



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Influencia del cloruro de magnesio en la estabilización del suelo para su uso en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870, Región Apurímac, 2020”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Civil

**AUTOR:**

PAIVA ALCARRAZ, VLADIMIR IRVING (ORCID: 0000-0003-0953-0326)

**ASESOR:**

TACZA ZEVALLOS, JOHN NELINHO (ORCID: 0000-0002-1763-9375)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA VIAL

**LIMA - PERÚ**

**2020**

## **DEDICATORIA**

La investigación que se presenta a continuación va dedicada principalmente a Dios, a mis progenitores por haberme dado su apoyo en todo momento de manera incondicional, en este proceso de mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

A los amigos de  
toda la vida, mis padres

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras.....	vii
Resumen.....	vi
Abstract.....	vii
<b>I INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
<b>III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1. Tipo y diseño de la investigación.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Variable y tipo de Operacionalización .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.1 Variables .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.2 Operacionalización .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3 Población, muestra, muestreo y unidad de análisis.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.1 Población .....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.2 Muestra .....</b>	<b>23</b>
<b>3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....</b>	<b>25</b>
<b>3.4.1 Técnicas.....</b>	<b>25</b>
<b>3.4.2 Instrumentos .....</b>	<b>26</b>
<b>3.5 Trabajo de campo .....</b>	<b>27</b>
<b>3.6 Procedimientos.....</b>	<b>28</b>
<b>3.7 Método de análisis de datos .....</b>	<b>32</b>
<b>3.8 Aspectos éticos .....</b>	<b>33</b>
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>35</b>
<b>V. DISCUSIÓN.....</b>	<b>58</b>
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>60</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>62</b>
<b>VI. REFERENCIAS .....</b>	<b>63</b>

Anexo 1: Matriz de consistencia .....	68
Anexo 2. Formato de Validación.....	69
Anexo 3. Solicitud de permiso .....	72
Anexo 4. Autorización de uso de vía con fines de investigación.....	73
Anexo 5. Ficha Técnica de Observación .....	76
Anexo 6. Proforma de laboratorio .....	78
Anexo 7. Análisis granulométrico por tamizado .....	79
Anexo 8. Límites de consistencia pasante malla N° 40 .....	80
Anexo 9. Ensayo de compactación.....	81
Anexo 10. Contenido de humedad natural .....	82
Anexo 11. C.B.R de suelos.....	83
Anexo 12. Ensayo de CBR – Gráfico de penetración .....	84
Anexo 13. Ensayo de compactación.....	85
Anexo 14. C.B.R de suelos.....	86
Anexo 15. C.B.R de suelos.....	87
Anexo 16. Ensayo de CBR – Gráfico de penetración .....	88
Anexo 17. Ensayo de compactación.....	89
Anexo 18. Ensayo de CBR – Gráfico de penetración .....	90
Anexo 19. C.B.R de suelos.....	91
Anexo 20. Ensayo de compactación.....	92
Anexo 21. C.B.R de suelos.....	93
Anexo 22. Ensayo de CBR – Gráfico de penetración .....	94
Anexo 23: Informe de similitudes Turnitin.....	95

## Índice de tablas

Tabla 1 Composición química del Cloruro de Magnesio .....	17
Tabla 2 Matriz de Operacionalización de variables .....	22
Tabla 3 instrumentos de recolección de información .....	26
Tabla 4 Resultado análisis granulométrico.....	35
Tabla 5 Características del índice de plasticidad del suelo en estudio.....	36
Tabla 6: Proctor con 0% de MgCl <sub>2</sub> .....	37
Tabla 7: Proctor con 1% de MgCl <sub>2</sub> .....	38
Tabla 8 Proctor con 3% de MgCl <sub>2</sub> .....	39
Tabla 9: Proctor con 5% de MgCl <sub>2</sub> .....	40
Tabla 10: Tabla resumen resultados de Proctor Modificado .....	41
Tabla 11: Resultados de CBR con 0% de MgCl <sub>2</sub> .....	43
Tabla 12: Resultados de CBR con 1% de MgCl <sub>2</sub> .....	44
Tabla 13: Resultados de CBR con 3% de MgCl <sub>2</sub> .....	46
Tabla 14: Resultados de CBR con 3% de MgCl <sub>2</sub> .....	47
Tabla 15: Tabla resumen resultados de CBR.....	48
Tabla 17 Prueba de normalidad de acuerdo a Shapiro -Wilk .....	51
Tabla 21 Situación económica de la estabilización de suelos con MgCl <sub>2</sub> .....	56

## Índice de figuras

Figura 1 Carretera tramo Huancaray - San Antonio de Cachi .....	4
Figura 2 toma de muestra número 1 .....	24
Figura 3 toma de muestra número 2 .....	24
Figura 4 toma de muestra número 3 .....	25
Figura 5 Carretera donde se va tomar la muestra .....	28
Figura 6 Curva granulométrica .....	36
Figura 7 Densidad seca máxima y optimo contenido de humedad de suelo con 0% de MgCl <sub>2</sub> .....	38
Figura 8 Densidad seca máxima y optimo contenido de humedad de suelo con 1% de MgCl <sub>2</sub> .....	39
Figura 11 Gráfico resumen Máxima densidad Seca.....	42
Figura 12 Gráfico resumen Porcentaje Óptimo de Humedad.....	42
Figura 13 Gráfica Penetración muestra control .....	44
Figura 14 Gráfica Penetración muestra experimental con 1% de MgCl <sub>2</sub> .....	45
Figura 17 Gráfico resumen C.B.R. (100%).....	49

## RESUMEN

La presente investigación “Influencia del cloruro de magnesio en la estabilización del suelo para su uso en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 22+ 870, Región Apurímac, 2020” se plantea como objetivo determinar el comportamiento de los estabilizadores químicos en la carretera, el cual tiene relación de costo - beneficio con las teorías “estabilizaciones físicos y mecánicos que son otra alternativa más económica pero menos efectiva”.

La metodología aplicada al presente estudio es de tipo experimental y está basada en los resultados que se obtuvo de la técnica de estabilización química en una carretera no pavimentada, esto se fue definido a través de ensayo de laboratorio el cual permitirá examinar el comportamiento de la carretera ante una reacción química, de tal manera se aplicó diferentes químicos para ver las reacciones generadas en cada según el EM-2000 (Manual de ensayos de materiales de carretera) en la cual nos dará determinados estándares de resistencia, para ello también se realizaron diferentes ensayos correspondientes como es el caso de las pruebas de identificación de suelo, resistencia y grado de compactamiento, los cuales nos permitirán saber si cumplen con los estándares de la norma.

El tipo suelo es granular (42%), arcilloso y limo en su mayoría, siendo preciso ya que el cloruro de sodio actúa de buena manera en arcillas y limos (reduce los polvos e impermeabilizan).

Por último, la importancia de esta investigación es demostrar que la carretera puede presentar una mejor resistencia, a través de la absorción del agua que se presentan a consecuencia de las lluvias y el polvo ocasionado por los carros, que de una manera genera molestias a los pobladores de dichas zonas; asimismo, se pretende contribuir a disminuir el gasto económico que se hacen al dar mantenimiento a las carreteras; ya que estos estabilizadores químicos tienen una mejor resistencia ante los diferentes fenómenos naturales específicamente en este tramo afectado por las lluvias.

Palabras claves: Cloruro de magnesio, suelo granular.

## ABSTRACT

The present investigation "Influence of magnesium chloride on soil stabilization for use on the Huancaray - San Antonio de Cachi highway Km. 21 + 370 to 22+ 870, Apurímac Region, 2020" aims to determine the behavior of the chemical stabilizers on the road, which has a cost-benefit ratio with the theories "physical and mechanical stabilizations that are another cheaper but less effective alternative".

The methodology applied to this study is experimental and is based on the results obtained from the chemical stabilization technique on an unpaved road, this was defined through a laboratory test which will allow examining the behavior of the road before a chemical reaction, in this way different chemicals were applied to see the reactions generated in each according to the EM-2000 (Manual of tests of road materials) in which it will give us certain resistance standards, for it different tests were also carried out corresponding as in the case of soil identification, resistance and compaction degree tests, which will allow us to know if they meet the standards of the standard.

The soil type is granular (42%), mostly clayey and silt, being precise since sodium chloride works well in clays and silts (reduces dust and waterproofs).

Finally, the importance of this research is to demonstrate that the road can present a better resistance, through the absorption of water that occurs as a result of the rains and the dust caused by the cars, which in a way generates discomfort to the residents of these areas; Likewise, it is intended to contribute to reducing the economic expenses made by maintaining the roads; since these chemical stabilizers have a better resistance before the different natural phenomena specifically in this section affected by the rains.

Keywords: Magnesium chloride, granular soil.

## I INTRODUCCIÓN

Dentro del campo de la ingeniería civil, el suelo representa uno de los materiales de mayor importancia debido a que todas las cargas expuestas a cualquier tipo de estructura terminan y se disipan en este (Miranda y Negrete, 2011, p. 4); y más aún cuando es pesado hallar depósitos naturales de material que posean el orden correcto e ideal en el cual el material sin procesar pueda ser utilizado de forma directa, haciéndose necesario zarandear dicho material a fin de obtener de esta manera la granulometría especificada (Gutiérrez, 2010, p. 4).

Es por ello, que todo proyecto de construcción para un buen funcionamiento está atado a la calidad de los suelos subyacentes, ya que, de ser inestables, se generarán inconvenientes importantes para las estructuras y los pavimentos. Esta es la razón por la cual desde hace algunas décadas se han realizado mejoramientos a los suelos utilizando para ello distintas técnicas de estabilización, en la que se han empleado distintos y variados materiales tales como: cales, sales, aditivos, cementos, enzimas y emulsiones (Jara, 2014, p. 1).

Dentro de los proyectos de construcción vial, se debe proceder con un estudio minucioso y preciso del tipo de suelo, las características de la vía a construir y la importancia de la misma para las comunidades que se beneficiarían de esta, para determinar la mejor alternativa de construcción, la cual puede ser un simple afirmado, colocación de pavimento rígido o flexible o empleo de técnicas mixtas. Sin embargo, cuando se opta por realizar carreteras no pavimentadas, una de las debilidades que presenta es la inestabilidad del suelo requiriéndose del empleo de materiales que garanticen la estabilidad de los mismos y permitan contar con un mejor comportamiento en servicio.

De acuerdo con Hilario (2015), dentro del transcurso de estabilización en los suelos de carreteras no pavimentadas se vienen empleando en los últimos años productos de origen químico suelo – sal, dadas las características que poseen para captar y retener la humedad del ambiente, permitiendo así tener mejoras importantes en la capa superficial de rodadura reduciéndose de forma notable la progresión del deterioro superficial, así como disminuir los efectos perjudiciales en el ambiente como lo es la emisión de polvo en suspensión (p. 18).

En Latinoamérica, uno de los primeros países en implementar esta técnica fue Venezuela, específicamente en la ciudad de Caracas, ya que varias de sus vías poseían fallas importantes de inestabilidad del suelo, lo que exigió de la realización de investigaciones que permitieran dar una respuesta significativa a la problemática existente llevándoles a realizar el mantenimiento de las vías con el empleo de medios químicos, siendo esta una de las mejores políticas de inversión para la conservación y el mantenimiento de las carreteras .

Uno de los materiales químicos a utilizar para la obtener la estabilización de suelo es el  $MgCl_2$  (cloruro de magnesio), el cual es utilizado como “[...] estabilizador químico de suelos ya que reduce el deterioro superficial de las carpetas granulares de rodado, como también controla la emisión de polvo” (Gutiérrez, 2010, p. 65), por lo cual se ha evaluado su empleo en varios países por la efectividad respecto a “[...] las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, reducción del deterioro superficial y durabilidad de caminos estabilizados” (Anticon, 2012, p. 58).

Es sabido que las carreteras pasan por un deterioro, que es ocasionado por diferentes agentes como la lluvia y el tránsito pesado, pudiendo ser estos leves o graves, lo que deja muchas veces dichas carreteras intransitables. El deterioro de una vía, pasa por distintas etapas desde un punto inicial con daños pocos visibles, a largo plazo a un estado que compromete la vía dejando de ser útil, hasta llegar a dañarse por completo llegando a punto de una pérdida total. Por ello, se debe realizar el mantenimiento periódico de las carreteras como una acción de prevención, para evitar el rápido deterioro de la misma.

En la actualidad, las entidades encargadas del mantenimiento de las carreteras solo se dedican a arreglar los daños leves o aquellos que realmente son urgentes, dejando de lado el mantenimiento general; bien sea por el bajo presupuesto con el que cuentan o debido al poco interés de parte de los encargados, lo que genera a largo plazo la acumulación de obras, mayor cantidad de vías en mal estado y con el tiempo llegan a alcanzar mayores costos por lo que se obvia y se dejan en el abandono; trayendo como consecuencia inminente peligro a la seguridad de los usuarios y la interrupción total del tránsito en la zona.

Por otro lado, en el estado peruano la red vial de carreteras es 149,659.97 km., de las cuales 18,698.56 Km. son carreteras pavimentadas, 41,126.21 km están a nivel de afirmado, 80,847.59 km. de carreteras sin afirmar y 8,987.61 km. carreteras proyectadas (MTC 2012, p. 1). De la misma manera, de acuerdo con Hilario (2015) la red de carreteras departamentales posee un tramo total de 24,235 Km., siendo 21,895 Km. caminos de trocha; asimismo, la red vial vecinal presenta 91,844 Km. de longitud, de los cuales 90,233 Km. son trochas (p. 18). El principal motivo por el cual no se han pavimentado los mismos es porque dichas carreteras poseen un transporte mínimo, lo que las hace económicamente inviable para que sean pavimentadas.

Una de las defectos que posee las carreteras no pavimentadas en el Perú, es que dichas vías conectan los pueblos urbanos con el resto de las regiones circundantes y con el resto del país, con fin de transportar turistas a los diferentes centros arqueológicos o turísticos, trasladar los productos iniciales de centros que poseen potencial económico, como lo son la minería, zona agrícolas y de ganado, inclusive las redes pavimentadas, e incluso avalan el acceso a sectores de gran valor estratégico como lo son las zonas fronterizas (Hilario, 2015, p. 19).

Dependiendo del tipo de suelo se podrá conocer los métodos ideales para su estabilización, en el caso del Perú, sus suelos tienden a ser “En los desiertos [...] suelos arenosos (regosoles), salobres (solonchaks), y aluviales secos (fluvisoles secos). En los cerros y colinas predominan suelos rocosos (litosoles). En la Costa norte (Piura y Tumbes) suelos arcillosos y alcalinos (vertisoles)” (MINAGRI, s/f, párr. 2). En el caso de la región de Apurímac tiene uno de los suelos más inestables, siendo granular (42%) y arcilloso (68%), siendo la última característica un problema para el desarrollo de vías al no cumplir con los requerimientos mínimos necesarios, ya que presentan baja capacidad de soporte, mala calidad y alta deformidad; por lo tanto, la vida útil que poseen los pavimentos que se realizan en este tipo de suelo es menor que el promedio y tienden a producirse hundimientos o asentamientos que terminan deteriorando la carretera.

La investigación está centrada en la carretera de la región Apurímac, en el tramo Huancaray - San Antonio de Cachi, la cual posee en la actualidad un espesor



sector público y privado que les permite satisfacer sus necesidades básicas como lo son educación, salud, entre otras.

El desarrollo de la investigación plantea realizar principalmente ensayos y demostrar cómo actúa el cloruro de magnesio en un tramo de muestra en el que se realizaron pruebas en el laboratorio y de esta forma proponer a los municipios la implementación de este método de estabilización como una opción económica y que garantiza a largo plazo el mejoramiento y mantenimiento de sus vías.

## **Formulación del problema**

### **Problema General**

¿Cómo el uso del cloruro de magnesio mejora la estabilización del suelo en la Carretera Huancaray – San Antonio de Cachi km. 21+370 al 21+ 870, Región Apurímac, 2020?

### **Problemas específicos**

- ✓ ¿Cómo el cloruro de magnesio mejora las propiedades físicas en la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi km. 21+370 al 21+ 870, Región Apurímac, 2020?,
- ✓ ¿Cómo el cloruro de magnesio mejora las propiedades mecánicas en la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870, Región Apurímac, 2020?
- ✓ ¿Cuáles son los beneficios económicos que se logran con la aplicación de cloruro de magnesio en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870, Región Apurímac, 2020?

## **Justificación de la Investigación**

La investigación se orienta al empleo del cloruro de magnesio como compuesto químico que da lugar a la estabilización de los suelos, motivo por el cual esta investigación se justifica de manera teórica ya que permitirá el empleo de diversas teorías tendientes a demostrar los beneficios de su empleo, esto dado a que permite minimizar la evaporación de agua en respuesta al aumento de la tensión superficial y la cohesión lo que, de manera simultánea permitirá el

incremento de la capacidad de soporte del suelo, reduciendo deformaciones y permeabilidad, tal y como lo indica Hilario (2015, p. 7) “La estabilización de carpetas es una solución de mediano a largo plazo, cuyo objetivo es mantener las condiciones y estándares iniciales de transitabilidad evitando la destrucción temprana del camino por causas de la tracción de vehículos y la pérdida de humedad de los

Suelos”.

Desde una óptica metodológica se justifica la investigación, ya que se realizaron pruebas de laboratorio en condiciones controladas de humedad y densidad (propiedades físicas y mecánicas) que demostraron los beneficios del cloruro de magnesio en la mejora de la estabilidad de los suelos y por ende se obtuvo mayor resistencia de las vías a partir de a la prueba de California Bearing Ratio o Ensayo de Relación de Soporte de California que muestra la resistencia al esfuerzo cortante. Asimismo, los resultados de esta investigación servirán de material de consulta para otras investigaciones relacionadas con la temática de estudio.

Desde una óptica práctica, se justifica la investigación, pues se demostró cómo este componente químico logra una mejor estabilización del suelo de las vías no pavimentadas trayendo como consecuencia inmediata la preservación y mejora de calidad en las carreteras, costos bajos de construcción y mantenimiento de este tipo de vías siendo más rentables para los organismos responsables de esta materia y más beneficioso a los habitantes de la región de Apurímac porque mejorará su calidad de vida, tal y como lo especifican Thenoux y Vera (2001), el empleo de la estabilización química se presenta como una alternativa viable y factible desde una óptica técnica y económica, que permiten así bajar de un alto costo social y económico que se asocian a los problemas que traen la existencia de caminos no pavimentados, pudiéndose convertir en una política gubernamental destinada a mejorar de manera gradual el estándar de estos caminos.

### **Alcance**

El presente proyecto investigación principalmente se basó en hacer ensayos y establecer cómo actúa el cloruro de magnesio en un tramo de muestra en el que

se realizaron pruebas en el laboratorio y de esta forma general algún interés de municipios como una opción económica a largo plazo de mejoramiento de sus vías.

### **Objetivos de la Investigación**

#### **Objetivo general:**

Determinar la influencia del uso del cloruro de magnesio en la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870, Región Apurímac, 2020,

#### **Objetivos específicos:**

- ✓ Determinar las propiedades físicas del suelo después del uso del cloruro de magnesio en la estabilización de la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870, Región Apurímac, 2020.
- ✓ Determinar las propiedades mecánicas del suelo después del uso del cloruro de magnesio en la estabilización de la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870, Región Apurímac, 2020
- ✓ Determinar los beneficios económicos que trae la adición de cloruro de magnesio en la estabilización de la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 22+ 370, Región Apurímac, 2020.

### **Hipótesis de la investigación**

#### **Hipótesis general:**

El cloruro de magnesio tiene influencia significativa en la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870, Región Apurímac, 2020.

#### **Hipótesis específicas:**

- ✓ El cloruro de magnesio influye de manera significativa en las propiedades físicas de la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870, Región Apurímac, 2020,
- ✓ El cloruro de magnesio influye significativa en las propiedades mecánicas de la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870, Región Apurímac, 2020,

- ✓ Existe una mejora económica significativa con la adición de cloruro de magnesio en la estabilización de la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 22+ 370, Región Apurímac, 2020.

## II. MARCO TEÓRICO

El marco teórico está referido a un conjunto de investigaciones y teorías sobre la temática estudiada, que brindan un aporte significativo en la manera de abordar el estudio, para dar inicio se presenta a continuación los antecedentes a nivel internacionales de los cuales se encuentran:

El artículo “Evaluación del rendimiento del cloruro de magnesio hexahidratado como estabilizador químico de superficies de carreteras granulares” Thenoux y Vera (2016) concluyen:

La superficie de rodadura de un camino estabilizado con Bischofita absorbe el agua del aire durante las horas de mayor humedad relativa (principalmente durante la noche y en la mañana). Esta humedad es retenida durante un período de tiempo que depende de las condiciones climáticas. Así, se evita la pérdida de partículas finas en forma de polvo y la posterior pérdida de partículas más gruesas; por otro lado, teniendo como beneficios principales la absorción del agua, y mejorando la capa de rodadura. (2016, p.8).

Por otro lado, Latifi, Safuan, Rashid, Ecemis y Tahir (2016) en su artículo titulado “Características fisicoquímicas dependientes del tiempo del suelo residual de Malasia estabilizado con solución de cloruro de magnesio” afirman que la estabilización del suelo es un proceso que permite realizar mejoras de las propiedades físicas y de ingeniería del suelo para obtener algunos objetivos predeterminados. Funciona de varias maneras, como mecánica, biológica, física, química y eléctrica, hoy en día, entre los diferentes métodos de mejora del suelo, el uso de aditivos químicos para la estabilización del suelo para de esta manera aumentar los parámetros de resistencia de suelo y la capacidad de carga está atrayendo más atención.

Santiago (2015) realizó una investigación denominada: “Estabilización química de suelos en proyectos de infraestructura vial es Antioquia” donde estableció como objetivo a cuánto puede ascender los beneficios de la estabilización química de suelos para la conformación de la estructura de un pavimento con información real de las sub regiones del Departamento de Antioquia, el autor afirma que para un buen suelo es necesario aplicar estabilizadores químicos, ya

que es la mejor ante cualquier otra técnica, teniendo en cuenta el medio ambiente ya que las técnicas antiguas de estabilización física y mecánica teniendo altos resultados positivos y no dañando el ambiente con los emisores generados por las maquinarias pesadas como son los desechos (aceites , petróleo, etc.) se hizo un cuadro comparativo entre los costos de ejecución al reemplazar y complementar con la ejecución tradicional mecánica y los estabilizadores químicos, demostró un gran impacto y ahorros económicamente en la elaboración de las vías con productos químicos no tóxicos, el autor concluye que: “La estabilización química sí trae beneficios técnicos tanto para el incremento de resistencia a la compresión como para reducción de los índices de plasticidad, pues sin los segundos no sería posible lo primero, la resistencia a la compresión no solo es aumentada para suelos secos, sino también para suelos sumergidos, cosa que crea un ambiente muy prometedor para el desempeño técnico de estos productos” (2015, p.47).

Asimismo, el estudio realizado por Morocho (2015 p.6) titulado: “Diseño de un sistema de mantenimiento vial en la circunvalación norte desde la vía a Limón hasta la calle Buenavista, ciudad de Machala, provincia de Ora” se basa en la investigación que refiere a la problemática actual del lugar de estudio, el cual cuenta con un alto flujo vehicular, deteriorando la estructura del pavimento y el principal interés fue encontrar un estudio de “Diseño de sistema de mantenimiento vial” para el mantenimiento y el mejoramiento de la estructura vial explicando que el mantenimiento es la conservación total de la vía, refiriéndose a las actividades de limpieza y rehabilitación que son necesarios para preservar y conservar una vía, la misma que se limita en forma periódica o rutinaria, el mantenimiento debe ser suficiente para que el pavimento cumpla su función en forma satisfactoria teniendo como objetivo principal realizar los estudios técnicos necesarios a fin de proponer un nuevo sistema de Mantenimiento óptimo para la vía.

Los resultados que se evidenciaron en el estudio sobre la evaluación estructural de la vía son los siguientes: pavimento asfáltico con fallas severas que determinan un PCI en un estado regular, señalización vertical en buen estado, señalización horizontal en regular estado del sistema de drenaje en malas condiciones, donde se llegó a la conclusión en el estudio es se debe implementar

un sistema de mantenimiento en las redes viales de esta ciudad, para un mejor aspecto de la misma y brindando confort, servicio de calidad, seguridad a los usuarios, visitantes y moradores del sector, lo recomendable es intervenir a tiempo, para que en un futuro su costo de reparación estructural no sea costoso; motivo por el cual se considera importante implementar el sistema de mantenimiento vial.

Por otra parte, se mencionan las investigaciones que se llevaron a nivel nacional y que serán de vital importancia para el estudio son:

Pumaricra (2019) desarrolló un estudio que lleva por título: "cloruro de magnesio como aditivo en el tratamiento de las propiedades físico mecánicas de la superficie de rodadura en carreteras no pavimentadas" con el objetivo de realizar un análisis sobre la adición del cloruro de magnesio en las propiedades físicas. La adición del cloruro de magnesio en propiedades físico-mecánicas del material extraído de cantera en las siguientes proporciones de 0%, 2%, 4% y 6%, sí mejora significativamente dichas propiedades en las condiciones del presente estudio, por lo tanto, es rechazada la hipótesis alternativa planteada donde establece que el cloruro de magnesio optimiza las propiedades físico-mecánicas del material de cantera para ser usado en carreteras no pavimentadas. Para las propiedades físicas se observa que mediante el método AASHTO la muestra tiene un rango de A-2-4(0) hasta A-1-b (0); por otro lado, se usa el método SUCS donde la muestra varía de GC hasta GC-GM; el índice de plasticidad se reduce de 6.82 % (muestra con 0% de  $MgCl_2$ ) a 4.88% (muestra con 6% de  $MgCl_2$ ); el óptimo contenido de humedad disminuye en tanto la máxima densidad seca, incrementa a la medida que aumenta de manera porcentual el  $MgCl_2$ . El CBR se reduce cada vez que va aumentando el porcentaje de cloruro de magnesio siendo así 39.9% (muestra con 0% de  $MgCl_2$ ) y 11.060% (muestra con 6% de  $MgCl_2$ ).

De la misma manera, está la tesis de Chávez (2019, p.3) que lleva por título: "comparación del cloruro de magnesio (bischofita) frente al cloruro de sodio como estabilizante químico para mejorar la subrasante en la vía a la cantera Santa Rita, distrito de Pariñas Talara-Piura, 2018" resiste a la evaporación y congelamiento, después la salmuera generada con bischofita contiene una baja tasa de evaporación, con la temperatura de congelamiento que llega a los

32.8°C Para la elaboración de carreteras que no tienen pavimentos, es necesario condiciones iniciales del suelo ya que no siempre es óptimo.

Mejorar el suelo tuvo muchos requerimientos como son la resistencia al esfuerzo cortante, compresibilidad o deformación asimismo aumentando su vida útil.

La mejor elaboración de suelos atiende variedad de requerimientos como es la resistencia al esfuerzo cortante, deformabilidad o compresibilidad, obteniendo como resultado un buen comportamiento de los suelos.

También, está el trabajo de Nesterenko (2018, p.6). Con el título de: “Desempeño de suelos estabilizados con polímeros en Perú” quien afirma que los suelos que fueron estabilizados con químicos, ganaron más atención en la última década. Se concluyen que los estabilizadores de suelo son útiles y sostenibles al mejorar la reutilización de suelos y cumplir su periodo de diseño y que del mismo modo no presente agrietamientos, siendo que este es uno de las tantas opciones que hay en el mercado como estabilizador.

Para poder tener una mejor comprensión de las variables de estudio, se hace necesario realizar una revisión teórica de las mismas, entre ellas están:

En cuanto al tema de la estabilización de suelos según Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2013, p.25) la define como aquel procedimiento que se lleva para lograr más estabilidad en el suelo, donde se pueden seguir dos procesos, el primero está orientada a aumentar la densidad de suelo mediante la compactación mecánica y el segundo proceso se da por mezclar un material de granulometría gruesa. En esta investigación se tomará el segundo proceso para llevar a cabo el estudio de dicho suelo.

Partiendo de que se tomará el segundo proceso en esta investigación, hay que considerar al momento de diseñar una carretera no pavimentada dos elementos importantes, uno es el material y su calidad y el otro es su estabilización del suelo. Cuando se habla de la fuente del material según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2013, p.30) refiere a que se pueden utilizar materiales granulares naturales extraídos de excedentes de excavaciones, escoria de metal etc. Incluidos en su expediente técnico que se establecerán en su expediente técnico, y a su vez pueden provenir también de trituración de rocas, gravas o estar compuestos por una mezcla de productos de

diferentes procedencias. Con la finalidad de establecer la calidad del material se deberán realizar una serie de laboratorios en función de los ensayos que determinen la granulometría, límites de consistencia, CBR y densidad de humedad según lo establecido en las normas del Perú.

Para la estabilización del suelo, según Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2013, p.35) indica que en la práctica existen diferentes métodos para lograr la estabilidad de los suelos, donde cada método aplica diferentes estabilizantes, entre ellos se pueden mencionar: cemento, cal, cloruro de sodio, asfaltos, cloruro de magnesio, impresiones reforzadas en otros. De tal forma que se ha venido utilizando distintos productos también la mezcla de suelos bajo el propósito de brindar soluciones eficientes ante particularidades específicas.

A su vez, Gutiérrez (2010, p.39) plantea que la estabilización de los suelos es de tipo granulométrica o mecánica, que puede estar integrada por mezclar de dos o más suelos a pesar de poseer distintas características, para así obtener un suelo con mejores en cuanto a la granulometría, plasticidad, permeabilidad o impermeabilidad, entre otros, asimismo, a través de aditivos que actúan física o químicamente en las propiedades del suelo se puede realizar la estabilización y esta se refiere al uso de determinadas sustancias químicas cuyo uso implica cambiar los iones de metal y producir cambios en la constitución de suelos. El diseño de agentes estabilizantes con requeridos químicos, consisten en realizar una conveniente caracterización del suelo, de este modo se ve cuál y cuánto es la cantidad de agente estabilizante químico, de igual manera el procedimiento. “Entre las sustancias químicas de mayor uso como agentes estabilizadores están: cemento, cal, el cloruro de sodio, los asfaltos, el cloruro de magnesio” (2010, p. 39). Cabe resaltar que el último será punto crucial para desarrollar esta investigación.

Por lo tanto, el cloruro de magnesio es también conocido como la bischofia, que es sal, donde su fórmula química es  $(MgCl_2 \cdot 6 H_2O)$  y está integrada por un magnesio 15%, cloro 33.5%, agua 52% y 4% de impurezas, con una apariencia de color blanco y grasoso y al tacto por su gran cantidad de humedad (Gutierrez, 2010, p.45).

Vera (2001, p.38) señala que las propiedades del cloruro de magnesio hexahidratado (bischofita) como mejorador mecánico, tiene diversas propiedades físicas que van a potenciar su uso, mejorando el químico no pavimentado, que entre los que se pueden encontrar: la deliquesencia, la presión de vapor, el incremento de la tensión superficial del agua y la temperatura de congelamiento. En cuanto a la deliquesencia es entendida como la capacidad de adsorber la humedad del aire y disolverla en ella para lograr conformar una solución líquida, en donde el cloruro de magnesio puede absorber agua cuando la humedad relativa es mayor al 32%. Para la propiedad de presión de vapor, es significamente menor que la del agua a cualquier temperatura y humedad relativa, permitiendo la evaporación de agua hasta 3,1 veces.

Para el aumento de la tensión superficial del agua es considerado directamente proporcional al % de cloruro de magnesio que se presenta en una solución, la adición de hasta un 45%, lo cual reduce la tasa de evaporación del agua. Y por último la temperatura de congelamiento es mucho menos a la del agua pura. Siendo esta una de las propiedades más reconocidas de las sales, siendo este el motivo de su gran uso. (Vera, 2001, p.38).

A su vez Gutiérrez (2010) plantea que el cloruro de magnesio “cumple un papel importantísimo en la estabilización de suelos, ya que cuando se producen mezcla de este con el suelo, va generar mejoras en cuanto a la estabilidad volumétrica, resistencia, permeabilidad, comprensibilidad y durabilidad” (2010, p.68). Lo que conlleva a que carretera no pavimentada sea mas óptima en el tiempo.

De igual manera, según *Thenoux y Vera (2003, p.65)* señalan que el cloruro de magnesio es muy usado como estabilizante de caminos sin pavimento, ya que permite la estabilización de varios tipos de suelo; sin embargo, se logra tener un mejor desempeño del producto como tal, con suelos los cuales representan en CBR y estabilidad mecánica (CBR > 50– 60% saturado o no sumergido según requerimientos de proyecto) y también es usado por su espesor de polvo, que permite mantener la humedad de la superficie del camino, debido a que se trata de una sustancia higroscópica, cabe decir que adquiere el don de absorber la humedad ambiente.

## **Teorías Relacionas al Tema**

Se cuenta con diferentes tipos de estabilización y mejoramiento de suelos, el cual es significativo adquirir el entendimiento de las teorías tanto teóricas como prácticas, así como también experimentales sobre las características de los suelos principalmente los suelos finos, con el objetivo de lograr una estabilización óptima de tipo mecánica o química, teniendo en cuenta el tipo de suelo a trabajar y también las observaciones climatológicas, factores económicos, etc.

### **Estabilización por compactación mecánica**

La compactación de Suelo, es la técnica más económica de estabilización útil. La estabilización de suelos consta de un mejoramiento en las características físicas no aptas de la tierra para tener una infraestructura resistente tanto al corte como a la relación de vacíos, óptimos.

Una vez realizada la estabilización por compactación, el suelo sufrirá cambios y sus propiedades mejorarán considerablemente de forma duradera, reduciendo su mantenimiento y su control de desgaste.

Cada vez que se tenga como materia prima al suelo, será necesario seguir el proceso de estabilización por compactación.

En muchos casos, la humedad se concentra en algunas partes del tramo generando problemas y a excepción de casos muy concretos, solo se pueden prevenir estos problemas evitando la permeabilidad de la lluvia por capilaridad a partir la superficie. Debido a una buena estabilización podemos comprimir o despejar la permeabilidad del terreno, consiguiendo precisamente un suelo magníficamente estabilizado y una compactación duradera dependiendo al mantenimiento que se le haga.

### **Estabilización con cemento portland tipo I**

Para lograr una estabilización de suelos, el hombre uso diferentes tipos de aglomerantes puzolánicos, de esta manera poder cumplir con los parámetros establecidos y las exigencias de obra que son necesarias para un material en condiciones mecánicas óptimas. La utilización del mismo se dio hace muchísimo tiempo, hace 500 años atrás la estabilización ya se daba con cal o puzolanas. Entre los años 1910 y 1920 se dio el inicio para la experimentación de las

mezclas asfálticas en Inglaterra, en el caso de Brooke Bradley hizo uso de la mezcla de cemento con suelo arcilloso teniendo resultados positivos ante esta composición. Entre los años 1930 y 194 en EE.UU. organizaciones tales como la Portland Cement Association (PCA), contribuyeron en el crecimiento de la tecnología en la estabilización de suelos con cemento. La estabilización de suelos es un avance muy importante en pavimentos ya que con el empleo del cemento se logra el cambio de las propiedades moleculares de los granos del suelo como también se da el caso de que los granos se juntan entre sí, proporcionando el aumento en la resistencia.

Por lo general, los suelos son un mezclado de partículas granulares con otras de diferentes tamaños, el trabajo que se hace al cemento es reforzado. En cierta parte, trabaja como conglomerante de arenas, limos y gravas cumpliendo una similar función que en el hormigón. En cambio, el hidrato de calcio, que se integra al ajuste de la cal con el agua. La consecuencia de esta transformación es la reducción de la plasticidad y porosidad, asimismo el refuerzo en la resistencia y en la durabilidad. Se utiliza cualquier tipo de cal (cemento), sin embargo, generalmente se aplican endurecimiento y fraguado habituales, en algunas circunstancias, a fin de reducir los efectos de la materia orgánica se sugiere el uso de cementos de alto aguante y si las temperaturas son mínimas se acude a cementos de fraguado acelerado o al cloruro de calcio como un aditivo.

El desarrollo de una estabilización de suelos con la cal se basa en añadir cemento Portland a una superficie limpia con anticipación con la finalidad de que la mezcla se consolide por la absorción del cemento. Los diversos tipos de suelos pueden estar estabilizados con cemento Portland, de los mismos que se obtienen óptimos resultados en los suelos arenosos y en arcillas que tengan una mediana a baja plasticidad para estabilizaciones con cemento el índice de plasticidad debería mínimo a 15 % , así se evita cualquier inconveniente en el extendido y mezclado del material, en caso de que se tenga que estabilizar suelos con un alto índice de plasticidad primero se adiciona cal en un proporción de 1% por lo usual, para comprimir la plasticidad y optimar la trabajabilidad previo a añadir el cemento.

## **Estabilización con MgCl<sub>2</sub> (Cloruro de magnesio)**

Cloruro de Magnesio Hexahidratado es una sal con diferentes características que proporciona su utilidad viable como estabilizador químico en carreteras de capas con rodadura granulares: capacidad de absorber y retener la humedad del ambiente, incrementa la tensión superficial del agua y disminuye la presión de vapor del agua. Esta investigación tuvo la intención de determinar la efectividad del cloruro de magnesio como estabilizante químico de carreteras no pavimentados, basándose en los resultados de las pruebas de laboratorio y la estimación en tramos de prueba con capas de rodadura estabilizadas.

Tabla 1 Composición química del Cloruro de Magnesio

<b>Componentes Principales</b>	
Cloro	29,0 – 32,8%
Magnesio	10,0 – 12,8%
Agua	50,0 – 55,0%
<b>Componentes Menores</b>	
Sodio	0,5 -2,8%
Sulfato	0,0 – 2,0%
Potasio	0,3 – 3,8%
Litio	0,2 – 1,1%
Boro	0,1 – 0,5%

Fuente: Aplicación de la Bischofita a Caminos Costeros, 2006

Una de las características más resaltables del magnesio (bischofita) es absorber el polvo en el ambiente y suelo, se usa en sitios secos para no dar lugar a la evaporación del agua en la compactación, este producto es higroscópico conversa al terreno húmedo, se puede usar de varias formas (triturada, cristales, etc.), usando los equipos acordes al suelo, generalmente en la selva rodillo pata de cabra, sierra y costa rodillo liso esto es por el tipo de suelo.

Entre las diferentes políticas de uso para el Cloruro de Magnesio está en base al criterio o dato a tener en cuenta; por advertencia, en cuanto a sugerencias ambientales y de seguridad sobre el uso de la Bischofita, la guía para aplicar Roadmag como estabilizador de Caminos no pavimentados se señala: “de la misma manera que en cualquier obra viales, la localización de las áreas destinadas a las instalaciones de faenas y plantas de productividad, deben ser estudiadas prudentemente por el intermediario con el único objetivo de poder alejarse de aquellos sectores más sensibles al impacto ambiental.

Finalizando el trabajo se excluirá cualquier excedente del suministro de Bischofita. Se sugiere tener en conocimiento de los aspectos ambientales y seguridad:

- Ejecutar las normas según lo establecido en lo que es la explotación de las canteras
- Evitar tener contacto con el material
- Señalizar todos los tramos y más aún los de peligro según lo planteado en las normas
- Tener un plan de trabajo en lo que es parte constructiva, conforme las normas actuales
- Normas de higiene y seguridad industrial

En lo que son los efectos negativos del  $MgCl_2$  en la salud de personas:

- Inhalar el polvo que se hace cuando se está estabilizando provoca irritaciones de nariz, ojos, entre otros. En efecto estos síntomas son pasajeros; es decir, solo son del momento.

### **Estabilización del suelo**

Es un método para incrementar las propiedades físicas y mecánicas de algunos terrenos el cual no tienen las propiedades primordiales para su uso como carretera vial. Esta forma se basa en aplicar una dosificación de cloruro de

magnesio directo al terreno, que nivele de forma correcta e igual, el procedimiento aun no es perfecto porque al combinar el cloruro con el terreno, directamente hay partes donde está en menor porción el cloruro por tanto con una prueba de laboratorio es fácil homogenizar ya no tendrá fallo alguno.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de la investigación

Es una investigación aplicada, Lozada (2014): “este tipo de investigación busca determinar la influencia del uso del cloruro de magnesio en la estabilización del suelo de una carretera” (2014, p.25). La investigación aplicada se entiende su aplicabilidad de manera instantánea sobre las realidades que se observan en una comunidad o en un sector de producción de una compañía. Se encuentra basada en la relación con respecto a la teoría y el producto, donde estas investigaciones le dan valor agregado de acuerdo a la indagación básica.

En cuanto al diseño es experimental, debido a la existencia de manipulación de la variable independiente para determinar cómo la mezcla del cloruro de magnesio puede estabilizar el suelo. Hernández, Fernández y Batista (2014, p. 130) plantean que las investigaciones experimentales buscan relacionar el posible efecto de una causa que es manipulada donde aquellas que se emplean cuando el investigador busca definir el problema como tal.

#### 3.2 Variable y tipo de Operacionalización

##### 3.2.1 Variables

**Variable Independiente:** Para Hernández et al. (2014) afirma que “la variable independiente es aquella que en [...] un estudio experimental [...] modifica o altera la variable independiente” (2014, p.123)

**Variable (X):** Cloruro de sodio

**Variable dependiente:** Para Hernández et al. (2014) “la variable dependiente es aquella en la que “Se realizan los estudios correspondientes para observar el grado de manipulación que ejerce la variable independiente sobre esta” (2014, p.123)

**Variable (Y):** Estabilización de suelos

##### 3.2.2 Operacionalización

Para Carrasco (2017), la operacionalización es un proceso metodológico que tiene como fin hacer una descomposición de las variables en indicadores, índices e ítems. Su empleo permite realizar una matriz cuyo propósito es la

de diseñar y elaborar los instrumentos de recolección de información empírica, que son a su vez los que permitirán contrastar las hipótesis formuladas por parte del investigador (p. 226).

En este sentido, en la tabla 1 se establece la operacionalización de las variables del estudio.

Tabla 2 Matriz de Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
Variable Independiente: Cloruro de magnesio	El cloruro de magnesio es un elemento mineral de aspecto cristalizado, cuya aplicación en las vías terrestres es utilizada para estabilizar los suelos absorbiendo la humedad del ambiente y materiales como el polvo que la rodean, para reducir el punto de evaporación y mejorar la resistencia del suelo (Roldan, 2010, p. 20)	El cloruro de magnesio cuando se agrega a la muestra del terreno a ser estabilizado, disminuye su punto de ebullición y/o evaporación del agua. Cuando se seca el cloruro de magnesio toma forma de cristales en las superficies y vacíos.	Porcentaje de dosificación de cloruro de magnesio	Dosificación de cloruro de magnesio al 1%, 3% y 5% respecto al peso de la muestra.	Razón
Variable Dependiente: Estabilización de suelo	Procedimiento que se lleva para lograr más estabilidad en el suelo, donde se pueden seguir dos procesos, el primero está orientada a aumentar la densidad de suelo mediante la compactación mecánica y el segundo proceso se da por mezclar un material de granulometría gruesa Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (2013, p. 25)	El procedimiento de la estabilización del suelo se realizará por medio del empleo de granulometría gruesa, el cual se evaluará por medio de ensayos con la finalidad de observar las modificaciones o alteraciones de las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estudio y de esta manera poder evidenciar las mejoras.	Propiedades Físicas	Análisis Granulométrico Límites de Atterberg (%) Proctor modificado (%)	Razón
			Propiedades Mecánicas	California Bearing Ratio CBR) (%)	Razón

Fuente: Elaboración propia (2020).

### **3.3 Población, muestra, muestreo y unidad de análisis**

#### **3.3.1 Población**

Se entiende por población al “conjunto de todos los elementos (unidades de análisis) que pertenecen al ámbito espacial donde se desarrolla el trabajo de investigación.” (Carrasco, 2017, pp. 236 y 237). Para el desarrollo de la investigación la población estuvo conformada por suelo estabilizado sin agregado de cloruro de magnesio y suelo estabilizado con agregado de cloruro de magnesio (en diferentes dosis), ambos de la del tramo de la carretera Huancaray –San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870.

#### **3.3.2 Muestra**

Palomino, Peña, Zevallos y Orizano (2015) “Es un subconjunto o subgrupo fielmente representativo de las características de la población, y se obtiene con la intención de inferir propiedades de la totalidad de la población” (p.141). En este sentido, la muestra estuvo conformada por 1 molde de suelo estabilizado sin agregado de cloruro de magnesio que se denominará muestra control y 3 moldes de suelo estabilizado con agregado de cloruro de magnesio (en diferentes dosis) que se denominará muestra experimental.

#### **3.3.2 Muestreo**

El muestreo utilizado fue el no probabilístico que, según Carrasco, (2017, p. 245) la define como aquella técnica en donde las muestras son recogidas en un proceso no equitativo de oportunidades hacia los individuos. A su vez está dentro del tipo muestreo discrecional, que es el conocido como muestreo intencional, donde este tipo de toma de muestras, consiste cuando los sujetos de estudios son elegidos para formar parte de la muestra con un objetivo específico.

En este caso, se realizó la elección de la muestra buscando tramo que permitiesen las excavaciones.

### 3.3.2.1 Ubicación del muestreo

El tramo para la obtención de la muestra está comprendido entre Km. 21+370 al 21+ 870, este tramo se consideró como crucial y lo cual se requirió realizar las calicatas para la toma de muestra de suelo. Las calicatas realizadas fueron excavaciones de 1.50 m de profundidad, un ancho de 0.80 y de largo 1.60 m. cada muestra se tomó a 250 metros de diferencia cada una.

Como se puede observar al momento de tomar cada muestra en la figura 2, 3 y 4:



Figura 2 toma de muestra número 1  
Fuente: Elaboración propia



Figura 3 toma de muestra número 2  
Fuente: Elaboración propia



Figura 4 toma de muestra número 3  
Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3 Unidad de Análisis

Carrasco (2017) afirma que esta unidad “es entendida como la entidad mayor o representativa de lo que será objeto específico de estudio en una medición y se refiere al qué o quién es el objeto de interés” (p.245), para la investigación que se va a realizar, en este caso se refiere a la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870, Región Apurímac.

A su vez para esta investigación, las unidades de análisis serán cada una de las probetas utilizadas en cada uno de los ensayos.

## 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

### 3.4.1 Técnicas

Arias (2012) plantea que las técnicas son “el procedimiento o forma particular de obtener datos o información” (p. 67). En este sentido, para efectos de la investigación las técnicas empleadas fueron la observación, la cual permite “[...] observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis.” (Palomino et al., 2015, p. 162).

Para iniciar la observación se procedió a realizar una visita de campo, que permitió que se ubicara los posibles lugares para extraer las muestras, luego de ubicar el tramo de estudio que es del Km. 21+370 hasta 21+ 870, se seleccionó los puntos para la realización de calicatas. Se ubicaron tres puntos para las calicatas cada 200 metros.

Posteriormente, se realizaron las excavaciones de las calicatas en los lugares seleccionados; las longitudes de la excavación fueron de una profundidad de 1.50 m, ancho 0.80 m y largo 1.60 m. Después se procedió a trasladar las muestras de suelo al laboratorio para su investigación de tal forma que ayuden con el desarrollo del estudio.

### 3.4.2 Instrumentos

Los instrumentos son “[...] cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información” (Arias, 2012, p. 68). En este sentido, a fin de cumplir con los objetivos del presente trabajo de investigación se hizo uso de la ficha de observación, la cual de acuerdo a Palomino et al. (2015) estas permiten “registrar datos que aportan otras fuentes como son personas, grupos o lugares donde se presenta la problemática.” (p. 174).

Tabla 3 instrumentos de recolección de información

Técnica	Instrumento	Fuente de información
Observación	Fotos, videos, apuntes	Zona de estudio
Trabajo de Campo (Calicatas)	Herramientas de campo	Zona de Estudio
Trabajo de Laboratorio	Ensayos y Ficha Técnica de Observación	Zona de laboratorio

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3 Validez

De acuerdo a Hernández et al. (2014), la validez es el valor de aceptación de acuerdo a la medida que efectúa el instrumento de recolección de información en relación a su variable a ser analizada.

Para este estudio la validación está representada por la ficha técnica de observación (ver anexo 5) la cual será validada por el método del juicio de experto especialistas en los diferentes ensayos a realizar (ver anexo 2).

Con respecto a los ensayos están validados por las normas peruanas e internacionales con respecto a los estudios de suelos.

### **3.4.3 Confiabilidad**

La confiabilidad consiste en que el error de manera aleatoria, nula en relación al o los instrumentos utilizados para la recolección de información que se fundamenta en la veracidad en donde las comprobaciones no tienen desviación o presentan abandono de la misma de acuerdo a los errores de origen. (Palella y Martins, 2012). En este sentido la confiabilidad de los ensayos a realizar son formatos estandarizados en la calibración de los equipos empleados cumpliendo las normas técnicas peruana (NTP) tanto en los laboratorios certificados de aprobación con respecto a lo establecido en la norma internacional de calidad ISO 9001, que está más que comprobado sus estándares de calidad.

- NTP 339.128:1999 SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico.
- NTP 339.129:1999 SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.
- NTP 339.145:1999 SUELOS. Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio
- NTP 339.141 (ASTM D1557) Ensayo de Compactación Proctor Modificado

### **3.5 Trabajo de campo**

En el trabajo de campo se llevó a cabo la observación y registro de excavaciones exploratorias (calicatas) se notó el espesor de los estratos del suelo; empleando el procedimiento de campo; es decir el visual-manual, a fin de obtener cada una de las muestras correspondiente.

Se realizaron 3 excavaciones de pozos exploratorios (calicatas) en el tramo de muestra de estudio el 20 de mayo del 2020, con una profundidad de 1.50 m, y

un área de 0.80 m de ancho y 1.60 m largo, distribuías convencionalmente a 200m entre cada calicata en el lado izquierdo de la carretera. Como se puede observar el lugar donde se procedió a realizar dicha excavación (figura 5).

Se procedió a colocar en bolsa cada muestra para luego ser llevada al laboratorio para establecer sus respectivos ensayos de la muestra control y las muestras experimentales.



Figura 5 Carretera donde se va tomar la muestra  
Fuente; Elaboración propia, 2020

### 3.6 Procedimientos

1.- Toma de muestras: Para iniciar se realizó la observación en el tramo de estudio que es del Km. 21+370 hasta 21+ 870, con el fin de seleccionar los puntos para la realización de calicatas cada 200 metros. Posterior a ello, se realizaron las excavaciones de las calicatas con longitudes de excavación: profundidad 1.50 m, ancho 0.80 m y largo 1.60 m. Después se procedió a trasladar las muestras de suelo al laboratorio para su investigación de tal forma que ayuden con el desarrollo del estudio. Finalmente se colocaron las muestras en bolsas separadas para ser llevada al laboratorio a fin de realizarse los respectivos ensayos.

2.- Análisis Granulométrico: Por Tamizado (ASTM D-422) entendido como aquella distribución de las partículas de un suelo de acuerdo a su tamaño. Esta logra determinar a través del tamizado o paso del agregado por mallas de distintos diámetros hasta el tamiz N°200 (diámetro = 0.074mm), tomando el material que pasa por la malla en forma global.

### Procedimiento para el análisis Granulométrico

Primer paso: En un recipiente se añade la muestra hasta obtener el material suficiente que permita realizar el análisis, 3kg. aproximadamente.

Segundo Paso: Dejar secar la muestra en el horno por 16 horas, con una temperatura de 110°C o a la intemperie (siempre y cuando el clima sea favorable), hasta llegar al peso constante.

Tercer paso: Pesar a 2 kg a fin de realizar lavado correspondiente de la muestra y excluir los finos

Cuarto Paso: Lavar y vertir el agua en el material retenido en el Tamiz N° 200, eliminando de esta manera el material que pasa por el mismo.

Quinto paso: Por último, se realiza el tamizado de la muestra excedente, pesando y haciendo un registro de lo retenido en cada tamiz.

3.- Límite de Atterberg: La ASTM 4020 indica que dicho límite es “entendido como un principio de seis límites de consistencia de los suelos de grano fino que fue definido por Albert Atterberg: el límite superior de flujo viscoso, el límite líquido, el límite pegajoso, el límite de la cohesión, el límite plástico, y el límite de la contracción. Para el empleo en la ingeniería actual, el término se refiere sólo al límite líquido, límite plástico, y en algunas referencias, el límite de la contracción”.

Para el límite plástico (MTC E111) es aquel contenido de agua, en porcentaje, de un suelo que corresponde al límite entre los estados plástico y semisólido, asimismo se designa a la humedad que es la más baja con la que se puede formar barras de suelo de 3.2mm (1/8”) de diámetro, sin que se pueda desmoronar.

### Procedimiento para el Límite Plástico

Paso 1: Envolver la masa con la mano.

Paso 2: Con la placa de vidrio de tierra con suficiente presión justo para rodar la masa en un hilo de diámetro uniforme en toda su longitud. El hilo se deforma más en cada movimiento a fin de que su diámetro llega a 3,2 mm (1/8 de pulgada).

Paso 3: La cantidad de amasado o la presión del dedo requerida variará mucho de acuerdo al suelo que se prueba; es decir, la presión requerida típicamente aumenta con el aumento de la plasticidad. Los suelos frágiles de baja plasticidad son los mejores enrollada debajo del borde exterior de la palma de la mano o en la base del pulgar.

Paso 4: Se procede a estimar el promedio de dos contenidos de humedad y repetir el ensayo si la diferencia entre los dos contenidos de humedad es mayor que el rango aceptable.

Para el límite líquido (MTC E110) “es entendido como el contenido de agua, en porcentaje, de un suelo en el límite definido arbitrariamente que está entre los estados semilíquidos y plástico”.

#### Procedimiento para el Límite Plástico

Paso 1: En un bowl de material de porcelana se coloca la muestra de suelo mezclada con 15 ml de agua destilada con una espátula de forma alterna y repetida.

Paso 2: Incrementar agua de 1 a 3 ml, mezclando en su totalidad cada incremento de agua con el suelo antes de cualquiera nueva adición.

Paso 3: Cuando haya sido mezclada suficiente agua completamente con el suelo y la consistencia producida requiere de 25-35, 20-30 y de 15-25 golpes de la cazuela de bronce para que ocasione cierre, coloque una porción de mezcla en la cazuela sobre el sitio en que ésta reposa en la base y comprímase hacia abajo.

Paso 4: Procede a dividir el suelo en la taza de bronce por pasadas firmes a lo largo del diámetro y a través de la línea central de la masa del suelo de modo que se forme una ranura limpia y de dimensiones apropiadas.

Paso 5: Procede a elevar y golpear la taza de bronce girando la manija, a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta del suelo se pongan en contacto con el fondo de la ranura, a lo largo de una distancia de cerca de 13 mm (0.5”) y se anota el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.

Paso 6: Extraer una tajada de suelo aproximadamente del ancho de la espátula, tomándola de uno y otro lado y en ángulo recto con la ranura y colocarlo en un recipiente adecuado.

Paso 7: Proceder a pesar y anotar, colocando la tajada en el horno o estufa de 110+- 5 °C. Hasta obtener peso constante, anote del peso y la pérdida de peso al secamiento y el peso de agua.

Paso 8: Proceder a calcular el contenido de humedad del suelo y anota.

4.- Proctor Modificado: Consiste en realizar repeticiones, para conocer la relación existente entre el contenido de agua suelo y su peso seco unitario, obteniendo la diferencia entre el proctor control y proctor modificado.

#### Procedimiento para el Proctor Modificado

Paso 1: Tomar la muestra seca y acondicionarla con una determinada cantidad de agua, hasta lograr que el contenido de humedad de cada una de ellas pueda variar aproximadamente en 1 ½ % entre ellas,

Paso 2: Ensamblar el molde cilíndrico con la placa de base y el collar de extensión y el papel filtro.

Paso 3: Compactar la muestra en 5 capa, en cada capa con 25 golpes, se determinó el contenido de humedad de cada muestra.

Paso 4: Determinar la densidad seca de cada muestra compactada. (Ds), Dibujar la curva de compactación en la escala natural. El dato de contenido de humedad se registra en el eje de abscisas y los datos de densidad seca en el eje de ordenadas.

Paso 5: Determinar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad.

5.- California Bearing Ratio: Consiste en la determinación de un índice de resistencia de los suelos, al que se denomina valor de relación de soporte.

#### Procedimiento para California Bearing ratio:

Paso 1: Pesar el molde con su base.

Paso 2: Se recomienda usar tres o nueve moldes para cada muestra según el tipo de suelo.

Paso 3: En el primer molde se efectuará dando 55 golpes, el segundo 26 y el tercero 12.

Paso 4: La inmersión se realizará colocando la muestra invertida la placa perforada con el vástago.

Paso 5: Para la penetración se usará el pistón será de 10 lbf (44.5N) con una altura de caída de 18 pulgadas (457 mm), con una velocidad de penetración uniforme de 1.27mm por minuto

Paso 6: Se procede a anotar las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones

### **3.7 Método de análisis de datos**

Se realizará al haber obtenido los resultados de los ensayos realizados conforme indica la norma técnica peruana, siendo estas: NTP 339.128:1999 SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico; NTP 339.129:1999 SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos; NTP 339.145:1999 SUELOS. Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio; NTP 339.141 (ASTM D1557) Ensayo de Compactación Proctor Modificado. A partir de estos resultados se realizó el análisis descriptivo en donde se detalla las características de cada una de las muestras con el fin de precisar las propiedades físicas y mecánicas del suelo estabilizado y de esta manera conocer cuál de los porcentajes de agregado de cloruro de magnesio reporta mejores resultados. Asimismo, se procedió a realizar el análisis inferencial respectivo que permitirá la validación de las hipótesis generales y específicas planteadas. Toda la información del análisis de datos será presentada empleando para ello tablas y gráficos.

### **3.7.1 Metodología empleada**

#### Método de Observación:

Proceso de selección de los tramos críticos de la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi, Región Apurímac, donde se pudo observar deliberadamente el tipo de superficie que hay en los tramos Km. 21+370 hasta 21+ 870.

#### Método Inductivo:

Se inició la investigación de casos específicos a casos generales, que se fijaron en el laboratorio con la adición del cloruro de magnesio para la mejora de la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi, Región Apurímac, progresiva Km. 21+370 hasta 21+ 870.

#### Método comparativo:

El método comparativo se refiere a la comparación de las muestras con suelo en estado natural y con la adición del cloruro de magnesio.

### **3.7.2 Procedimiento metodológico**

En el estudio se tuvo la siguiente secuencia: primeramente, se llevó la localización y ubicación de la muestra, después se seleccionó el tramo más crítico y se delimitó la zona cada doscientos metros, se extrajo la muestra de cada calicata y colocadas en bolsas especiales para que conserve su humedad natural, posteriormente se llevó al laboratorio para dar mayor énfasis en los estudios correspondiente a la investigación.

### **3.8 Aspectos éticos**

Para este estudio se consideró las siguientes características éticas como son:

- Se respetó la información intelectual de los autores citados, para ello se empleó el método de referenciarían previsto en la norma ISO 690 y 690-2.
- El investigador respetó la veracidad de los investigadores como sus trabajos previos.
- Se realizó un trabajo de investigación inédito por lo que no es una réplica de otras investigaciones.

- Se respetó la autenticidad de los datos de los ensayos realizados, los mismos que se obtuvieron a través de la ficha de observación.
- Se respetó el margen del software del turniti de la universidad.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Análisis descriptivos

A Continuación, se presentan los análisis descriptivos correspondientes a los ensayos realizados, se muestra en primer lugar el ensayo de Granulometría, en segundo lugar, el ensayo de Límites de Atterberg, en tercer lugar el ensayo Proctor Modificado y por último el ensayo California Bearing Radial CBR.

#### 4.1.1. Granulometría

El presente ensayo se realizó conforme a lo indicado en la norma MTC E107 en el laboratorio Ingenieros & Laboratorios de Suelos S.A.C. A cargo de un especialista en el tema.

Tabla 4 Resultado análisis granulométrico

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO								
MTC E 107-2000								
TAMICES		MATERIAL RETENIDO			MATERIAL QUE PASA (%)	ESPECIFICACIONES		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
Pulg.	mm	PESO (g)	PARCIAL (%)	ACUMULADO (%)		MIN. (%)	MAX. (%)	
3"	76.20							
2 1/2"	63.50							PORCION FINOS : 300 g
2"	50.80							% DE HUMEDAD : 3.5
1 1/2"	38.10	308.0	5.0	5.0	95.0			TAMAÑO MAXIMO :
1"	25.40	426.0	6.9	11.9	88.1			% DE GRAVA : 70.8
3/4"	19.05	437.0	7.1	19.0	81.0			% DE ARENA : 29.2
1/2"	12.70	1172.0	19.1	38.1	61.9			% PASANTE Nº 200 : 9.6
3/8"	9.53	682.0	11.1	49.2	50.8			L. L. : 35 %
1/4"	6.35							L. P. : 26.5 %
Nº 4	4.75	1332.0	21.7	70.8	29.2			I. P. : 8.5 %
Nº 8	2.36							M. F. :
Nº 10	2.00	93.0	9.0	79.9	20.1			CLASIFIC. SUCS : GP-GM
Nº 16	1.19							CLASIF. AASHTO : A-2-4 (0)
Nº 20	0.85							D <sub>10</sub> 0.095 C <sub>u</sub> 127.47
Nº 30	0.60							D <sub>30</sub> 4.679 C <sub>c</sub> 20.77
Nº 40	0.42	75.0	7.3	87.2	12.6			D <sub>60</sub> 12.086
Nº 50	0.30							OBSERVACIONES:
Nº 60	0.25							
Nº 80	0.18							
Nº 100	0.15	22.0	2.1	89.3	10.7			
Nº 140	0.11							
Nº 200	0.074	11.0	1.1	90.4	9.6			
BANDEJA		99.0	9.6	100.0				

Fuente: Elaboración propia



Figura 6 Curva granulométrica.  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2. Límites de Atterberg (%)

Este ensayo se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma MTC E110 / MTC E111 en el laboratorio Ingenieros & Laboratorios de Suelos S.A.C. A cargo de un especialista en el tema.

Tabla 5 Características del índice de plasticidad del suelo en estudio.

CLASIFICACIÓN		LL (%)	LP (%)	IP (%)
SUCS	AASHTO			
GP - GM	A-2-4(0)	35	26.5	8.5

Fuente: Elaboración propia

La tabla 5 demuestra que con la evaluación realizada por el método AASHTO el suelo se clasifica como A-2-4 (0), lo que indica que es un suelo con una calificación: Excelente - Bueno y mediante el método SUCS se evidencia que el suelo es clasificado como GP – GM que corresponde a una grava mal gravada con limo.

El límite Líquido calculado corresponde a 35% y el índice de plasticidad de 8,5%; estando conforme a lo establecido en la norma que indica que para la estabilización de suelos el Límite Líquido máximo permitido es de 35% (MTC E 11<sup>o</sup>) y el índice de plasticidad debes estar entre 4% y 9% (MTC E 11<sup>o</sup>). Asimismo, para la estabilización con MgCl<sub>2</sub> el índice de plasticidad debe ser igual o menos a 15% de acuerdo a lo indicado Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (EG-2013).

#### 4.1.3. Proctor Modificado (%)

##### *Proctor con 0% de MgCl<sub>2</sub>*

Este ensayo se hizo conforme lo estipula la norma MTC E115, en el laboratorio Ingenieros & Laboratorios de Suelos S.A.C. A cargo de un especialista en el tema.

La tabla 6 muestra los resultados del ensayo de proctor para una muestra sin la adición de cloruro de magnesio, teniendo el siguiente comportamiento:

Tabla 6: Proctor con 0% de MgCl<sub>2</sub>

ENSAYO DE COMPACTACION MTC E 115-2000						
METODO DE COMPACTACION:	C	VOLUMEN DEL MOLDE:		2151 cm <sup>3</sup>	MOLDE N°:	3
<b>COMPACTACION</b>						
N° ENSAYO		1	2	3	4	
PESO MOLDE + SUELO	(g)	12345.0	12708.0	12985.0	12780.0	
PESO MOLDE	(g)	8036	8036	8036	8036	
PESO SUELO COMPACTADO	(g)	4309	4672	4949	4744	
DENSIDAD HUMEDA	(g/cm <sup>3</sup> )	2.003	2.172	2.301	2.205	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
RECIPIENTE N°		0	0	0	0	
PESO SUELO HUMEDO + TARA	(g)	612.0	608.0	615.0	620.0	
PESO SUELO SECO + TARA	(g)	575.0	561.0	557.0	552.0	
PESO DEL AGUA	(g)	37.0	47.0	58.0	68.0	
PESO DEL RECIPIENTE	(g)	0.0	0.0	0.0	0.0	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	575.0	561.0	557.0	552.0	
CONTENIDO HUMEDAD	(%)	6.4	8.4	10.4	12.3	
DENSIDAD SECA	(gr/cm <sup>3</sup> )	1.882	2.004	2.084	1.984	

Fuente: Elaboración propia

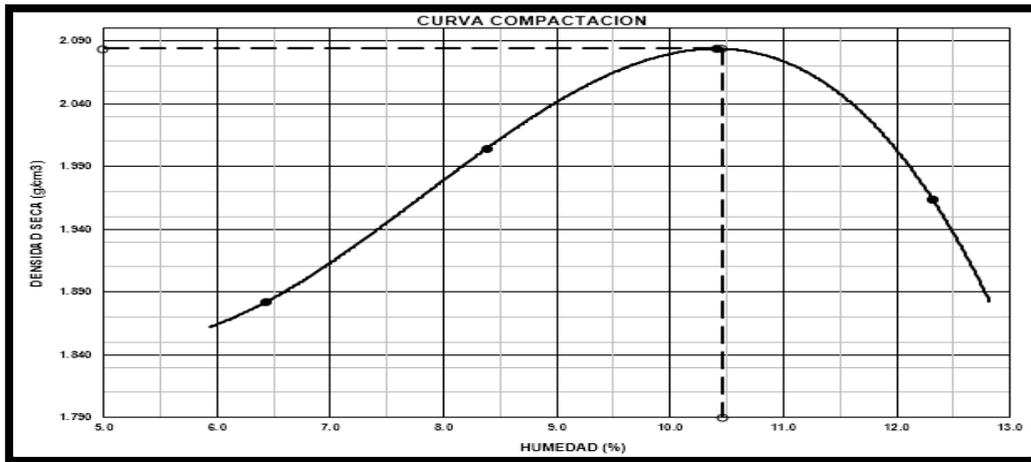


Figura 7 Densidad seca máxima y optimo contenido de humedad de suelo con 0% de MgCl<sub>2</sub>.  
Fuente: Elaboración propia

<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	<b>2.084 g/cm<sup>3</sup></b>	<b>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>10.5 %</b>
-----------------------------	-------------------------------	------------------------------------	---------------

### Proctor con 1% de MgCl<sub>2</sub>

Los resultados del ensayo de proctor para una muestra experimental con 1% de agregado de cloruro de magnesio, teniendo el siguiente comportamiento, ver tabla 7.

Tabla 7: Proctor con 1% de MgCl<sub>2</sub>

ENSAYO DE COMPACTACION MTC E 115-2000					
METODO DE COMPACTACION:	C	VOLUMEN DEL MOLDE:	2151 cm <sup>3</sup>	MOLDE N°:	3
<b>COMPACTACION</b>					
N° ENSAYO		1	2	3	4
PESO MOLDE + SUELO (g)		12367.0	12726.0	13007.0	12870.0
PESO MOLDE (g)		6036	6036	6036	6036
PESO SUELO COMPACTADO (g)		4331	4690	4971	4834
DENSIDAD HUMEDA (g/cm <sup>3</sup> )		2.013	2.180	2.311	2.247
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
RECIPIENTE N°		0	0	0	0
PESO SUELO HUMEDO + TARA (g)		699.0	695.0	702.0	707.0
PESO SUELO SECO + TARA (g)		656.0	640.0	635.0	628.0
PESO DEL AGUA (g)		43.0	55.0	67.0	79.0
PESO DEL RECIPIENTE (g)		0.0	0.0	0.0	0.0
PESO DEL SUELO SECO (g)		656.0	640.0	635.0	628.0
CONTENIDO HUMEDAD (%)		6.6	8.6	10.6	12.6
DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> )		1.890	2.008	2.090	1.996

Fuente: Elaboración propia

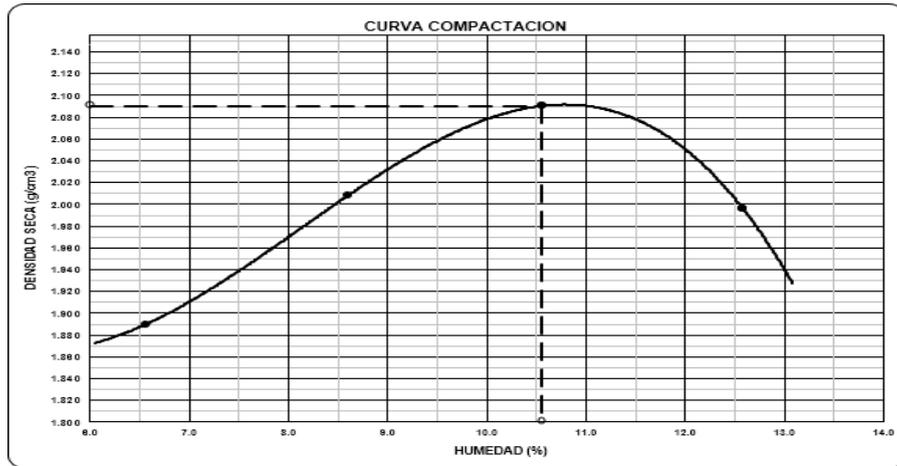


Figura 8 Densidad seca máxima y optimo contenido de humedad de suelo con 1% de MgCl2...

Fuente; Elaboración propia

<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	<b>2.09</b> gr/cm <sup>3</sup>	<b>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>10.6 %</b>
-----------------------------	--------------------------------	------------------------------------	---------------

**Proctor con 3% de MgCl2**

La tabla 8 muestra los resultados del ensayo de proctor para una muestra experimental con 3% de agregado de cloruro de magnesio, teniendo el siguiente comportamiento:

Tabla 8 Proctor con 3% de MgCl2

ENSAYO DE COMPACTACION MTC E 115-2000					
METODO DE COMPACTACION:	C	VOLUMEN DEL MOLDE:	2151 cm <sup>3</sup>	MOLDE N°:	3
<b>COMPACTACION</b>					
N° ENSAYO		1	2	3	4
PESO MOLDE + SUELO (g)		12730.0	13125.0	13370.0	13249.0
PESO MOLDE (g)		8036	8036	8036	8036
PESO SUELO COMPACTADO (g)		4694	5089	5334	5213
DENSIDAD HUMEDA (g/cm <sup>3</sup> )		2.182	2.366	2.480	2.423
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
RECIENTE N°		0	0	0	0
PESO SUELO HUMEDO + TARA (g)		557.0	553.0	560.0	565.0
PESO SUELO SECO + TARA (g)		528.0	514.0	511.0	506.0
PESO DEL AGUA (g)		29.0	39.0	49.0	59.0
PESO DEL RECIENTE (g)		0.0	0.0	0.0	0.0
PESO DEL SUELO SECO (g)		528.0	514.0	511.0	506.0
CONTENIDO HUMEDAD (%)		5.5	7.6	9.6	11.7
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )		2.069	2.199	2.263	2.170

Fuente: Elaboración propia

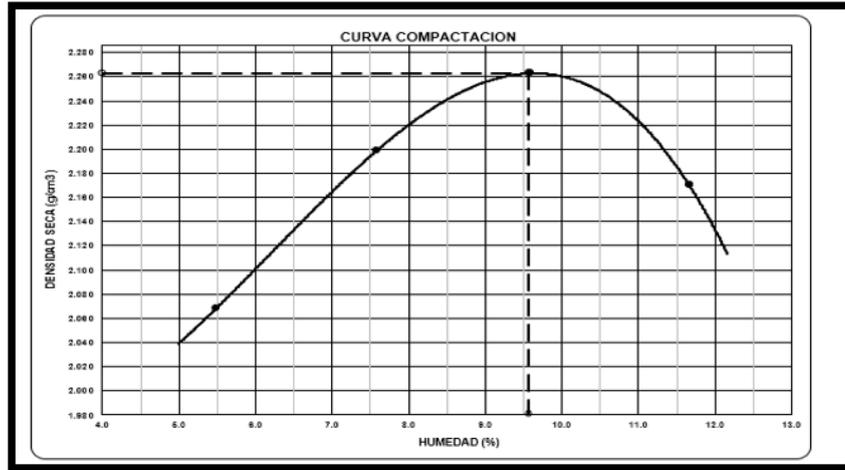


Figura 9 Densidad seca máxima y optimo contenido de humedad de suelo con 3% de MgCl<sub>2</sub>...  
Fuente; Elaboración propia, 2020

<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	<b>2.263</b> gr/cm <sup>3</sup>	<b>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>9.6 %</b>
-----------------------------	---------------------------------	------------------------------------	--------------

**Proctor con 5% de MgCl<sub>2</sub>**

Los resultados del ensayo de proctor para una muestra experimental con 3% de agregado de cloruro de magnesio, muestra el comportamiento según tabla 9.

Tabla 9: Proctor con 5% de MgCl<sub>2</sub>

ENSAYO DE COMPACTACION MTC E 115-2000						
METODO DE COMPACTACION:	C	VOLUMEN DEL MOLDE:		2151 cm <sup>3</sup>	MOLDE N°:	3
<b>COMPACTACION</b>						
N° ENSAYO		1	2	3	4	
PESO MOLDE + SUELO (g)		12647.0	13012.0	13287.0	13082.0	
PESO MOLDE (g)		8036	8036	8036	8036	
PESO SUELO COMPACTADO (g)		4611	4976	5251	5046	
DENSIDAD HUMEDA (g/cm <sup>3</sup> )		2.144	2.313	2.441	2.346	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
RECIPIENTE N°		0	0	0	0	
PESO SUELO HUMEDO + TARA (g)		497.0	493.0	500.0	505.0	
PESO SUELO SECO + TARA (g)		477.0	464.0	462.0	458.0	
PESO DEL AGUA (g)		20.0	29.0	38.0	47.0	
PESO DEL RECIPIENTE (g)		0.0	0.0	0.0	0.0	
PESO DEL SUELO SECO (g)		477.0	464.0	462.0	458.0	
CONTENIDO HUMEDAD (%)		4.2	6.3	8.2	10.3	
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )		2.057	2.177	2.256	2.128	

Fuente: Elaboración propia, 2020

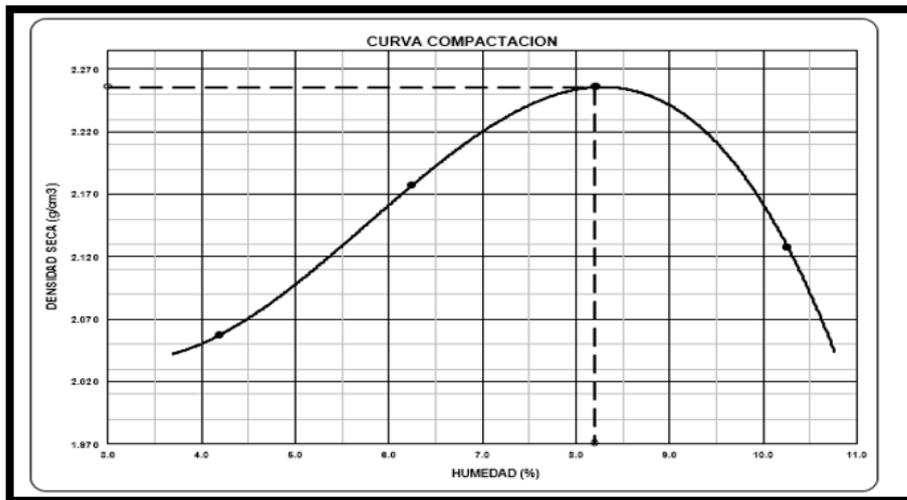


Figura 10 Densidad seca máxima y optimo contenido de humedad de suelo con 5% de MgCl2...  
Fuente; Elaboración propia, 2020

<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	<b>2.256</b> gr/cm <sup>3</sup>	<b>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>8.20</b> %
-----------------------------	---------------------------------	------------------------------------	---------------

Tabla 10: Tabla resumen resultados de Proctor Modificado

MgCl2 (%)	Máxima densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Porcentaje Óptimo de Humedad (%)
0%	2,084	10,50%
1%	2,090	10,60%
3%	2,263	9,60%
5%	2,256	8,20%

Fuente: Elaboración propia

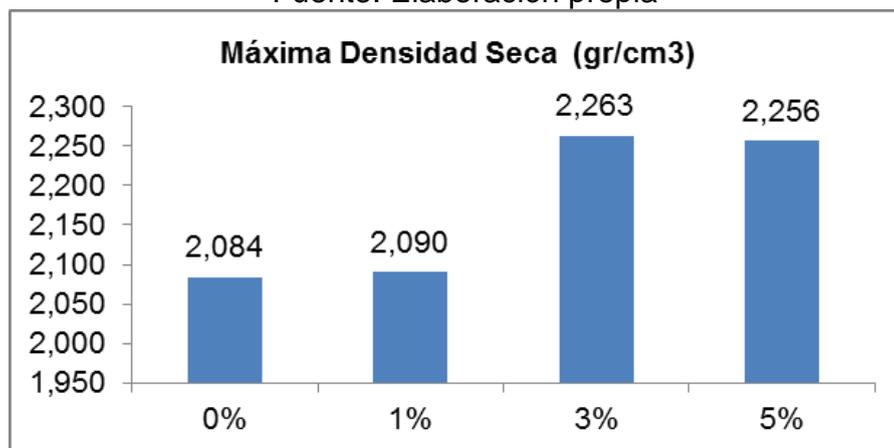


Figura 9 Gráfico resumen Máxima densidad Seca  
Fuente: Elaboración propia

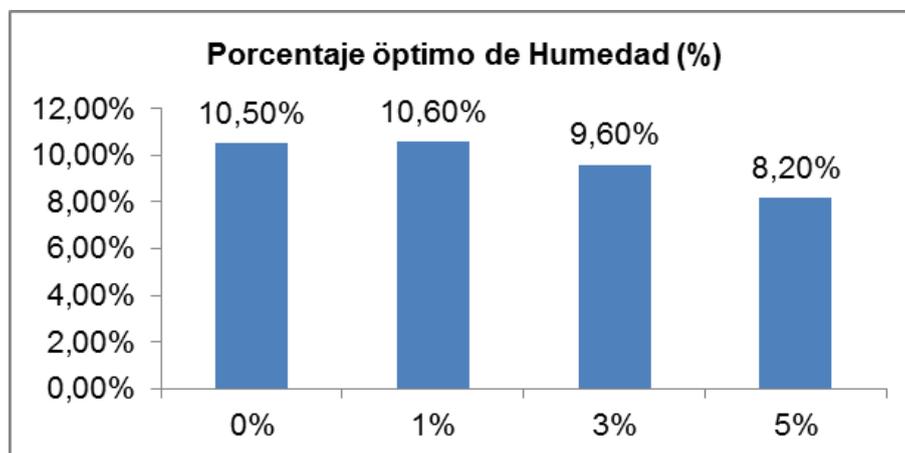


Figura 10 Gráfico resumen Porcentaje Óptimo de Humedad  
Fuente; Elaboración propia, 2020

El ensayo Proctor Modificado permite conocer la relación entre la cantidad de agua que posee el suelo estudiado y el peso seco unitario; en este sentido, se cumple lo indicado por Briones (2018) al indicar que en la medida que se incrementa el porcentaje de dosificación del  $MgCl_2$  tiende a aumentar la máxima densidad seca y a disminuir el porcentaje óptimo de humedad.

#### 4.1.4. California Bearing Ratio (CBR) (%)

El ensayo de California Bearing Ratio (CBR) se realizó de acuerdo a lo establecido en la norma MTC E132, en el laboratorio Ingenieros & Laboratorios de Suelos S.A.C. a cargo de un especialista en el tema.

##### **CBR con 0% de $MgCl_2$**

En la tabla 11 se muestra los resultados del ensayo California Bearing Ratio (CBR) para una muestra control sin agregado de cloruro de magnesio, teniendo el siguiente comportamiento:

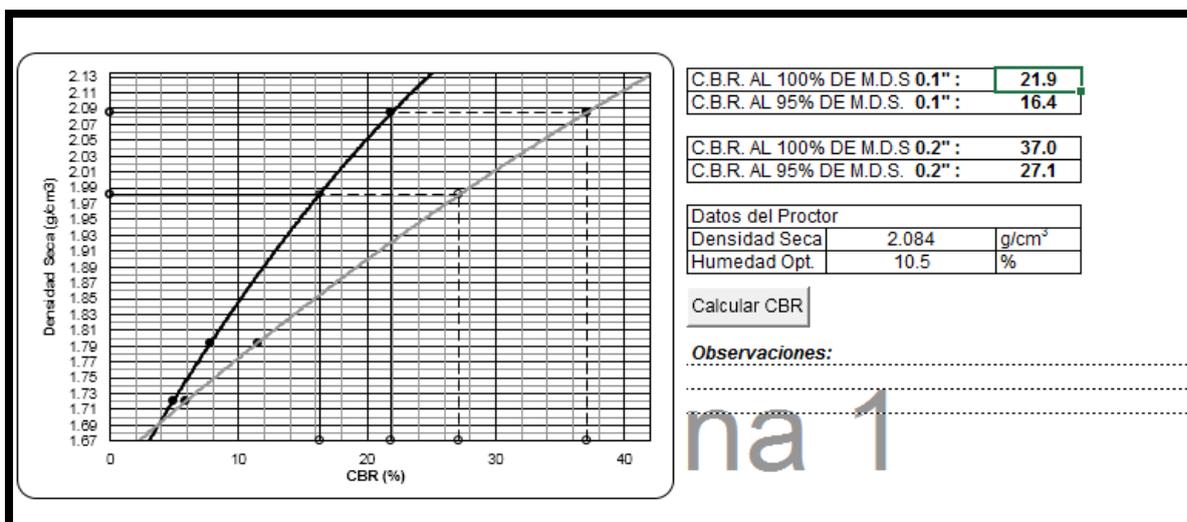
Tabla 11: Resultados de CBR con 0% de MgCl2

C.B.R DE SUELOS (LABORATORIO) MTC E 132-2000						
Molde N°	1		2		3	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
<b>Compactación</b>						
Peso molde + suelo húmedo (g)	12985	12896.0	10402	10532.0	10308	10625
Peso de molde (g)	8036	8036	6180	6180	6260	6260
Peso del suelo húmedo (g)	4949	4860	4222	4352	4048	4365
Volumen del molde (cm³)	2151	2151	2133	2133	2133	2133
Densidad húmeda (g/cm³)	2.301	2.259	1.980	2.041	1.898	2.047
<b>Contenido de Humedad</b>						
Recipiente N°						
Tara + Suelo húmedo (g)	615.00	447.60	615.00	391.00	615.00	350.4
Tara + Suelo seco (g)	557.00	422.60	557.00	368.90	557.00	321.7
Peso del Agua (g)	58.00	25.00	58.00	22.10	58.00	28.70
Tara (g)	Peso recipiente = 0.00 g Programado en balanza digital					
Peso del suelo seco (g)	557.00	422.60	557.00	368.90	557.00	321.70
Humedad (%)	10.41	5.92	10.41	5.99	10.41	8.92
Densidad seca (g/cm³)	2.084	2.133	1.793	1.925	1.719	1.879

SIN EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
22/06/2020	09:00	0	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000
23/06/2020	09:00	24	5.00	0.05	0.039	7.00	0.07	0.055	10.00	0.10	0.079
24/06/2020	09:00	48	7.00	0.07	0.055	9.00	0.09	0.071	12.00	0.12	0.094
25/06/2020	09:00	72	9.00	0.09	0.071	11.00	0.11	0.087	14.00	0.14	0.110

PENETRACION													
PENETRACION (mm.)	CARGA STAND. Kg/cm2	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div.)	Kg./cm²	Kg./cm²	%	Dial (div.)	Kg./cm²	Kg./cm²	%	Dial (div.)	Kg./cm²	Kg./cm²	%
0.00		0	0.0			0	0.0			0	0.0		
0.64		8	2.0			4	1.0			5	1.3		
1.27		15	3.8			9	2.3			8	2.0		
1.91		25	6.3			13	3.3			11	2.8		
2.54	70.31	37	9.3	21.89		19	4.8	7.80		14	3.5	4.88	
3.81		68	17.1			30	7.5			18	4.5		
5.08	105.46	120	30.2	37.04		46	11.6	11.47		25	6.3	5.86	
6.35		175	44.0			60	15.1			31	7.8		
7.62		233	58.6			77	19.3			43	10.8		
8.89		310	77.9			100	25.1			55	13.8		
10.16													
11.43													
12.70													

Fuente: Elaboración propia



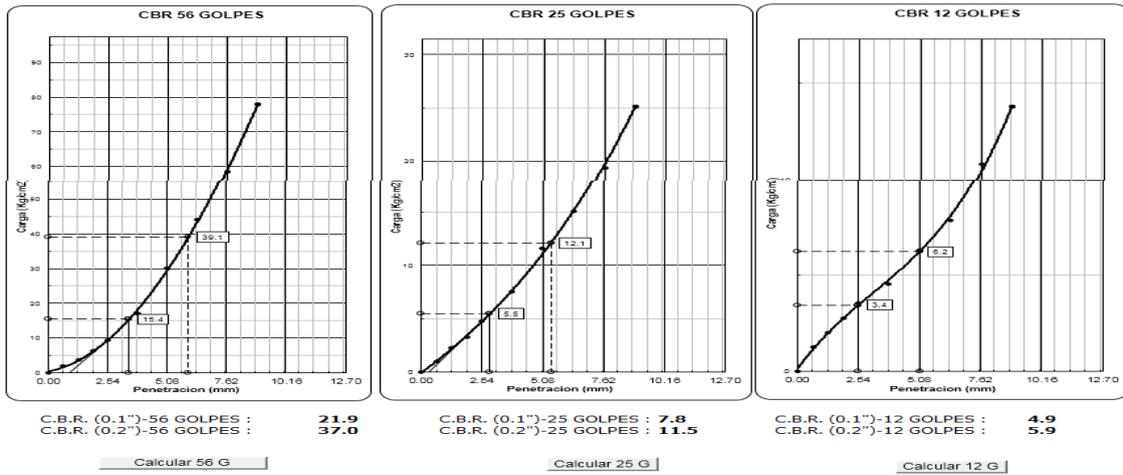


Figura 11 Gráfica Penetración muestra control  
 Fuente: Elaboración propia

**CBR con 1% de MgCl2**

En la tabla 12 se reflejan los resultados del ensayo California Bearing Ratio (CBR) para una muestra experimental con 1% de agregado de cloruro de magnesio, teniendo el siguiente comportamiento:

Tabla 12: Resultados de CBR con 1% de MgCl2

C.B.R DE SUELOS (LABORATORIO) MTC E 132-2000													
Molde N°	1		2		3								
N° Capa	5		5		5								
Golpes por capa N°	56		25		12								
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO							
<b>Compactación</b>													
Peso molde + suelo húmedo (g)	13370	13254.0	10412	10412.0	10321	10321							
Peso de molde (g)	8036	8036	6180	6180	6260	6260							
Peso del suelo húmedo (g)	5334	5218	4232	4232	4061	4061							
Volumen del molde (cm³)	2151	2151	2133	2133	2133	2133							
Densidad húmeda (g/cm³)	2.480	2.426	1.984	1.984	1.904	1.904							
<b>Contenido de Humedad</b>													
Recipiente N°													
Tara + Suelo húmedo (g)	560.00	447.60	560.00	391.00	560.00	350.4							
Tara + Suelo seco (g)	511.00	422.60	511.00	368.90	511.00	321.7							
Peso del Agua (g)	49.00	25.00	49.00	22.10	49.00	28.70							
Tara (g)													
Peso del suelo seco (g)	511.00	422.60	511.00	368.90	511.00	321.70							
Humedad (%)	9.59	5.92	9.59	5.99	9.59	8.92							
Densidad seca (g/cm³)	2.263	2.290	1.811	1.872	1.738	1.748							
<b>SIN EXPANSION</b>													
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION			
				mm	%		mm	%		mm	%		
22/06/2020	09:00	0	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000		
23/06/2020	09:00	24	5.00	0.05	0.039	7.00	0.07	0.055	10.00	0.10	0.079		
24/06/2020	09:00	48	7.00	0.07	0.055	9.00	0.09	0.071	12.00	0.12	0.094		
25/06/2020	09:00	72	9.00	0.09	0.071	11.00	0.11	0.087	14.00	0.14	0.110		
<b>PENETRACION</b>													
PENETRACION (mm.)	CARGA STAND. Kg/cm2	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div.)	Kg./cm²	Kg./cm²	%	Dial (div.)	Kg./cm²	Kg./cm²	%	Dial (div.)	Kg./cm²	Kg./cm²	%
0.00		0	0.0			0	0.0			0	0.0		
0.64		20	5.0			8	2.0			3	0.8		
1.27		50	12.6			17	4.3			7	1.8		
1.91		85	21.4			34	8.5			16	4.0		
2.54	70.31	120	30.2	41.26		49	12.3	23.78		25	6.3	14.86	
3.81		170	42.7			90	22.6			50	12.6		
5.08	105.46	225	56.5	54.38		135	33.9	39.20		85	21.4	28.32	
6.35		279	70.1			205	51.5			135	33.9		
7.62		335	84.2			269	67.6			196	49.3		
8.89		386	97.0			379	95.2			285	71.6		
10.16													
11.43													
12.70													

Fuente; Elaboración propia, 2020

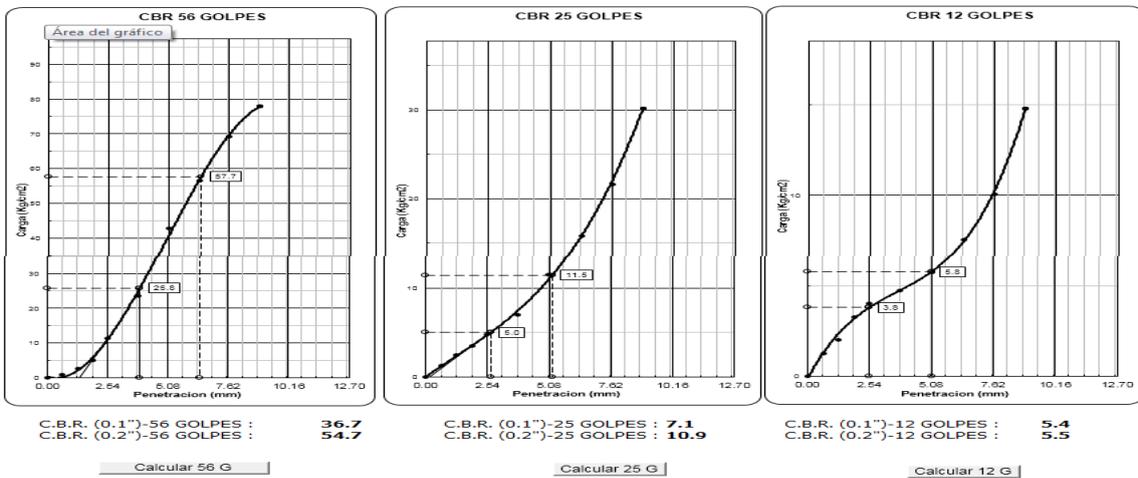
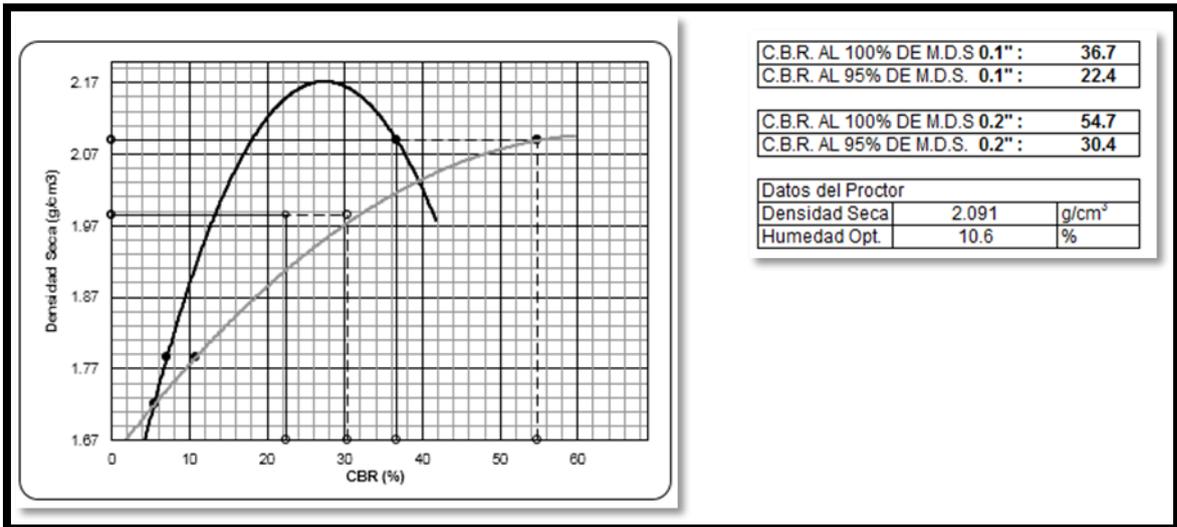


Figura 12 Gráfica Penetración muestra experimental con 1% de MgCl<sub>2</sub>

Fuente: Elaboración propia

### CBR con 3% de MgCl<sub>2</sub>

La tabla 13 se muestra los resultados del ensayo California Bearing Ratio (CBR) para una muestra experimental con 3% de agregado de cloruro de magnesio, teniendo el siguiente comportamiento:

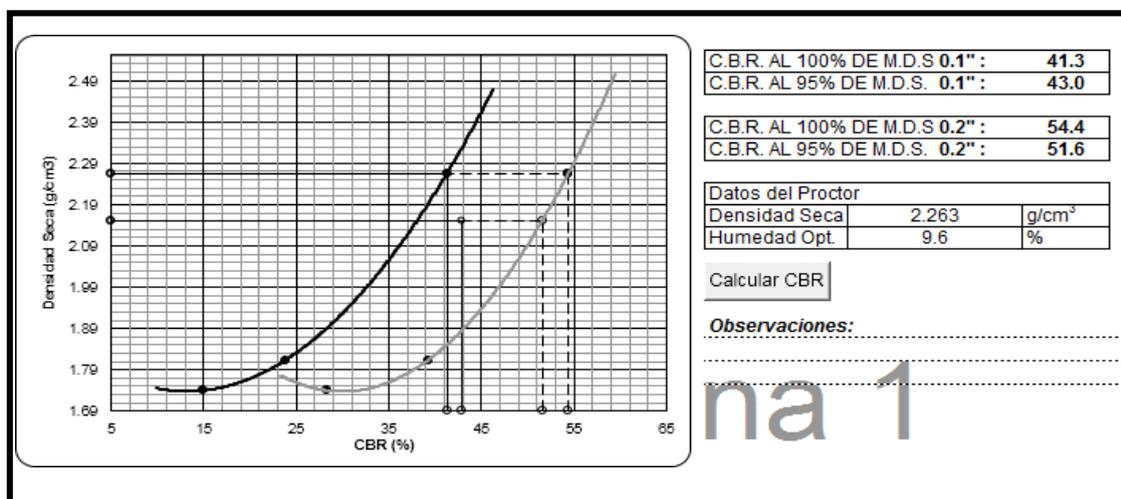
Tabla 13: Resultados de CBR con 3% de MgCl2

C.B.R DE SUELOS (LABORATORIO) MTC E 132-2000						
Molde N°	1		2		3	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
<b>Compactación</b>						
Peso molde + suelo húmedo (g)	13370	13254.0	10412	10412.0	10321	10321
Peso de molde (g)	8036	8036	6180	6180	6260	6260
Peso del suelo húmedo (g)	5334	5218	4232	4232	4061	4061
Volumen del molde (cm³)	2151	2151	2133	2133	2133	2133
Densidad húmeda (g/cm³)	2.480	2.426	1.984	1.984	1.904	1.904
<b>Contenido de Humedad</b>						
Recipiente N°						
Tara + Suelo húmedo (g)	560.00	447.60	560.00	391.00	560.00	350.4
Tara + Suelo seco (g)	511.00	422.60	511.00	368.90	511.00	321.7
Peso del Agua (g)	49.00	25.00	49.00	22.10	49.00	28.70
Tara (g)	Peso recipiente = 0.00 g Programado en balanza digital					
Peso del suelo seco (g)	511.00	422.60	511.00	368.90	511.00	321.70
Humedad (%)	9.59	5.92	9.59	5.99	9.59	8.92
Densidad seca (g/cm³)	2.263	2.290	1.811	1.872	1.738	1.748

SIN EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
22/06/2020	09:00	0	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000
23/06/2020	09:00	24	5.00	0.05	0.039	7.00	0.07	0.055	10.00	0.10	0.079
24/06/2020	09:00	48	7.00	0.07	0.055	9.00	0.09	0.071	12.00	0.12	0.094
25/06/2020	09:00	72	9.00	0.09	0.071	11.00	0.11	0.087	14.00	0.14	0.110

PENETRACION													
PENETRACION (mm.)	CARGA STAND. Kg/cm2	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div.)	Kg./cm²	Kg./cm²	%	Dial (div.)	Kg./cm²	Kg./cm²	%	Dial (div.)	Kg./cm²	Kg./cm²	%
0.00		0	0.0			0	0.0			0	0.0		
0.64		20	5.0			8	2.0			3	0.8		
1.27		50	12.6			17	4.3			7	1.8		
1.91		85	21.4			34	8.5			16	4.0		
2.54	70.31	120	30.2	41.26		49	12.3	23.78		25	6.3	14.86	
3.81		170	42.7			90	22.6			50	12.6		
5.08	105.46	225	56.5	54.38		135	33.9	39.20		85	21.4	28.32	
6.35		279	70.1			205	51.5			135	33.9		
7.62		335	84.2			269	67.6			196	49.3		
8.89		386	97.0			379	95.2			285	71.6		
10.16													
11.43													
12.70													

Fuente: Elaboración propia



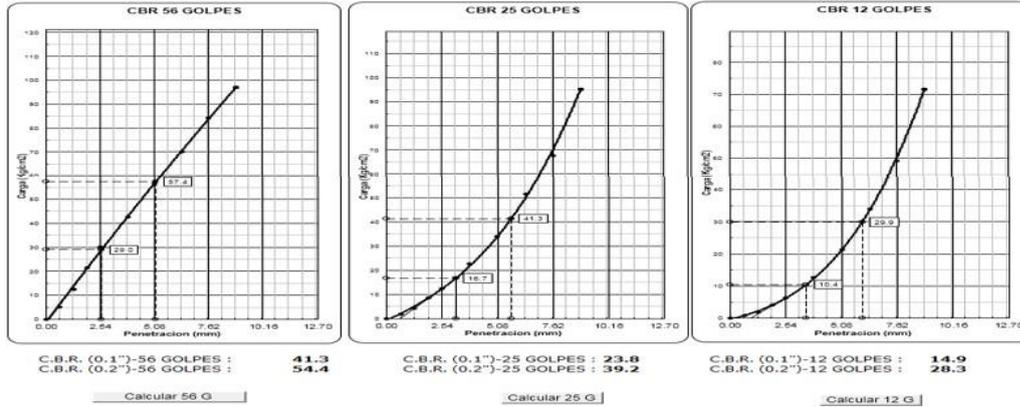


Figura 15 Gráfica Penetración muestra experimental con 3% de MgCl<sub>2</sub>  
 Fuente; Elaboración propia, 2020

### CBR con 5% de MgCl<sub>2</sub>

En la tabla 14 se reflejan los resultados del ensayo California Bearing Ratio (CBR) para una muestra experimental con 5% de agregado de cloruro de magnesio, teniendo el siguiente comportamiento:

Tabla 14: Resultados de CBR con 5% de MgCl<sub>2</sub>

C.B.R DE SUELOS (LABORATORIO) MTC E 132-2000													
Molde N°	1	2	3	5	5	12							
N° Capa	5	5	5	5	5	5							
Golpes por capa N°	56	25	25	25	12	12							
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO							
<b>Compactación</b>													
Peso molde + suelo húmedo (g)	13287	13287.0	10419	10419.0	10322	10396							
Peso de molde (g)	8036	8036	6180	6180	6260	6260							
Peso del suelo húmedo (g)	5251	5251	4239	4239	4062	4136							
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2151	2151	2133	2133	2133	2133							
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.441	2.441	1.988	1.988	1.905	1.939							
<b>Contenido de Humedad (%)</b>													
Recipiente N°													
Tara + Suelo húmedo (g)	500.00	447.60	500.00	391.00	500.00	350.4							
Tara + Suelo seco (g)	462.00	422.60	462.00	368.90	462.00	321.7							
Peso del Agua (g)	38.00	25.00	38.00	22.10	38.00	28.70							
Tara (g)													
Peso del suelo seco (g)	462.00	422.60	462.00	368.90	462.00	321.70							
Humedad (%)	8.23	5.92	8.23	5.99	8.23	8.92							
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.256	2.305	1.837	1.875	1.760	1.781							
<b>SIN EXPANSION</b>													
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION			
				mm	%		mm	%		mm	%		
22/09/2020	09:00	0	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000		
23/09/2020	09:00	24	5.00	0.05	0.039	7.00	0.07	0.055	10.00	0.10	0.079		
24/09/2020	09:00	48	7.00	0.07	0.055	9.00	0.09	0.071	12.00	0.12	0.094		
25/09/2020	09:00	72	9.00	0.09	0.071	11.00	0.11	0.087	14.00	0.14	0.110		
<b>PENETRACION</b>													
PENETRACION (mm.)	CARGA STAND. Kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N°											
		1				2				3			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div.)	Kg./cm <sup>2</sup>	Kg./cm <sup>2</sup>	%	Dial (div.)	Kg./cm <sup>2</sup>	Kg./cm <sup>2</sup>	%	Dial (div.)	Kg./cm <sup>2</sup>	Kg./cm <sup>2</sup>	%
0.00		0	0.0			0	0.0			0	0.0		
0.64		35	8.8			2	0.5			5	1.3		
1.27		96	24.1			3	0.8			9	2.3		
1.91		145	36.4			10	2.5			15	3.8		
2.54	70.31	230	57.8	83.59		25	6.3	29.47		24	6.0	14.33	
3.81		344	86.4			61	15.3			45	11.3		
5.08	105.46	438	110.1	109.39		120	30.2	49.93		79	19.9	26.59	
6.35		542	136.2			186	46.7			125	31.4		
7.62		625	157.1			265	66.6			179	45.0		
8.89		693	174.1			319	80.2			249	62.6		
10.16													
11.43													
12.70													

Fuente: Elaboración propia

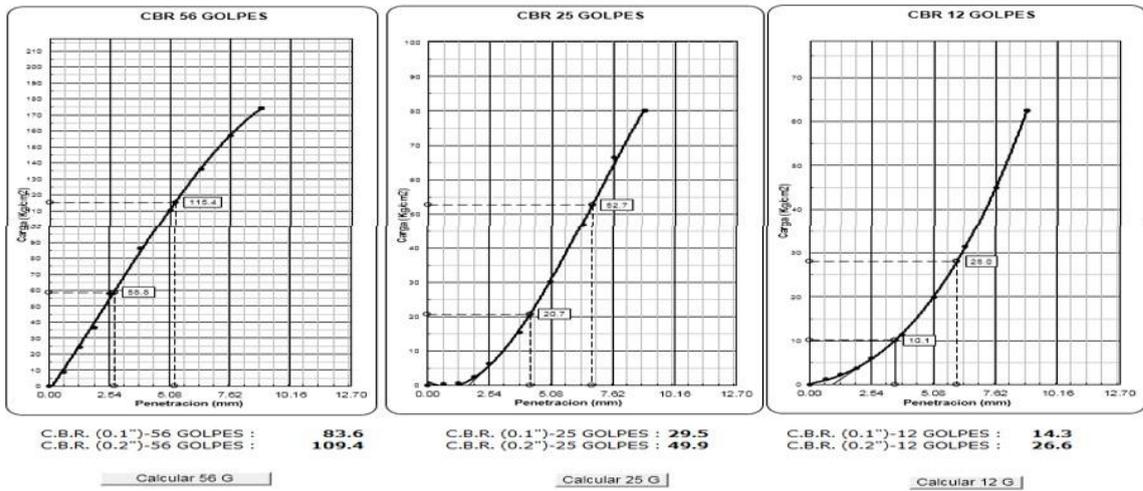
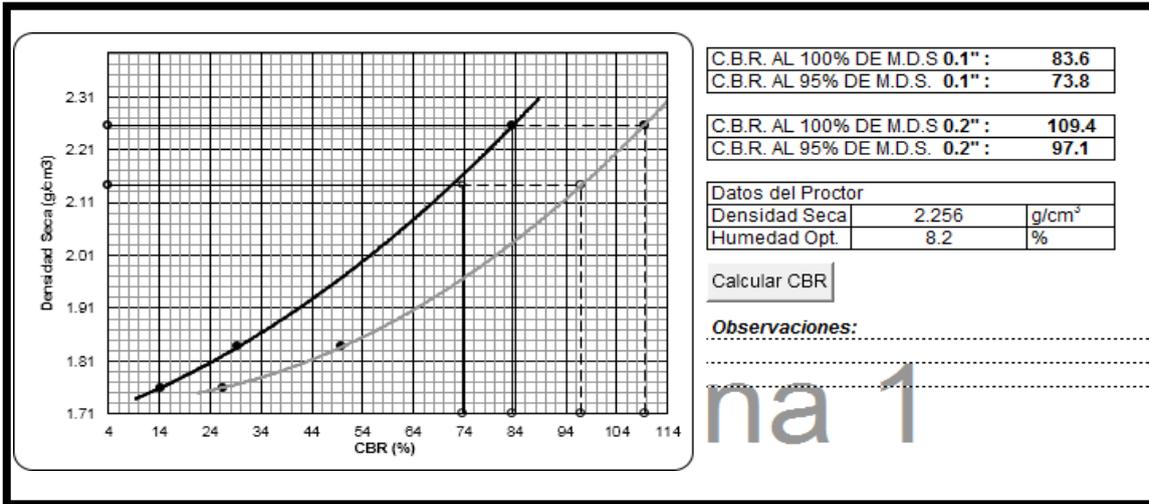


Figura 16 Gráfica Penetración muestra experimental 5% de MgCl<sub>2</sub>  
Fuente; Elaboración propia, 2020

Tabla 15: Tabla resumen resultados de CBR

VALOR SOPORTE CALIFORNIA (CBR 100%)	
MgCl <sub>2</sub> (%)	CBR (95%)
0%	21.90
1%	36.70
3%	41.30
5%	83.60

Fuente: Elaboración propia

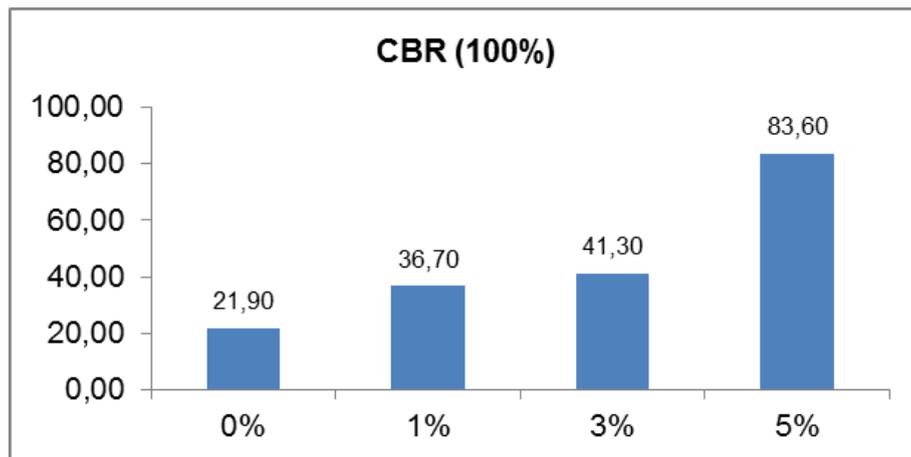


Figura 13 Gráfico resumen C.B.R. (100%)  
Fuente: Elaboración propia

La tabla 15 indica que a medida que se incrementa el porcentaje de cloruro de magnesio, aumenta la capacidad de soporte (CBR), siendo así 21,9 % para la muestra control sin agregado de MgCl<sub>2</sub> y 83.6% para la muestra experimental con 5%, siendo esta última la dosificación óptima para estabilizar el suelo, ya que cumple a lo indicado en la norma MTC E 132 y Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (EG-2013), que indica que la capacidad de soporte del suelo estabilizado debe ser mínimo del 40% (100% Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0,1”).

#### 4.1.5. Evaluación de costos para tratamiento de estabilización de suelo

##### Cálculo de la cantidad de MgCl<sub>2</sub> a usarse

Para determinar la cantidad de MgCl<sub>2</sub> necesaria, se utilizará la densidad máxima seca, siendo este caso: 2256 kg/m<sup>3</sup>, por el volumen a usarse que es 0.2 m<sup>3</sup>

$$\text{Peso del suelo} = 0.2 \text{ m}^3 \times 2256 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso del suelo} = 451.2 \text{ kg}$$

Al dato obtenido se le multiplica por el porcentaje de dosificación óptimo, en este caso es de 5%, para obtener el peso del cloruro de magnesio según el peso del suelo a tratar.

$$\text{Peso de MgCl}_2 = 451.2 \text{ kg} \times 5\%$$

$$\text{Peso de MgCl}_2 = 22.56 \text{ kg}$$

## Presupuesto de uso de material de préstamo y uso de MgCl<sub>2</sub>

En la tabla 16 se presenta el presupuesto de los costos por uso de este aditivo químico al 5%, así como el costo del uso tradicional de material de préstamo por metro cuadrado (m<sup>2</sup>) con 15 cm de espesor.

Tabla 16 Presupuesto de uso de material de préstamo y uso de MgCl<sub>2</sub>

<b>MATERIAL DE PRÉSTAMO</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>Metrado</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
Perfilado y compactado de sub rasante	m <sup>2</sup>	1.00	4,52	4,52
Riego para afirmado	m <sup>3</sup>	0,25	15,16	3,79
Transporte	m <sup>3</sup>	0,25	16,41	4,10
Carguío	m <sup>3</sup>	0,25	4,83	1,21
Zarandeo	m <sup>3</sup>	0,25	14,12	3,53
Extracción y apilamiento	m <sup>3</sup>	0,25	7,77	1,94
Capa de agregado	m <sup>2</sup>	0,25	8,00	2,00
<b>CLORURO DE MAGNESIO</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>Metrado</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
Perfilado y compactado de sub rasante	m <sup>2</sup>	1.00	4.52	4.52
Riego para afirmado	m <sup>3</sup>	0.20	15.16	3.03
Transporte	kg	22.56	0.64	14.44
Cloruro de magnesio	kg	22.56	26.16	590.17
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>				<b>633.25</b>

Fuente: Elaboración propia. 2020

Como se observa en la tabla 16 la inversión para la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870. Región Apurímac es de 633.25 soles, siendo una inversión factible de realizar, pues no es tan costosa y garantiza un mantenimiento periódico cada dos años reduciéndose a una fracción del agregado de MgCl<sub>2</sub> (20%) tal y como lo indica Gutiérrez (2010) lo que hace también que sea factible realizarse.

## 4.2 Contrastación de Hipótesis

De la hipótesis general, a fin de realizar los análisis estadísticos para la comprobación de hipótesis, se sometió a prueba de normalidad la dosificación y los indicadores de la estabilización del suelo en la carretera la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870 Región Apurímac 2020. La tabla 16 muestra los resultados del Test Shapiro-Wilk, el mismo que fue usado al tener una población menor a 50; en virtud de esto se evidencia que la significancia en todos los casos en cuanto a la dosificación, límite líquido, límite de plasticidad, índice de plasticidad, máxima densidad seca, óptimo contenido de humedad y CBR resultaron ser mayor a 0.05; por lo tanto, la distribución de los datos proviene de una distribución normal.

Tabla 16 Prueba de normalidad Shapiro -Wilk.

Pruebas de normalidad			
	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
DOSIFICACIÓN	,963	4	,798
LÍMITE_LÍQUIDO	,946	4	,689
LÍMITE_PLASTICIDAD	,940	4	,653
ÍNDICE_PLASTICIDAD	,991	4	,962
MÁXIMA_DENSIDAD	,870	4	,296
ÓPTIMO_CONTENIDO_HUMEDAD	,873	4	,310
CBR	,886	4	,365
a. Corrección de significación de Lilliefors			

Fuente: elaboración propia

### 4.2.1. De la Hipótesis general:

Hi: El cloruro de magnesio tiene influencia significativa en la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870 Región Apurímac 2020.

Ho: El cloruro de magnesio no tiene influencia significativa en la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870 Región Apurímac. 2020.

Para el análisis es importante considerar que la regla de decisión para la contrastación de hipótesis es:

Si el valor de significancia es menor a 0.05 se acepta la hipótesis de alterna o de estudio.

Si el valor de significancia es mayor a 0.05 se acepta la hipótesis nula.

La figura 14 muestra que las propiedades mecánicas y físicas del suelo mejoran al utilizar la dosificación del cloruro de magnesio al 5%; asimismo, al uso del mismo porcentaje de cloruro de magnesio, el límite líquido, y de plasticidad disminuyen con relación a la muestra patrón donde no se aplica el cloruro de magnesio.

Figura 14. *Influencia del Cloruro de Magnesio en la Estabilización del Suelo*

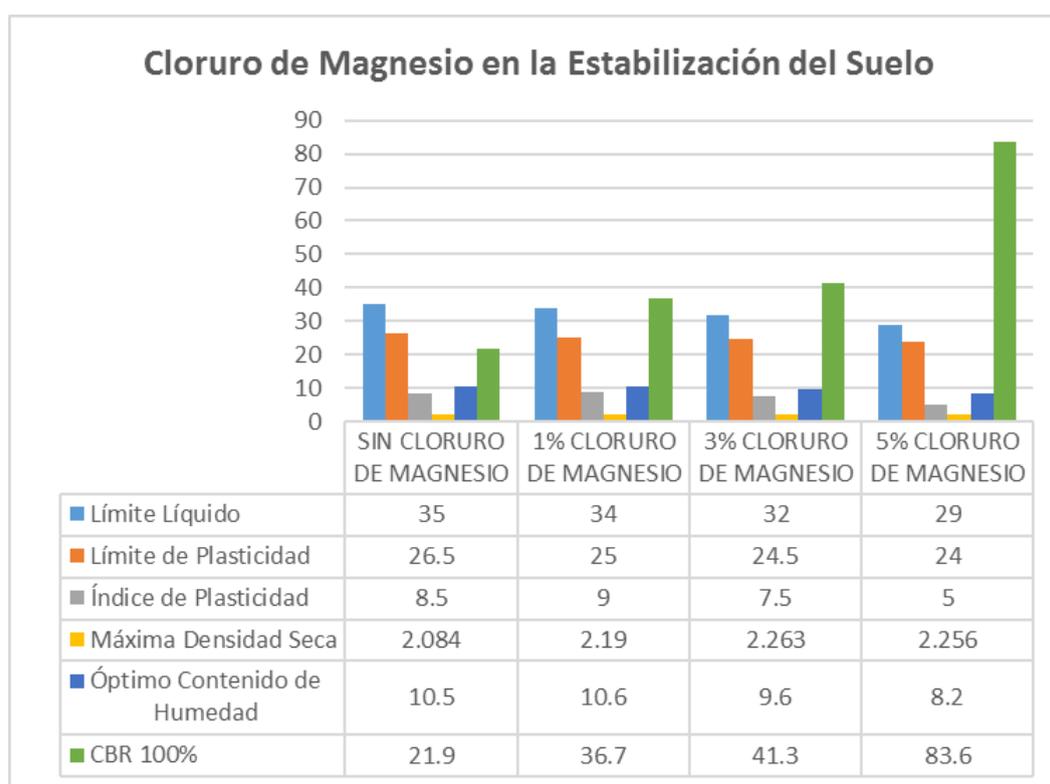


Tabla 17. *Influencia del Cloruro de magnesio en la Estabilización del Suelo*

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Dosificación – Estabilización del suelo	12,179,825	2,025,418	1,012,709	-15,402,717	-8,956,933	12,027	3	.001

De la tabla presentada N° 17 se muestra que al realizar el análisis de T- para una muestra relacionada, se encontró que el nivel de significancia es de ,001 lo que representa un alto nivel de influencia, afirmando que se acepta la hipótesis alterna o de estudio, confirmando que el cloruro de magnesio tiene influencia significativa en la estabilización de suelo.

#### **4.2.2. Hipótesis específica N° 1**

Hi: El cloruro de magnesio influye de manera significativa en las propiedades físicas de la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870 Región Apurímac 2020.

Ho: El cloruro de magnesio no influye de manera significativa en las propiedades físicas de la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870 Región Apurímac 2020.

Las variables de las propiedades físicas muestran una mejor estabilización del suelo, tal como se muestra en la figura 15 donde el límite líquido disminuye al uso del 5% de cloruro de magnesio, el límite de plasticidad aumenta, el índice de plasticidad baja, la máxima densidad seca es mayor y el óptimo contenido de humedad disminuye.

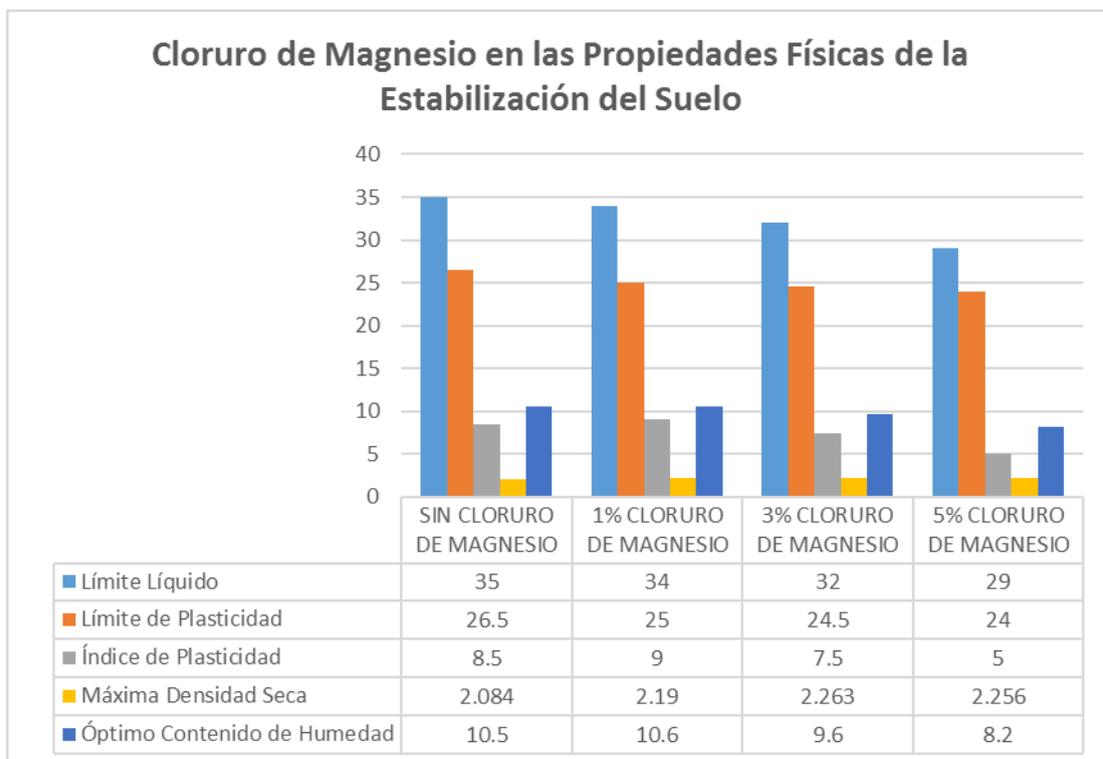


Figura 15. Análisis Comparativo de Propiedades Físicas de la Estabilización del Suelo

Tabla 18. Influencia del Cloruro de Magnesio en las Propiedades Físicas de la Estabilización del Suelo

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Dosificación - Propiedades Físicas	-7,592,325	631,264	315,632	-8,596,807	-6,587,843	24,054	3	,000

Se muestra en la tabla 18 la influencia que presentan las propiedades físicas de la estabilización del suelo ante la dosificación del cloruro de magnesio (5%), los resultados muestran un nivel de significancia alto de ,000 frente a este resultado

se concluye el rechazo de la hipótesis nula y acepta la hipótesis de estudio afirmando que el cloruro de magnesio influye de manera significativa en las propiedades físicas de la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870 Región Apurímac 2020.

#### 4.2.3. Hipótesis específica N° 2

Hi: El cloruro de magnesio influye significativa en las propiedades mecánicas de la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870 Región Apurímac 2020.

Ho: El cloruro de magnesio no influye significativa en las propiedades mecánicas de la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870 Región Apurímac. 2020.

De la figura 16 que se presenta a continuación, se interpreta que al utilizar al 5% el cloruro de magnesio, se incrementa el CBR en 281%; asimismo, existe un incremento de 88.6% del CBR haciendo uso del 3% de cloruro de magnesio; por otro lado, según la figura visualiza un incremento del 67,1% de CBR al uso del 1% de cloruro de magnesio.

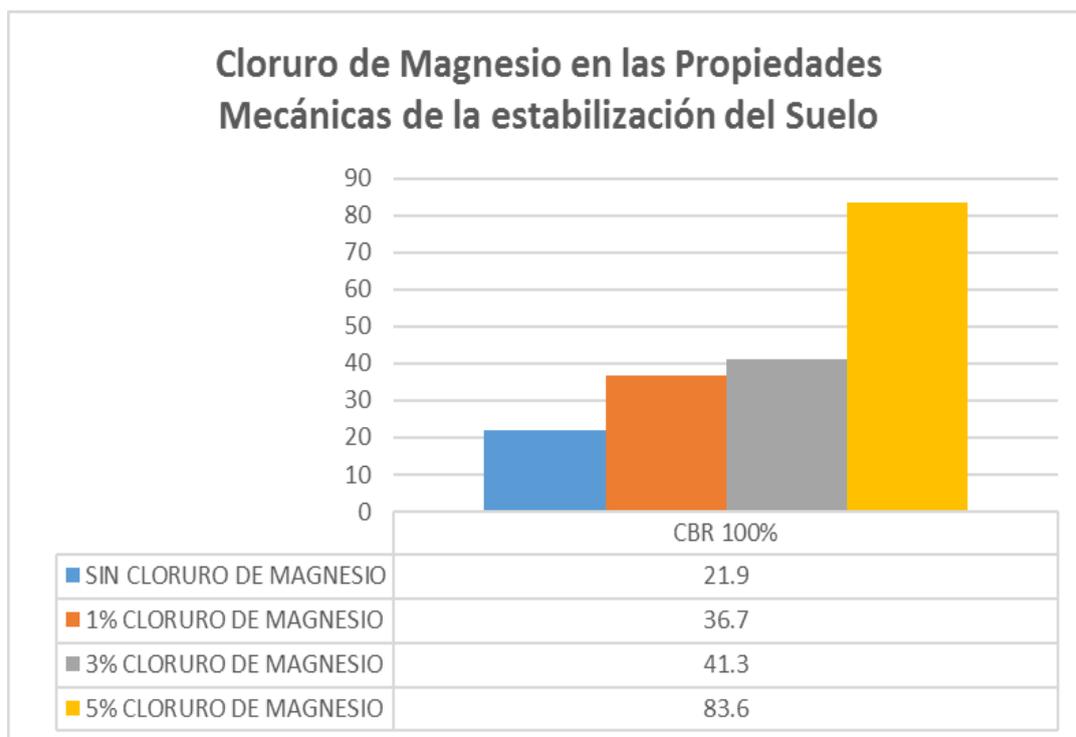


Figura 16. Comparación CBR Patrón y Experimental

**Tabla 19.** Influencia del Cloruro de Magnesio en las Propiedades Mecánicas del Suelo

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Dosificación - CBR	-43.62500	24.40210	12.20105	-82.45419	-4.79581	-3.576	3	.037

La tabla 19 relaciona la dosificación con el CBR, luego de procesar los datos a través del paquete estadístico SPSS 22, los resultados muestran un nivel de significancia de ,037 quedando demostrado que el cloruro de magnesio presenta influencia en las propiedades mecánicas del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870 Región Apurímac. 2020.

#### 4.2.4. Hipótesis específica N° 3

Hi: Existe una mejora económica significativa con la adición de cloruro de magnesio en la estabilización de la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 22+ 370 Región Apurímac 2020.

Ho: No existe una mejora económica significativa con la adición de cloruro de magnesio en la estabilización de la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 22+ 370 Región Apurímac 2020.

Tabla 20 Situación económica de la estabilización de suelos con MgCl<sub>2</sub>

<b>ESTABILIZACIÓN INICIAL</b>	
MATERIAL DE PRÉSTAMO	21,09
CLORURO DE MAGNESIO	612,16
TOTAL INVERSIÓN	633,25
<b>MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE ESTABILIZACIÓN</b>	
MATERIAL DE PRÉSTAMO	21,09
CLORURO DE MAGNESIO	140,02
TOTAL INVERSIÓN	161,11

Como se observa en la tabla 20, la estabilización inicial y el mantenimiento periódico es una inversión factible de llevar y resulta económica por la duración del mantenimiento periódico; las ventajas que presenta la estabilización del suelo con el cloruro de magnesio es que tiene la capacidad de mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo a pesar de que a corto plazo el costo es mayor, su periodo de vida útil es de 6 años con un mantenimiento periódico de 2 años a comparación de la estabilización realizada sin cloruro de magnesio, pues esta no presenta mejoras en las propiedades del suelo y tiene una vida útil de 2 años con un mantenimiento periódico de 6 meses; por lo tanto, a base de estos argumentos y la situación económica presentada en la tabla 20, se sustenta la aceptación de la existencia significativa de mejora económica con la adición de cloruro de magnesio en la estabilización de la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 22+ 370 Región Apurímac 2020.

## V. DISCUSIÓN

### 5.1 Discusión de la Hipótesis general:

En la investigación se estableció como hipótesis general que el cloruro de magnesio tiene influencia significativa en la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870 Región Apurímac 2020. Se realizó un estudio estadístico inferencial, encontrando que según la tabla 17, los datos demostraron que la variable del cloruro de sodio como aditivo para estabilizar los suelos resultó mayor a 0.05; por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna que afirma que el cloruro de magnesio tiene influencia significativa en la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870 Región Apurímac 2020.

De acuerdo al estudio de Pumaricra (2019) que tuvo como objetivo analizar la adición del cloruro de magnesio en las propiedades físico donde se abordó la adición del cloruro de magnesio en las propiedades físico-mecánicas del material, luego de someter sus datos a estudios estadísticos inferenciales, concluyó como resultado que el cloruro de magnesio al 6% no tiene significancia en la estabilización de los suelos.

### 5.2 Discusión Hipótesis específica N° 1

Para el estudio realizado, se estableció como hipótesis específica N° 1 si el cloruro de magnesio influye de manera significativa en las propiedades físicas de la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870 Región Apurímac 2020, después de realizar el procesamiento estadístico inferencial, se encontró que la variable de propiedades físicas arrojó como resultado que el grado de significancia fue mayor 0.05, entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. En conclusión, el cloruro de magnesio influye en las propiedades físicas de la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870 Región Apurímac 2020.

Por otro lado, el estudio realizado por los investigadores Latifi. Safuan. Rashid. Ecemis y Tahir (2016) en su artículo titulado “Características fisicoquímicas dependientes del tiempo del suelo residual de Malasia estabilizado con solución de cloruro de magnesio, llegaron a establecer como resultado que dicho cloruro

de magnesio sí mejoraron las características fisicoquímicas del suelo en comparación con el estudio, según la tabla 15, se evidencia que sí mejoraron las características físicas del suelo al 5% del cloruro de magnesio.

### **5.3. Discusión Hipótesis específica N° 2**

En la realización del estudio, se planteó como hipótesis N° 2: El cloruro de magnesio influye en las propiedades mecánicas de la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870 Región Apurímac 2020, después de aplicar el estudio estadístico inferencial se evidenció que la variable de propiedades mecánicas arrojó como resultado que el grado de significancia fue mayor 0.05, entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. En conclusión, el cloruro de magnesio influye en las propiedades mecánicas de la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio.

En cambio, los estudios Bonifacio y Vergara (2015) resulto en su hipótesis sobre las propiedades mecánicas en su estudio estadístico inferencial que sí llega a tener significancia la variable de las propiedades mecánicas con la incorporación del cloruro de magnesio en los suelos.

### **5.4. Discusión Hipótesis específica N° 3**

En la hipótesis específica N° 3 se demostró que sí existe una mejora económica significativa con la adición de cloruro de magnesio en la estabilización de la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 22+ 370 Región Apurímac 2020, encontrándose que hay una mejora económica significativa con el empleo del cloruro de magnesio como agregado para la estabilización del suelo ya que la inversión inicial sería de 633,00 soles y mantenimiento cada dos años de 161,00. En promedio la mejora económica sería de 333,00 soles anualmente. Siendo consistente con lo indicado por Chavez (2019) quien concluye que con el empleo de este producto químico se garantiza el comportamiento del esfuerzo de deformación del suelo y de la estructura que se coloque en ellos, garantizando su vida útil; asimismo, Santiago (2015) demostró que con la adición de cloruro de magnesio genera un gran impacto y ahorros económicos.

## VI. CONCLUSIONES

En base a las metas planteadas de nuestro estudio a la comprobación de hipótesis y a los resultados que se obtuvieron, se llegó a las conclusiones:

**Primero:** Se estableció como objetivo general determinar la influencia del uso del cloruro de magnesio en la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870 Región Apurímac 2020, en este caso se pudo encontrar que según la Tabla 5 se evidencia que con la evaluación realizada por el método AASHTO el suelo se clasifica como A-2-4 (0), indicando que el suelo posee una calificación: Excelente - Bueno y mediante el método SUCS arrojando como conclusión que el suelo es clasificado como GP – GM y que corresponde a una grava mal gravada-con limo.

Se puede decir que según los resultados obtenidos como se puede evidenciar en la tabla 15 a medida que se incrementa el porcentaje de cloruro de magnesio, aumenta la capacidad de soporte (CBR) siendo así 21.9 % para la muestra control sin agregado de  $MgCl_2$  y 83.6% para la muestra experimental con 5%. siendo esta última la dosificación óptima para estabilizar el suelo ya que cumple a lo indicado en la norma MTC E 132 y Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (EG-2013), que indica que la capacidad de soporte del suelo estabilizado debe ser mínimo del 40% (100% Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0.1”).

**Segundo:** también se llegó a determinar que según los ensayos establecidos la densidad seca para la muestra modificada al 1% fueron de 2.090 al 3% fue de 2.263. y al 5% fue de 2.256. Asimismo, el porcentaje óptimo de humedad al 1% fue de 10.60%, al 3% fue de 9.60%, al 5% fue de 8.20%. Quedando demostrado que la dosificación al 5% de cloruro de magnesio es el más óptimo para la estabilización del suelo.

**Tercero:** Según los resultados del el CBR más óptimo para la estabilización del suelo, dio como resultado que se le debe incorporar un 5% ya que ayuda más hacer eficiente los suelos en sus propiedades físicos y mecánicos.

**Cuarto:** De acuerdo con el análisis económico, es factible realizar la inversión de la estabilización del suelo con cloruro de magnesio pues no reviste un costo

elevado, siendo rentable en el tiempo pues la inversión de mantenimiento periódico es menor a la inversión inicial al realizarse cada dos años.

## VII. RECOMENDACIONES

Después de la respectiva exploración de los resultados que se obtuvieron en el estudio sobre la incorporación del cloruro de magnesio sobre la estabilización de los suelos, se proponen las siguientes recomendaciones:

**Primero:** Se sugiere el uso del cloruro de magnesio en una dosificación al 5%, ya que sí presenta mejores valores en su humedad y su CBR, lo que llevaría a mejorar la estabilización de los suelos del Perú. Por otro lado, se demostró que las propiedades físicas y mecánicas sí mejoran, de tal manera pueden ser más durables en el tiempo y el mantenimiento es mucho menor.

**Segundo:** Para estabilizar los suelos se recomienda la incorporación del 5% del cloruro de magnesio por sus resultados en el óptimo de humedad el 8,20% y su máxima densidad seca en 2,256 y su CBR dio como resultado un 83.60%.

**Tercero:** El cloruro de magnesio es reconocido como un elemento que puede ser usado en la estabilización de suelos de países costeros en el mundo, ya que en el caso estudiado el suelo salió con una calificación: Excelente - Bueno y mediante el método SUCS se evidencia que el suelo es clasificado como GP – GM, donde puede considerarse que existe una tendencia a que el cloruro de magnesio puede utilizarse en países costeros.

**Cuarto:** Se recomienda realizar otros tipos de estudios de dosificación del cloruro de magnesio en la estabilización de los suelos y ver cuáles son los cambios de mejoramiento que pueden ocurrir y también establecer si se puede mejorar los beneficios económicos en cuanto al diseño y el mantenimiento de dichos suelos.

## VI. REFERENCIAS

**ÁLVAREZ Zuluaga. Manuel.** Estabilización química de suelos en proyectos de infraestructura vial en Antioquia. Tesis (*Ingeniero Administrador*). Bogotá : Escuela de ingeniería de Antioquia. 2015.

**ANTICONA Bermúdez. Leopoldo. 2012.** Innovación metodológica para evaluar superficie estabilizada con cloruro de magnesio aplicación vía de acceso a Caral (km 05+00-km15+00). Tesis (*Maestro en Ciencias Mención Ingeniería de Transportes*). Lima : Universidad Nacional de Ingeniería. 2012.

**ARIAS. Fidia. 2012.** *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. 6ta. Caracas : Episteme. 2012. ISBN: 9800785299.

**BONIFACIO Vergara. Werner y SÁNCHEZ Bernilla. Junior.** Estabilización química en carreteras no pavimentadas usando cloruro de magnesio. cloruro de calcio y cemento en la región Lambayeque. tesis (*Ingeniero Civil*). s.l. : facultad de ingeniería. arqu. 2015.

**BRIONES Martínez. Alejandra. 2018.** Influencia del cloruro de magnesio en comparación al cloruro de calcio en la estabilización de suelos arcillosos para afirmados. tesis (*Ingeniero Civil*). Cajamarca : Universidad Privada del Norte. 2018.

**CARRASCO. Díaz. Sergio. 2017.** *Metodología de la investigación científica*. Lima : San Marcos. 2017. pág. 424 pp. ISBN: 9972342425.

**Chávez Bulnes. Erick May. 2019.** *COMPARACION DEL CLORURO DE MAGNESIO (BISCHOFITA) FRENTE AL CLORURO DE SODIO COMO ESTABILIZANTE QUIMICO PARA MEJORAR LA SUBRASANTE EN LA VIA A LA CANTERA SANTA RITA. DISTRITO DE PARIÑASTALARA-PIURA. 2018.* Trujillo : s.n.. 2019. pág. 136. Tesis.

**CHÁVEZ Bulnes. Erick..** Comparación del cloruro de magnesio (Bischofita) frente al cloruro de sodio como estabilizante químico para su mejoramiento. Tesis (*ingeniero Civil*) . Piura : Universidad de Piura. 2018.

**De La Cruz Gutierrez. Lizeth Mercedes y Salcedo Rojas . Kaite Karen. 2016.** “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE ADITIVOS (Eco. Huancayo : s.n.. 2016. pág. 137. Tesis.

**Elizabeth. Medina sanchez Yudy Patricia - Morocho Ortega Mayra. 2015.** *Diseño de un sistema de mantenimiento vial en la circunvalacion norte desde la via a Limon hasta la calle Buenavista .ciudad de Machala. provincia de Ora.* Machala-El Oro : s.n.. 2015.

*Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio hexahidratado (Bischofíta) como estabilizador químico de capas de rodadura granulares.* **THENOUX Z. Guillermo y VERA A. Sergio. 2002.** 265. Chile : Materiales de Construcción. 2002. Vol. 52.

**GUTIÉRREZ Montes. Carlos.** Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el peru y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (bischofita) frente al cloruro de calcio en el año 2010. . *Tesis (Ingenieria Civil).* Lima : Universidad Ricardo Palma. 2010.

**GUTIERREZ Montes. Carlos. 2010.** Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (Bischofita) frente al cloruro de calcio. *Tesis (Ingeniero Civil).* Lima : Universidad ricardo Palma. 2010.

**Hernandez Sampieri. Roberto. Fernandez Collado. Carlos y Baptista Lucio. Pilar. 2014.** *Metodologia de la investigacion.* México D.F. : Mc Graw Hill. 2014. pág. 613.

**Hernandez Lara. Josue Aristides. Mejia Ramirez. David Remberto y Zelaya Amaya. Cesar Eduardo. 2016.** *PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.* El Salvador : s.n.. 2016.

**HILARIO Carlos. Freddy.** Aplicación y evaluación de cloruro de magnesio hexahidratado (bischofita) como tratamiento y estabilizador de la capa de rodadura granular aplicado en el tramo de la carretera Espinar- Tintaya Marquiri. *Tesis (Ingeniero Civil).* Arequipa : Universidad Nacional de San Agustin. 2015.

**Hilario Carlos. Fredy. 2015.** *APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE CLORURO DE MAGNESIO HEXAHIDRATADO (BISCHOFITA) COMO TRATAMIENTO Y ESTABILIZADOR DE LA CAPA DE RODADURA GRANULAR APLICADO EN EL TRAMO DE LA CARRETERA ESPINAR- TINTA YA MARQUIRI.* Arequipa : s.n.. 2015.

**JARA Anyappoma. Robinson. 2014.** Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso. *Tesis (Ingeniero Civil).* Cajamarca : Universidad Nacional de Cajamarca. 2014.

**MINAGRI. s/f.** Clasificación de los suelos. [En línea] s/f. <http://minagri.gob.pe/portal/objetivos/43-sector-agrario/suelo/330-clasificacion>.

**MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES. 2012.** *Manual de especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito.* Lima : Republica del Perú. 2012.

**MIRANDA Jarrin. Juan y NEGRETE Olives. David. 2011.** Estabilización de suelos cohesivos con el uso de cloruro de calcio. *Tesis (Ingeniero Civil).* Quito : Pontifica Universidad Católica del Ecuador. 2011.

**MOROCHO Ortega. Mayra.** Diseño de un sistema de mantenimiento vial en la circunvalación norte desde la vía a Limón hasta la calle Buenavista. *Tesis (Ingeniero Civil).* Machala : Universidad Tecnica de Machala. 2015.

**MTC. 2012.** Sistema nacional de carreteras del Perú. [En línea] Ministerio de Transporte y Comunicaciones. 2012. [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/documentos/RESUMEN\\_GENERAL\\_2012.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/documentos/RESUMEN_GENERAL_2012.pdf).

**Nesterenko Cortes. Darko. 2018.** *DESEMPEÑO DE SUELOS ESTABILIZADOS CON POLÍMEROS EN PERU.* Lima : s.n.. 2018. tesis.

**NESTERENKO Cortes. Darko.** Desempeño de suelos estabilizados con polímeros en Perú. *Tesis (Máster en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial).* Piura : Universidad de Piura. 2018.

**Ñaupas Paitan. Humberto. y otros. 2014.** *metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis.* Bogota : Ediciones de la u. 2014. Vol. 5to.

**PALELLA Stracuzzi. Santa y MARTINS Pestana. Feliberto. 2012.** *Metodología De La Investigación Cuantitativa 3ra Ed.* Caracas : Fedupel. 2012. ISBN: 9802734454.

**PALOMINO Orizano. Juan. y otros. 2015.** *Metodología de la investigación.* Lima : San Marcos. 2015. ISBN: 9786123152628.

**Pumaricra Quispe. Dulce Perla. 2019.** *CLORURO DE MAGNESIO COMO ADITIVO EN EL TRATAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICOMECAÑICAS DE LA SUPERFICIE DE RODADURA EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS.* Chachapoyas : s.n.. 2019.

**Quispe. Dulce Perla Pumaricra. 2019.** *CLORURO DE MAGNESIO COMO ADITIVO EN EL.* Chachapoyas : s.n.. 2019.

**Ramos Casiano. Miguel. 2014.** *“EXPERIENCIAS Y ACTIVIDADES EN LOS SERVICIOS DE GESTIÓN Y CONSERVACIÓN POR NIVELES DE SERVICIO DE UNA CARRETERA EN EL PERÚ.* Lima : s.n.. 2014. pág. 94. Tesis.

**Sanchez Alban. Maria Angelica. 2014.** *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS CON CAL Y CEMENTO EN EL SECTOR CALCICAL DEL CANTÓN TOSAGUA PROVINCIA DE MANABÍ.* Quito : s.n.. 2014. pág. 401. Tesis.

**Santiago. Alvarez Zuloaga Manuel. 2015.** *ESTABILIZACION QUIMICA DE SUELOS EN PROYECOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL ES ANTIOQUIA.* Antioquia : s.n.. 2015.

**THENOUX. Guillermo y VERA. Sergio. 2003.** *Guía para la Aplicación de ROADMAG como Estabilizador de Caminos no Pavimentados.* Chile : s.n.. 2003.

**Urcia García. Francisco Ricardo. 2017.** *Estabilización del suelo con la aplicación de Cemento portland tipo I para la mejora de la carretera a nivel de afirmado en el tramo: Izcuchaca – Quichuas. Región Huancavelica.* 2017. Lima : s.n.. 2017. pág. 114. Tesis.

**VERA Araya. Sergio.** *Evaluación de la Efectividad del Cloruro de Magnesio. Hexahidratado como Estabilizador Químico de Carpetas Granulares . Tesis ( Ingeniería Civil).* Lima : Pontificia Universidad Católica de Chile. 2001.

**ZAMBRANO Cabello. Jefferson.** Estabilización química con Cloruro de Magnesio en el diseño del camino - Villa las Orquídeas - Puente Piedra . *Tesis (Ingeniero Civil)* . Lima : Universidad Cesar Vallejo.2017.

## ANEXOS

### Anexo 1: Matriz de consistencia

**TITULO: Influencia del cloruro de magnesio en la estabilización del suelo para su uso en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870, Región Apurímac, 2020**

PROBLEMAS GENERAL	OBJETIVOS GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cómo el uso del cloruro de magnesio mejora la estabilización del suelo en La Carretera Huancaray – San Antonio de Cachi km. 21+370 al 22+ 370, Región Apurímac, 2020?	Determinar la influencia del uso del cloruro de magnesio en la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870, Región Apurímac, 2020	El cloruro de magnesio tiene influencia significativa en la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870, Región Apurímac, 2020	Variable Independiente:: Cloruro de magnesio	Porcentaje de dosificación de cloruro de magnesio	Dosificación de cloruro de magnesio al 1%, 3% y 5% respecto al peso de la muestra.	Tipo: Aplicada  Diseño: Experimental  Muestra: Suelo estabilizado sin agregado (muestra control) y suelo estabilizado con cloruro de magnesio con distintas dosificaciones (muestra experimental)  Técnicas: Observación
<b>ESPECÍFICO</b>	<b>ESPECÍFICO</b>	<b>ESPECÍFICO</b>				
¿Cómo el cloruro de magnesio mejora las propiedades físicas en la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi km. 21+370 al 22+ 370, Región Apurímac, 2020?	Determinar las propiedades físicas del suelo después del uso del cloruro de magnesio en la estabilización de la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870, Región Apurímac, 2020	: El cloruro de magnesio influye de manera significativa en las propiedades físicas de la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870, Región Apurímac, 2020		Propiedades Físicas	Proctor modificado (%) Límites de Atterberg (%) Análisis Granulométrico	Técnicas: Observación
¿Cómo el cloruro de magnesio mejora las propiedades mecánicas en la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 22+ 370, Región Apurímac, 2020?	Determinar las propiedades mecánicas del suelo después del uso del cloruro de magnesio en la estabilización de la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870, Región Apurímac, 2020	El cloruro de magnesio influye significativa en las propiedades mecánicas de la estabilización del suelo en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870, Región Apurímac, 2020	Variable Dependiente:: Estabilización de suelo	Propiedades Mecánicas	California Bearing Ratio CBR) (%)	Instrumentos: Ficha de observación
¿Cuáles son los beneficios económicos que se logran con la aplicación de cloruro de magnesio en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 22+ 370, Región Apurímac, 2020?	Determinar los beneficios económicos que trae la adición de cloruro de magnesio en la estabilización de la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 22+ 370, Región Apurímac, 2020	Existe una mejora económica significativa con la adición de cloruro de magnesio en la estabilización de la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 22+ 370, Región Apurímac, 2020.				

## Anexo 2. Formato de Validación

### VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

#### DATOS GENERALES

Apellidos y Nombres: Francklin Rivera Quilla

Institución donde labora: MTC -CHANKAS

Título de la Investigación: Influencia del cloruro de magnesio en la estabilización del suelo para su uso en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870. Región Apurímac. 2020

#### ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Indicadores	deficiente				Baja				Regular				Buena				Muy buena			
	0	5	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Claridad										X										
Objetividad											X									
Actualidad															X					
Organización															X					
Suficiencia																	X			
Intencionalidad																		X		
Consistencia															X					
Metodología																X				
Pertinencia										X										

Opinión de aplicabilidad: Regular X Bueno \_\_\_\_\_ Muy Bueno \_\_\_\_\_

Promedio de porcentaje: 59.8% Lugar y fecha: SAN JERONIMO


Firma

**VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN**

**DATOS GENERALES**

Apellidos y Nombres: Palomino Oscco Fredy

Institución donde labora: INGENIEROS & LABORATORIO DE SUELOS S.A.C JJR

Título de la Investigación: Influencia del cloruro de magnesio en la estabilización del suelo para su uso en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870. Región Apurímac. 2020

**ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

Indicadores	deficiente				Baja				Regular				Buena				Muy buena			
	0	5	11	18	21	26	31	38	41	46	51	58	61	66	71	78	81	86	91	98
	1	18	19	20	28	30	35	43	45	50	55	60	68	70	75	80	85	90	95	100
Claridad															X					
Objetividad																X				
Actualidad															X					
Organización																	X			
Suficiencia																X				
Intencionalidad																X				
Consistencia															X					
Metodología																X				
Pertinencia															X					

Opinión de aplicabilidad: Regular \_\_\_ Bueno X Muy Bueno \_\_\_

Promedio de porcentaje: 76 %

Lugar y fecha : Andahuaylas – 09/07/2020

FIRMA

**VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO DEL INSTRUMENTO DE  
INVESTIGACIÓN**

**DATOS GENERALES**

Apellidos y Nombres: William Reinoso Hilario

Institución donde labora: Municipalidad de Cocharcas

Título de la Investigación: Influencia del cloruro de magnesio en la estabilización del suelo para su uso en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870. Región Apurímac. 2020

**ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

Indicadores	deficiente				Baja				Regular				Buena				Muy buena			
	0	5	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Claridad												X								
Objetividad													X							
Actualidad															X					
Organización																X				
Suficiencia																	X			
Intencionalidad																		X		
Consistencia															X					
Metodología																	X			
Pertinencia																X				

Opinión de aplicabilidad: Regular \_\_\_ Bueno X Muy Bueno \_\_\_

Promedio de porcentaje: 65.4% Lugar y fecha: ANDAHUAYLAS

  
 Ing. William Reinoso Hilario  
 CIP 104329  
 ING. CIVIL  
 RESIDENTE DE OBRAS

FIRMA

### Anexo 3. Solicitud de permiso

**SOLICITA:** PERMISO PARA REALIZAR ESTABILIZACION DE SUELO CON CLORURO DE SODIO

SEÑOR DIRECTOR DE LA DIRECCION SUB REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES CHANKA -ANDAHUAYLAS

Yo Vladimir Irving Paiva Alcarraz con DNI N° 74402123 Domiciliado en Calle la Rueda N° 167 La Molina — Lima Ante Ud. Con el debido respeto me presento y expongo

Me presento como estudiante de la Facultad de Ingenieria Civil de la Universidad Cesar Vallejo con sede en Lima; solicito Sr. Director a que me conceda el Permiso correspondiente para poder realizar la estabilizacion de Suelo con cloruro de Sodio en el **tramo Huancaray San Antonio de Cachi en el Km. 21+370 al 22+370**; ya que este proyecto de investigacion tiene como fin mejorar el suelo en lo que es la absorcion del agua y disminuci6n del polvo, del mismo modo el proyecto beneficiara a la poblacion; dicho estudio me servira como trabajo para poder sustentar tesis de Titulacion.

POR LO EXPUESTO:

A Ud. Señor Director suplico accedes a mi  
peticion.

Lima 30 de Octubre del 2019

DIRECCION SUB REGIONAL DE TRANSPORTES  
Y COMUNICACIONES CHANKA

Reg. N° 6921 ..... Folio N° 61 F

Hora 17:36 Fecha 30 OCT, 2019



V DIMIR IRVING PAIVA ALCARRAZ

DNI N° 74402123

## Anexo 4. Autorización de uso de vía con fines de investigación



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades Para Mujeres y Hombres"  
"Año de la Lucha Contra la Corrupción y la Impunidad"  
"Año de la No Violencia Contra la Mujer en la Región Apurímac"



### AUTORIZACIÓN DE USO DE VIA CON FINES DE INVESTIGACIÓN

Visto el Informe N° 140 – 2019 - GR-APU/ DSRTC-CH / U.E. N° 201/SDC/ E&P, La **Dirección de Transportes y Comunicaciones Chanka**, presidida por el Ing. Gary Fernández Paiva, autoriza el uso de vía en la Carretera RUTA AP 104 en las progresivas Km 21 + 370 al 22 + 370, con fines de investigación para realizar estudios de Estabilización de Suelo con Cloruro de Sodio, al Sr. Vladimir Irving Paiva Alcarraz, estudiante de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Cesar Vallejo con sede en Lima. Designar al Ing. Ángel Vladimir Rivera Loayza, como inspector durante el periodo que realice los estudios de investigación.

**EL PLAZO POR EL CUAL SE CONCEDE LA AUTORIZACIÓN SERÁ:** DE UN (01) MES, contados a partir de inicio de labores previa presentación del cronograma de trabajo.

Para tal fin "EL SUSCRITO", se compromete a cumplir las siguientes obligaciones:

Ejecutar los trabajos autorizados con estricta sujeción al Expediente Técnico aprobado por la "**Dirección de Transportes y Comunicaciones Chanka**", a los términos del presente Documento, a las recomendaciones formuladas por los evaluadores técnicos y a las Consideraciones Técnicas Generales que se señalan en el Anexo N° 01.

1. Comunicar a "**Dirección de Transportes y Comunicaciones Chanka**", específicamente a la Unidad Zonal competente, la fecha de inicio de los trabajos autorizados, incluyendo la fecha de inicio de los actos preparatorios de los mismos.
2. Iniciar los trabajos, una vez que "**Dirección de Transportes y Comunicaciones Chanka**" haya emitido la resolución de autorización y haya designado al Supervisor o Inspector.
3. Asumir la responsabilidad por la reposición del área de terreno del Derecho de Vía de la carretera antes descrita, en la cual se realizarán los trabajos autorizados.
4. Garantizar que los trabajos autorizados no afectarán, en ningún modo, el Derecho de Vía de la carretera, así como tampoco la infraestructura de servicios públicos o privados existentes en la vía (saneamiento, energía eléctrica, gas, comunicaciones, entre otros).
5. Subsanan, corregir, reponer y/o reparar los daños que puedan ocasionar los trabajos autorizados o que pueda ocasionar la presencia de sus instalaciones, al derecho de vía de la carretera, o a las instalaciones de terceros.
6. Garantizar, desde la fecha de inicio de los actos preparatorios de los trabajos materia de la autorización, el adecuado funcionamiento de la referida carretera, que incluye el prisma vial (berma, superficie de rodadura, taludes de corte y relleno), obras de arte y drenaje (muros, puentes, alcantarillas, cunetas, pontones, etc.).

GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC  
DIRECCIÓN SUB REGIONAL DE TRANSPORTES  
Y COMUNICACIONES  
Ing. Gary Fernández Paiva  
DIRECTOR



*"Decenio de la Igualdad de Oportunidades Para Mujeres y Hombres"*  
*"Año de la Lucha Contra la Corrupción y la Impunidad"*  
*"Año de la No Violencia Contra la Mujer en la Región Apurímac"*



7. Mantener la seguridad vial y la Transitabilidad en la carretera durante la ejecución de los trabajos autorizados.
8. Realizar la señalización vial con sujeción a las disposiciones previstas en el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras aprobado mediante Resolución Ministerial N° 210-2000-MTC/15.02 y sus modificatorias correspondientes, o cualquier otra norma que lo modifique o lo reemplace.
9. Asumir la totalidad de los costos de señalización y seguridad vial.
10. Asumir la responsabilidad por cualquier externalidad generada como consecuencia del incumplimiento de la obligación de mantener la seguridad vial y Transitabilidad de la carretera.
11. Reubicar sus instalaciones y/o reestructurar los trabajos autorizados, a la sola comunicación escrita de "Dirección de Transportes y Comunicaciones Chanka" y en el plazo que éste fije, en caso que "Dirección de Transportes y Comunicaciones Chanka" decida realizar trabajos de mejoramiento y/o rehabilitación, ensanchamiento y/o ampliación u otros similares en la carretera.
12. Asumir la totalidad de los gastos y otros que pudieran generar la reubicación de sus instalaciones y/o reestructuración de sus trabajos.
13. Acatar la suspensión de los trabajos que pueda disponer **Dirección de Transportes y Comunicaciones Chanka** por no dar estricto cumplimiento a los compromisos asumidos en el presente documento.
14. Asumir, durante: los actos preparatorios para el inicio de los trabajos, la ejecución de los trabajos autorizados y la reposición de la vía afectada; la plena y exclusiva responsabilidad por la reparación y todas las afectaciones que puedan ocasionar sus instalaciones, a favor de **Dirección de Transportes y Comunicaciones Chanka** y/o terceros, en general.
15. Asumir la plena y exclusiva responsabilidad por su infraestructura, durante todo el periodo en que la misma permanezca instalada en el Derecho de Vía de la carretera.
16. Asumir la responsabilidad, entre otros, por los problemas que puedan ocasionar los trabajos de instalación y/o los trabajos de reposición del área de terreno o de la vía afectada, así como por los trabajos de mantenimiento y problemas que genere la sola presencia de su infraestructura dentro del Derecho de Vía.
17. Permitir, en el área de la vía en la cual se realizarán los trabajos autorizados, la ejecución inmediata de trabajos por parte de "Dirección de Transportes y Comunicaciones Chanka", cuando exista amenaza de fenómenos de geodinámica externa (derrumbes, huaycos, deslizamientos, asentamientos, etc.).

GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC  
DIRECCIÓN SUB REGIONAL DE TRANSPORTES  
Y COMUNICACIONES  
Ing. Gary Fernández Paiva  
DIRECTOR



*"Decenio de la Igualdad de Oportunidades Para Mujeres y Hombres"*  
*"Año de la Lucha Contra la Corrupción y la Impunidad"*  
*"Año de la No Violencia Contra la Mujer en la Región Apurímac"*

**DSRTC**  
**CHANKA**

DIRECCIÓN SUB REGIONAL DE TRANSPORTES  
Y COMUNICACIONES CHANKA - ANDAHUAYLAS

18. Subsanan en un plazo de cinco (05) días calendario, desde que le notifique "Dirección de Transportes y Comunicaciones Chanka", los aspectos que han sido materia de observación por parte de éste.
19. Aceptar que los trabajos que realice sean supervisados, permanentemente, por la Unidad Zonal de "Dirección de Transportes y Comunicaciones Chanka" competente.
20. Aceptar que las controversias que surjan con "Dirección de Transportes y Comunicaciones Chanka", serán resueltas de común acuerdo y de buena fe.

Talavera 22 de noviembre del 2019

GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC  
DIRECCIÓN SUB REGIONAL DE TRANSPORTES  
Y COMUNICACIONES

Ing. Gary Fernández Paiva  
DIRECTOR

FIRMA TITULAR

FIRMA PERSONA NATURAL AUTORIZADA

74402123

## Anexo 5. Ficha Técnica de Observación



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

### FICHA TÉCNICA DE OBSERVACIÓN

Investigación: Influencia del cloruro de magnesio en la estabilización del suelo para su uso en la carretera Huancaray – San Antonio de Cachi Km. 21+370 al 21+ 870. Región Apurímac. 2020

Fecha: 09/07/2020

Responsable: Vladimir Irvin Paiva Alcarraz

Ensayo	Normas	Resultados
<ul style="list-style-type: none"><li>Método de ensayo para el análisis granulométrico.</li></ul>	NTP 339.128:1999 SUELOS	SUCS: GP-GM AASHTO: A-2-4(0)
<ul style="list-style-type: none"><li>Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos</li></ul>	NTP 339.129:1999 SUELOS	LL:35% LP: 26.5% IP: 8.5%
<ul style="list-style-type: none"><li>Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio</li></ul>	NTP 339.129:1999 SUELOS	0% --- 100% DE MDS 0,1' =21.9 1% --- 100% DE MDS 0,1' =36.7 3% --- 100% DE MDS 0,1' =41.3 5% --- 100% DE MDS 0,1' =73.8

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensayo de Compactación Proctor Modificado</li> </ul>	NTP 339.141 (ASTM D1557)	0% MAX DENS SEC.=2.084 GR/CM3 OPTIMO HUMED.=10.5%  1% MAX DENS SEC.=2.0.9 GR/CM3 OPTIMO HUMED.=10.6%  3% MAX DENS SEC.=2.263 GR/CM3 OPTIMO HUMED.=9.8%  5 MAX DENS SEC.=2.256 GR/CM3 OPTIMO HUMED.=8.20%
---	-----------------------------	--

## Anexo 6. Proforma de laboratorio



**CONSULTORES Y CONSTRUCTORES GENERALES**  
Estudio de Suelos - Geotecnia - Minería - Cartografía Asuntos Ambientales Mineros



PROFOMA NRO. 1

DATOS DEL CLIENTE: Vladimir Irving Paiva Alcarraz  
 EMAIL :  
 SOLICITA :  
 RUC :

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	PRECIO UNIT (S/.)	PARCIAL (S/.)
1	Análisis Granulométrico	1	50.00	50.00
2	Límites de Consistencia	1	80.00	80.00
3	Contenido de Humedad	1	30.00	30.00
4	Proctor Modificado	1	220.00	220.00
5	Peso Específico de la Grava	1	40.00	40.00
6	C.B.R.	1	320.00	320.00
IGV (LOS PRECIOS INCLUYEN IGV)				
<b>TOTAL</b>				<b>740.00</b>

**CONDICIONES COMERCIALES :**

- \* FORMA DE PAGO : ALCANTADO , CONTRA ENTREGA 50% AL INICIO DE TRABAJO Y 50% AL CULMINAR EL TRABAJO
- \* Las calicatas deben de ser realizadas por el contratista
- \* TIEMPO DE ENTREGA : De acuerdo a los plazos establecidos en el contrato
- \* GARANTIA : Se levantara todas las observaciones
- \* LOS PRECIOS INCLUYEN IGV

**RUC : 20491058944 JFA CONSULTORES CONSTRUCTORES GENERALES SAC**

<b>BANCO DE CREDITO (BCP)</b>	
<b>CUENTA CORRIENTE</b>	<b>CODIGO DE CUENTA INTERBANCARIO CCI</b>
Soles: 205-1992766-054	002-205-001992766054-38
Dólar:	

<b>BBVA CONTINENTAL</b>	
<b>CUENTA CORRIENTE:</b>	<b>CÓDIGO DE CUENTA INTERBANCARIO CCI</b>
Soles: 001100100100004601	01101000010000460169
Dólar: 001100100100004628	01101000010000462862

<b>BANCO DE LA NACION</b>	
<b>CUENTA CORRIENTE:</b>	<b>CODIGO DE CUENTA INTERBANCARIO CCI</b>
Soles: 00-182-029025	01818200018202710367

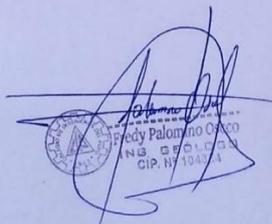
<b>CUENTA DE DETRACCIONES BANCO DE LA NACION</b>	
<b>CUENTA CORRIENTE:</b>	<b>CODIGO DE CUENTA INTERBANCARIO CCI</b>
Soles: 00-182-027103	01818200018202710367



J.F.A. CONSULTORES - CONSTRUCTORES GENERALES  
 CPC. JUNIL PALOMINO OSCCO  
DNI. 31622161  
 GERENTE GENERAL



DARIO A. CONTRERAS MOTTA  
 ING. CIVIL  
 CIP. 124431



Eddy Palomino OSCCO  
 ING. GEOLÓGICO  
 CIP. N° 104374

Jr. Amargura 415 San Jerónimo  
Andahuaylas – Apurímac

[jfaconsultoresconstructores@hotmail.com](mailto:jfaconsultoresconstructores@hotmail.com) [jfaconsultoresconstructores@yahoo.com](mailto:jfaconsultoresconstructores@yahoo.com)

## Anexo 7. Análisis granulométrico por tamizado



**INGENIEROS & LABORATORIO DE SUELOS S.A.C.**  
Estudio de Suelos - Geotecnia - Minería - Gestión Ambiental

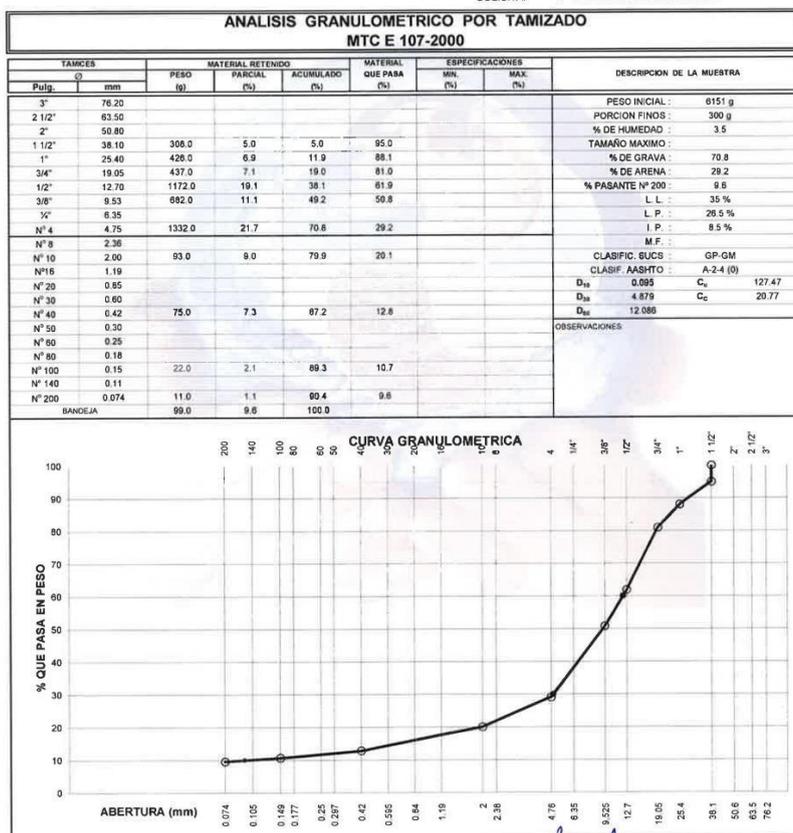


### LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CLORURO DE MAGNESIO EN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA SU USO EN LA CARRETERA HUANCARAY - SAN ANTONIO DE CACHI KM 21.370. KM 21+870 REGIÓN APURÍMAC 2020

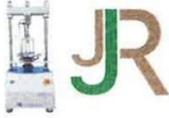
MATERIAL : PRETAMO  
UBICACIÓN :  
COORDENADAS :  
FECHA RECEPCION : 22/06/2020  
FECHA DE ENSAYO : 22/06/2020

PROFUNDIDAD : SUPERFICIAL  
ING. RESPONSABLE : F.P.O.  
ENTIDAD :  
SOLICITA : VLADIMIR IRVING PAIVA ALCARRAZ



*[Firma]*  
Ingeniero y Palomino  
CIP. N° 19433-1

## Anexo 8. Límites de consistencia pasante malla N° 40



**INGENIEROS & LABORATORIO DE SUELOS S.A.C.**  
Estudio de Suelos - Geotecnia - Minería - Gestión Ambiental



### LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CLORURO DE MAGNESIO EN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA SU USO EN LA CARRETERA  
HUANCARAY - SAN ANTONIO DE CACHI KM 21.370. KM 21+870 REGIÓN APURÍMAC 2020

MATERIAL **PRESTAMO**  
UBICACIÓN : \_\_\_\_\_  
COORDENADAS : \_\_\_\_\_  
FECHA RECEPCIÓN : **22/06/2020**  
FECHA DE ENSAYO : **22/06/2020**

CANTERA : \_\_\_\_\_  
PROFUNDIDAD : **SUPERFICIAL**  
ING. RESPONSABLE : **F.P.O.**  
ENTIDAD : \_\_\_\_\_  
SOLICITA : **VLADIMIR IRVING PAVIA ALCARRAZ**

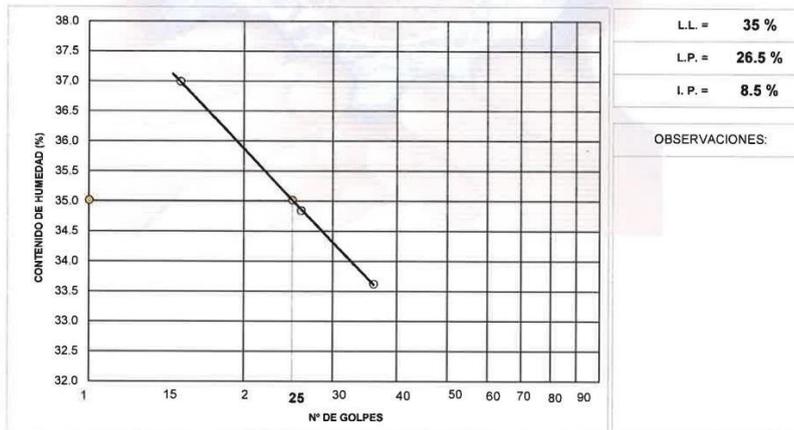
#### LIMITES DE CONSISTENCIA PASANTE MALLA N° 40

##### LIMITE LIQUIDO (LL) MTC E 110-2000

	15	26	36
Nº DEL DEPOSITO	1	2	3
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO (g)	41.78	39.78	38.87
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO (g)	34.31	33.18	32.73
PESO DEL AGUA (g)	7.47	6.60	6.14
PESO DEL DEPOSITO (g)	14.12	14.24	14.47
PESO DEL SUELO SECO (g)	20.19	18.94	18.28
CONTENIDO DE AGUA (w%)	37.00	34.85	33.63

##### LIMITE PLASTICO (LP) MTC E 111-2000

	1	2
Nº DEL DEPOSITO	1	2
PESO DEL SUELO HUMEDO + DEPOSITO (g)	21.15	25.51
PESO DEL SUELO SECO + DEPOSITO (g)	20.31	24.72
PESO DEL AGUA (g)	0.84	0.79
PESO DEL DEPOSITO (g)	17.08	21.80
PESO DEL SUELO SECO (g)	3.23	2.92
CONTENIDO DE AGUA (W%)	0.84	0.79
% DE HUMEDAD	26.01	27.05



*[Handwritten Signature]*  
Ingeniero F.P.O.  
CIP. N° 194124

## Anexo 9. Ensayo de compactación



**INGENIEROS & LABORATORIO DE SUELOS S.A.C.**  
Estudio de Suelos - Geotecnia - Minería - Gestión Ambiental



### LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

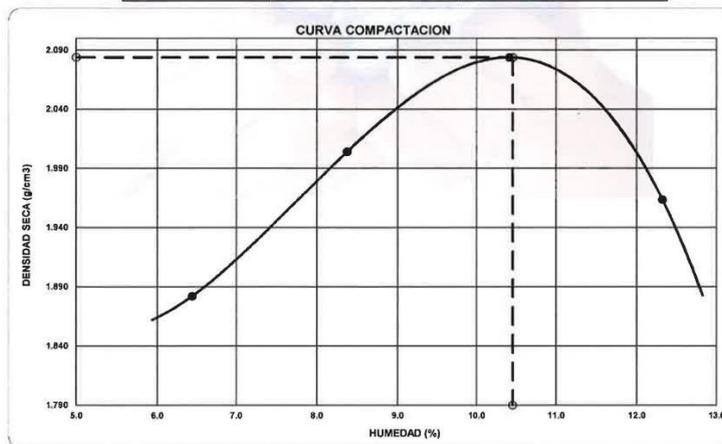
PROYECTO : INFLUENCIA DEL CLORURO DE MAGNESIO EN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA SU USO EN LA CARRETERA HUANCARAY – SAN ANTONIO DE CACHI KM 21.370. KM 21+870 REGIÓN APURÍMAC 2020

MATERIAL : **PRESTAMO**  
UBICACIÓN : \_\_\_\_\_  
COORDENADAS : **0**  
FECHA RECEPCIÓN : **22/06/2020**  
FECHA DE ENSAYO : **22/06/2020**

CANTERA : **0**  
PROFUNDIDAD : **SUPERFICIAL**  
ING. RESPONSABLE : **F.P.O.**  
ENTIDAD : \_\_\_\_\_  
SOLICITA : **VLADIMIR IRVING PAIVA ALCARRAZ**

ENSAYO DE COMPACTACION MTC E 115-2000						
METODO DE COMPACTACION :	C	VOLUMEN DEL MOLDE :		2151 cm <sup>3</sup>	MOLDE N° :	3
<b>COMPACTACION</b>						
N° ENSAYO		1	2	3	4	
PESO MOLDE + SUELO (g)		12345.0	12708.0	12985.0	12780.0	
PESO MOLDE (g)		8036	8036	8036	8036	
PESO SUELO COMPACTADO (g)		4309	4672	4949	4744	
DENSIDAD HUMEDA (g/cm <sup>3</sup> )		2.003	2.172	2.301	2.205	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
RECIPIENTE N°		0	0	0	0	
PESO SUELO HUMEDO + TARA (g)		612.0	608.0	615.0	620.0	
PESO SUELO SECO + TARA (g)		575.0	561.0	557.0	552.0	
PESO DEL AGUA (g)		37.0	47.0	58.0	68.0	
PESO DEL RECIPIENTE (g)		0.0	0.0	0.0	0.0	
PESO DEL SUELO SECO (g)		575.0	561.0	557.0	552.0	
CONTENIDO HUMEDAD (%)		6.4	8.4	10.4	12.3	
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )		1.882	2.004	2.084	1.964	

MAXIMA DENSIDAD SECA **2.084** gr/cm<sup>3</sup>      OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD **10.5 %**

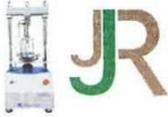


*[Handwritten signature]*  
Ing. Felipe Ortiz  
INGENIERO EN GEOTECNIA  
CIP Nº 134124

Jr. Bolognesi N° 500 San Jerónimo - Andahuaylas

E-mail: [irvingpaiva@laboratorios.com](mailto:irvingpaiva@laboratorios.com)

## Anexo 10. Contenido de humedad natural



**INGENIEROS & LABORATORIO DE SUELOS S.A.C.**  
Estudio de Suelos - Geotecnia - Minería - Gestión Ambiental



### LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CLORURO DE MAGNESIO EN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA SU USO EN LA CARRETERA HUANCARAY – SAN ANTONIO DE CACHI KM 21.370. KM 21+870 REGIÓN APURÍMAC 2020

MATERIAL : PRESTAMO  
UBICACIÓN : \_\_\_\_\_  
COORDENADAS : \_\_\_\_\_ 0  
FECHA RECEPCION : 22/06/2020  
FECHA DE ENSAYO : 22/06/2020

CANTERA : 0  
PROFUNDIDAD : SUPERFICIAL  
ING. RESPONSABLE : F.P.O.  
ENTIDAD : \_\_\_\_\_  
SOLICITA : VLADIMIR IRVING PAIVA ALCARRAZ

#### CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL MTC E 108-2000

Nº RECIPIENTE		1	2		
PESO DEL SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	(g)	764.00	764.00		
PESO DEL SUELO SECO + RECIPIENTE	(g)	742.00	742.00		
PESO DEL AGUA	(g)	22.00	22.00		
PESO DEL RECIPIENTE	(g)	115.0	115.0		
PESO DEL SUELO SECO	(g)	627.00	627.00		
HUMEDAD	(%)	3.51	3.51		
PROMEDIO	(%)				3.5

OBSERVACIONES :



# Anexo 11. C.B.R de suelos



**INGENIEROS & LABORATORIO DE SUELOS S.A.C.**  
Estudio de Suelos - Geotecnia - Minería - Gestión Ambiental



## LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CLORURO DE MAGNESIO EN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA SU USO EN LA CARRETERA HUANCARAY - SAN ANTONIO DE CACHI KM 21.370. KM 21+870 REGIÓN APURÍMAC 2020

MATERIAL : PRESTAMO  
UBICACIÓN :  
COORDENADAS : 0  
FECHA RECEPCION : 22/06/2020  
FECHA DE ENSAYO : 22/06/2020

ING.RESPONSABLE : F.P.O.  
CANTERA : 0  
SOLICITA : VLADIMIR IRVING PAIVA ALCARRAZ  
ENTIDAD :

C.B.R DE SUELOS (LABORATORIO) MTC E 132-2000						
Molde N°	1		2		3	
N° Capa	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
<b>Compactación</b>						
Peso molde + suelo húmedo (g)	12985	12896.0	10402	10532.0	10308	10625
Peso de molde (g)	8036	8036	6180	6180	6260	6260
Peso del suelo húmedo (g)	4949	4960	4222	4352	4048	4365
Volumen del molde (cm³)	2151	2151	2133	2133	2133	2133
Densidad húmeda (g/cm³)	2.301	2.259	1.980	2.041	1.898	2.047
<b>Contenido de Humedad (%)</b>						
Recipiente N°						
Tara + Suelo húmedo (g)	615.00	447.60	615.00	391.00	615.00	350.4
Tara + Suelo seco (g)	557.00	422.60	557.00	368.90	557.00	321.7
Peso del Agua (g)	58.00	25.00	58.00	22.10	58.00	28.70
Tara (g)	Peso recipiente = 0.00 g Programado en balanza digital					
Peso del suelo seco (g)	557.00	422.60	557.00	368.90	557.00	321.70
Humedad (%)	10.41	5.92	10.41	5.99	10.41	8.92
Densidad seca (g/cm³)	2.084	2.133	1.793	1.925	1.719	1.879

SIN EXPANSION										
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION
				mm	%		mm	%		
22/06/2020	09:00	0	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
23/06/2020	09:00	24	5.00	0.05	0.039	7.00	0.07	0.055	10.00	0.10
24/06/2020	09:00	48	7.00	0.07	0.055	9.00	0.09	0.071	12.00	0.12
25/06/2020	09:00	72	9.00	0.09	0.071	11.00	0.11	0.087	14.00	0.14

PENETRACION													
PENETRACION (mm.)	CARGA STAND. Kg/cm2	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div.)	Kg/cm²	Kg/cm²	%	Dial (div.)	Kg/cm²	Kg/cm²	%	Dial (div.)	Kg/cm²	Kg/cm²	%
0.00		0	0.0			0	0.0			0	0.0		
0.64		8	2.0			4	1.0			5	1.3		
1.27		15	3.8			9	2.3			8	2.0		
1.91		25	6.3			13	3.3			11	2.8		
2.54	70.31	37	9.3	21.89		19	4.8	7.80		14	3.5	4.88	
3.81		68	17.1			30	7.5			18	4.5		
5.08	105.46	120	30.2	37.04		46	11.6	11.47		25	6.3	5.86	
6.35		175	44.0			60	15.1			31	7.8		
7.62		233	58.6			77	19.3			43	10.8		
8.89		310	77.9			100	25.1			55	13.8		
10.16													
11.43													
12.70													

*[Handwritten signature]*  
C.P. N° 194234

*[Handwritten signature]*  
C.P. N° 194234

## Anexo 12. Ensayo de CBR – Gráfico de penetración



**INGENIEROS & LABORATORIO DE SUELOS S.A.C.**  
Estudio de Suelos - Geotecnia - Minería - Gestión Ambiental



### LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CLORURO DE MAGNESIO EN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA SU USO EN LA CARRETERA HUANCARAY – SAN ANTONIO DE CACHI KM 21.370. KM 21+870 REGIÓN APURÍMAC 2020

MATERIAL : PRESTAMO

UBICACIÓN : \_\_\_\_\_

COORDENADAS : 0

FECHA RECEPCIÓN : 22/06/2020

FECHA DE ENSAYO : 22/06/2020

CANTERA : 0

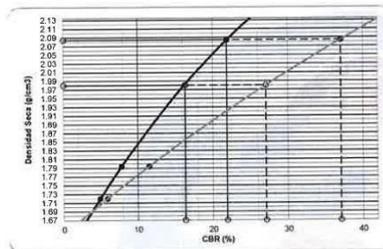
PROFUNDIDAD : SUPERFICIAL

ING. RESPONSABLE : F.P.O.

ENTIDAD : \_\_\_\_\_

SOLICITA : VLADIMIR IRVING PAIVA ALCARRAZ

#### ENSAYO DE CBR - GRAFICO DE PENETRACION MTC E 132-2000

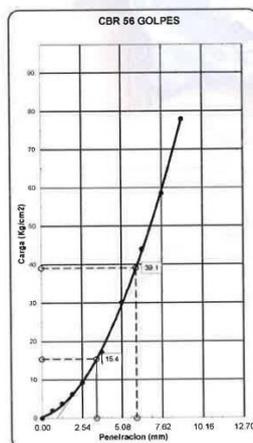


C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.1" : **21.9**  
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.1" : **16.4**

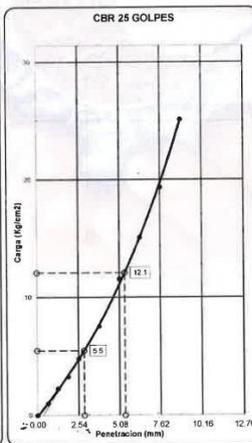
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.2" : **37.0**  
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.2" : **27.1**

Datos del Proctor  
Densidad Seca : 2.084 g/cm<sup>3</sup>  
Humedad Opt : 10.5 %

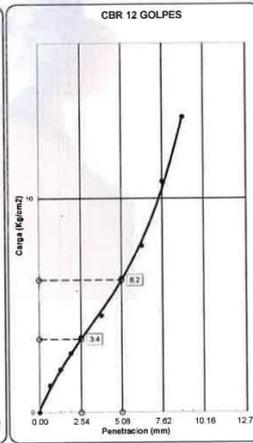
Observaciones:



C.B.R. (0.1")-56 GOLPES : **21.9**  
C.B.R. (0.2")-56 GOLPES : **37.0**



C.B.R. (0.1")-25 GOLPES : **7.8**  
C.B.R. (0.2")-25 GOLPES : **11.5**



C.B.R. (0.1")-12 GOLPES : **4.9**  
C.B.R. (0.2")-12 GOLPES : **5.9**

*[Handwritten signature]*  
Ing. F.P.O.  
CIP N° 12.345

## Anexo 13. Ensayo de compactación



**INGENIEROS & LABORATORIO DE SUELOS S.A.C.**  
Estudio de Suelos - Geotecnia - Minería - Gestión Ambiental



### LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

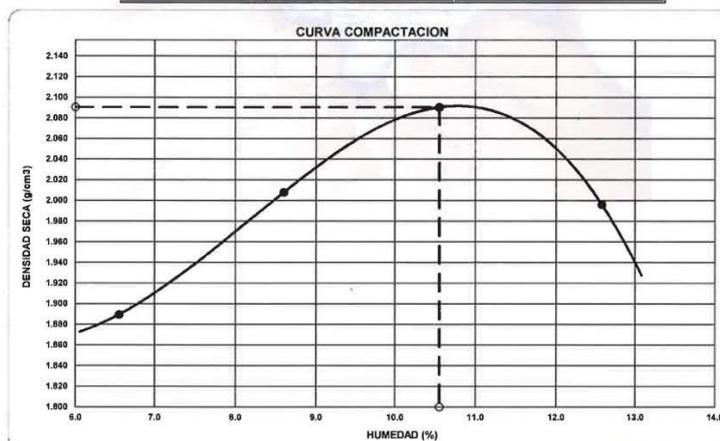
PROYECTO : INFLUENCIA DEL CLORURO DE MAGNESIO EN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA SU USO EN LA  
CARRETERA HUANCARAY – SAN ANTONIO DE CACHI KM 21.370. KM 21+870 REGIÓN APURÍMAC 2020

MATERIAL : **PRESTAMO**  
UBICACIÓN : \_\_\_\_\_  
COORDENADAS : \_\_\_\_\_ 0  
FECHA RECEPCION : **22/06/2020**  
FECHA DE ENSAYO : **22/06/2020**

CANTERA : **0**  
PROFUNDIDAD : **SUPERFICIAL**  
ING. RESPONSABLE : **F.P.O.**  
ENTIDAD : \_\_\_\_\_  
SOLICITA : **VLADIMIR IRVING PAIVA ALCARRAZ**

ENSAYO DE COMPACTACION MTC E 115-2000						
METODO DE COMPACTACION	C	VOLUMEN DEL MOLDE		2151 cm <sup>3</sup>	MOLDE Nº	3
<b>COMPACTACION</b>						
Nº ENSAYO		1	2	3	4	
PESO MOLDE + SUELO (g)		12387.0	12726.0	13007.0	12870.0	
PESO MOLDE (g)		8036	8036	8036	8036	
PESO SUELO COMPACTADO (g)		4331	4690	4971	4834	
DENSIDAD HUMEDA (g/cm <sup>3</sup> )		2.013	2.190	2.311	2.247	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
RECIPIENTE Nº		0	0	0	0	
PESO SUELO HUMEDO + TARA (g)		899.0	895.0	702.0	707.0	
PESO SUELO SECO + TARA (g)		656.0	640.0	635.0	628.0	
PESO DEL AGUA (g)		43.0	55.0	67.0	79.0	
PESO DEL RECIPIENTE (g)		0.0	0.0	0.0	0.0	
PESO DEL SUELO SECO (g)		656.0	640.0	635.0	628.0	
CONTENIDO HUMEDAD (%)		6.6	8.6	10.6	12.6	
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )		1.890	2.008	2.090	1.996	

MAXIMA DENSIDAD SECA **2.09** gr/cm<sup>3</sup> OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD **10.6** %



*Palatino Oca*  
ING. CIVIL  
CIP. Nº 13411

Jr. Bolognesi N° 500 San Jerónimo - Andahuaylas

E-mail: [ingenieroslaboratorios@gmail.com](mailto:ingenieroslaboratorios@gmail.com)

## Anexo 14. C.B.R de suelos



**INGENIEROS & LABORATORIO DE SUELOS S.A.C.**  
Estudio de Suelos - Geotecnia - Minería - Gestión Ambiental



### LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CLORURO DE MAGNESIO EN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA SU USO EN LA CARRETERA HUANCARAY - SAN ANTONIO DE CACHI KM 21.370. KM 21+870 REGIÓN APURÍMAC 2020

MATERIAL : PRESTAMO	ING. RESPONSABLE : F.P.O.
UBICACIÓN : _____	CANTERA : 0
COORDENADAS : 0	SOLICITA : VLADIMIR IRVING PAIVA ALCARRAZ
FECHA RECEPCION : 22/06/2020	ENTIDAD : _____
FECHA DE ENSAYO : 22/06/2020	

C.B.R DE SUELOS (LABORATORIO) MTC E 132-2000						
Molde Nº	1		2		3	
Nº Capa	5		5		5	
Golpes por capa Nº	56		25		12	
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
<b>Compactación</b>						
Peso molde + suelo húmedo (g)	13007	13007.0	10396	10396.0	10319	10319
Peso de molde (g)	8036	8036	6180	6180	6260	6260
Peso del suelo húmedo (g)	4971	4971	4216	4216	4059	4059
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2151	2151	2133	2133	2133	2133
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.311	2.311	1.977	1.977	1.903	1.903
<b>Contenido de Humedad (%)</b>						
Recipiente Nº						
Tara + Suelo húmedo (g)	702.00	447.60	702.00	391.00	702.00	350.4
Tara + Suelo seco (g)	635.00	422.60	635.00	368.90	635.00	321.7
Peso del Agua (g)	67.00	25.00	67.00	22.10	67.00	28.70
Tara (g)	Peso recipiente = 0.00 g Programado en balanza digital					
Peso del suelo seco (g)	635.00	422.60	635.00	368.90	635.00	321.70
Humedad (%)	10.55	5.92	10.55	5.99	10.55	8.92
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.090	2.182	1.788	1.865	1.722	1.747

SIN EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
22/06/2020	09:00	0	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000
23/06/2020	09:00	24	5.00	0.05	0.039	7.00	0.07	0.055	10.00	0.10	0.079
24/06/2020	09:00	48	7.00	0.07	0.055	9.00	0.09	0.071	12.00	0.12	0.094
25/06/2020	09:00	72	9.00	0.09	0.071	11.00	0.11	0.087	14.00	0.14	0.110

PENETRACION													
PENETRACION (mm.)	CARGA STAND. Kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE Nº 1				MOLDE Nº 2				MOLDE Nº 3			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div.)	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial (div.)	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial (div.)	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	%
0.00	0	0.0			0	0.0			0	0.0			
0.64	3	0.8			5	1.3			5	1.3			
1.27	10	2.5			10	2.5			8	2.0			
1.91	20	5.0			14	3.5			13	3.3			
2.54	70.31	45	11.3	36.73	19	4.8	7.11		16	4.0	5.43		
3.81	94	23.6			28	7.0			19	4.8			
5.08	105.46	170	42.7	54.73	46	11.6	10.87		23	5.8	5.49		
6.35		225	56.5		63	15.8			30	7.5			
7.62		275	69.1		86	21.6			40	10.1			
8.89		310	77.9		120	30.2			59	14.8			
10.16													
11.43													
12.70													

Ing. F.P.O.  
 CIP. N° 193134

# Anexo 15. C.B.R de suelos



**INGENIEROS & LABORATORIO DE SUELOS S.A.C.**  
Estudio de Suelos - Geotecnia - Minería - Gestión Ambiental



## LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CLORURO DE MAGNESIO EN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA SU USO EN LA CARRETERA HUANCARAY - SAN ANTONIO DE CACHI KM 21.370. KM 21+870 REGIÓN APURÍMAC 2020

MATERIAL : PRESTAMO  
UBICACIÓN :  
COORDENADAS : 0  
FECHA RECEPCION : 22/06/2020  
FECHA DE ENSAYO : 22/06/2020

ING. RESPONSABLE : F.P.O.  
CANTERA : 0  
SOLICITA : VLADIMIR IRVING PAIVA ALCARRAZ  
ENTIDAD :

C.B.R DE SUELOS (LABORATORIO) MTC E 132-2000						
Molde N°	1	2	3			
N° Capa	5	5	5			
Golpes por capa N°	56	25	12			
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
<b>Compactación</b>						
Peso molde + suelo húmedo (g)	13370	13254.0	10412	10412.0	10321	10321
Peso de molde (g)	8036	8036	6180	6180	6260	6260
Peso del suelo húmedo (g)	5334	5218	4232	4232	4061	4061
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2151	2151	2133	2133	2133	2133
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.480	2.426	1.984	1.984	1.904	1.904
<b>Contenido de Humedad (%)</b>						
Recipiente N°						
Tara + Suelo húmedo (g)	560.00	447.60	560.00	391.00	560.00	350.4
Tara + Suelo seco (g)	511.00	422.60	511.00	368.90	511.00	321.7
Peso del Agua (g)	49.00	25.00	49.00	22.10	49.00	28.70
Tara (g)						
Peso del suelo seco (g)	511.00	422.60	511.00	368.90	511.00	321.70
Humedad (%)	9.59	5.92	9.59	5.99	9.59	8.92
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.263	2.290	1.811	1.872	1.738	1.748

SIN EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
22/06/2020	09:00	0	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000
23/06/2020	09:00	24	5.00	0.05	0.039	7.00	0.07	0.055	10.00	0.10	0.079
24/06/2020	09:00	48	7.00	0.07	0.055	9.00	0.09	0.071	12.00	0.12	0.094
25/06/2020	09:00	72	9.00	0.09	0.071	11.00	0.11	0.087	14.00	0.14	0.110

PENETRACION													
PENETRACION (mm.)	CARGA STAND. Kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div.)	Kg./cm <sup>2</sup>	Kg./cm <sup>2</sup>	%	Dial (div.)	Kg./cm <sup>2</sup>	Kg./cm <sup>2</sup>	%	Dial (div.)	Kg./cm <sup>2</sup>	Kg./cm <sup>2</sup>	%
0.00		0	0.0			0	0.0			0	0.0		
0.64		20	5.0			8	2.0			3	0.8		
1.27		50	12.6			17	4.3			7	1.8		
1.91		85	21.4			34	8.5			16	4.0		
2.54	70.31	120	30.2	41.26		49	12.3	23.78		25	6.3	14.86	
3.81		170	42.7			90	22.6			50	12.6		
5.08	105.46	225	56.5	54.38		135	33.9	39.20		85	21.4	28.32	
6.35		279	70.1			205	51.5			135	33.9		
7.62		335	84.2			269	67.6			196	49.3		
8.89		386	97.0			379	95.2			285	71.6		
10.16													
11.43													
12.70													

*[Handwritten Signature]*  
INGENIEROS & LABORATORIO DE SUELOS S.A.C.  
D.P. N° 104534

# Anexo 16. Ensayo de CBR – Gráfico de penetración



**INGENIEROS & LABORATORIO DE SUELOS S.A.C.**  
Estudio de Suelos - Geotecnia - Minería - Gestión Ambiental



## LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CLORURO DE MAGNESIO EN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA SU USO EN LA CARRETERA HUANCARAY – SAN ANTONIO DE CACHI KM 21.370, KM 21+870 REGIÓN APURÍMAC 2020

MATERIAL : **PRESTAMO**

UBICACIÓN : \_\_\_\_\_

COORDENADAS : **0**

FECHA RECEPCION : **22/06/2020**

FECHA DE ENSAYO : **22/06/2020**

CANTERA : **0**

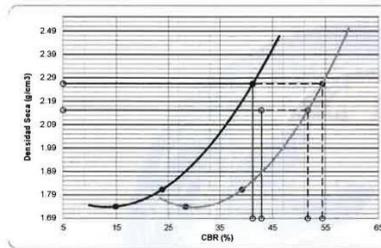
PROFUNDIDAD : **SUPERFICIAL**

ING RESPONSABLE : **F.P.O.**

ENTIDAD : \_\_\_\_\_

SOLICITA : **VLADIMIR IRVING PAIVA ALCARRAZ**

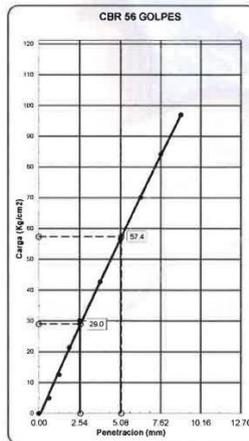
### ENSAYO DE CBR - GRAFICO DE PENETRACION MTC E 132-2000



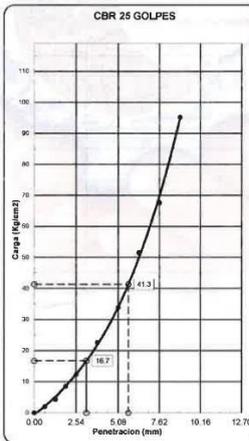
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.1"	<b>41.3</b>
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.1"	<b>43.0</b>
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.2"	<b>54.4</b>
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.2"	<b>51.8</b>

Datos del Proctor	
Densidad Seca	2.263 g/cm³
Humedad Opt.	9.5 %

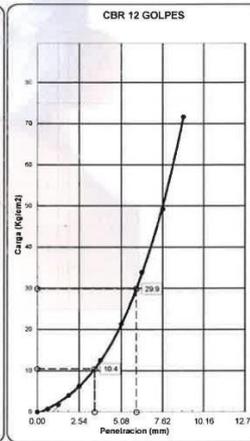
Observaciones: \_\_\_\_\_



C.B.R. (0.1")-56 GOLFES : **41.3**  
C.B.R. (0.2")-56 GOLFES : **54.4**



C.B.R. (0.1")-25 GOLFES : **23.8**  
C.B.R. (0.2")-25 GOLFES : **39.2**



C.B.R. (0.1")-12 GOLFES : **14.9**  
C.B.R. (0.2")-12 GOLFES : **28.3**

*[Handwritten Signature]*  
Ingenieros & Laboratorio de Suelos S.A.C.  
I.R.V. E. S. S. S. S.  
SIP. N° 101024

# Anexo 17. Ensayo de compactación



**INGENIEROS & LABORATORIO DE SUELOS S.A.C.**  
Estudio de Suelos - Geotecnia - Minería - Gestión Ambiental



## LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

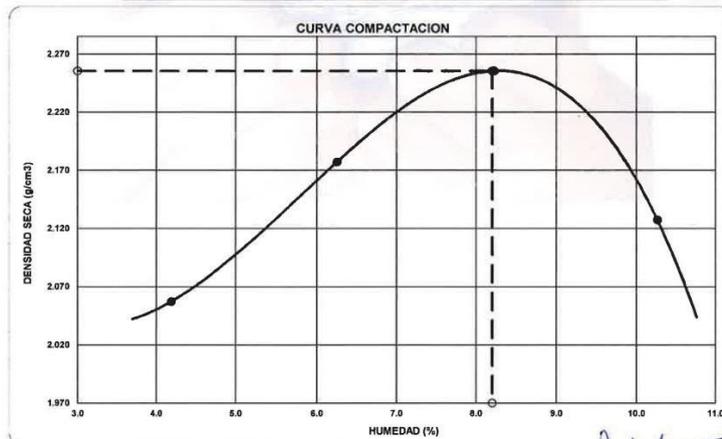
PROYECTO : INFLUENCIA DEL CLORURO DE MAGNESIO EN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA SU USO EN LA CARRETERA HUANCARAY – SAN ANTONIO DE CACHI KM 21.370. KM 21+870 REGIÓN APURÍMAC 2020

MATERIAL : PRESTAMO  
UBICACIÓN : \_\_\_\_\_  
COORDENADAS : \_\_\_\_\_ 0  
FECHA RECEPCION : 22/06/2020  
FECHA DE ENSAYO : 22/06/2020

CANTERA : 0  
PROFUNDIDAD : SUPERFICIAL  
ING. RESPONSABLE : F.P.O.  
ENTIDAD : \_\_\_\_\_  
SOLICITA : VLADIMIR IRVING PAIVA ALCARRAZ

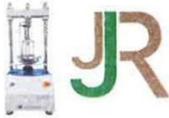
ENSAYO DE COMPACTACION MTC E 115-2000					
METODO DE COMPACTACION :	C	VOLUMEN DEL MOLDE :	2151 cm <sup>3</sup>	MOLDE N° :	3
<b>COMPACTACION</b>					
N° ENSAYO		1	2	3	4
PESO MOLDE + SUELO (g)		12647.0	13012.0	13287.0	13082.0
PESO MOLDE (g)		8036	8036	8036	8036
PESO SUELO COMPACTADO (g)		4611	4976	5251	5046
DENSIDAD HUMEDA (g/cm <sup>3</sup> )		2.144	2.313	2.441	2.346
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
RECIPIENTE N°		0	0	0	0
PESO SUELO HUMEDO + TARA (g)		497.0	493.0	500.0	505.0
PESO SUELO SECO + TARA (g)		477.0	464.0	462.0	458.0
PESO DEL AGUA (g)		20.0	29.0	38.0	47.0
PESO DEL RECIPIENTE (g)		0.0	0.0	0.0	0.0
PESO DEL SUELO SECO (g)		477.0	464.0	462.0	458.0
CONTENIDO HUMEDAD (%)		4.2	6.3	8.2	10.3
DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> )		2.057	2.177	2.258	2.128

MAXIMA DENSIDAD SECA **2.256** g/cm<sup>3</sup>      OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD **8.20** %



*[Handwritten signature]*

# Anexo 18. Ensayo de CBR – Gráfico de penetración



**INGENIEROS & LABORATORIO DE SUELOS S.A.C.**  
Estudio de Suelos - Geotecnia - Minería - Gestión Ambiental



## LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO: INFLUENCIA DEL CLORURO DE MAGNESIO EN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA SU USO EN LA CARRETERA HUANCARAY – SAN ANTONIO DE CACHI KM 21.370. KM 21+870 REGIÓN APURÍMAC 2020

MATERIAL: **PRESTAMO**

UBICACIÓN: \_\_\_\_\_

COORDENADAS: **0**

FECHA RECEPCION: **22/06/2020**

FECHA DE ENSAYO: **22/06/2020**

CANTERA: **0**

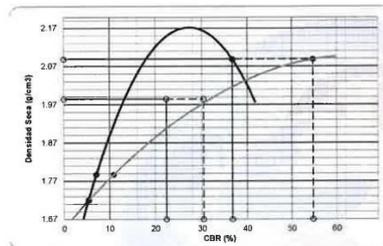
PROFUNDIDAD: **SUPERFICIAL**

ING RESPONSABLE: **F.P.O.**

ENTIDAD: \_\_\_\_\_

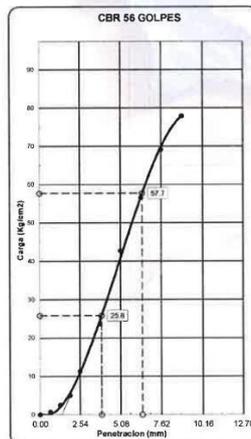
SOLICITA: **VLADIMIR IRVING PAIVA ALCARRAZ**

### ENSAYO DE CBR - GRÁFICO DE PENETRACIÓN MTC E 132-2000

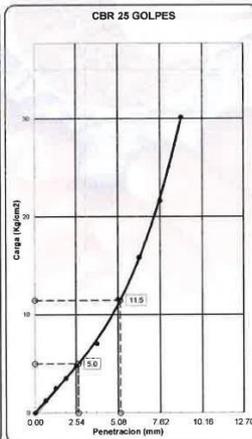


Datos del Proctor	
Densidad Seca	2.091 g/cm³
Humedad Opt	10.6 %

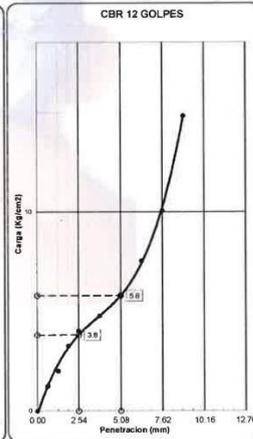
Observaciones:



C.B.R. (0.1")-56 GOLFES : **36.7**  
C.B.R. (0.2")-56 GOLFES : **54.7**



C.B.R. (0.1")-25 GOLFES : **7.1**  
C.B.R. (0.2")-25 GOLFES : **10.9**



C.B.R. (0.1")-12 GOLFES : **5.4**  
C.B.R. (0.2")-12 GOLFES : **5.5**

*[Signature]*  
INGENIEROS & LABORATORIO DE SUELOS S.A.C.  
C.P. N° 194534



## Anexo 20. Ensayo de compactación



**INGENIEROS & LABORATORIO DE SUELOS S.A.C.**  
Estudio de Suelos - Geotecnia - Minería - Gestión Ambiental



### LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

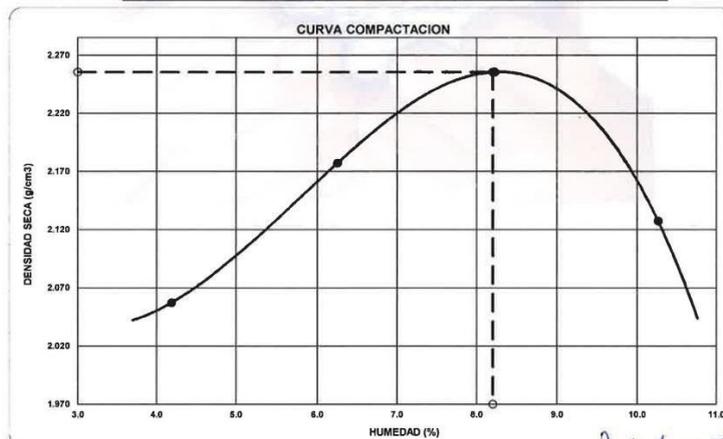
PROYECTO : INFLUENCIA DEL CLORURO DE MAGNESIO EN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA SU USO EN LA CARRETERA HUANCARAY – SAN ANTONIO DE CACHI KM 21.370. KM 21+870 REGIÓN APURÍMAC 2020

MATERIAL : PRESTAMO  
UBICACIÓN : \_\_\_\_\_  
COORDENADAS : 0  
FECHA RECEPCION : 22/06/2020  
FECHA DE ENSAYO : 22/06/2020

CANERA : 0  
PROFUNDIDAD : SUPERFICIAL  
ING. RESPONSABLE : F.P.O.  
ENTIDAD : \_\_\_\_\_  
SOLICITA : VLADIMIR IRVING PAIVA ALCARRAZ

ENSAYO DE COMPACTACION MTC E 115-2000						
METODO DE COMPACTACION :	C	VOLUMEN DEL MOLDE :		2151 cm <sup>3</sup>	MOLDE N° :	3
<b>COMPACTACION</b>						
N° ENSAYO		1	2	3	4	
PESO MOLDE + SUELO (g)		12647.0	13012.0	13287.0	13082.0	
PESO MOLDE (g)		8036	8036	8036	8036	
PESO SUELO COMPACTADO (g)		4611	4976	5251	5046	
DENSIDAD HUMEDA (g/cm <sup>3</sup> )		2.144	2.313	2.441	2.346	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
RECIPIENTE N°		0	0	0	0	
PESO SUELO HUMEDO + TARA (g)		497.0	493.0	500.0	505.0	
PESO SUELO SECO + TARA (g)		477.0	464.0	462.0	458.0	
PESO DEL AGUA (g)		20.0	29.0	38.0	47.0	
PESO DEL RECIPIENTE (g)		0.0	0.0	0.0	0.0	
PESO DEL SUELO SECO (g)		477.0	464.0	462.0	458.0	
CONTENIDO HUMEDAD (%)		4.2	6.3	8.2	10.3	
DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> )		2.057	2.177	2.256	2.128	

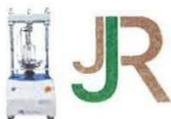
MAXIMA DENSIDAD SECA	2.256 g/cm <sup>3</sup>	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	8.20 %
----------------------	-------------------------	-----------------------------	--------



Jr. Bolognesi N° 500 San Jerónimo - Andahuaylas  
Calle Comercio N° 204 - Abancay

E-mail: [iringenieroslaboratorios@gmail.com](mailto:iringenieroslaboratorios@gmail.com)

# Anexo 21. C.B.R de suelos



**INGENIEROS & LABORATORIO DE SUELOS S.A.C.**  
Estudio de Suelos - Geotecnia - Minería - Gestión Ambiental



## LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CLORURO DE MAGNESIO EN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA SU USO EN LA CARRETERA HUANCARAY - SAN ANTONIO DE CACHI KM 21.370. KM 21+870 REGIÓN APURÍMAC 2020

MATERIAL : PRESTAMO  
UBICACIÓN :  
COORDENADAS : 0  
FECHA RECEPCION : 22/06/2020  
FECHA DE ENSAYO : 22/06/2020

ING.RESPONSABLE : F.P.O.  
CANTERA : 0  
SOLICITA : VLADIMIR IRVING PAIVA ALCARRAZ  
ENTIDAD :

C.B.R DE SUELOS (LABORATORIO) MTC E 132-2000						
Molde Nº	1	2	3			
Nº Capa	5	5	5			
Golpes por capa Nº	56	25	12			
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
<b>Compactación</b>						
Peso molde + suelo húmedo (g)	13287	13287.0	10419	10419.0	10322	10396
Peso de molde (g)	8036	8036	6180	6180	6260	6260
Peso del suelo húmedo (g)	5251	5251	4239	4239	4062	4136
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2151	2151	2133	2133	2133	2133
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.441	2.441	1.988	1.988	1.905	1.939
<b>Contenido de Humedad (%)</b>						
Recipiente Nº						
Tara + Suelo húmedo (g)	500.00	447.60	500.00	391.00	500.00	350.4
Tara + Suelo seco (g)	462.00	422.60	462.00	368.90	462.00	321.7
Peso del Agua (g)	38.00	25.00	38.00	22.10	38.00	28.70
Tara (g)						
Peso del suelo seco (g)	462.00	422.60	462.00	368.90	462.00	321.70
Humedad (%)	8.23	5.92	8.23	5.99	8.23	8.92
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.256	2.305	1.637	1.875	1.760	1.781

SIN EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
22/06/2020	09:00	0	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000
23/06/2020	09:00	24	5.00	0.05	0.039	7.00	0.07	0.055	10.00	0.10	0.079
24/06/2020	09:00	48	7.00	0.07	0.055	9.00	0.09	0.071	12.00	0.12	0.094
25/06/2020	09:00	72	9.00	0.09	0.071	11.00	0.11	0.087	14.00	0.14	0.110

PENETRACION												
PENETRACION (mm.)	CARGA STAND. Kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3				
		CARGA		CORRECCION	CARGA		CORRECCION	CARGA		CORRECCION		
		Dial (div.)	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial (div.)	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial (div.)	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
0.00		0	0.0			0	0.0			0	0.0	
0.64		35	8.8			2	0.5			5	1.3	
1.27		96	24.1			3	0.8			9	2.3	
1.91		145	36.4			10	2.5			15	3.8	
2.54	70.31	230	57.8	83.59		25	6.3	29.47		24	6.0	14.33
3.81		344	86.4			61	15.3			45	11.3	
5.08	105.46	438	110.1	109.39		120	30.2	49.93		79	19.9	26.59
6.35		542	136.2			186	46.7			125	31.4	
7.62		625	157.1			265	66.6			179	45.0	
8.89		693	174.1			319	80.2			249	62.6	
10.16												
11.43												
12.70												

*[Handwritten Signature]*  
INGENIEROS & LABORATORIO DE SUELOS S.A.C.  
CIP Nº 703284

## Anexo 22. Ensayo de CBR – Gráfico de penetración



**INGENIEROS & LABORATORIO DE SUELOS S.A.C.**  
Estudio de Suelos - Geotecnia - Minería - Gestión Ambiental



### LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

PROYECTO : INFLUENCIA DEL CLORURO DE MAGNESIO EN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA SU USO EN LA CARRETERA HUANCARAY – SAN ANTONIO DE CACHI KM 21.370. KM 21+870 REGIÓN APURÍMAC 2020

MATERIAL : PRESTAMO

UBICACIÓN : \_\_\_\_\_

COORDENADAS : 0

FECHA RECEPCION : 22/06/2020

FECHA DE ENSAYO : 22/06/2020

CANTERA : 0

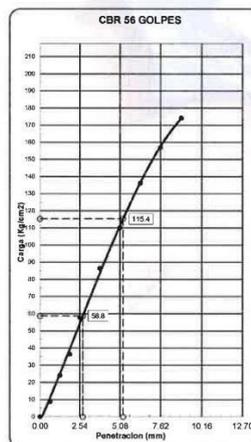
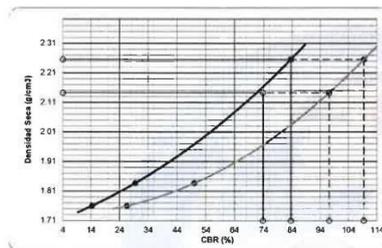
PROFUNDIDAD : SUPERFICIAL

ING. RESPONSABLE : F.P.O.

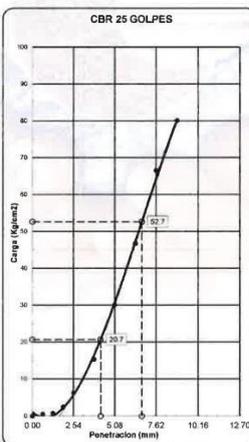
ENTIDAD : \_\_\_\_\_

SOLICITA : VLADIMIR IRVING PAIVA ALCARRAZ

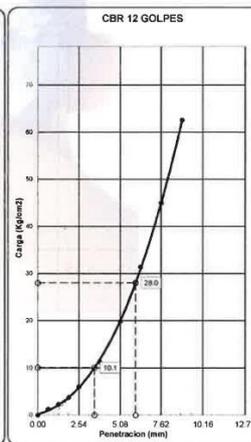
#### ENSAYO DE CBR - GRAFICO DE PENETRACION MTC E 132-2000



C.B.R. (0.1")-56 GOLPES : **83.6**  
C.B.R. (0.2")-56 GOLPES : **109.4**



C.B.R. (0.1")-25 GOLPES : **29.5**  
C.B.R. (0.2")-25 GOLPES : **49.9**



C.B.R. (0.1")-12 GOLPES : **14.3**  
C.B.R. (0.2")-12 GOLPES : **26.6**

*[Signature]*  
Palamino Osorio  
CIP. N° 104584



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Declaratoria de Originalidad del Autor**

Yo, PAIVA ALCARRAZ VLADIMIR IRVING estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ATE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "INFLUENCIA DEL CLORURO DE MAGNESIO EN LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA SU USO EN LA CARRETERA HUANCARAY – SAN ANTONIO DE CACHI KM. 21+370 AL 21+ 870, REGIÓN APURÍMAC, 2020", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
PAIVA ALCARRAZ VLADIMIR IRVING <b>DNI:</b> 74402123 <b>ORCID</b> 0000-0003-0953-0326	Firmado digitalmente por: VPAIVAA el 09-05-2021 12:57:03

Código documento Trilce: INV - 0174537