

INTRODUCCIÓN

En la provincia Cercado una gran proporción de vehículos se transporta por caminos ripiados, los cuales requieren un mantenimiento periódico que implica un importante flujo de insumos tanto humanos como económicos. Para optimizar los recursos destinados a la conservación de este tipo de caminos, e incrementar la durabilidad de los caminos ripiados en el tiempo, se están comenzando a utilizar productos de origen químico como es la Bischofita, destinados a estabilizar la capa superficial de rodadura y de esa manera reducir sensiblemente la progresión de un deterioro superficial, además de minimizar efectos ambientales nocivos tales como la emisión de polvo en suspensión.

El Cloruro de Magnesio Hexahidratado o Bischofita, se trata de un cloruro de características higroscópicas, baja temperatura de congelamiento y alta solubilidad que puede utilizarse para la conservación de caminos ripiados bajo dos modalidades: como tratamiento supresor de polvo, o bien como estabilizador de la capa superficial de rodadura en un cierto espesor de la misma.

Este trabajo presentará los principales aspectos conceptuales y resultados obtenidos de los estudios a realizarse sobre la aplicación de la Bischofita como agente estabilizante en suelos que son utilizados como carpeta de rodado en caminos ripiados, además de evaluar los costos de construcción requeridos para este proceso.

Para el proyecto de investigación se obtendrá las muestras de ripio de un banco de préstamo ubicado en la comunidad de Turumayo y se extraerá tres muestras de suelo de distintos caminos ripiados de la provincia Cercado, para luego determinar cuál es la influencia de la Bischofita como agente estabilizante en las propiedades físico-mecánicas más importantes de estos suelos, que son utilizados para el ripiado de caminos, además de definir la dosis de aplicación y conservación óptima.

Los resultados que se obtengan determinarán si el uso de la Bischofita es aplicable en nuestro medio para ser usado como estabilizante de carpetas de rodado en caminos ripiados.

PROBLEMA

El problema fundamental es que los caminos ripiados de la provincia Cercado presentan un estado deficiente, principalmente debido a la mala elaboración y selección de los materiales componentes del camino, como también a las condiciones climatológicas que son características de la zona, lo cual provoca en los usuarios incomodidades y molestias al viajar, daños mecánicos en los vehículos, que conllevan a gastos mayores en reparaciones, demoras en tiempos de traslado, por último el elevado polvo que resulta perjudicial para la visibilidad de los usuarios y que puede resultar nocivo en el medio ambiente.

JUSTIFICACIÓN

El tema a tratarse en la presente investigación podrá establecer la aplicabilidad en nuestro medio de la Bischofita (Cloruro de Magnesio Hexahidratado) como agente químico estabilizante utilizado para la conservación y mantenimiento de carpetas de rodadura en caminos ripiados de nuestra provincia.

También se pretende dar una solución a los problemas ocasionados por la deficiencia que presentan los caminos ripiados y la serie de molestias que esto provoca a los usuarios que transitan por estas vías, como ser el levantamiento de polvo, baches y demora en los tiempos de viaje entre otros.

En el trabajo de investigación a realizarse se pretende demostrar que los suelos utilizados para el ripiado de caminos dentro de nuestra provincia, pueden ser estabilizados con un agente químico denominado Bischofita el cual modifica ciertas propiedades físico-mecánicas de dichos suelos, funcionando como ligante entre sus partículas mejorando así su resistencia, absorbiendo humedad del medio ambiente evitando así el levantamiento de polvo, y sobre todo brindando un camino mucho más

estable y duradero reduciendo así los gastos de mantenimiento que se dan en caminos ripiados sin estabilizar.

Es muy importante que se realicen estudios sobre la aplicabilidad de la Bischofita, ya que en nuestro país se encuentra el salar más grande del mundo como es el salar de Uyuni, la Bischofita se la obtiene de la explotación de estos tipos de salares, por lo que este producto estaría a nuestra completa disponibilidad y a un rebajado costo.

Los resultados obtenidos podrán ser utilizados como parámetros básicos para realizar una correcta aplicación y una dosificación óptima de Bischofita para la estabilización de suelos que vayan a ser utilizados como carpeta de rodadura en caminos ripiados.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la aplicabilidad de la Bischofita (Cloruro de Magnesio Hexahidratado) como agente estabilizante, para la conservación y mantenimiento de caminos ripiados; aplicado a caminos de la provincia Cercado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar información sobre la utilización de la Bischofita para la estabilización de caminos ripiados, a través de experiencias o investigaciones realizadas en otros lugares.
- Determinar las principales características y propiedades físico-mecánicas de los suelos en estudio, mediante los ensayos de Granulometría, Límites de Consistencia, Compactación T-180, Capacidad de Soporte (CBR) y Compresión Simple.
- Determinar las principales características y propiedades físico-mecánicas de la mezcla Suelo-Bischofita, a través de los ensayos de Retención de Humedad, Compactación, Capacidad de Soporte (CBR) y Compresión

Simple, de manera que esto permita definir la dosis óptima de aplicación del aditivo.

- Realizar un análisis comparativo de las principales características y propiedades físico-mecánicas de los suelos en estudio, con y sin la adición de la Bischofita.
- Determinar, las ventajas y limitaciones de la aplicación de la Bischofita en cuanto al incremento o reducción de las propiedades, de los suelos en estudio.
- Establecer el correcto proceso de estabilización, en cuanto a procedimientos técnicos, proceso de preparación de la solución y de la mezcla Suelo-Bischofita en laboratorio.
- Establecer conclusiones y recomendaciones de la investigación, en base a todos los resultados obtenidos, sobre la conveniencia o no de la aplicación de la Bischofita para la estabilización de carpetas de rodado en caminos ripiados de nuestra provincia.

ALCANCE

El trabajo de investigación tendrá como alcance:

La parte introductoria establecerá el problema fundamental por el que atraviesan los caminos ripiados de nuestra provincia, además se justificará las razones por la cual se debe llevar a cabo la investigación, estableciendo clara y puntualmente el objetivo general a lograr, así como también los específicos, a través de los cuales se logrará llegar al objetivo fundamental. También se planteará los medios por los cuales se realizará todo el trabajo de investigación.

En el capítulo primero se expondrá conceptos fundamentales sobre los procesos de estabilización, haciendo énfasis en los distintos tipos, características de suelos estabilizados, comportamiento de suelos estabilizados y el proceso mediante el cual se realiza una estabilización. Además de descubrir todo en cuanto a los aspectos

generales sobre la Bischofita (Cloruro de Magnesio Hexahidratado), definiendo conceptualmente su proceso de obtención, usos, aplicaciones, ventajas, desventajas y principalmente el comportamiento de los suelos que son estabilizados con este producto.

En el capítulo segundo se realizará todo el trabajo de investigación, estableciendo la ubicación y características del área de estudio, determinando las propiedades fundamentales de los suelos a ser estudiados, dosificación de Bischofita y el proceso de estabilización. Por último se realizará el análisis de resultados respectivo referente a todo el trabajo de investigación realizado.

En el capítulo tercero se realizará el cálculo del precio unitario referencial para la construcción de capas de rodado con y sin la aplicación de Bischofita, para lo cual se analizará cada componente de dicho precio como ser: costos de maquinaria de construcción, rendimientos de mano de obra, rendimientos de materiales, entre otros.

En el capítulo cuarto se desarrollarán las conclusiones y recomendaciones de todo el trabajo, determinando finalmente la aplicabilidad o no de la Bischofita para la estabilización de carpetas de rodado en caminos ripiados de la provincia en base aspectos técnicos y económicos de toda la investigación, citando las recomendaciones necesarias para realizar un correcto trabajo de laboratorio.

En conclusión el alcance del trabajo estará dirigido hacia la determinación de la aplicabilidad en nuestro medio de la Bischofita como estabilizador para carpetas de rodado en caminos ripiados, mediante la elaboración de los capítulos respectivos en donde se establecerá en cada uno de ellos aspectos relevantes, los cuales permitirán llevar a cabo el presente trabajo de investigación.

MEDIOS

El trabajo de investigación se lo realizará a través de los siguientes medios:

- Información y bibliografía respecto al uso y aplicación de la Bischofita.
- Se contará con el apoyo de organizaciones como la Alcaldía Municipal de la Provincia Cercado y el S.E.D.E.C.A. (Servicio Departamental de Caminos) que nos brindarán información sobre los bancos de préstamo de los cuales se extrae los áridos para el ripiado de los caminos dentro de la provincia, además de proporcionarnos los materiales (suelo) sobre los cuales se realizará el trabajo de investigación.
- Se contara con el Laboratorio de Suelos perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho en el cual se realizará todos los ensayos correspondientes.

METODOLOGÍA

La metodología a utilizarse para la realización del trabajo de investigación es la siguiente:

Inicialmente se realizará un análisis detenido determinando los problemas que contrae los deficientes caminos ripiados en nuestra provincia así como también el estado en el que se encuentran.

La teoría referente a los aspectos generales sobre el uso y la aplicación de la Bischofita y la estabilización de suelos, será redactado en base a bibliografía e información existente y disponible.

La metodología a usarse para la aplicación práctica, que es lo más importante dentro del trabajo estará basada en: establecer claramente la ubicación y características de la zona de estudio, una vez ubicados los tramos ripiados, se realizará la toma de muestras de materiales sobre los cuales se realizarán todo el estudio.

Estas muestras serán sometidas a los ensayos correspondientes para determinar sus características fundamentales, estos ensayos son: granulometría, límites de consistencia, clasificación de suelos, próctor modificado, capacidad de soporte y el ensayo de compresión simple, todos estos ensayos serán realizados en base a las guías de laboratorio con las que cuenta la universidad. Luego se realizará la caracterización correspondiente de las principales propiedades del suelo, para posteriormente realizar la dosificación respectiva de Bischofita.

El proceso de estabilización será realizado en el laboratorio de la universidad y el procedimiento del mismo será de la siguiente forma: preparación, mezclado, compactado, para por último realizar la rotura de los especímenes.

Luego se realizará todo el trabajo en gabinete para determinar la influencia de la Bischofita en el suelo estabilizado principalmente en sus propiedades mecánicas.

Los costos de construcción serán calculados en base a información actualizada en cuanto a costos de maquinaria de construcción, rendimientos de mano de obra, costos de los materiales, se estimará además el pago de beneficios sociales, pago de impuestos, utilidades, entre otros.

Por último las conclusiones y recomendaciones, serán elaboradas en base a todo el trabajo que se haya realizado en el laboratorio y en el gabinete, resaltando los aspectos más importantes que se hayan presentado durante el proceso así como también los problemas.

1.1 MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

En la actualidad existen innumerables métodos de estabilización, los que se presentan en esta lista son formas de estabilización más conocidas, sin olvidar que hay muchas otras formas más específicas que aquí no se mencionan.

- ✓ Estabilización mecánica.
- ✓ Estabilización por medio químico, generalmente logrado por la adición de agentes estabilizantes específicos como el cemento, las sales, la cal, el asfalto u otros.
- ✓ Estabilización térmica, por medio de calor o calcinación.
- ✓ Estabilización electroquímica.

De las anteriores se dará una pequeña descripción de los métodos más utilizados: Estabilización mecánica y Estabilización química.

1.1.1. ESTABILIZACIÓN MECÁNICA

La estabilización mecánica pretende mejorar las propiedades del suelo. Consiste en conferir compacidad a un suelo a través de la reducción de volúmenes de huecos y mejorar la trabazón mecánica por acciones de compactación, estática o dinámica

1.1.2. ESTABILIZACIÓN QUÍMICA

La estabilización por medio químico se logra por la adición de agentes específicos de naturaleza orgánica o inorgánica, en cuya derivación de estos agentes se obtienen estabilizadores tipo ácido, neutro o alcalino. Los químicos de tipo ácido y alcalino atacan químicamente a los componentes del suelo, especialmente a las arcillas, produciéndose en la reacción nuevos compuestos de naturaleza cementante. Por otra parte los estabilizadores neutros alteran las propiedades físicas de los suelos como el peso volumétrico.

Entre los tipos de estabilización química tenemos:

- ***SUELO - CEMENTO***

Definición (Freddy A. Reyes PhD - Profesor Investigador en Pavimentos - Pontificia Universidad Javeriana)

El suelo-cemento es una mezcla íntima de suelo, convenientemente pulverizado, con determinadas porciones de agua y cemento que se compacta y cura para obtener mayor densidad. Cuando el cemento se hidrata la mezcla se transforma en un material duro, durable y rígido. Se le usa principalmente como base en los pavimentos de carreteras, calles y aeropuertos.

Tipos y características de suelos aptos para la estabilización con cemento

Teóricamente cualquier suelo se puede estabilizar con cemento excepto materiales con altos contenidos de sal y materia orgánica

En la práctica los suelos a ser estabilizados con cemento deben presentar las siguientes características:

- ✓ Granulometría de las partículas: aquí la principal limitación es que el tamaño máximo de la partícula debe ser de una tercera parte del espesor de la capa compactada, aproximadamente 8 cm como máximo.
- ✓ % máximo de material pasa Tamiz 200, debe ser cercano al 50%
- ✓ Límite líquido menor o igual al 50%
- ✓ Índice plástico menor al 25%
- ✓ Evitar suelos muy compresibles y muy plásticos
- ✓ % máximo retenido en el tamiz N°.4 del 45%
- ✓ Tamaño máximo del agregado, 3"
- ✓ Contenido de arcilla menor o igual al 15% preferiblemente.

- ✓ El total de limos y arcillas varíe entre 20 y 45%
- ✓ Se prefiere un alto contenido de arena, entre el 55 y 80%

Ventajas y desventajas que proporciona el cemento

Ventajas

- ✓ Una de las mayores ventajas de la estabilización con cemento es la facilidad para mejorar los suelos utilizando el material en banco existente, ya que cuando éste no sirve simplemente es necesario cambiarlo o simplemente buscar mejoramientos sobre el mismo que resultan costosos.
- ✓ La alta densificación que alcanza una base en suelo-cemento permite que la presión de las llantas se transmitan mejor.
- ✓ Debido a la alta resistencia de la base estabilizada con cemento, los espesores de pavimento son menores que los obtenidos al emplear una base granular, convencional.
- ✓ Es capaz de soportar climas en condiciones extremas.
- ✓ Hoy se utilizan equipos de altísimo rendimiento que permiten elaborar los procesos constructivos de manera más rápida y económica.
- ✓ Con el tiempo gana resistencia y esto favorece su conservación y vida útil.

Desventajas

- ✓ Aumento de costo por la adición del cemento al suelo.
- ✓ El cuidado en el proceso constructivo para evitar el fraguado anticipado cuando se mezcla el suelo con el cemento y el agua.
- ✓ La exigencia en cuanto a calidad en el proceso constructivo es mayor que en el método convencional.
- ✓ El aumento en las actividades constructivas, respecto al método convencional.
- ✓ El control de emisión de finos al aplicar el cemento.

- ✓ Conseguir la liga entre capas es más difícil.
- ✓ Produce mayor agrietamiento en los pavimentos de no tener claridad sobre la proporción en el diseño y el proceso constructivo.

Propiedades de la mezcla Suelo – Cemento

Los efectos de la estabilización con cemento son los siguientes:

- ✓ Aumento de la resistencia a la compresión simple y a la flexión.
- ✓ Aumento del módulo elástico y dinámico.
- ✓ Aumento del índice CBR.
- ✓ Disminución de la plasticidad.
- ✓ Disminución de la permeabilidad.
- ✓ Aumento de la cohesión y del ángulo de rozamiento interno.

- ***SUELO - ASFALTO***

Definición (Ing. Msc. Oscar Reyes Ortiz – Ingeniero Civil de la Universidad de Los Andes)

La estabilización con asfalto es una mezcla en la cual se adiciona un producto bituminoso que puede ser asfalto líquido, asfalto cortado o emulsiones asfálticas. Especialmente recomendado para suelos de baja plasticidad, donde se realiza la impermeabilización del suelo al recubrir sus partículas con una película de asfalto.

Tipos y características de suelos aptos para la estabilización con asfalto

- ✓ **Granulometría:** Según el sistema S.U.C.S. las partículas que pasan la malla A.S.T.M. N° 200 son clasificados como limos y arcillas. Los tipos de suelos requeridos deben tener un contenido de 55% a 75% de arena (retenidas en la N° 200) y de 25% a 45% de materiales finos (limos más arcillas).

La proporción ideal de arcilla sería el 15%, según la “Clasificación Internacional” arena (2 a 0.02 mm.), limo (0.02 a 0.002 mm.), arcilla (0.002 a 0.0002 mm.)

- ✓ **Contenido de Sales Solubles en agua:** El máximo porcentaje permisible sería el 0.2%.

Ventajas y desventajas que proporciona el asfalto

Ventajas

- ✓ Dado que las emulsiones asfálticas se manejan a temperatura ambiente, no requieren calentamiento para su manipulación para su empleo en obra disminuyendo así los riesgos de quemaduras en los operarios.
- ✓ Como el agua es el medio dispersante, las emulsiones no son inflamables ni emanan gases de hidrocarburo hacia la atmósfera.

Desventajas

- ✓ El impacto ambiental que produce la utilización de asfalto evidenciado en la poca fertilidad que tiene la zona donde se trabaja con dicho material.
- ✓ La concentración y la materia orgánica perjudican la adherencia de suelo y asfalto.
- ✓ Los elevados costos representados en el transporte y el precio del material.

Propiedades de la mezcla Suelo – Asfalto

- ✓ Generalmente el asfalto al ser utilizado en suelos granulares mejora su resistencia, funcionando como un ligante que recubre y aglomera las partículas del suelo.
- ✓ Mejora sustancialmente la permeabilidad del suelo.

Entre algunos tipos de estabilizado con asfalto se tiene:

Imprimaciones reforzadas

Esta solución es la más antigua de recubrimiento de estructuras granulares, es una imprimación convencional sobre una superficie de material granular, seguida de un riego de ligante y posterior aplicación de una capa de arena uniformemente distribuida. Los objetivos y beneficios son similares a las anteriores soluciones, diferenciándose en la estructura de la capa. (Imprimación, riego asfáltico y sellado de arena).

Sellos (Sellos de agregados)

El ítem sellos se refiere a las soluciones tradicionales de tratamientos superficiales simples (T.S.S.), también incluye los tratamientos superficiales dobles (T.S.D.) con saneamiento sin mejoramiento geométrico, no obedeciendo a un proyecto acabado de ingeniería. Ambas tipos de tratamientos combinan la aplicación de emulsiones asfálticas con cobertura de agregado granulares.

- ***SUELO - CAL***

Definición (Freddy A. Reyes PhD - Profesos Investigador en Pavimentos - Pontificia Universidad Javeriana)

Mezcla íntima de suelo, cal y agua que compactada a una humedad óptima y densidad máxima produce debido a la hidratación de la cal, un material durable y con la resistencia mecánica apropiada para la construcción de capas de pavimentos.

Tipos y características de suelos aptos para la estabilización con cal

La cal generalmente se utiliza para la estabilización de suelos arcillosos muy plásticos, generalmente arcillosos los cuales deben cumplir en la práctica las siguientes especificaciones:

- ✓ Para una correcta estabilización el suelo no debe contener materia orgánica, sulfatos, sulfuros, fosfatos, nitratos, cloruros u otros compuestos químicos en cantidades perjudiciales. En especial se limita:
 - Contenido en materia orgánica < 2%
 - Contenido en sulfatos solubles < 1%
- ✓ El índice de plasticidad del suelo a ser estabilizado debe ser mayor o igual a doce ($IP \geq 12$)

Ventajas y desventajas que proporciona la cal

Ventajas

- ✓ Posibilidad de reutilización de los suelos disponibles en la traza, disminuyendo la necesidad de préstamos y vertederos. Este aspecto, además de disminuir las afecciones medioambientales, disminuye los costos del movimiento de tierras, incidiendo especialmente en el transporte de materiales y en el tiempo de ejecución.
- ✓ La reducción del plazo de ejecución viene determinada también por la rapidez de las reacciones suelo-cal y el efecto secante producido. El Índice de Plasticidad disminuye notablemente y el suelo se vuelve más friable, aumentando inmediatamente su trabajabilidad. Además, el empleo de cal viva ayuda a secar rápidamente los suelos húmedos, facilitando su compactación.
- ✓ El empleo de cal incrementa la capacidad portante de los suelos aumentando su índice C.B.R. También aumenta las resistencias a tracción y a flexión. Por

lo tanto, la mejora producida en las capas y explanadas estabilizadas permite reducir espesores y las posibilidades de fallo durante su vida útil.

- ✓ Otra ventaja muy importante de la estabilización con cal frente al empleo de otros conglomerantes, es que no presenta un fraguado rápido, lo cual permite una gran flexibilidad en la organización de las distintas fases de ejecución: mezcla, extendido, compactación, etc.

Desventajas

- ✓ La cal solamente es aplicable a suelos con un alto índice de plasticidad, es decir a suelos arcillosos, no pudiéndose utilizar en suelos granulares.

Propiedades de la mezcla Suelo – Cal

- ✓ Reducción de la humedad natural del suelo.
- ✓ Modificación de la granulometría.
- ✓ Aumento de la permeabilidad.
- ✓ Mejor trabajabilidad.
- ✓ Reducción del índice de plasticidad.
- ✓ Reducción del potencial de cambios volumétricos.
- ✓ Modificación de las características de compactación.
- ✓ Aumento inmediato de la consistencia.
- ✓ Mayor resistencia a medio y largo plazo.

• *SUELO - SAL*

Definición (Profesor Ing. Alejandro Salazar - Universidad del Valle Meléndez)

Las mezclas de suelo – sal son aquellas que resultan de la mezcla de suelo con sal diluida en agua, estas sales pueden ser de tipos distintos.

Generalmente las sales que más comúnmente se utilizan para la estabilización de suelos son:

- ✓ Cloruro de Sodio
- ✓ Cloruro de calcio
- ✓ Cloruro de magnesio

Propiedades de la mezcla Suelo – Sal

Las sales producen en los firmes un aumento en la densidad seca, mayor resistencia a la abrasión producida por el tráfico vehicular, reducción del efecto de las heladas y minimiza el levantamiento de polvo.

1.2. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON BISCHOFITA (CLORURO DE MAGNESIO HEXAHIDRATADO)

1.2.1. Concepto de Bischofita (Escuela de Ingeniería-Pontificia Universidad Católica de Chile)

El Cloruro de Magnesio Hexahidratado es una sal cuya fórmula química es $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, y tiene la forma de cristales de color blanco. También recibe el nombre químico de Bischofita. Es una sal de magnesio obtenida de sales 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.

La Bischofita o Cloruro de Magnesio, es un compuesto químico natural que facilita la captación y retención de agua en zonas semidesérticas, cuya composición química es la presentada en la siguiente tabla 1:

Tabla 1. Composición Química de la Bischofita

Componentes Principales	
Cloro	29,0-32,8 %
Magnesio	10,0-12,8 %
Agua	50,0-55,0 %
Componentes Menores	
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



Gráfico N°1 Muestra de Bischofita (Cloruro de Magnesio Hexahidratado)

1.2.2. Producción y proceso de obtención de la Bischofita

El principal lugar de producción a nivel continental es el Salar de Atacama (Gráfico 2), ubicado en la II región de Chile. Las empresas que realizan la explotación de este salar (Sociedad Química y Minera de Chile SQM y Sociedad Chilena de Litio SCL) extraen desde el subsuelo del mismo una salmuera muy rica en diversos componentes minerales, que es depositada en piscinas de evaporación en las cuales van cristalizando sucesivamente diversos subproductos a medida que el agua se evapora por acción solar, tal como se indica en el gráfico 3.



Gráfico N° 2 Salar de Atacama

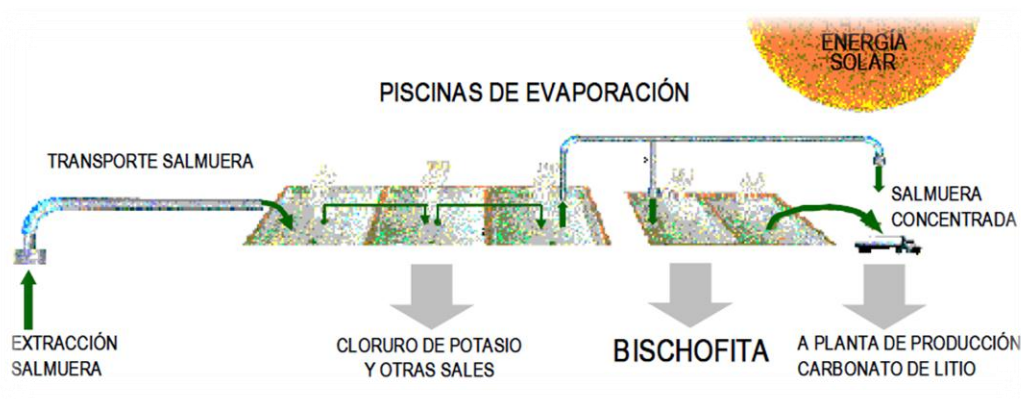


Gráfico N° 3 Proceso de obtención de la Bischofita

1.2.3. Propiedades de la Bischofita

Los componentes de la Bischofita hacen que este producto presente propiedades y cualidades únicas a diferencia de otros estabilizadores químicos, además es 100% natural. A continuación se describen sus propiedades más importantes:

Higroscopicidad y deliquesencia: Es una sustancia higroscópica, es decir tiene la capacidad de absorber y retener la humedad de la atmósfera o suelo circundante. Capta humedad del medio ambiente a partir de humedades relativas superiores al 32%. Además, es deliquescente, esto quiere decir que al absorber la humedad del medio ambiente se disuelve en esta humedad formando una solución líquida. Es un compuesto altamente higroscópico obtenido como subproducto de la elaboración de litio. La dosis de aplicación para estabilizados va entre 3% a 5% (aproximadamente 60 a 100 ton/km) dependiendo del IP del material granular, pudiendo ser aplicado en carpetas sin plasticidad. El producto es altamente soluble en agua pudiendo disolver hasta 1,5 kilos por litro de agua, por lo que es recomendada su aplicación como riego. Para controles de polvo superficiales se emplea una dosis de 3 kg/m².

Presión de vapor menor a la del agua: La presión de vapor de soluciones saturadas con Bischofita es considerablemente menor a la del agua. Esto significa que la tasa de evaporación del agua de soluciones con Bischofita es menor que para el agua pura.

Tensión superficial mayor a la del agua: Esto es importante en los suelos, porque la película de agua que rodea los granos es como un puente elástico que unen las partículas adyacentes, por lo tanto, las sales incrementan la resistencia de esta unión, haciendo que sea más difícil la separación de los granos.

Temperatura de congelamiento inferior a la del agua: Esta propiedad permite que se utilice en calles y carreteras como anticongelante y para derretir el hielo.

1.2.4. Campo de aplicación de la Bischofita

La Bischofita es utilizada fundamentalmente en caminos no pavimentados o ripiados conocida como RoadMag que es su nombre comercial, se utiliza bajo dos formas de aplicación diferentes:

Como **tratamiento supresor de polvo**: El camino enripiado debe ser previamente preparado, humedecido y compactado, y estar libre de deterioro en superficie, con un bombeo transversal de entre 3.5% y 4% para permitir el escurrimiento transversal del agua de lluvia. De preferencia, el material deberá contener una proporción de material fino en el orden del 10 al 25% para asegurar cohesión (en tal sentido, mejor si son finos plásticos), y al menos un 20% de material granular con tamaño superior a 10 mm para asegurar un mínimo de estabilidad estructural. Sobre esta capa se aplica una serie de riegos de salmuera de cloro de magnesio, cuya disolución debe ser homogénea y estar en proporción 1.5 a 1 con el agua (en peso), con lo cual la salmuera tendrá una densidad de 1.25 tn/m³. Se recomienda aplicar unos 4lt/m² de riego sobre el camino, pudiendo variar la dosis en función de la geometría del camino, tránsito futuro, o también de la proporción de finos plásticos.

De esta manera, se consigue una costra superficial durable que reduce casi por completo la dispersión de polvo causada por el tránsito vehicular, mejorando sensiblemente las condiciones ambientales en la zona aledaña. En las siguientes figuras se muestra la serie de actividades que componen la aplicación del tratamiento supresor de polvo en un camino minero: traslado del producto a la obra, preparación de la solución a tratar, riego del producto a la obra, preparación de la solución, preparación del camino a tratar, riego del producto y compactación final del camino ya tratado.

Como **estabilizador superficial**: En este caso, se debe mezclar la parte superior de la capa de ripio con el producto diluido en agua, en un espesor variable entre 7 y 15 cm de acuerdo al diseño efectuado, y en este caso el ripio debería cumplir con ciertas

condiciones en cuanto a su granulometría y capacidad portante, según las especificaciones técnicas elaboradas a tal efecto.

Las dosis de Bischofita a aplicar, en una proporción de entre 3 y 5% en peso de suelo seco, depende del grado de plasticidad en el material a tratar (a mayor IP, menor cantidad requerida de Bischofita). El material debe ser trabajado con maquinaria y mezclado en forma homogénea, y se lo debe humectar hasta alcanzar su humedad óptima considerando el aporte de la salmuera de Cloruro de Magnesio, y descontando la humedad natural del ripio. Posteriormente, el material ya humectado debe ser apropiadamente distribuido y compactado con rodillo liso vibratorio.

Mediante este procedimiento se consigue estabilizar la superficie del camino. Este procedimiento es empleado en la actualidad especialmente en caminos de acceso a zonas mineras, que tienen tránsito de camiones sumamente cargados, donde se requiere una superficie de rodamiento suficientemente resistente, pero más económica que un pavimento convencional.



Gráfico N°. 4-5 Bischofita para riego superficial y tanque de mezclado



Gráfico N° 6-7 Mezclado de la Bischofita con agua



Gráfico N° 8 Preparación del camino para posterior riego



Gráfico N° 9-10 Riego de la salmuera y compactado del camino

1.2.5. Comportamiento de los suelos estabilizados con Bischofita

La Bischofita cumple un papel muy importante, en la estabilización de suelos, debido a que cuando se mezcla con suelos se producen mejoras en:

Estabilidad Volumétrica: Controla la expansión y contracción de muchos suelos, evitando originar presiones las cuales pueden ocasionar graves deformaciones.

Resistencia: El incremento de la resistencia se da a medida que transcurre el tiempo.

Permeabilidad: Mejora las características permeables, debido a que une las partículas y evita el flujo de agua.

Compresibilidad: Modifica la permeabilidad, altera las fuerzas existentes entre las partículas tanto en magnitud como en sentido, lo que tiene una importancia decisiva en la modificación de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante.

Durabilidad: Brinda resistencia al intemperismo, a la erosión o a la abrasión del tráfico, de esta manera los problemas de durabilidad en las vías terrestres son menores.



Gráfico N° 11 Carretera Chilena tratada con Bischofita

1.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS QUE PROPORCIONA LA BISCHOFITA

1.3.1. Ventajas

Entre las ventajas que presenta la Bischofita tenemos:

- Logra mejorar la cohesión en suelos granulares, funcionando como ligante entre sus partículas y mejorando ciertas propiedades, como ser la resistencia a la abrasión por el tráfico, disminuyendo incomodidades en los usuarios así como también los tiempos de viaje, reduciendo los baches producidos por los neumáticos de los vehículos.

Todo esto hace posible que suelos estabilizados con Bischofita puedan ser usados como carpeta de rodado en caminos no pavimentados.

- Los caminos que son estabilizados con este producto generalmente son más duraderos y requieren de menos mantenimiento que los caminos comunes sin estabilizar, disminuyendo así costos de maquinaria y personal.
- La Bischofita también puede aplicarse como riego supresor de polvo disminuyendo considerablemente el polvo levantado por el tránsito de los vehículos, mejorando la visibilidad de los usuarios así como también disminuyendo la contaminación provocada por estas partículas en suspensión.

1.3.2. Desventajas

- En algunas ocasiones se debe tener cuidado en la aplicación de este producto ya sea como riego supresor de polvo o como estabilizante, especialmente cuando es utilizado en cercanías de cursos de agua y cultivos aledaños a la zona del proyecto, ya que podría ocasionar serios problemas ambientales de contaminación.
- Los caminos tratados con Bischofita adquieren parecido con los caminos pavimentados por lo que se debe tener cuidado, ya que en algunas ocasiones

los usuarios sobrepasan las velocidades permisibles pudiendo provocar accidentes de tráfico.

1.4. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES COMPONENTES PARA UNA ESTABILIZACIÓN CON BISCHOFITA

La estabilización con Bischofita, es un medio económico de robustecer y proporcionar condiciones de estabilidad a las carpetas de camino. Esta adición controlada de Bischofita, arcilla y material granular, mezclados correctamente y compactados, logra una mayor capacidad de soporte, durabilidad, lisura, que la que se logra con carpetas estabilizadas comunes sin tratamientos.

1.4.1. Agregados

La arena, grava o materiales chancados deben estar constituidos por partículas bien graduadas, libres de materia orgánica o de materiales extraños que impidan la acción mecánica o química de estabilización.

De acuerdo a bibliografía existente y de investigaciones realizadas en otros países se recomienda la siguiente granulometría para el suelo a ser estabilizado:

Tabla 2 Granulometría recomendada para la estabilización de suelos con Bischofita

<i>Tamiz</i>	<i>Porcentaje que pasa</i>
2"	100
1"	80-100
3/8"	50-100
Nº 4	35-85
Nº10	25-70
Nº40	15-45
Nº 200	8-25

Fuente: Escuela de Ingeniería-Pontificia Universidad católica de Chile

El límite líquido máximo recomendado es de 35%. El índice de plasticidad máximo de 15 para climas muy áridos y 6 para climas húmedos.

1.4.2. Bischofita

La Bischofita debe que sea utilizada para estabilizar suelos debe ser aplicada en forma de salmuera, la dosis de Bischofita depende de las propiedades plásticas y contenido de finos del suelo. De acuerdo a experiencias realizadas en otros países, la dosis óptima de Bischofita para la mayoría de los suelos estudiados debería ser 3 a 5 %, independiente del porcentaje de finos del suelo.

Los suelos más plásticos se mantienen mejor con dosis de Bischofita cercanas al 3%. En éstos se aprecia una tendencia a que con mayor cantidad de finos se requieren dosis más bajas de Bischofita. Este hecho es debido a que los suelos más plásticos poseen la cohesión necesaria para mantener la capa de rodado estable en climas áridos.

No existe una relación clara entre porcentaje de finos y dosis de Bischofita para suelos plásticos, por ello la tabla 3 muestra la dosis de Bischofita recomendadas solamente de acuerdo al índice de plasticidad del suelo en base a investigaciones realizadas en otros países.

Tabla 3 Dosificación de Bischofita en base al Índice de Plasticidad

<i>IP</i>	<i>Dosis de Bischofita (%)</i>
NP – 3	4 – 5
4 – 8	3 – 5
9 – 15	3 – 6

Fuente: Escuela de Ingeniería-Pontificia Universidad Católica de Chile

1.4.3. Cristalización de la Bischofita

Bajo condiciones de baja humedad relativa, generalmente en la tarde en climas áridos, se produce la cristalización del Cloruro de Magnesio en la fracción superior de la superficie de rodado, cementando las partículas finas. Esto forma una costra dura que resiste la acción abrasiva del tránsito, y, como consecuencia, se reduce la tasa de deterioro y mejora la calidad de rodadura.

1.4.4. Aglomeración de partículas finas

La adición de Bischofita al suelo permite la aglomeración de las partículas finas, mecanismo que difiere si se trata de suelos no plásticos o de alta plasticidad. En suelos no plásticos y de baja plasticidad, tales como limos y arenas finas, el mecanismo de aglomeración es consecuencia de la mayor tensión superficial de la solución salina que rodea las partículas. La película de agua que rodea las partículas finas del suelo es como un “puente elástico” que une partículas adyacentes, al agregar Bischofita al suelo mejora la resistencia de este puente elástico, ayudando a mantener unidas las partículas e incrementando la resistencia al corte.

En suelos de alta plasticidad con un alto contenido de arcillas, la adición de Bischofita produce la aglomeración de los minerales de arcilla debido al intercambio de iones. El intercambio de iones reduce la carga negativa del mineral de arcilla, y, por ende, el espesor de la película de agua absorbida y la repulsión entre partículas. La menor repulsión, junto a una mayor tensión superficial de la solución salina, tiene como consecuencia que las fuerzas de atracción entre las partículas se incrementen relativamente, causando su aglomeración.

1.5. USO DE LA BISCHOFITA COMO ESTABILIZADOR QUÍMICO

El uso de sales, como estabilizadores químicos de las carpetas viales, es una práctica que cada día cobra más fuerza en países vecinos. La Bischofita o Cloruro de magnesio Hexahidratado, entre otros, es uno de los Cloruros más usados no sólo en

caminos no pavimentados sino también en zonas mineras para disminuir el levantamiento de polvo, en países como Chile, Perú y la Argentina.

En nuestro país este producto aún no es muy conocido por lo que su uso es relativamente nulo, pero se hace necesario buscar nuevas formas de estabilizado que brinden mayores beneficios a costos más rebajados.

1.6. PROCESO DE ESTABILIZACIÓN CON BISCHOFITA

El proceso de construcción de una capa de rodadura utilizando Bischofita es muy similar al proceso tradicional de construcción de caminos de grava, difiere principalmente en que es necesario preparar la salmuera de Bischofita, y aplicar ésta en reemplazo del agua de compactación.

El proceso de construcción es el siguiente:

a) Escarificado

La reconstrucción de caminos existentes requiere un escarificado a una profundidad tal que permita a la hoja (motoniveladora) o revolvedor rotatorio trabajar completamente el material. Si se requiere material extra, será suministrado para obtener con el agregado total el espesor, granulometría y plasticidad especificada



Gráfico N° 12 Escarificación del camino a ser estabilizado

b) Preparación de la subrasante

Antes de colocar la carpeta de rodado estabilizada, la subrasante deberá estar libre de baches, agrietamientos, fallas y previamente humedecida.

c) Aplicación de la salmuera

Ésta debe efectuarse en forma uniforme en el ancho total del camino, la proporción exacta debe proporcionarse por el proyecto la cual generalmente oscila entre 3 y 5%. La Bischofita conviene agregarla tan pronto sea posible para aprovechar todas las revolturas del material, ya sea después del escarificado, sobre el cordón o directamente en las plantas de agregado según sea el caso.



Gráfico N° 13-14-15-16 Proceso de preparación de la solución de Bischofita



Gráfico N° 17-18 Aplicación de la salmuera de Bischofita

d) Mezcla y homogenización del material

Los materiales pueden ser mezclados “in situ” con una mezcladora rotatoria o con motoniveladora. La otra alternativa la constituye las plantas mezcladoras rotativas son muy eficaces para romper los terrones de arcilla, mezclando el fino con el agregado grueso. El mezclado con hoja (motoniveladora es, en general, más lento que el obtenido con las mezcladoras rotatorias, pero con un mínimo de 3 o 4 pasadas puede lograrse una adecuada mezcla. El amasado es otro buen método de mezclado. Para una buena revoltura es necesario que el material ruede sobre la hoja de la motoniveladora (si se usa este método), de modo de hacer más íntima la mezcla de los elementos (Bischofita, agua, arcilla y materiales gruesos). El amasado consiste en apretar un material contra otro con la hoja de la motoniveladora a fin de moler los terrones de arcilla y mezclar homogéneamente los materiales constituyentes. Durante el mezclado deberá agregarse agua para mantener la humedad óptima.

e) Extensión del material

Una vez realizada la mezcla del estabilizante y el suelo de realizarse la extensión del material sobre toda la plataforma.

f) Compactación

Mediante rodillo para obtener las densidades requeridas, desde los costados hacia adentro y hasta que todo el exceso de humedad desaparezca y la superficie tome una apariencia de vidriado. Para lograr la compactación es más efectivo un rodillo vibrador y con el fin de obtener una superficie mejor terminada se recomienda el empleo de rodillo neumático, en las últimas pasadas. El rodillo no debe ser pasado por el eje, sino siempre a ambos lados de él, para dejar claramente marcado el perfil transversal con el respectivo bombeo, de lo contrario se pueden producir deterioros por la acumulación de agua en el centro de la calzada.



Gráfico N° 19 Compactado del camino estabilizado

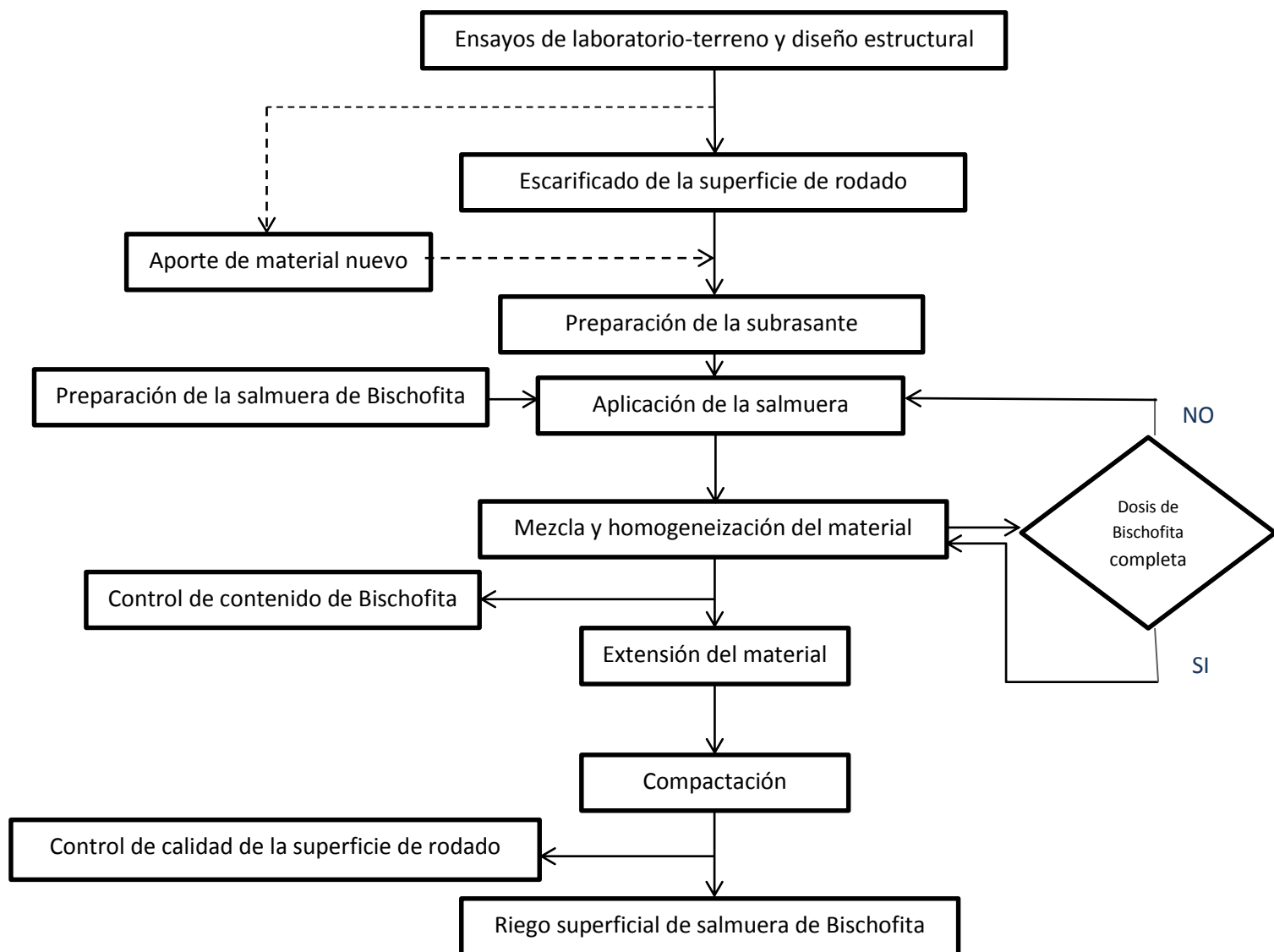
g) Riego superficial de salmuera de Bischofita

Experimentalmente se observó que la aplicación de un riego de salmuera de Bischofita sobre la superficie de la capa compactada, seguido de un ciclo de compactación con rodillo estático, mejora la textura superficial del camino (más cerrada y homogénea).



Gráfico N° 20 Riego superficial de salmuera de Bischofita

Gráfico N° 21 Diagrama del proceso constructivo para capas de rodadura estabilizada con Bischofita



Fuente: Escuela de Ingeniería-Pontificia Universidad Católica de Chile

1.7. CONSERVACIÓN DE CAMINOS ESTABILIZADOS CON BISCHOFITA

De acuerdo a investigaciones realizadas en países vecinos, se ha establecido que un camino estabilizado con Bischofita no necesita de mantenimiento por lo menos durante su primer año de uso.

Pero en todo camino la mantención es prioritaria para mantenerlo en óptimas condiciones de transitabilidad, una conservación periódica de él evitará que las deformaciones adquieran relevancia y gastos innecesarios a corto y largo plazo, más aun si consideramos que las reparaciones son sencillas y de fácil aplicación.

El mantenimiento del camino estabilizado dependerá del uso y condiciones climáticas al que se verá expuesto, la frecuencia vehicular, además del tipo de vehículo que circule por él, provocando a través del tiempo un deterioro de la carpeta, generándose bombeo deficiente, formación de baches, calamina, etc.

Existen tres tipos de reparaciones, que dependerán del uso del camino:

- a) Tipo bacheo, en la cual bastará con cuadrar la deformación, en todo el espesor comprometido, agregando material nuevo de borde del camino mezclado con sal, procediéndose a su compactación o dejando que los mismos vehículos terminen de compactar si no se dispone de algunos elementos para hacerlo.
- b) Reparación mayor, se procederá con este tipo de reparación cuando la superficie de rodado presente deformaciones importantes, la que se ejecutará, perfilando con motoniveladora, previo a mejorar en abundancia o después de una lluvia intensa, si es necesario, se puede pasar rodillo, siendo lo ideal uno neumático.
- c) Si el camino ha perdido sus características, es posible rehacerlo completamente, procediendo a escarificar, homogeneizar, y agregar Bischofita en las proporciones adecuadas si se ha agregado material nuevo.

2.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1.1. Ubicación geográfica del área de estudio

Las muestras de suelos a utilizarse para el estudio se las obtuvo de un banco de préstamo, ubicado por la comunidad de Turumayo y de tres caminos ripiados que se encuentran localizados en el departamento de Tarija provincia Cercado



Gráfico N° 22 Ubicación geográfica del departamento de Tarija en el Estado Plurinacional de Bolivia

La capital del departamento de Tarija, la Provincia Cercado desarrollada a orillas del Guadalquivir, "Río Grande", se encuentra emplazada en la parte central del departamento, la que mediante la red fundamental, conecta al departamento con el sector norte del país, mientras que por el sur mediante la carretera recientemente asfaltada a la población de Bermejo, permite al país establecer la conexión con la República Argentina, en tanto que por el este, la conexión con dos ciudades importantes del departamento como Yacuiba y Villamontes.



Gráfico N° 23 Ubicación de la provincia Cercado en el Dpto. de Tarija



Gráfico N° 24 Vista panorámica de la Provincia Cercado

2.1.2. Ubicación de bancos de préstamo y extracción de muestras

La primera muestra para el trabajo de investigación se la obtuvo de un banco de préstamo ubicado por la comunidad de Turumayo.



Gráfico N° 25-26 Banco de préstamo ubicado en la Comunidad de Turumayo



Gráfico N° 27 Toma de muestra para ensayos de laboratorio

La segunda muestra fue obtenida de la carpeta de rodado de un camino ripiado, que conecta las comunidades de Bella Vista y Los Pinos.



Gráfico N° 28 Camino ripiado tramo Bella Vista – Los Pinos

La tercera muestra fue obtenida de un camino ripiado ubicado por la comunidad de Sella.



Gráfico N° 29-30 caminos ripiados de la Comunidad de Sella



Gráfico N° 31 Toma de muestra para ensayos de laboratorio

La última muestra fue obtenida del tramo ripiado que une las comunidades de Junacas-Abra del Cóndor.



Gráfico N° 32-33 Tramo ripiado Junacas Abra del Cóndor



Gráfico N° 34 Toma de muestra para ensayos de laboratorio

2.2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.2.1. Bancos de préstamo

Dentro de la provincia Cercado existen diferentes bancos de préstamo para el ripiado de los caminos, de los cuales los materiales varían de un lugar a otro principalmente de agregados de canto redondeado como son los obtenidos de los ríos a agregados de canto angular que se conocen generalmente como piedra chancada obtenidas de los cerros.



*Gráfico N° 35 Banco de préstamo ubicado por la comunidad de Los Pinos
(Agregado de río)*



*Gráfico N° 36 Banco de préstamo ubicado por la comunidad de Turumayo
(Agregado de cerro)*

2.2.2. Caminos ripiados

Los caminos ripiados de la provincia Cercado generalmente están deteriorados debido a diversos factores como ser: el tráfico, el clima, falta de mantenimiento y calidad de los materiales entre otros, lo que provoca que estos caminos no lleguen a cumplir con su vida útil y generando incomodidades en los tiempos de viaje, gastos y reparaciones en vehículos, así como también gastos económicos invertidos para su reparación.

Un claro ejemplo son los caminos ripiados de los cuales se obtuvo las muestras para realizar el trabajo de investigación, ya que se pudo evidenciar mediante una inspección visual los diferentes tipos de fallas que presentan, siendo las que más le afectan los baches, producidos por la pérdida del material fino de la capa de rodadura debido a la evaporación de su humedad por el clima cálido de la zona, lo que consecuentemente produce la disgregación o deterioro del camino con el pasar del tráfico.

Otro problema relacionado a este deterioro de los caminos de la provincia es el excesivo levantamiento de polvo que se produce debido al paso de los vehículos, produciendo daños nocivos al medio ambiente



Gráfico N° 37-38 Deterioro y fallas de los caminos ripiados en nuestra provincia

2.3. INVESTIGACIÓN EN LABORATORIO

Esta parte de la investigación consiste en la realización de diferentes ensayos de laboratorio para evaluar el efecto de distintas dosis de Bischofita sobre ciertas propiedades físicas y mecánicas de los suelos, lo cual se realizará comparando los resultados obtenidos entre suelos tratados y no tratados con Bischofita.

La Bischofita será aplicada al suelo en forma de salmuera, y los contenidos de Bischofita utilizados en los ensayos serán de: 3, 5 y 7% del peso del suelo seco.

2.3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

2.3.1.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

Para determinar el tipo de agregado y las características físico-mecánicas de las muestras extraídas, es necesario realizar diferentes ensayos de laboratorio, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4 Ensayos a realizar para la caracterización de las muestras de suelo en estudio

<i>Propiedad analizada</i>	<i>Tipo de ensayo o prueba</i>	<i>Norma o especificación</i>
Granulometría	Método del Cribado	ASTM D1140-56
Plasticidad	Ensayo de Límite Líquido	ASTM D423-66
	Ensayo de Límite Plástico e IP	ASTM D424-59
Clasificación	—	Según el sistema AASHTO y Sistema Unificado
Compactación	Ensayo de Compactación T-180	ASTM D1557-70
Capacidad Portante	Ensayo de CBR (California Bearing Ratio)	ASTM D1883-73
Resistencia a la Compresión	Ensayo de Compresión no Confinada	ASTM D5102

La tabla anterior muestra cada propiedad a analizarse en los ensayos de laboratorio y en base a que norma se los realizará, todos serán realizados en el laboratorio de suelos con el que cuenta la universidad.

Estos ensayos nos servirán para clasificar las muestras de acuerdo al S.U.C.S. y la AASHTO, determinar la humedad óptima y la densidad máxima de cada una de ellas, su capacidad de soporte y por último su resistencia a la compresión simple.



Gráfico N° 39 Muestra de suelo obtenida del banco de préstamo de la comunidad de Turumayo



Gráfico N° 40 Muestra de suelo extraída de un camino ripiado ubicado por la Comunidad de Los Pinos



Gráfico N° 41 Muestra se suelo extraída de un camino ripiado ubicado por la Comunidad de Los Pinos



Gráfico N° 42 Muestra se suelo extraída de un camino ripiado ubicado por la Comunidad de Los Pinos

2.3.1.2. Granulometría

Dentro del análisis de los suelos, se encuentra el de la granulometría, que no es más que obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforma un suelo. Esto se realiza con ayuda de un juego de mallas, que tienen un tamaño graduado establecido por las normas A.S.T.M. y A.A.S.H.T.O. en donde se obtienen los pesos retenidos para luego realizar posteriores cálculos y la curva granulométrica. El factor fundamental de estos ensayos será el de obtener la curva granulométrica, de cada una de las muestras en estudio dibujadas en escala logarítmica.

Las muestras en estudio presentan los siguientes datos de granulometría:

Tabla 5 Resultados de la granulometría de las muestras

<i>Tamiz</i>	<i>Porcentaje que pasa</i>			
<i>ASTM</i>	<i>Suelo 1</i>	<i>Suelo 2</i>	<i>Suelo 3</i>	<i>Suelo 4</i>
3"	100	100	100	100
2"	100	100	100	94.00
1 1/2"	98	98.59	100	90.37
1"	95.98	97.09	100	87.36
3/4"	94.01	92.30	97.00	83.74
1/2"	90.87	82.19	90.98	80.30
3/8"	84.66	74.16	86.97	74.09
Nº 4	73.04	56.12	83.97	64.69
Nº 10	65.43	40.98	71.94	55.07
Nº 40	45.42	34.69	47.33	33.06
Nº 200	28.01	20.28	17.93	16.06

Fuente: Elaboración propia

Donde el *suelo 1* es la muestra obtenida del banco de préstamo de la comunidad de Turumayo, el *suelo 2* es la muestra obtenida del tramo ripiado Bella Vista – Los Pinos, el *suelo 3* es la muestra obtenida de un camino ripiado de la Comunidad de Sella y el *suelo 4* es la muestra obtenida del tramo ripiado Junacas- Abra del Cóndor

Las curvas granulométricas que presenta cada muestra son las siguientes:

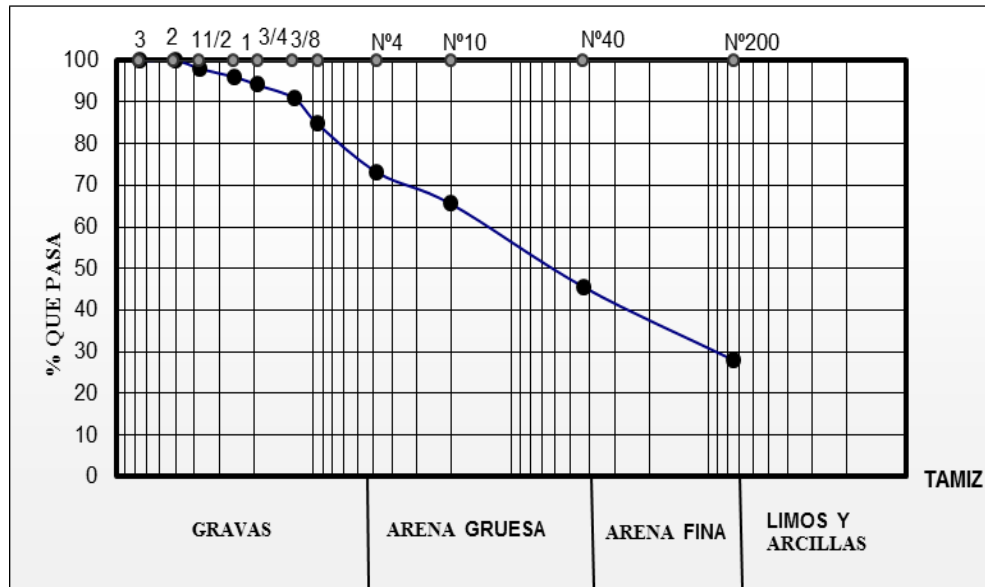


Gráfico N° 43 Curva granulométrica – Suelo 1

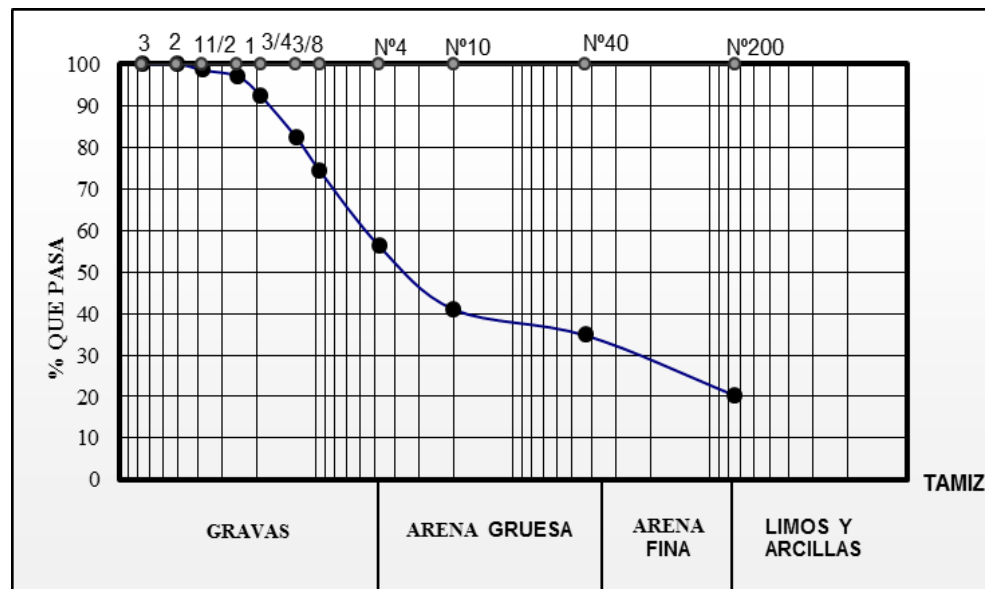


Gráfico N° 44 Curva granulométrica – Suelo 2

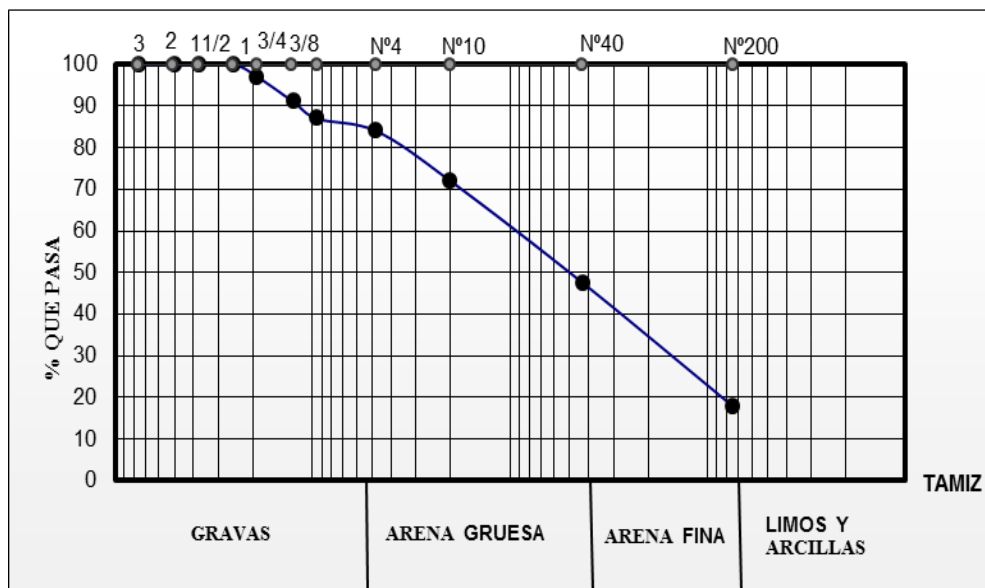


Gráfico N° 45 Curva granulométrica – Suelo 3

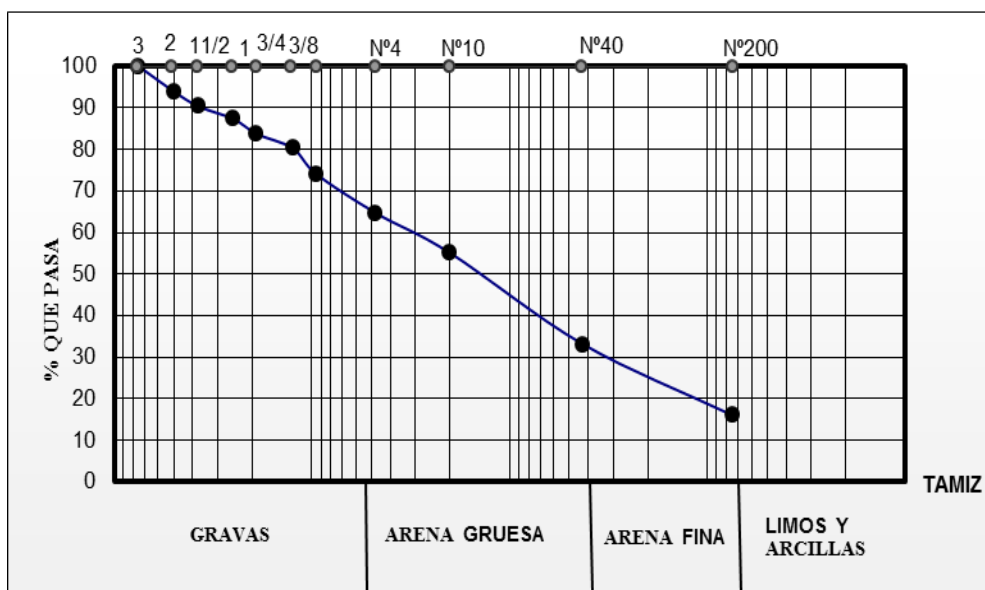


Gráfico N° 46 Curva granulométrica – Suelo 4

2.3.1.3.Límites de Atterberg

Los límites de consistencia de un suelo, están representados por contenidos de humedad. Los principales se conocen con los nombres de: límite líquido, límite plástico y límite de retracción.

Límite Líquido

“Límite líquido es el contenido de humedad que corresponde al límite arbitrario entre los estados de consistencia líquido y plástico de un suelo”.

El límite líquido se define por la humedad cuando con 25 golpes ligeros contra una placa de goma dura de una vasija especial, se cierra el surco de sección trapecial que se había abierto en la masa húmeda de suelo colocada en dicha vasija.

El límite líquido de un suelo da una idea de su resistencia al corte cuando tiene un determinado contenido de humedad. Un suelo cuyo contenido de humedad sea aproximadamente igual o mayor a su límite líquido, tendrá una resistencia al corte prácticamente nulo.

Los materiales granulares (arena, limo) tienen límites líquidos bajos (25% a 35% aproximadamente), y las arcillas, límites líquidos altos (mayores del 40%).

Límite Plástico

Por plasticidad se entiende la propiedad que tiene el suelo de deformarse sin romperse.

El límite plástico (Lp), es el contenido de humedad que tiene un suelo en el momento de pasar del estado plástico al semi-sólido.

Se ha convenido en que esta humedad sea la que permita amasar un suelo, a mano, en cilindros de 3 milímetros de diámetro, aproximadamente, sin que presente signo de ruptura.

El límite plástico se define por la humedad del suelo amasado cuando empieza a separarse y desmoronarse al enrollarse a mano para formar bastoncillos de 3 mm de diámetro.

El límite plástico, L_p está definido como el contenido de humedad que tiene un suelo, cuando empieza a resquebrajarse al amasarlo en cilindros de 3 mm de diámetro aproximadamente.

Las arenas no tienen plasticidad. Los limos la tienen, pero muy poca; en cambio, las arcillas, y sobre todo aquellas ricas en materia coloidal, son muy plásticas.

Se ha generalizado mucho el uso del índice de plasticidad (I_p), que no es sino el valor numérico de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, o sea:

$$I_p = L_l - L_p$$

Un índice de plasticidad elevado, indica mayor plasticidad. Cuando un material no tiene plasticidad (arena por ejemplo), se considera el índice de plasticidad como cero y se indica: $I_p = NP$ (no plástico).

Los resultados de laboratorio para este tipo de ensayo son los siguientes:

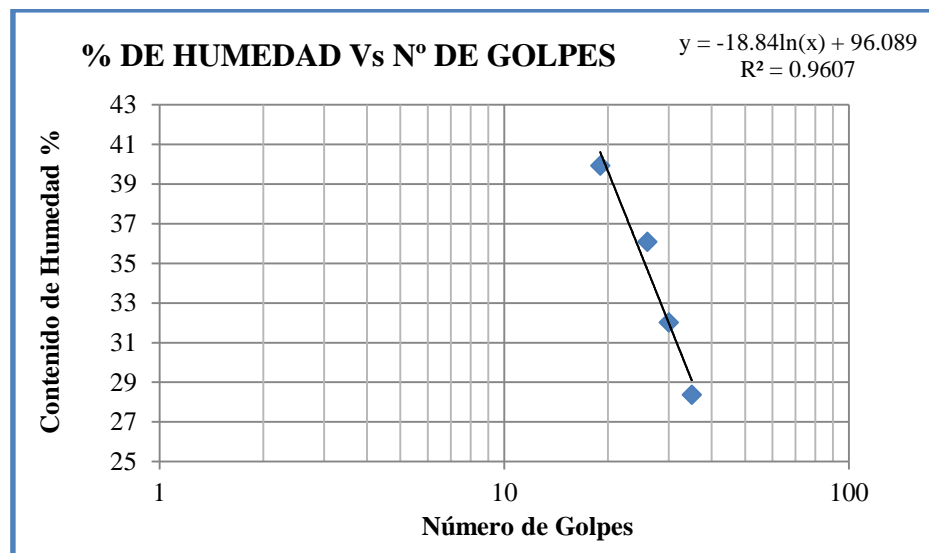


Gráfico N° 47 Contenido de humedad vs Número de golpes (Suelo 1)

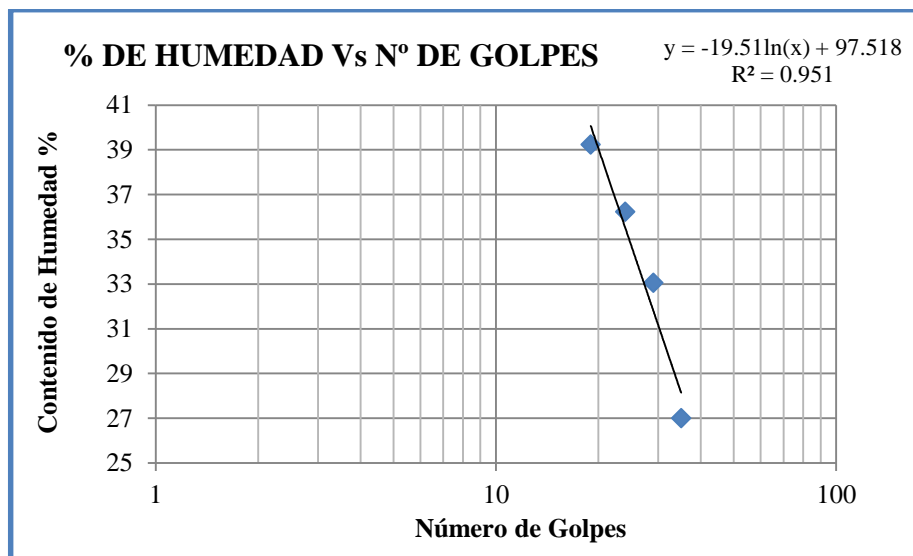


Gráfico N° 48 Contenido de humedad vs Número de golpes (Suelo 2)

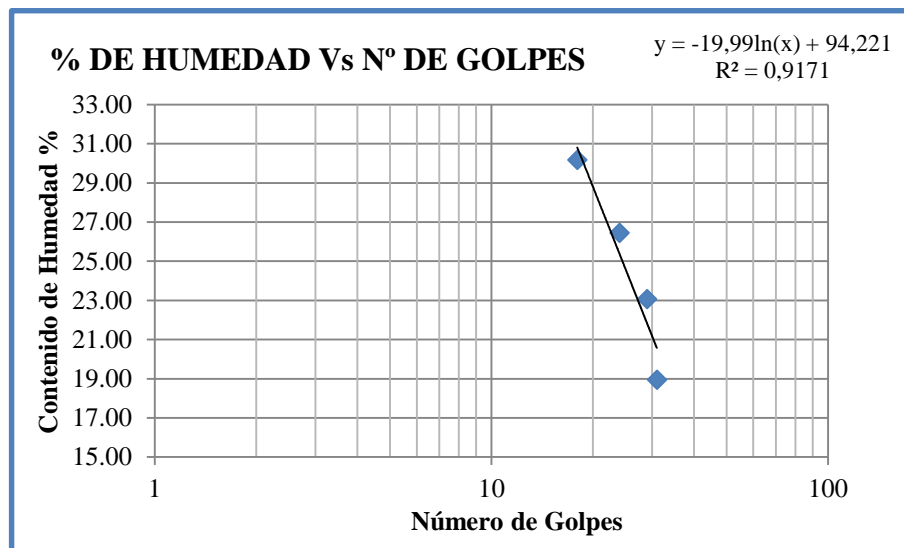


Gráfico N° 49 Contenido de humedad vs Número de golpes (Suelo 3)

La muestra de suelo 4 no presenta índice de plasticidad ya que se trata de un suelo que principalmente está compuesto por material granular (grava y arena)

Tabla 6 Resultados del ensayo de Límites de Atterberg

<i>Característica</i>	<i>Límite Líquido</i>	<i>Límite Plástico</i>	<i>Índice de plasticidad</i>
Suelo 1	35.45	24.09	11.36
Suelo 2	34.72	26.17	8.55
Suelo 3	29.88	20.93	8.94
Suelo 4	0	0	NP

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.4. Clasificación de suelos

Los sistemas de clasificación de suelos dividen a estos en grupos y subgrupos en base a propiedades ingenieriles comunes tales como la distribución granulométrica, el límite líquido y el límite plástico. Los dos sistemas principales de clasificación actualmente en uso son: el sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y el Unified Soil Classification System (también ASTM)

El sistema de clasificación AASHTO se usa principalmente para clasificación de las capas de carreteras.

La clasificación de todas las muestras se las realizó en base a los resultados de los ensayos de Granulometría y Límites de Atterberg

A continuación se presenta la clasificación de cada muestra de acuerdo a los dos sistemas de clasificación mencionados en párrafos anteriores y en base a los datos de granulometría obtenidos en el laboratorio:

Tabla 7-8 Clasificación y descripción de las muestras en estudio

<i>Clasificación</i>				
<i>Muestra</i>	<i>Suelo 1</i>	<i>Suelo 2</i>	<i>Suelo 3</i>	<i>Suelo 4</i>
<i>AASHTO</i>	A-2-6	A-2-4	A-2-4	A-1-b
<i>SUCS</i>	GC	GC	SC	GP

Fuente: Elaboración propia

<i>Descripción</i>
Grava, con mezcla de arena y considerable cantidad de finos (Suelo 1)
Grava con mezcla de arena y finos (Suelo 2)
Grava y Arena limo-arcillosa (Suelo 3)
Grava, con mezcla de arena y poca cantidad de finos (Suelo 4)

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.5. Compactación (T-180)

Los suelos están formados por partículas de tamaño y forma variada y que entre éstas existen espacios intergranulares llamados vacíos, que se hallan llenos de aire, agua o ambos a la vez. Cuando una masa de suelo se encuentra en estado suelto ocupa mayor volumen, porque tiene mayor número de vacíos. En cambio cuando comprimimos esta masa de tierra, se hace más compacta y observamos un decrecimiento de su volumen total, a causa de la disminución de volumen de vacíos. Esta operación de comprimir una masa de tierra se llama compactación. Es decir que al compactar una masa de suelo se obtienen las siguientes ventajas:

- Disminución de asentamientos futuros.
- Incremento de la resistencia al corte.
- Disminución de la permeabilidad.

A fin de que el material alcance al compactársele la mayor densidad posible, éste debe de tener una humedad adecuada en el momento de la compactación. Esta humedad se llama “*humedad óptima*” y la densidad obtenida se conoce con el nombre de “*densidad máxima*”.

Estos dos parámetros son obtenidos a través de la curva de compactación, la cual se obtiene mediante un ensayo de laboratorio, conocido como Próctor Modificado o T-180, esta curva se la puede formar relacionando las densidades obtenidas con variados contenidos de humedad.

A continuación podemos observar los resultados de los ensayos de compactación realizados en el laboratorio de la carrera para ambas muestras de suelo:

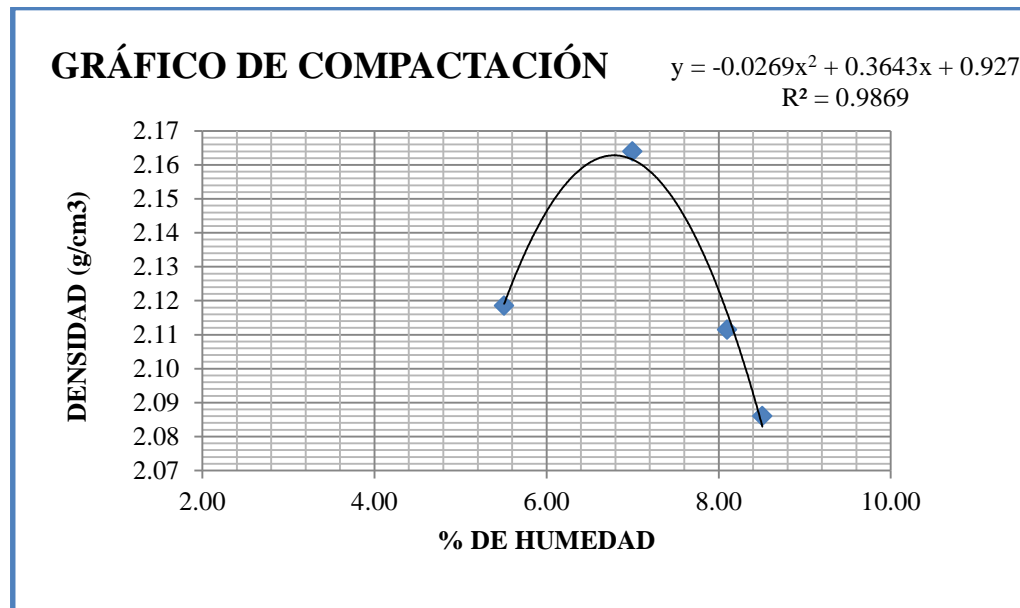


Gráfico N° 50 Curva de compactación - Suelo 1

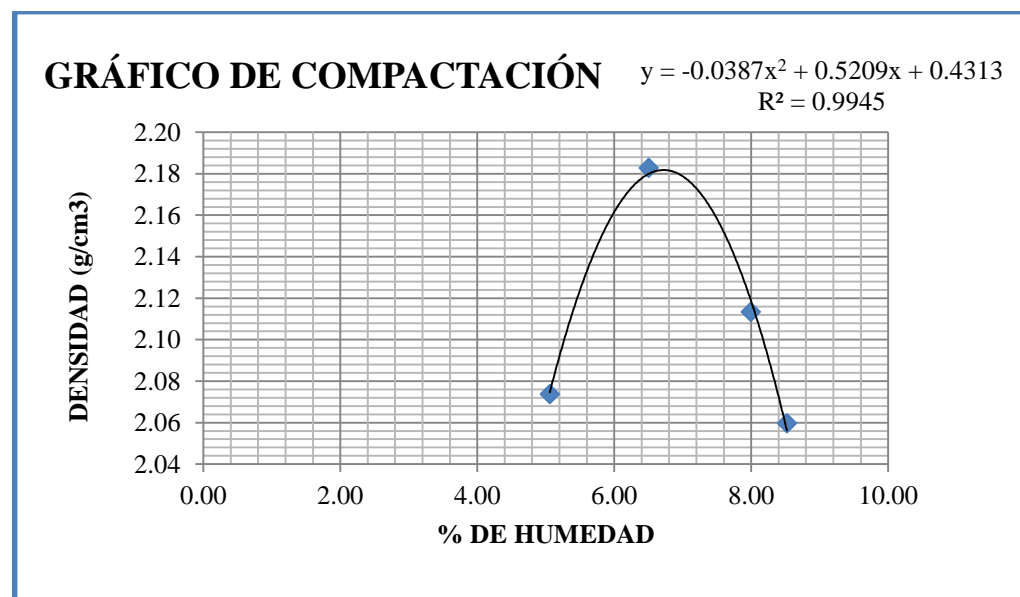


Gráfico N° 51 Curva de compactación – Suelo 2

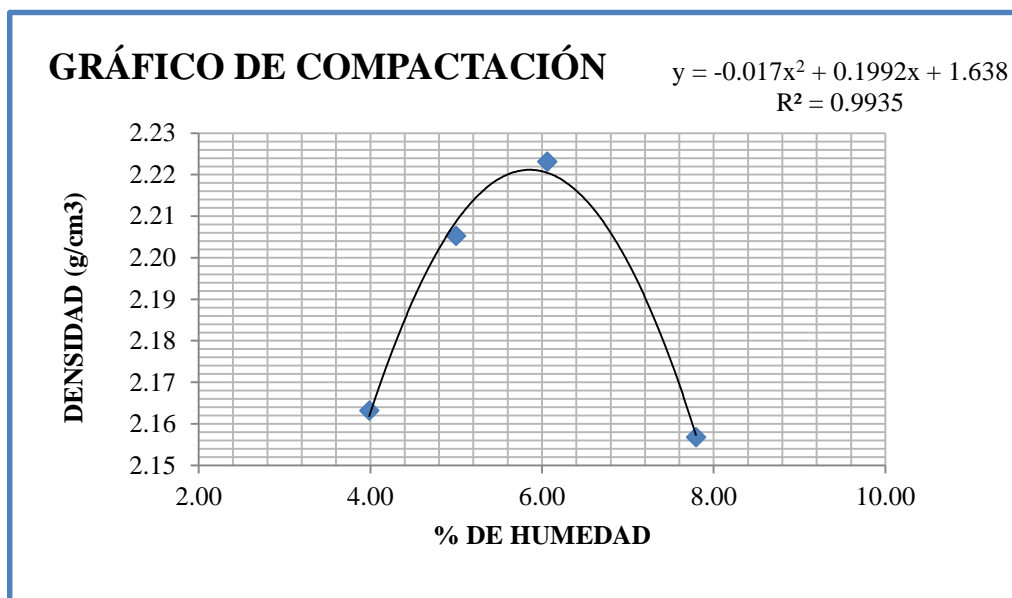


Gráfico N° 52 Curva de compactación – Suelo 3

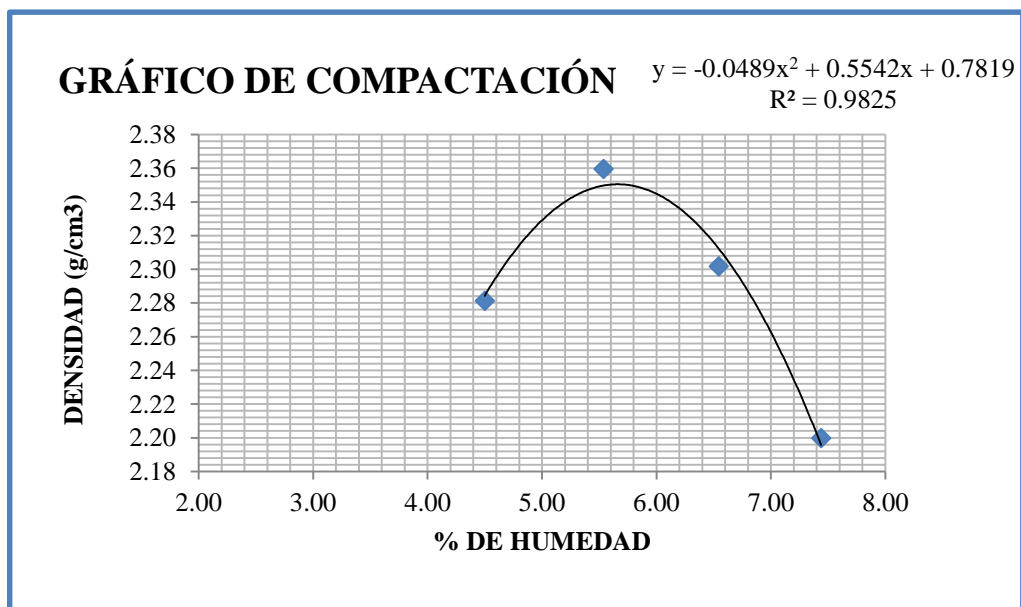


Gráfico N° 53 Curva de compactación – Suelo 4

De estas curvas se pueden obtener las densidades máximas y humedades óptimas de las muestras las cuales son las siguientes:

Tabla 9 Resultados de ensayo de Compactación

<i>Muestra</i>	<i>Suelo 1</i>	<i>Suelo 2</i>	<i>Suelo 3</i>	<i>Suelo 4</i>
<i>Densidad Máxima (gr/cm³)</i>	2.16	2.18	2.22	2.35
<i>Humedad Óptima (%)</i>	6.77	6.73	5.86	5.67

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.6. Capacidad de soporte (C.B.R.)

El ensayo CBR (la ASTM denomina el ensayo simplemente un ensayo de relación de soporte) mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, pero de la aseveración anterior es evidente que este número no es constante para un suelo dado sino que se aplica sólo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo. De paso, es interesante comentar que el experimento puede hacerse en el terreno o en un suelo compactado.

El número CBR (o simplemente, CBR) se obtiene como la relación de la carga unitaria (en libras por pulgada cuadrada) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado. En forma de ecuación esto es:

$$CBR = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patron}} * 100$$

De esta ecuación se puede ver que el número CBR es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica, el símbolo de porcentaje se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero, como 3, 45, 98.

Para determinar el CBR se toma como material de comparación la piedra triturada. Las resistencias a la penetración que presenta ésta son las siguientes:

<i>Para 0.1" pulgadas de penetración.....</i>	<i>1000 lb./pulg² ó 70 Kg./cm².</i>
<i>Para 0.2" pulgadas de penetración.....</i>	<i>1500 lb./pulg² ó 105 Kg./cm².</i>
<i>Para 0.3" pulgadas de penetración.....</i>	<i>1900 lb./pulg² ó 133 Kg./cm².</i>
<i>Para 0.4" pulgadas de penetración.....</i>	<i>2300 lb./pulg² ó 161 Kg./cm².</i>
<i>Para 0.5" pulgadas de penetración.....</i>	<i>2600 lb./pulg² ó 182 Kg./cm².</i>

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar (o modificada).

A menudo se compactan dos moldes de suelo, uno para penetración inmediata y otro para penetración después de dejado saturar por un período de 96 horas. El segundo espécimen es saturado durante 96 horas con una sobrecarga aproximadamente igual al peso del pavimento que se utilizará en el campo pero en ningún caso el peso de la sobrecarga será menor de 4.5 Kg. Es necesario durante este período tomar registros de expansión para instantes escogidos arbitrariamente y al final del período de saturación se hace la penetración para obtener el valor de CBR para el suelo en condición de saturación completa.

En ambos ensayos de penetración para determinar los valores de CBR se coloca una sobrecarga sobre la muestra de la misma magnitud de la que se utilizó durante el ensayo de expansión. El ensayo sobre la muestra saturada cumple dos propósitos:

1. Dar información sobre la expansión esperada en el suelo bajo la estructura de pavimento cuando el suelo se satura.
2. Dar indicación de la pérdida de resistencia debida a la saturación en el campo.

El ensayo de penetración se lleva a cabo en una máquina de compresión utilizando una tasa de deformación unitaria de 1.27 mm./min. Se toman lecturas de carga contra penetración a cada 0.5 mm. de penetración hasta llegar a un valor de 5.0 mm. a partir

del cual se toman lecturas con incrementos de 2.5 mm. hasta obtener una penetración total de 12.7 mm.

El valor de CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente con fines de utilización con base y sub-rasante bajo pavimentos de carreteras y aeropuertos. La tabla siguiente da calificaciones típicas.

Tabla 10 Calificaciones típicas para el uso de suelos en el diseño de caminos

No CBR	Clasificación General	Usos	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN	
			Unificado	AASHTO
0-3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	Pobre a regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A1, A5, A6, A7
7-20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20-50	Bueno	Base, sub-base	CM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2 4, A3, A2 6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2 1, A3

Fuente: Manual de laboratorio de la U.A.J.M.S.

Para ninguna de las muestras se realizó la sumersión en agua ya que éstas están conformadas principalmente por materiales granulares como ser gravas y arena con poca cantidad de material fino, por lo que a diferencia de las arcillas no sufrirá expansiones volumétricas considerables, una vez preparadas las tres probetas de 12, 25 y 56 golpes con su contenido de humedad óptimo y densidad máxima se procedió a la rotura de las mismas en la prensa hidráulica con la que cuenta el laboratorio.

A partir de todos los datos obtenidos durante la rotura de las probetas en el laboratorio, como resultado se obtienen las curvas que relacionan la Carga-Penetración y CBR- Peso Unitario, dichas curvas pueden observarse en las planillas de laboratorio que se encuentran en los anexos.

Los valores de CBR obtenidos para esta muestra de suelo 1 son los siguientes:

Tabla 11 Valores de CBR para las distintas muestras de suelo

Numero de C.B.R.	
Suelo 1	27
Suelo 2	30
Suelo 3	30
Suelo 4	49

Fuente: Elaboración propia

Estos valores difieren de una muestra a otra debido a que presentan diferentes granulometrías.

2.3.1.7. Compresión Simple

El objetivo fundamental de este ensayo es el de determinar la resistencia a la compresión que presentan los suelos en estudio, para lo cual se elaboraron en el laboratorio cinco moldes para cada tipo de suelo, los cuales fueron rotos en la prensa de CBR.

Obteniendo la media aritmética de las muestras ensayadas se tiene los siguientes resultados:

Tabla 12 Resultados de la resistencia a compresión de las muestras de suelo

Muestra	Resistencia a la compresión
Suelo 1	6.61 kg/cm ²
Suelo 2	7.00 kg/cm ²
Suelo 3	6.89 kg/ cm ²
Suelo 4	5.73 kg/ cm ²

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.8. CARACTERIZACIÓN DE LA BISCHOFITA

2.3.1.8.1. Características Físicas



Gráfico N° 54 Bischofita utilizada para el proceso de estabilización

A simple vista se puede observar que la Bischofita presenta forma de cristales de color blanco, durante los ensayos de laboratorio también se pudo confirmar que es altamente soluble en agua, ya que se diluye fácilmente en ésta y además se pudo evidenciar que es una sal altamente higroscópica ya que se observó que ésta puede absorber humedad del medio ambiente por si sola.

En la siguiente figura se puede observar como la Bischofita absorbió humedad del ambiente después de haberla dejado durante 6 horas al aire libre.



Gráfico N° 55 Humedecimiento de la Bischofita por exposición al medio ambiente

2.3.1.8.2. Composición Química

La Bischofita fue proporcionada por los laboratorios *LABIOQUIR* de la República Argentina y de acuerdo a las especificaciones enviadas, dicho producto presenta la siguiente composición química y las siguientes características:

Tabla 13 Composición y características de la Bischofita

Nombre químico	Cloruro de Magnesio Hexahidratado
Formula química	MgCl ₂ *6H ₂ O
Ingredientes mayores	
Cloro	29,0-32,8 %
Magnesio	10,0%-12,8%
Agua	50,0%-55,0%
Ingredientes menores	
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%
Sinónimos	Bischofita, Sal de Magnesio

Fuente: LABIOQUIR

2.4. DETERMINACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE LA BISCHOFITA

Todo el proceso de estabilización será realizado para dosificaciones de Bischofita del 3%, 5% y 7% en porcentaje de suelo seco a estabilizar, tanto para el ensayo de compactación como para los ensayos de CBR.

La determinación en peso de Bischofita para cada molde se la determinó mediante la siguiente relación:

Para el 3% de Bischofita:

$$6000 \text{ gr} \text{ --- } 100\%$$

$$x \text{ --- } 3\%$$

$$x = 180 \text{ gr Mg Cl}_2$$

Donde los 6000 gr equivalen al peso seco de la muestra total, necesaria para cada molde de ensayo y el 3% la dosificación de Bischofita para el ensayo, de la misma manera se determinaron las cantidades de Bischofita en peso para las dosificaciones de 5 y 7%.

2.5. PROCESO DE ESTABILIZACIÓN EN LABORATORIO

2.5.1. Compactación

El ensayo de compactación se lo realizó como se mencionó anteriormente para dosificaciones del 3%, 5% y 7% en porcentaje de suelo seco a estabilizar y el proceso de preparado y compactado fue el siguiente:

2.5.1.1. Preparación de la muestra

- ✓ Se preparó la muestra realizando una compensación de material entre los tamices de $\frac{3}{4}$ " y N°4; con el objetivo de extraer el material grueso y densificar más el material.
- ✓ De la muestra requerida ya pesada, se pasará por el tamiz $\frac{3}{4}$ ", de lo cual el material que pasa, se guardará para unir con el material compensado, de lo que se retiene sólo nos interesa su peso y no así su material.
- ✓ Se completará con otro montón del mismo material, pero haciendo pasar éste por las mallas $\frac{3}{4}$ " y N°4, interesándonos sólo el material que queda entre dichas mallas, este proceso se realiza hasta obtener el peso del material grueso pesado con anterioridad.



Gráfico N° 56 Preparación de la muestra para el ensayo de compactación

2.5.1.2.Procedimiento:

- ✓ Después de preparar el material el cual se encuentra en estado de humedad al 0%, para lo cual se lo dejó durante 24 horas en el horno, se lo debe dividir en cuatro partes iguales, depositar en fuentes o lavadores, ya que a cada uno se le incrementará agua salina en diferentes proporciones.
- ✓ Se deberá calcular la cantidad de Bischofita a agregar y diluirla en el agua de compactado para el posterior mezclado con la muestra de suelo.
- ✓ Es recomendable comenzar por un 2% de contenido de humedad y continuar con un 3%.4% y 6%, ya que al diluir la Bischofita en el agua produce un incremento en el volumen, aproximadamente casi al doble del agua inicial, por lo que realizar el ensayo con contenidos de humedad superiores al 6% produciría una masa de suelo muy húmeda, imposible de compactar.



Gráfico N° 57-58 Incremento en el volumen del agua de compactado debido a la Bischofita

- ✓ Se realizarán moldes de compactación, estructurados por cinco capas y 56 golpes por cada capa. También se debe tantear una división entre cinco partes iguales del material compactado en la altura del molde.
- ✓ El material con humedad se hecha por capas en el molde respectivo, y se compacta cada capa, con 56 golpes.



Gráfico N° 59 Proceso de compactado en el molde

- ✓ Seguidamente se procede a retirar el collarín, para luego enrasar el material con la regla metálica, si es que en este proceso se salen piedras que dejan huecos por debajo del nivel de collarín, entonces hay que tamizar con el N°10,

el material con la misma humedad para rellenar los huecos presionando con la regla metálica.



Gráfico N° 60 Molde una vez terminado el proceso de compactado

- ✓ Luego de enrasado, se pesa el molde más la muestra húmeda y más la base, registrando en la planilla de cálculos.



Gráfico N° 61 Pesaje del molde compactado

- ✓ Seguidamente, se debe extraer una muestra de suelo del centro del molde, para realizar el contenido de humedad real del suelo compactado.



Gráfico N° 62 Toma de muestra para determinar el contenido de humedad

- ✓ El procedimiento de compactado es el mismo para los diferentes moldes, sólo deberá incrementarse la cantidad de agua necesaria para cada uno de ellos en proporciones adecuadas.

2.5.1.3.Aspectos importantes a tomar en cuenta durante el proceso de compactación.

- ✓ En lo posible no se debe exponer a la Bischofita al medio ambiente ya que ésta es una sal muy higroscópica y comienza a absorber humedad rápidamente.
- ✓ La mejor forma de realizar la estabilización es diluyendo la Bischofita en el agua de compactado para así realizar una mezcla homogénea entre el material y el aditivo.
- ✓ Se debe tener en cuenta que al diluir la sal en el agua, se incrementa el volumen del líquido casi al doble del contenido inicial de agua.

2.5.1.4.Resultados de compactación para las muestras estabilizadas

Una vez realizados los ensayos de compactación para diferentes contenidos de Bischofita se obtienen las curvas que relacionan la densidad con la humedad, dichas curvas pueden observarse en los anexos del presente trabajo.

Las densidades máximas y humedades óptimas obtenidas a través de estas curvas, mediante la estabilización de las muestras con Bischofita son las siguientes:

Tabla 14 Densidades máximas y humedades óptimas para distintas dosis de Bischofita

<i>Dosificación</i>	<i>Densidad máxima (gr/cm³)</i>	<i>Humedad óptima (%)</i>
<i>Suelo 1</i>		
3%	2.23	4.04
5%	2.28	3.23
7%	2.27	2.77
<i>Suelo 2</i>		
3%	2.26	3.92
5%	2.30	3.15
7%	2.28	2.93
<i>Suelo 3</i>		
3%	2.28	3.93
5%	2.34	3.12
7%	2.33	2.90
<i>Suelo 4</i>		
3%	2.41	3.73
5%	2.46	3.53
7%	2.43	2.78

Fuente: Elaboración propia

2.5.2. Capacidad de Soporte (CBR)

El ensayo de capacidad de soporte se lo realizó como se mencionó anteriormente para dosificaciones del 3%, 5% y 7% en porcentaje de suelo seco a estabilizar y el proceso de preparado y compactado fue el siguiente:

2.5.2.1. Procedimiento

- ✓ Se debe realizar la compensación del material de la misma manera que se realizó para los ensayos de compactación, considerando que por cada molde de ensayo entrará 5 kilogramos de muestra.

- ✓ Se prepararan tres moldes, con la humedad óptima y densidad máxima obtenidas en los ensayos de compactación, cada molde estará conformado por cinco capas. El primer molde será de 12 golpes, el segundo de 25 golpes y por último el tercero de 56 golpes.
- ✓ Una vez preparado el material, se calculará, pesará la Bischofita y se la diluirá en el agua de compactado para luego realizar el mezclado con el suelo a tratar.

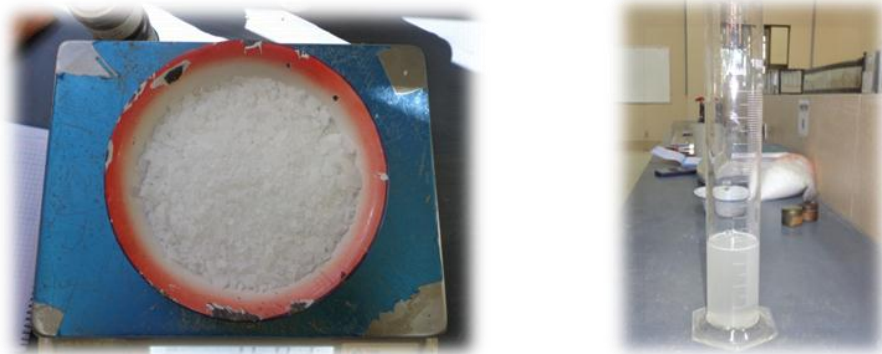


Gráfico N° 63-64 Bischofita pesada y diluida en el agua de compactado

- ✓ Luego se ensamblará el molde a la base, para luego introducir el disco espaciador y ajustar el collarín al equipo.
- ✓ Sobre el collarín se colocó un papel filtro para que no se pegue el material al disco y no existan pérdidas de material fino.
- ✓ Luego se debe introducir el material en cinco capas, en cada capa de acuerdo al molde que se realice en cada capa se debe aplicar una carga dinámica de 12, 25 ó 56 golpes.



Gráfico N° 65 Compactado de los moldes

- ✓ Luego se debe quitar el collarín para el respectivo enrasado, de tal manera que se nivele la cara del molde.
- ✓ Se afloja el molde metálico de sus soportes, se separa la base para quitar el disco espaciador, luego se volteará el mismo para volver a ajustar a su base con la cara enrasada hacia abajo.



Gráfico N° 66 Moldes una vez compactados

- ✓ Luego se debe pesar el molde con la muestra más la base, para así determinar la densidad y humedad ensayadas.
- ✓ Para las muestras de suelo 1 y 2 no se realizó la sumersión de las probetas en agua directamente se hizo correr la prensa sobre ellas, pero si se lo hizo para las muestras de suelo 3 y 4 para así determinar cuál es la influencia del agua sobre el suelo mezclado con el aditivo y así observar si se producen expansiones volumétricas y también si se produce un lavado de la sal.
- ✓ La expansión se la midió con el extensómetro del laboratorio lecturandose las probetas sumergidas en periodos de 24 horas durante cuatro días.

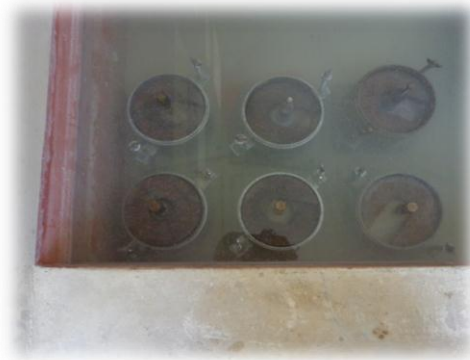


Gráfico 67-68 Preparación y sumersión de las probetas en agua

- ✓ Una vez las probetas sumergidas y medida la expansión, luego se debe instalar cada molde en la prensa y asentar el pistón de penetración sobre el espécimen.



Gráfico N° 69-70 Prensa utilizada para la rotura de los moldes

- ✓ Se inca el pistón y se leen las cargas totales necesarias en 0.025", 0.050", 0.075", 0.1", 0.2", 0.3", 0.4" y 0.5".
- ✓ Una vez que se hincó el 0.5" del pistón, se suelta la carga, se retira el molde de la prensa y se quitan las pesas, para pesar el mismo y registrar el dato.



Gráfico N° 71-72 Molde apisonado en la prensa y después de su rotura

- ✓ Seguidamente se extraen tres muestras, para el contenido de humedad, una del fondo, de la superficie y a 2'' de profundidad desde la superficie.



Gráfico N° 73 Toma de muestras para contenido de humedad

2.5.2.2. Resultados del ensayo de capacidad de soporte

Una vez realizado el ensayo se pueden obtener las gráficas que relacionan la penetración del pistón con la carga aplicada a cada uno de los moldes, así como también la relación CBR con el peso unitario para cada muestra de suelo.

Se realizaron los ensayos de CBR para cada dosificación de Bischofita, cada uno con moldes de 12, 25 y 56 golpes; los resultados que se observan a continuación son los obtenidos de los ensayos realizados y las curvas Carga-Penetración, CBR-Peso Unitario se pueden observar en los Anexos del presente trabajo.

Tabla 15 Valores de CBR para la muestra de Suelo 1

Muestra de Suelo 1	
Dosificación	Numero de CBR (%)
3%	28
5%	29
7%	28

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16 Valores de CBR para la muestra de Suelo 2

Muestra de Suelo 2	
Dosificación	Numero de CBR (%)
3%	32
5%	33
7%	31

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17 Valores de CBR para la muestra de Suelo 3

Muestra de Suelo 3	
Dosificación	Numero de CBR (%)
3%	31
5%	32
7%	30

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Valores de CBR para la muestra de Suelo 4

Muestra de Suelo 4	
Dosificación	Numero de CBR (%)
3%	50
5%	51
7%	50

Fuente: Elaboración propia

2.5.3. Compresión Simple

Se prepararon cinco moldes para cada dosificación de Bischofita de 3%, 5% y 7% para todas las muestras de suelo, el proceso de preparación y rotura de los moldes fue el siguiente:

2.5.3.1.Procedimiento

- ✓ Se deberá preparar la muestra de material (compensación de material) de la misma manera que se hizo para los ensayos de compactación y CBR.
- ✓ El material será compactado en un molde especial el cual puede abrirse para sacar los moldes, con su humedad óptima encontrada durante el ensayo de compactación.
- ✓ Se realizarán cinco moldes para cada dosificación de Bischofita.



Gráfico N° 74-75 Preparación de la muestra y molde de compactado

- ✓ Luego se pesará la cantidad de Bischofita necesaria para diluirla en el agua de compactado.
- ✓ Se prepararán los moldes con tres capas, cada una de ellas apisonadas con 56 golpes.



Gráfico N° 76 Compactado de los moldes

- ✓ Un vez terminado el compactado deberá retirarse el collarín para engrasar el molde, luego se procederá a retirar la muestra compactada del molde teniendo cuidado en no dañar el espécimen, ya que en algunas ocasiones el suelo se liga al molde por lo que antes de compactar este debe engrasarse.



Gráfico N° 77 Extracción de la muestra del molde de compactado

- ✓ Una vez retirado el molde deberá pesarse la muestra extraída para obtener la densidad húmeda.

- ✓ Luego se procede a la rotura de los moldes en la prensa de CBR, deberá leerse en el anillo la carga a la cual la probeta se fisura o rompe.



Gráfico N° 78-79 Rotura de las probetas de suelo en la prensa de CBR

- ✓ Una vez rotas las probetas se tomaran muestras del centro de cada molde para determinar el contenido de humedad.



Gráfico N° 80 Fisuración de los moldes debido a la carga aplicada por la prensa

2.5.3.2. Resultados obtenidos del ensayo de compresión simple

Los resultados obtenidos de la media de todas las probetas ensayadas y para cada dosificación de Bischofita son las siguientes:

Tabla 19 Resultados del ensayo de compresión simple

Muestra	Dosificación	Resistencia a la compresión
Suelo 1	3%	6.91 kg/cm ²
	5%	7.19 kg/cm ²
	7%	6.94 kg/cm ²
Suelo 2	3%	7.31 kg/cm ²
	5%	7.62 kg/cm ²
	7%	7.26 kg/cm ²
Suelo 3	3%	7.14 kg/cm ²
	5%	7.45 kg/cm ²
	7%	7.17 kg/cm ²
Suelo 4	3%	5.93 kg/cm ²
	5%	6.14 kg/cm ²
	7%	5.88 kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

Un análisis más detallado de los datos y resultados por probeta se pueden observar en las planillas que se encuentran en los anexos del presente trabajo.

2.5.4. Retención de Humedad

El ensayo de retención de humedad consistió en llevar un control del contenido de humedad de varias probetas preparadas de la misma manera que se las hizo para el ensayo de compresión simple, tomando el control de dicha humedad cada cinco días para poder verificar si es cierto o no que la Bischofita posee la capacidad de absorber humedad del medio ambiente.



Gráfico N° 81 Probetas preparadas para el ensayo de retención de humedad con y sin Bischofita

Con el transcurrir de las semanas se pudo evidenciar que los moldes que fueron preparados sin el aditivo fueron perdiendo progresivamente su humedad, mientras que los que fueron estabilizados con el aditivo se mantuvieron constantemente húmedos.



Gráfico N° 82 Probetas preparadas para el ensayo de retención de humedad con y sin Bischofita después de 8 días

Los resultados que se obtuvieron de este ensayo son los siguientes:

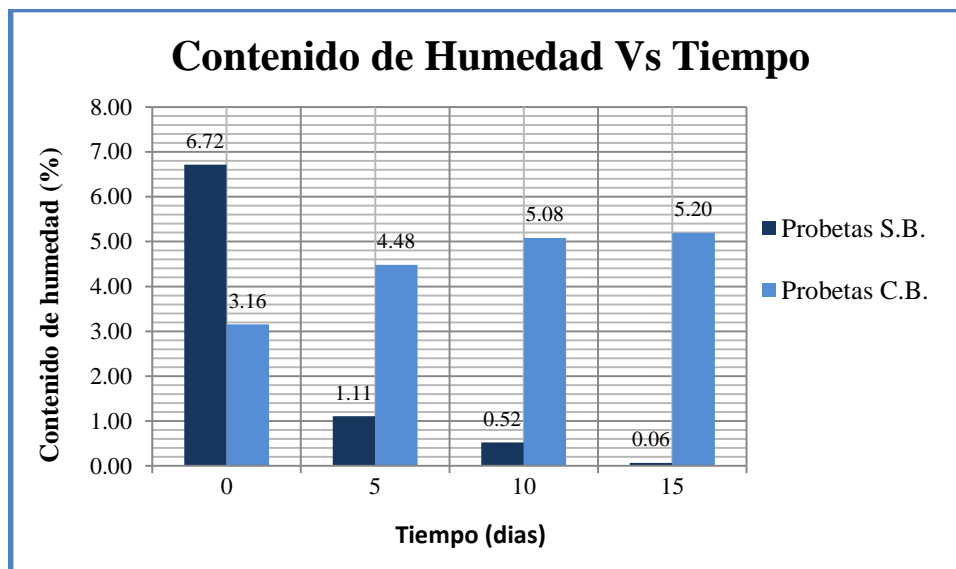


Gráfico N° 83 Resultados del ensayo de retención de humedad

2.6. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE LA MEZCLA SUELO-BISCHOFITA

Como se mencionó en el capítulo anterior, la Bischofita afecta principalmente a la parte fina del material ripioso, principalmente la arcilla ya que no provoca efectos o reacciones químicas de importancia sobre la parte gruesa del material, por este motivo para el presente análisis se utilizaron solamente la parte del material que pasa por el tamiz N° 40.

2.6.1. Composición química de las arcillas

Estas pueden ser del tipo orgánicas e inorgánicas, las arcillas o parte fina de nuestras muestras de suelo son del tipo inorgánicas ya que las orgánicas no son útiles desde el punto de vista de la ingeniería por la gran inestabilidad volumétrica que presentan.

Para efectos del presente análisis en base a información existente sobre la composición química de los suelos, se puede decir que la estructura química de las

arcillas inorgánicas está formada principalmente por ciertos compuestos químicos en porcentaje que en general los más importantes son:

Tabla N° 20 Principales componentes químicos de las arcillas orgánicas

<i>Formula Química</i>	<i>Nombre del compuesto</i>
SiO ₂	Anhídrido de Silicio
AlO ₃	Sesquióxido de Aluminio
Fe ₂ O ₃	Sesquióxido de Hierro
CaO	Monóxido de Calcio
MgO	Monóxido de Magnesio
SO ₃	Anhídrido Sulfúrico

Fuente: Arcillas naturales como medio floculante y de sedimentación en el tratamiento de aguas residuales – Ing. Myriam Barrero O.

2.6.2. Comportamiento de los suelos con y sin la aplicación de Bischofita

Debido a que los contenidos de Silicio, Aluminio, Hierro, Calcio, y Magnesio no varían en grandes proporciones de una muestra de arcilla a otra, nos permitirá realizar un análisis de comportamiento próximo.

2.6.2.1.pH de las muestras

Para poder evaluar el comportamiento de las muestras con la adición de la Bischofita es necesario medir su pH, mediante un Phi metro de campo se pudo determinar directamente este valor, para conocer principalmente si las mezclas se encuentran en un medio ácido, básico o neutro, los siguientes resultados son los obtenidos de dicha prueba:

Tabla N° 21 pH de las muestras de suelo

<i>Muestra</i>	<i>Sin Aditivo</i>			<i>Con Aditivo</i>			ΔpH
	<i>pH</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Medio</i>	<i>pH</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Medio</i>	
<i>Suelo 1</i>	6.89	28.10	Lev. Acido	5.94	35.20	Acido	0.95
<i>Suelo 2</i>	6.58	27.40	Acido	6.43	26.00	Acido	0.15
<i>Suelo 3</i>	6.33	35.70	Acido	6.20	37.00	Acido	0.13
<i>Suelo 4</i>	7.56	39.00	Alcalino	5.89	31.70	Acido	1.67

Fuente: Elaboración propia

El comportamiento de las muestras sin Bischofita claramente denota un pH levemente ácido casi neutro. El suelo con el aditivo Bischofita desplaza el equilibrio ácido base hacia un medio ligeramente más ácido, si se observa el primer y último valor, mientras más alcalina es la reacción, la variación del pH es más drástica y esto se debe a que el suelo tiene un mecanismo de neutralización que no responde en la misma medida a las alteraciones del pH en el medio próximo al neutro u alcalino (básico).

Los suelos tienen un comportamiento normal con tendencia a ser alcalinos mayores a 7. El comportamiento levemente ácido se podría deber a la presencia de Iones nitratos (NO_3^{1-}), fosfatos (PO_4^{3-}) ó sulfatos (SO_4^{2-}) que reaccionan con los hidrogeniones (H^+ o $(\text{H}_3\text{O})^{1+}$) disociados del agua aportándole cierto grado de acidez.

La Bischofita básicamente contiene Cloruro de Magnesio que es una sal que en solución forma por disociación Iones Cl^{1-} y Mg^{2+} , solución que producirá una capa envolvente delgada sobre la arcilla que tiene un comportamiento hidrófoba.

Al incorporarse la solución de Bischofita, se incorpora el cloruro de magnesio que tiene la particularidad de formar coloides por la presencia del cloruro (Cl^{1-}) que compite con la formación de un ácido fuerte como es el HCl, que por la concentración incorporada existente en el suelo neutraliza estos medios básicos y desplaza el equilibrio hacia un medio ácido, con un grado de variación mucho mayor (ver Muestra N°4 Tabla N° 21), lo cual demuestra que el poder aglutinante con formación de coloide se ve favorecido.

El catión magnesio presente en la solución Mg^{2+} , como catión de cambio está provocando que la concentración de los hidrogeniones aumente levemente, para el caso de nuestras arcillas cuyo pH es próximo a 7 en la zona acida, formando un mayor medio coloidal floculado por lo que su capacidad de hinchamiento será mucha más reducida.

2.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

2.7.1. Ensayos de laboratorio de las muestras sin aplicación de Bischofita

2.7.1.1. Granulometría

Al realizar el ensayo de granulometría se puede observar que la muestra de suelo 1 contiene material gravoso de cerro, de canto angular, con una mínima cantidad de arena y una proporción considerada de suelo fino (limos y arcillas) aproximadamente entre un 26 y 28%.

En las restantes muestras de suelo se puede observar que están compuestas por agregado de río y que contienen a diferencia de la anterior muestra proporciones menores de agregado fino (limos y arcillas) que oscila entre un 15 y 20%

2.7.1.2. Compactación

Los valores de las densidades obtenidas durante el ensayo de laboratorio varían de una muestra a otra, aunque dichas variaciones no son de consideración esto se debe a que las granulometrías de las muestras son diferentes.

Tabla N° 22 Densidades máximas compactadas obtenidas en el ensayo de compactación

Densidad máxima compactada (gr/cm³)			
Suelo 1	Suelo 2	Suelo 3	Suelo 4
2.16	2.18	2.22	2.35

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar lo contrario en las humedades óptimas de las muestras, ya que la muestra de suelo 1 posee una humedad mayor a la de las muestras restantes, esto se debe a que esta muestra posee mayor cantidad de material fino (limos y arcillas) lo que provoca requiera de más humedad para alcanzar su densidad máxima.

Tabla 23 Humedades óptimas de las muestras obtenidas del ensayo de compactación

Humedad Óptima (%)			
Suelo 1	Suelo 2	Suelo 3	Suelo 4
6.77	6.73	5.86	5.67

Fuente: Elaboración propia

2.7.1.3. Capacidad de soporte (CBR)

Al igual que en los ensayos de compactación los resultados en el número de CBR varían de una muestra a otra, esto debido a que todas las muestras presentan granulometrías diferentes.

Tabla 24 Número de CBR de las muestras obtenidas en laboratorio

CBR (100%)			
Suelo 1	Suelo 2	Suelo 3	Suelo 4
27	30	30	47

Fuente: Elaboración propia

2.7.1.4. Resistencia a la compresión Simple

Al igual que en los ensayos anteriores los resultados son diferentes debido a sus granulometrías:

Tabla 25 Resistencia a la compresión simple de las muestras ensayadas

Resistencia a la compresión (kg/cm²)			
Suelo 1	Suelo 2	Suelo 3	Suelo 4
6.61	7.00	6.89	5.72

Fuente: Elaboración propia

2.7.2. Ensayos de laboratorio de las muestras con aplicación de Bischofita

2.7.2.1. Compactación

Como se aprecia, en todas las muestras de suelo hay un incremento de la densidad máxima compactada (D.M.C.) cuando son mezclados con Bischofita, dependiendo del suelo y de la dosis de Bischofita.

Dichos incrementos de densidad pueden calcularse mediante una simple regla de tres como se muestra a continuación, en relación al suelo no tratado:

Datos:

D_o =Densidad del suelo no tratado=2.16 gr/cm³

D_f =Densidad del suelo tratado al 3% de Bischofita=2.23 gr/cm³

ΔD =variación de la densidad seca de la muestra= (2.23-2.16) gr/cm³=0.07 gr/cm³

$$2.16 \text{ gr/cm}^3 \text{ --- } 100\%$$

$$0.07 \text{ gr/cm}^3 \text{ --- } x$$

$$x = 3.24\%$$

Para las diferentes dosificaciones de Bischofita se tiene los siguientes incrementos de densidades, en relación a la densidad del suelo no tratado:

Tabla 26 Incremento en las densidades secas máximas en relación al suelo no tratado

<i>Dosis de Bischofita (%)</i>		<i>3%</i>	<i>5%</i>	<i>7%</i>
<i>Suelo 1</i>	<i>Incremento de la Densidad Max. Compact. (%)</i>	3.24	5.56	5.09
<i>Suelo 2</i>		3.67	5.96	4.59
<i>Suelo 3</i>		2.71	5.4	4.95
<i>Suelo 4</i>		2.55	4.68	3.40

Fuente: Elaboración propia



Gráfico N° 84 Variación de las densidades máximas compactadas para la muestra de Suelo 1

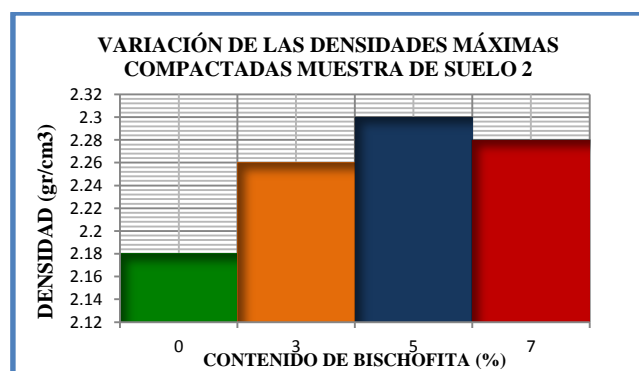


Gráfico N° 85 Variación de las densidades máximas compactadas para la muestra de Suelo 2

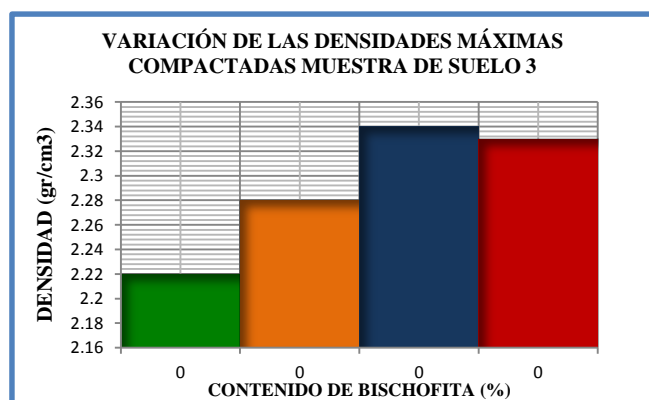


Gráfico N° 86 Variación de las densidades máximas compactadas para la muestra de Suelo 3

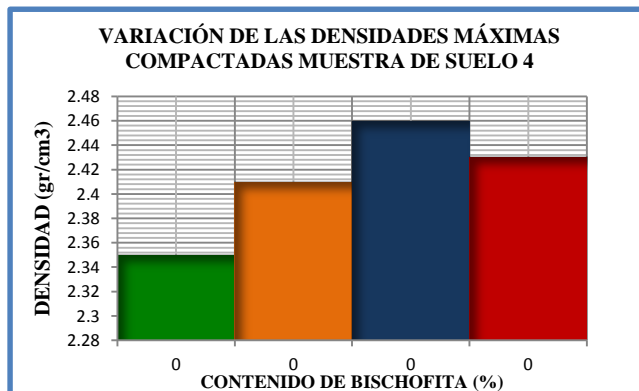


Gráfico N° 87 Variación de las densidades máximas compactadas para la muestra de Suelo 4

Como se aprecia en la anterior tabla, en todas las muestras de suelo hay un incremento de la densidad máxima compactada (D.M.C.) cuando son mezclados con Bischofita, dependiendo del suelo y de la dosis de Bischofita, la magnitud del incremento varía entre 2.71% y 5.96% con respecto a la densidad del suelo no tratado.

A continuación se presentan las relaciones obtenidas a través de los ensayos realizados en laboratorio.

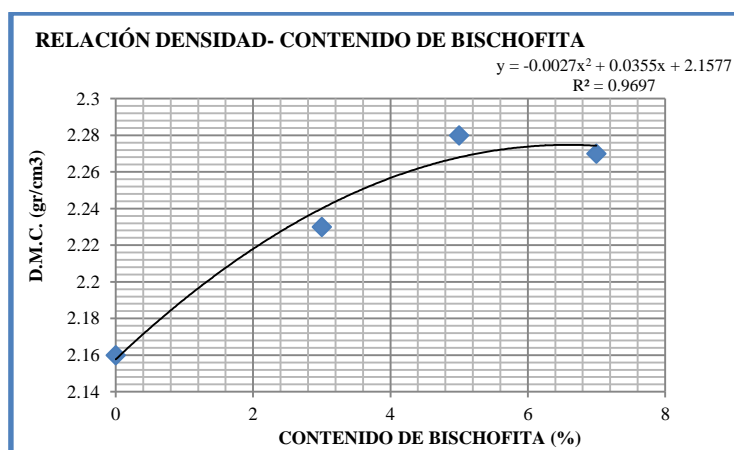


Gráfico N° 88 Relación Densidad-Contenido de Bischofita para el Suelo 1

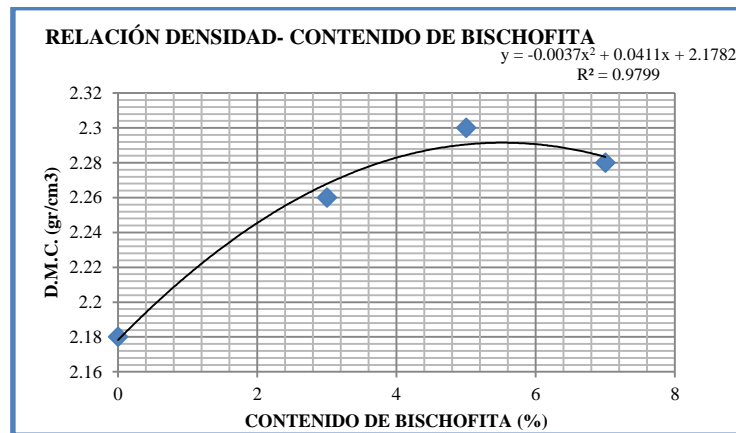


Gráfico N° 89 Relación Densidad-Contenido de Bischofita para el Suelo 2

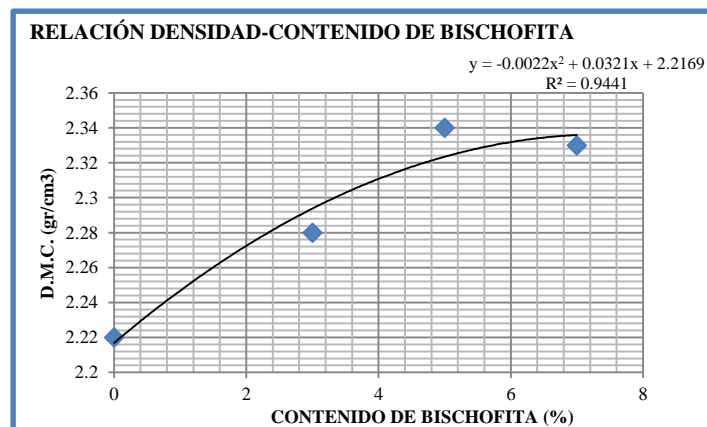


Gráfico N° 90 Relación Densidad-Contenido de Bischofita para el Suelo 3

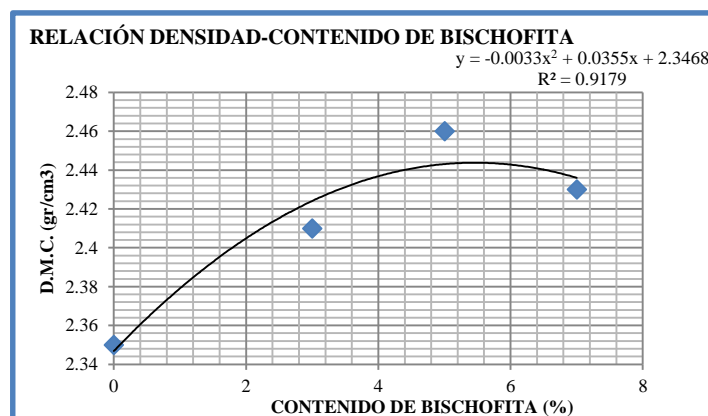


Gráfico N° 91 Relación Densidad-Contenido de Bischofita para el Suelo 4

La Bischofita afectó también el contenido de humedad óptimo de ambos suelos. El siguiente gráfico muestra una significativa reducción del contenido óptimo de humedad en suelos con Bischofita.

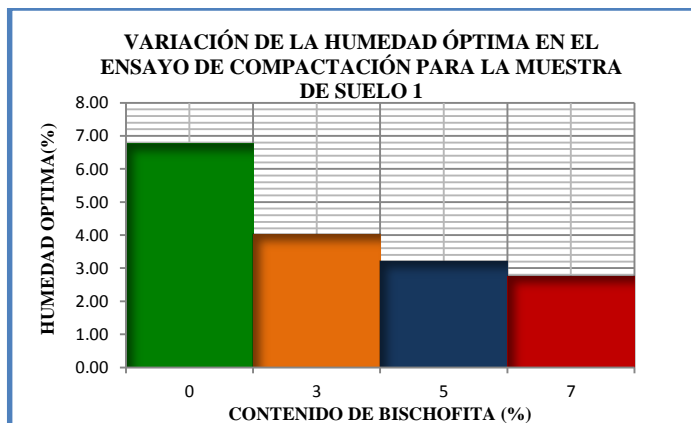


Gráfico N° 92 Variación del contenido de humedad óptima en el ensayo de compactación para la muestra de suelo 1

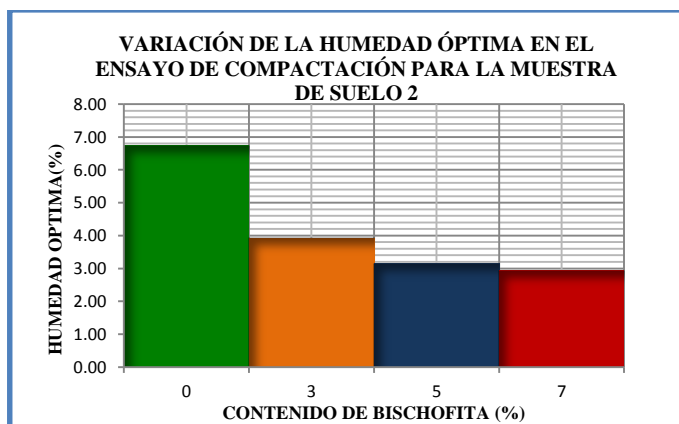


Gráfico N° 93 Variación del contenido de humedad óptima en el ensayo de compactación para la muestra de suelo 2

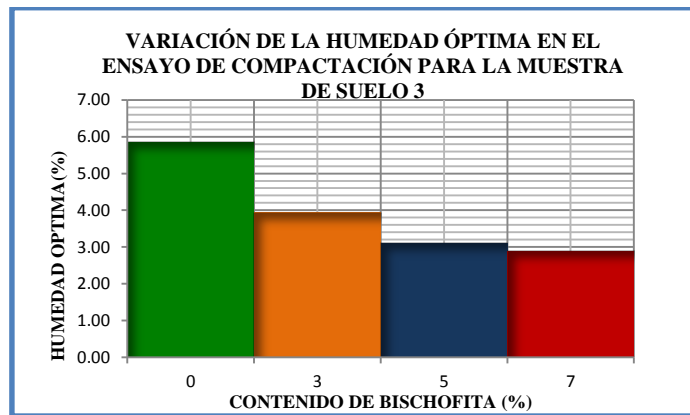


Gráfico N° 94 Variación del contenido de humedad óptima en el ensayo de compactación para la muestra de suelo 3

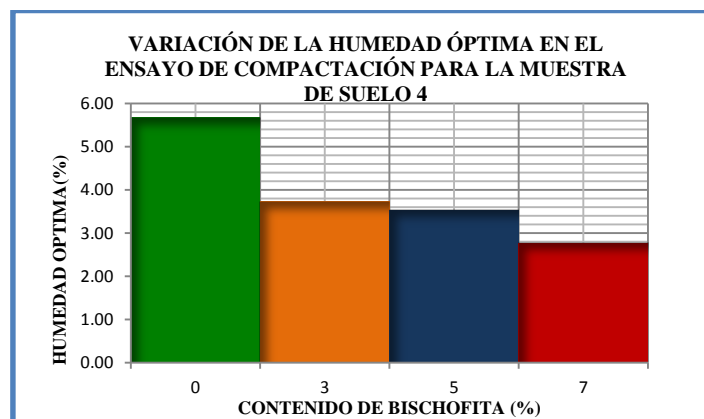


Gráfico N° 95 Variación del contenido de humedad óptima en el ensayo de compactación para la muestra de suelo 4

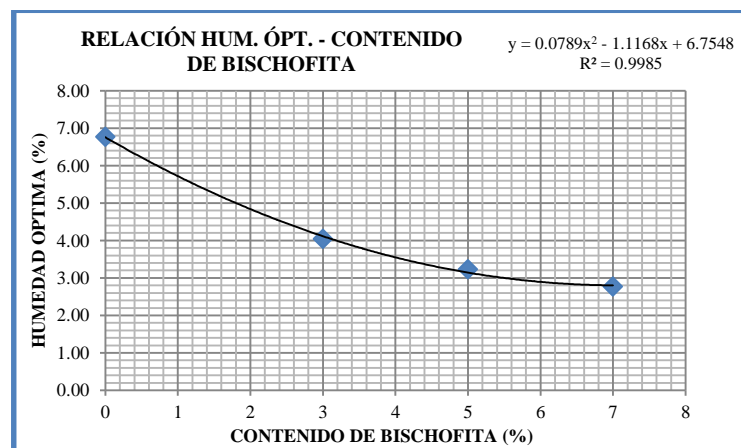


Gráfico N° 96 Relación Humedad Óptima- Contenido de Bischofita para el Suelo 1

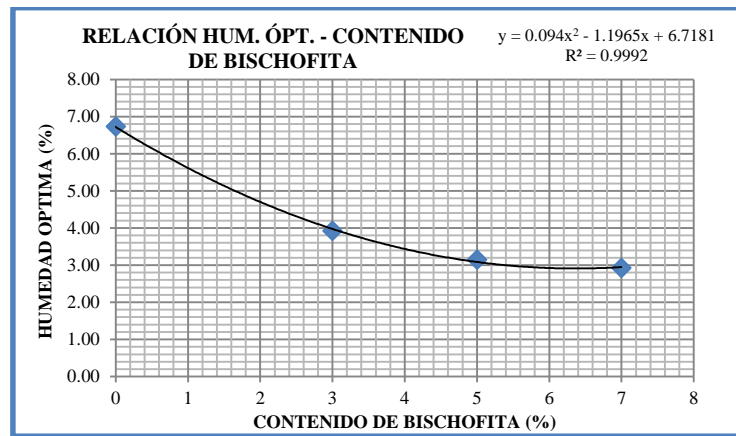


Gráfico N° 97 Relación Humedad Óptima-Contenido de Bischofita para el Suelo 2

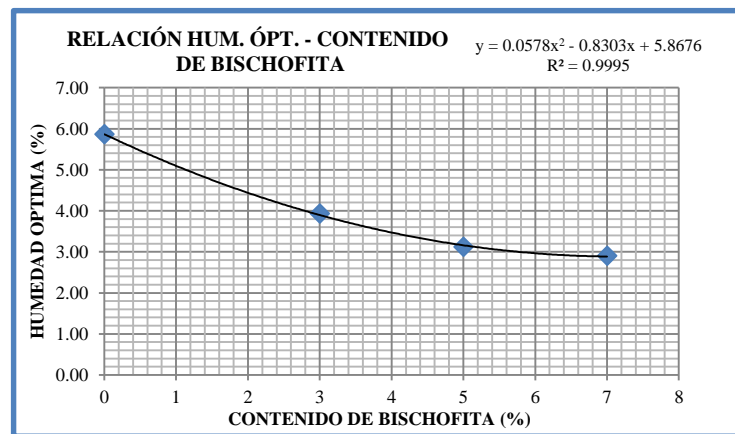


Gráfico N° 98 Relación Humedad Óptima-Contenido de Bischofita para el Suelo 3

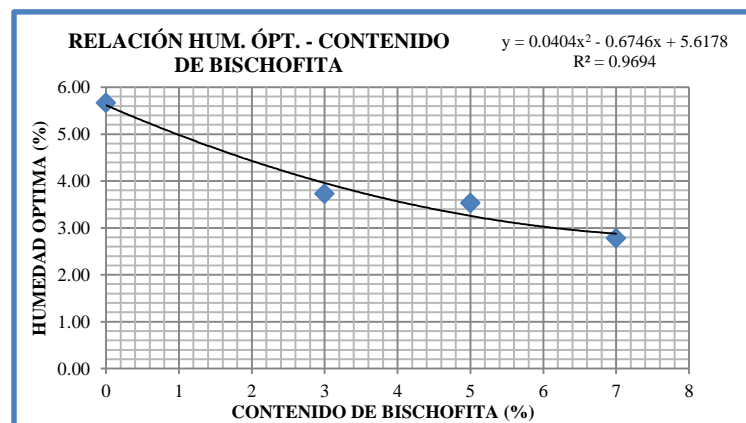


Gráfico N° 99 Relación Humedad Óptima-Contenido de Bischofita para el Suelo 4

2.7.2.2. Capacidad de Soporte (CBR)

En la siguiente tabla se pueden observar más claramente y realizar una comparación entre los resultados obtenidos de las muestras con y sin la aplicación de la Bischofita en el ensayo de la capacidad de soporte:

Tabla 27 Números de CBR para las muestras con y sin la aplicación de Bischofita

Muestra	Dosificación	CBR (%)
Suelo 1	0%	27
	3%	28
	5%	29
	7%	28
Suelo 2	0%	30
	3%	32
	5%	33
	7%	31
Suelo 3	0%	30
	3%	31
	5%	32
	7%	30
Suelo 4	0%	49
	3%	50
	5%	51
	7%	50

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia, en ambos suelos hay un incremento en el número de CBR cuando son mezclados con Bischofita.

Dichos incrementos pueden calcularse mediante una simple regla de tres como se muestra a continuación en relación al suelo no tratado:

Datos:

N_o = CBR del suelo no tratado = 27%

N_f = CBR del suelo estabilizado al 3% de Bischofita = 28%

ΔN = Variación del número de CBR = (28-27) % = 1%

27% — — — — — 100%

1% — — — — — x

$$x = 3.70\%$$

Para las diferentes dosificaciones de Bischofita se tiene los siguientes incrementos de Número de CBR en relación a la densidad del suelo no tratado:

Tabla 28 Incremento en el N° de CBR en los suelos tratados con Bischofita

<i>Dosis de Bischofita (%)</i>		3%	5%	7%
<i>Suelo 1</i>	<i>Incremento del N° de CBR en relación al suelo no tratado (%)</i>	3.70	7.41	3.7
<i>Suelo 2</i>		6.67	10.00	3.33
<i>Suelo 3</i>		3.26	5.26	1.60
<i>Suelo 4</i>		2.03	3.05	1.83

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la anterior tabla, en todas las muestras de suelo hay un incremento en el N° de CBR cuando son mezclados con Bischofita, dependiendo del suelo y de la dosis de Bischofita, la magnitud del incremento varía entre 1.60% y 10% con respecto al N° de CBR del suelo no tratado.

Los incrementos son mayores al parecer cuando los suelos tratados con este aditivo no son sometidos o expuestos al agua ya que las muestras de suelo 1 y 2 no fueron sumergidas en agua para medir efectos expansivos como las muestras de suelo 3 y 4 que presentan menores porcentajes de incremento.

En todas las muestras de suelo se observa un incremento para todas las dosificaciones en el número de CBR en relación al suelo no tratado pero mayor es el incremento para la dosificación del 5%, por lo que en este ensayo la dosificación de Bischofita apropiada para estas muestras de suelo sería del 5% en peso del suelo seco.

A continuación se presentan las relaciones obtenidas a través de los ensayos realizados en laboratorio.

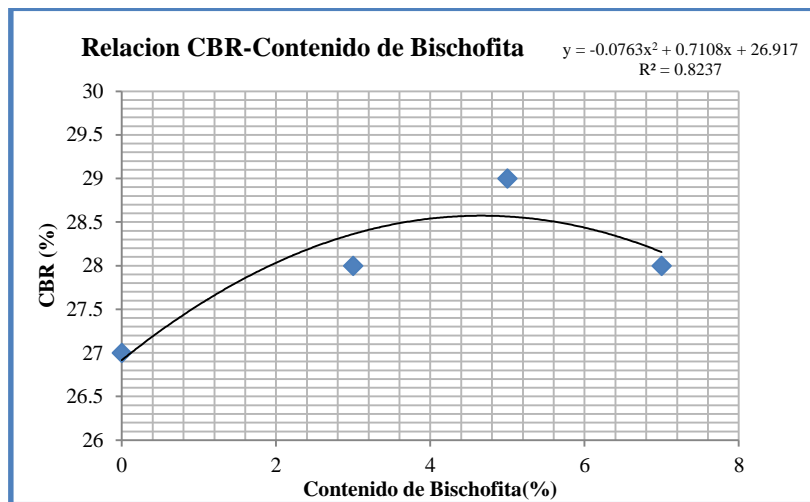


Gráfico N° 100 Relación CBR- Contenido de Bischofita para el Suelo 1

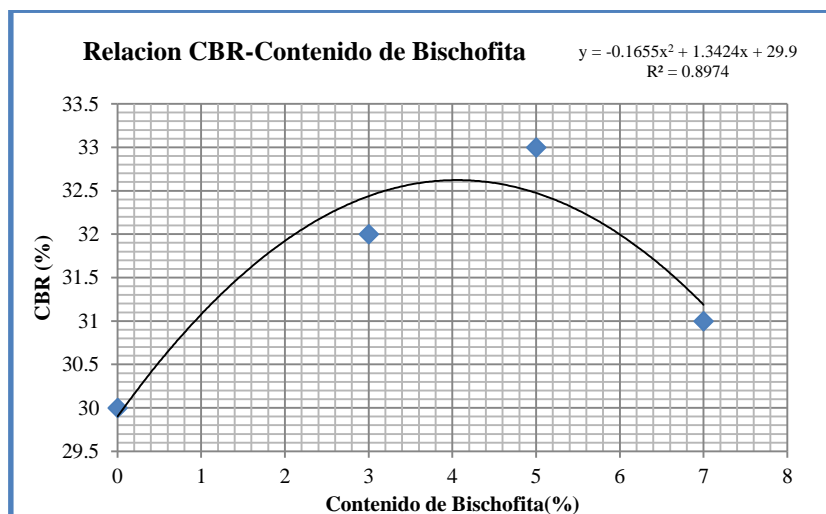


Gráfico N° 101 Relación CBR- Contenido de Bischofita para el Suelo 2

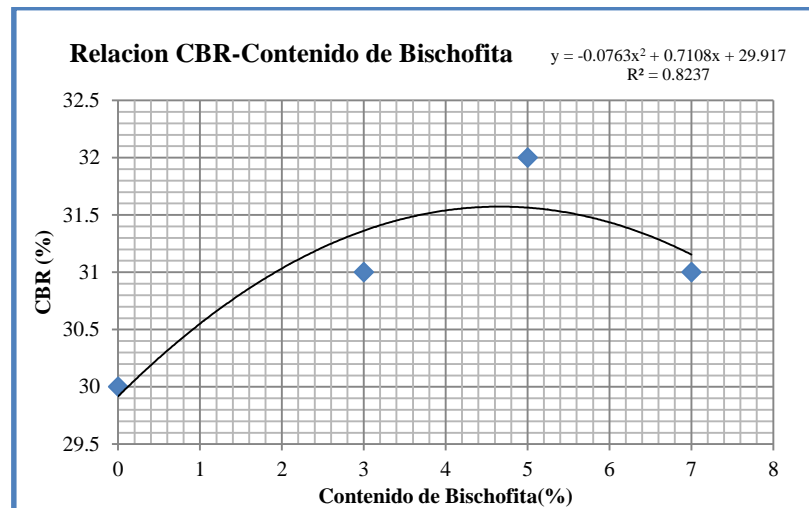


Gráfico N° 102 Relación CBR- Contenido de Bischofita para el Suelo 3

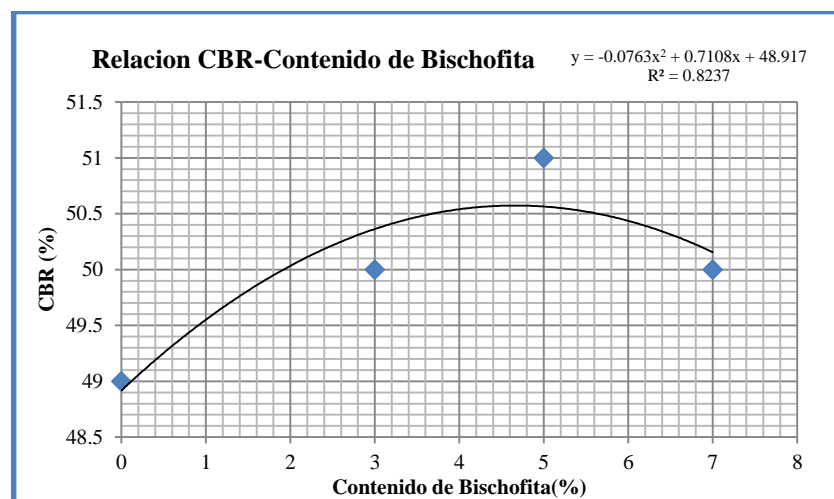


Gráfico N° 103 Relación CBR- Contenido de Bischofita para el Suelo 4

2.7.2.3. Compresión Simple

En la siguiente tabla se aprecia que en todos los suelos se produce un incremento de la resistencia para un cierto contenido de Bischofita. Como se observa no hay una relación clara entre la magnitud del incremento de la resistencia y las propiedades del suelo. Dichos incrementos pueden calcularse de la misma manera que en los ensayos de compactación y CBR, éstos oscilan entre 2.80% y 8.86% en relación al suelo no tratado.

Tabla 29 Incremento de la resistencia a compresión de las muestras tratadas con Bischofita, en relación al suelo no tratado

Muestra	Dosis de Bischofita (%)	3%	5%	7%
Suelo 1	<i>Incremento de la resistencia a compresión, en relación al suelo no tratado (%)</i>	4.54	8.77	4.99
Suelo 2		4.43	8.86	3.71
Suelo 3		3.63	8.13	4.06
Suelo 4		3.67	7.34	2.80

Fuente: Elaboración propia

A continuación se puede apreciar en los siguientes gráficos la variación de la resistencia a la compresión simple en las muestras de suelo debido a la adición de la Bischofita:

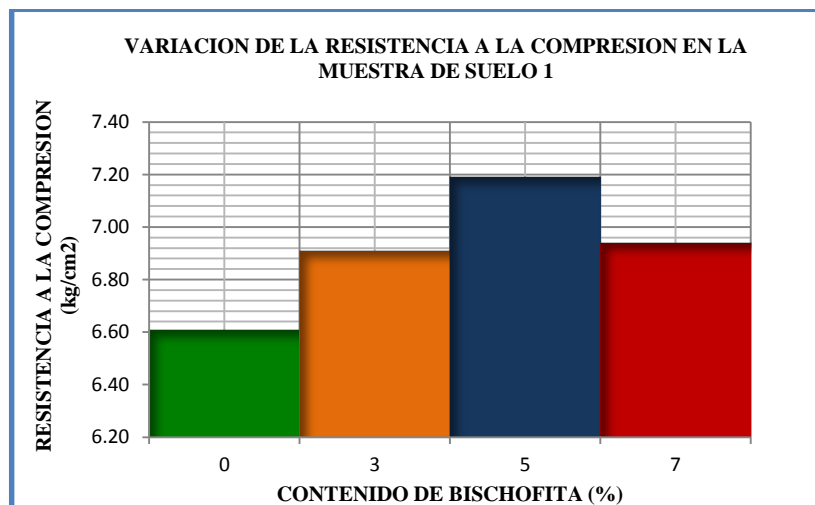


Gráfico N° 104 Variación de la resistencia a la compresión simple para la muestra de suelo 1

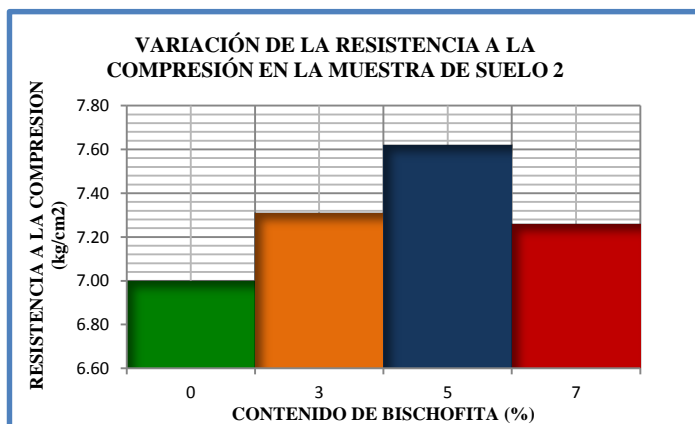


Gráfico N° 105 Variación de la resistencia a la compresión simple para la muestra de suelo 2

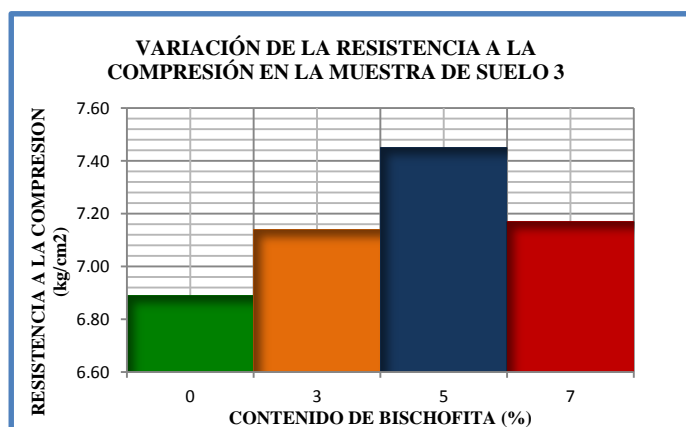


Gráfico N° 106 Variación de la resistencia a la compresión simple para la muestra de suelo 3

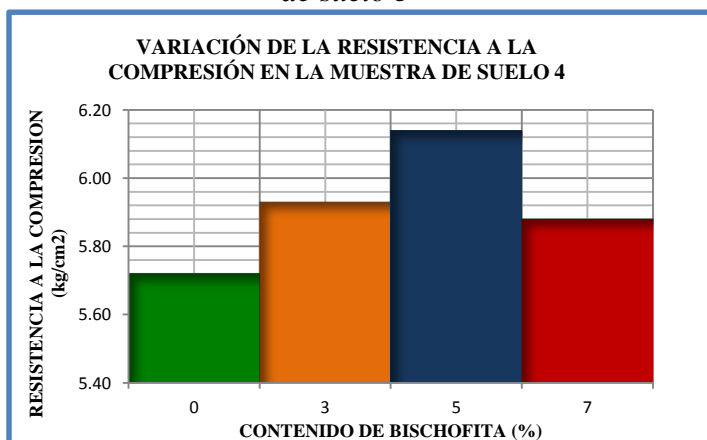


Gráfico N° 107 Variación de la resistencia a la compresión simple para la muestra de suelo 4

En ambos suelos se puede observar que hay un incremento en la resistencia a la compresión para todas las dosificaciones de Bischofita, pero mayor es éste para la dosificación del 5% por lo que para ambas muestras y para este ensayo la dosificación óptima del aditivo sería del 5% en peso del suelo seco.

En los siguientes cuadros se muestra las curvas de tendencia de resistencia para distintos contenidos de Bischofita de las probetas ensayadas en el laboratorio

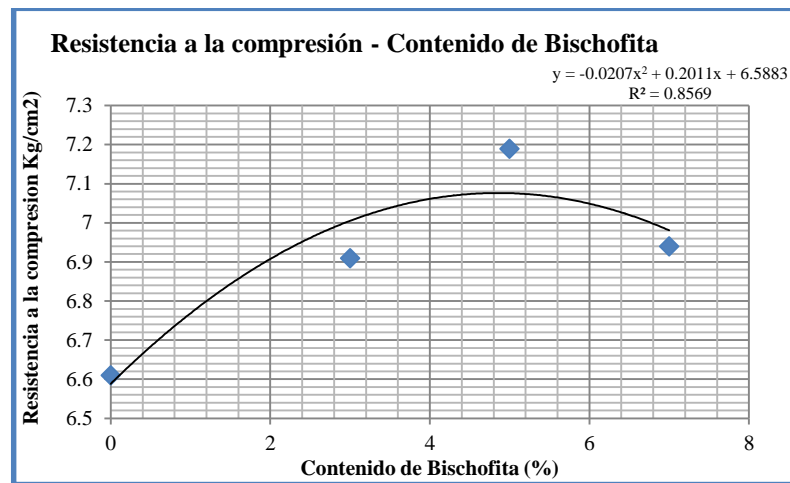


Gráfico N° 108 Resistencia a la compresión para la muestra de Suelo 1

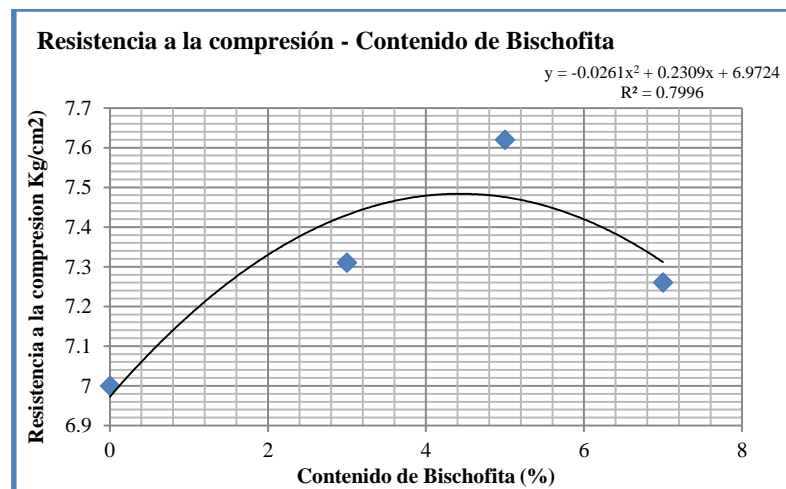


Gráfico N° 109 Resistencia a la compresión para la muestra de Suelo 2

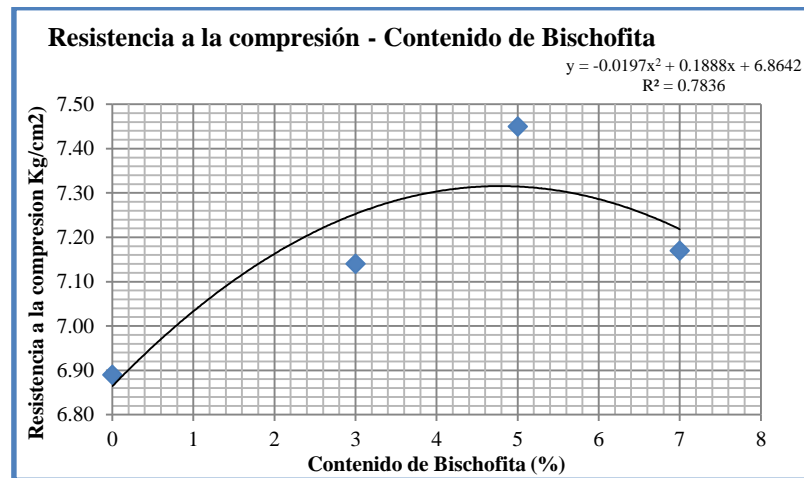


Gráfico N° 110 Resistencia a la compresión para la muestra de Suelo 3

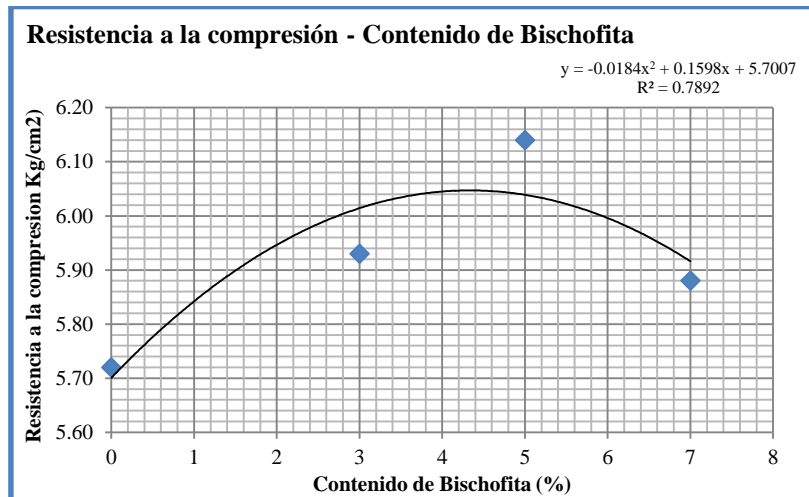


Gráfico N° 111 Resistencia a la compresión para la muestra de Suelo 4

En esta parte del trabajo de investigación se presenta un estudio referente al costo que significa la ejecución de los trabajos de una estabilización de suelos con y sin la adición de Bischofita, para ello los precios unitarios que aparecen en este capítulo están preparados de manera que siguen los lineamientos generales de los análisis de costos dirigidos a vías de comunicación.

Como se explicó en capítulos anteriores la Bischofita puede ser utilizada de dos maneras, como tratamiento supresor de polvo y como estabilizador químico de carpetas de rodado en caminos ripiados, los precios unitarios estarán referidos a la reposición de ripio (Mantenimiento Periódico) o recapado de caminos de ripio con material de banco en un espesor de ocho centímetros, en nuestro caso material que puede ser obtenido de la Comunidad de Turumayo y sobre el cual se realizaron los diferentes estudios, con y sin la aplicación de la Bischofita, para luego poder realizar un análisis técnico-económico y determinar cuál es la mejor alternativa de ambas.

3.1. ESTRUCTURA DE COSTOS

La estructura de cada costo unitario está conformada por los costos básicos, además de algunos porcentajes como ser gastos generales, impuestos y otros.

Para la confección de las planillas de análisis de costos y precios unitarios, se ha establecido la participación de los siguientes costos básicos:

- ✓ Materiales e insumos.
- ✓ Mano de obra, en sus diferentes categorías.
- ✓ Maquinaria y equipo de construcción
- ✓ Transporte

3.2. MANO DE OBRA

El precio de mercado de la mano de obra, se averiguó en el mercado local y se cotejaron estos valores con los contenidos en algunos reportes de la Cámara Departamental de la Construcción, así como en diferentes empresas constructoras.

Los costos indirectos de la mano de obra se calculan sobre la base de la reglamentación vigente de las cargas sociales, que incluyen rubros como: aportes, vacaciones, licencias y enfermedad, días trabajados. Estos criterios permiten determinar la incidencia de las cargas sociales sobre la mano de obra.

3.2.1. Precio de la mano de obra

La mano de obra se clasifica y cotiza por categorías y precios.

La Tabla 29 indica el costo neto de la mano de obra para realizar cualquier trabajo referido a construcciones civiles.

Tabla N° 30 Categorías y Precios para la Mano de Obra Destinada a la Construcción.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	SUELDO MENSUAL PROMEDIO (Bs/Mes)	COSTO DIRECTO	
				POR DÍA (Bs.)	POR HORA (Bs.)
1	Peón	Hr	1200.00	48.00	6.00
2	Ayudante	Hr	1500.00	60.00	7.50
3	Chofer	Hr	1500.00	60.00	7.50
4	Alarife	Hr	1300.00	52.00	6.50
5	Topógrafo	Hr	2500.00	100.00	12.50
6	Op. Equipo Liviano	Hr	1600.00	64.00	8.00
7	Op. Equipo Pesado	Hr	2500.00	100.00	12.50
8	Capataz	Hr	2800.00	112.00	14.00
9	Laboratorista	Hr	2800.00	112.00	14.00

Fuente: Elaboración propia a partir de proyectos realizados en el SEDECA durante las últimas gestiones

3.2.2. Alimentación

Para este apartado se establece un costo promedio de alimentación especificado en la siguiente tabla:

Tabla N° 31 Precios por Alimentación.

DESCRIPCIÓN	COSTO PROMEDIO		
	(Bs/Día)	(Días/Mes)	(Bs/H X Mes)
Alimentación (Desayuno, almuerzo y cena)	40.00	30	1200.00

Fuente: Elaboración propia a partir de proyectos realizados en el SEDECA durante las últimas gestiones

El precio promedio adoptado para la alimentación por hombre/ día es de Bs. 40,00. Debido a la ubicación rural del proyecto, es necesario proporcionar tres alimentos por día para la casi totalidad del personal (desayuno, almuerzo y cena), proporcionándose alimentos extras sólo si se establecen horarios de trabajo por encima de los normales acostumbrados.

Dentro de las planillas de precios unitarios, el costo de mano de obra incluye la alimentación dentro de la tarifa de cada categoría.

3.2.3. Seguridad Industrial

En este rubro se considera la ropa de trabajo y los elementos de seguridad industrial con los que se dota al obrero anualmente, los mismos que son considerados fungibles (sin valor residual).

La seguridad industrial es un tema muy importante y constante dentro del desarrollo de la construcción, aquí se establece el costo promedio para los insumos que intervienen, por persona, de equipo para la seguridad industrial.

Tabla N° 32 Ropa de Trabajo (Seguridad Industrial)

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD POR AÑO	PRECIO UNITARIO (Bs)	PRECIO TOTAL	
				POR AÑO	POR MES
				(Bs)	(Bs)
Botas de seguridad	Pares	2.00	155.00	310.00	25.83
Botas de goma	Pares	2.00	70.00	140.00	11.67
Ropa de trabajo	Juego	2.00	90.00	180.00	15.00
Guantes	Pares	2.00	12.00	24.00	2.00
Casco protector	Pieza	1.00	25.00	25.00	2.08
Varios: • Lentes de seguridad. • Mascaras p/polvo. • Cinturones de seguridad. • Primeros auxilios.	Global	Global	Global	287.5	23.96
TOTAL				966.5	80.54

Fuente: Elaboración propia a partir de proyectos realizados en el SEDECA durante las últimas gestiones

El precio promedio adoptado por persona será de Bs. 80.54 por mes.

Dentro de las planillas de precios unitarios, el costo de mano de obra incluye la dotación de insumos para la seguridad industrial y alimentación.

Tabla N° 33 Cálculo del Costo de la Mano de Obra.

CATEGORIA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	SUELDO MENSUAL PROMEDIO (Bs./Mes)	COSTO DIRECTO		COSTO ALIMENTACIÓN PROMEDIO (BS/Día)	COSTO SEGURIDAD INDUSTRIAL (Bs/Mes)	COSTO TOTAL POR HORA	
				POR DÍA	POR HORA			(Bs)	(\$us)
				(Bs.)	(Bs.)				
1	Peón	Hr	1200.00	48.00	6.00	40.00	80.54	11.40	1.61
2	Ayudante	Hr	1500.00	60.00	7.50	40.00	80.54	12.90	1.82
3	Chofer	Hr	1500.00	60.00	7.50	40.00	80.54	12.90	1.82
4	Alarife	Hr	1300.00	52.00	6.50	40.00	80.54	11.90	1.68
5	Topógrafo	Hr	2500.00	100.00	12.50	40.00	80.54	17.90	2.53
6	Op. Equipo Liviano	Hr	1600.00	64.00	8.00	40.00	80.54	13.40	1.90
7	Op. Equipo Pesado	Hr	2500.00	100.00	12.50	40.00	80.54	17.90	2.53
8	Capataz	Hr	2800.00	112.00	14.00	40.00	80.54	19.40	2.74
9	Laboratorista	Hr	2800.00	112.00	14.00	40.00	80.54	19.40	2.74

Fuente: Elaboración propia a partir de proyectos realizados en el SEDECA durante las últimas gestiones

3.2.4. Beneficios Sociales

Las cargas sociales relacionadas con la mano de obra se dividen en dos categorías:

- ✓ Cargas de aplicación directa (inmediata).
- ✓ Cargas de aplicación diferida.

Las cargas de aplicación directa comprenden los aportes que efectúa el empleador al sistema del seguro social y a los beneficios que recibe el empleado de acuerdo a las disposiciones legales vigentes.

Las cargas de aplicación diferida se refieren a los compromisos que el empleador asume con el empleado, en forma voluntaria o forzosa, de acuerdo a circunstancias especiales como: rescisión del contrato de trabajo, días no trabajados por feriados, licencias, y otros.

Cálculo de cargas Sociales:

Tabla N° 34 Incidencia de la inactividad

DESCRIPCIÓN	DÍAS S/PRODUCCIÓN	JORNALES PAGADOS
Domingos (DS 21060 Art. 67)	52	52
Feridos (DS 21060 Art. 67)	10	10
Días de lluvias	5	5
Enfermedad	3	3
Ausencia justificada	2	2
Ausencia injustificada	3	0
TOTAL	75	72
DÍAS AL AÑO		365
DÍAS EFECTIVOS AL AÑO		290
JORNALES ABONADOS		362
INCIDENCIA POR INACTIVIDAD		24.83%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 35 Incidencia de los beneficios

DESCRIPCIÓN	DÍAS S/PRODUCCIÓN	JORNALES PAGADOS
Aguinaldo	0	30
Desahucio	0	0
Vacación	0	15
Prima	0	0
Indemnización	0	30
TOTAL	0	75
DÍAS AL AÑO		365
DÍAS EFECTIVOS AL AÑO		290
JORNALES ABONADOS		365
INCIDENCIA POR BENEFICIOS		20.55%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 36 Incidencia de subsidios

DESCRIPCIÓN	%	SALARIO MÍNIMO (Bs)	DURACIÓN (Meses)	ANUAL (Bs)
Prenatalidad	5%	1200.00	5.00	300.00
Natalidad	5%	1200.00	1.00	60.00
Lactancia	5%	1200.00	12.00	720.00
Maternidad	1%	1200.00	3.00	36.00
Sepelio	1%	1200.00	1.00	12.00
TOTAL				1128.00

Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN	%	SALARIO MÍNIMO (Bs)	PONDERACIÓN (Meses)
Peón	21%	1200.00	252.00
Ayudante	15%	1500.00	225.00
Op. Equipo Liviano	17%	1600.00	272.00
Op. Equipo Pesado	38%	2500.00	950.00
SALARIO MENSUAL PONDERADO			1699.00
SALARIO ANUAL PONDERADO			20388

INCIDENCIA DE LOS SUBSIDIOS	5.53%
------------------------------------	--------------

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 37 Aporte a entidades

ENTIDAD	LABORAL (Bs)	PATRONAL (Bs)
Caja Nacional de Salud	0.00%	10.00%
AFP Capitalización	12.21%	1.71%
PRO VIVIENDA	0.00%	2.00%
INFOCAL	0.00%	1.00%
TOTAL	12.21%	14.71%
INCIDENCIA POR APORTES		14.71%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 38 Incidencia de la antigüedad

DESCRIPCIÓN	MONTO
Porcentaje sobre tres salarios mínimos (4 años)	5.00%
Salario mínimo	1200.00
Porcentaje de obreros beneficiarios	6.00%
Monto Anual (Bs/Obrero)	60.00
INCIDENCIA DE LA ANTIGÜEDAD	0.30%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 39 Incidencia por cargas sociales

DESCRIPCIÓN	INCIDENCIA
INCIDENCIA POR INACTIVIDAD	24.83%
INCIDENCIA POR BENEFICIOS	20.55%
INCIDENCIA DE LOS SUBSIDIOS	5.53%
INCIDENCIA POR APORTES	14.71%
INCIDENCIA DE LA ANTIGÜEDAD	0.30%
INCIDENCIA POR CARGAS SOCIALES	65.92%

Fuente: Elaboración propia

3.3.MAQUINARIA Y EQUIPO

Básicamente, el costo horario de la maquinaria y equipo de construcción se determinó, considerando en cada caso, la vida económica expresada en horas de operación. Se han adoptado los valores de vida media generalmente aceptados para condiciones medias de operación.

El costo de la maquinaria y equipo está constituido por dos ítemes principales: costos fijos y costos variables de operación. El costo fijo se calcula en función a los valores de mercado del precio de compra del equipo y el costo financiero de la inversión.

Los costos variables dependen de las características del equipo y maquinaria de construcción y se basan en el consumo de combustible y lubricantes, y también en una estimación de los repuestos para el mantenimiento.

3.3.1. Combustibles, aceites y lubricantes

Los precios de combustibles, aceites y lubricantes se presentan en la siguiente tabla:

Tabla N° 40 Precios de Combustibles y Lubricantes

ÍTEM	UNIDAD	PRECIO (Bs)	PRECIO (\$us)
Gasolina Especial	Lt	3.74	0.53
Diésel Oíl	Lt	3.72	0.53
Kerosén	Lt	2.72	0.39
Aceite lubricante automotriz	Lt	19.00	2.69
Aceite lubricante industrial	Lt	28.00	3.96
Grasa	Kg	33.00	4.67

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Costo horario de maquinaria y equipo

Los precios de adquisición y la hipótesis del trabajo anual y la vida útil para cada maquinaria y equipo de construcción considerado para el análisis de los precios unitarios se encuentran en el respectivo anexo.

La siguiente tabla muestra el requerimiento de maquinaria y su costo horario para la construcción del camino ripiado:

Tabla N° 41 Requerimiento y costo horario equipo y maquinaria

#	Descripción insumos	Unid.	P.Unit.
1	Camión aguatero	hr	300.00
2	Cargador frontal	hr	300.00
3	Compactador de rodillo liso CS-583D	hr	250.00
4	Motoniveladora 140H	hr	250.00
5	Volqueta - 5m ³	hr	125.55

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Rendimientos de maquinaria

El cálculo de los rendimientos de la maquinaria y equipo necesario para la construcción del recado de la carpeta de ripio se encuentra en los anexos del presente trabajo

A continuación se presenta un cuadro resumen de la producción de los mismos:

Tabla N° 42 Producción de la maquinaria y equipo

N°	Maquinaria	Unidad	Producción	Unidades
1	Camión Aguatero	m ³ /hr	108.38	1
2	Cargador frontal	m ³ /hr	95.20	1
3	Compactador de Rod. Liso	m ² /hr	833	1
4	Motoniveladora	m ³ /hr	441.99	1
5	Volqueta 5m ³	m ³ /hr	21.08	7

Fuente: Elaboración propia

3.4.COSTO DE MATERIALES

De la misma manera como se concibió el análisis del precio unitario en sus componentes, en el cálculo de costos de materiales, éste no es más que el resaltar la aplicación de la cantidad de materiales que forman parte de una determinada actividad en la obra y el precio de los mismos.

3.4.1. Precio del material para el ripiado

El precio del m³ de material ripioso para la conformación de la carpeta de rodado tiene un costo aproximado de 125 Bs.

El rendimiento del material se encuentre en los respectivos anexos.

3.4.2. Precio de la Bischofita

La Bischofita necesaria para la construcción de una capa de rodado estabilizada, deberá proveerse del exterior, ya que en nuestro país aún no se ha iniciado con la producción de este aditivo, para el trabajo de investigación se logró obtener 40 kg del producto a un valor de 1200 Bs.

El rendimiento del material se encuentre en los respectivos anexos.

3.5. GASTOS GENERALES

Los Gastos Generales y Administrativos, aplicados sobre el costo directo de los servicios han sido calculados de acuerdo a la descripción que se muestra a continuación.

Para el cálculo del precio unitario se afectó el costo unitario con un factor de gastos generales y administrativos de 15.00 % de los costos directos, que se desglosa a continuación:

Tabla N° 43 Análisis de Gastos Generales

CONCEPTO	GASTOS GENERALES (%)	TOTAL
Administración:		
• Personal: Ejecutivo, Técnico y de Apoyo.	4.00%	9.50%
• Pasajes, Hoteles y Viáticos.	0.50%	
• Comunicaciones: Teléfono, radio, fax, internet, etc.	0.50%	
• Alquileres, depreciación de activos, Oficina, etc.	0.30%	
• Vehículos.	0.30%	
• Servicios: Agua, Energía, Mantenimiento Edificaciones, etc.	0.20%	
• Gastos Financieros.	0.50%	
• Impuestos, Protocolizaciones, etc.	3.00%	
• Gastos Legales: Honorarios Abogado, Notarías, etc.	0.10%	
• Publicidad, Gastos de Representación, etc.	0.10%	
Seguros y Garantías:		
• Seguros contra Accidentes Personales.	0.40%	3.40%
• Seguros de Accidentes de Vehículos y Maquinaria.	0.40%	
• Seguros de Obra.	0.40%	
• Seguros de Responsabilidad Civil.	0.20%	
• Boletas de Garantía Contractual.	2.00%	
Operación Campamentos, Talleres y Almacenes.	1.20%	1.20%
Mantenimiento de Tránsito, Construcción de Desvíos, etc.	0.90%	0.90%
TOTAL GASTOS GENERALES		15.00%

Fuente: Elaboración propia

3.6. UTILIDADES

La utilidad considerada para el cálculo del precio final se estimó en un 5% de los costos directos.

3.7.PRECIOS UNITARIOS

Una vez efectuados los cálculos y análisis correspondientes a los costos de los insumos y materiales, de la mano de obra, de la alimentación, seguridad industrial y cargas sociales del personal del contratista, de costo horario de la maquinaria y equipo y de los gastos generales y utilidades, con esa información se procedió a elaborar las planillas de cálculo de los precios unitarios para los ítemes de construcción del recapado de ripio del tramo Bella Vista-Los Pinos.

Dichos precios unitarios pueden encontrarse en la parte de los anexos del presente trabajo.

4.1. CONCLUSIONES

Aunque se han realizado estudios para evaluar la efectividad de la Bischofita como supresor temporal de polvo, no hay investigaciones relacionadas a su uso como estabilizador químico de caminos ripiados. El presente trabajo presenta los resultados de la investigación realizada en laboratorio para evaluar la efectividad de la Bischofita como estabilizador químico de capas granulares de rodadura. Las principales conclusiones son:

- ✓ Luego de la realización de los ensayos de laboratorio y del análisis de los resultados se pudo apreciar que la Bischofita produce un cierto mejoramiento de las propiedades mecánicas de compactibilidad, soporte y resistencia de los suelos, debido a un incremento de las densidades de compactación y una reducción del contenido de humedad óptimo.

Tabla 44 Incrementos máximos en las propiedades mecánicas de las muestras en estudio

Propiedad	Suelo 1	Suelo 2	Suelo 3	Suelo 4
	Inc. Máximo (%)	Inc. Máximo (%)	Inc. Máximo (%)	Inc. Máximo (%)
D.M.S.C.	5.56	5.96	5.40	4.68
C.B.R.	7.41	10	5.26	3.05
Res. A la Compresión	8.77	8.86	8.13	7.34

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Se pudo evidenciar, de acuerdo a la tabla anterior que la dosificación óptima para todas las muestras de ripio es del 5%, produciéndose un mayor incremento en sus propiedades mecánicas para esta dosificación.
- ✓ Al someter las probetas a la sumersión durante cuatro días para las muestras de suelo 3 y 4 se produjo igualmente un incremento en sus propiedades aunque un poco menor a las probetas de los suelos 1 y 2 que no se sumergieron en agua, con esto podemos afirmar que los incrementos en las propiedades se darían igualmente para capas de rodado ripiados expuestos a

niveles freáticos altos sin que se produzca un lavado del aditivo, siendo siempre recomendable dejar un drenaje transversal adecuado a la calzada para evitar inundaciones de la misma en periodos de lluvia principalmente.

- ✓ Luego de evaluar el ensayo de retención de humedad se verificó que efectivamente la mezcla Suelo-Bischofita es capaz de absorber y retener humedad del medio ambiente, por lo cual evitaría el levantamiento de polvo y aumentaría la durabilidad de caminos estabilizados con este aditivo.

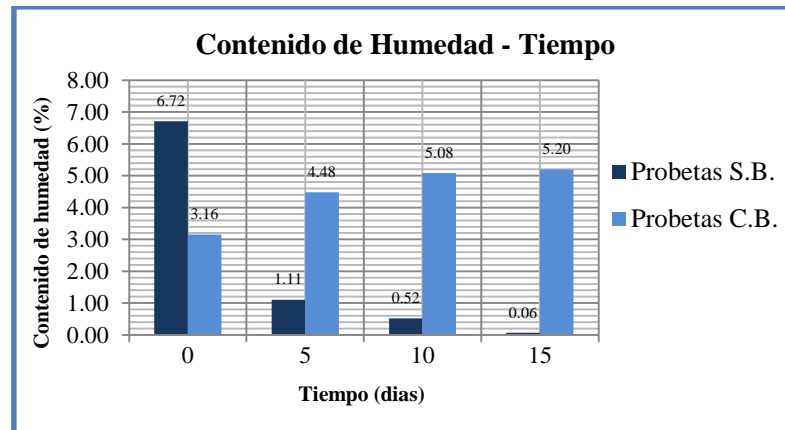


Gráfico N° 112 Retención de humedad de la mezcla Suelo-Bischofita

- ✓ Si bien las Bischofita incrementa en ciertas proporciones las propiedades de resistencia de los suelos estudiados, dichos incrementos no sobrepasan el 10%, en comparación a otros tipos de estabilizaciones, es por esto que no llegaría a afectar en cuanto al diseño de los espesores de las carpetas de ripio.
- ✓ Se estudiaron suelos con un rango de contenido de finos de entre 20 y 30%, y los resultados no permiten indicar que alguno de estos suelos no sea apto para ser estabilizado con Bischofita.
- ✓ En base a la información obtenida de la bibliografía y del trabajo de laboratorio, se pudo determinar el correcto proceso de estabilización en cuanto a procedimientos técnicos, proceso de preparación de la solución y dosificación óptima del producto, para que esto pueda servir como parámetro

en estudios posteriores o para aplicaciones de la Bischofita en caminos ripiados de nuestra provincia.

- ✓ De la evaluación química se pudo ver que la Bischofita puede reducir la capacidad de hinchamiento de los materiales finos (arcillas), además de tener un poder aglutinante en el suelo lo cual provoca una mayor cohesión entre las partículas de suelo, debido a la mayor formación de coloides en la mezcla.
- ✓ Si bien la Bischofita puede mejorar ciertas propiedades de las carpetas de ripio en caminos de nuestra provincia desde el punto de vista técnico, mejorando condiciones de durabilidad y mantenimiento, así como también evitando el levantamiento de polvo, su uso en nuestro medio se hace inviable desde el punto de vista económico, ya que en nuestro país aún no se ha comenzado con la producción de este aditivo, siendo muy costosa su importación desde el extranjero.

Por todo esto, el costo de estos caminos estabilizados supera el doble que el costo de un camino ripiado normal, razón por la cual su uso aún es inviable, pudiendo esto cambiar si se comenzase a producir dicho aditivo en nuestro medio.

4.2.RECOMENDACIONES

- ✓ Se debe tener cuidado en el laboratorio al momento de realizar los ensayos, debido a que la Bischofita incrementa el agua de compactado casi al doble del agua inicial, cosa que si no se prevé podría causar variaciones en los resultados obtenidos.
- ✓ Tampoco se debe dejar expuesta la Bischofita al medio ambiente ya que rápidamente comienza a absorber humedad, especialmente en horas de humedad relativa altas.