

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Los suelos para la construcción de carreteras, en general, son variables y complejos. Existen suelos arcillosos que en su estado natural no reúnen las características adecuadas para la utilización para ciertos propósitos, por lo cual, el profesional en esta área debe tomar decisiones que pueden ser aceptar el material como está y efectuar el diseño de acuerdo con las restricciones impuestas por su calidad, o caso contrario remover y desechar el suelo del lugar y sustituirlo por uno de características apropiadas. Por otro lado, existe una tercera alternativa de solución al problema que es mejorar sus propiedades, de tal manera que se obtenga uno que reúna en mejor forma los requisitos necesarios o que la calidad obtenida sea adecuada. Lo referente a la tercera decisión es lo que se conoce como estabilización de suelos.

Existen varios procedimientos para lograr la mejoría de los suelos, pero dos de los más efectivos son las técnicas de estabilización por medios mecánicos y por medios químicos. (Sánchez Castro, Ureña, & Azañon, 2014).

El autor propone estudiar la influencia del aditivo Conaid, mediante una estabilización química, con la finalidad de mejorar las propiedades físico-mecánicas de los suelos arcillosos y poder confirmar si este aditivo propuesto es viable o no.

ATRAMA, Edson. En su investigación titulada: Evaluación de la transitabilidad para caminos de bajo tránsito estabilizados con aditivo Conaid Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Piura 2015. Llegó a las siguientes conclusiones:

- La investigación pretende determinar si es posible alcanzar un adecuado nivel de transitabilidad mediante el uso de un aditivo químico llamado Conaid; en la misma se manifiesta las siguientes conclusiones: Las pruebas realizadas demuestran que al aplicar el aditivo Conaid existe la tendencia al incremento en las propiedades necesarias para garantizar un adecuado nivel de servicio: Aumento del valor soporte

relativo y de la resistencia. Se confirma una mejoría en los resultados de las pruebas CBR, con un aumento en los resultados de las pruebas de hasta el 300% en el material con aditivo con respecto al material sin aditivo.

ANGULO, Diego. En su investigación titulada: Ensayo de fiabilidad con aditivo Conaid para la estabilización del suelo en el AA. HH El Milagro. Universidad Científica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Iquitos 2016. Llegó a las siguientes conclusiones:

- Este trabajo de investigación permite verificar la mejora de las propiedades físicas y mecánicas en la carretera del AA. HH El “Milagro”, distrito de San Juan Bautista – provincia de Maynas – Loreto, mediante la estabilización de suelos utilizando el aditivo químico Conaid. La carretera en estudio ha sido evaluada tanto funcional como estructuralmente mediante la determinación de la capacidad de soporte CBR del suelo.

NÚÑEZ (2015). En su investigación titulada como “Análisis de la Estabilización del Material de Cantera Km 02+700 de la Ruta CU-123 San Jerónimo Mayubamba, con la Adición de Estabilizante Iónico” tuvo como objetivo determinar la variación de plasticidad, grado de compactación, capacidad de soporte (CBR) y costo del material de la cantera Km 02+700 de la ruta CU-123 San Jerónimo- Mayumbamba adicionando estabilizante iónico (Conaid). concluye que, demostró que al adicionar el aditivo iónico modifica la plasticidad y mejora el grado de compactación. Además, en los porcentajes del 1, 2, 3, 4%, se incrementó la capacidad de soporte CBR al 231.97% con respecto al suelo natural del material de cantera.

1.2 Situación problemática

Las arcillas crean problemas significativos en las aplicaciones civiles y especialmente en las aplicaciones de caminos o carreteras causan problemas de hundimientos y de inestabilidad de las obras; pues tienen la capacidad de mutar sus prestaciones en función de la cantidad de agua que llevan. Cuando las arcillas están en condiciones saturadas, se presentan de formas totalmente plásticas, maleables y deformables; no presentan ni

rigidez ni retorno elástico: en condiciones secas, las arcillas tienen elevadísima rigidez y se presentan deformaciones elásticas o plásticas sólo cuando se aplican cargas muy elevadas; lo anterior dicho viene a ser desventajoso en las carreteras.

Por tal motivo se van realizando el mejoramiento de estos suelos empleando diversas técnicas de estabilización; estabilizar un suelo es mejorar sus características físico mecánicas, resistencia al desgaste, al esfuerzo cortante para resistir las cargas del tránsito bajo y cualquier condición climática a lo largo del trazo de la vía que no cumplen como material de subrasante por su baja resistencia portante o su alta expansión, sobre la que se construirá el cuerpo de terraplén y el paquete estructural del pavimento.

En esta investigación se tomará en cuenta suelos arcillosos los cuales presentes en diferentes carreteras de Tarija presentan problemas en épocas de lluvia que provoca barro, en épocas de sequía se genera polvo, se alteran y cambian de volumen haciendo que la capa de rodadura no cumpla su vida útil.

1.2.1 Formulación del problema

¿De qué manera la aplicación del aditivo Conaid con diferentes porcentajes del mismo en suelos arcillosos afecta sus propiedades físico-mecánicas?

1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema

La importancia de la investigación se basa en mejorar las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos, con el propósito de que estos suelos puedan ser tomados en cuenta para presentes y futuros proyectos de la ingeniería civil e ingeniería geotécnica.

Por último, concluimos que la presente investigación sí es factible, por el hecho de que el laboratorio de la Universidad Juan Misael Saracho proporciona materiales y equipos adecuados a un costo mínimo para llevar a cabo la investigación.

1.2.3 Delimitación temporal

La investigación actual es válida hasta que cambien las condiciones del terreno del que se extrajo el material. En resumen, las propiedades físicas y mecánicas del suelo en análisis presentarán propiedades diferentes a los resultados encontrados en este proyecto.

1.2.4 Delimitación espacial

Las muestras extraídas de suelos arcillosos para el desarrollo de la investigación son procedentes de cuatro barrios de la ciudad de Tarija; como ser barrio San Blas, Los Chapacos, Miraflores, La Florida y Juan Nicolai.

1.3 Justificación de la investigación

La investigación está dirigida como un aporte investigativo a la Ingeniería Civil, que sirve para brindar mayor información sobre el mejoramiento de los suelos arcillosos mediante el uso del aditivo Conaid, para prevenir los daños y deterioros que puedan sufrir las carreteras.

La justificación de la investigación surge por la necesidad de analizar e identificar agentes químicos que brinden un mejor comportamiento en suelos arcillosos; ya que es común encontrarse con este tipo de suelos que presentan diferentes problemas como ser alta expansión, alta plasticidad, en tiempo de lluvia provocan barro; razones por las cuales se decide estabilizarlos, para mejorar sus propiedades de requerimiento, para posteriormente sobre este suelo construir un paquete estructural para un pavimento para la circulación de los vehículos.

Se pretende llevar a cabo la investigación mediante el estudio de las propiedades físico-mecánicas de suelos arcillosos, a través de un mejoramiento químico con aditivo Conaid, realizando diversos ensayos de laboratorio, que puedan demostrar que al aplicar porcentajes de Conaid se puede disminuir problemas provocados por las arcillas.

Este proyecto trae consigo beneficios técnico-económicos ya que se está presentando una alternativa de solución para mejorar y volver apto un suelo dado para usarse para subrasantes y a la vez tiene como la finalidad de que las entidades públicas y privadas tenga un criterio base para poder ser usados en futuros proyectos, que se tome en consideración para la planificación de la construcción de las carreteras.

1.4 Objetivos de investigación

A continuación, se presentan los objetivos generales y específicos.

1.4.1 Objetivo general

Analizar los suelos arcillosos con la adición del aditivo Conaid en diferentes porcentajes, para determinar su incidencia en las propiedades físico-mecánicas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar muestras de suelos arcillosos.
- Establecer la dosificación en porcentajes de suelo - Conaid.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo natural.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo con el aditivo Conaid.
- Analizar los resultados obtenidos del suelo natural y del suelo mejorado.

1.5 Hipótesis

Si, al añadir diferentes porcentajes de aditivo Conaid a los suelos arcillosos se podrá mejorar sus propiedades físico-mecánicas.

1.5.1 Identificación de variables

Se describe las variables independiente y dependiente.

1.5.2 Variable independiente:

Porcentajes de aditivo Conaid.

1.5.3 Variable dependiente:

Propiedades físico- mecánicas de suelos arcillosos.

1.5.4 Conceptualización y operacionalización de variables

En la tabla se realiza la operacionalización de variables:

Tabla 1.1 Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida
Independiente: Porcentajes de aditivo Conaid.	Conaid: Aditivo químico iónico de suelos, con una formulación química compleja, donde uno de los componentes activos es un aceite sulfonado que provee la reacción química para repeler el agua de los minerales de arcilla, haciendo que estos mejoren en cuanto a sus propiedades físicas y mecánicas.	Aditivo Conaid	Dosificación	%
Dependiente: Propiedades físico-mecánicas de suelos arcillosos.	El suelo es una mezcla de materiales sólidos, líquidos (agua) y gaseosos (aire). La proporción de los componentes de un suelo determina una serie de propiedades que se conocen como propiedades físicas o mecánicas del suelo: textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia, plasticidad.	<ul style="list-style-type: none"> - Plasticidad - Densidad máxima seca - Humedad optima - Capacidad de soporte - Expansión 	Límites de Atterberg Compactación Capacidad portante de suelo	LL LP IP % Dmax CBR % Exp %

Fuente: Elaboración propia.

1.6 Identificación del tipo de investigación

Esta investigación es de tipo experimental explicativa, porque se basa en estudiar y explicar el comportamiento de las propiedades de los suelos arcillosos en el momento en que se adiciona el aditivo Conaid.

1.7 Unidades de estudio y decisión muestral.

1.7.1 Unidad de estudio

Es el mejoramiento de propiedades físico- mecánicas de suelos arcillosos de la ciudad de Tarija mediante la adición del aditivo Conaid.

1.7.2 Población

Para el desarrollo de la investigación se toma como población de estudio los suelos arcillosos que se encuentren dentro del Departamento de Tarija.

1.7.3 Muestra

La investigación se realiza en cuatro barrios de la ciudad; donde se caracteriza 3 muestras de suelos por barrio para así obtener una muestra representativa por barrio; la finalidad de la caracterización es poder llegar a obtener 2 muestras de suelos CL y 2 muestras de suelos CH.

1.8 Métodos y técnicas empleadas.

1.8.1 Métodos

El método que se utiliza en esta investigación es empírico, donde se basó en la observación percibiendo el comportamiento de los diferentes ensayos realizados con suelo natural, incorporando porcentajes de aditivo Conaid.

1.8.2 Técnicas

La técnica de recolección de datos es por el medio de la observación científica directa, esta técnica consiste en observar atentamente el fenómeno o hecho con un objetivo claro, definido y preciso, recolectar la información y registrarla para su previo análisis.

1.9 Procesamiento de la información

Se realizaron los ensayos de laboratorio para suelo natural y para suelo con aditivo, después de realizar la parte práctica de la investigación se realiza un estudio de gabinete, cuyos resultados se les realizará críticas y autocrítico.

1.10 Alcance de la investigación

El propósito de esta investigación es evaluar el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas de los suelos arcillosos al añadir a estos diversos porcentajes de aditivo Conaid, se usó muestras clasificadas como arcillas CL y CH provenientes de 4 barrios de estudio de la ciudad de Tarija; los cuales son: Barrio Miraflores, Barrio San Blas, Barrio la Florida, Barrio San Blas y Juan Nicolai.

Se utilizó aditivo Conaid como agente químico para esta investigación con el cual se realizó el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas de suelos arcillosos de la ciudad de Tarija, mediante mezclas suelo-Conaid con muestras de suelo que presentan las características más críticas, a través de los ensayos granulometría, límites de Atterberg, compactación y relación de soporte de california CBR.

De este modo se puede optimizar el uso de una técnica muy útil para mejorar las propiedades de los suelos arcillosos de la ciudad de Tarija con aditivo Conaid, permitiendo su utilización como subrasante en la construcción de una estructura vial.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Suelos arcillosos

Se puede entender a los materiales arcillosos como aquellos que poseen una parte relevante de suelos cohesivos y que como tales condicionan su comportamiento, frente a los restantes materiales existentes en las obras o en el terreno.

Las arcillas están constituidas básicamente por silicatos de aluminio hidratados, presentando, además, en algunas ocasiones, silicatos de magnesio, hierro u otros metales, también hidratados. Estos minerales tienen, casi siempre, una estructura cristalina definida, cuyos átomos se disponen en láminas.

Es un material terroso de grano generalmente fino y capaz de convertirse en una masa plástica al mezclarse con cierta cantidad de agua. Conserva su forma inicial después del secado, adquiriendo a la vez la suficiente dureza para ser manejada. (Castillo, 2018).

Figura 2.1 Suelos arcillosos



Fuente: Juárez Badillo 2000

La arcilla no se transforma en cerámica hasta que toda el agua que contiene de manera natural y química se elimina por el calor; cuando esto sucede al cocerlo en el horno, el producto que resulta posee una dureza y un estado inalterable a veces incluso mayor que el de algunas clases de piedra. (Castillo, 2018).

2.1.1 Propiedades y clasificación de las arcillas

Las propiedades que presenta las arcillas son:

- **Plasticidad:** Al adicionar agua, puede ser moldeable y adquirir cualquier forma.
- **Merma:** Cuando el agua que le añadimos se evapora durante el secado, la pasta se encoge o merma.
- **Refractariedad:** Puede resistir diferentes temperaturas sin cambiar sus propiedades. Cada tipo de arcilla cuenta con su propio tiempo de cocción para adquirir determinada resistencia.
- **Porosidad:** Esta propiedad varía según el tipo de arcilla y de su consistencia cuando esta ha pasado por un proceso de secado y cocción.
- **Color:** Puede tener colores diversos debido a su contenido de minerales, especialmente carbonato cálcico y óxido de hierro. (Castillo, 2018).

Se pueden clasificar según diferentes aspectos. Si las evaluamos según su origen y su yacimiento pueden ser:

- **Arcillas primarias:** El yacimiento se encuentra en el mismo lugar de origen de la arcilla. Hoy en día solo se conoce el caolín como arcilla primaria.
- **Arcillas secundarias:** Luego de su formación, el yacimiento se desplaza, ya sea por fuerzas químicas o físicas. En estos encontramos la arcilla refractaria, el barro de superficie, la arcilla de bola, el caolín secundario y el gres. (Juárez Badillo,2000)

Según la estructura de sus componentes tenemos:

- Arcillas filitenses.
- Arcillas fibrosas.

Según su plasticidad pueden ser:

- Plásticas: Un claro ejemplo es la arcilla caolinítica.

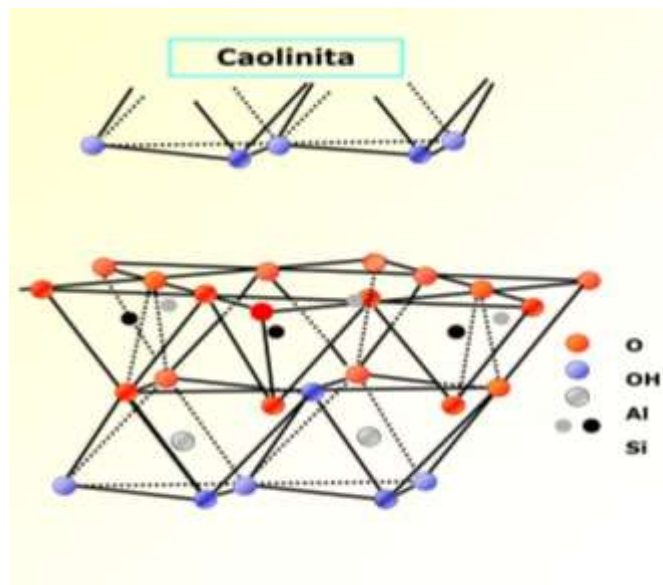
- Poco plásticas: Absorben grasas. Un ejemplo es la esméctica.
- También puedes encontrar:
- Arcillas calcáreas.
 - Arcilla con bloques
 - Arcilla de descalcificación.
 - Arcillitas (esquistos arcillosos).

2.1.2 Origen de la arcilla

- La arcilla es un silicato de aluminio hidratado, en forma de roca plástica, impermeable al agua y bajo la acción del calor se deshidrata, endureciéndose mucho. Desde el punto de vista químico está compuesta de silicio (Si), aluminio (Al), oxígeno (O) e hidrógeno (H). Las partículas que conforman la arcilla son de menos de 0,002 mm. (Juárez Badillo,2000)

La época moderna ha incorporado a las arcillas en numerosos productos de uso cotidiano a través de las nuevas tecnologías de modo que, aunque no lo percibamos, las arcillas forman parte importante de nuestras vidas. (Choque, 2012)

Figura 2.1 Partículas menores a 2 μ



Fuente: Choque, 2012

2.1.3 Las arcillas en la Ingeniería Civil

Para el desarrollo de cualquier obra civil siempre se debe tomar en cuenta el tipo de material sobre el cual se construirá debido a que las características de este material determinan el diseño estructural necesario, además se deben analizar las condiciones ambientales que intervienen en la zona de proyecto.

Para la mayor parte de actuaciones sobre el terreno, las propiedades que determinan el comportamiento de un suelo lo pueden determinarse a partir de ensayos estandarizados de laboratorio.

La mayor parte de estos ensayos se ocupan de la evaluación de parámetros tales como el contenido de humedad, permeabilidad, porosidad, densidad, forma y tamaño de las partículas, granulometría, estructura, plasticidad, capacidad de hinchamiento, etc. (Murillo Solorio, 2004)

Sin embargo, hay situaciones en las que es importante comprender por qué un suelo se comporta de la manera que lo hace antes de poder aplicar una solución geotécnica adecuada a un problema.

- La presencia de arcillas en exceso en los proyectos hace que se presente condiciones desfavorables incrementando el valor de la obra y haciendo más complejo el diseño.
- Las arcillas al perder casi por completo su resistencia al estar en contacto con el agua exigen un estricto control de los niveles freáticos del terreno, de lo contrario se podrían presentar problemas de estabilidad del suelo afectando las obras civiles de diversas maneras. Como son los asentamientos diferenciales o disminuyendo la vida útil del proyecto.
- Son fuente inagotable de problemas de estabilidad en buen número de obras, pero o constituyen por sí mismas un material de valiosas propiedades ingenieriles.
- La afinidad que las arcillas tienen con el agua es la causa principal del hinchamiento o expansión que experimentan con fuertes presiones de empuje y levantamiento cuando se saturan, por lo que inversamente se presenta altas contracciones y agrietamientos cuando se seca.

Para contrarrestar los efectos provocados por las arcillas se sugiere las siguientes soluciones:

- Adecuación de estructuras con el fin de que no permite el paso del agua hacia el suelo de fundación.
- Aplicación de aditivos que no permita que se genera algún tipo de expansión cuyo procedimiento consta en tomar porción del suelo, el cual es remodelado con alguna clase de aditivo y luego es adecuado sobre el terreno, de manera que este sea compactado.
- Reemplazar una porción del suelo arcilla por otro tipo de suelo preferiblemente de tipo granular. (Murillo Solorio, 2004)

2.2 Surgimiento de la estabilización de suelos

Desde la antigüedad el hombre se dio cuenta que al adicionarle algunos productos a los suelos mejoraban sus características y por lo tanto el rendimiento de este, pero con el transcurso de los años estos métodos fueron siendo insuficientes para hacerle frente al aumento de las cargas que debían soportar las estructuras de suelo, como también las canteras de material con adecuadas características mecánicas, capaces de resistir dichas cargas.

Esto fue ocasionado por la brutal explotación de las canteras que brindaban estos materiales lo cual ocasiono un daño irreversible al medio ambiente por lo que las entidades ambientales han reducido drásticamente el número de canteras de este tipo.

Otro factor que ha empujado al hombre a fomentar la utilización e investigación de nuevos aditivos para la estabilización de los suelos ha sido la economía, debido a que en ocasiones la distancia de acarreo y el volumen del movimiento de tierra hace a la obra antieconómica, por lo que es necesario mejorar las características del suelo existente en el lugar para lograr que los mismos logren resistir las cargas que le tributarán.

Cuando un suelo presenta resistencia suficiente para no sufrir deformaciones ni desgastes inadmisibles por la acción del uso o de los agentes atmosféricos y conserva además esta condición bajo los efectos climatológicos normales en la localidad, se dice que el suelo es estable.

El suelo natural posee a veces la composición granulométrica y la plasticidad, así como el grado de humedad necesario para que, una vez apisonado, presente las características mecánicas que lo hacen utilizable como firme de un camino.

Los suelos cuando no logran satisfacer lo expresado anteriormente es necesario estabilizarlo logrando así que cumplan los requisitos mínimos de utilización. En general puede decirse que todos los suelos pueden ser estabilizados, pero si la estabilización ha de lograrse por aportaciones de otros suelos o por medios de otros elementos (Por ejemplo, cemento, cal, cloruro de sodio) el costo de la operación puede resultar demasiado alto si el suelo que se trata de corregir no posee determinadas condiciones. (Murillo Solorio, 2004)

2.3 Características y control de suelos

El material deberá cumplir con las normas y características de calidad, a continuación, presentamos tablas en las cuales clasificamos de acuerdo al CBR., el tipo de terracerías y subrasantes:

Tabla 2.1 Categorías de suelos para terracerías y capa subrasante

Características	Suelos Tolerables	Suelos Adecuados	Suelos seleccionados
Tamaño máximo	25 % > 15 cm	< 10 cm	< 8 cm
Contenido de finos (%)	....	≤ 35	≤ 25
Límite líquido (%)	≤ 40	≤ 40	≤ 30
Índice de plasticidad (%)	....	....	≤ 10
Den. máxima seca (kg/m ³)	≥ 1450	≥ 1750	....
CBR (%)	> 3	> 5	> 10
Expansión (%)	....	< 2	0

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto IMCYC

2.4 Estabilización de suelos

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimiento mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos.

La estabilización busca principalmente la modificación o mejoramiento de alguno o varios de los siguientes parámetros: estabilidad volumétrica, resistencia, permeabilidad, compresibilidad, durabilidad. (Víctor Yepes, 2009)

Con frecuencia los suelos, no son los más adecuados para ser utilizada en una obra determinada y cuyas características obligan a tomar decisiones las cuales mencionaremos a continuación:

- Aceptar el material tal como se encuentra, pero teniendo en cuenta en el diseño las restricciones impuestas por su calidad.
- Eliminar el material insatisfactorio o abstenerse de usarlo, sustituyendo por otro de características adecuadas.
- Modificar las propiedades del material existente para hacerlo capaz de cumplir en mejor forma los requisitos deseados o, cuando menos, que la calidad obtenida sea adecuada.

2.4.1 Fundamentos para la estabilización de suelos para carreteras

La estabilización se fundamenta en el mejoramiento de las propiedades del suelo como son la estabilidad volumétrica, la resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad son las propiedades más relevantes al momento de realizar algún tipo de estabilización.

Al elegir algún tipo de producto para mejorarlas características del suelo los estudios se deben concentrar en verificar. Si mejora alguna de estas propiedades.

A continuación, se describen algunos criterios para establecer la estabilización:

- Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con $CBR = 6\%$. En caso de ser menor (subrasante pobre o subrasante inadecuada), o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, será materia de un estudio especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo.
- Cuando la capa de subrasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento

contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material anticontaminante de 10 cm. de espesor como mínimo o un geotextil.

- Para establecer un tipo de estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelo existente.

Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son: los limos, las arcillas, o las arenas limosas o arcillosas. (Ravines, 2010)

2.4.2 Ventajas de los suelos estabilizados

A continuación, presentamos las ventajas técnicas, económicas y ambientales de la estabilización.

Ventajas técnicas:

- Permiten el empleo de los suelos de la traza, mejorando sus características hasta el grado deseado.
- Proporcionan una elevada capacidad de soporte a la explanada, con lo que aumenta la vida de servicio del firme.
- Aseguran la estabilidad de la explanada, tanto por su inestabilidad al agua y a la helada, evitando así cambios de volumen por hinchamiento o retracción, como por su resistencia a la erosión.
- Disminuyen las tracciones en las capas del firme, aumentando con ello su vida útil.
- Pueden permitir el paso inmediato del tráfico de las obras.

Ventajas económicas y ambientales:

- Un mayor empleo de los suelos y otros materiales de la traza, a veces de características iniciales inadecuadas. Esto es particularmente interesante por las restricciones para el uso de préstamos y en ocasiones no existen suelos aprovechables a una distancia aceptable.
- Ahorro en el transporte de materiales.

- Acortamiento de los plazos de ejecución, dado que el proceso de incorporación del estabilizante y de mezcla de suelo con el mismo se realiza con equipos específicos de alto rendimiento.
- La obtención de cimientos de firme de mayor capacidad de soporte permite un ahorro en las capas de firme, tanto en su constitución como en su ejecución.
- Menor generación de polvos, por existir una disminución apreciable en el movimiento de tierras. (Víctor Yepes, 2009)

2.5 Tipos de estabilización de suelos

Los tipos de estabilizaciones que se realizan a diferentes suelos son:

- Estabilización mecánica
- Estabilización por combinación de suelos
- Estabilización por sustitución de suelos
- Estabilización química

2.5.1 Estabilización mecánica

Consisten en realizar el proceso de estabilización por compactación, se debe emplear este método en todas aquellas obras donde la materia prima es el suelo.

También es frecuente las mezclas de suelos para mejorar las propiedades físicas del suelo. Con este tipo de estabilización se pretende mejorar el material del suelo existente, sin la estructura y composición básica del mismo como herramienta para lograr este tipo de estabilización se utiliza la compactación, con la cual se reduce el volumen de vacíos presentes en el suelo. (Choque, 2012)

Figura 2.3 Estabilización mecánica



Fuente: Choque, 2012

2.5.2 Estabilización por combinación de suelos

La estabilización por combinación de suelo, considera la mezcla de dos o más materiales con la finalidad de obtener un material adecuado, cabe indicar que la combinación de suelos debe tener mayor incidencia los materiales de préstamo (canteras). (Choque, 2012)

Figura 2.4 Estabilización con cal y agregados



Fuente: Choque, 2012

2.5.3 Estabilización química

La estabilización química se refiere al cambio de las propiedades de suelos logrado mediante la adición de cementantes orgánicos, inorgánicos o sustancias químicas especiales. Es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto. (Castillo,2018)

Figura 2.5 Estabilización química



Fuente: Castillo, 2018

La aplicación de un estabilizador químico tiene como objetivo principal transferir al suelo tratado, en un espesor definido, ciertas propiedades tendientes a mejorar sus propiedades de comportamiento ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio.

Con cemento: Se mezcla el suelo con cemento Pórtland, lo que genera dos procesos:

- a) Los silicatos cálcicos del cemento afectan al agua convirtiéndola en alcalina. La abundancia de calcio es usada por el suelo para modificar sus cargas superficiales.
- b) Una vez que los iones de calcio son absorbidos por el suelo, el cemento se adhiere a sus partículas, para originar una cohesión que aumenta la resistencia al corte del material. Para que el proceso sea aceptable es necesario modificar la humedad del material, compactar a la máxima densidad e incorporar suficiente cemento para que se reduzca la

pérdida de peso o se produzcan cambios de volumen y humedad. Prácticamente todos los suelos pueden tratarse con este método, pero si los materiales son mal graduados se requerirá mayor cantidad de cemento para lograr el efecto deseado.

Con asfalto: Al mezclar las partículas granulares con asfalto, se produce un material más durable y resistente. También se le agregan algunas partículas finas para llenar los vacíos. Es importante el contenido de humedad del material al anexar el asfalto y también esperar a que se evaporen los gases que este contiene antes de tenderlo y compactarlo.

Con sales: Se forman a partir de la neutralización de un ácido con una base. Las sales normales tales como el cloruro de sodio (NaCl), cloruro de calcio (CaCl₂) o cloruro de potasio (KCl) son sales completamente neutralizadas, es decir que no contienen exceso de iones ácidos de hidrógeno (H⁺) ni básicos de hidróxilo (OH⁻).

Se designan como sales ácidas aquellas que contienen exceso de iones de hidrógeno, como el bicarbonato de sodio (NaHCO₃) y a las que contienen exceso de iones hidroxilo se les designa como sales básicas. En el laboratorio, se han estudiado, un gran número de sales (NaCl, CaCl₂, NaNO₃, Na₂CO₃, BaCl₂, MgCl₂, KCl) pero tanto la economía como su disponibilidad han hecho que solamente se utilicen algunas, siendo las más utilizadas el cloruro de sodio y el cloruro de calcio. (Burga, 2014)

2.6 Aditivos líquidos usados en Latinoamérica

Existen varios estudios a nivel mundial sobre aditivos para la mejora de suelos arcillosos, de los cuales se destacan los aditivos líquidos, que mejoraron el índice CBR de una subrasante de matriz arcillosa, a continuación, se menciona diferentes aditivos líquidos usados en Latinoamérica.

-Aditivo Proes: Es un estabilizante a base de aceite sulfonado, lo cual es su principal propiedad para incrementar la resistencia de los suelos arcillosos, su principal propiedad es incrementar la propiedad de los suelos arcillosos

-Aditivo Conaid: Compuesto químico complejo, especialmente diseñado para el uso vial, donde uno de sus componentes principales es un reactivo catiónico de alta valencia, que reemplaza de forma permanente los cationes débiles presentes en la capa de agua

absorbida a la partícula del suelo y que son los responsables de la inestabilidad de dicha capa.

-Aditivo Terrasil: Es un aditivo para suelos de última generación, formado al 100% por organosilanos, capaz de repeler el agua, eliminar el hinchamiento y la absorción de suelos. Es, por tanto, un agente impermeabilizante de suelos, que aporta ventajas adicionales a la estabilización tradicional de suelos.

Terrasil es un aditivo modificador de suelos compuesto al 100% por organosilanos, soluble en agua, estable al calor y la radiación ultravioleta. Su principal acción, por tanto, consiste en la impermeabilización de suelos y subsuelos

-Aditivo Consolid: Consolid 444 estabilizador es un componente líquido y el SOLIDRY Nano estabilizador es un componente en polvo. Los dos componentes se mezclan con el suelo. Líquido semiviscoso formado por la mezcla de monómeros y polímeros con catalizadores aceleradores de penetración.

-Sika Dust Seal: es un compuesto a base a biopolímeros de origen natural con excelentes propiedades aglomerantes destinadas al control de polvo en caminos no pavimentados y otras áreas sujetas a emisión de material particulado. Sika Dust Seal posee además propiedades para estabilizar suelos produciendo una superficie resistente y durable Sika Dust Seal puede ser usado en taludes y como protección contra la erosión en zonas rurales y desérticas.

2.7 Aditivo Conaid

La siguiente cita fue obtenida de un trabajo de investigación realizado por el ingeniero Javier Silva Burga para el Departamento Técnico de Tecnología de Materiales S.A. (T.D.M.) y define el aditivo:

Conaid es un compuesto químico complejo, especialmente diseñado para el uso vial, donde uno de sus componentes principales es un reactivo catiónico de alta valencia, que reemplaza de forma permanente los cationes débiles presentes en la capa de agua absorbida a la partícula del suelo y que son los responsables de la inestabilidad de dicha capa.

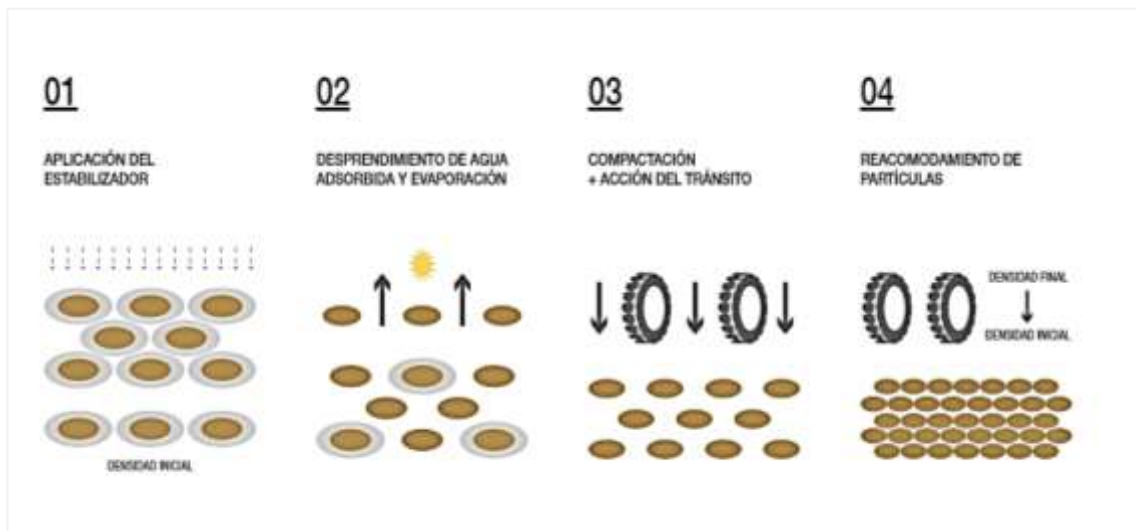
Este compuesto cambia la propiedad de absorción de agua de los suelos, de hidrofílica (ácidos de agua) a hidrófuga (repelente de agua). La estabilización iónica o electroquímica con Conaid consiste en un intercambio iónico forzado capaz de reducir la capa de "agua adsorbida" de las partículas de arcilla, mejorando su comportamiento mecánico al disminuir la plasticidad y su expansión.

Poderosas moléculas proporcionadas por el estabilizador pueden disociar fácilmente cationes débiles (como los del agua y otros metales) y reemplazarlos permanentemente.

Además, los sitios iónicos vacantes sobre las superficies de las arcillas pueden ser ahora ocupados por moléculas de Conaid.

El tratamiento del suelo con Conaid provee la acción electroquímica requerida para repeler el agua de los minerales de arcilla. (Burga, 2014)

Figura 2.6 Reacción química por ionización



Fuente: Conaid Argentina S.A., s.f.

El aditivo Conaid es un aditivo que proviene de una empresa de la ciudad de Argentina; la cual se encarga de distribuir en diferentes países, incluyendo a Bolivia; dicho aditivo se lo puede obtener a través de distribuidores localizados en diferentes países, los cuales se lo puede contactar a través de correo electrónico, o a través de número de teléfono.

2.7.1 Principales efectos de Conaid

Los principales efectos que presenta el aditivo Conaid son:

- Estabilización permanente de las partículas de arcilla. La pérdida de agua de las partículas (y por ende del suelo), ocurre debido a la realización de procesos iónicos y evaporación.
- El proceso de intercambio iónico sólo ocurre después de la compactación. Solamente después que el proceso químico ha concluido, las partículas de mineral de arcilla se acomodan íntimamente unas con otras, incrementando la capacidad de carga del suelo, a medida que pasa el tiempo y con la acción del tránsito.
- El agua que satura al material arcilloso se desprende poco a poco por efecto de capilaridad y presiones producidas por los vehículos, para quedarse en la superficie y luego evaporarse por efecto del calor.
- La duración del proceso químico depende del tipo de material que se trate y de las condiciones climáticas imperantes.
- La aplicación de Conaid permitirá el uso de una amplia gama de materiales que, previamente, no podían considerarse aptos. Esto da al ingeniero, mayor espectro para la utilización de materiales in-situ, en una o varias capas de un pavimento, reduciendo la necesidad de importación de suelos desde las canteras (tremendamente perjudiciales para el medio ambiente). (Burga, 2014)

2.7.2 Especificaciones y restricciones a la aplicabilidad de Conaid

El aditivo Conaid se aplica en los siguientes casos:

- De acuerdo a la clasificación de suelos AASHTO, los suelos apropiados para la aplicación de Conaid son (A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7) excluyendo los A-3(arenas puras).
- Conaid será aplicable en todo suelo que no sea “inerte”, es decir no es aplicable en arenas o gravas limpias. Debe existir al menos un mínimo de fracción fina cohesiva. Como regla simplificada podemos establecer que el suelo debe tener al menos un pasante tamiz 200 del 15% y esta fracción que denote algo de plasticidad (IP mayor o igual a 5).

- No obstante, en materiales con predominio de fracciones gruesas (gravas) o arenosas, se recomienda en lo posible realizar el ensayo de reactividad para determinar con exactitud si Conaid puede intercambiar iónicamente o no, con dicho suelo.
- No es aplicable en suelos con alto contenido de materia orgánica, si bien el estabilizador es aplicable, no es recomendable su uso en vías con tránsito de mediana o alta carga, dado su variabilidad volumétrica en el tiempo.
- Lo ideal es también que esta solución con estabilizador sea aplicada en al menos 2 o 3 pasadas, para minimizar los errores en la distribución.
- Conaid, No tiene fecha de caducidad o vencimiento. (Burga, 2014)

2.7.3 Condiciones técnicas necesarias

Con respeto a las condiciones técnicas necesarias para la realización de una prueba de campo, las mismas son las siguientes:

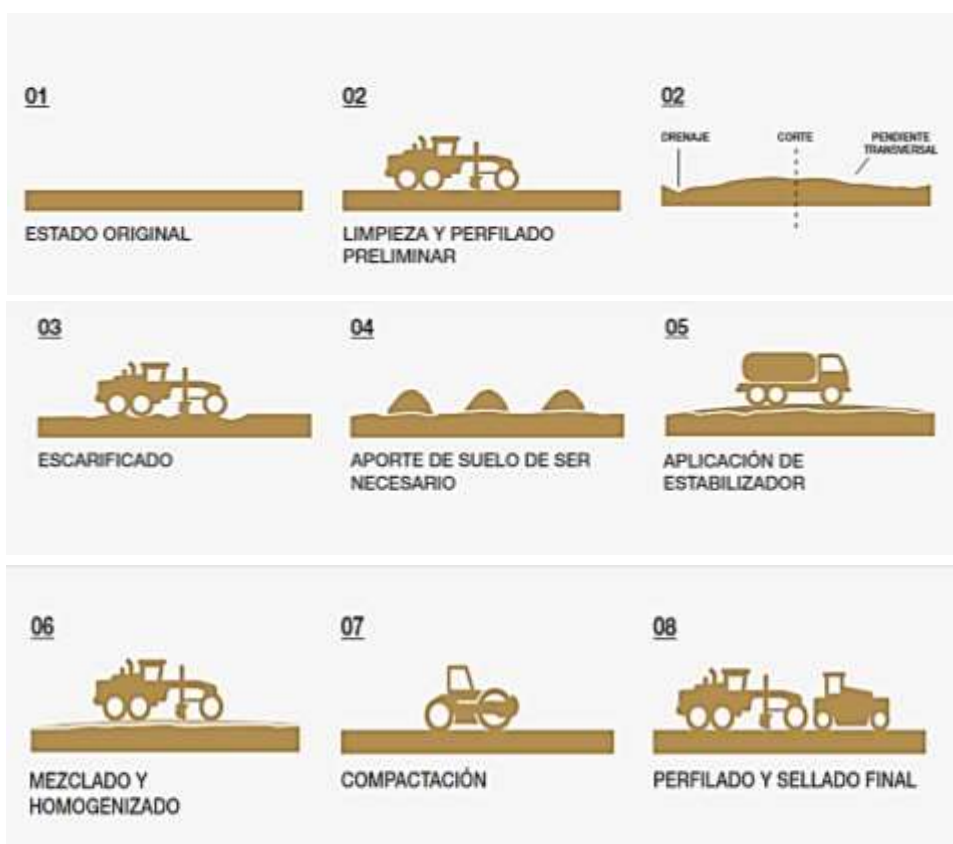
- El camino a tratar deberá encontrarse en buena condición de niveles y perfiles, contar con adecuados canales laterales de drenaje, con continuidad de escurrimiento.
- En caso de ser necesario se deberán rellenar bajos y sanear baches con suelo adecuado hasta lograr una rasante uniforme y adecuada.

Una vez que la superficie a estabilizar se encuentre en las condiciones antes dichas, las tareas a realizar son las siguientes:

- Escarificado hasta la profundidad hasta la profundidad proyectada, esta operación se realiza con motoniveladora de 140 HP o más.
- Desterronado, Se aconseja utilizar una rastra de discos vial excéntrica, con diámetro mínimo de discos de 0,50m, propulsada por un tractor de 100HP o más.
- Aplicación del agente estabilizador Conaid diluido en agua. Se requiere un camión o acoplado regador de agua de capacidad mínima de 6000lt.
- Mezclado con rastra de discos de material tratado.

- Conformado con motoniveladora del material, previo a comenzar la compactación.
 - Compactación del material con el equipo pata de cabra, para proporcionar una compactación profunda.
 - Perfilado con motoniveladora para dar pendientes transversales de proyecto.
 - Distribución del material pétreo de la carpeta de rodamiento, puede realizarse con distintos tipos de equipamiento: camiones volcadores, distribuidores de áridos, etc.
 - Sellado neumático de la carpeta de rodamiento, se realiza regando primero agua sola en cantidad suficiente para humedecer profundamente la superficie y permitir la incrustación del árido y luego con rodillo neumático o camión.
- (Burga, 2014)

Figura 2.7 Secuencia constructiva



Fuente: Conaid Argentina S.A., s.f

2.7.4 Beneficios y características de Conaid

(Bada, 2016) afirma que, "reduce problemas de mantenimiento de caminos, incrementa la resistencia de la compresión, reduce el esfuerzo de compactación, aumenta la consistencia del suelo, reduce la permeabilidad, reacción efectiva al cambio violento climatológico".

Conaid Argentina S.A. (s.f.), en sus publicaciones afirma obtener los siguientes beneficios al aplicar el producto Conaid:

Beneficios económicos: Garantiza la utilización permanente del camino, reducción de costo de construcción facilitando la compactación y uso de materiales locales, reducción de costo de mantenimiento, de la misma forma afirma que esta, se presta para su posterior pavimentación.

Beneficios técnicos: Reduce el IP, aumenta la densidad seca máxima, aumenta el valor soporte relativo y resistente a la compresión, disminuye el hinchamiento, disminuye el desprendimiento del polvo.

Beneficios en caminos rurales: Reducción de los costos de mantenimiento (50 y 70%), reducción de los espesores de afirmados o ripio por aumento de CBR de la subrasante.

Otros beneficios: Las precipitaciones no perjudican el material en desarrollo de construcción, rápido secado luego de la lluvia.

Conaid tiene las siguientes características fisico-químicas:

- Totalmente soluble en agua sin residuos sólidos.
- Anticorrosivo.
- No es inflamable.
- No es tóxico y es seguro.
- Amistoso al medio ambiente y al usuario.
- Vida útil permanente.

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

CAPÍTULO III APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1 Ubicación del proyecto

Tarija, ciudad fundada con el nombre de Villa de San Bernardo de la Frontera de Tarija, es un Municipio y una ciudad localizada al sur de Bolivia. Se encuentra ubicada en los valles bajos entre el río Nuevo Guadalquivir a 1834 msnm.

Está ubicado al extremo sur-sureste del país, limitando al este con la República del Paraguay al sur con la República Argentina, limita al norte y noroeste con el Departamento de Chuquisaca, al suroeste con el Departamento de Potosí.

Figura 3.1 Departamento de Tarija-Geografía



Fuente: Google imágenes

3.1.1 Características de las zonas de estudio

El área en estudio de esta investigación, se encuentra ubicado en el departamento de Tarija ubicada al sur del país de Bolivia, más específicamente en plena capital del departamento de Tarija que conlleva su mismo nombre, perteneciente a la provincia Cercado, el muestreo se realizó en tres barrios de la ciudad en mención los cuales son: barrio Miraflores, barrio La Florida, barrio San Blas y barrio Juan Nicolai.

Figura 3.2 Ubicación de las zonas de estudio



Fuente: Google Earth

3.2 Zonas de muestreo

Barrio Miraflores

El barrio Miraflores se encuentra ubicado dentro de la mancha urbana de la provincia Cercado de la ciudad de Tarija; en el sur con el barrio El Tejar, al este con el barrio German Busch y al oeste con el barrio San Blas; su acceso se encuentra sobre la avenida Circunvalación y 15 de Junio a unos 10 minutos del centro de la ciudad.

Ubicación de las muestras:

Tabla 3.1 Coordenadas de las muestras de Miraflores

Coordenadas UTM			
Muestras	Zona	Coordenada Este	Coordenada Norte
M-1	20K	321163,3 m E	7615619,4 m N
M-2	20K	321126,4 m E	7615619,5 m N
M-3	20K	321126,4 m E	7613634,1 m N

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.3 Ubicación del barrio Miraflores



Fuente: Google Earth

Barrio La Florida

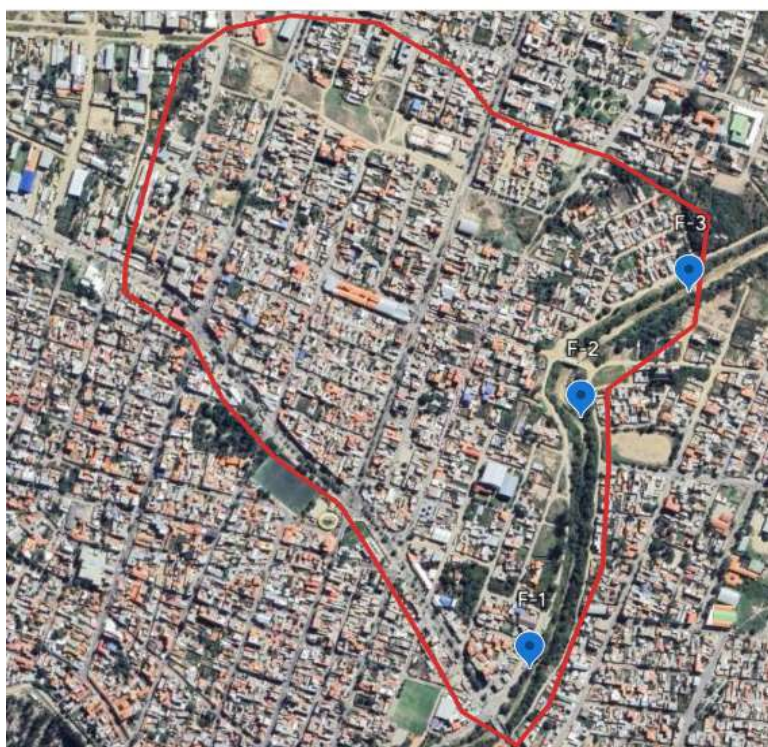
El barrio La Florida se encuentra ubicado dentro de la mancha urbana de la provincia Cercado de la ciudad de Tarija; limita en el sur con el barrio San Bernardo, al norte con el barrio 12 de Octubre y al oeste con el barrio 6 de Agosto; su acceso se encuentra sobre la avenida Circunvalación y calle Colón a lado de la quebrada El Monte, a unos 8 minutos del centro de la ciudad.

Tabla 3.2 Coordenadas de las muestras de La Florida

Coordenadas UTM			
Muestras	Zona	Coordenada Este	Coordenada Norte
M-1	20K	321345,4 m E	7619033,7 m N
M-1	20K	321506,3 m E	7619424,5 m N
M-1	20K	321301,0 m E	7619288,0 m N

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4 Ubicación del barrio La Florida



Fuente: Google Earth

Barrio San Blas

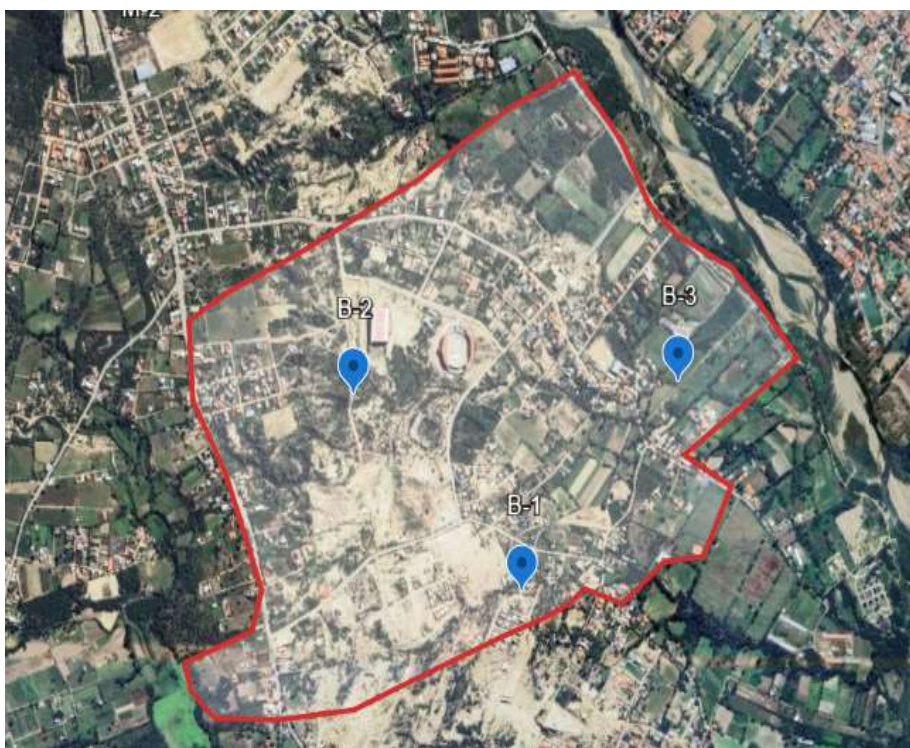
El barrio San Blas se encuentra ubicado dentro de la mancha urbana de la provincia Cercado de la ciudad de Tarija; limita en el sur con el barrio Miraflores, al norte con la urbanización la Toscana, ubicándose al lado del río Guadalquivir, sobre la avenida Felipe Palazón.

Tabla 3.3 Coordenadas de las muestras de San Blas

Coordenadas UTM			
Muestras	Zona	Coordenada Este	Coordenada Norte
B-1	20K	321695,80 m E	7613667,70 m N
B-2	20K	321696,70 m E	7614621,20 m N
B-3	20K	321682,40 m E	7614092,00 m N

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5 Ubicación del barrio San Blas



Fuente: Google Earth

Barrio Juan Nicolai

El barrio Juan Nicolai se encuentra ubicado dentro de la mancha urbana de la provincia Cercado de la ciudad de Tarija, al norte con el barrio San Pedro y al oeste con el barrio Fabril; su acceso se encuentra sobre la avenida fuerza aérea que va bordeando la quebrada San Pedro.

Tabla 3.4 Coordenadas de las muestras de Juan Nicolai

Coordenadas UTM			
Muestras	Zona	Coordenada Este	Coordenada Norte
N-1	20K	323336,40 m E	7619033,70 m N
N-2	20K	323335,90 m E	7617544,40 m N
N-3	20K	323355,40 m E	7617435,90 m N

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6 Ubicación del barrio Juan Nicolai



Fuente: Google Earth

Se optó por realizar la extracción de las muestras de estos lugares debido a que por una inspección visual se nota que existe material fino, y en los mismos cuentan con calles en las cuales la presencia de polvo debido al tráfico.

3.3 Método de muestreo

El método de muestreo que se utiliza para esta investigación es el muestreo por conveniencia, el cual es un muestreo no probabilístico, en este método de muestreo se debe de tener conocimiento de los elementos de la población y decidir cuales pueden tener mejor información y seleccionarlos por conveniencia.

Para tener conocimiento de los elementos de la población se opta por realizar el muestreo en distintas zonas de los barrios en estudio, con el fin de caracterizar los suelos provenientes de dicho muestreo para poder elegir una muestra representativa de cada barrio la cual será tratada con el aditivo Conaid.

El criterio que se utilizará para elegir la muestra representativa por barrio será el siguiente:

1. La muestra representativa de un barrio será aquella que se repita el tipo de suelo (según la clasificación AASHTO) el mayor número de veces con respecto al número de muestras extraídas de dicho barrio.
2. De las muestras que tengan similitud en su clasificación según AASHTO, es decir del grupo de muestras que tengan la misma clasificación por barrio se optará por elegir como muestra representativa a la que presente propiedades más críticas y desfavorables para que estas muestras sean tratadas con Conaid, ya que se tratará suelos CL y CH.

Se obtendrán el siguiente número de muestras:

- Barrio Miraflores: 3 muestras de distintas zonas pertenecientes al barrio.
- Barrio La Florida: 3 muestras de distintas zonas pertenecientes al barrio.
- Barrio San Blas: 3 muestras de distintas zonas pertenecientes al barrio.
- Barrio Juan Nicolai: 3 muestras de distintas zonas pertenecientes al barrio.

La segunda etapa es realizada en el laboratorio de suelos de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”, donde se realizarán todas las pruebas necesarias con los materiales y equipos adecuados, para un posterior procesamiento y análisis de resultados.

3.4 Obtención de las muestras

Se realizó una extracción representativa para poder determinar de una forma efectiva las propiedades de los suelos en estudio. Para la extracción del material se utilizó una pala, picota, bolsas de yute y de plástico.

Se quitó el material seco y suelto de la superficie para obtener un material fresco, se excavo de una manera uniforme desde la parte superior hasta el fondo, por último, se depositó el material en las bolsas de yute para posteriormente identificarlas y llevarlas al laboratorio de suelos.

3.5 Identificación de muestras

Muestra del barrio Miraflores:

- Muestra M-1
- Muestra M-2
- Muestra M-3

Muestra del barrio La Florida:

- Muestra F-1
- Muestra F-2
- Muestra F-3

Muestra del barrio San Blas:

- Muestra B-1
- Muestra B-2
- Muestra B-3

Muestra del barrio Juan Nicolai:

- Muestra N-1
- Muestra N-2
- Muestra N-3

3.6 Caracterización del material

A continuación, se desarrollará la caracterización de las muestras de suelos en estudio para luego poder elegir las muestras representativas de cada barrio.

3.6.1 Contenido de humedad de la muestra (ASTM D2216)

El contenido de humedad del suelo es una de las propiedades más significativas que se emplea para establecer una correlación entre el comportamiento de dichos suelos con otras propiedades índices, es un valor que determina la cantidad de agua en una cierta cantidad conocida de suelo; puede expresarse como porcentaje, agua por peso o volumen, o pulgadas de agua por pie de suelo.

Figura 3.7 Determinación del contenido de humedad.



Pesado de taras y dispuestas en una fuente para ser secadas al horno.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5 Resultados de ensayos de contenido de humedad.

Muestra		Contenido de humedad
Miraflores	M-1	4,88
	M-2	5,32
	M-3	5,50
La Florida	F-1	8,60
	F-2	7,76
	F-3	8,25
San Blas	B-1	4,48
	B-2	6,91
	B-3	6,21
Juan Nicolai	N-1	3,40
	N-2	4,30
	N-3	5,29

Fuente: Elaboración propia

3.6.2 Granulometría de suelos (ASTM D422 - AASHTO T88)

El ensayo o análisis granulométrico consiste en la medición y gradación de los granos o partículas constitutivas de una muestra de suelo o formación sedimentaria con el fin de determinar sus propiedades mecánicas, cálculos de abundancia.

Figura 3.8 Método del lavado



Lavado y tamizado de las muestras de suelos.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la granulometría pueden expresarse en forma gráfica en un sistema de coordenadas ortogonales; en las abscisas, a escala logarítmica, se indican las aberturas de los tamices y en las ordenadas, a escala lineal, los valores de los porcentajes que pasan en cada tamiz, obtenidos de acuerdo a lo calculado en porcentaje del retenido en cada tamiz.

Tabla 3.6 Resultados de análisis granulométrico por tamizado método de lavado

Muestra		Granulometría % que pasa del total		
		Nº40	Nº100	Nº200
Miraflores	M-1	99,32	96,87	89,29
	M-2	98,99	96,38	88,01
	M-3	99,75	93,58	76,23
La Florida	F-1	99,76	96,12	90,06
	F-2	99,32	96,87	89,28
	F-3	99,44	93,22	83,00
San Blas	B-1	99,88	99,43	97,01
	B-2	99,84	99,01	90,06
	B-3	99,44	97,22	91,99
Juan Nicolai	N-1	99,85	99,55	97,19
	N-2	99,87	99,54	98,06
	N-3	99,88	99,33	97,67

Fuente: Elaboración propia

3.6.3 Determinación del límite líquido (ASTM D4318 - AASHTO T89)

Porcentaje de contenido de humedad con que un suelo cambia, al disminuir su humedad, de la consistencia líquida a la plástica, o, al aumentar su humedad, de la consistencia plástica a la líquida.

Figura 3.9 Determinación de límite líquido



Proceso de obtención de límite líquido de las muestras de suelos

Fuente: Elaboración propia

3.6.4 Límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D4318 - AASHTO T90)

Porcentaje de contenido de humedad con que un suelo cambia al disminuir su humedad de la consistencia plástica a la semisólida, o, al aumentar su humedad, de la consistencia semisólida a la plástica. El límite plástico es el límite inferior del estado plástico. El índice de plasticidad es la diferencia del porcentaje de humedad del límite líquido y el límite plástico del mismo material analizado.

Figura 3.10 Determinación de límite plástico



Obtención de límite plástico de las muestras de suelos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7 Resultados de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

Muestras		Límites de consistencia (%)		
		LL	LP	IP
Miraflores	M-1	34,00	22,00	12,00
	M-2	36,00	24,00	12,00
	M-3	34,00	21,00	13,00
La Florida	F-1	46,00	32,00	14,00
	F-2	39,00	28,00	11,00
	F-3	44,00	25,00	19,00
San Blas	B-1	40,00	23,00	17,00
	B-2	50,00	27,00	23,00
	B-3	52,00	30,00	22,00
Juan Nicolai	N-1	51,00	29,00	22,00
	N-2	56,00	27,00	29,00
	N-3	60,00	29,00	31,00

Fuente: Elaboración propia

3.6.5 Clasificación del suelo

En función a la granulometría por lavado, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad se determina la clasificación del suelo en base a dos normativas que son:

- Sistema de clasificación AASTHO
- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Tabla 3.8 Clasificación de los suelos según ASSTHO y SUCS

Muestras		ASSTHO	SUCS	Descripción
Miraflores	M-1	A-6(9)	CL	Suelos arcillosos de baja a mediana plasticidad.
	M-2	A-6(9)	CL	Suelos arcillosos de baja a mediana plasticidad.
	M-3	A-6(10)	CL	Suelos arcillosos de baja a mediana plasticidad.
La Florida	F-1	A-7-6(11)	CL	Suelos arcillosos de baja a mediana plasticidad.
	F-2	A-6(9)	CL	Suelos arcillosos de baja a mediana plasticidad.
	F-3	A-7-6(13)	CL	Suelos arcillosos de baja a mediana plasticidad.
San Blas	B-1	A-6(11)	CL	Suelos arcillosos de baja a mediana plasticidad.
	B-2	A-7-6(16)	CH	Suelos arcillosos de alta plasticidad.
	B-3	A-7-6(16)	CH	Suelos arcillosos de alta plasticidad.
Juan Nicolai	N-1	A-7-6(15)	CH	Suelos arcillosos de alta plasticidad.
	N-2	A-7-6(19)	CH	Suelos arcillosos de alta plasticidad.
	N-3	A-7-6(20)	CH	Suelos arcillosos de alta plasticidad.

Fuente: Elaboración propia

3.7 Selección de muestras a estabilizar

A continuación, se presenta la selección de muestras de cada barrio:

Barrio Miraflores

Tabla 3.9 Resultados de caracterización física del suelo natural del barrio Miraflores

Muestra	Granulometría % que pasa del total			Límites			Clasificación		
	N°40	N°100	N°200	LL	LP	IP	ASSTHO	SUCS	
Miraflores	M-1	99,32	96,87	89,29	34,00	22,00	12,00	A-6(9)	CL
	M-2	98,99	96,38	88,01	36,00	24,00	12,00	A-6(9)	CL
	M-3	99,75	93,58	76,23	34,00	21,00	13,00	A-6(10)	CL

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la tabla 3.9, el tipo de suelo que se repite en el barrio Miraflores es el suelo A-6, el cual da como resultado en las tres muestras. Por lo tanto, se elegirá como muestra

representativa del barrio Miraflores una de las muestras que dieron como resultado según la clasificación AASHTO un suelo A-6.

Basándose en los criterios previamente propuestos se elegirá como muestra representativa del barrio Miraflores, la cual es perteneciente a la muestra M-2 con un límite líquido igual a 36%; y a la vez presentando el IP bajo de 12%

Barrio La Florida

Tabla 3.10 Resultados de caracterización física del suelo natural del barrio La Florida

Muestra		Granulometría % que pasa del total			Límites			Clasificación	
		Nº40	Nº100	Nº200	LL	LP	IP	ASSTHO	SUCS
La Florida	F-1	99,76	96,12	90,06	46,00	32,00	14,00	A-7-6(11)	CL
	F-2	99,32	96,87	89,28	39,00	28,00	11,00	A-6(9)	CL
	F-3	99,44	93,22	83,00	44,00	25,00	19,00	A-7-6(13)	CL

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la tabla 3.10, el tipo de suelo que más se repite en el barrio La Florida es el suelo A-7, el cual da como resultado en dos muestras.

Por lo tanto, se elegirá como muestra representativa del barrio La Florida una de las muestras que dieron como resultado según la clasificación AASHTO un suelo A-7-6(11).

Basándose en los criterios previamente propuestos se elegirá como muestra representativa del barrio La Florida, la cual es perteneciente a la muestra F-1 con un límite líquido de 46%, y a la vez siendo una muestra con valores críticos presentando un límite de 46% con un IP igual a 14%.

Barrio San Blas

Tabla 3.11 Resultados de caracterización física del suelo natural del barrio San Blas

Muestra		Granulometría % que pasa del total			Límites			Clasificación	
		Nº40	Nº100	Nº200	LL	LP	IP	ASSTHO	SUCS
San Blas	B-1	99,88	99,43	97,01	40,00	23,00	17,00	A-6(11)	CL
	B-2	99,84	99,01	90,06	50,00	27,00	23,00	A-7-6(16)	CH
	B-3	99,44	97,22	91,99	52,00	30,00	22,00	A-7-6(16)	CH

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la tabla 3.11 el tipo de suelo que más se repite en el barrio San Blas es el suelo A-7, el cual da como resultado en dos muestras. Por lo tanto, se elegirá como muestra representativa del barrio San Blas una de las muestras que dieron como resultado según la clasificación AASHTO un suelo A-7-6(16). Basándose en los criterios previamente propuestos se elegirá como muestra representativa del barrio San Blas, la cual es perteneciente a la muestra B-3 con un límite líquido de 52%, presentando un IP de 22%.

Barrio Juan Nicolai

Tabla 3.12 Resultados de caracterización física del suelo natural del barrio Juan Nicolai

Muestra		Granulometría % que pasa del total			Límites			Clasificación	
		Nº40	Nº100	Nº200	LL	LP	IP	ASSTHO	SUCS
Juan Nicolai	N-1	99,85	99,55	97,19	51,00	29,00	22,00	A-7-6(15)	CH
	N-2	99,87	99,54	98,06	56,00	27,00	29,00	A-7-6(19)	CH
	N-3	99,88	99,33	97,67	60,00	29,00	31,00	A-7-6(20)	CH

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la tabla 3.12, el tipo de suelo que más se repite en el barrio La Florida es el suelo A-7, el cual da como resultado en dos muestras. Por lo tanto, se elegirá como muestra representativa del barrio Juan Nicolai una de las muestras que dieron como resultado según la clasificación AASHTO un suelo A-7-6(20).

Basándose en los criterios previamente propuestos se elegirá como muestra representativa del barrio Juan Nicolai, la cual es perteneciente a la muestra N-3 con un límite líquido de 60%, presentando un IP de 31%.

3.8 Resumen de los suelos a ser tratados

En la siguiente tabla se presentan los suelos a ser tratados con Conaid:

Tabla 3.13 Suelos a ser tratados con Conaid

Muestra	Granulometría % que pasa del total			Límites de consistencia			Clasificación	
	Nº40	Nº100	Nº200	LL	LP	IP	AASHTO	SUCS
Miraflores	98,99	96,38	88,01	36,00	24,00	12,00	A-6(9)	CL
La Florida	99,76	96,12	90,06	46,00	32,00	14,00	A-7-6(11)	CL
San Blas	99,44	97,22	91,99	52,00	30,00	22,00	A-7-6(16)	CH
Juan Nicolai	99,88	99,33	97,67	60,00	29,00	31,00	A-7-6(20)	CH

Fuente: Elaboración propia

Una vez elegidas las muestras a tratar, se procede a realizar los ensayos (Compactación y CBR) a estas cuatro muestras para posteriormente comparar la influencia de Conaid en sus propiedades físicas y mecánicas de estos suelos.

3.9 Caracterización mecánica

3.9.1 Ensayo de compactación (Proctor modificado) (AASHTO T180)

Se emplea para determinar la relación densidad seca – humedad de compactación de los materiales a utilizar en explanadas y en capas de firmes, y como referencia para el control de calidad de la compactación en obra.

Figura 3.11 Ensayo de compactación



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.14 Resultados de los ensayos de compactación

Muestra	Compactación	
	D.max gr/cm ³	CHO %
Miraflores (M-2)	1,85	16,43
La Florida (F-1)	1,77	17,43
San Blas (B-3)	1,70	18,40
Juan Nicolai (N-3)	1,64	18,54

Fuente: Elaboración propia

3.9.2 Relación de soporte del suelo (CBR) (ASTM D1883 - AASHTO T193)

Este ensayo se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de suelos de subrasante, con el contenido óptimo de humedad y la densidad máxima compactada seca de acuerdo con los métodos del ensayo Proctor.

Figura 3.12 Preparación de suelo y compactación



Proceso de compactación del suelo

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13 Expansión y resistencia de probetas



Proceso de saturación y penetración de muestras

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.15 Resultados de los ensayos de CBR

Muestra	Compactación		CBR	Expansión %
	D. max gr/cm ³	CHO %	95%	
Miraflores (M-2)	1,85	16,43	3,00	3,25
La Florida (F-1)	1,77	17,43	2,00	3,35
San Blas (B-3)	1,70	18,40	3,00	2,84
Juan Nicolai (N-3)	1,64	18,54	2,00	3,16

Fuente: Elaboración propia

3.10 Mejoramiento de suelo con aditivo Conaid

Una vez determinado todas las características de los suelos naturales, se desarrolla el estudio de las muestras mejoradas con aditivo Conaid, el cual es analizado a partir de los ensayos de granulometría, límites de consistencia, compactación, Razón Soporte de California (CBR).

Lo que se busca es mejorar propiedades de los suelos; lograr compactaciones dentro de la norma con menos pasadas mejorando el manejo del suelo para rangos más amplios de humeada óptima de compactación, reducción de expansividad reteniendo finos a largo plazo lo que produce menos grietas y baches, en dosis adecuadas puede incrementar los valores de CBR.

Para esto se someterá a cada muestra con 5 diferentes dosificaciones de aditivo Conaid para determinar cómo varía su evolución entre una y otra prueba y con el análisis de todas las mezclas realizadas determinar un valor óptimo.

3.10.1 Dosificación

La finalidad de la dosificación es determinar la cantidad de aditivo Conaid capaz de garantizar una mezcla con permanencia de sus características físico mecánicas mejoradas. Se propone una dosificación experimental en donde se utiliza varios contenidos de aditivo para la preparación de las mezclas, para posteriormente someterlas a ensayos de granulometría, límites, compactación y CBR; estas dosificaciones son obtenidas de acuerdo a la recomendación del aditivo y también a experiencias de otros investigadores.

Entonces se propone 5 dosificaciones diferentes de Conaid que serán aplicadas a cada una de las muestras.

Las dosificaciones están referidas siempre al peso del suelo seco, y son las siguientes:

% de aditivo Conaid utilizado	0,5	1	1,5	2,5	3
-------------------------------	-----	---	-----	-----	---

3.10.2 Preparación de mezclas de prueba con dosificaciones de aditivo Conaid

Después de haber obtenido los resultados de la caracterización de los suelos naturales se procederá a la mezcla del suelo con el aditivo Conaid en dosificaciones establecidas anteriormente, luego del mezclado se realiza los mismos ensayos que se ejecutaron en la caracterización de los suelos naturales, donde se obtendrá resultados que posteriormente serán analizados.

Para la preparación de la mezcla suelo-aditivo Conaid, es necesario que el suelo se encuentre suelto y pase por los tamices especificados para cada ensayo, a la vez es importante conocer el contenido de humedad a la que se encuentra el suelo antes de la adición del aditivo, esto puede conocerse por diferentes métodos, otra opción es que el suelo se lo deje secar al horno, pero no es muy recomendable dejarlo más de 24 horas, esto porque el suelo puede sufrir algunas alteraciones al entrar en calor, por lo que se trabajó a partir del contenido de humedad a la que se encontraba el suelo. Para el cálculo del agua de compactación necesaria a colocarse, depende de la humedad óptima de compactación que se obtiene a través de un ensayo Proctor.

En ese volumen de agua calculada se colocará el estabilizador iónico Conaid de acuerdo a la cantidad de agua debidamente calculada.

Las siguientes fórmulas indican el procedimiento para obtener la cantidad de aditivo Conaid de acuerdo al peso de suelo seco.

Cálculo del aditivo Conaid

Las siguientes fórmulas indican el procedimiento para obtener la cantidad de aditivo Conaid a usar:

Contenido de humedad de suelo natural

$$w = \frac{P_a}{P_{ss}} * 100(\%)$$

Donde:

w= Contenido de humedad en porcentaje (%)

Pa= Peso del agua presente en el suelo (gr)

Pss= Peso del suelo después de secar al horno (gr)

- Peso del agua presente en la muestra de suelo

$$W = \frac{w * P_m}{100}$$

Donde:

W= Peso del agua presente en el suelo para una muestra de peso Pm (gr)

Pm= Peso de la muestra de suelo (gr)

w= Contenido de humedad (%)

- Peso del suelo seco de la muestra

$$P_{ssm} = P_m * W$$

Donde:

Pssm= Peso suelo seco de la muestra (gr)

Pm= Peso de la muestra (gr)

W= Peso del agua presente en la muestra de suelo (gr)

- Cantidad de aditivo a usar para cada ensayo

$$C_c = \frac{d * P_{ssm}}{D_{s.d.s.}}$$

Donde:

Cc= Cantidad de aditivo a añadir (lt)

d= Dosificación de aditivo Conaid (%)

Pssm= Peso del suelo seco de la muestra en (Kg)

Ds.d.s.= Densidad de aditivo Conaid en (kg/dm³)

3.11 Caracterización del suelo con aditivo Conaid

La caracterización en base a límite líquido, límite plástico, granulometría, compactación y relación de soporte tiene el mismo procedimiento que se dio a conocer en parte de caracterización de los suelos naturales. Con la dosificación establecida de 0,5 – 3 % se prepara el material para cada tipo de suelo, calculando la cantidad del aditivo y suelo que se necesita en cada ensayo.

Figura 3.14 Medición del aditivo



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta tablas de resultados obtenidos de muestras adicionadas con los porcentajes de aditivo Conaid; las cuales son analizadas en el próximo capítulo.

- Resultados de granulometría, límites de consistencia con aditivo Conaid

Tabla 3.16 Resultados de granulometría, límites de consistencia con aditivo Conaid

Muestras	Dosificación %	Granulometría % que pasa del total			Límites de consistencia		
		Nº40	Nº100	Nº200	LL	LP	IP
Miraflores A-6 M-2	0	98,99	96,38	88,01	36,00	24,00	12,00
	0,5	98,99	96,38	88,01	35,00	24,00	11,00
	1	98,99	96,38	88,01	34,00	23,00	11,00
	1,5	98,99	96,38	88,01	32,00	22,00	10,00
	2,5	98,99	96,38	88,01	31,00	20,00	11,00
	3	98,99	96,38	88,01	34,00	21,00	13,00
La Florida A-7-6 F-1	0	99,76	96,12	90,06	46,00	32,00	14,00
	0,5	99,76	96,12	90,06	44,00	33,00	11,00
	1	99,76	96,12	90,06	43,00	32,00	11,00
	1,5	99,76	96,12	90,06	42,00	33,00	9,00
	2,5	99,76	96,12	90,06	39,00	31,00	8,00
	3	99,76	96,12	90,06	40,00	31,00	9,00
San Blas A-7-6 B-3	0	99,88	99,43	97,01	52,00	30,00	22,00
	0,5	99,88	99,43	97,01	51,00	30,00	21,00
	1	99,88	99,43	97,01	50,00	29,00	21,00
	1,5	99,88	99,43	97,01	48,00	27,00	21,00
	2,5	99,88	99,43	97,01	46,00	26,00	20,00
	3	99,88	99,43	97,01	51,00	27,00	24,00
Juan Nicolai A-7-6 N-3	0	99,85	99,55	97,19	60,00	29,00	31,00
	0,5	99,85	99,55	97,19	59,00	28,00	31,00
	1	99,85	99,55	97,19	57,00	27,00	30,00
	1,5	99,85	99,55	97,19	55,00	26,00	29,00
	2,5	99,85	99,55	97,19	53,00	24,00	29,00
	3	99,85	99,55	97,19	51,00	23,00	28,00

Fuente: Elaboración propia

- Resultados compactación y CBR con aditivo Conaid

Tabla 3.17 Resultados de compactación y CBR con aditivo Conaid

Muestra	Dosificación %	Compactación		CBR		Expansión %
		D. max gr/cm ³	CHO %	100%	95%	
Miraflores A-6 M-2	0	1,85	16,43	3,00	2,00	3,25
	0,5	1,86	16,02	4,00	3,00	3,10
	1	1,88	15,58	4,00	4,00	2,75
	1,5	1,92	15,10	7,00	6,00	2,36
	2,5	1,95	14,99	10,00	9,00	0,94
	3	1,88	16,14	8,00	7,00	1,72
La Florida A-7-6 F-1	0	1,77	17,43	3,00	2,00	3,35
	0,5	1,81	16,29	4,00	3,00	3,18
	1	1,85	16,02	4,00	4,00	2,92
	1,5	1,88	15,08	6,00	5,00	1,87
	2,5	1,92	14,08	10,00	9,00	1,32
	3	1,86	16,21	7,00	6,00	1,13
San Blas A-7-6 B-3	0	1,70	18,40	3,00	3,00	2,84
	0,5	1,72	17,58	4,00	3,00	2,37
	1	1,74	16,50	5,00	4,00	1,89
	1,5	1,76	16,56	7,00	6,00	1,76
	2,5	1,84	15,10	9,00	7,00	1,03
	3	1,74	16,01	7,00	6,00	1,75
Juan Nicolai A-7-6 N-3	0	1,64	18,54	3,00	2,00	3,16
	0,5	1,69	18,02	3,00	2,00	2,85
	1	1,72	17,80	4,00	3,00	2,44
	1,5	1,78	17,51	6,00	5,00	1,98
	2,5	1,80	16,01	8,00	7,00	1,20
	3	1,86	14,40	10,00	8,00	0,95

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS DE RESULTADOS

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.1 Análisis de resultados de los ensayos de suelo-aditivo Conaid

Se analiza el comportamiento del suelo con adición del aditivo a distintos porcentajes que se utilizó. Se analizarán las pruebas de granulometría, los límites de consistencia, Compactación y CBR.

4.1.2 Análisis de los límites de consistencia y plasticidad por cada barrio

Las pruebas de límites de consistencia fueron realizadas para cada punto de aditivo. El resumen de resultados se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 4.1 Límites de consistencia del suelo a diferentes porcentajes de Conaid

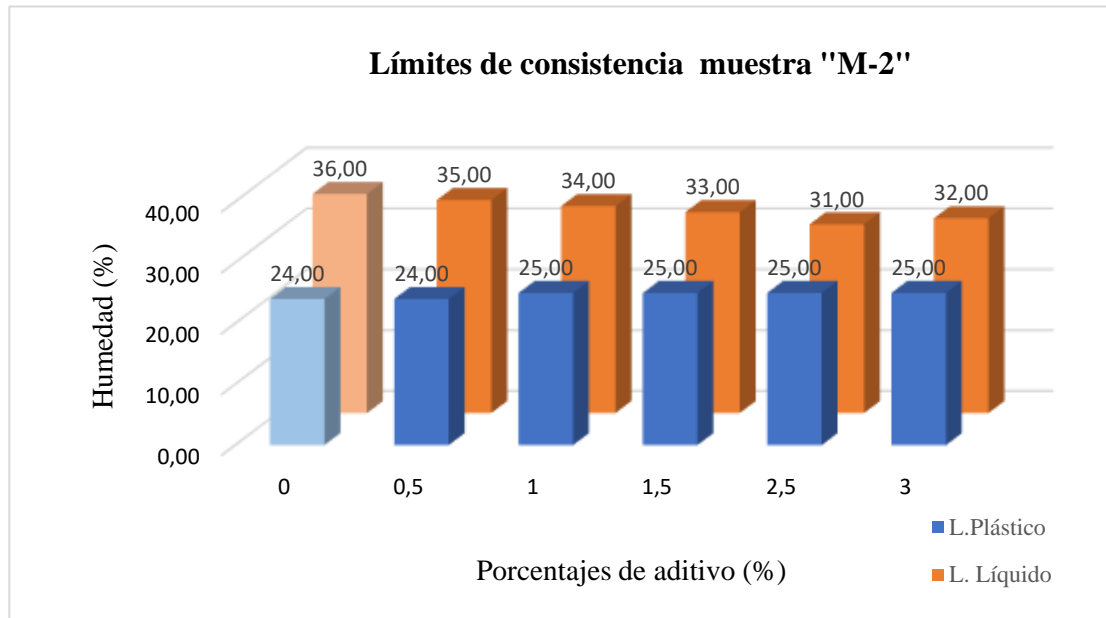
Muestra	Dosificación %	Límites de consistencia		
		LL	LP	IP
Miraflores A-6 M-2	0	36,00	24,00	12,00
	0,5	35,00	24,00	11,00
	1	34,00	23,00	11,00
	1,5	32,00	22,00	10,00
	2,5	31,00	20,00	11,00
	3	34,00	21,00	13,00
La Florida A-7-6 F-1	0	46,00	32,00	14,00
	0,5	44,00	33,00	11,00
	1	43,00	32,00	11,00
	1,5	42,00	33,00	9,00
	2,5	39,00	31,00	8,00
	3	40,00	31,00	9,00
San Blas A-7-6 B-3	0	52,00	30,00	22,00
	0,5	51,00	30,00	21,00
	1	50,00	29,00	21,00
	1,5	48,00	27,00	21,00
	2,5	46,00	26,00	20,00
	3	51,00	27,00	24,00
Juan Nicolai A-7-6 N-3	0	60,00	29,00	31,00
	0,5	59,00	28,00	31,00
	1	57,00	27,00	30,00
	1,5	55,00	26,00	29,00
	2,5	53,00	24,00	29,00
	3	51,00	23,00	28,00

Fuente: Elaboración propia

Barrio Miraflores

En la siguiente gráfica se representa el contenido de humedad (%) versus el porcentaje de aditivo Conaid.

Figura 4.1 Influencia de Conaid en límites de consistencia del suelo A-6(9) del barrio Miraflores



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.1 se puede observar una reducción en el límite líquido, a medida que aumenta el porcentaje de aditivo hasta un 2,5% de aditivo Conaid; mientras que el límite plástico aumenta en pequeñas cantidades.

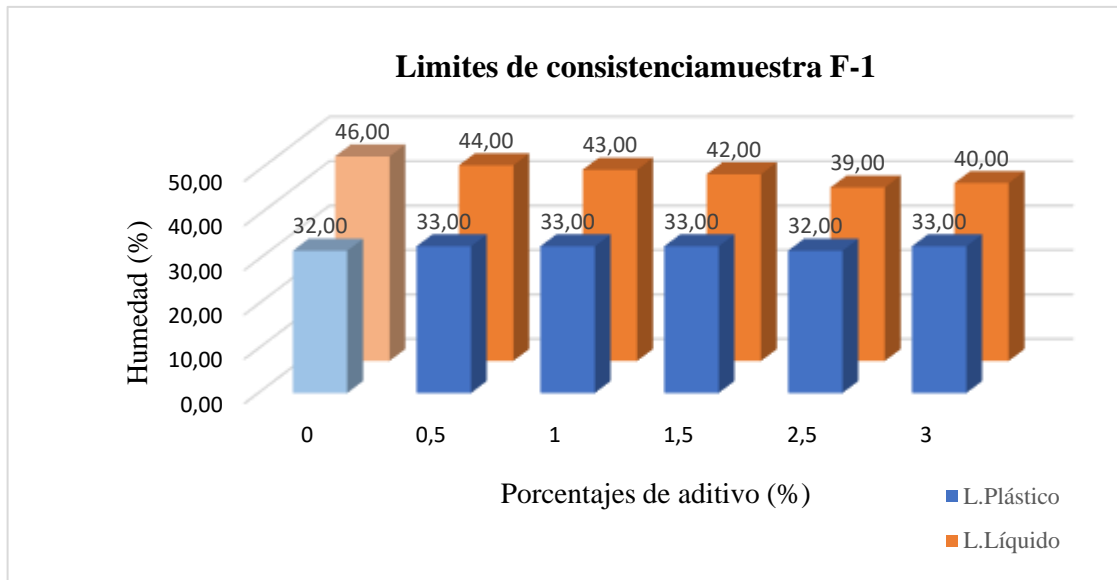
Con la adición del 2,5% (porcentaje óptimo de dosificación) de Conaid, el límite líquido disminuye de 36% a 31%; mientras que el límite plástico aumenta de 24% a 25%.

Como consecuencia de ambas alteraciones tanto del límite líquido y límite plástico, se da una reducción del índice de plasticidad de 12% en el suelo natural, hasta alcanzar un valor de 6% en el suelo mejorado; reduciendo un porcentaje de 50% respecto al índice de plasticidad inicial.

Barrio La Florida

En la siguiente gráfica se representa el contenido de humedad (%) versus el porcentaje de aditivo Conaid.

Figura 4.2 Influencia de Conaid en límites de consistencia del suelo A-7-6(11) del barrio La Florida



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.2 se puede observar una reducción en el límite líquido, a medida que aumenta el porcentaje de aditivo hasta un 2,5% de aditivo Conaid; mientras que el límite plástico aumenta en pequeñas cantidades, las cuales no son muy significativas.

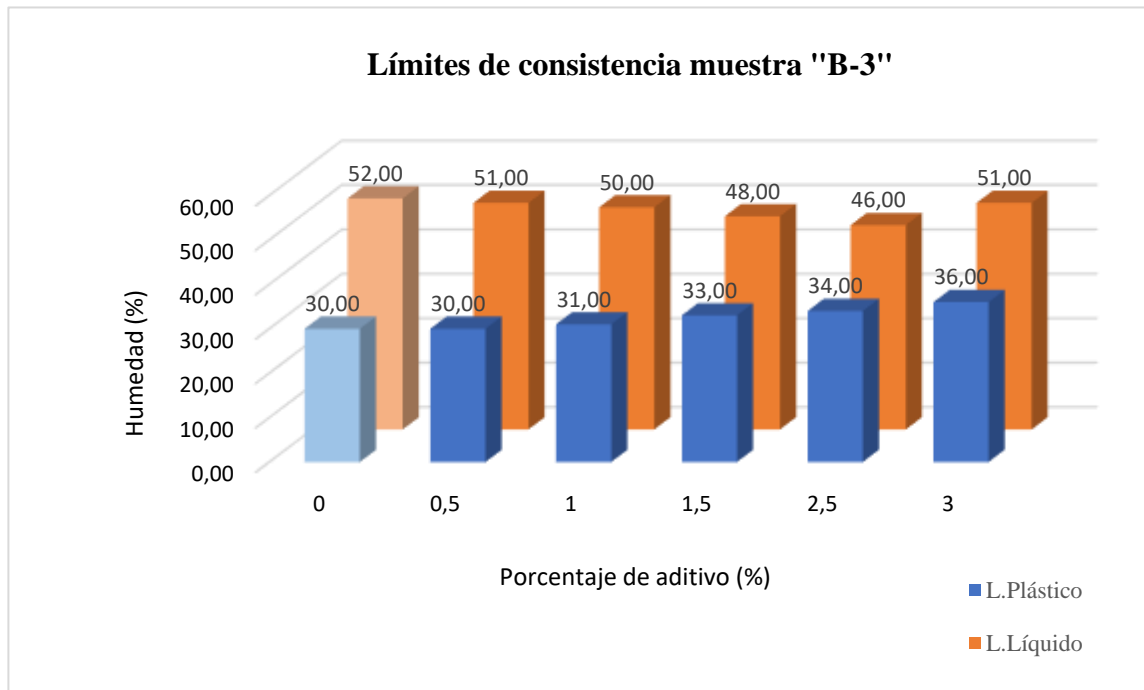
Con la adición del 2,5% (porcentaje óptimo de dosificación) de Conaid el límite líquido disminuye de 46% a 39%; mientras que el límite plástico aumenta de 32% a 34%.

Como consecuencia de ambas alteraciones tanto del límite líquido y límite plástico, se da una reducción del índice de plasticidad de 14 en el suelo natural, hasta alcanzar un valor de 7% en el suelo estabilizado; reduciendo un porcentaje de 50% respecto al índice de plasticidad inicial.

Barrio San Blas

En la siguiente gráfica se representa el contenido de humedad (%) versus el porcentaje de aditivo Conaid.

Figura 4.3 Influencia de Conaid en límites de consistencia del suelo A-7-6(16) del barrio San Blas



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.3 se puede observar una reducción en el límite líquido, a medida que aumenta el porcentaje de aditivo hasta un 2,5% de aditivo Conaid; mientras que el límite plástico aumenta en pequeñas cantidades, las cuales no son muy significativas.

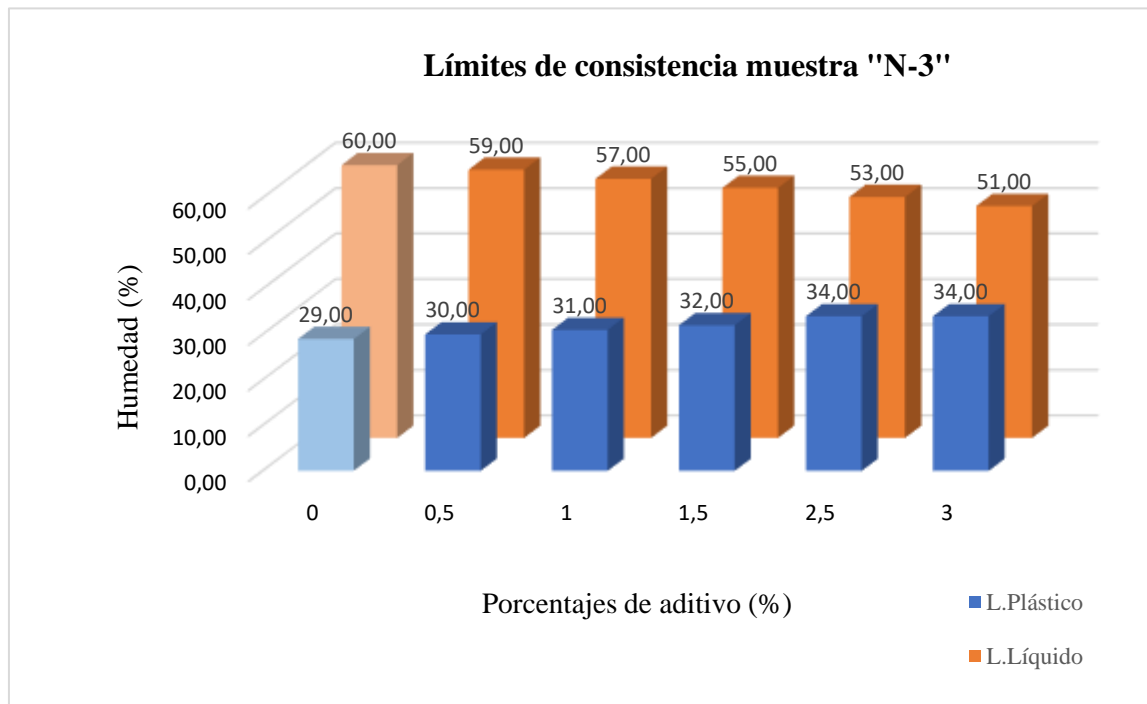
Con la adición del 2,5% (porcentaje óptimo de dosificación), el límite líquido disminuye de 52% a 46%; mientras que el límite plástico aumenta de 30% a 34%.

Como consecuencia de ambas alteraciones tanto del límite líquido y límite plástico, se da una reducción del índice de plasticidad de 22% en el suelo natural, hasta alcanzar un valor de 12% en el suelo estabilizado; reduciendo un porcentaje de 45% respecto al índice de plasticidad inicial.

Barrio Juan Nicolai

En la siguiente gráfica se representa el contenido de humedad (%) versus el porcentaje de aditivo.

Figura 4.4 Influencia de Conaid en límites de consistencia del suelo A-7-6(20) del barrio Juan Nicolai



Fuente: Elaboración propia

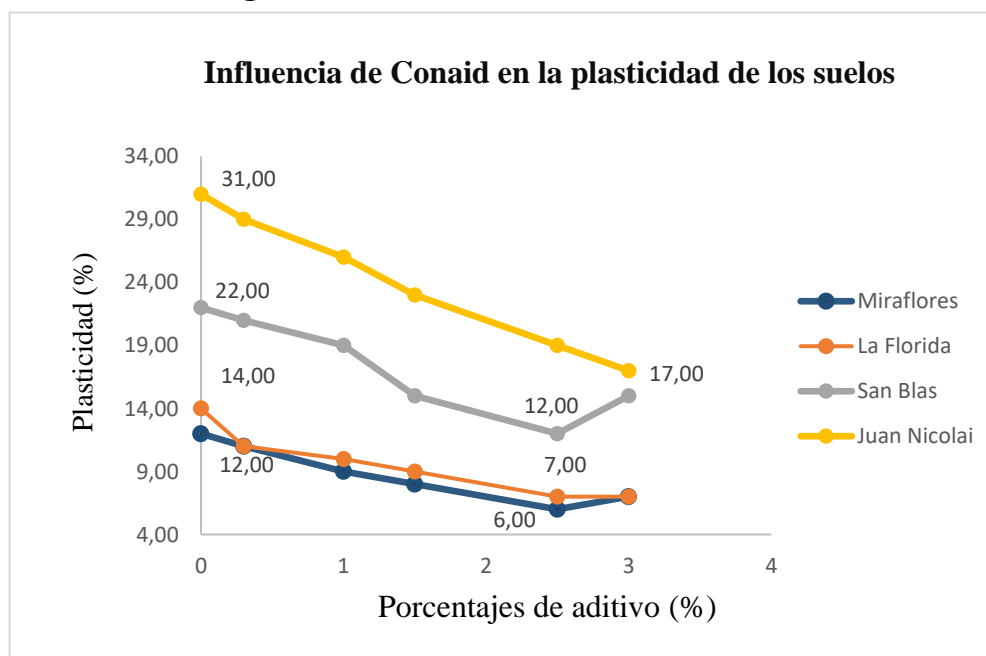
En la figura 4.4 se puede observar una reducción en el límite líquido, a medida que aumenta el porcentaje de aditivo hasta un 3% de aditivo Conaid; mientras que el límite plástico aumenta en pequeñas cantidades, las cuales no son muy significativas.

Con la adición del 3% (porcentaje óptimo de dosificación), el límite líquido disminuye de 60% a 51%; mientras que el límite plástico aumenta de 29% a 34%.

Como consecuencia de ambas alteraciones tanto del límite líquido y límite plástico, se da una reducción del índice de plasticidad de 31% en el suelo natural, hasta alcanzar un valor de 17% en el suelo estabilizado; reduciendo un porcentaje de 45% respecto al índice de plasticidad inicial.

A continuación, se presenta una gráfica donde se puede observar cómo se reduce la plasticidad de los suelos de cada barrio a medida que incrementa aditivo Conaid.

Figura 4.5 Plasticidad en los suelos arcillosos



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4.5 se observa que en todas las muestras propuestas para esta investigación se observa una reducción en la plasticidad.

En el suelo A-6(9) se presenta una reducción de 12% a 6% reduciendo un 50% respecto a la de su estado natural.

En el suelo A-7-6(11) se presenta una reducción de 14% a 7% reduciendo un 50% respecto a la de su estado natural.

En el suelo A-6(15) se presenta una reducción de 22% a 12% reduciendo en un 45% respecto a la de su estado natural.

En el suelo A-7-6(20) se presenta una reducción de 31% a 17% reduciendo en un 45% respecto a la de su estado natural.

En cuanto a la plasticidad, se puede observar que el aditivo Conaid tuvo mejores resultados en los suelos A-6(9) y A-7-6-(11), suelos de baja a mediana plasticidad.

4.1.3 Análisis de la densidad seca y humedad óptima de suelos por cada barrio

Las pruebas de compactación fueron realizadas para cada punto de aditivo. El resumen de resultados se detalla en la siguiente tabla:

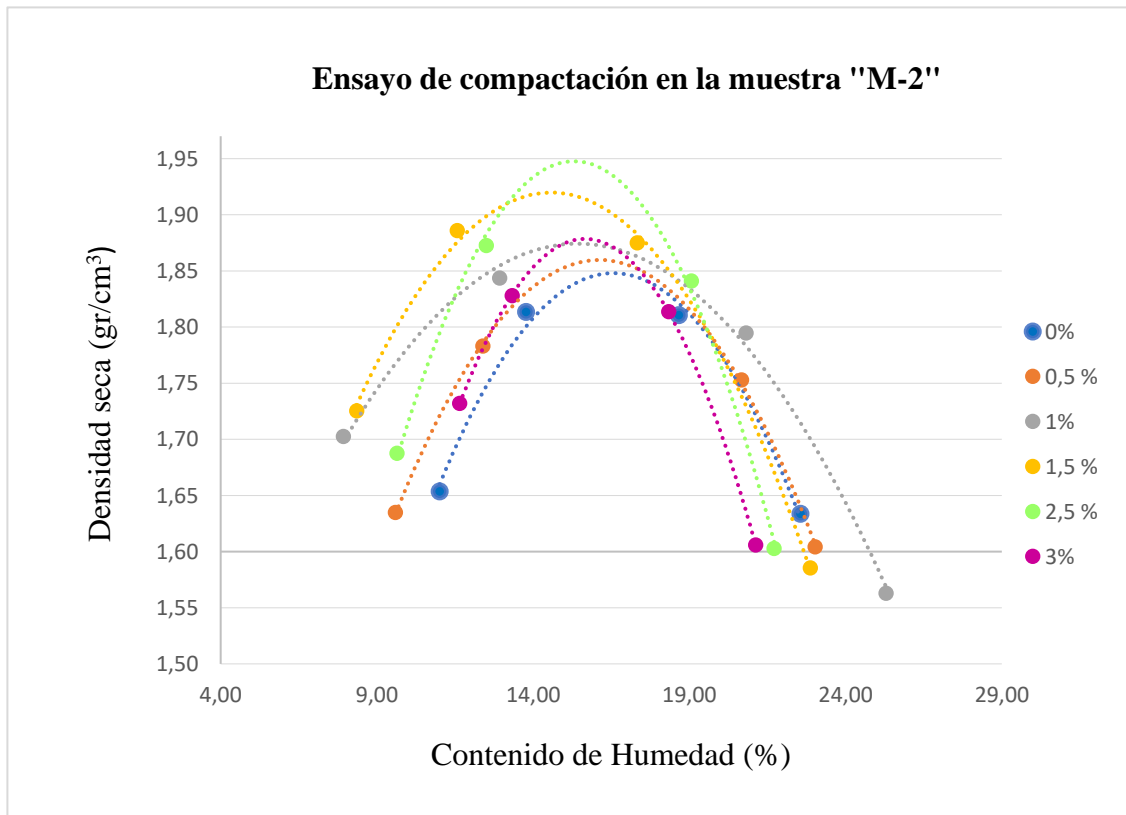
Tabla 4.2 Compactación del suelo a diferentes porcentajes de Conaid

Muestra	Dosificación %	Compactación	
		D.max gr/cm ³	CHO %
Miraflores A-6 M-2	0	1,85	16,43
	0,5	1,86	16,02
	1	1,88	15,58
	1,5	1,92	15,10
	2,5	1,95	14,99
	3	1,88	16,14
La Florida A-7-6 F-1	0	1,77	17,43
	0,5	1,81	16,29
	1	1,85	16,02
	1,5	1,88	15,08
	2,5	1,92	14,08
	3	1,86	16,21
San Blas A-7-6 B-3	0	1,70	18,40
	0,5	1,72	17,58
	1	1,74	16,50
	1,5	1,76	16,56
	2,5	1,84	15,10
	3	1,74	16,01
Juan Nicolai A-7-6 N-3	0	1,64	18,54
	0,5	1,69	18,02
	1	1,72	17,80
	1,5	1,78	17,51
	2,5	1,80	16,01
	3	1,86	14,40

Fuente: Elaboración propia**Barrio Miraflores**

En la siguiente gráfica se representa el porcentaje de humedad óptima (%) versus la densidad seca máxima.

Figura 4.6 Influencia de Conaid en la compactación del suelo A-6(9) del barrio Miraflores



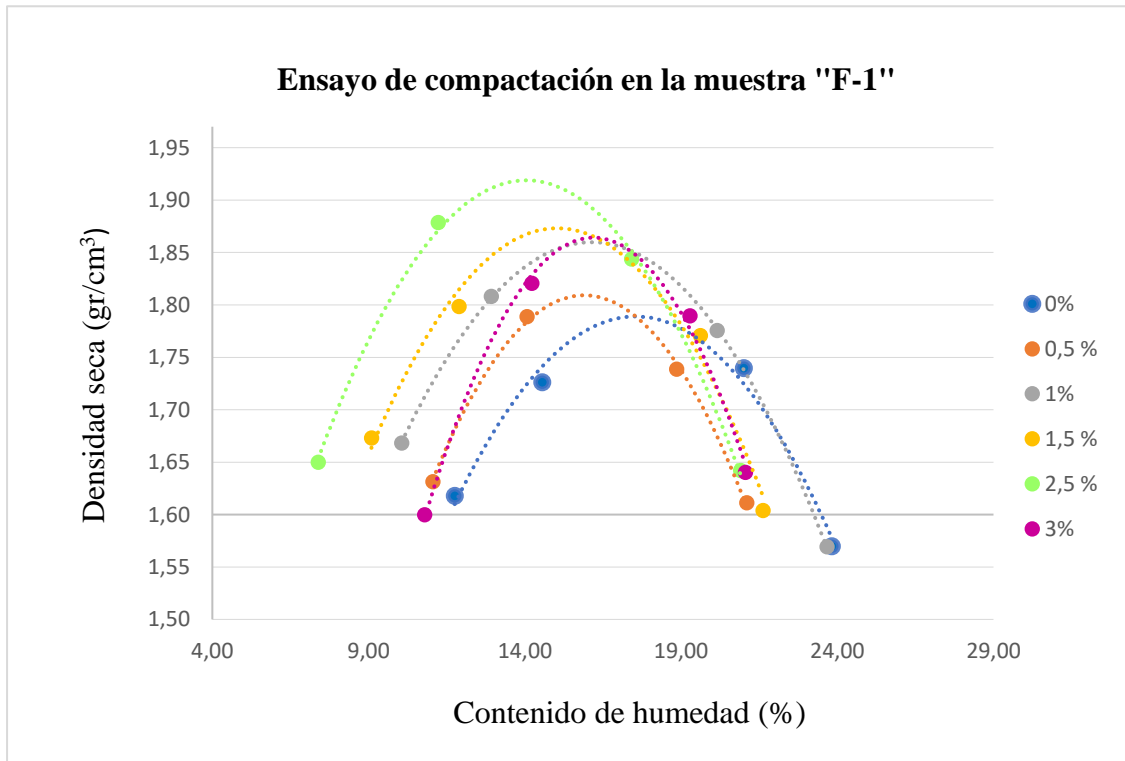
Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4.6 se puede ver la influencia que tiene la adición de aditivo Conaid, se puede observar que al incrementar el 2,5% (porcentaje óptimo de dosificación) de Conaid existe un aumento considerable en la densidad, del 1,85g/cm³ a 1,95g/cm³ y una reducción de la humedad óptima de 16,43% al 14,99% y con el 3% se percibe que ya la densidad seca empieza reducir nuevamente, pasando lo contrario con la humedad óptima; por lo cual el porcentaje óptimo es de 2,5%.

Barrio La Florida

En la siguiente gráfica se representa el porcentaje de humedad óptima (%) versus la densidad seca máxima.

Figura 4.7 Influencia de Conaid en la compactación del suelo A-7-6(11) del barrio La Florida



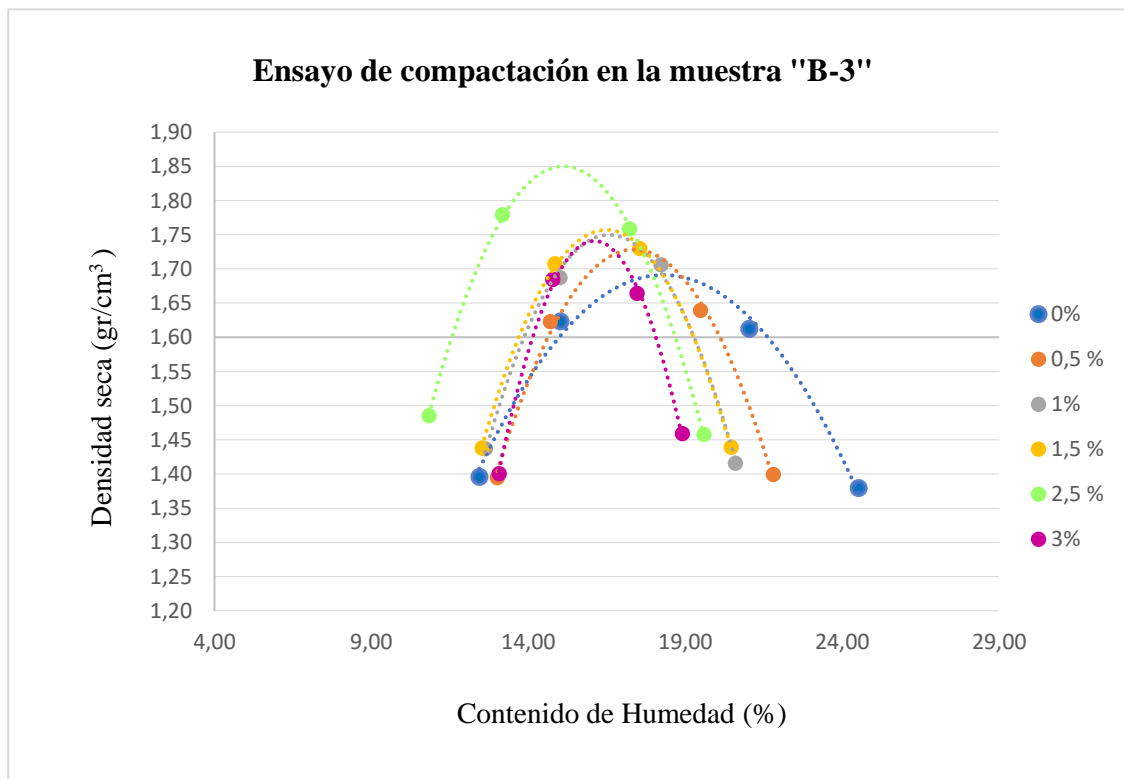
Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4.7 se puede ver la influencia que tiene la adición de aditivo Conaid, se puede observar que al incrementar el 2,5% (porcentaje óptimo de dosificación) de Conaid existe un aumento considerable en la densidad, del $1,77\text{gr/cm}^3$ a $1,92\text{gr/cm}^3$ y una reducción de la humedad óptima del 17,43% al 14,08% y con el 3% se percibe que ya la densidad seca empieza reducir nuevamente, pasando lo contrario con la humedad óptima; por lo cual el porcentaje óptimo es de 2,5%.

Barrio San Blas

En la siguiente gráfica se representa el porcentaje de humedad óptima (%) versus la densidad seca máxima.

Figura 4.8 Influencia de Conaid en la compactación del suelo A-7-6(16) del barrio San Blas



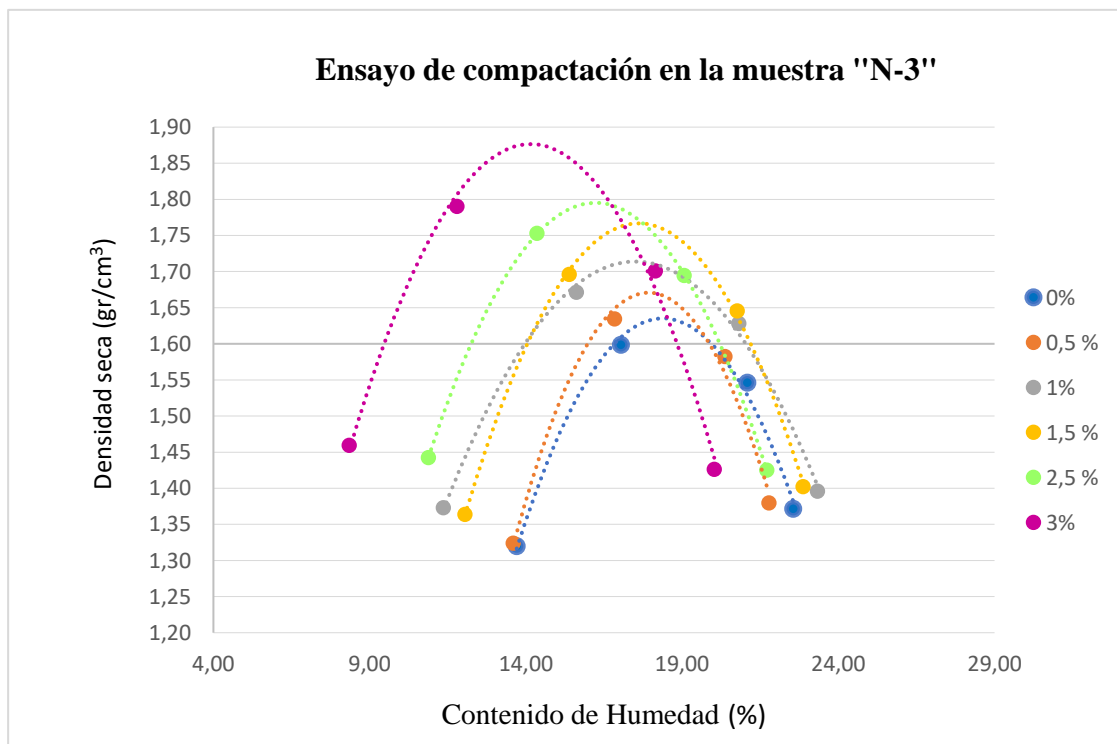
Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4.8 se puede ver la influencia que tiene la adición de aditivo Conaid, se puede observar que al incrementar el 2,5% de Conaid existe un aumento considerable en la densidad, del 1,70 gr/cm³ a 1,84 gr/cm³ y una reducción de la humedad óptima del 18,40% al 15,10% y con el 3% se percibe que ya la densidad seca empieza reducir nuevamente, pasando lo contrario con la humedad óptima; por lo cual el porcentaje óptimo es de 2,5%.

Barrio Juan Nicolai

En la siguiente gráfica se representa el porcentaje de humedad óptima (%) versus la densidad seca máxima.

Figura 4.9 Influencia de Conaid en la compactación del suelo A-7-6(20) del barrio San Blas



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4.9 se puede ver la influencia que tiene la adición de aditivo Conaid, se puede observar que al incrementar el 3% (porcentaje óptimo de dosificación) de Conaid existe un aumento considerable en la densidad, del 1,64gr/cm³ a 1,86 gr/cm³ y una reducción de la humedad óptima del 18,54% al 14,40%.

4.1.4 Análisis de CBR de suelos por cada barrio

Las pruebas de CBR fueron realizadas para cada punto de aditivo. El resumen de resultados se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 4.3 CBR del suelo a diferentes porcentajes de Conaid

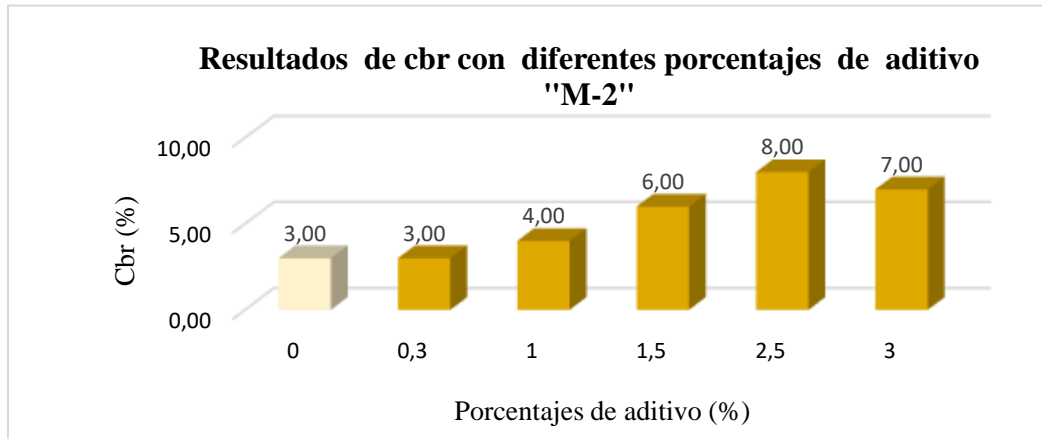
Muestra	Porcentajes (%)	CBR		Expansión %
		100%	95%	
Miraflores A-6 M-2	0	4,00	3,00	3,25
	0,5	4,00	3,00	3,10
	1	4,00	4,00	2,75
	1,5	7,00	6,00	2,36
	2,5	10,00	8,00	0,94
	3	8,00	7,00	1,72
La Florida A-7-6 F-1	0	3,00	2,00	3,35
	0,5	4,00	3,00	3,18
	1	4,00	4,00	2,92
	1,5	6,00	5,00	1,87
	2,5	10,00	9,00	1,32
	3	7,00	6,00	1,13
San Blas A-7-6 B-3	0	3,00	3,00	2,84
	0,5	4,00	3,00	2,37
	1	5,00	4,00	1,89
	1,5	7,00	6,00	1,76
	2,5	9,00	7,00	1,03
	3	7,00	6,00	1,75
Juan Nicolai A-7-6 N-3	0	3,00	2,00	3,16
	0,5	3,00	2,00	2,85
	1	4,00	3,00	2,44
	1,5	6,00	5,00	1,98
	2,5	8,00	6,00	1,20
	3	10,00	7,00	0,95

Fuente: Elaboración propia

Barrio Miraflores

En la siguiente gráfica se representa el CBR (%) versus el porcentaje de aditivo.

Figura 4.10 Influencia de Conaid en el CBR del suelo A-6(9) del barrio Miraflores



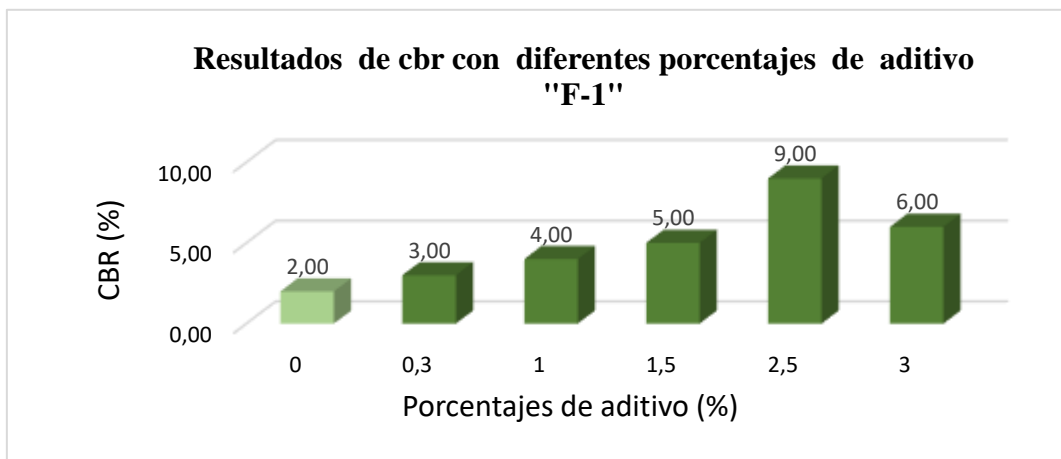
Fuente: Elaboración propia

El valor de soporte de los suelos, se ve influenciado significativamente con la adición del aditivo Conaid en el suelo natural. En la gráfica de la imagen 4.10 se presenta el CBR con diferentes porcentajes de aditivo Conaid, donde se percibe que el suelo natural tiene un CBR del 3% y con la adición del 2,5% de aditivo asciende al 8% debido a que con este valor de CBR se alcanza el incremento máximo de CBR llegando a aumentar un 266% con respecto al valor de CBR del suelo natural.

Barrio La Florida

En la siguiente gráfica se representa el CBR (%) versus el porcentaje de aditivo.

Figura 4.11 Influencia de Conaid en el CBR del suelo A-7-6(11) del barrio La Florida



Fuente: Elaboración propia

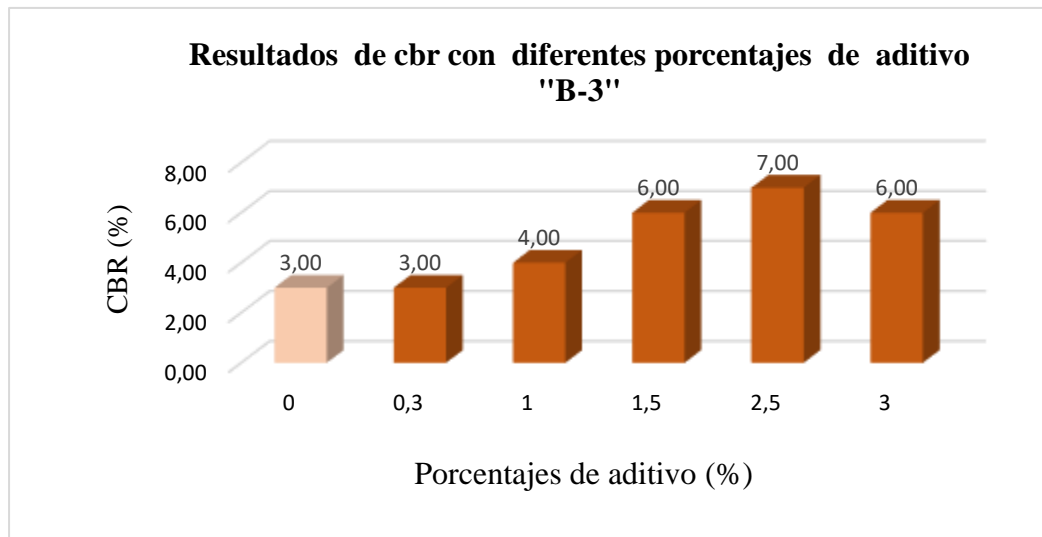
El valor de soporte de los suelos, se ve influenciado significativamente con la adición del aditivo Conaid en el suelo natural.

En la gráfica de la imagen 4.11 se presenta el CBR con diferentes porcentajes de aditivo Conaid, donde se percibe que el suelo natural tiene un CBR del 2% y con la adición del 2,5% de aditivo asciende al 9% debido a que con este valor de CBR se alcanza el incremento máximo de CBR llegando a aumentar un 450% con respecto al valor de CBR del suelo natural.

Barrio San Blas

En la siguiente gráfica se representa el CBR (%) versus el porcentaje de aditivo.

Figura 4.12 Influencia de Conaid en el CBR del suelo A-7-6(16) del barrio San Blas



Fuente: Elaboración propia

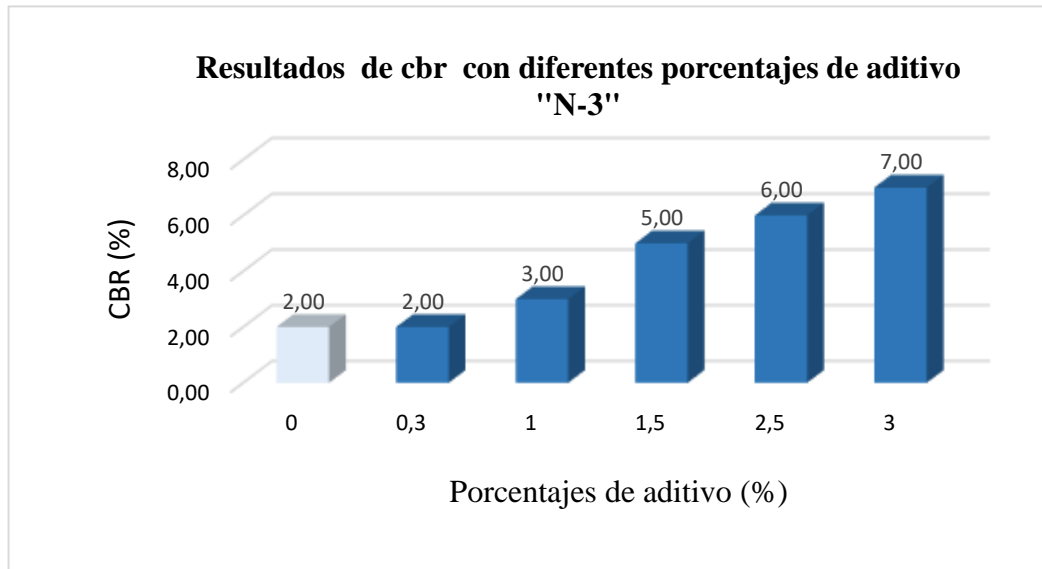
El valor de soporte de los suelos, se ve influenciado significativamente con la adición del aditivo Conaid en el suelo natural.

En la gráfica de la imagen 4.12 se presenta el CBR. con diferentes porcentajes de aditivo Conaid, donde se percibe que el suelo natural tiene un CBR del 3% y con la adición del 2,5% de aditivo asciende al 7% debido a que con este valor de CBR se alcanza el incremento máximo de CBR llegando a aumentar un 233% con respecto al valor de CBR del suelo natural.

Barrio San Nicolas

En la siguiente gráfica se representa el CBR (%) versus el porcentaje de aditivo.

Figura 4.13 Influencia de Conaid en el CBR del suelo A-7-6(20) del barrio San Blas



Fuente: Elaboración propia

El valor de soporte de los suelos, se ve influenciado significativamente con la adición del aditivo Conaid en el suelo natural.

En la gráfica de la imagen 4.13 se presenta el CBR. con diferentes porcentajes de aditivo Conaid, donde se percibe que el suelo natural tiene un CBR del 2% y con la adición del 3% de aditivo Conaid asciende al 7% debido a que con este valor de CBR se alcanza el incremento máximo de CBR llegando a aumentar un 350% con respecto al valor de CBR del suelo natural.

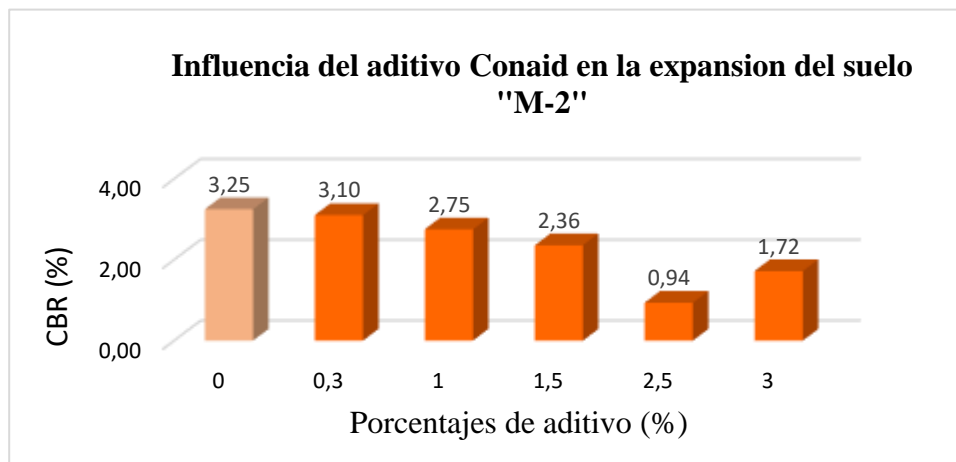
4.1.5 Análisis de la expansión de suelos por cada barrio

A continuación, se puede observar en los distintos gráficos la influencia del aditivo Conaid en los suelos de cada barrio.

Barrio Miraflores

En la siguiente gráfica se representa el contenido de humedad (%) versus el porcentaje de aditivo.

Figura 4.14 Influencia de Conaid en la expansión del suelo A-6 (9) del barrio Miraflores



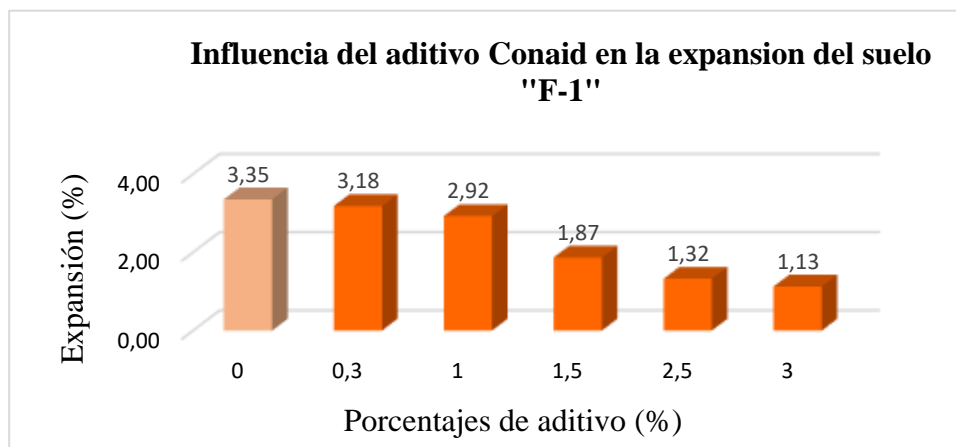
Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.14 se observa el comportamiento de la expansión del suelo A-6(9); la cual reduce notablemente de 3,25 a 0,94% gracias a la adición del 2,5% (porcentaje óptimo de dosificación) de aditivo Conaid, la expansión se reduce notoriamente un 71% respecto a la expansión inicial.

Barrio La Florida

En la siguiente gráfica se representa la expansión del suelo (%) versus el porcentaje de aditivo.

Figura 4.15 Influencia de Conaid en la expansión del suelo A-7-6 (11) del barrio La Florida



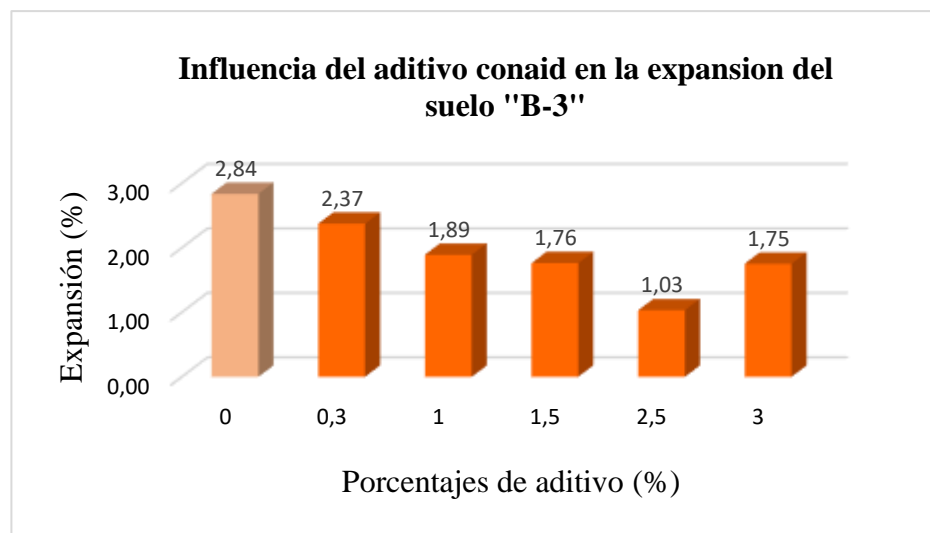
Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.15 se observa el comportamiento de la expansión del suelo A-7-6(11); la cual reduce notablemente de 3,35 a 1,13% gracias a la adición del 3% de aditivo Conaid, la expansión se reduce notoriamente un 60% respecto a la expansión inicial.

Barrio San Blas

En la siguiente gráfica se representa la expansión del suelo (%) versus el porcentaje de aditivo.

Figura 4.16 Influencia de Conaid en la expansión del suelo A-7-6 (1) de6l barrio San Blas



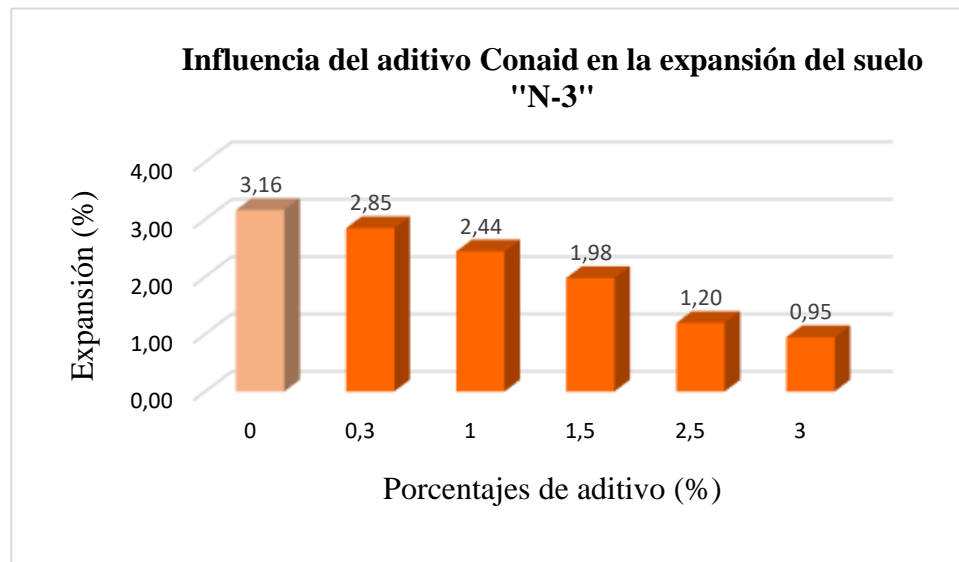
Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.16 se observa el comportamiento de la expansión del suelo A-7-6(11); la cual reduce notablemente de 2,84 a 1,03% gracias a la adición del 2,5% (porcentaje óptimo de dosificación) de aditivo Conaid, la expansión se reduce notoriamente un 63% respecto a la expansión inicial.

Barrio San Nicolas

En la siguiente gráfica se representa la expansión del suelo (%) versus el porcentaje de aditivo.

Figura 4.17 Influencia de Conaid en la expansión del suelo A-7-6 (20) del barrio San Nicolas



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.17 se observa el comportamiento de la expansión del suelo A-7-6(20); la cual reduce notablemente de 3,16 a 0,95% gracias a la adición del 3% (porcentaje óptimo de dosificación) de aditivo Conaid, la expansión se reduce notoriamente un 68% respecto a la expansión inicial.

4.2 Análisis estadístico

En las tablas se puede observar el tratamiento estadístico para las mezclas de aditivo Conaid con las muestras seleccionadas.

Tabla 4.4 Estadística para los LL, LP, IP

Muestra	Dosificación (%)	LL	LP	IP
Barrio Miraflores A-6(9) M-2	0	36,00	24,00	12,00
	0,5	35,00	24,00	11,00
	1	34,00	25,00	9,00
	1,5	33,00	25,00	8,00
	2,5	31,00	25,00	6,00
	3	32,00	25,00	7,00
Media		33,00	24,80	8,20
Mediana		33,00	25,00	8,00
D. estándar		1,58	0,45	1,92
Varianza		2,50	0,20	3,70
Coeficiente de variación		4,79	1,80	23,46
Muestra	Dosificación (%)	LL	LP	IP
Barrio La Florida A-7-6(11) F-1	0	46,00	32,00	14,00
	0,5	44,00	33,00	11,00
	1	43,00	33,00	10,00
	1,5	42,00	33,00	9,00
	2,5	39,00	32,00	7,00
	3	40,00	33,00	7,00
Media		41,60	32,80	8,80
Mediana		42,00	33,00	9,00
D. estándar		2,07	0,45	1,79
Varianza		4,30	0,20	3,20
Coeficiente de variación		4,98	1,36	20,33
Muestra	Dosificación (%)	LL	LP	IP
Barrio San Blas A-7-6(16) B-3	0	52,00	30,00	22,00
	0,5	51,00	30,00	21,00
	1	50,00	31,00	19,00
	1,5	48,00	33,00	15,00
	2,5	46,00	34,00	12,00
	3	51,00	36,00	15,00
Media		49,20	32,80	16,40
Mediana		50,00	33,00	15,00
D. estándar		2,17	2,39	3,58
Varianza		4,70	5,70	12,80
Coeficiente de variación		4,41	7,28	21,82

Muestra	Dosificación (%)	LL	LP	IP
Barrio San Nicolas A-7-6(20) N-3	0	60,00	29,00	31,00
	0,5	59,00	30,00	29,00
	1	57,00	31,00	26,00
	1,5	55,00	32,00	23,00
	2,5	53,00	34,00	19,00
	3	51,00	34,00	17,00
Media		55,00	32,20	22,80
Mediana		55,00	32,00	23,00
D. estándar		3,16	1,79	4,92
Varianza		10,00	3,20	24,20
Coeficiente de variación		5,75	5,56	21,58

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.5 Estadística para la CHO y la densidad máxima seca

Muestra	Dosificación (%)	D. max	CHO
Barrio Miraflores A-6(9) M-2	0	1,85	16,43
	0,3	1,86	16,02
	1	1,88	15,58
	1,5	1,92	15,1
	2,5	1,95	15,1
	3	1,88	16,14
Media		1,90	15,59
Mediana		1,88	15,58
D. estandar		0,04	0,49
Varianza		0,00	0,24
Coeficiente de variación		1,91	3,16
Muestra	Dosificación (%)	D. max	CHO
Barrio La Florida A-7-6(11) F-1	0	1,77	17,43
	0,3	1,81	16,29
	1	1,85	16,02
	1,5	1,88	15,08
	2,5	1,92	14,08
	3	1,86	16,21
Media		1,86	15,54
Mediana		1,86	16,02
D. estandar		0,04	0,95

Varianza		0,00	0,90
Coeficiente de variacion		2,17	6,09
Muestra	Dosificación (%)	D. max	CHO
Barrio San Blas A-7-6(16) B-3	0	1,70	18,40
	0,3	1,72	17,58
	1	1,74	16,50
	1,5	1,76	16,56
	2,5	1,84	15,10
	3	1,74	16,01
Media		1,76	16,35
Mediana		1,74	16,50
D. estandar		0,05	0,90
Varianza		0,00	0,81
Coeficiente de variacion		2,67	5,52
Muestra	Dosificación (%)	D. max	CHO
Barrio San Nicolas A-7-6(20) N-3	0	1,64	18,54
	0,3	1,69	18,02
	1	1,72	17,80
	1,5	1,78	17,51
	2,5	1,80	16,01
	3	1,86	14,40
Media		1,77	16,75
Mediana		1,78	17,51
D. estandar		0,07	1,53
Varianza		0,00	2,34
Coeficiente de variacion		3,79	9,14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.6 Estadística para la expansión y el CBR

Muestra	Dosificación (%)	CBR (%)	Expansión (%)
Barrio Miraflores A-6(9) M-2	0	3,00	3,25
	0,3	3,00	3,10
	1	4,00	2,75
	1,5	6,00	2,36
	2,5	8,00	0,94
	3	7,00	1,72
Media		5,60	2,17
Mediana		6,00	2,36

D. estandar		2,07	0,86
Varianza		4,30	0,74
Coeficiente de variación		37,03	39,63
Muestra	Dosificación (%)	CBR (%)	Expansión (%)
Barrio La Florida A-7-6(11) F-1	0	2,00	3,35
	0,3	3,00	3,18
	1	4,00	2,92
	1,5	5,00	1,87
	2,5	9,00	1,32
	3	6,00	1,13
Media		5,40	2,08
Mediana		5,00	1,87
D. estandar		2,30	0,93
Varianza		5,30	0,86
Coeficiente de variación		42,63	44,56
Muestra	Dosificación (%)	CBR (%)	Expansión (%)
Barrio San Blas A-7-6(16) B-3	0	3,00	2,84
	0,3	3,00	2,37
	1	4,00	1,89
	1,5	6,00	1,76
	2,5	7,00	1,03
	3	6,00	1,75
Media		5,20	1,76
Mediana		6,00	1,76
D. estandar		1,64	0,48
Varianza		2,70	0,23
Coeficiente de variación		31,60	27,26
Muestra	Dosificación (%)	CBR (%)	Expansión (%)
Barrio San Nicolas A-7-6(20) N-3	0	2,00	3,16
	0,3	2,00	2,85
	1	3,00	2,44
	1,5	5,00	1,98
	2,5	6,00	1,20
	3	7,00	0,95
Media		4,60	1,88
Mediana		5,00	1,98
D. estandar		2,07	0,81
Varianza		4,30	0,65
Coeficiente de variación		45,08	42,86

Fuente: Elaboración propia

4.3 Aplicación de la Distribución t de Student para la variable dependiente “propiedades físico-mecánicas”

Para el análisis estadístico se tomará en cuenta el valor de la plasticidad, CBR, expansión, densidad seca máxima siendo propiedades importantes que se evaluaron en esta investigación. Para la prueba de hipótesis se siguen los siguientes pasos:

Paso 1: Plantear hipótesis nula (Ho) e hipótesis alternativa (Hi)

Paso 2: Determinar nivel de significancia (0,005)

Paso 3: Evidencia muestral (Media, desviación estandar de los datos a evaluar)

Paso 4: Aplicación la Distribución t de Student (Valor t* y valor crítico t)

$$t^* = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S_x}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

\bar{X} =Media

μ =Valor a analizar

Sx=Desviación estándar

n=Tamaño de la muestra

De la tabla “Puntos porcentuales de la distribución” (ANEXO VII) t se obtiene el valor crítico t, donde se buscan las regiones de aceptación o rechazo.

Paso 5: Toma de decisión

Se acepta la hipótesis alternativa $t^* > t$

Se acepta la hipótesis nula $t^* < t$

Entonces:

Hipótesis alternativa:

Añadiendo diferentes porcentajes de aditivo Conaid a los suelos arcillosos se puede mejorar sus propiedades tanto físicas como mecánicas haciendo que estos se vuelvan suelos aptos para usarse en subrasantes.

Hipótesis nula:

Añadiendo diferentes porcentajes de aditivo Conaid a los suelos arcillosos no se puede mejorar sus propiedades tanto físicas como mecánicas haciendo que estos se vuelvan suelos aptos para usarse en subrasantes.

En la siguiente tabla se muestra los valores obtenidos, donde se muestra un resumen de los datos que fueron analizados mediante la prueba de hipótesis.

Tabla 4.7 Distribución t de Student para la variable dependiente “propiedades físico-mecánicas”

Toma de decisión:		Muestra:20	$\alpha = 0,005$	
Se acepta la hipótesis alternativa $t^* > t$		Grados de libertad: 19		
Se acepta la hipótesis nula $t^* < t$				
Propiedad evaluada	IP (%)	Dmax. (gr/cm ³)	CBR (%)	Expansión (%)
Media	15,45	1,82	5,20	1,98
Desviación estándar	7,77	1,85	1,91	0,89
Media medible	<19,75	>1,74	>3,15	<2,50
Valor t^*	-2,47	4,47	4,80	-2,56
Valor crítico t	-2,86	2,86	2,86	-2,86
Verificación	Se acepta la hipótesis alternativa $t^* > t$			

Fuente: Elaboración propia

Conclusión final: Al añadir diferentes porcentajes de aditivo Conaid a los suelos arcillosos se mejora sus propiedades físico-mecánicas, lo cual se demostró haciendo una prueba de hipótesis para cada propiedad, demostrando así en cada una de ellas que las propiedades físicas y mecánicas de un suelo mejoran haciendo que el suelo arcilloso se vuelva adecuado y se permita su uso del mismo como subrasante.

4.4 Comparación del aditivo Conaid con otros productos.

A continuación, se presenta información recaudada de investigaciones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho; en los cuales se trabajó con aditivos con el fin de mejorar ciertas propiedades mecánicas de los suelos, esta información nos permitirá comparar resultados y ver el precio de uno con respecto a otro.

Juan Javier: Estudio de la estabilización de suelos finos - Sika Dust Seal.

Cimar Condori López: Análisis comparativo de las propiedades de la subrasante natural y la subrasante utilizando producto Terrasil.

A continuación, se realiza un análisis del uso de los tres aditivos usados en un suelo CL:

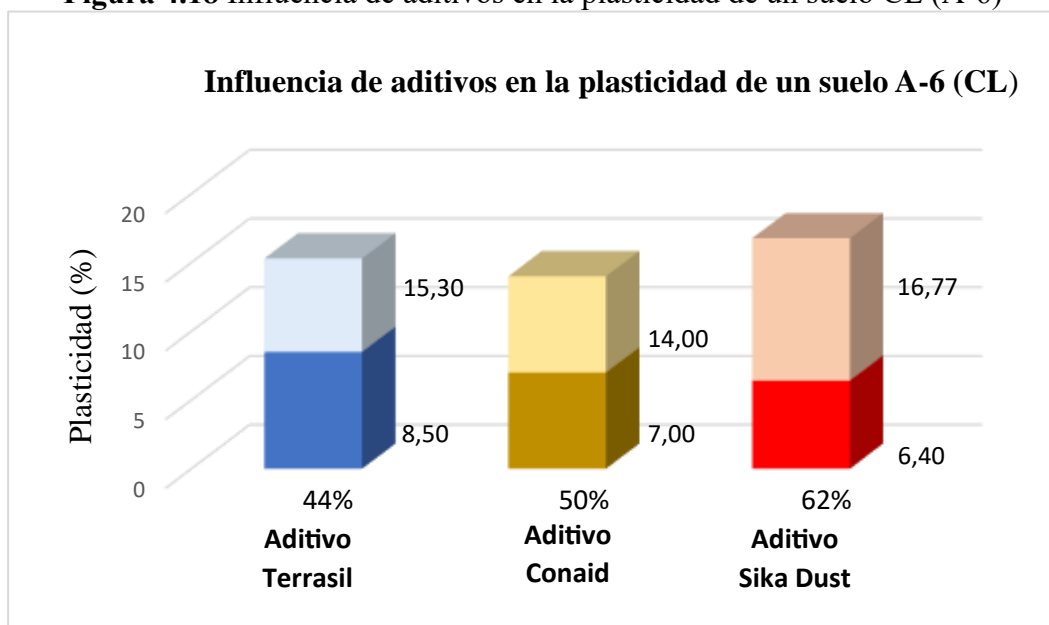
Tabla 4.8 Propiedades de un suelo CL mejorado con aditivos

Propiedades evaluadas	Aditivos					
	Terrasil		Sika Dust Seal		Conaid	
	Natural	Mejorada (2,5%)	Natural	Mejorada (1%)	Natural	Mejorada (2,5%)
Plasticidad (%)	15,3	8,5	16,77	6,41	14,00	5,00
Humedad óptima (%)	14,8	9,8	12,28	10,53	16,43	14,99
Densidad seca máxima (gr/cm ³)	1,934	2,016	1,914	2,047	1,85	1,95
CBR (%)	4,0	11,5	2,36	14,69	2,00	9,00
Expansión (%)	2,82	1,40	3,66	2,48	3,25	0,94

Fuente: Elaboración propia

Plasticidad: La plasticidad del suelo se ve influenciada significativamente a medida que se incrementa los diferentes aditivos.

Figura 4.18 Influencia de aditivos en la plasticidad de un suelo CL (A-6)



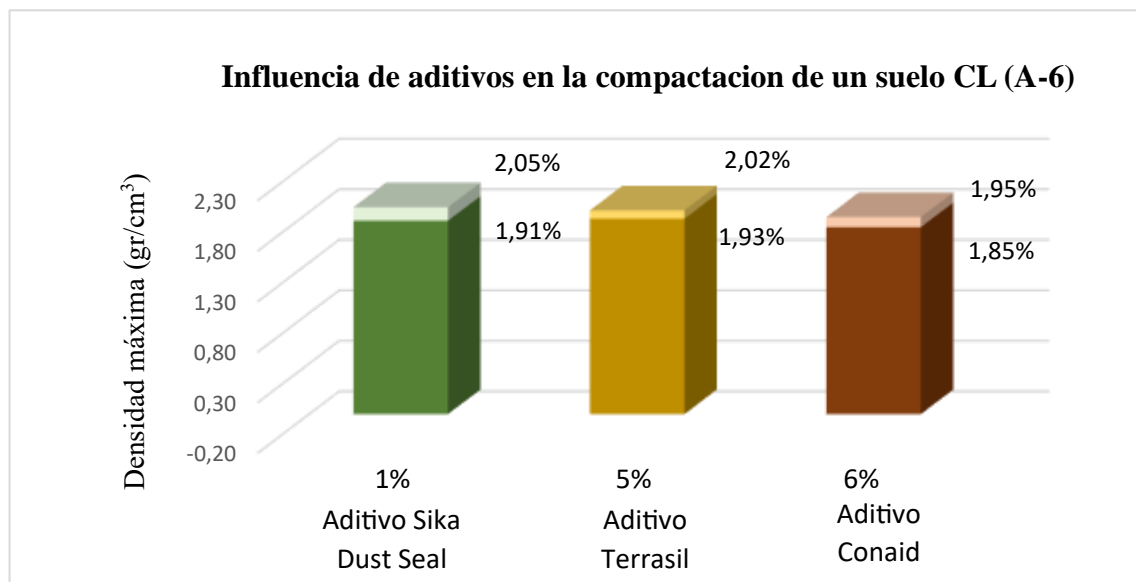
Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.18, se puede observar que gracias a la adición del aditivo Conaid a un suelo A-6 se redujo la plasticidad en un 50% reduciendo de (14,00 a 7,00) %, con el aditivo

Terrasil se redujo un 44% reduciendo de (15,30 a 8,50) %, mientras que con el aditivo Sika Dust Seal se logró una reducción del 62% (16,77-6,40) respecto al valor de plasticidad de cada suelo en su estado natural.

Compactación: La compactación del suelo se ve influenciada significativamente a medida que se incrementa los diferentes aditivos.

Figura 4.19 Influencia de aditivos en la compactación de un suelo CL (A-6)

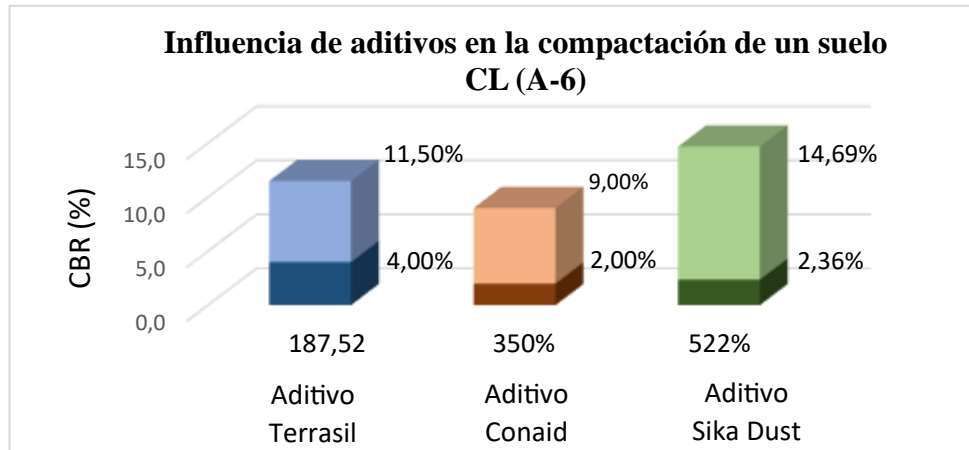


Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.19 se observa que la densidad máxima aumenta un 1%, (1,91-2,05) gr/cm³, cuando a este suelo se le adiciona aditivo Sika Dust Seal; mientras que con el uso de los aditivos Terrasil y Conaid esta propiedad aumenta más a comparación del anterior aditivo; con Terrasil aumenta de (1,93 a 2,02) gr/cm³ incrementando un 5%, con Conaid aumenta de (1,85-95) gr/cm³ incrementando un 6% respecto a sus valores de densidad máxima en estado natural de cada suelo.

CBR: El Cbr del suelo se ve influenciada significativamente a medida que se incrementa los diferentes aditivos

Figura 4.20 Influencia de aditivos en el CBR de un suelo CL (A-6)

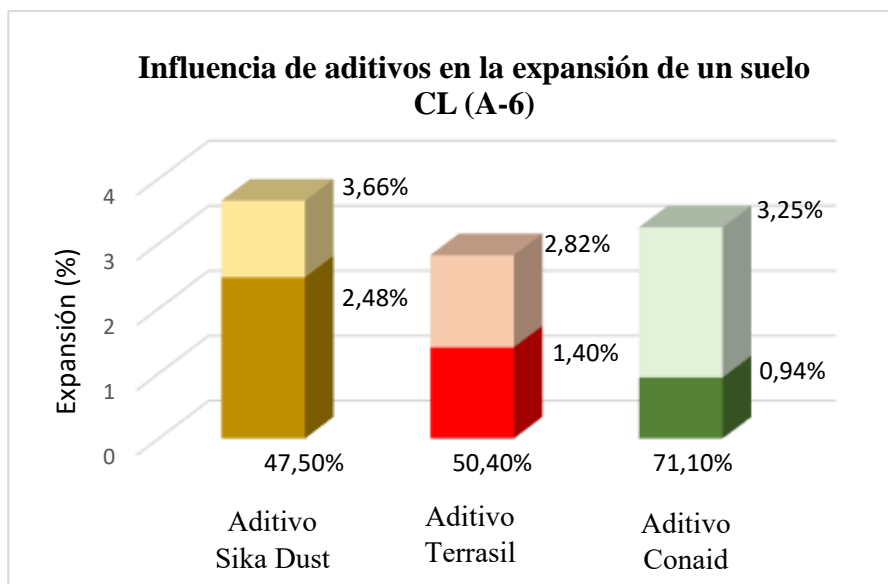


Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.20 se observa que los suelos A-6 usados en las distintas investigaciones incrementan en sus valores de Cbr; el aditivo Terrasil permite un aumento del 187,52% aumentando un valor de Cbr de (4,00-11,50) %; con la adición de Conaid se incrementa en un 299,61% (2,45-9,79) %, y con el aditivo Sika Dust Seal se da una mejoría de 337,20% respecto a sus valores de CBR en suelo natural.

Expansión: La expansión del suelo se ve influenciada significativamente a medida que se incrementa los diferentes aditivos.

Figura 4.21 Influencia de aditivos en la expansión de un suelo CL (A-6)



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la expansión se puede observar que el aditivo Sika Dust Seal hace que la expansión se reduzca un 47,50%, con el uso del aditivo Conaid y Terrasil se logra bajar la expansión un 50,40 y 71,10% respectivamente.

Suelo CH

Flores del Villar, James Hamilton: Análisis del aditivo Proes en arcillas expansivas, Caso: Centro Poblado Aurora Alta, 2014”

Tabla 4.9 Propiedades de un suelo CH mejorado con aditivos

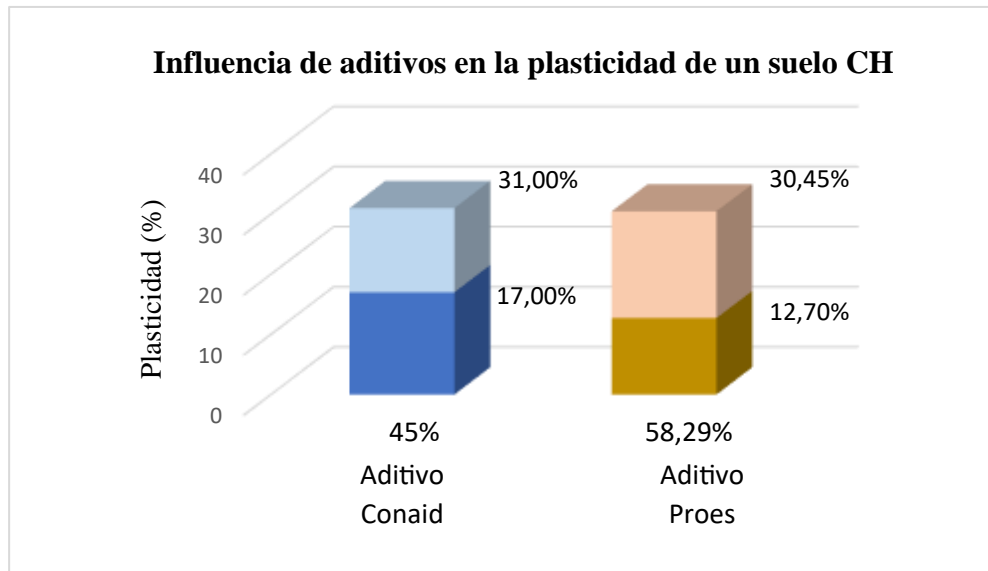
Propiedades evaluadas	Aditivos			
	Proes		Conaid	
	Natural	Mejorada (2,5%)	Natural	Mejorada (3%)
Plasticidad (%)	30,45	12,70	31,00	17,00
Densidad seca máxima (gr/cm ³)	1,83	2,30	1,64	1,86
CBR (%)	3,28	17,2	2,00	7,00
Expansión (%)	3,56	1,10	3,16	0,95

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se realiza un análisis del uso de los tres aditivos usados en un suelo A-6:

Plasticidad: La plasticidad del suelo se ve influenciada significativamente a medida que se incrementa los diferentes aditivos.

Figura 4.22 Influencia de aditivos en la plasticidad de un suelo CH (A-7)

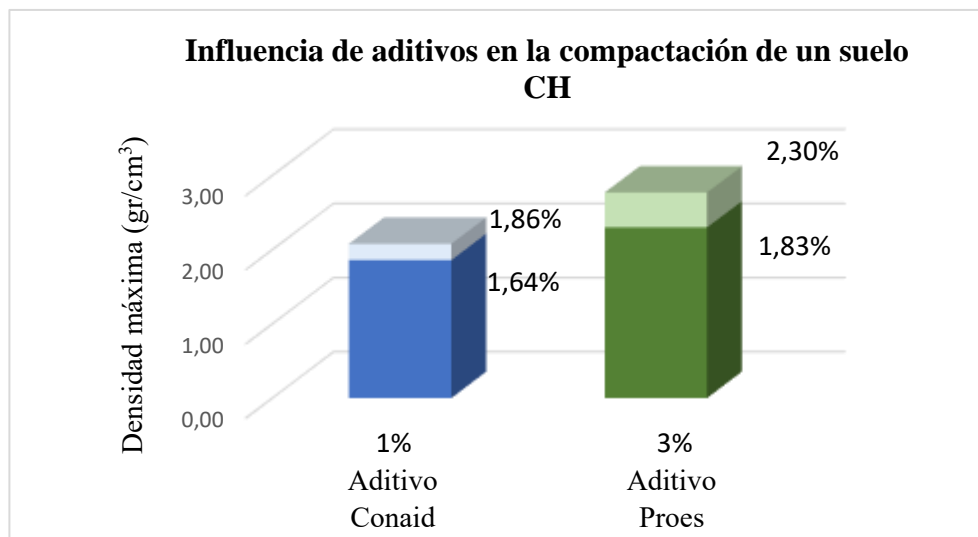


Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.22 se puede observar que gracias a la adición del aditivo Conaid a un suelo A-6 se redujo la plasticidad en un 45% reduciendo de (31-17) %, mientras que con el aditivo Proes se redujo un 58,29% reduciendo de (30,45-12,70) %.

Compactación: La compactación del suelo se ve influenciada significativamente a medida que se incrementa los diferentes aditivos.

Figura 4.23 Influencia de aditivos en la compactación de un suelo CH (A-7)

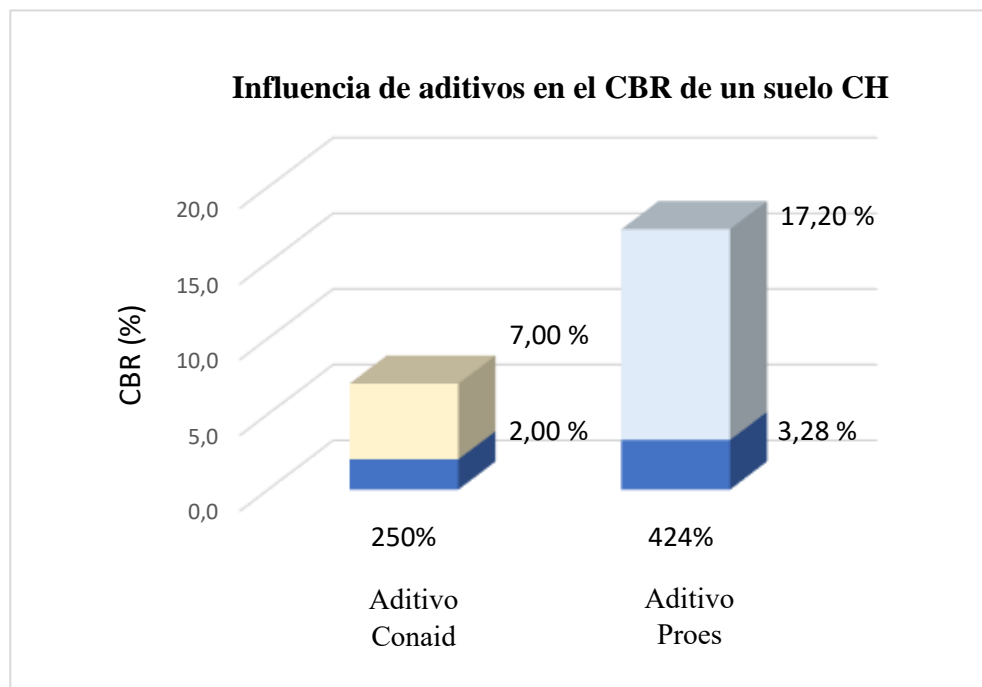


Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.23 se observa que la densidad máxima aumenta un 1%, (1,64-1,86) gr/cm³, cuando a este suelo se le adiciona aditivo Conaid; mientras que con el uso del aditivo Consolid aumenta de (1,83-2,30) gr/cm³ incrementando un 3% respecto a sus valores de densidad máxima en estado natural de cada suelo.

CBR: El Cbr del suelo se ve influenciada significativamente a medida que se incrementa los diferentes aditivos.

Figura 4.24 Influencia de aditivos en el CBR de un suelo CH (A-7)



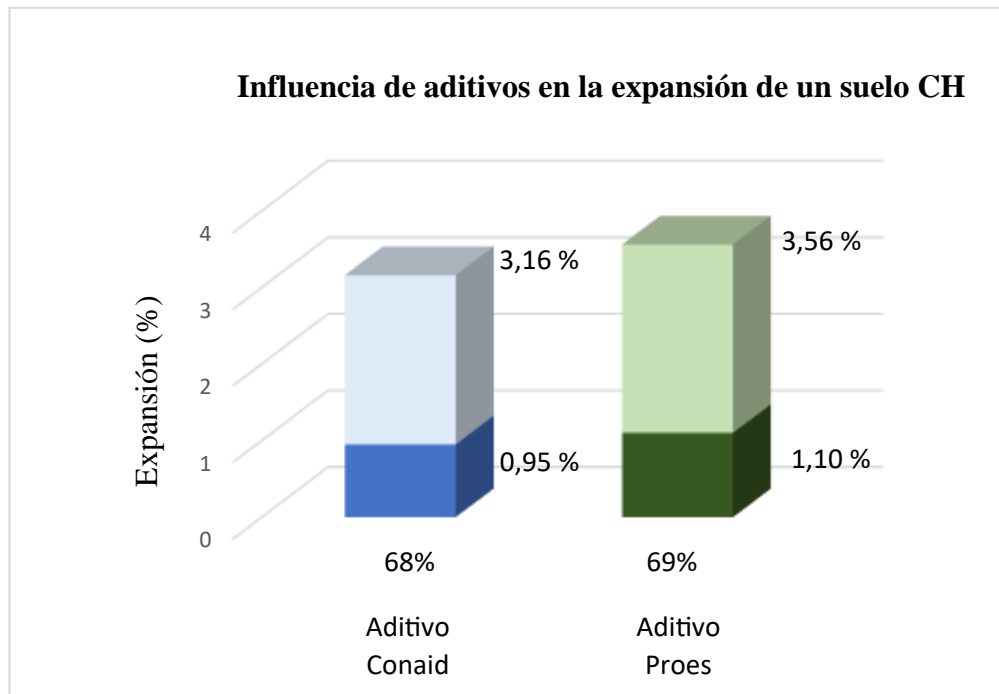
Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.24 se observa que los suelos A-7 usados en las distintas investigaciones incrementan en sus valores de Cbr; el aditivo Conaid permite un aumento del 250,00% aumentando un valor de Cbr de (2,00-7,00) %; mientras que con el uso del aditivo Consolid aumenta de (3,28-17,20) % incrementando un 424%, respecto a sus valores de densidad máxima en estado natural de cada suelo.

Expansión: La expansión del suelo se ve influenciada significativamente a medida que se incrementa los diferentes aditivos.

En cuanto a la expansión se puede observar que el aditivo Conaid hace que la expansión se reduzca un 68,00% y con el uso del aditivo Proes se logra bajar la expansión; un 69,00%.

Figura 4.25 Influencia de aditivos en la expansión de un suelo CH (A-7)



Fuente: Elaboración propia

4.5 Análisis económico

4.5.1 Análisis de precios unitarios referenciales

El estudio de costos contempla básicamente la elaboración de precios referenciales, los cuales corresponden a cuatro alternativas de suelos de distinta clasificación de estabilización con métodos de construcción tradicionales y adecuados a la maquinaria con la que se cuenta en nuestro medio para la aplicación de este proceso. En el proceso de estabilización, se emplean equipos comunes de construcción de una subrasante, como ser: motoniveladora, camión aguatero y compactadores, lo cual incidirán en los costos de construcción de estas.

Para realizar el cálculo de los costos que implicaría la estabilización en cada suelo se hizo un análisis de los precios unitarios, tomando en cuenta los costos horarios y rendimientos de operación de la maquinaria que se empleará asimismo en los insumos, materiales, mano de obra y demás gastos que demanda la obra o actividad.

El pago incluye todas las actividades de escarificación, aplicación del producto, homogeneización del material, corrección del perfil de la calzada, compactación, empleo de maquinaria y equipo, mano de obra y otros insumos necesarios, por lo tanto, el costo por metro cúbico que tendrá realizar la aplicación del producto en campo para los distintos suelos se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4.10 Resultados de precios unitarios para estabilizaciones a cantidad optimas de aditivo Conaid

Actividad	Costo total \$us/m ³	Costo total Bs/m ³
Estabilización suelo A-6(9) con 2,5%.	41,56	288,03
Estabilización suelo A-7-6(11) con 2,5%.	41,56	288,03
Estabilización suelo A-7-6(16) con 2,5%.	41,56	288,03
Estabilización suelo A-7-6(20) con 3%.	49,62	343,85

Fuente: Elaboración propia

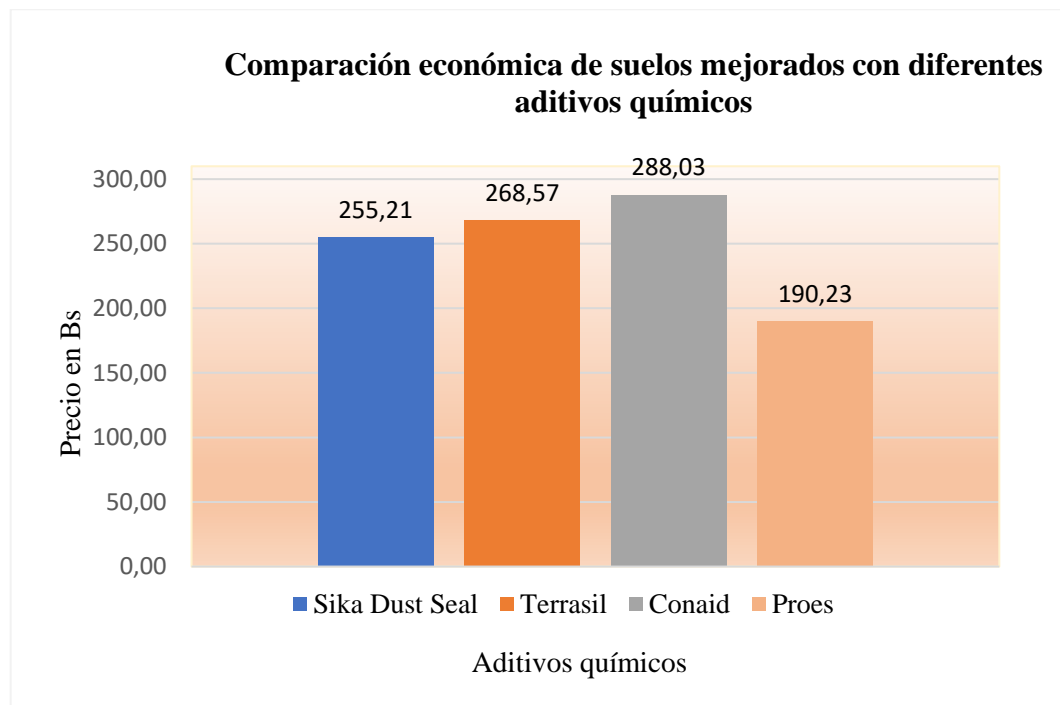
4.6 Análisis de costos económicos con otros productos

Tabla 4.11 Comparación de costos económicos

Costos económicos					
Unidad	Cantidad	Sika Dust Seal	Terrasil	Conaid	Proes
m ³	1	255,21	268,57 bs	288,03 bs	190,23

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26 Comparación económica de suelos mejorados con aditivos



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.26 se observa los diferentes precios en bolivianos que cuesta los distintos aditivos que nos permiten mejorar las propiedades por metro cúbico de suelo.

Se puede observar que el uso del aditivo Proes en el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas es menos costosa que el uso de los demás aditivos, y a la vez cabe destacar que tuvo mejores resultados en cuanto al mejoramiento de las propiedades físico-mecánica de los suelos, lo cual fué descrito anteriormente.

En cuanto al precio del aditivo Conaid que se usó para esta comparación fue calculado con el 2,5% de dosificación ya que con este valor se mejora considerablemente las propiedades estudiadas en esta investigación, sin embargo la dosificación de 2,5% de aditivo Conaid puede disminuir ya que eso depende del tipo de suelo a estudiar y así también el costo disminuiría, lo que hay que valorar de este aditivo y de acuerdo a la realización de pruebas experimentales es que se pudo constatar que presenta buenas mejorías en sus distintas propiedades, excepto en los ensayos de granulometría, debido a que es un aditivo líquido.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Al finalizar este trabajo, se concluye que el aditivo Conaid influyó significativamente en las propiedades físico-mecánicas de los suelos, pues esta mejora la compactación, reduce la expansividad, disminuye la plasticidad y aumenta la resistencia del suelo al agua, de esta manera se acepta la hipótesis formulada.
- Se pudo observar en los ensayos de laboratorio que las propiedades de los suelos presentan mejores resultados con el 2,5% (porcentaje óptimo de dosificación) de aditivo Conaid en los suelos A-6₍₉₎-Miraflores, A-7-6₍₁₁₎-La Florida, A-7-6₍₁₆₎-San Blas y con 3% (porcentaje óptimo de dosificación) en el suelo A7-6₍₂₀₎-Juan Nicolai.
- En cuanto a la granulometría de los suelos (método del lavado) no se produjo cambios al adicionar el aditivo Conaid, ya que este es un aditivo líquido.
- La plasticidad de los suelos arcillosos redujo de manera notoria, en la muestra de suelo A-6₍₉₎ (Miraflores), el índice de plasticidad de este suelo experimento un descenso significativo de 12% en estado natural a 6%; la muestra de suelo A-7-6₍₁₁₎ (Florida), de 14% en estado natural a 7%, con el 2,5% (porcentaje óptimo de dosificación) de aditivo Conaid.
- Con la adición de 2,5% (porcentaje óptimo de dosificación) en el suelo A-7-6₍₁₆₎ (San Blas) se logró reducir la plasticidad de 22% a 12%; mientras que en el suelo A-7-6₍₂₀₎ (Juan Nicolai) la plasticidad redujo de 31% a 17% con el 3% de aditivo Conaid.
- También se notó el efecto del aditivo Conaid en la compactación de los suelos estudiados, se verificó que la densidad seca máxima aumenta considerablemente con el incremento de la cantidad del aditivo Conaid y lo

contrario ocurre con la humedad óptima, ya que este parámetro disminuye con el aumento de la cantidad de aditivo Conaid.

- En los ensayos de capacidad de soporte al adicionar porcentajes de aditivo Conaid se observó que los valores de CBR aumenta notoriamente respecto a sus valores en estado natural; el suelo A-6₍₉₎ (Miraflores) presento un valor de capacidad soporte en estado natural bastante bajo (3% de CBR) lo que cataloga a este suelo como un suelo inadecuado para ser empleado en la subrasante, sin embargo, los resultados obtenidos demuestran que la adición de aditivo Conaid (2,5%)(porcentaje óptimo de dosificación) puede influir de manera sustancial en los valores del CBR, logrando alcanzar con este porcentaje un valor de 8% de CBR con lo cual se clasifica como un suelo bueno para una capa subrasante, obteniendo de esta manera una mejoría del 266%.
- El suelo A-7-6₍₁₁₎ (La Florida) presentó un valor de capacidad soporte en natural (2% de CBR, con el 2,5% de aditivo Conaid, logró alcanzar un valor de 9% de CBR, obteniendo de esta manera una mejoría del 450%.
- En el caso del suelo A-7-6₍₁₆₎ (San Blas) su valor de capacidad soporte en estado natural (3% de CBR, con el 2,5% de aditivo Conaid, logro alcanzar un valor de 7% de CBR, obteniendo de esta manera una mejoría del 233%; mientras que en el suelo A-7-6₍₂₀₎ (Juan Nicolai) se obtuvo una mejoría de 350% subiendo de 2% a 7% de Cbr con la adición del 3% (porcentaje óptimo de dosificación) de aditivo Conaid.
- En el caso de la expansión de los suelos estudiados, esta propiedad se vio influenciada, logrando una reducción en el suelo A-6₍₉₎ (Miraflores) de 3,25% a 0,94% experimentando un descenso significativo de 71% con respecto al suelo natural con la adición del 2,5% de aditivo Conaid, el suelo A-7-6₍₁₁₎ (La Florida), su expansión redujo un de 60% con respecto al suelo natural, disminuyendo de (3,35% de expansión) en estado natural a (1,13% de expansión) con 2,5% (porcentaje óptimo de dosificación) de aditivo Conaid.

- En la muestra de suelo A-7-6₍₁₆₎ (San Blas), su expansión redujo un 63% con respecto al suelo natural, disminuyendo de (2,84% de expansión) en estado natural a (1,03% de expansión) con 2,5% (porcentaje óptimo de dosificación) de aditivo Conaid; mientras que con el 3% (porcentaje óptimo de dosificación) en el suelo A-7-6₍₂₀₎ (Juan Nicolai) se redujo un 68% de 3,16 a 0,95 de expansión.
- Tomando en cuenta la capacidad de soporte de los suelos, la cual es una propiedad importante de los suelos, se concluye que el suelo que tuvo mejores resultados fue el suelo A-7-6₍₁₁₎ perteneciente al barrio la florida, con un aumento de 450% en su valor de CBR adicionando un porcentaje de 2,5% de aditivo Conaid.
- En cuanto al costo económico para un metro cúbico estabilizado empleando equipo y maquinaria adecuada para los suelos A-6₍₉₎, A-7-6₍₁₁₎, A-7-6₍₁₆₎ es de 288,03 Bs, y para el suelo A-7-6₍₂₀₎ es de 343,85 Bs.
- Se realizó una comparación del aditivo Conaid con el uso del aditivo Terrasil, Sika Dust Seal y Proes donde se observó que el uso del aditivo Proes en el mejoramiento de las propiedades físico-mecánica es menos costosa que el uso de los demás aditivos incluyendo Conaid, sin embargo cabe destacar que los suelos mejorados con aditivo Conaid se verán beneficiados debido a que la aplicación de este producto tiene como característica aglomerar las partículas eliminando las nubes de polvo, mejorando las condiciones de seguridad de conducción y disminuyendo las emisiones de material particulado el cual es potencialmente nocivo a las personas y la comunidad por la reducción de polvo.

5.2 Recomendaciones

- Para las pruebas de laboratorio se aconseja seguir paso a paso las guías de laboratorio, esto con el objeto de obtener mejores resultados.

- Se aconseja leer bien la ficha del aditivo Conaid para poder seleccionar muestras de suelos a ser usadas ya que este tiene ciertas restricciones.
- Se debe realizar necesariamente un análisis en el laboratorio previo a la estabilización en campo, pues como se vió los porcentajes óptimos de producto varían dependiendo del tipo de suelo a mejorar.
- El presente trabajo de investigación pretende convertirse en un lineamiento referencial para trabajos futuros al respecto, ya que es de suma importancia tener pleno conocimiento de las características particulares del suelo y del aditivo Conaid.