

**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE  
MENDOZA DE AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**CLORURO DE MAGNESIO COMO ADITIVO EN EL  
TRATAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-  
MECÁNICAS DE LA SUPERFICIE DE RODADURA EN  
CARRETERAS NO PAVIMENTADAS**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR: Br. Dulce Perla Pumaricra Quispe**

**ASESOR: Ing. Jorge Chávez Guivín**

**CO – ASESOR: Arq. Guillermo Arturo Díaz Jáuregui**

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE  
MENDOZA DE AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**CLORURO DE MAGNESIO COMO ADITIVO EN EL  
TRATAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-  
MECÁNICAS DE LA SUPERFICIE DE RODADURA EN  
CARRETERAS NO PAVIMENTADAS**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR: Br. Dulce Perla Pumaricra Quispe**

**ASESOR: Ing. Jorge Chávez Guivín**

**CO – ASESOR: Arq. Guillermo Arturo Díaz Jáuregui**

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2019**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo quiero dedicarlo a mis padres Carlos Pumaricra Cardozo y María Quispe Guevara por haberme inculcado muchos valores y apoyarme incondicionalmente, a mis profesores de nivel inicial, primario, secundario y universidad por la formación académica que me brindaron.

Dulce Perla Pumaricra Quispe

## **AGRADECIMIENTO**

Al Mg. Edwin Díaz Ortiz, Dr. Manuel Emilio Milla Pino, mi asesor Ing. Jorge Chávez Guivin, co asesor Arq. Guillermo Arturo Díaz Jáuregui y también a mis jurados de tesis ing. Lucila Arce Meza, Lic. José Luis Osorio y Mg. Lenin Quiñones Huatangari por el tiempo que me brindaron para absolver mis dudas y así llegar a culminar este trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza donde obtuve y fortalecí conocimientos acerca de la carrera profesional que elegí estudiar.

A la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones- Amazonas, área de Laboratorio de Suelos y Concreto, en especial a los técnicos Miguel Tapayuri Chota, Segundo Fabián Rodríguez Tamay, Freddy Gallardo Meléndez y Edgar Leonardo Ordoñez Servan por el incondicional apoyo que me brindaron para realizar todos los ensayos que se detallaran en el presente trabajo de investigación.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO  
RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

---

**Dr. Policarpio Chauca Valqui**

**RECTOR**

---

**Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillon**

**VICERRECTOR ACADÉMICO**

---

**Dra. Flor Teresa García Huamán**

**VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN**

---

**Mg. Edwin Adolfo Díaz Ortiz**

**DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CIVIL Y AMBIENTAL**

## **VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS**

El docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas que suscribe, hace constar que ha asesorado la tesis titulada “CLORURO DE MAGNESIO COMO ADITIVO EN EL TRATAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA SUPERFICIE DE RODADURA EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS”, de la tesista egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

- Br. Dulce Perla Pumaricra Quispe

El suscrito da el visto bueno de la mencionada tesis dándole pase para que sea sometida a la revisión por el jurado evaluador comprometiéndose a supervisar el levantamiento de las observaciones que formulen para su posterior sustentación.

Chachapoyas marzo del 2019

.....

Ing. Jorge Chávez Guivín  
ASESOR

## **VISTO BUENO DEL CO-ASESOR DE TESIS**

El docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas que suscribe, hace constar que ha asesorado la tesis titulada “CLORURO DE MAGNESIO COMO ADITIVO EN EL TRATAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA SUPERFICIE DE RODADURA EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS”, de la tesista egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

- Br. Dulce Perla Pumaricra Quispe

El suscrito da el visto bueno de la mencionada tesis dándole pase para que sea sometida a la revisión por el jurado evaluador comprometiéndose a supervisar el levantamiento de las observaciones que formulen para su posterior sustentación.

Chachapoyas marzo del 2019

.....

Arq. Guillermo Arturo Díaz Jáuregui

CO-ASESOR

# **JURADO EVALUADOR**

---

Lic. José Luis Quispe Osorio  
**PRESIDENTE**

---

Mg. Lenin Quiñones Huatangari  
**SECRETARIO**

---

Ing. Lucila Arce Meza  
**VOCAL**

## DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, Dulce Perla Pumaricra Quispe, bachiller de la escuela profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, identificado con DNI N° 47893516.

Declaro bajo juramento que:

- Soy la autora de la tesis titulada: CLORURO DE MAGNESIO COMO ADITIVO EN EL TRATAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA SUPERFICIE DE RODADURA EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS, la misma que presento para optar el título profesional de Ingeniero Civil.
- La tesis no ha sido plagiada total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
- La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
- La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
- Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente, asumimos las consecuencias y sanciones civiles y penales que de nuestras acciones se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Chachapoyas marzo del 2019.

.....

Dulce Perla Pumaricra Quispe

DNI 47893516

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
I. INTRODUCCIÓN .....	15
II. MATERIAL Y MÉTODOS .....	17
2.1. Localización de la investigación.....	17
2.2. Materiales, herramientas y/o equipos .....	18
2.2.1. En campo .....	18
2.2.1.1. Materiales.....	18
2.2.1.2. Herramientas.....	18
2.2.1.3. Equipos.....	18
2.2.2. En laboratorio.....	18
2.2.2.1. Cuarteo manual .....	18
2.2.2.1.1. Herramientas .....	18
2.2.2.2. Contenido de humedad – MTC E108 .....	18
2.2.2.2.1. Materiales .....	18
2.2.2.2.2. Equipos .....	18
2.2.2.3. Análisis granulométrico – MTC E107 .....	19
2.2.2.3.1. Materiales .....	19
2.2.2.3.2. Equipos .....	19
2.2.2.4. Límite líquido - MTC E110 .....	19
2.2.2.4.1. Materiales .....	19
2.2.2.4.2. Herramientas .....	19
2.2.2.4.3. Equipos .....	19
2.2.2.5. Límite plástico –MTC E111 .....	20
2.2.2.5.1. Materiales .....	20
2.2.2.5.2. Equipos .....	20
2.2.2.6. Compactación de suelos usando energía modificada – MTC E115. 20	
2.2.2.6.1. Materiales .....	20
2.2.2.6.2. Herramientas .....	20
2.2.2.6.3. Equipos .....	20
2.2.2.7. Abrasión los ángeles, al desgaste de los agregados de tamaños menores de (1 ½") – MTC E 207.....	21

2.2.2.7.1. Materiales .....	21
2.2.2.7.2. Equipos .....	21
2.2.2.8. Ensayo de CBR (Relación de Soporte California) de suelos compactado en laboratorio - MTC E132 .....	21
2.2.2.8.1. Materiales .....	21
2.2.2.8.2. Herramientas .....	21
2.2.2.8.3. Equipos .....	22
2.2.3. En gabinete .....	22
2.2.3.1. Materiales .....	22
2.2.3.2. Equipos .....	22
2.3. Diseño de la investigación .....	22
2.4. Población, muestra y muestreo .....	22
2.4.1. Universo Muestral .....	22
2.4.2. Muestreo .....	22
2.5. Técnicas e instrumentos .....	23
2.6. Metodología y procedimiento .....	24
2.6.1. Exploración de campo .....	24
2.6.2. Procedimiento de toma de muestras .....	24
2.6.3. Ensayos realizados en el laboratorio .....	24
<b>III. RESULTADOS .....</b>	<b>42</b>
3.1. Detalle de los resultados .....	42
3.2. Detalle de resultados .....	43
3.2.1. Límites de Atterberg .....	43
3.2.2. Proctor modificado .....	45
3.2.2.1. Proctor con 0% de MgCl <sub>2</sub> .....	45
3.2.2.2. Proctor con 2% de MgCl <sub>2</sub> .....	46
3.2.2.3. Proctor con 4% de MgCl <sub>2</sub> .....	47
3.2.2.4. Proctor con 6% de MgCl <sub>2</sub> .....	48
3.2.3. Valor de soporte california (CBR) .....	50
3.2.3.1. CBR con 0% de MgCl <sub>2</sub> .....	50
3.2.3.2. CBR con 2% de MgCl <sub>2</sub> .....	52
3.2.3.3. CBR con 4% de MgCl <sub>2</sub> .....	53
3.2.3.4. CBR con 6% de MgCl <sub>2</sub> .....	55

<b>3.3.</b>	<b>Análisis estadístico .....</b>	<b>59</b>
<b>3.3.1.</b>	<b>Análisis de varianza.....</b>	<b>59</b>
<b>3.3.1.1.</b>	<b>Límite líquido (LL) .....</b>	<b>60</b>
<b>3.3.1.2.</b>	<b>Límite plástico (LP).....</b>	<b>61</b>
<b>3.3.1.3.</b>	<b>Índice de Plasticidad (IP).....</b>	<b>61</b>
<b>3.3.1.4.</b>	<b>Óptimo contenido de humedad (OCH) .....</b>	<b>62</b>
<b>3.3.1.5.</b>	<b>Máxima densidad seca (MDS).....</b>	<b>62</b>
<b>3.3.1.6.</b>	<b>Valor Soporte California (CBR).....</b>	<b>63</b>
<b>IV.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>64</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>66</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>68</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación de la Cantera Tuctilla (Google Earth).....	17
<b>Figura 2.</b> Curva Granulométrica de un suelo.....	26
<b>Figura 3.</b> Clasificación S.U.C.S. Fuente: (Anónimo. (2011). Sistema USCS de clasificación de suelos. Recuperado de <a href="https://mecanicadesuelos.files.wordpress.com/2011/03/clasif1.png">https://mecanicadesuelos.files.wordpress.com/2011/03/clasif1.png</a> ) .....	28
<b>Figura 4.</b> Estado de consistencia de un suelo. ....	29
<b>Figura 5.</b> Curva humedad – densidad .....	33
<b>Figura 6.</b> Influencia del tipo de suelo. ....	33
<b>Figura 7.</b> Determinación del índice CBR. ....	38
<b>Figura 8.</b> Límite líquido para las diferentes concentraciones de $MgCl_2$ . ....	44
<b>Figura 9.</b> Límite plástico para las diferentes concentraciones de $MgCl_2$ .....	44
<b>Figura 10.</b> Densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad de suelo con 0% de $MgCl_2$ . ....	45
<b>Figura 11.</b> Densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad de suelo con 2% de $MgCl_2$ . ....	46
<b>Figura 12.</b> Densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad de suelo con 4% de $MgCl_2$ .....	47
<b>Figura 13.</b> Densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad de suelo con 6% de $MgCl_2$ . ....	48
<b>Figura 14.</b> Máxima densidad seca para las diferentes concentraciones de $MgCl_2$ . ....	49
<b>Figura 15.</b> Óptimo Contenido de Humedad para las diferentes concentraciones de $MgCl_2$ . ....	50
<b>Figura 16.</b> CBR al 95% para las diferentes concentraciones de Cloruro de Magnesio.....	57
<b>Figura 17.</b> Resultados de abrasión los ángeles .....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Coordenadas UTM del material de cantera sector Tuctilla.....	17
<b>Tabla 2:</b> Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	23
<b>Tabla 3:</b> Clasificación AASHTO.....	27
<b>Tabla 4:</b> Granulometría de la muestra de agregado para ensayo.....	36
<b>Tabla 5:</b> Resumen de resultados obtenidos a través de ensayos de laboratorio. ....	42
<b>Tabla 6:</b> Características del índice de plasticidad del suelo en estudio. ....	43
<b>Tabla 7:</b> Proctor con 0% de MgCl <sub>2</sub> .....	45
<b>Tabla 8:</b> Proctor con 2% de MgCl <sub>2</sub> .....	46
<b>Tabla 9:</b> Proctor con 4% de MgCl <sub>2</sub> .....	47
<b>Tabla 10:</b> Proctor con 6% de MgCl <sub>2</sub> .....	48
<b>Tabla 11:</b> Resumen de las características de la Máxima Densidad Seca y Optimo Contenido de Humedad del suelo en estudio. ....	49
<b>Tabla 12:</b> Resultados con 0% de MgCl <sub>2</sub> .....	52
<b>Tabla 13:</b> Resultados con 2% de MgCl <sub>2</sub> .....	53
<b>Tabla 14:</b> Resultados con 4% de MgCl <sub>2</sub> .....	55
<b>Tabla 15:</b> Resultados con 6% de MgCl <sub>2</sub> .....	57
<b>Tabla 16:</b> Resumen de las Características del valor de soporte California del suelo en estudio. ....	57
<b>Tabla 17:</b> Resultados de abrasión los ángeles .....	58
<b>Tabla 18:</b> Matriz base para el análisis estadístico .....	60
<b>Tabla 19:</b> Análisis de varianza para LL.....	60
<b>Tabla 20:</b> Grupos homogéneos medios (concentración) para LL. ....	61
<b>Tabla 21:</b> Análisis de varianza para LP.....	61
<b>Tabla 22:</b> Análisis de varianza para IP.....	61
<b>Tabla 23:</b> Grupos homogéneos medios (concentración) para IP.....	61
<b>Tabla 24:</b> Análisis de varianza para OCH.....	62
<b>Tabla 25:</b> Grupos homogéneos medios (concentración) para OCH.....	62
<b>Tabla 26:</b> Análisis de varianza para MDS.....	62
<b>Tabla 27:</b> Grupos homogéneos medios (Concentración) para MDS.....	62
<b>Tabla 28:</b> Análisis de varianza para CBR.....	63
<b>Tabla 29:</b> Grupos homogéneos medios (Concentración) para CBR. ....	63

## RESUMEN

El mejoramiento de suelos para vías terrestres se usa de manera alternativa; el objetivo principal del presente trabajo de investigación es evaluar la influencia del cloruro de magnesio ( $MgCl_2$ ) en el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas de superficies de rodadura en carreteras no pavimentadas. La muestra fue tomada de la cantera del sector Tuctilla estudiándose con diferentes porcentajes de aditivo ( $MgCl_2$ ), 0%, 2%, 4% y 6% sobre el peso de la muestra. Las propiedades físicas se evaluaron con el método AASHTO, evidenciándose que la muestra varía de A-2-4(0) hasta A-1-b (0); así mismo, usando el método SUCS la muestra varía de GC hasta GC-GM; el índice de plasticidad disminuye de 6.82 % (muestra con 0% de  $MgCl_2$ ) a 4.88% (muestra con 6% de  $MgCl_2$ ); el óptimo contenido de humedad tiende a disminuir mientras que la máxima densidad seca aumenta a medida que se incrementa los porcentajes de  $MgCl_2$ ; para la propiedad mecánica el valor de CBR disminuye a medida que se va incrementando el porcentaje de  $MgCl_2$ . Se concluye que el cloruro de magnesio no mejora las propiedades físico-mecánicas del material de cantera estudiado en las condiciones del presente trabajo.

Palabras Clave: Carreteras no pavimentadas, cloruro de magnesio, índice de plasticidad.

## ABSTRACT

The improvement of soils for terrestrial roads is used in an alternative way; The main objective of this research work is to evaluate the influence of magnesium chloride ( $MgCl_2$ ) on the improvement of physical-mechanical properties of rolling surfaces on unpaved roads. The sample was taken from the quarry of the Tuctilla sector studied with different percentages of additive ( $MgCl_2$ ), 0%, 2%, 4% and 6% on the weight of the sample. The physical properties were evaluated with the AASHTO method, evidencing that the sample varies from A-2-4 (0) to A-1-b (0); likewise, using the SUCS method the sample varies from GC to GC-GM; the plasticity index decreases from 6.82% (sample with 0%  $MgCl_2$ ) to 4.88% (sample with 6%  $MgCl_2$ ); the optimum moisture content tends to decrease while the maximum dry density increases as the percentages of  $MgCl_2$  increase; for mechanical property, the CBR value decreases as the percentage of  $MgCl_2$  increases. It is concluded that magnesium chloride does not improve the physical-mechanical properties of the quarry material studied under the conditions of the present work.

Keywords: Unpaved roads, magnesium chloride, plasticity index.

## I. INTRODUCCIÓN

Miranda y Negrete (2011) afirman: “El suelo es uno de los materiales más importantes en el campo de la ingeniería civil ya que todas las cargas expuestas a cualquier tipo de estructura culminan y se disipan en el suelo” (p.4).

Gutiérrez (2010) manifiesta que: “Es difícil encontrar depósitos naturales de material que tengan una gradación ideal, donde el material sin procesar se pueda utilizar directamente por lo que generalmente será necesario zarandear el material para obtener la granulometría especificada” (p.4).

El funcionamiento de cualquier proyecto de construcción depende de la calidad de los suelos subyacentes. Los suelos inestables pueden crear problemas significativos en las estructuras y pavimentos, por tal motivo desde hace algunas décadas se ha tratado de realizar el mejoramiento de estos suelos empleando diversas técnicas de estabilización, utilizando diversos materiales, como cales, cementos, aditivos, emulsiones y enzimas. (Jara, 2014, p.1)

Hilario (2015) expone que: El concepto de suelo-sal, para su uso en carreteras no pavimentadas, se remonta a principios del siglo XX, donde inició con solamente aplicaciones de tratamiento superficial, que consistía en regar la superficie de la carpeta granular, usando sales como cloruro de potasio, cloruro de magnesio, cloruro de bario, nitrato de sodio, carbonato de sodio, cloruro de calcio, cloruro de sodio, entre otros (p.1). “El cloruro de magnesio es una sal de magnesio obtenida de salares cuya composición es Cloruro de Magnesio hexahidratado, es utilizada 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).

Anticona (2012) afirma que: La bischofita ha sido evaluada en diversos países como supresor temporal de polvo, técnica que consiste en aplicar un riego de salmuera ( $MgCl_2$  más agua) sobre la superficie de camino, obteniéndose muy buenos resultados.

En cambio, la utilización del cloruro de magnesio como estabilizador químico (mezcla integra del suelo con cloruro de magnesio en todo el espesor de la capa de rodadura), ha sido evaluada en algunos países; donde se ha evaluado la efectividad en términos de su efecto sobre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, reducción del deterioro superficial

y durabilidad de caminos estabilizados con Bischofita (p.58). Los componentes del cloruro de magnesio hacen que este producto presente propiedades y cualidades únicas a diferencia de otros estabilizadores químicos, debido a las siguientes propiedades que posee: Higroscopicidad y deliquesencia, presión de vapor menor a la del agua, tensión superficial mayor a la del agua y temperatura de congelamiento inferior a la del agua. (Gutiérrez, 2010,p.66)

En la provincia de Chachapoyas el 100% de carreteras no pavimentadas se encuentran a nivel de material propio o afirmado y por lo cual están expuestas a las condiciones climáticas y a la acción física de las llantas de los vehículos lo cual producen las distintas fallas superficiales. Razón por la cual la presente investigación tuvo como objetivo principal evaluar la influencia del Cloruro de Magnesio ( $MgCl_2$ ) en el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo en estudio (material extraído de cantera), de tal manera que pueda ser empleada en capas de superficies de rodadura en carreteras no pavimentadas.

Los métodos que se usaron en el desarrollo de la presente investigación implicó el proceso de estudio de mecánica de suelo, ensayos de mejoramiento para obtener resultados físicos y mecánicos del material extraído de la cantera. Para el procesamiento y análisis de datos, primero obtuvimos los datos realizados con los distintos ensayos de laboratorio, luego se tabularon, graficaron, se compararon mediante gráficos de barras y por último se utilizó el método estadístico diseño completamente al azar, específicamente la prueba de Tukey que consistió en identificar el tratamiento que presentó mejor comportamiento.

Siendo así nos orientamos a encontrar la concentración de cloruro de magnesio que mejore las propiedades físico-mecánicas del suelo en estudio, de tal manera que pueda ser empleada en carpetas de superficies de rodadura en carreteras no pavimentadas, encontrándose que las propiedades físico-mecánicas de la cantera del sector Tuctilla cumple con lo estipulado por el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes 2014 y que al agregar cloruro de magnesio en concentraciones de 2%, 4% y 6% desfavorece la cohesión fino-grueso y además disminuye la capacidad de soporte del suelo en estudio.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Localización de la investigación

El material de cantera estudiado pertenece al sector Tuctilla que se encuentra dentro del distrito de Chachapoyas, provincia de Chachapoyas tal como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Coordenadas UTM del material de cantera sector Tuctilla.

Lugar	Este	Norte	Cota
Cantera	184925 m	93090088 m	2377 m.s.n.m

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 1.** Ubicación de la Cantera Tuctilla (Google Earth)

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones de Amazonas (DRTC-A), ubicado en:

Localidad : Chachapoyas.  
Distrito : Chachapoyas.  
Provincia : Chachapoyas.  
Región : Amazonas.  
País : Perú.

## **2.2. Materiales, herramientas y/o equipos**

### **2.2.1. En campo**

#### **2.2.1.1. Materiales**

- Sacos.
- Cordel.

#### **2.2.1.2. Herramientas**

- Palana.
- Zapapico.

#### **2.2.1.3. Equipos**

- Cámara fotográfica.

### **2.2.2. En laboratorio**

#### **2.2.2.1. Cuarteo manual**

##### **2.2.2.1.1. Herramientas**

- Palana.
- Recipientes.

#### **2.2.2.2. Contenido de humedad – MTC E108**

##### **2.2.2.2.1. Materiales**

- Recipientes de metal.
- Recipientes de plástico.
- Cuchara.
- Guantes.

##### **2.2.2.2.2. Equipos**

- Horno eléctrico digital con ventilación forzada de aire (rango de temperatura 5 – 200 °C).
- Balanza (capacidad máxima: 200 g., precisión: 0.01 g).

### **2.2.2.3. Análisis granulométrico – MTC E107**

#### **2.2.2.3.1. Materiales**

- Recipientes de plástico (para lavado de la muestra).
- Guantes.
- Tamices N°4 y N°200(para lavado de la muestra).
- Recipientes de metal.
- Juego de tamices.

#### **2.2.2.3.2. Equipos**

- Tamizadora eléctrica.
- Balanza (capacidad máxima: 6000 g, precisión: 0.1 g).
- Horno eléctrico digital con ventilación forzada de aire (rango de temperatura 5 – 200 °C).

### **2.2.2.4. Límite líquido - MTC E110**

#### **2.2.2.4.1. Materiales**

- Recipientes de plástico.
- Recipientes de metal.
- Guantes.
- Tamiz N° 40.
- Probeta.

#### **2.2.2.4.2. Herramientas**

- Espátula.
- Acanalador.
- Cuchara.

#### **2.2.2.4.3. Equipos**

- Copa de Casa Grande
- Balanza (capacidad máxima: 200 g, precisión 0.01 g).
- Horno eléctrico digital con ventilación forzada de aire (rango de temperatura 5 – 200 °C).

### **2.2.2.5. Límite plástico –MTC E111**

#### **2.2.2.5.1. Materiales**

- Espátula.
- Recipientes de metal.
- Recipientes de plástico.
- Tamiz N°40.
- Vidrio esmerilado.

#### **2.2.2.5.2. Equipos**

- Balanza (capacidad máxima: 200g, precisión: 0.01 g).
- Horno eléctrico digital con ventilación forzada de aire (rango de temperatura 5 – 200 °C).

### **2.2.2.6. Compactación de suelos usando energía modificada – MTC E115**

#### **2.2.2.6.1. Materiales**

- Probetas.
- Recipientes de plástico.
- Bandeja de metal.
- Tamiz N° ¾".
- Recipientes de metal (para el contenido de humedad).
- Guantes.

#### **2.2.2.6.2. Herramientas**

- Badilejo.
- Brocha.
- Martillo.
- Pisón o martillo.
- Molde.

#### **2.2.2.6.3. Equipos**

- Horno eléctrico digital con ventilación forzada de aire (rango de temperatura 5 – 200 °C).
- Balanza (capacidad máxima: 200g, precisión 0.01 g).

- Balanza (capacidad máxima: 30 kg, precisión 0.1 g).

#### **2.2.2.7. Abrasión los ángeles, al desgaste de los agregados de tamaños menores de (1 ½") – MTC E 207**

##### **2.2.2.7.1. Materiales**

- Recipientes de plástico.
- Recipientes de metal.
- Tamiz 1", ¾", ½" y 3/8".

##### **2.2.2.7.2. Equipos**

- Balanza (capacidad máxima: 6000 g, precisión 0.01 g).
- Horno eléctrico digital con ventilación forzada de aire (rango de temperatura 5 – 200 °C).
- Máquina de los ángeles.

#### **2.2.2.8. Ensayo de CBR (Relación de Soporte California) de suelos compactado en laboratorio - MTC E132**

##### **2.2.2.8.1. Materiales**

- Probetas.
- Recipientes de plástico.
- Bandeja de metal.
- Tamiz N° ¾".
- Recipientes de metal (para el contenido de humedad).
- Guantes.

##### **2.2.2.8.2. Herramientas**

- Badilejo.
- Brocha.
- Martillo.
- Pisón o martillo.
- Molde.

#### **2.2.2.8.3. Equipos**

- Horno eléctrico digital con ventilación forzada de aire (rango de temperatura 5 – 200 °C).
- Balanza (capacidad máxima: 200g, precisión 0.01g).
- Balanza (capacidad máxima: 30 kg, precisión 0.1g).

### **2.2.3. En gabinete**

#### **2.2.3.1. Materiales**

- Software de Google Earth.
- Software Statistix 8.
- Cuaderno de apuntes.
- Formatos.
- Lapiceros.
- Borrador.
- Corrector.
- USB.

#### **2.2.3.2. Equipos**

- Computadora portátil.
- Calculadora científica.
- Cámara fotográfica.

### **2.3. Diseño de la investigación**

La presente investigación es de carácter experimental y se fundamenta en el análisis e interpretación de datos obtenido a través de ensayos de laboratorio.

### **2.4. Población, muestra y muestreo**

#### **2.4.1. Universo Muestral**

Para la presente investigación se extrajo material de cantera, así mismo se preparó las muestras para ser sometidas a ensayos físico – mecánicos.

#### **2.4.2. Muestreo**

Se realizó un muestreo no probabilístico tipo intencional o por juicio.

## 2.5. Técnicas e instrumentos

a) **Técnica de recolección:** Observación y fichaje

b) **Instrumentos de recolección de información**

**Tabla 2:** Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Variables	Propiedades del suelo	Indicadores	Fuente	Recolección de datos	
				Técnica	Instrumento
Independiente:		Porcentaje de			
Cloruro de Magnesio	-	0%, 2%, 4%, 5% y 6%	-	Observación	Sal Hexahidratada
					Limite líquido MTC E 110
	Físicas	Límites de Atterberg	Primaria o directa	Observación	Limite plasticidad MTC E 111
Dependiente					Índice de plasticidad MTC E 111
		Máxima densidad seca	primaria o directa	Observación	Proctor modificado
		Optimo contenido de humedad	Primaria o directa	Observación	MTC E 115
	Mecánicas	Valor relativo de soporte	Primaria o directa	Observación	CBR MTC E 132

Fuente: Elaboración propia

## **2.6. Metodología y procedimiento**

El estudio de las propiedades físico – mecánicas de un suelo de construcción es de suma importancia para la realización de proyectos de carreteras en el campo de la ingeniería, puesto que de esa manera se puede evitar posibles problemas como ahuellamientos, hundimientos, erosión de polvo, entre otras fallas.

De tal manera que resulta necesario realizar investigaciones de campo mediante extracción de muestras de cantera con el fin de llevarlas a laboratorio y poder realizar los estudios físico – mecánicos.

Para esta investigación se utilizó el método estadístico diseño completamente al azar, específicamente la prueba de Tukey que consiste en identificar el tratamiento que presentó mejor comportamiento.

Para determinar los resultados de los diferentes factores que intervienen en el estudio de las propiedades físico – mecánicas de las carreteras no pavimentadas se realizaron las siguientes actividades:

### **2.6.1. Exploración de campo**

Se hizo un recorrido por la cantera y se seleccionó los lugares donde la muestra era más uniforme.

### **2.6.2. Procedimiento de toma de muestras**

La obtención de la muestra para el estudio de mecánica de suelos, se realizó en distintas partes de la cantera del sector Tuctilla en Chachapoyas.

Las excavaciones se ejecutaron con herramientas manuales como son pico y palana, posteriormente se almacenó las muestras en sacos para luego ser transportadas al laboratorio.

### **2.6.3. Ensayos realizados en el laboratorio**

#### **A. Propiedades físicas:**

##### **a. Contenido de humedad**

Según el MTC E108 la humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada en porcentaje, del peso del agua en una masa de suelo, al peso de las partículas sólidas.

Además, la presente norma determina el agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a  $110 \pm 5$  °C. el peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerada como el peso del agua.

### **Material**

Material que pasa la malla N°4 extraído de la cantera.

### **Equipos y herramientas**

Horno de secado, balanza, recipientes de metal, guantes y cuchara.

### **Procedimiento del ensayo**

- Se determinó el peso del recipiente.
- Se determinó el peso de la muestra más el recipiente.
- Se colocó el material húmedo en el horno a una temperatura de 110 °C, durante 24 horas.
- Pasado el tiempo se sacó las capsulas y se dejó enfriar.
- Se pesó en estado seco y se anotaron los datos en la hoja de cálculo.

### **Cálculos**

$$\text{Contenido de Humedad} = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso del Suelo Seco en Horno}} \times 100 \quad \dots (1)$$

#### **b. Análisis granulométrico de suelos por tamizado**

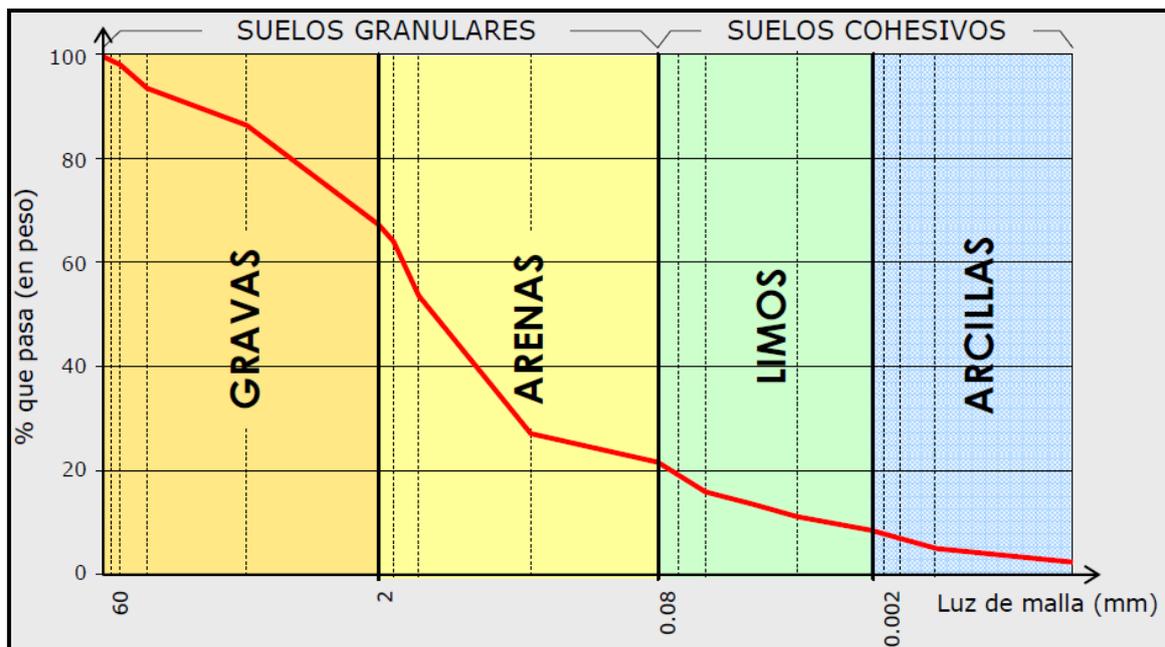
Bañon, García y Francisco (2000) aseguran que: “La finalidad de este ensayo no es otra que determinar las proporciones de los distintos tamaños de grano existentes en el mismo, o, dicho de otro modo, su granulometría” (p.15).

### **Material**

Material lavado, retenido en la malla N°200 para los finos y retenido en la malla N°4 para los gruesos.

## Equipos y herramientas

Balanza de 6 kg, horno, recipientes de metal y plástico, juego de tamices de (3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4" y N°4, 6), tamizadora eléctrica tamiz N° (8,10,16,20,30,40,50,80,100 y 200).



**Figura 2.** Curva Granulométrica de un suelo.

Fuente: (Bañon, García y Francisco, 2000)

## Procedimiento del ensayo

- Se observó las características del suelo, como presentaba mucha humedad se puso a secar las muestras durante 24 horas en el horno.
- Se pesó una cantidad representativa (15 kg) y se anotó en las hojas de cálculo.
- Se procedió a lavar la muestra, eliminando así por el tamiz N° 200 la mayor parte de limos y arcillas posibles.
- Nuevamente se puso a secar la muestra.
- Teniendo seca la muestra, se procedió al tamizado, anotando los pesos que estos tamices retienen apoyados por una adecuada balanza.
- Llegado al tamiz N°10 se colocó en la tamizadora eléctrica por un lapso de 7 minutos, luego se pesó.

- Se calculó los porcentajes acumulados que pasan en cada tamiz.
- Se dibujó la curva granulométrica en escala semilogarítmica (Figura 2).

### Cálculos

Porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0,074 mm(N°200)

$$\%Pasa_{0,074} = \frac{PesoTotal - Peso\ ret.\ tamiz\ de\ 0,074\ mm}{Peso\ Total} \times 100 \quad \dots (2)$$

Porcentaje retenido sobre cada tamiz

$$\%Retenido = \frac{Peso\ retenido\ en\ el\ tamiz}{Peso\ total} \times 100 \quad \dots (3)$$

Porcentaje más fino

$$\%Pasa = 100 - \%(Retenido\ Acumulado) \quad \dots (4)$$

Para identificar el tipo de suelo se evaluó con las tablas de clasificación de suelos AASHTO (Tabla 3) Y SUCS (Figura 3).

**Tabla 3:** Clasificación AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz 200)						Materiales limoso arcilloso( más del 35% pasa el tamiz N°200)						
	A-1		A-3	A-2-4				A-4	A-5	A-6	A-7	A-7-5	A-7-6
Grupo	A-1-a	A-1-b		a-2-4	a-2-5	a-2-6	a-2-7						
Porcentaje que pasa													
N° 10(2mm)	50 máx.												
N°40(0,425mm)	30 máx.	50 máx.	51 máx.										
N°200(0,075)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.									
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40													
Límite líquido				40 máx	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx	41 mín.	40 máx.		41 mín.	
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx	10 máx.	11 mín.		11 mín.	
Tipos de materiales característicos	Fragmentos de roca, grava y		Arena Fina	Grava y arena arcillosa o limosa				suelos limosos		Suelos Arcillosos			
Calificación	Excelente a bueno						Pobre a malo						

Fuente: (Juárez & Rico, 2011)

IDENTIFICACION EN EL CAMPO		SIMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS		CRITERIOS DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO		
SUELOS DE GRANO GRUESO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO POR EL TAMIZ # 200	GRAVAS - MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA ES RETENIDA POR EL TAMIZ # 4	GRAVAS LIMPIAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	<b>GW</b>	GRAVA BIEN GRADUADA, MEZCLA DE GRAVA Y ARENA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 4 ; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ ENTRE 1 Y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS GW	
		GRAVAS CON FINOS (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	<b>GP</b>	GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLAS DE ARENA Y GRAVA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS		
		ARENAS LIMPIAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	<b>SW</b>	ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS		
	ARENAS - MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA PASA POR EL TAMIZ # 4	ARENAS CON FINOS (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	FRACCION FINA NO PLASTICA (PARA LA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML, MAS ABAJO)	<b>GM</b>	GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y LIMO	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 6 ; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ ENTRE 1 Y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS SW	
		ARENAS CON FINOS (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICARLOS VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)	<b>GC</b>	GRAVAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA		
		ARENAS CON FINO (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	<b>SP</b>	ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS		
SUELOS DE GRANO FINO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA POR EL TAMIZ # 200	LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	FINOS NO PLASTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML MAS ABAJO)	<b>SM</b>	ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y LIMO MAL GRADUADAS	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 6 ; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ ENTRE 1 Y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS SW		
		FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)	<b>SC</b>	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE ARENAS O ARCILLAS			
		METODOS DE IDENTIFICACION PARA LA FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 40					
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (A LA DISGREGACION)	DILATANCIA (REACCION A LA AGITACION)	TENACIDAD (CONSISTENCIA CERCA DEL LIMITE PLASTICO)		DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA A PARTIR DE LA CURVA GRANULOMETRICA SEGUN EL PORCENTAJE DE FINOS (FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE:  MENOS DEL 5% MAS DEL 12% 5% AL 12%  GW, GP, SW, SP GM, GC, SM, SC CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL EMPLEO DE SIMBOLOS DOBLES	
		NULA A LIGERA	RAPIDA A LENTA	NULA	<b>ML</b>		LIMOS INORGANICOS Y ARENAS MUY FINAS, POLVO DE ROCA, ARENAS FINAS LIMOSAS O ARCILLAS CON LIGERA PLASTICIDAD
		MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	MEDIA	<b>CL</b>		ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA, ARCILLAS CON GRAVA, ARCILLAS ARENOSAS, ARCILLAS LIMOSAS, ARCILLAS MAGRAS
		LIGERA A MEDIA	LENTA	LIGERA	<b>OL</b>		LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS DE BAJA PLASTICIDAD
		LIGERA A MEDIA	LENTA A NULA	LIGERA A MEDIA	<b>MH</b>		LIMOS INORGANICOS, SUELOS LIMOSOS O ARENOSOS FINOS MICACEOS O CON DIATOMEAS, LIMOS ELASTICOS
		ALTA A MUY ALTA	NULA	ALTA	<b>CH</b>		ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD ELEVADA, ARCILLAS GRASAS
MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	LIGERA A MEDIA	<b>OH</b>	ARCILLAS ORGANICAS DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA			
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		FACILMENTE IDENTIFICABLES POR SU COLOR, OLOR, SENSACION ESPONJOSA Y FRECUENTEMENTE POR SU TEXTURA FIBROSA		<b>Pt</b>	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		

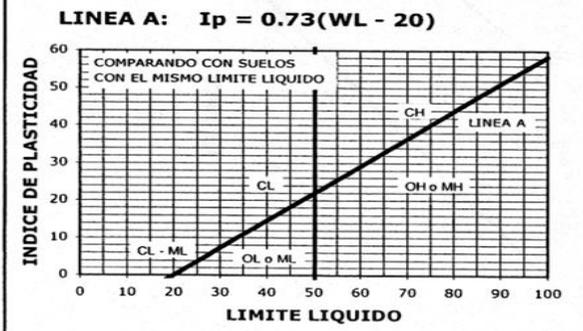
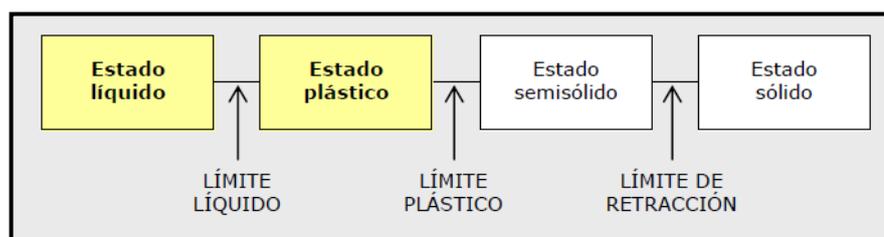


GRAFICO DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACION EN LABORATORIO DE SUELOS DE GRANO FINO

Figura 3. Clasificación S.U.C.S. Fuente: (Anónimo. (2011). Sistema USCS de clasificación de suelos. Recuperado de <https://mecanicadesuelos.files.wordpress.com/2011/03/clasif1.png>)

### c. Límite líquido de los suelos

Según el MTC E110 el límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando este se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido tal como se muestra en la figura 4.



**Figura 4.** Estado de consistencia de un suelo.

Fuente: (Bañon, García y Francisco, 2000)

### Material

Material que pasa la malla N° 40, de 150 a 200 g.

### Equipos y herramientas

Recipientes de plástico, recipientes de metal, guantes, tamiz N° 40, probeta, espátula, acanalador, cuchara, copa de Casa Grande, balanza y horno.

### Procedimiento del ensayo

- Se tamizó la muestra seca del suelo por la malla N°40, obteniéndose así una cantidad representativa para el ensayo (200g por ensayo)
- Se separó en dos pequeños recipientes y en uno de estos agregamos agua, con la ayuda de una espátula se mezcló bien hasta tener una muestra uniforme.
- Se procedió a colocar la muestra en la Cazuela de Casa Grande, dejando su superficie lisa.
- Con el acanalador se separó la muestra en dos partes iguales.

- Con la cazuela de Casa Grande se dio los golpes de forma uniforme haciendo que la muestra vuelva a cerrar en cada uno de los siguientes intervalos 15-25, 20-30 y 25-35, extrayéndose además de estos una pequeña porción de muestra tratando de que sean pesos similares entre los tres, terminado de anotar los datos se procedió a poner las muestras en el horno durante 24 horas.
- Retiradas las muestras se vuelve a pesar en estado seco para luego realizar los cálculos respectivos.
- Se repitió el ensayo dos veces más.
- Dibujamos la curva de fluidez (la recta) en escala semilogarítmica, en el eje de las abscisas se registró el número de golpes en escala logarítmica, en el eje de las ordenadas los contenidos de humedad en escala natural.
- Se determinó el orden correspondiente a los 25 golpes en la curva de fluidez, este valor será el límite líquido del suelo.

#### **d. Límite plástico de los suelos**

Según el MTC E111 se denomina límite plástico (L, P) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.

#### **Material**

Material que pasa la malla N° 40.

#### **Equipos y herramientas**

Espátula, recipientes de metal, recipientes de plástico, tamiz N° 40, vidrio esmerilado, balanza y horno.

#### **Procedimiento del ensayo**

- Con la muestra ya humedecida del límite líquido, con la palma de la mano se moldeó encima del vidrio esmerilado una pequeña porción de la muestra hasta tener rollitos de 3mm de diámetro aproximadamente.

- Se dejó secar los rollitos hasta que se fisuren al doblarlos, lo cual indicó que la muestra ya está lista para ser cortados en trocitos.
- una vez cortados en trocitos se depositaron y pesaron en dos pequeños recipientes, posteriormente se llevaron al horno durante 24 horas.
- Retiradas las muestras del horno se volvieron a pesar en seco, se realizaron sus respectivos cálculos.

### **Cálculo**

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Limite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100 \quad \dots (4)$$

### **e. Índice de plasticidad de los suelos**

Según el MTC E 111 se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

### **Material**

Material que pasa la malla N° 40

### **Procedimiento del ensayo**

- Se calculó el índice de plasticidad del suelo mediante la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

### **Cálculo**

$$LP = LL - LP \quad \dots (5)$$

Donde:

*LL* : Límite líquido

*LP* : Límite plástico

**f. Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado, Método C)**

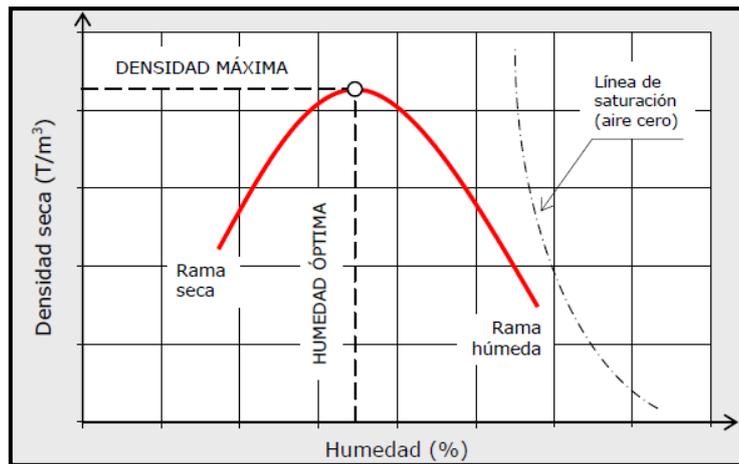
Bañon, García y Francisco (2000) La compacidad de un suelo es una propiedad importante en carreteras, al estar directamente relacionada con la resistencia, deformabilidad y estabilidad de un firme; adquiere una importancia crucial en el caso de los terraplenes y todo tipo de relleno en general, en los que el suelo debe quedar lo más consolidado posible para evitar asentamientos- causantes de variaciones en la rasante y alabeo de la capa de rodadura-durante la posterior explotación de la vía.

**Influencia de la humedad**

Bañon, García y Francisco (2000) En la compactación de suelos, la humedad juega un papel decisivo: mientras que un suelo seco necesita una determinada energía de compactación para vencer los rozamientos internos entre sus partículas, el mismo suelo ligeramente húmedo precisara un menor esfuerzo, ya que el agua se comporta como un agente lubricante formando una película alrededor de los granos y disminuyendo la fricción entre ellos.

De la Figura 5 se deduce que existirá una humedad optima con la que se obtenga una compacidad máxima, para una misma energía de compactación.

Según el MTC E115 este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 n (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pul), produciendo una energía de compactación de (2700 KN-m/m<sup>3</sup>). Este ensayo se aplica solo para suelos que tienen 30% o menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz (3/4").



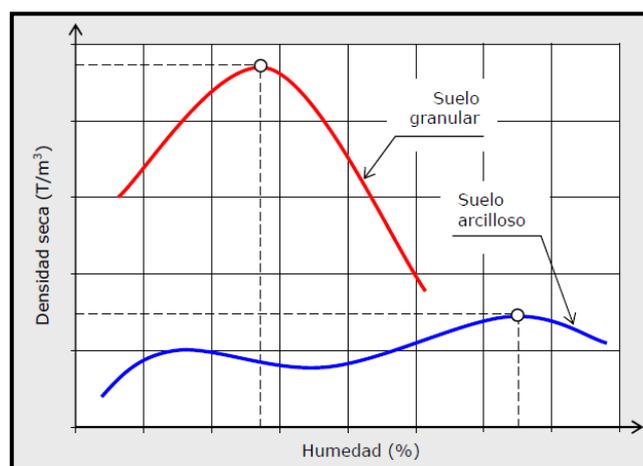
**Figura 5.** Curva humedad – densidad.

Fuente: (Bañon, García y Francisco, 2000).

### Influencia del tipo de suelo

Bañon, García y Francisco (2000) la tipología del suelo, concretamente su composición granulométrica, determina la forma de la curva de compactación.

Así mismo de la Figura 6 se define que los suelos granulares bien graduados y con bajo contenido de finos obtienen su densidad máxima para valores bajos de humedad, por lo contrario, los suelos arcillosos, limosos o los formados por arenas de granulometría muy uniforme dan curvas tendidas, lo que indica la gran dificultad de compactación que presentan.



**Figura 6.** Influencia del tipo de suelo.

Fuente: (Bañon, García y Francisco, 2000).

## **Material**

Material que pasa la malla  $\frac{3}{4}$ ", 4 bolsas de 6 kg.

## **Equipos y herramientas**

Probetas, recipientes de plástico, bandeja de metal, tamiz  $\frac{3}{4}$ ", recipientes de metal, guantes, badilejo, brocha, martillo, pisón o martillo compactador, molde, molde, horno y balanza.

## **Procedimiento del ensayo**

- Se obtuvo por cuarteo una muestra representativa, previamente secada y que según el método a usarse fue de 6 kilogramos.
- Se separó 4 muestras de 6 kg cada una.
- Se aplicó los distintos contenidos de humedad con la finalidad de hallar entre estos ensayos el óptimo contenido de humedad.
- Se compactó cada molde en 5 capas de 56 golpes por capa de la siguiente manera:
  - ✓ Se colocó el pistón compactador dentro del molde, lo elevamos hasta que alcance la parte superior y se suelta permitiendo que tenga una caída libre de 45.7 cm., se vuelve a levantar el pisón compactador y se repite el procedimiento hasta cumplir los 56 golpes. Esta operación de compactación se repite en las cinco capas de material.
  - ✓ Al terminar la compactación de las capas, se quitó la extensión y con la regla metálica se enrazó la muestra al nivel superior del cilindro.
  - ✓ Se limpió exteriormente el molde y se pesó con la muestra compactada anotando su peso (peso del material + molde).
  - ✓ Con ayuda del extractor de muestra se sacó el material del molde y de la parte central del espécimen se tomó 200 gr en un recipiente de metal aproximadamente, con lo cual se hallará el contenido de humedad, de esa forma se comprobó si coincide con el agua aplicada.

- ✓ Se puso el recipiente al horno a una temperatura de 100 °C a 105°C durante 24 horas, transcurrido el tiempo se pesó la capsula en estado seco.
- Se repitieron estos pasos para todas las muestras.  
La cantidad de Cloruro de magnesio que se utilizó en cada muestra de 6 kilogramos fue de la siguiente manera:
  - ✓ Para el 2% tenemos: 120 g de MgCl<sub>2</sub>
  - ✓ Para el 4% tenemos: 240 g de MgCl<sub>2</sub>
  - ✓ Para el 6% tenemos: 360 g de MgCl<sub>2</sub>

### Cálculos

$$\rho_m = \frac{(M_t - M_{md})}{1000V} \quad \dots (6)$$

### Donde

$\rho_m$  : Densidad Húmeda del espécimen compactado (kg/m<sup>3</sup>)

$M_t$  : Masa del espécimen húmedo y molde (kg)

$M_{md}$  : Masa del molde de compactación (kg)

$V$  : Volumen del molde de compactación (m<sup>3</sup>)

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}} \quad \dots (7)$$

$\rho_d$  : Densidad seca del espécimen compactado (Mg/m<sup>3</sup>)

$w$  : Contenido de agua

$$W_{sat} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100 \quad \dots (8)$$

$W_{sat}$  : Contenido de agua para saturación completa (%).

$\gamma_w$  : Peso unitario del agua 62,43

$\gamma_d$  : Peso unitario seco del suelo.

$G_s$  : Gravedad específica del suelo.

**g. Abrasión los ángeles, al desgaste de los agregados de tamaños menores de (1 1/2")**

Se refiere al procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo de desgaste de los agregados gruesos hasta de 37.5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de los Ángeles (MTC E207).

**Material**

1250 g de material retenido en las mallas 3/8", 1/2", 3/4" y 1", respectivamente (Tabla 4).

**Tabla 4:** Granulometría de la muestra de agregado para ensayo

Pasa tamiz		Retenido en tamiz		Pesos y granulometría de la muestra para ensayo(g)			
mm	(alt.)	mm	(alt)	A	B	C	D
37,5	(1 1/2")		(1")	1250 ± 25			
25,0	(1")		( 3/4")	1250 ± 25			
19,0	(3/4")		(1/2")	1250 ± 10	1250 ± 10		
12,5	(1/2")		(3/8")	1250 ± 10	1250 ± 10		
9,5	(3/8")		(1/4")			1250 ± 10	
6,3	(1 1/4")		(N°4)			1250 ± 10	
4,75	(N°4)		(N°8)				1250 ± 10
				1250 ± 10	1250 ± 10	1250 ± 10	1250 ± 10

Fuente: MTC E 207.

**Equipos**

Recipientes de plástico y metal, tamiz N° 1", 3/4", 1/2" y 3/8", balanza, horno y maquina los ángeles.

### Procedimiento del ensayo

- Se preparó el agregado mediante lavado y secado en horno a una temperatura constante comprendida entre 105 y 110 °C, separada por fracciones de cada tamaño.
- Se colocó la muestra y la carga abrasiva correspondiente en la máquina de los Ángeles, y se hizo girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 30 y 33 rpm; son 500 vueltas en total.
- Ya cumplido el número de vueltas se descargó el material del cilindro y se procedió a separar preliminarmente la muestra ensayada en el tamiz N° 12.
- Se lavó al material que quedó retenido en la malla N°12 y se prosiguió a secarlo en el horno durante 24 horas.
- El desgaste del agregado se calculó mediante la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada, expresado como tanto por ciento del peso original.

### Cálculos

- El resultado del ensayo es la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada, expresado como tanto por ciento del peso original.
- El resultado del ensayo (% desgaste) recibe el nombre de coeficiente de desgaste de los ángeles.

$$\%Desgaste = 100(P_1 - P_2)/P_1 \quad \dots (9)$$

Dónde:

$P_1$  : Peso de la muestra seca antes del ensayo

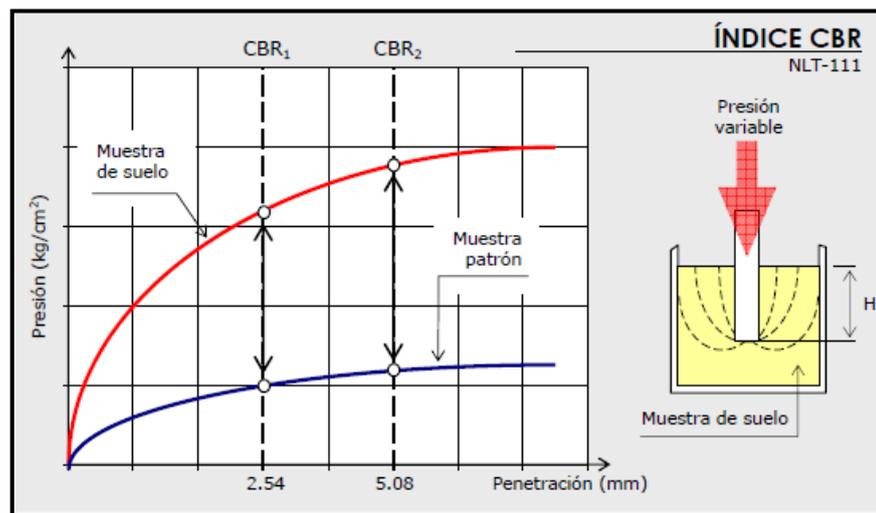
$P_2$  : Peso de la muestra después del ensayo, previo lavado sobre tamiz 1.70 mm(N°12)

## B. Propiedad mecánica

### h. CBR de suelos

Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad (MTC – E132).

Este índice (Figura 7) se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, subbase y de afirmado (MTC – E132).



**Figura 7.** Determinación del índice CBR.

Fuente: (Bañon, García y Francisco, 2000)

### Material

Material que pasa la malla N° ¾", 3 bolsas de 6 kg cada uno.

### Equipos

Probetas, recipientes de plástico y metal, bandeja de metal, tamiz N° ¾", guantes, badilejo, brocha, martillo, pisón compactador, molde, horno y balanza.

## **Procedimiento del ensayo**

Consta de 3 fases: ensayo de compactación CBR, ensayo de hinchamiento y ensayo de carga-penetración.

### **1. Ensayo de compactación CBR.**

- Previamente se necesitó el óptimo contenido de humedad dada por el Proctor Modificado.
- Se tamizó y pesó 03 bolsas de muestra de 6 kg cada una, pasada por la malla 3/4”.
- Se ensambló los moldes cilíndricos con sus placas de base, collares de extensión, discos espaciadores y papeles filtro.
- Se compactó la muestra en los 3 CBR en cada uno de ellos en 5 capas, el primero con 12 golpes, el segundo con 25 golpes y el tercero con 56 golpes por capa.
- Se determinó la humedad de las muestras de cada molde.
- Se determinó la densidad seca de las muestras de cada molde.

### **2. Ensayo de hinchamiento.**

- Se invirtió las muestras de tal manera que la superficie libre quede en la parte superior cuando se ensambla nuevamente los moldes en sus placas de base.
- Se situó sobre cada muestra el papel filtro, la placa de expansión, la sobrecarga, el trípode y el dial de expansión.
- Se ubicó los tres moldes debidamente equipados en un tanque de agua durante 3 días, registrar las lecturas de expansión cada 24 horas.

### **3. Ensayo de carga – penetración.**

- Después de los 3 días se retiró los moldes del tanque, se dejó drenar durante 15 minutos.
- Se puso la sobrecarga en cada molde, posteriormente se llevó a la prensa hidráulica, se procedió el ensayo de penetración aplicando un pisón a una velocidad de 0.05 pulg/min.

- Se registró las lecturas de carga y de penetración de cada muestra.

La cantidad de Cloruro de magnesio que se utilizó en cada muestra de 6 kilogramos fue de la siguiente manera:

- ✓ Para el 2% tenemos: 120 g de MgCl<sub>2</sub>
- ✓ Para el 4% tenemos: 240 g de MgCl<sub>2</sub>
- ✓ Para el 6% tenemos: 360 g de MgCl<sub>2</sub>

### Cálculos

- **Humedad de compactación.** El tanto por ciento de agua que hay que añadir al suelo con su humedad natural para que alcance la humedad prefijada, se calcula como sigue:

$$\% \text{ de agua a añadir} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100 \quad \dots (10)$$

Dónde:

*H*: Humedad prefijada

*h*: Humedad natural

- **Densidad o peso unitario:** La densidad se calcula a partir del peso del suelo antes de sumergirlo y de su humedad.
- **Agua absorbida:** Se efectúa mediante la diferencia de las humedades antes de la inmersión y después de esta.
- **Presión de penetración**
- **Expansión:** Se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformamiento antes y después de la inmersión. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm (5").

$$\% \text{ Expansi3n} = \frac{L2 - L1}{127} \times 100 \quad \dots (11)$$

D3nde:

*L1*: Lectura inicial en mm.

*L2*: Lectura final en mm.

- **Valor de la relaci3n de soporte:** Es el tanto por ciento de la presi3n ejercida por el pist3n sobre el suelo, para una penetraci3n determinada, en relaci3n con la presi3n correspondiente a la misma penetraci3n en una muestra patr3n.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Detalle de los resultados

**Tabla 5:** Resumen de resultados obtenidos a través de ensayos de laboratorio.

ENSAYOS	CONCENTR.	REPET.	LL	LP	IP	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	CBR 95 %	HUMEDAD NATURAL	ABRASIÓN LOS ÁNGELES	EQUIVALENTE DE ARENA
<b>M0</b>	1	1	23	13	10	GC	A-2-4(0)	2.122	6.8	39.6	7.4	38.3	26
	1	2	25	14	11	GC	A-2-6(0)	2.155	6.9	39.6	7.5	38.2	27
	1	3	19	10	9	GC	A-2-4(0)	2.197	7.1	40	7.5	38.2	27
	1	4	22	12	10	GC	A-2-4(0)	2.182	6.5	40.2	7.3	38	27
	1	5	24	14	10	GC	A-2-4(0)	2.206	6.8	40.2	7.5	37.9	28
<b>2 % MgCl<sub>2</sub></b>	2	1	21	14	7	GC	A-2-4(0)	2.204	6.8	24.7			
	2	2	21	12	9	GC	A-2-4( 0)	2.207	6.9	24.8			
	2	3	20	11	9	GC	A-2-4( 0)	2.208	6.9	25.7			
	2	4	19	9	10	GC	A-2-4( 0)	2.209	6.2	27.6			
	2	5	21	11	10	GC	A-2-4( 0)	2.212	6.2	28.4			
<b>4 % MgCl<sub>2</sub></b>	3	1	21	15	6	GC-GM	A-1-b(0)	2.200	5	15.7			
	3	2	20	13	7	GC	A-2-4( 0)	2.204	5.1	15.6			
	3	3	20	11	9	GC	A-2-4( 0)	2.233	5.2	15.4			
	3	4	19	12	7	GC	A-2-4( 0)	2.225	4.9	14.4			
	3	5	19	13	6	GC	A-2-4( 0)	2.230	4.9	14.4			
<b>6 % MgCl<sub>2</sub></b>	4	1	18	13	5	GC-GM	A-1-b(0)	2.274	5	11.1			
	4	2	17	13	4	GC-GM	A-1-b(0)	2.268	4.8	11.2			
	4	3	17	12	5	GC-GM	A-1-b(0)	2.271	4.9	11			
	4	4	18	14	4	GC-GM	A-1-b(0)	2.252	4.8	11			
	4	5	17	13	4	GC-GM	A-1-b(0)	2.250	4.9	11			

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Detalle de resultados

#### 3.2.1. Límites de Atterberg

**Tabla 6:** Características del índice de plasticidad del suelo en estudio.

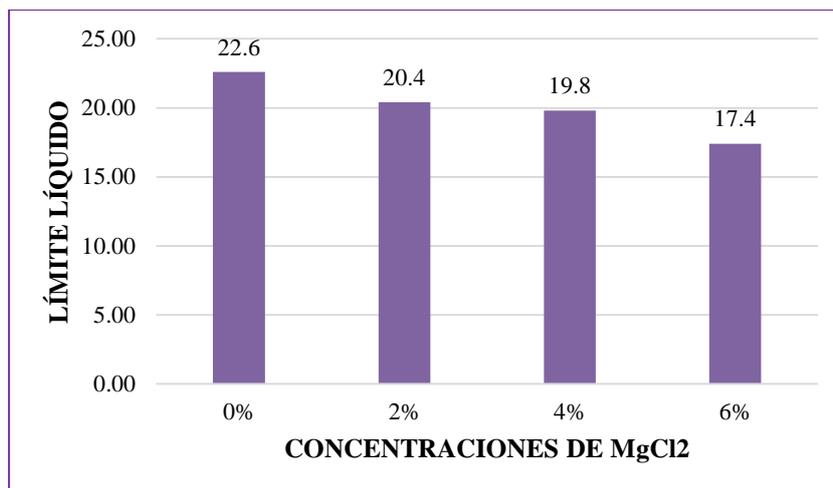
CLASIFICACIÓN		LL	LP	IP	MgCl <sub>2</sub>
SUCS	AASHTO	(%)	(%)	(%)	(%)
GC	A-2-4(0)	22.6	12.6	6.82	0
GC	A-2-4(0)	20.4	11.4	6.6	2
GC	A-2-4(0)	19.8	12.8	5.02	4
GC-GM	A-1-b(0)	17.4	13	4.88	6

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6 se puede observar que mediante el método AASHTO la muestra varía de A-2-4(0), que indica un suelo con Grava y arena limo-arcillosa a un A-1-b (0) que indica un suelo con fragmentos de roca, grava y arena, pero según su calificación el suelo es “Excelente y bueno”.

Así mismo mediante el método SUCS la muestra varía de GC, que indica una grava arcillosa a un GC-GM, que indica una grava limo-arcillosa.

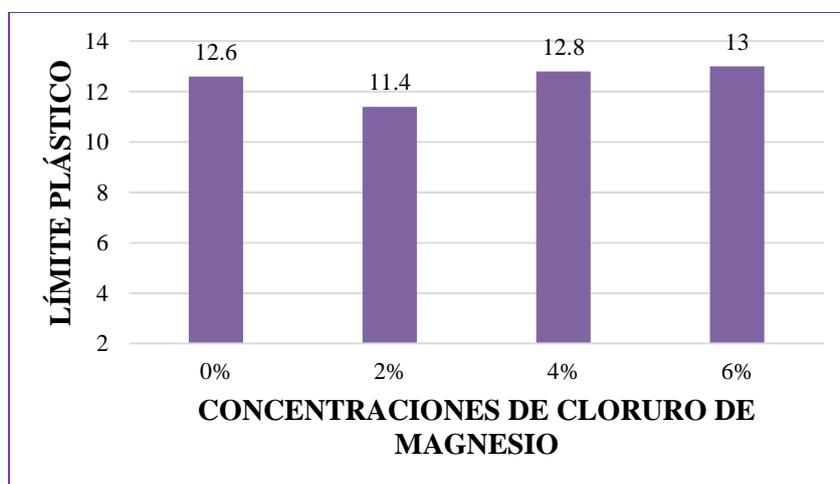
Además, en la Tabla 6 se observa que al aumentar el porcentaje de MgCl<sub>2</sub> el índice de plasticidad baja, siendo 6.82% el índice de plasticidad de la muestra con 0% de MgCl<sub>2</sub> y 4.88% el índice de plasticidad agregando 6% de MgCl<sub>2</sub>.



**Figura 8.** Límite líquido para las diferentes concentraciones de MgCl<sub>2</sub>.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 8 se muestra que mediante la incorporación del Cloruro de Magnesio en proporciones de 2%, 4% y 6% disminuye el límite líquido en 20.4 %, 19.8 % y 17.4 % respectivamente; siendo 22.6 % el límite líquido de la muestra con 0% de MgCl<sub>2</sub>.



**Figura 9.** Límite plástico para las diferentes concentraciones de MgCl<sub>2</sub>

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 9 se muestra que mediante la incorporación el cloruro de magnesio en proporciones de 2%, 4% y 6% tiende a variar el límite plástico del suelo en 11.4%, 12.8% y 13% respectivamente; siendo 12.6% el límite plástico de la muestra con 0% de MgCl<sub>2</sub>.

### 3.2.2. Proctor modificado

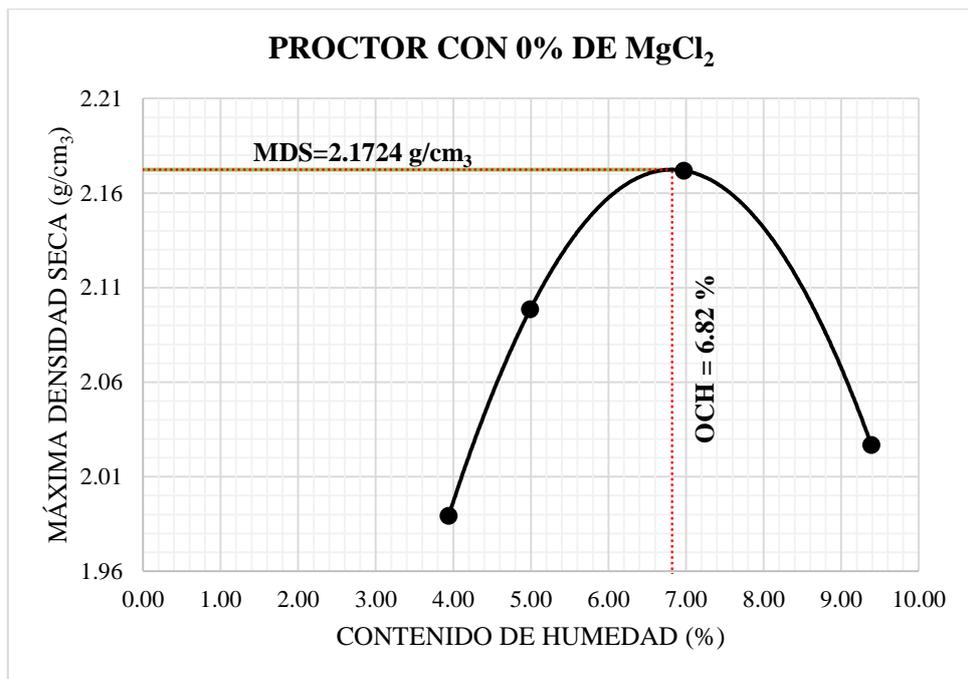
#### 3.2.2.1. Proctor con 0% de MgCl<sub>2</sub>

En la tabla 7 se muestra los resultados del ensayo de proctor para una grava arcillosa sin la adición de cloruro de magnesio y se comporta de la siguiente manera:

**Tabla 7:** Proctor con 0% de MgCl<sub>2</sub>

Proctor con 0% de MgCl <sub>2</sub>				
Contenido de Humedad(%)	3.84	5	6.4	9.24
MDS(g/cm <sub>3</sub> )	1.9882	2.0824	2.1618	2.0268
Cantidad de agua añadida (cm <sub>3</sub> )	180	300	420	540

Fuente: Elaboración propia



**Figura 10.** Densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad de suelo con 0% de MgCl<sub>2</sub>.

Fuente: Elaboración propia

Datos obtenidos:

- Óptimo contenido de humedad : 6.82%
- Máxima densidad seca : 2.1724%

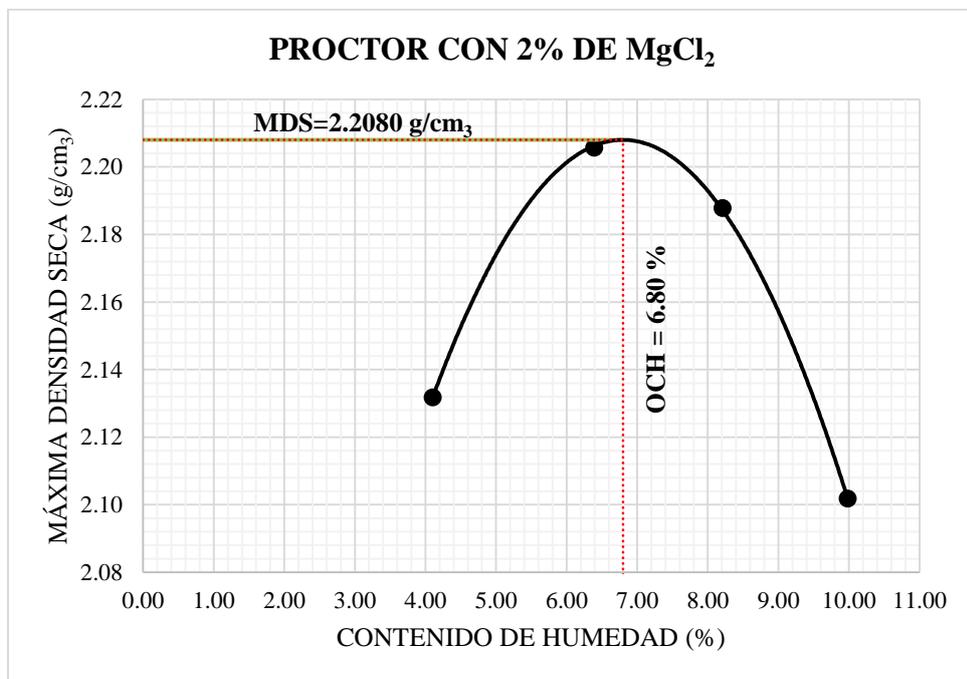
### 3.2.2.2. Proctor con 2% de MgCl<sub>2</sub>

En la tabla 8 se muestra los resultados del ensayo de proctor para una grava arcillosa con 2% de cloruro de magnesio y se comporta de la siguiente manera:

**Tabla 8:** Proctor con 2% de MgCl<sub>2</sub>

Proctor con 2% de MgCl <sub>2</sub>				
Contenido de Humedad(%)	3.9	6.04	7.98	9.64
MDS(g/cm <sub>3</sub> )	2.1308	2.2036	2.1868	2.1018
Cantidad de agua añadida (cm <sub>3</sub> )	244.8	367.2	489.6	612

Fuente: Elaboración propia



**Figura 11.** Densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad de suelo con 2% de MgCl<sub>2</sub>.

Fuente: Elaboración propia

Datos obtenidos:

- Óptimo contenido de humedad : 6.8%
- Máxima densidad seca : 2.2080%

### 3.2.2.3. Proctor con 4% de MgCl<sub>2</sub>

En la tabla 9 se muestra los resultados del ensayo de proctor para una grava arcillosa con 4% de cloruro de magnesio y se comporta de la siguiente manera.

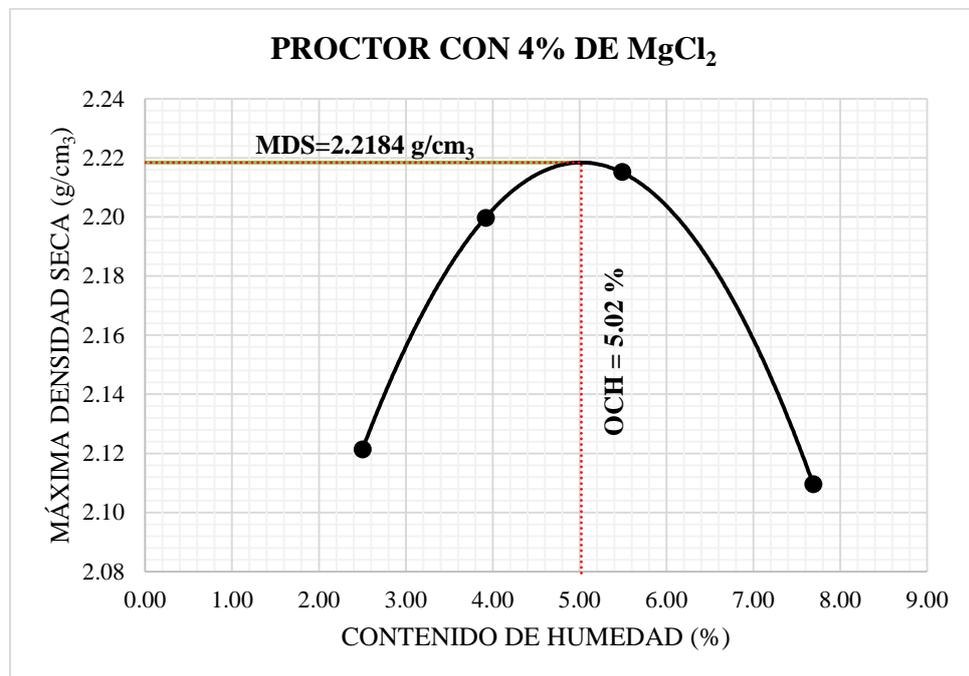
**Tabla 9: Proctor con 4% de MgCl<sub>2</sub>**

Proctor con 4% de MgCl <sub>2</sub>				
Contenido de Humedad(%)	2.5	4	5.72	7.86
MDS(g/cm <sub>3</sub> )	2.1214	2.2032	2.2064	2.1096
Cantidad de agua añadida (cm <sub>3</sub> )	124.8	249.6	374.4	499.20

Fuente: Elaboración propia

Datos obtenidos:

- Óptimo contenido de humedad : 5.02%
- Máxima densidad seca : 2.2184%



**Figura 12.** Densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad de suelo con 4% de MgCl<sub>2</sub>

Fuente: Elaboración propia

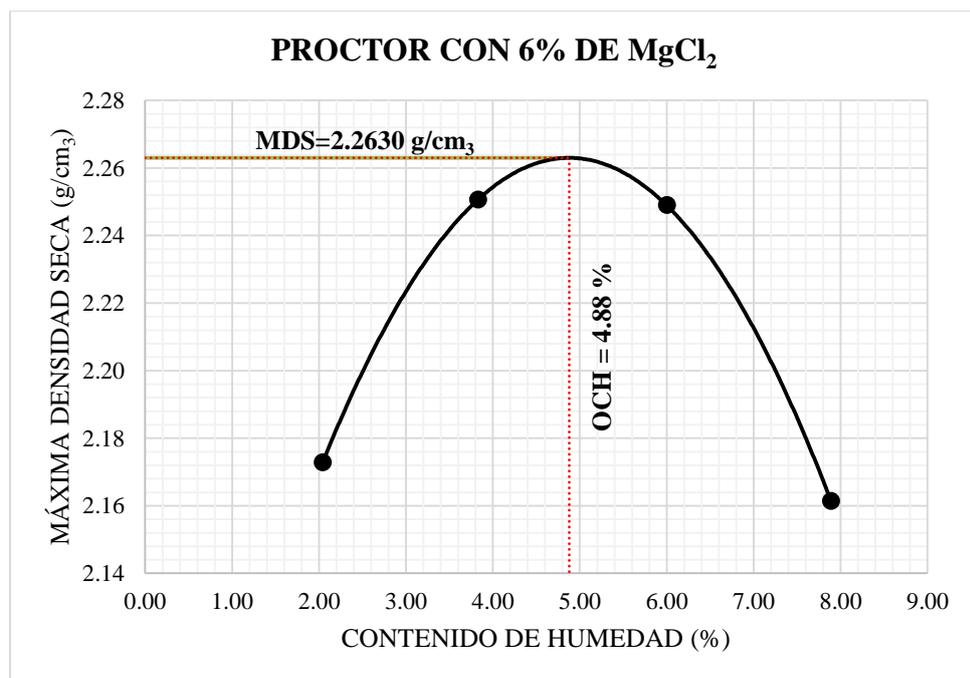
### 3.2.2.4. Proctor con 6% de MgCl<sub>2</sub>

En la tabla 10 se muestra los resultados del ensayo de proctor de una grava limo-arcillosa con arena con 6% de cloruro de magnesio y se comporta de la siguiente manera.

**Tabla 10:** Proctor con 6% de MgCl<sub>2</sub>

Proctor con 6% de MgCl <sub>2</sub>				
Contenido de Humedad(%)	2.06	3.86	6.04	8.16
MDS(g/cm <sub>3</sub> )	2.1728	2.2488	2.248	2.1614
Cantidad de agua añadida(cm <sub>3</sub> )	127.2	254.40	381.6	508.8

Fuente: Elaboración propia



**Figura 13.** Densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad de suelo con 6% de MgCl<sub>2</sub>.

Fuente: Elaboración propia

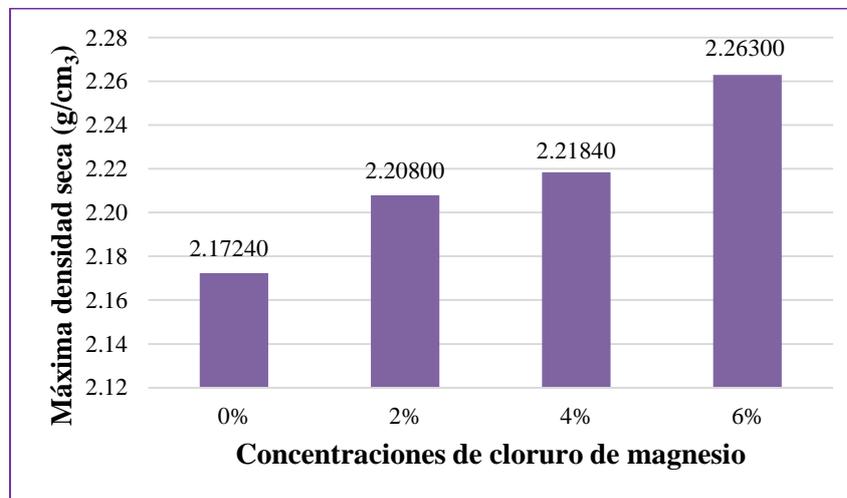
Datos obtenidos:

- Óptimo contenido de humedad : 4.88%
- Máxima densidad seca : 2.2630%

**Tabla 11:** Resumen de las características de la Máxima Densidad Seca y Optimo Contenido de Humedad del suelo en estudio.

<b>PROCTOR MODIFICADO</b>		
<b>MDS(%)</b>	<b>OCH(%)</b>	<b>MgCl<sub>2</sub>(%)</b>
2.17240	6.82	0
2.20800	6.60	2
2.21840	5.02	4
2.26300	4.88	6

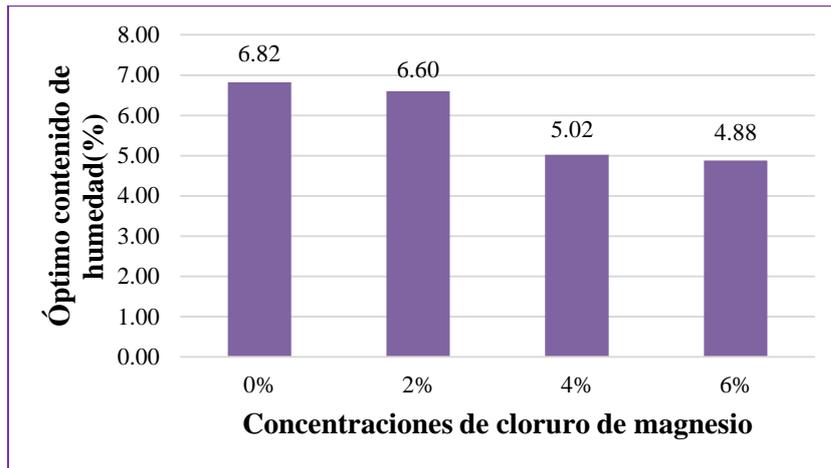
Fuente: Laboratorio de mecánica de Suelos – DRTC Amazonas



**Figura 14.** Máxima densidad seca para las diferentes concentraciones de MgCl<sub>2</sub>.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 14 se aprecia que al aumentar la incorporación de cloruro de magnesio la máxima densidad seca aumenta, siendo 2.17240 % el valor de la muestra con 0% de MgCl<sub>2</sub> y 2.2630% agregándole 6% del aditivo.



**Figura 15.** Óptimo Contenido de Humedad para las diferentes concentraciones de  $MgCl_2$ .

Fuente: Elaboración propia

La Figura 15 muestra que agregando gradualmente Cloruro de magnesio el Óptimo Contenido de humedad disminuye, siendo 6.82 % el valor de la muestra con 0% de  $MgCl_2$  y 4.88 % la muestra con 6% de aditivo.

### 3.2.3. Valor de soporte california (CBR)

#### 3.2.3.1. CBR con 0% de $MgCl_2$

Ensayo de valor soporte California para una grava arcillosa sin cloruro de magnesio, se comporta de la siguiente manera (Tabla 12).

Datos obtenidos

Resistencia a la penetración

56 golpes

Penetración 1	:	80.7	kg
Penetración 2	:	249.8	kg
Penetración 3	:	472.6	kg
Penetración 4	:	666.6	kg
Penetración 5	:	1177.1	kg
Penetración 6	:	1660.2	kg

Penetración 7	:	2022.7 kg
Penetración 8	:	2414.5 kg
Penetración 9	:	3246.1 kg
Penetración 10	:	3887.2 kg

 25 golpes

Penetración 1	:	61.8 kg
Penetración 2	:	182.2 kg
Penetración 3	:	304.6 kg
Penetración 4	:	447.3 kg
Penetración 5	:	740.7 kg
Penetración 6	:	1010.3 kg
Penetración 7	:	1256.4 kg
Penetración 8	:	1460.3 kg
Penetración 9	:	1969.6 kg
Penetración 10	:	2387.2 kg

 12 golpes

Penetración 1	:	45.9 kg
Penetración 2	:	98.4 kg
Penetración 3	:	155.2 kg
Penetración 4	:	204.7 kg
Penetración 5	:	299.6 kg
Penetración 6	:	405.6 kg
Penetración 7	:	466.3 kg
Penetración 8	:	587.1 kg
Penetración 9	:	758.6 kg
Penetración 10	:	906.9 kg

**Tabla 12:** Resultados con 0% de MgCl<sub>2</sub>

<b>Proctor Modificado</b>	
Método de compactación	"C"
Máxima Densidad Seca(kg/cm <sub>3</sub> )	2.1724
Óptimo Contenido de Humedad(%)	6.82

<b>CBR a 2.54 mm de penetración</b>	
CBR al 100% de la MDS(%)	70.64
CBR al 95% de la MDS(%)	39.2

Fuente: Laboratorio de suelos DRTC-Amazonas

### 3.2.3.2. CBR con 2% de MgCl<sub>2</sub>

Ensayo de valor soporte California para una grava arcillosa con 2% de cloruro de magnesio, se comporta de la siguiente manera (Tabla 13).

Datos obtenidos

Resistencia a la penetración

✚ 56 golpes

Penetración 1	:	44.6	kg
Penetración 2	:	121.4	kg
Penetración 3	:	201.9	kg
Penetración 4	:	316.2	kg
Penetración 5	:	571.4	kg
Penetración 6	:	886.9	kg
Penetración 7	:	1185.1	kg
Penetración 8	:	1439.6	kg
Penetración 9	:	2037.7	kg
Penetración 10	:	2355.4	kg

✚ 25 golpes

Penetración 1	:	39.9	kg
Penetración 2	:	88.1	kg
Penetración 3	:	172.7	kg

Penetración 4	:	260.4	kg
Penetración 5	:	437.4	kg
Penetración 6	:	629.6	kg
Penetración 7	:	884.8	kg
Penetración 8	:	1076.6	kg
Penetración 9	:	1428.7	kg
Penetración 10	:	1820.6	kg

 12 golpes

Penetración 1	:	40.8	kg
Penetración 2	:	95.4	kg
Penetración 3	:	150.4	kg
Penetración 4	:	218.6	kg
Penetración 5	:	329.2	kg
Penetración 6	:	440.8	kg
Penetración 7	:	558.5	kg
Penetración 8	:	638.4	kg
Penetración 9	:	827.2	kg
Penetración 10	:	1035.2	kg

**Tabla 13:** Resultados con 2% de MgCl<sub>2</sub>

<b>Proctor Modificado</b>	
Método de compactación	"C"
Máxima Densidad Seca(kg/cm <sup>3</sup> )	2.2080
Óptimo Contenido de Humedad(%)	6.60
<b>CBR a 2.54mm de penetración</b>	
CBR al 100% de la MDS(%)	40.38
CBR al 95% de la MDS(%)	26.24

**Fuente:** Laboratorio de mecánica de suelos DRTC-Amazonas

### 3.2.3.3. CBR con 4% de MgCl<sub>2</sub>

Ensayo de valor soporte California para una grava arcillosa con 4% de cloruro de magnesio, se comporta de la siguiente manera (Tabla 14).

## Datos obtenidos

### Resistencia a la penetración

#### 56 golpes

Penetración 1	:	32.9	kg
Penetración 2	:	83.0	kg
Penetración 3	:	138.8	kg
Penetración 4	:	191.8	kg
Penetración 5	:	287.3	kg
Penetración 6	:	367.7	kg
Penetración 7	:	509.6	kg
Penetración 8	:	636.1	kg
Penetración 9	:	962.5	kg
Penetración 10	:	1328.8	kg

#### 25 golpes

Penetración 1	:	26.8	kg
Penetración 2	:	67.7	kg
Penetración 3	:	111.2	kg
Penetración 4	:	159.9	kg
Penetración 5	:	220.1	kg
Penetración 6	:	372.0	kg
Penetración 7	:	505.9	kg
Penetración 8	:	622.2	kg
Penetración 9	:	857.3	kg
Penetración 10	:	1145.4	kg

#### 12 golpes

Penetración 1	:	12.1	kg
Penetración 2	:	34.7	kg
Penetración 3	:	69.1	kg
Penetración 4	:	112.5	kg
Penetración 5	:	216.4	kg

Penetración 6	:	361.3	kg
Penetración 7	:	471.8	kg
Penetración 8	:	568.7	kg
Penetración 9	:	720.2	kg
Penetración 10	:	835.4	kg

**Tabla 14:** Resultados con 4% de MgCl<sub>2</sub>

<b>Proctor Modificado</b>	
Método de compactación	"C"
Máxima Densidad Seca(kg/cm <sub>3</sub> )	2.2184
Óptimo Contenido de Humedad(%)	5.02
<b>CBR a 2.54mm de penetración</b>	
CBR al 100% de la MDS(%)	17.64
CBR al 95% de la MDS(%)	15.1

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos DRTC-Amazonas

#### 3.2.3.4. CBR con 6% de MgCl<sub>2</sub>

Ensayo de valor soporte California para una grava limo-arcillosa con 6% de cloruro de magnesio, se comporta de la siguiente manera (Tabla 15).

Datos obtenidos

Resistencia a la penetración

🚧 56 golpes

Penetración 1	:	7.9	kg
Penetración 2	:	20.3	kg
Penetración 3	:	39.3	kg
Penetración 4	:	65.4	kg
Penetración 5	:	151.4	kg
Penetración 6	:	269.0	kg
Penetración 7	:	308.5	kg
Penetración 8	:	520.0	kg
Penetración 9	:	792.2	kg

Penetración 10 : 1059.3 kg

 25 golpes

Penetración 1 : 6.0 kg

Penetración 2 : 14.7 kg

Penetración 3 : 31.3 kg

Penetración 4 : 53.5 kg

Penetración 5 : 114.1 kg

Penetración 6 : 209.0 kg

Penetración 7 : 323.9 kg

Penetración 8 : 457.3 kg

Penetración 9 : 728.5 kg

Penetración 10 : 1040.8 kg

 12 golpes

Penetración 1 : 4.6 kg

Penetración 2 : 7.0 kg

Penetración 3 : 13.4 kg

Penetración 4 : 22.4 kg

Penetración 5 : 64.0 kg

Penetración 6 : 137.5 kg

Penetración 7 : 251.0 kg

Penetración 8 : 383.8 kg

Penetración 9 : 666.7 kg

Penetración 10 : 1022.1 kg

**Tabla 15:** Resultados con 6% de MgCl<sub>2</sub>

<b>Proctor Modificado</b>	
Método de compactación	"C"
Máxima Densidad Seca(kg/cm <sub>3</sub> )	2.2630
Óptimo Contenido de Humedad(%)	4.88

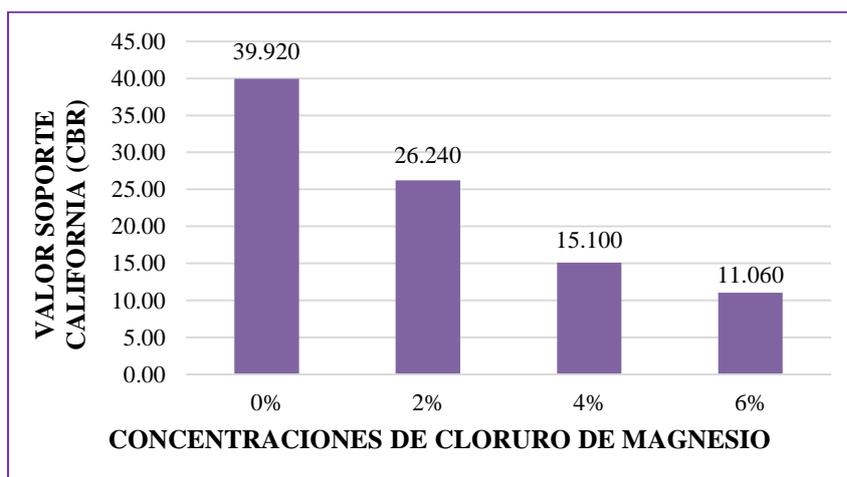
<b>CBR a 2.54mm de penetración</b>	
CBR al 100% de la MDS(%)	14.48
CBR al 95% de la MDS(%)	11.06

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos DRTC-Amazonas

**Tabla 16:** Resumen de las Características del valor de soporte California del suelo en estudio.

<b>VALOR SOPORTE CALIFORNIA (CBR 95%)</b>	
<b>CBR (95%)</b>	<b>MgCl<sub>2</sub>(%)</b>
39.92	0
26.24	2
15.1	4
11.06	6

Fuente: Laboratorio de mecánica de Suelos – DRTC Amazonas



**Figura 16.** CBR al 95% para las diferentes concentraciones de Cloruro de Magnesio.

Fuente: Elaboración propia

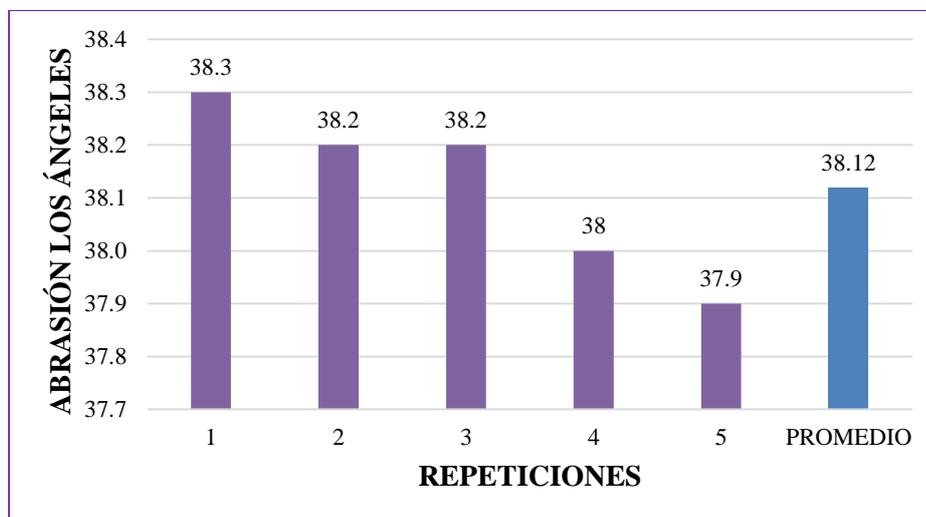
En la Figura 16 se observa que a medida que se va incrementando el porcentaje de cloruro de magnesio la capacidad de soporte(CBR) disminuye, siendo así 39.920 % (muestra con 0% de MgCl<sub>2</sub>) y 11.060 % (muestra con 6% de MgCl<sub>2</sub>)

### 3.2.4. Abrasión los ángeles, al desgaste de los agregados de tamaños menores de (1 ½")

**Tabla 17:** Resultados de abrasión los ángeles

ABRASIÓN LOS ÁNGELES (A.L)	
REPETICIONES	A.L
1	38.3
2	38.2
3	38.2
4	38
5	37.9
<b>PROMEDIO</b>	<b>38.12</b>

Fuente: Elaboración propia



**Figura 17.** Resultados de abrasión los ángeles

Fuente: Elaboración propia

Según el MTC E207 la resistencia al desgaste no debe superar el 50%, por lo tanto, el agregado en estudio tiene alta resistencia al desgaste por lo que es apto debido a la dureza que presenta al ser sometido a fricciones junto con las esferas (Figura 17).

### 3.3. Análisis estadístico

#### 3.3.1. Análisis de varianza

Para el procedimiento de la prueba de Tukey se tuvo la siguiente valoración:

**Para la probabilidad:**

- Si  $P < 0.01$ , hay diferencia altamente significativa entre las concentraciones de  $MgCl_2$ .
- Si  $P < 0.05$ , hay diferencia medianamente significativa entre las concentraciones de  $MgCl_2$ .
- Si  $P > 0.05$ , no hay diferencia significativa entre las concentraciones de  $MgCl_2$ .

Donde:

P : Probabilidad.

**Para el coeficiente de variación:**

Cuando el  $CV \leq 35\%$ , indica que los datos medidos en el experimento son confiables y en consecuencia las conclusiones emanadas del análisis de varianza tienen validez.

**Tabla 18:** Matriz base para el análisis estadístico.

ENSAYOS	CONCENTR.	REPET.	LL	LP	IP	MDS	OCH	CBR 95 %
<b>M0</b>	1	1	23	13	10	2.122	6.8	39.6
	1	2	25	14	11	2.155	6.9	39.6
	1	3	19	10	9	2.197	7.1	40
	1	4	22	12	10	2.182	6.5	40.2
	1	5	24	14	10	2.206	6.8	40.2
<b>2 % MgCl<sub>2</sub></b>	2	1	21	14	7	2.204	6.8	24.7
	2	2	21	12	9	2.207	6.9	24.8
	2	3	20	11	9	2.208	6.9	25.7
	2	4	19	9	10	2.209	6.2	27.6
	2	5	21	11	10	2.212	6.2	28.4
<b>4 % MgCl<sub>2</sub></b>	3	1	21	15	6	2.200	5	15.7
	3	2	20	13	7	2.204	5.1	15.6
	3	3	20	11	9	2.233	5.2	15.4
	3	4	19	12	7	2.225	4.9	14.4
	3	5	19	13	6	2.230	4.9	14.4
<b>6 % MgCl<sub>2</sub></b>	4	1	18	13	5	2.274	5	11.1
	4	2	17	13	4	2.268	4.8	11.2
	4	3	17	12	5	2.271	4.9	11
	4	4	18	14	4	2.252	4.8	11
	4	5	17	13	4	2.250	4.9	11

Fuente: Elaboración propia

**3.3.1.1.Límite líquido (LL)****Tabla 19:** Análisis de varianza para LL

	LL	<0.01	0.01-0.05	>0.05
<b>P</b>	0.000	X		
<b>Media (%)</b>	22.155			
<b>CV (%)</b>	0.88			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 20:** Grupos homogéneos medios (concentración) para LL.

CONCENTRACIÓN	MEDIA	GRUPOS
1	22.600	A
2	20.400	AB
3	19.800	BC
4	17.400	C

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.1.2.Límite plástico (LP)

**Tabla 21:** Análisis de varianza para LP.

	LP	<0.01	0.01-0.05	>0.05
<b>P</b>	0.351			X
<b>Media (%)</b>	12.45			
<b>CV (%)</b>	11.91			

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.1.3.Índice de Plasticidad (IP)

**Tabla 22:** Análisis de varianza para IP.

	IP	<0.01	0.01-0.05	>0.05
<b>P</b>	0.000	X		
<b>Media (%)</b>	7.6			
<b>CV (%)</b>	12.82			

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 23:** Grupos homogéneos medios (concentración) para IP.

CONCENTRACIÓN	MEDIA	GRUPOS
1	10.000	A
2	9.000	A
3	7.000	B
4	4.400	C

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.1.4. Óptimo contenido de humedad (OCH)

**Tabla 24:** Análisis de varianza para OCH.

	<b>OCH</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>0.01-0.05</b>	<b>&gt;0.05</b>
<b>P</b>	0.000	X		
<b>Media (%)</b>	5.83			
<b>CV (%)</b>	3.89			

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 25:** Grupos homogéneos medios (concentración) para OCH.

<b>CONCENTRACIÓN</b>	<b>MEDIA</b>	<b>GRUPOS</b>
1	6.8200	A
2	6.6000	A
3	5.0200	B
4	4.8800	B

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.1.5. Máxima densidad seca (MDS)

**Tabla 26:** Análisis de varianza para MDS.

	<b>MDS</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>0.01-0.05</b>	<b>&gt;0.05</b>
<b>P</b>	0.000	X		
<b>Media (%)</b>	2.2155			
<b>CV (%)</b>	0.88			

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 27:** Grupos homogéneos medios (Concentración) para MDS.

<b>CONCENTRACIÓN</b>	<b>MEDIA</b>	<b>GRUPOS</b>
1	2.1724	A
2	2.2080	B
3	2.2184	B
4	2.2630	C

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.1.6. Valor Soporte California (CBR)

**Tabla 28:** Análisis de varianza para CBR.

	<b>CBR</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>0.01-0.05</b>	<b>&gt;0.05</b>
<b>P</b>	0.000	X		
<b>Media (%)</b>	23.08			
<b>CV (%)</b>	3.96			

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 29:** Grupos homogéneos medios (Concentración) para CBR.

<b>CONCENTRACION</b>	<b>MEDIA</b>	<b>GRUPOS</b>
1	39.920	A
2	26.240	B
3	15.100	C
4	11.060	D

Fuente: Elaboración propia.

#### IV. DISCUSIÓN

Mediante el estudio realizado, no se acepta la hipótesis general planteada donde constituye que la adición de cloruro de magnesio en proporciones de 2%, 4% y 6% mejora las propiedades físico-mecánicas del material de cantera para ser empleado en superficies de rodadura en carreteras no pavimentadas, puesto que el índice de plasticidad y el valor de soporte California tienden a disminuir mediante la adición de cloruro de magnesio.

Los resultados encontrados guardan relación con lo expuesto por Hilario (2015) de acuerdo con los ensayos de laboratorio se demuestra una notable disminución del índice de plasticidad con la adición de cloruro de magnesio para el material de cantera.

De la misma manera se encuentra semejanza con lo que sostiene Gutiérrez (2010) donde concluye que, las características físicas de los suelos, la densidad seca máxima aumenta conforme se va incrementando el porcentaje de aditivo, de la misma manera Hilario (2015) concluye que el óptimo contenido de humedad disminuye conforme se incrementa el porcentaje de aditivo.

En los resultados de CBR a 1" (Tabla 16), se puede apreciar la disminución del CBR al aumentar el porcentaje de cloruro de magnesio desde un 39.92% para la muestra patrón hasta un 11.06 para la muestra con 6% de aditivo por lo tanto no es apto estabilizar este tipo de material que tiene la cantera "Tuctilla" ya que no se llega a lo estipulado por el reglamento que admite un CBR de 40%.

Otras investigaciones como la de Bonifacio & Vergara (2015), recomienda que para suelos con gradación GP y con índice de plasticidad mayor a 15 no incorporar Cloruro de Calcio o Cloruro de Magnesio para su estabilización ya que queda comprobada que no mejora la resistencia estipulada por las normas MTC para carreteras no pavimentadas.

Gutiérrez, 2010, concluye que no se pudo comprobar el aumento del CBR en el ensayo de laboratorio puesto que la inmersión de 48 horas no dejaba actuar al Cloruro de Magnesio. Por lo contrario, Hilario (2015) determinó que la resistencia a los 28 días disminuye 2.59,4.05,5.18 respectivamente con 1.15,1.20 y 1.25 gr/cm<sup>3</sup> de densidad de solución salmuera y que estos valores de variación indican indirectamente que el cloruro de magnesio no modifica el valor de la capacidad de soporte del suelo estudiado (GC-GM).

De la Tabla 18 siendo la matriz base para el análisis estadístico se procesó los datos obteniendo así los resultados mediante la prueba de Tukey, se puede observar que para las propiedades físicas si hay diferencia significativa entre las concentraciones de MgCl<sub>2</sub> ya que la probabilidad es menor a 0.01, es decir las concentraciones si influyen en las propiedades físicas. En la propiedad física del índice de plasticidad se observa que para una concentración del 0% de MgCl<sub>2</sub> el suelo presenta una mejor cohesión fino-grueso en cambio para una concentración de 6% de MgCl<sub>2</sub> el suelo actúa desfavorablemente, para el óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca se observa que el MgCl<sub>2</sub> mejora la máxima densidad seca del suelo con un óptimo contenido de humedad menor, de la misma manera para la propiedad mecánica se pudo observar que la variabilidad del CBR es bastante significativa ya que no se forman grupos homogéneos si no que incide directamente en la muestra.

Por lo tanto, efectuada la estadística se demuestra que la adición de MgCl<sub>2</sub> en proporciones de 2%, 4% y 6% desfavorece la cohesión de fino - grueso, además disminuye la resistencia del suelo.

Cuando el  $CV \leq 35\%$ , indica que los datos medidos en el experimento son confiables y en consecuencia las conclusiones emanadas del análisis de varianza tienen validez.

## V. CONCLUSIONES

La adición del cloruro de magnesio en las propiedades físico-mecánicas del material de cantera en proporciones de 0%, 2%, 4% y 6%, no mejora significativamente dichas propiedades en las condiciones del presente estudio, por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada donde establece que el cloruro de magnesio si mejora las propiedades físico-mecánicas del material de cantera para ser usado en carreteras no pavimentadas.

Para las propiedades físicas se tiene que mediante el método AASHTO la muestra varía de A-2-4(0) hasta A-1-b (0); así mismo, usando el método SUCS la muestra varía de GC hasta GC-GM; el índice de plasticidad disminuye de 6.82 % (muestra con 0% de  $MgCl_2$ ) a 4.88% (muestra con 6% de  $MgCl_2$ ); el óptimo contenido de humedad tiende a disminuir mientras que la máxima densidad seca aumenta a medida que se incrementa los porcentajes de  $MgCl_2$ .

El CBR disminuye a medida que se va incrementando el porcentaje de cloruro de magnesio siendo así 39.9% (muestra con 0% de  $MgCl_2$ ) y 11.060% (muestra con 6% de  $MgCl_2$ ).

## **VI. RECOMENDACIONES**

### **Dirigido a los interesados en la investigación**

Realizar los procedimientos de todos los ensayos con las medidas de seguridad y calidad adecuada, de tal manera que se obtengan resultados confiables; si se pretende hacer un proyecto de investigación con cloruro de magnesio se recomienda utilizar suelos con índice de plasticidad mayor a 20% ya que quedó comprobado que a medida que se incrementa cloruro de magnesio el índice de plasticidad disminuye; según experiencias de obras ya realizadas nos dice que es recomendable usarlo en zonas costeras, o donde no haya grandes precipitaciones, puesto que el cloruro de magnesio es una sal que tiene la capacidad de absorber la humedad del ambiente y de tal manera mantiene la superficie de rodadura húmeda; además se recomienda hacer ensayos con otras sales que se produzcan en el Perú y que puedan conformar nuevas alternativas para el mejoramiento de suelos ya que el uso de cloruro de magnesio no resulta económico para ser empleada en las condiciones del presente trabajo.

### **Dirigido a la DRTC-A**

- Sostener apoyo técnico-logístico incondicional a los jóvenes tesistas de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza para realizar ensayos de su investigación.

### **Dirigido a la UNTRM**

- Mantener vigente el convenio con la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones, en especial con el Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anticona, L. (2012). *Innovación metodológica para evaluar superficie estabilizada con cloruro de magnesio aplicación vía de acceso a Caral (km 05+00-km15+00)*. Tesis para optar el grado académico de maestro en ciencias con mención en ingeniería de transportes, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Blázquez Bañon, Luis & José García Beviá. *Manual de carreteras, tomo 2, construcción y mantenimiento*. (volumen N°2) Chile: 2004.
- Bonifacio, W, & Sánchez, J. (2015). *Estabilización química en carreteras no pavimentadas usando cloruro de magnesio. Cloruro de calcio y cemento en la Región Lambayeque*. Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil. Universidad Señor de Sipán, Lambayeque, Perú.
- Gutiérrez, C. (2010). *Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (Bischofita) frente al cloruro de calcio*. Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- Hilario, F. (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 – Tintaya Marquiri*. Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Jara, A. (2014). *Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso*. Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Juárez, E. & Rico, A. (2011). *Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos*. México: Editorial Limusa.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. *Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Sección suelos y pavimentos, Perú: 2014.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. *Manual de ensayo de materiales*, Perú: 2016.

Miranda, J, & Negrete, D. (2011). *Estabilización de suelos cohesivos con el uso de cloruro de calcio*. Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, 2011.

Roldan, J. (2010). *Estabilización de suelos con Cloruro de Sodio(NaCl) para bases y sub bases*. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala.

# **ANEXOS**

# **ANEXO N° 01**

**(05) Procedimiento del análisis estadístico**

Para el desarrollo del análisis estadístico se utilizó el software Statistix 8, este software consta de varios módulos, el principal de ellos es el de Base, que implementa las técnicas estadísticas más comunes.

Para el procedimiento de la prueba de Tukey se tuvo la siguiente valoración:

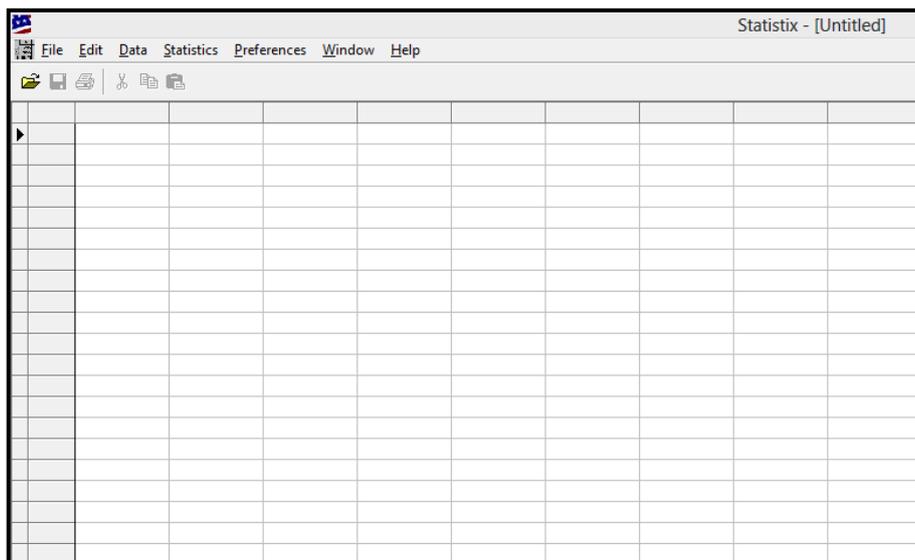
Si  $P < 0.01$ , hay diferencia altamente significativa entre las concentraciones de  $MgCl_2$ .

Si  $P < 0.05$ , hay diferencia medianamente significativa entre las concentraciones de  $MgCl_2$ .

Si  $P > 0.05$ , no hay diferencia significativa entre las concentraciones de  $MgCl_2$ .

Donde:

P : Probabilidad.



**Figura 18.** Interfaz del Software Statistix 8.

	CONCENTR	REPET	LL	LP	IP	MDS	OCH	CBR
1	1	1	23	13	10	2.122	6.8	39.6
2	1	2	25	14	11	2.155	6.9	39.6
3	1	3	19	10	9	2.197	7.1	40
4	1	4	22	12	10	2.182	6.5	40.2
5	1	5	24	14	10	2.206	6.8	40.2
6	2	1	21	14	7	2.204	6.8	24.7
7	2	2	21	12	9	2.207	6.9	24.8
8	2	3	20	11	9	2.208	6.9	25.7
9	2	4	19	9	10	2.209	6.2	27.6
10	2	5	21	11	10	2.212	6.2	28.4
11	3	1	21	15	6	2.2	5	15.7
12	3	2	20	13	7	2.204	5.1	15.6
13	3	3	20	11	9	2.233	5.2	15.4
14	3	4	19	12	7	2.225	4.9	14.4
15	3	5	19	13	6	2.23	4.9	14.4
16	4	1	18	13	5	2.274	5	11.1
17	4	2	17	13	4	2.268	4.8	11.2
18	4	3	17	12	5	2.271	4.9	11
19	4	4	18	14	4	2.252	4.8	11
20	4	5	17	13	4	2.25	4.9	11

Figura 19. Resumen de resultados de cada ensayo.

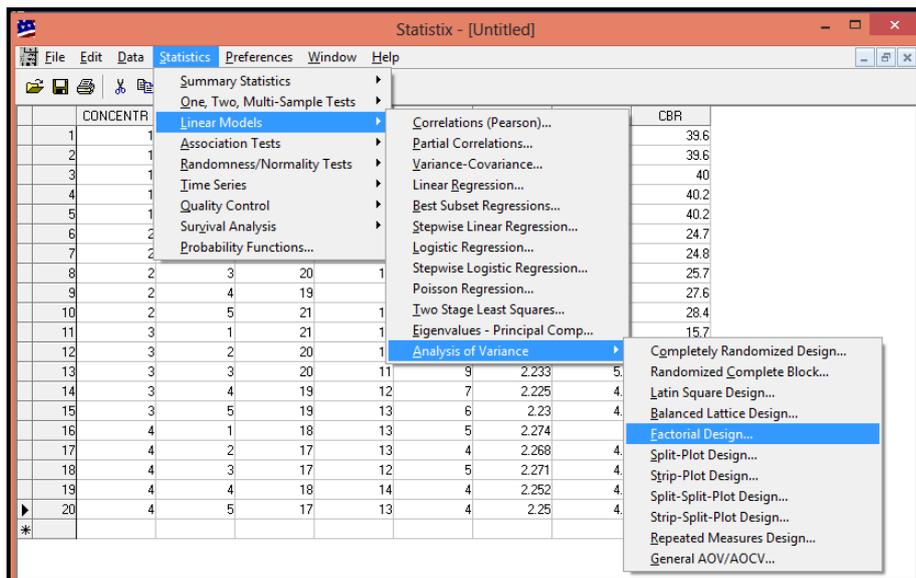


Figura 20. Procedimiento para el análisis de varianza mediante un diseño factorial

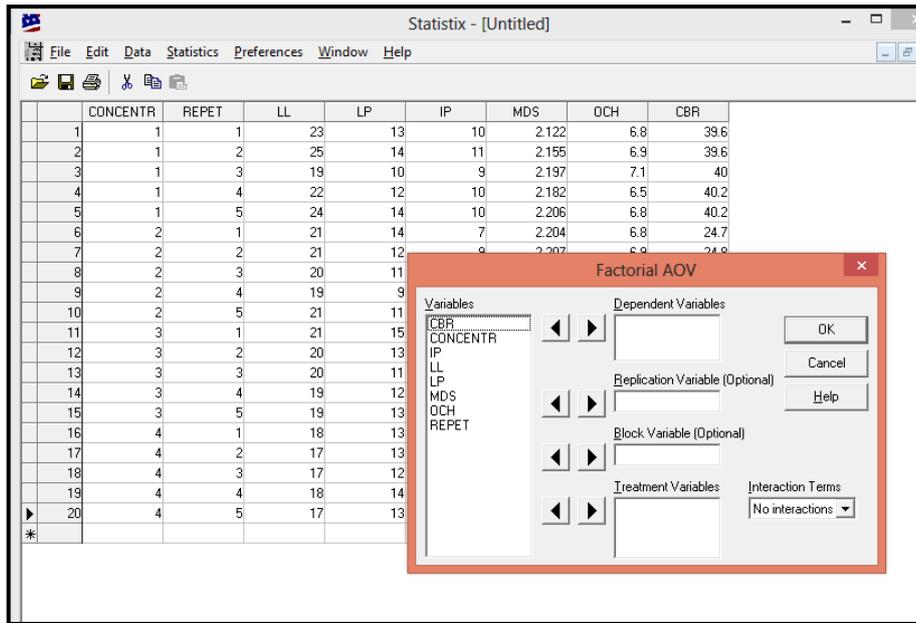


Figura 21. Variables a analizar.

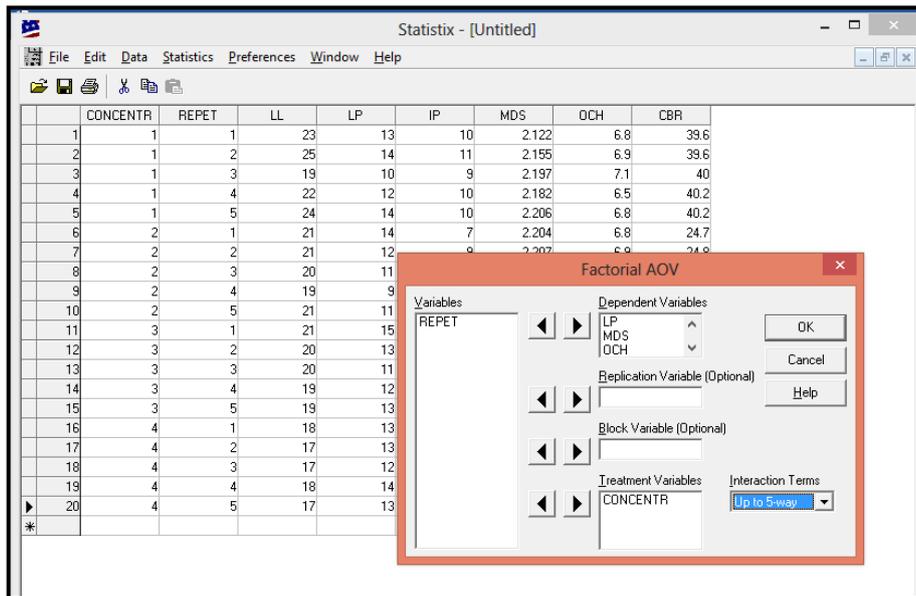
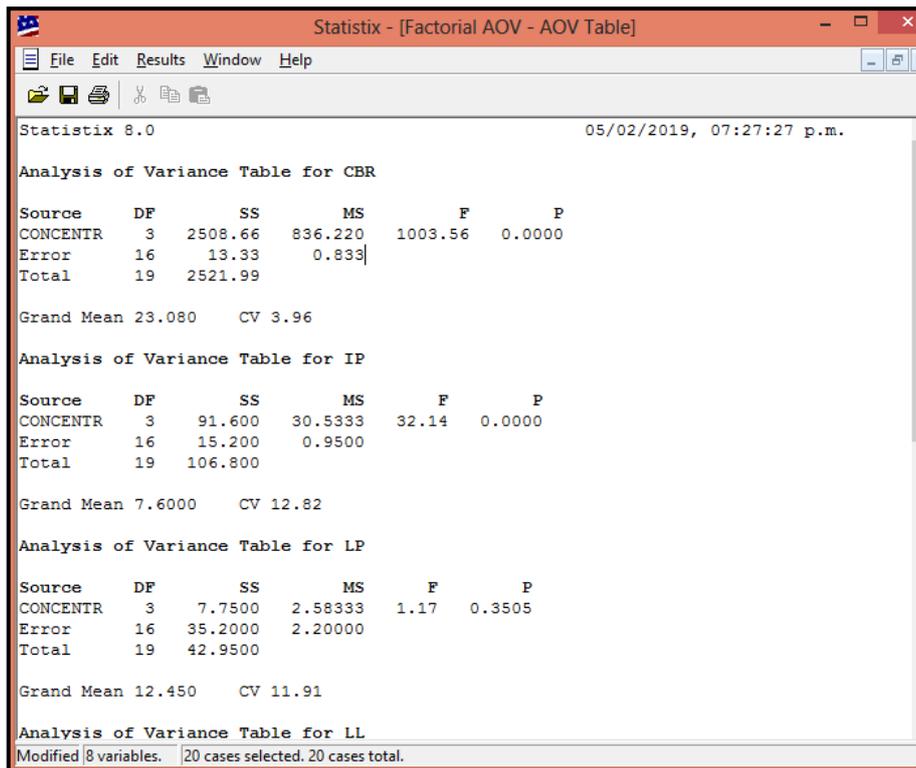
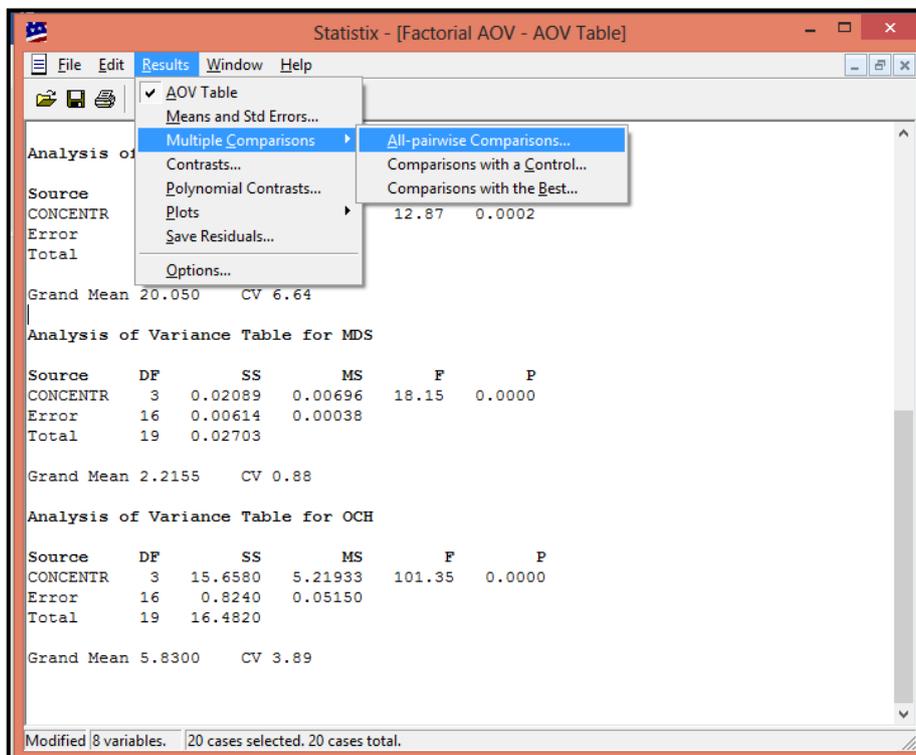


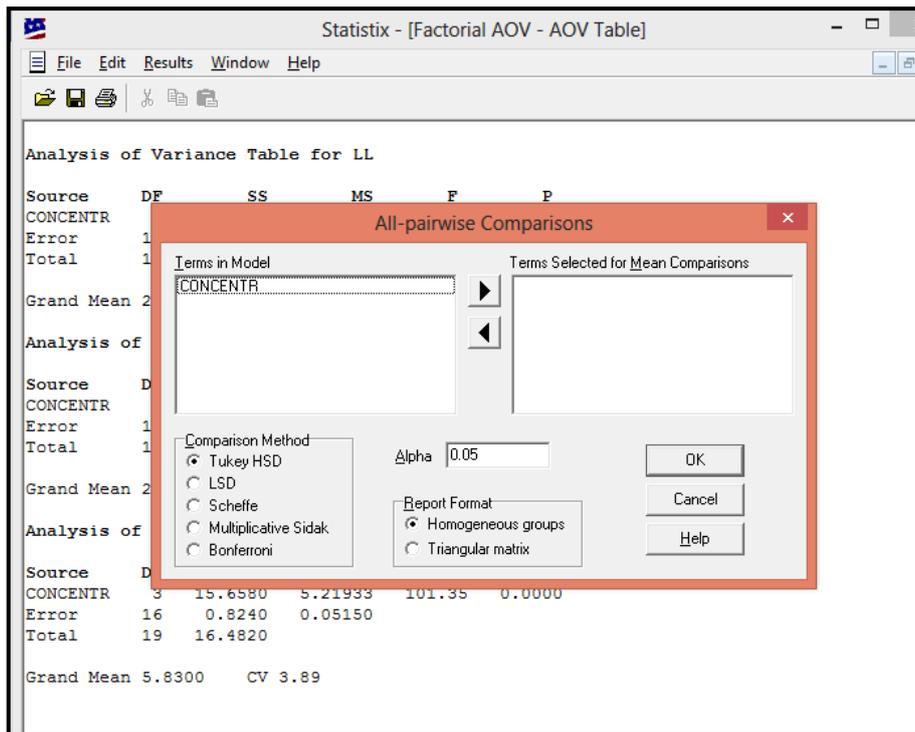
Figura 22. Procedimiento para el tratamiento de las variables dependientes en función a las concentraciones de MgCl<sub>2</sub>.



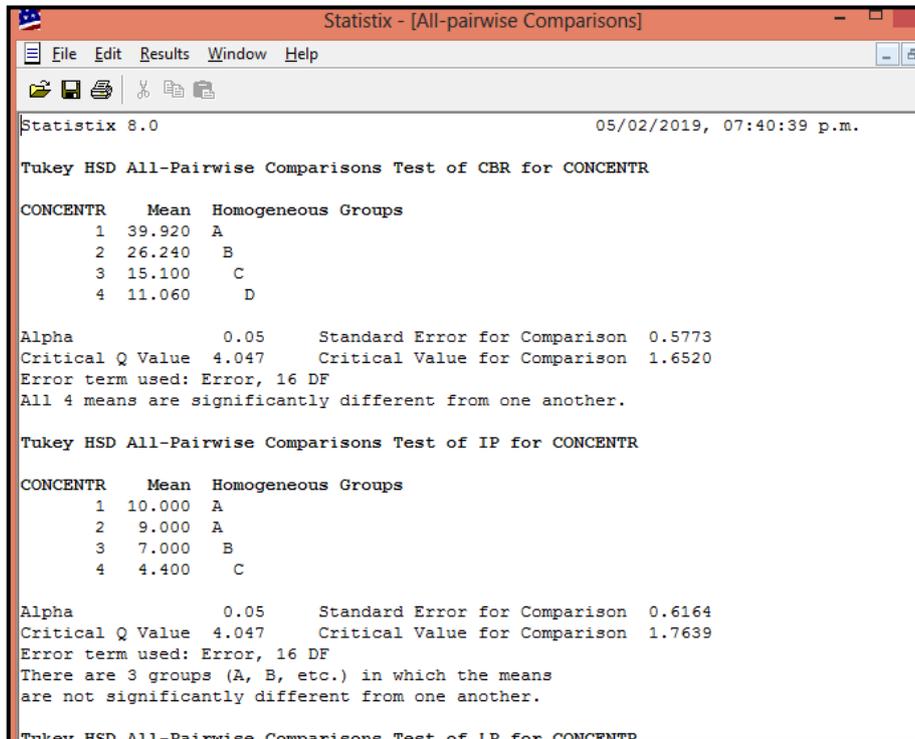
**Figura 23.** Resultados del análisis de varianza para cada variable dependiente en función de las concentraciones de  $MgCl_2$ .



**Figura 24.** Procedimiento para las comparaciones múltiples (prueba de Tukey).



**Figura 25.** Prueba de Tukey para las variables dependientes.



**Figura 26.** Resultados de la prueba de Tukey para el tratamiento de las variables en función a las concentraciones de  $MgCl_2$ .

# **ANEXO N° 02**

**(07) Panel fotográfico**



**Foto 01.** Una vista de la toma de muestras de la cantera del sector Tucilla.



**Foto 04.** Cuarteo manual.



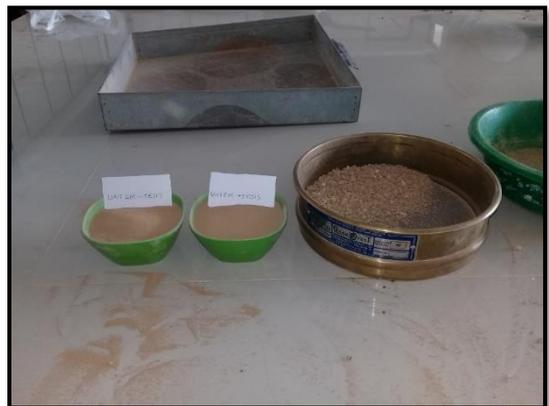
**Foto 02.** Material de cantera transportado a la Dirección de Transportes y Comunicaciones.



**Foto 05.** Secado del material durante 24 horas a una temperatura de 110 °C.



**Foto 03.** Registro del peso del material para el ensayo de humedad natural.



**Foto 06.** Muestra tamizada por la malla N°40, para el ensayo de límites de atterberg.



**Foto 07.** Ensayo de límites de atterberg en la Casuela de casa grande.



**Foto 10.** Ensayo para determinar el límite plástico de la muestra.



**Foto 08.** Separación de la muestra con el acanalador después de los golpes en la cazuela de casa grande.



**Foto 11.** Proceso de tamizado del material de cantera (3". 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4" y N°4, 6), tamizadora eléctrica tamiz N° (8,10,16,20,30,40,50,80,100 y 200).



**Foto 09.** Proceso de saturación del material fino y grueso previamente pesado, para el ensayo de análisis granulométrico de suelos por tamizado.



**Foto 12.** Tamizado de la muestra por las mallas 1", 3/4", 1/2" y 3/8", para ser sometidos a la máquina de los ángeles.



**Foto 13.** Colocación de toda la muestra tamizada y carga abrasiva correspondiente para luego ser sometidas a una velocidad entre 30 y 33 rpm en la máquina de los ángeles.



**Foto 16.** Tamizado del material por la malla 3/4", para los ensayos de proctor modificado y CBR.



**Foto 14.** Tamizado por la malla N°12 de la muestra sometida a la máquina de los ángeles.



**Foto 17.** Proceso de pesado y embolsado de la muestra para los ensayos de proctor y CBR, 6 kg cada una.



**Foto 15.** Lavado del material retenido por la malla N°12, para luego ser secado a una temperatura de 110 °C, durante 24 horas.



**Foto 18.** Proceso de etiquetado y separación de muestra para proctor modificado y CBR.



**Foto 19.** En la foto se aprecia los materiales y herramientas para el ensayo de proctor modificado.



**Foto 22.** División de la muestra en 5 partes para el proceso de compactación (5 capas de 56 golpes cada una).



**Foto 20.** Vaciado de agua previamente medido en una probeta graduada, para determinar el óptimo contenido de humedad (muestra con el 0% de  $MgCl_2$ ).



**Foto 23.** Compactación de la muestra por parte del técnico Freddy Gallardo de la Dirección de Transportes y comunicaciones-Amazonas.



**Foto 21.** Mezclado de la muestra más agua (el proceso me mezclado es hasta que la muestra quede totalmente uniforme).



**Foto 24.** Enrazado y limpieza exterior del molde, ensayo de proctor modificado con 0% de  $MgCl_2$ .



**Foto 25.** Pesado del molde más la muestra compactada, ensayo de proctor modificado con el 0% de  $MgCl_2$ .



**Foto 28.** Mezclado de la muestra más cloruro de magnesio, ensayo de CBR.



**Foto 26.** En la foto se aprecia el cloruro de magnesio previamente pesado y embolsado para las diferentes concentraciones 2%, 4% y 6% del peso de la muestra, ensayo de CBR.



**Foto 29.** Vaciado del agua previamente medido en una probeta graduada, ensayo de CBR.



**Foto 27.** Vaciado del cloruro de magnesio en la muestra, ensayo de CBR.



**Foto 30.** Determinación del contenido de humedad para la muestra (para comprobar si coincide con el agua aplicada), ensayo de CBR.



**Foto 31.** Mezclado de la muestra con el 2% de  $MgCl_2$ , ensayo de CBR.



**Foto 34.** Proceso de compactado de la muestra, ensayo de CBR.



**Foto 32.** Mezclado de la muestra con el 4% de  $MgCl_2$ , ensayo de CBR.



**Foto 35.** Enrazado del material excedente compactado, ensayo de CBR.



**Foto 33.** Mezclado de la muestra con el 6% de  $MgCl_2$ , ensayo de CBR.



**Foto 36.** Proceso de pesado del molde más la muestra compactada sin saturar, ensayo de CBR.



**Foto 37.** Contenidos de humedad de de las muestras preparadas para el ensayo de CBR.



**Foto 39.** Ensayo de penetración aplicando un pisón a una velocidad de 0.05 pul/min.



**Foto 38.** Colocación del trípode y dial de expansión sobre el molde de CBR.



**Foto 40.** Proceso de pesado del molde más la muestra saturada, ensayo CBR.

# **ANEXO N° 03**

**(110) Resultados de mecánica de suelos del DRTC-A**