                         |
| 0301200001     | MOTONIVELADORA        | hm                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0095                          | 216.39     | 2.06                         |
|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 2.07                         |
| Partida        | 01.02                 | TENDIDO DE MATERIAL PUESTA A OBRA                                                                                                                                        |              |                                 |            |                              |
| Rendimiento    | m3/DIA                | MO. 190.0000                                                                                                                                                             | EQ. 190.0000 | Costo unitario directo por : m3 |            | <b>12.12</b>                 |
| Código         | Descripción Recurso   | Unidad                                                                                                                                                                   | Cuadrilla    | Cantidad                        | Precio S/. | Parcial S/.                  |
|                | Mano de Obra          |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0101010003     | OPERARIO              | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0421                          | 18.00      | 0.76                         |
| 0101010005     | PEON                  | hh                                                                                                                                                                       | 5.0000       | 0.2105                          | 10.00      | 2.11                         |
|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 2.87                         |
|                | Equipos               |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0301010006     | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo                                                                                                                                                                      |              | 5.0000                          | 2.87       | 0.14                         |
| 0301200001     | MOTONIVELADORA        | hm                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0421                          | 216.39     | 9.11                         |
|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 9.25                         |
| Partida        | 01.03                 | RIEGOS, MEZCLADO Y HOMOGENIZADO DE MATERIAL                                                                                                                              |              |                                 |            |                              |
| Rendimiento    | m3/DIA                | MO. 200.0000                                                                                                                                                             | EQ. 200.0000 | Costo unitario directo por : m3 |            | <b>14.63</b>                 |
| Código         | Descripción Recurso   | Unidad                                                                                                                                                                   | Cuadrilla    | Cantidad                        | Precio S/. | Parcial S/.                  |
|                | Mano de Obra          |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0101010003     | OPERARIO              | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0400                          | 18.00      | 0.72                         |
| 0101010005     | PEON                  | hh                                                                                                                                                                       | 7.0000       | 0.2800                          | 10.00      | 2.80                         |
|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 3.52                         |
|                | Materiales            |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0290130022     | AGUA                  | m3                                                                                                                                                                       |              | 0.2000                          | 1.00       | 0.20                         |
|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 0.20                         |
|                | Equipos               |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0301010006     | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo                                                                                                                                                                      |              | 5.0000                          | 3.52       | 0.18                         |
| 0301200001     | MOTONIVELADORA        | hm                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0400                          | 216.39     | 8.66                         |
| 03012200050005 | CISTERNA              | hm                                                                                                                                                                       | 0.7500       | 0.0300                          | 68.88      | 2.07                         |
|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 10.91                        |
| Partida        | 01.04                 | CONFORMACION DE PLATAFORMA                                                                                                                                               |              |                                 |            |                              |
| Rendimiento    | m3/DIA                | MO. 40.0000                                                                                                                                                              | EQ. 40.0000  | Costo unitario directo por : m3 |            | <b>57.56</b>                 |
| Código         | Descripción Recurso   | Unidad                                                                                                                                                                   | Cuadrilla    | Cantidad                        | Precio S/. | Parcial S/.                  |
|                | Mano de Obra          |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0101010003     | OPERARIO              | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.2000                          | 18.00      | 3.60                         |
| 0101010005     | PEON                  | hh                                                                                                                                                                       | 5.0000       | 1.0000                          | 10.00      | 10.00                        |
|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 13.60                        |
|                | Equipos               |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0301010006     | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo                                                                                                                                                                      |              | 5.0000                          | 13.60      | 0.68                         |
| 0301200001     | MOTONIVELADORA        | hm                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.2000                          | 216.39     | 43.28                        |
|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 43.96                        |

**Presupuesto**

Presupuesto 0203001 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLIMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO EN LA CARRETERA PUCALOMA - YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS  
Subpresupuesto 002 ESTABILIZACIÓN CON POLIMERO PARA L=100M Y A= 3M  
Cliente CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN Costo al 15/05/2018  
Lugar AYACUCHO - HUAMANGA - AYACUCHO

| Item  | Descripción                                                      | Und. | Metrado | Precio S/. | Parcial S/. |
|-------|------------------------------------------------------------------|------|---------|------------|-------------|
| 02    | MOVIMIENTO DE TIERRAS                                            |      |         |            | 11,386.20   |
| 02.01 | PERFILADO DE CUNETA DE TIERRA CON EQUIPO                         | m2   | 300.00  | 2.34       | 702.00      |
| 02.02 | TENDIDO DE MATERIAL PUESTA A OBRA                                | m3   | 60.00   | 12.12      | 727.20      |
| 02.03 | RIEGOS, MEZCLADO Y HOMOGENIZADO DE MATERIAL Y POLIMERO           | m3   | 60.00   | 16.44      | 986.40      |
| 02.04 | CONFORMACION DE PLATAFORMA                                       | m3   | 60.00   | 57.56      | 3,453.60    |
| 02.05 | PERFILADO Y COMPACTACION SUELO TRATADO                           | m2   | 300.00  | 18.20      | 5,460.00    |
| 02.06 | CURADO DE MATERIAL                                               | m2   | 300.00  | 0.19       | 57.00       |
|       | COSTO DIRECTO                                                    |      |         |            | 11,386.20   |
|       | GASTOS GENERALES 0.0000%                                         |      |         |            |             |
|       | UTILIDAD (10%)                                                   |      |         |            | 1,138.62    |
|       | SUBTOTAL                                                         |      |         |            | 12,524.82   |
|       | IGV                                                              |      |         |            | 2,254.47    |
|       | TOTAL PRESUPUESTO                                                |      |         |            | 14,779.29   |
|       | SON : CATORCE MIL SETECIENTOS SETENTINUEVE Y 29/100 NUEVOS SOLES |      |         |            |             |

### Análisis de precios unitarios

|                |                                   |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
|----------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------|------------|------------------------------|
| Presupuesto    | 0203001                           | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLIMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO EN LA CARRETERA PUCALOMA - YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS |              |                                 |            |                              |
| Subpresupuesto | 002                               | ESTABILIZACIÓN CON POLÍMERO PARA L=100M Y A= 3M                                                                                                                          |              |                                 |            | Fecha presupuesto 15/05/2018 |
| Partida        | 02.01                             | PERFILADO DE CUNETAS DE TIERRA CON EQUIPO                                                                                                                                |              |                                 |            |                              |
| Rendimiento    | m2/DIA                            | MO. 840.0000                                                                                                                                                             | EQ. 840.0000 | Costo unitario directo por : m2 |            | <b>2.34</b>                  |
| Código         | Descripción Recurso               | Unidad                                                                                                                                                                   | Cuadrilla    | Cantidad                        | Precio S/. | Parcial S/.                  |
|                | Mano de Obra                      |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0101010003     | OPERARIO                          | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0095                          | 18.00      | 0.17                         |
| 0101010005     | PEON                              | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0095                          | 10.00      | 0.10                         |
|                |                                   |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 0.27                         |
|                | Equipos                           |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0301010006     | HERRAMIENTAS MANUALES             | %mo                                                                                                                                                                      |              | 5.0000                          | 0.27       | 0.01                         |
| 0301200001     | MOTONIVELADORA                    | hm                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0095                          | 216.39     | 2.06                         |
|                |                                   |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 2.07                         |
| Partida        | 02.02                             | TENDIDO DE MATERIAL PUESTA A OBRA                                                                                                                                        |              |                                 |            |                              |
| Rendimiento    | m3/DIA                            | MO. 190.0000                                                                                                                                                             | EQ. 190.0000 | Costo unitario directo por : m3 |            | <b>12.12</b>                 |
| Código         | Descripción Recurso               | Unidad                                                                                                                                                                   | Cuadrilla    | Cantidad                        | Precio S/. | Parcial S/.                  |
|                | Mano de Obra                      |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0101010003     | OPERARIO                          | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0421                          | 18.00      | 0.76                         |
| 0101010005     | PEON                              | hh                                                                                                                                                                       | 5.0000       | 0.2105                          | 10.00      | 2.11                         |
|                |                                   |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 2.87                         |
|                | Equipos                           |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0301010006     | HERRAMIENTAS MANUALES             | %mo                                                                                                                                                                      |              | 5.0000                          | 2.87       | 0.14                         |
| 0301200001     | MOTONIVELADORA                    | hm                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0421                          | 216.39     | 9.11                         |
|                |                                   |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 9.25                         |
| Partida        | 02.03                             | RIEGOS, MEZCLADO Y HOMOGENIZADO DE MATERIAL Y POLÍMERO                                                                                                                   |              |                                 |            |                              |
| Rendimiento    | m3/DIA                            | MO. 200.0000                                                                                                                                                             | EQ. 200.0000 | Costo unitario directo por : m3 |            | <b>16.44</b>                 |
| Código         | Descripción Recurso               | Unidad                                                                                                                                                                   | Cuadrilla    | Cantidad                        | Precio S/. | Parcial S/.                  |
|                | Mano de Obra                      |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0101010003     | OPERARIO                          | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0400                          | 18.00      | 0.72                         |
| 0101010005     | PEON                              | hh                                                                                                                                                                       | 7.0000       | 0.2800                          | 10.00      | 2.80                         |
|                |                                   |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 3.52                         |
|                | Materiales                        |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 02902400010028 | ESTABILIZADOR POLÍMERO-COPOLÍMERO | Lt                                                                                                                                                                       |              | 0.0800                          | 25.08      | 2.01                         |
|                |                                   |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 2.01                         |
|                | Equipos                           |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0301010006     | HERRAMIENTAS MANUALES             | %mo                                                                                                                                                                      |              | 5.0000                          | 3.52       | 0.18                         |
| 0301200001     | MOTONIVELADORA                    | hm                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0400                          | 216.39     | 8.66                         |
| 03012200050005 | CISTERNA                          | hm                                                                                                                                                                       | 0.7500       | 0.0300                          | 68.88      | 2.07                         |
|                |                                   |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 10.91                        |
| Partida        | 02.04                             | CONFORMACION DE PLATAFORMA                                                                                                                                               |              |                                 |            |                              |
| Rendimiento    | m3/DIA                            | MO. 40.0000                                                                                                                                                              | EQ. 40.0000  | Costo unitario directo por : m3 |            | <b>57.56</b>                 |
| Código         | Descripción Recurso               | Unidad                                                                                                                                                                   | Cuadrilla    | Cantidad                        | Precio S/. | Parcial S/.                  |
|                | Mano de Obra                      |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0101010003     | OPERARIO                          | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.2000                          | 18.00      | 3.60                         |
| 0101010005     | PEON                              | hh                                                                                                                                                                       | 5.0000       | 1.0000                          | 10.00      | 10.00                        |
|                |                                   |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 13.60                        |
|                | Equipos                           |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0301010006     | HERRAMIENTAS MANUALES             | %mo                                                                                                                                                                      |              | 5.0000                          | 13.60      | 0.68                         |
| 0301200001     | MOTONIVELADORA                    | hm                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.2000                          | 216.39     | 43.28                        |
|                |                                   |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 43.96                        |



**Presupuesto**

Presupuesto 0203001 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLIMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO EN LA CARRETERA PUCALOMA - YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS  
Subpresupuesto 003 ESTABILIZACIÓN CON CLORURO DE CALCIO L=100M Y A=3M  
Cliente CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN Costo al 15/05/2018  
Lugar AYACUCHO - HUAMANGA - AYACUCHO

| Item  | Descripción                                                       | Und. | Metrado | Precio S/. | Parcial S/. |
|-------|-------------------------------------------------------------------|------|---------|------------|-------------|
| 01    | MOVIMIENTO DE TIERRAS                                             |      |         |            | 12,308.40   |
| 01.01 | PERFILADO DE CUNETA DE TIERRA CON EQUIPO                          | m2   | 300.00  | 2.34       | 702.00      |
| 01.02 | TENDIDO DE MATERIAL PUESTA A OBRA                                 | m3   | 60.00   | 12.12      | 727.20      |
| 01.03 | RIEGOS, MEZCLADO Y HOMOGENIZADO DE MATERIAL CON CLORURO DE CALCIO | m3   | 60.00   | 16.86      | 1,011.60    |
| 01.04 | CONFORMACION DE PLATAFORMA                                        | m3   | 60.00   | 57.56      | 3,453.60    |
| 01.05 | PERFILADO Y COMPACTACION SUELO TRATADO                            | m2   | 300.00  | 18.20      | 5,460.00    |
| 01.06 | SELLADO DE MATERIAL                                               | m2   | 300.00  | 3.18       | 954.00      |
|       | COSTO DIRECTO                                                     |      |         |            | 12,308.40   |
|       | GASTOS GENERALES 0.0000%                                          |      |         |            |             |
|       | UTILIDAD (10%)                                                    |      |         |            | 1,230.84    |
|       | SUBTOTAL                                                          |      |         |            | 13,539.24   |
|       | IGV                                                               |      |         |            | 2,437.06    |
|       | TOTAL PRESUPUESTO                                                 |      |         |            | 15,976.30   |
|       | SON : QUINCE MIL NOVECIENTOS SETENTISEIS Y 30/100 NUEVOS SOLES    |      |         |            |             |

### Análisis de precios unitarios

|                |                                 |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
|----------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------|------------|------------------------------|
| Presupuesto    | 0203001                         | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO EN LA CARRETERA PUCALOMA - YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS |              |                                 |            |                              |
| Subpresupuesto | 003                             | ESTABILIZACIÓN CON CLORURO DE CALCIO L=100M Y A=3M                                                                                                                       |              |                                 |            | Fecha presupuesto 15/05/2018 |
| Partida        | 01.01                           | PERFILADO DE CUNETA DE TIERRA CON EQUIPO                                                                                                                                 |              |                                 |            |                              |
| Rendimiento    | m2/DIA                          | MO. 840.0000                                                                                                                                                             | EQ. 840.0000 | Costo unitario directo por : m2 |            | <b>2.34</b>                  |
| Código         | Descripción Recurso             | Unidad                                                                                                                                                                   | Cuadrilla    | Cantidad                        | Precio S/. | Parcial S/.                  |
|                | Mano de Obra                    |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0101010003     | OPERARIO                        | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0095                          | 18.00      | 0.17                         |
| 0101010005     | PEON                            | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0095                          | 10.00      | 0.10                         |
|                |                                 |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 0.27                         |
|                | Equipos                         |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0301010006     | HERRAMIENTAS MANUALES           | %mo                                                                                                                                                                      |              | 5.0000                          | 0.27       | 0.01                         |
| 0301200001     | MOTONIVELADORA                  | hm                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0095                          | 216.39     | 2.06                         |
|                |                                 |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 2.07                         |
| Partida        | 01.02                           | TENDIDO DE MATERIAL PUESTA A OBRA                                                                                                                                        |              |                                 |            |                              |
| Rendimiento    | m3/DIA                          | MO. 190.0000                                                                                                                                                             | EQ. 190.0000 | Costo unitario directo por : m3 |            | <b>12.12</b>                 |
| Código         | Descripción Recurso             | Unidad                                                                                                                                                                   | Cuadrilla    | Cantidad                        | Precio S/. | Parcial S/.                  |
|                | Mano de Obra                    |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0101010003     | OPERARIO                        | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0421                          | 18.00      | 0.76                         |
| 0101010005     | PEON                            | hh                                                                                                                                                                       | 5.0000       | 0.2105                          | 10.00      | 2.11                         |
|                |                                 |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 2.87                         |
|                | Equipos                         |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0301010006     | HERRAMIENTAS MANUALES           | %mo                                                                                                                                                                      |              | 5.0000                          | 2.87       | 0.14                         |
| 0301200001     | MOTONIVELADORA                  | hm                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0421                          | 216.39     | 9.11                         |
|                |                                 |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 9.25                         |
| Partida        | 01.03                           | RIEGOS, MEZCLADO Y HOMOGENIZADO DE MATERIAL CON CLORURO DE CALCIO                                                                                                        |              |                                 |            |                              |
| Rendimiento    | m3/DIA                          | MO. 200.0000                                                                                                                                                             | EQ. 200.0000 | Costo unitario directo por : m3 |            | <b>16.86</b>                 |
| Código         | Descripción Recurso             | Unidad                                                                                                                                                                   | Cuadrilla    | Cantidad                        | Precio S/. | Parcial S/.                  |
|                | Mano de Obra                    |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0101010003     | OPERARIO                        | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0400                          | 18.00      | 0.72                         |
| 0101010005     | PEON                            | hh                                                                                                                                                                       | 7.0000       | 0.2800                          | 10.00      | 2.80                         |
|                |                                 |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 3.52                         |
|                | Materiales                      |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 02902400010029 | ESTABILIZADOR CLORURO DE CALCIO | kg                                                                                                                                                                       |              | 0.7400                          | 4.21       | 3.12                         |
|                |                                 |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 3.12                         |
|                | Equipos                         |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0301010006     | HERRAMIENTAS MANUALES           | %mo                                                                                                                                                                      |              | 5.0000                          | 3.52       | 0.18                         |
| 0301200001     | MOTONIVELADORA                  | hm                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0400                          | 216.39     | 8.66                         |
| 03012200050005 | CISTERNA                        | hm                                                                                                                                                                       | 0.5000       | 0.0200                          | 68.88      | 1.38                         |
|                |                                 |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 10.22                        |
| Partida        | 01.04                           | CONFORMACION DE PLATAFORMA                                                                                                                                               |              |                                 |            |                              |
| Rendimiento    | m3/DIA                          | MO. 40.0000                                                                                                                                                              | EQ. 40.0000  | Costo unitario directo por : m3 |            | <b>57.56</b>                 |
| Código         | Descripción Recurso             | Unidad                                                                                                                                                                   | Cuadrilla    | Cantidad                        | Precio S/. | Parcial S/.                  |
|                | Mano de Obra                    |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0101010003     | OPERARIO                        | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.2000                          | 18.00      | 3.60                         |
| 0101010005     | PEON                            | hh                                                                                                                                                                       | 5.0000       | 1.0000                          | 10.00      | 10.00                        |
|                |                                 |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 13.60                        |
|                | Equipos                         |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0301010006     | HERRAMIENTAS MANUALES           | %mo                                                                                                                                                                      |              | 5.0000                          | 13.60      | 0.68                         |
| 0301200001     | MOTONIVELADORA                  | hm                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.2000                          | 216.39     | 43.28                        |
|                |                                 |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 43.96                        |

Fecha : 16/07/2018 12:17:35a.m.

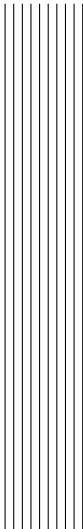
**Presupuesto**

Presupuesto 0203001 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLIMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO EN LA CARRETERA PUCALOMA - YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS  
Subpresupuesto 004 ESTABILIZACIÓN SUELO CEMENTO PARA L=100M Y A=3M  
Cliente CURITOMAY NAJARRO, CARLOS JAN Costo al 15/05/2018  
Lugar AYACUCHO - HUAMANGA - AYACUCHO

| Item  | Descripción                                                     | Und. | Metrado | Precio S/. | Parcial S/. |
|-------|-----------------------------------------------------------------|------|---------|------------|-------------|
| 01    | MOVIMIENTO DE TIERRAS                                           |      |         |            | 11,391.60   |
| 01.01 | PERFILADO DE CUNETA DE TIERRA CON EQUIPO                        | m2   | 300.00  | 2.34       | 702.00      |
| 01.02 | TENDIDO DE MATERIAL PUESTA A OBRA                               | m3   | 60.00   | 12.12      | 727.20      |
| 01.03 | RIEGOS, MEZCLADO Y HOMOGENIZADO DE MATERIAL CON CEMENTO         | m3   | 60.00   | 16.98      | 1,018.80    |
| 01.04 | CONFORMACION DE PLATAFORMA                                      | m3   | 60.00   | 57.56      | 3,453.60    |
| 01.05 | PERFILADO Y COMPACTACION SUELO TRATADO                          | m2   | 300.00  | 18.20      | 5,460.00    |
| 01.06 | CURADO y PROTECCIÓN SUPERFICIAL                                 | m2   | 300.00  | 0.10       | 30.00       |
|       | COSTO DIRECTO                                                   |      |         |            | 11,391.60   |
|       | GASTOS GENERALES 0.0000%                                        |      |         |            |             |
|       | UTILIDAD (10%)                                                  |      |         |            | 1,139.16    |
|       | SUBTOTAL                                                        |      |         |            | 12,530.76   |
|       | IGV                                                             |      |         |            | 2,255.54    |
|       | TOTAL PRESUPUESTO                                               |      |         |            | 14,786.30   |
|       | SON : CATORCE MIL SETECIENTOS OCHENTISEIS Y 30/100 NUEVOS SOLES |      |         |            |             |

### Análisis de precios unitarios

|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
|----------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------|------------|------------------------------|
| Presupuesto    | 0203001               | ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLÍMEROS DE TIPO COPOLÍMERO, APLICADO A OBRAS VIALES DE MEDIANO TRÁNSITO EN LA CARRETERA PUCALOMA - YANAYACU, DISTRITO DE SOCOS |              |                                 |            |                              |
| Subpresupuesto | 004                   | ESTABILIZACIÓN SUELO CEMENTO PARA L=100M Y A=3M                                                                                                                          |              |                                 |            | Fecha presupuesto 15/05/2018 |
| Partida        | 01.01                 | PERFILADO DE CUNETA DE TIERRA CON EQUIPO                                                                                                                                 |              |                                 |            |                              |
| Rendimiento    | m2/DIA                | MO. 840.0000                                                                                                                                                             | EQ. 840.0000 | Costo unitario directo por : m2 |            | <b>2.34</b>                  |
| Código         | Descripción Recurso   | Unidad                                                                                                                                                                   | Cuadrilla    | Cantidad                        | Precio S/. | Parcial S/.                  |
|                | Mano de Obra          |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0101010003     | OPERARIO              | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0095                          | 18.00      | 0.17                         |
| 0101010005     | PEON                  | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0095                          | 10.00      | 0.10                         |
|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 0.27                         |
|                | Equipos               |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0301010006     | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo                                                                                                                                                                      |              | 5.0000                          | 0.27       | 0.01                         |
| 0301200001     | MOTONIVELADORA        | hm                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0095                          | 216.39     | 2.06                         |
|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 2.07                         |
| Partida        | 01.02                 | TENDIDO DE MATERIAL PUESTA A OBRA                                                                                                                                        |              |                                 |            |                              |
| Rendimiento    | m3/DIA                | MO. 190.0000                                                                                                                                                             | EQ. 190.0000 | Costo unitario directo por : m3 |            | <b>12.12</b>                 |
| Código         | Descripción Recurso   | Unidad                                                                                                                                                                   | Cuadrilla    | Cantidad                        | Precio S/. | Parcial S/.                  |
|                | Mano de Obra          |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0101010003     | OPERARIO              | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0421                          | 18.00      | 0.76                         |
| 0101010005     | PEON                  | hh                                                                                                                                                                       | 5.0000       | 0.2105                          | 10.00      | 2.11                         |
|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 2.87                         |
|                | Equipos               |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0301010006     | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo                                                                                                                                                                      |              | 5.0000                          | 2.87       | 0.14                         |
| 0301200001     | MOTONIVELADORA        | hm                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0421                          | 216.39     | 9.11                         |
|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 9.25                         |
| Partida        | 01.03                 | RIEGOS, MEZCLADO Y HOMOGENIZADO DE MATERIAL CON CEMENTO                                                                                                                  |              |                                 |            |                              |
| Rendimiento    | m3/DIA                | MO. 200.0000                                                                                                                                                             | EQ. 200.0000 | Costo unitario directo por : m3 |            | <b>16.98</b>                 |
| Código         | Descripción Recurso   | Unidad                                                                                                                                                                   | Cuadrilla    | Cantidad                        | Precio S/. | Parcial S/.                  |
|                | Mano de Obra          |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0101010002     | CAPATAZ               | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0400                          | 10.00      | 0.40                         |
| 0101010005     | PEON                  | hh                                                                                                                                                                       | 7.0000       | 0.2800                          | 10.00      | 2.80                         |
|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 3.20                         |
|                | Materiales            |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 02902400010030 | CEMENTO PORTLAND      | kg                                                                                                                                                                       |              | 0.9000                          | 3.21       | 2.89                         |
|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 2.89                         |
|                | Equipos               |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0301010006     | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo                                                                                                                                                                      |              | 5.0000                          | 3.20       | 0.16                         |
| 0301200001     | MOTONIVELADORA        | hm                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.0400                          | 216.39     | 8.66                         |
| 03012200050005 | CISTERNA              | hm                                                                                                                                                                       | 0.7500       | 0.0300                          | 68.88      | 2.07                         |
|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 10.89                        |
| Partida        | 01.04                 | CONFORMACION DE PLATAFORMA                                                                                                                                               |              |                                 |            |                              |
| Rendimiento    | m3/DIA                | MO. 40.0000                                                                                                                                                              | EQ. 40.0000  | Costo unitario directo por : m3 |            | <b>57.56</b>                 |
| Código         | Descripción Recurso   | Unidad                                                                                                                                                                   | Cuadrilla    | Cantidad                        | Precio S/. | Parcial S/.                  |
|                | Mano de Obra          |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0101010003     | OPERARIO              | hh                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.2000                          | 18.00      | 3.60                         |
| 0101010005     | PEON                  | hh                                                                                                                                                                       | 5.0000       | 1.0000                          | 10.00      | 10.00                        |
|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 13.60                        |
|                | Equipos               |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            |                              |
| 0301010006     | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo                                                                                                                                                                      |              | 5.0000                          | 13.60      | 0.68                         |
| 0301200001     | MOTONIVELADORA        | hm                                                                                                                                                                       | 1.0000       | 0.2000                          | 216.39     | 43.28                        |
|                |                       |                                                                                                                                                                          |              |                                 |            | 43.96                        |



## Anexo L

### Planos

66. Plano de Ubicación.

67. Plano Geológico.