

NOMBRE DEL TRABAJO

**ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACION DE SUELOS ARCILLOSOS ENTRE LAS ADICIONES DE CEMENTO, CAL Y CEN**

AUTOR

**Ethel Hellen Mendoza Cruz**

RECUENTO DE PALABRAS

**7419 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**39467 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**47 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**7.2MB**

FECHA DE ENTREGA

**Nov 4, 2023 8:25 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Nov 4, 2023 8:26 AM GMT-5**

### ● 12% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado

**1.1. Realidad problemática**

[1], expresa que el sistema de transporte urbano se ve afectado a causa del deterioro que presentan las vías pavimentadas, esto sumado al incremento del volumen vehicular, y el estado del camino, obliga al usuario a ocupar las vías por largo tiempo generando una sobre carga sobre la carpeta de rodadura para la cual muchas veces no fue diseñada, esto ejerce sobre cargas prolongadas sobre el pavimento favoreciendo al deterioro.

[2] afirma que el deterioro de la red vial y su pavimento, es por el inadecuado diseño estructural, y el espesor inadecuado de su estructura y sub rasante deficiente, esto sumado a los cambios bruscos de temperatura ( expansión y contracción), precipitaciones de alta intensidad (saturación del suelo) y las cargas excesivas por tiempo prolongado a la cual está sometido la estructura, ha generado la aparición de grietas, fisuras, hundimiento y ruptura del pavimento, reduciendo considerablemente el tiempo de vida útil, ocasionando un incremento de accidentes y pérdidas económicas.

[3] afirma que la construcción de más carretera de una excelente calidad con respecto a la durabilidad y resistencia, es la clave para el desarrollo y la economía en conjunto. El crecimiento de infraestructura vial siempre busca que un pavimento sea de menor costos y mayor eficiencia, en la actualidad los pavimentos urbanos no cumplen con los requerimientos mínimos de durabilidad y resistencia, siendo vulnerables a la aparición prematura de fallas estructurales, degradándose con el pasar de los años sin recibir ningún tipo de mantenimiento hasta su deterioro total.

[4] afirma que el cambio climático es un factor de alto impacto en el pavimento ya que influye en su composición y estado físico, los cambio o ciclos de temperatura, las lluvias intensas (saturación), heladas (ciclos de congelamiento) y otros, generan un deterioro que sumado al constante tránsito de vehículos pesados, así como la geografía y la topografía del lugar propician un impacto en la infraestructura del pavimento, propiciando el rápido deterioro, con la formación de fisuras y deformaciones dando así inicio a la destrucción del pavimento.

[5] afirma que todos los pavimentos sometidos a cargas superiores para los que fueron diseñados sufrirán una deformación inicial, esto sumado a una sub rasante no tratada, con un índice de plasticidad alto, generara acumulación de deformaciones destruyendo las capas del paquete estructural del mismo, principalmente cuando la sub rasante es débil, esto a causa del uso de espesores mínimos, u otras deficiencias en el proceso constructivo, obteniendo así pavimentos frágiles de baja resistencia, no cumpliendo con el ciclo completo de vida útil, ocasionando gastos de mantenimiento prematuros o no previstos.

[6] expresan que el fenómeno de la fatiga y ahuellamiento son los principales mecanismos de falla y deterioro estructural en los pavimentos asfálticos, ambos son el resultado de la acumulación de las deformaciones permanentes en la dirección vertical, por la cíclica y prolongada carga excesiva aplicada por los neumáticos, dando inicio a la aparición de fallas estructurales, acelerando su deterioro, esto a causa de suelos de alta plasticidad no tratados antes de ser usados como sub rasante de un pavimento.

[7] afirma que toda estructura vial que este colocada sobre una subrasante débil o fracturada sufrirá todo el tiempo de vida útil, sumado a una mala elección de pavimento, con espesores menores de capas a los cuales deberían ser diseñado según el volumen de tránsito, tipo y clima, generan pavimentos deficientes con un servicio de vida incompleto, generando mayores gastos en tiempos no previstos ya que surge la necesidad de mantenimiento prematuro, por ello los pavimentos que no tiene un debido mejoramiento de la sub rasante se consideran pavimentos frágiles.

[8] expresa que la destrucción que se presenta casi todos los años por el Fenómeno del Niño Costeros, es por la falta de planificación, la poca preocupación de mejorar los suelos y el mal desarrollo urbano, siendo toda la población la afectada, con pérdidas económicas y humanas. El mal diseño estructural, la no estabilización de los suelos de la sub rasante y talud, genera infraestructura frágiles que no cumple con los requerimientos

exigidos según la demanda, da como resultado estructuras con reducido tiempo de vida útil, esto más la variación del clima y los cambios bruscos en la temperatura y a las altas precipitaciones que presenta la costa, da inicio al envejecimiento avanzado y la aparición de patologías (fisuras, grietas, erosión, pérdida de finos, rupturas y colapso) representando grandes pérdidas económicas para el país, con la necesidad de reconstrucción y reinversión.

En la investigación realizada por [9] afirma que el impacto de las precipitaciones de alta intensidad y de larga duración, no están previstas para el diseño de un pavimento en el norte del país, sumado a la poca práctica de estabilizar los suelos o tratarlos, genera pavimentos deficientes y de poca vida útil, lo que produce una alta vulnerabilidad en medio del crecimiento del espacio público, esto se refleja en la congestión del sistema urbano que afectando al pavimento de la vía, a causa del efecto de la sobrecarga vehicular, la alta temperatura de la zona y el mal diseño estructural, esto sumado a las precipitaciones de alta intensidad que se presenta por temporadas provocando inundaciones y huacos que afectaron directamente a las vías de acceso a diferentes puntos del país, con la erosión, ruptura y colapso de estructuras (carreteras, puentes, viviendas, entre otros) dejando aislados a los departamentos, generando grandes pérdidas de vida y económicas, ya que el mal estado de las vías genera el incremento de accidentes en las carreteras.

[10] afirma que el deterioro del pavimento se debe a un inadecuado diseño y un mal proceso constructivo, de tal modo que no cumple los parámetros de espesores según el tipo de carga y el tiempo de la misma, generando patologías menores que sumado a las altas precipitaciones y el clima de la ciudad (altas temperaturas), ocasionan el desgaste y deterioro del pavimento, ocasionando fallas por erosión, hundimiento, baches y ruptura del afirmado, ocasionando malestar en las personas que lo transitan y ocasionando caos vehicular.

[11] afirman que el pavimento flexible es muy utilizado en el país y el mundo a pesar que presenta problemas debido a su deterioro prematuro,

presentando patologías ha consecuencias de la inestabilidad de la sub rasante provocando la falla de todo el paquete estructural que comprende un pavimento esto sumado a las condiciones climáticas, incremento del tráfico y errores constructivos, reduciendo significativamente el tiempo de vida útil para el cual fue diseñado, esto a causa de la severidad de las fallas que se presentan, ocasionando grandes pérdidas económicas para el país

[12], su investigación "Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimento rígido", afirma que, todo pavimento que falla prematuramente es a causa del suelo donde es colocada la estructura, el suelo arcilloso es un problema que afecta a cualquier estructura ya que su comportamiento depende mucho del contenido de humedad, además de no tener una buena resistencia, el objetivo fue mejorar las características del suelo arcilloso mediante la estabilización con cal al 5%, se utilizó la metodología experimental, utilizando los ensayos de granulometría, gravedad específica, próctor, CBR y consolidación unidimensional, obteniendo como resultado que el suelo mejora sus cualidades mecánicas, como resultado se obtuvo un suelo con mejores características mecánicas volviendo apto para su uso como material de soporte para cualquier, concluyendo que la adición de cal al 5% genera una capa de material aceptable para ser usada como subrasante mejorada.

[13], con su investigación "Variación de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos compresibles estabilizados con material cementante", señala el principal problema en los suelos que constituyen la subrasante, es la presencia de arcilla, esto hace la aparición de deformaciones y baja resistencia, el objetivo fue mejorar las características del suelo arcilloso con las adiciones de cemento y cal, en los porcentajes de 2% a 6% cal y 2% a 16% cemento, se utilizó la metodología experimental sometiendo a los especímenes a los ensayos de los límites de Atterberg, corte directo, compresión inconfiada y CBR, para posteriormente ser comparadas, obteniendo como resultado que ambas adiciones mejoran significativamente las propiedades físicas, mecánicas y de deformación, concluyendo que

ambas adiciones son aptas para mejorar el suelo arcillosos para su uso como material mejorado.

[14], con su investigación <sup>1</sup> “Mejoramiento de la Subrasante en vías de tercer orden”, señala que el principal problema en la infraestructura vial, es la necesidad de mejorar la subrasante con una adición estabilizante para mejorar su resistencia utilizando cemento, su objetivo fue determinar con qué porcentaje 8%,10% y 13%, de adición el suelo arcilloso mejoraba sus características para ser usado como subrasante, se utilizó la metodología experimental descriptiva, utilizando ensayos de CBR, se obtuvo como resultado que el suelo alcanzó mayor resistencia cuando la adición de cemento es al 13%, mejorando al suelo arcilloso al 100%, concluyendo que el cemento es una adición cementante que dota de mejores características físicas y mecánicas al suelo arcillosos convirtiéndolo en un material óptimo para su uso como subrasante mejorada.

[15], con su investigación <sup>7</sup> “Características geotécnicas y otras de la arcilla de baja plasticidad tratada con cemento”, afirma que el problema en la actualidad es el crecimiento urbano desmedido que requiere de mejores estructuras, siendo los suelos de granos finos, especialmente los arcillosos sin mejorar los más usados para la construcción de carreteras, <sup>2</sup> su objetivo fue estudiar el comportamiento del suelo arcilloso en combinación con el cemento en porcentajes de 2%,4% y 6%, para mejorar <sup>40</sup> los suelos arcillosos de baja plasticidad, usando la metodología de ensayos de mecánica de suelos como compresión no confinada, tracción indirecta y permeabilidad de gases, obteniendo como resultado que la adición suelo cemento mejora las propiedades mecánicas, estas también variaron según su tiempo de curado, concluyendo que el suelo arcilloso mejora su comportamiento significativamente a <sup>33</sup> medida que se aumentaba el porcentaje de adición y en relación al tiempo de curado.

[16] <sup>11</sup> en su investigación “Estabilización de suelos arcillosos con Cal para el tratamiento de Subrasante en las calles de Abancay”, expresa que el principal problema en los pavimentos flexibles es la poca durabilidad, su objetivo principal fue determinar el óptimo porcentaje de Cal para lograr una

efectiva estabilización de suelo, usando porcentajes de 0 a 8% en intervalos de 2%, para mejorar sus características y elevar su resistencia, como metodología de estudio se utilizó los ensayos de los límites de Atterberg y CBR, obteniendo como resultado que la plasticidad y porcentaje de expansión se redujo al 8%, cumpliendo así con los requerimientos especificados según Norma Técnica para su uso como subrasante, concluyendo que la estabilización con Cal es aceptable y económica para construcción de pavimento sobre ella.

[17] en su investigación “Estabilización Química de suelo arcillosos con Cal para uso como subrasante en vías terrestres” expresa que el problema de todos los pavimento, es el resultado de los suelos con baja resistencia portante, su objetivo es determinar el óptimo contenido de Cal con el cual el suelo arcilloso eleve su resistencia inicial, mediante la metodología de ensayos como: granulometría, LL,LP e IP, próctor modificado y CBR, en muestras en estado natural y en porcentajes de 9%,15% y 21% de Cal, obteniendo como resultado que el porcentaje optimo es de 15% aumentando el CBR de 3.3% a 5.9%, encapsulando sus partículas reduciendo el hinchamiento y expansión, aumentando la resistencia a la penetración, concluyendo que la Cal con su característica cementante brinda cualidades altas, pero se debe tener en cuenta el porcentaje adecuado para cada tipo de suelo ya que el exceso o en cantidades reducidas pierde estas características.

[18], con su investigación “evaluación de estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de carbón en la subrasante de la Av. Cuzco”, afirma que el problema en los pavimentos en nuestro país, es el deterioro prematuro a causa de subrasante inestable, el objetivo de esta investigación es estabilizar el suelo arcilloso en combinación con ceniza de carbón en los porcentajes de 13%,21% y 24%, para mejorar sus características y además reducir la contaminación ambiental, se utilizó la metodología experimental, sometándose a los ensayos de los límites de Atterber, Proctor Modificado y el CBR, obteniendo como resultado que el suelo mejoro significativamente sus características a medida que la adición, concluyendo que el suelo

arcilloso se estabilizo con un porcentaje de 24% de ceniza de carbón, haciéndolo apto como subrasante mejorada.

[19], con su investigación <sup>2</sup> “Estabilización Química de suelos arcillosos para conformación de estructura de pavimento rígido utilizando cemento Portland tipo I”, afirma que <sup>1</sup> el principal problema al construir un pavimento es una subrasante con un índice de plasticidad muy elevado, volviéndola muy frágil para cualquier estructura, teniendo como objetivo mejorar las características del <sup>1</sup> suelo con la incorporación de cemento, utilizando la metodología de clasificación y resistencia, para determinar su variación de propiedades dependiendo del porcentaje de adición, utilizando de 2%,4% y 8%, se obtuvo como resultado una elevada resistencia comparada con la inicial al 8%, <sup>36</sup> concluyendo que el cemento mejora las características de suelo en estudio de manera que es aceptable para su uso como subrasante para pavimento.

[20], <sup>1</sup> en su investigación “Mejoramiento de propiedades mecánicas de suelos arcillosos mediante la incorporación de cenizas de carbón para vías carrózables”, afirma que el problema en las vías en la región es a causa de la baja resistencia del suelo, el objetivo fue mejorar sus características <sup>2</sup> con la incorporación de ceniza de carbón como adición al 10%,15%y20%, se utilizó la metodología experimental sometiendo las muestras a ensayos de mecánica de suelos, como resultado se obtuvo que el suelo mejora considerablemente su resistencia en relación con el porcentaje de adición, concluyendo que la ceniza de carbón al 15% brinda las mejores cualidades no solo en resistencia si no en trabajabilidad, siendo esta aceptable para su uso como subrasante buena.

[21] <sup>20</sup> con su investigación “Estabilización de suelos de alta plasticidad usando Cemento Portland”, afirma que <sup>1</sup> el problema sobre el deterioro prematuro de los pavimentos es causado por no usar subrasantes mejoradas, teniendo como objetivo determinar la proporción adecuada de adición que permita obtener mejores características mecánicas adicionando el cemento Portland en los porcentajes de 7%, 10%,13%, 16%, 19% y 22% , para ello se utilizó la metodología experimental por medio de los ensayos,



como resultado se obtuvo un suelo con mejores características esto en relación al incremento de adición llegando a un óptimo contenido de 13%, concluyendo que el Cemento brinda mejores características en relación al porcentaje de adición – resistencia, por sus características cementantes.

[22], en su investigación “ Evaluación de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y aplicación en carreteras no pavimentadas”, expresan la baja resistencia de los suelos en Chiclayo es un problema que limita la construcción, el objetivo de su investigación fue evaluar una nueva alternativa de estabilización de suelos con un bajo impacto ambiental y costo, usando cenizas de carbón como nueva alternativa de estabilización en porcentajes 7%,14% y 21% para evaluar su comportamiento, para ello se usó la metodología experimental por medio de ensayos como proctor standard, gravedad específica, granulometría y límites de Atterberg, obteniendo como resultado que la activación alcalina del suelo con la ceniza de carbón al 14% mejora significativamente la plasticidad del material reduciendo el agua, concluyendo que la adición en la mezcla en forma cementante y aumenta la resistencia en porcentaje de 7%, concluyendo que esta adición es aceptable para su uso en estabilización de vías no pavimentadas.

## 31 1.2. Formulación del problema

¿de qué manera influye el cemento, cal y la ceniza de carbón, en la estabilización de los suelos arcillosos para subrasante, en la región Lambayeque para el año 2023?

## 1.3. Hipótesis

las adiciones de cemento, cal y ceniza de carbón, y en qué porcentaje se logra la mejor estabilización de suelos arcillosos.

## 1.4. Objetivos

### Objetivo general

Realizar el estudio comparativo de estabilización de suelos arcillosos entre las adiciones de cemento, cal y ceniza de carbón en la región Lambayeque en el periodo 2023.

## Objetivos específicos

- Determinar la caracterización física y mecánica del suelo arcilloso en carretera pavimentada en el distrito de Mórrope - Lambayeque.
- Determinar las características físicas y mecánicas del suelo arcilloso con la incorporación de cemento, cal y ceniza de carbón, cada una por separada en los porcentajes de 4%,7%,10% y 13%.
- Comparar los resultados que se obtienen y determinar con cual adición y en qué porcentaje el suelo arcilloso alcanza la mayor resistencia.

### 1.5. Teorías relacionadas al tema

#### Los suelos

Según la [23] los suelos son partículas sólidas producto de la degradación de la roca que conforman la corteza terrestre que tiene características que lo hacen un material estructural capaz de soportar cargas. Pero esto dependerá del tamaño de partículas que lo componen siendo las más aceptable la que tenga todos los tamaños.

#### Clasificación de suelos

Según [24] es la determinación en cantidad de partículas en base a su tamaño en una proporción determinada.

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm – 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm
		Arena media: 2.00 mm – 0.425mm
		Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

2

Figure 1: clasificación de suelos  
Fuente: MTC2014 – Manual de Carreteras suelos geotecnia y pavimentos

#### Cemento

Según [25] expresa que es resultado de la trituración de la roca que mezclado con agua forman una pasta que permite su manejo y que fragua, y en estado endurecido obtiene características de resistencia en un determinado tiempo de vida útil.

## **Cal**

Según [26] resultado de la quema y pulverización de la roca caliza o calcita, la cual después de este proceso toma el nombre de Cal o óxido de calcio, que al agregarle agua se hidrata, dotando a la mezcla resistencia a corto plazo, que mezclado con arena forma un mortero con características estructurales.

## **Cenizas de carbón mineral**

Según [27], las cenizas volantes, las cuales son retenidas en el tamiz N°200, este es utilizado en distintos procesos, uno de ellos como material de relleno, esto a que no tiene puzolana, las cenizas de fondo, este material es el que queda en los filtros de la caldera y pasa el tamiz N°200, este material se le llama geopolímero, este logra obtener propiedades puzolánicas similares al cemento portland.

## **Estabilización**

Según [28] es la modificación o <sup>21</sup>mejoramiento de las características de un suelo a través de incorporando productos naturales, químicos y sintéticos y procedimiento mecánico, Este proceso consiste en dotar de resistencia mecánica durante el tiempo. La estabilización de suelos es recomendable por razones medioambientales y económicas, donde las exigencias de la calidad son elevadas, obteniendo obras con mayor durabilidad ya que aumenta la resistencia a las cargas y esfuerzos a las que son sometidos.

## <sup>9</sup> **Tipos de estabilización de suelos**

### **Estabilización mecánica**

Busca mejorar la resistencia del suelo sin cambiar su composición, utilizando la compactación, reduciendo el volumen de vacíos.

### **Estabilización física**

La estabilización física busca dotar al suelo de granulometría adecuada aportando material fino cohesivo o granulares, o utilizando Geotextiles, mejorando sus características mecánicas consolidando el suelo.

### **Estabilización química**

Según [29] La estabilización química es utilizada para controlar polvos, mejorando las características del suelo empleando agentes químicos naturales.

### **Estabilización con cal**

Según [30] es un proceso por el cual el suelo tiene una incorporación de cal en un determinado porcentaje que hará que sus características de resistencia aumente y reduciendo significativamente su plasticidad, facilitando así su manejo en los trabajos de construcción. La estabilización con Cal una mezcla cementante con optima humedad y granulometría fina que al someterse a la compactación elimina vacíos dejando una capa maciza con características mecánicas capaz de soportar esfuerzos, por ello los suelos finos son los más apropiados para estabilizar con Cal.

Según [31] la cal puede ser utilizada en suelos inestables modificando sus características reduciendo humedad, modificando sus características físicas y estabilizando sus partículas, reduciendo vacíos y dotando de resistencia.

### **Estabilización con cemento portland**

Según [32] es la mezcla del suelo natural con adición de cemento en un porcentaje determinado que en combinación con el agua forman una material con mejores características, que al ser sometida a la compactación y al curado brindan alta resistencia. Esto variara según el tipo y cantidad del suelo y la relación cemento, agua y del proceso constructivo y del tipo de curado.

### **Estabilización con cenizas de carbón**

La ceniza de carbón es un material orgánico producto final de la quema de madera formado por oxido ácidos, lo cuales proporcionan una reacción alcalina. estas se activan en ambiente alcalino, formándose un gel que proporciona propiedades cerámicas y zeolíticas las cuales no se encuentran en materiales de cemento tradicional y genera aluminosilicatos que tiene una alta fracción de óxidos reactivos que reacciona con un activador de silicato de sodio que conduce a una alta resistencia dentro de

un corto tiempo y en ambientes con temperaturas relativamente bajas, siendo el mejor activador para las cenizas de carbón de bajo contenido de calcio con cemento portland, de tal forma que si tiene mayor concentración de alcalinos se obtendrá mejores propiedades mecánicas .

### Granulometría

sirve para determinar en cantidad y tamaños un suelo de un determinado volumen [33].

Tipo de material	Tamaño de las partículas
Grava	75 mm – 4.75 mm
Arena	Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm
	Arena media: 2.00mm – 0.425mm
	Arcna fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Limo	0.075 mm – 0.005 mm
Arcilla	Menor a 0.005 mm

Figure 2: Ttamaño de partículas - clasificación Fuente: departamento de transportes de california

### 39 Contenido de humedad

Busca expresar en porcentaje el peso del agua que se encuentra en un determinado volumen de suelo en estado natural, esto mediante el proceso de secado controlado y constante con ayuda de un horno, siendo la diferencia entre el peso inicial de la muestra y el peso de la misma después de ser retirada del horno, siendo esta el peso del agua [34].

### 18 limite líquido y limite plástico

es el porcentaje de agua del cual dependerá si el suelo se vuelve líquido, plástico o semirrígido, dependiendo de la cantidad que se le agregue a la mezcla. [35].

### compresión inconfiada

nos permite determinar la carga de compresión con la cual el suelo llega a fallar para determinar su resistencia, esto mediante un control de

deformaciones vs cargas, esto nos permitirá tener una idea de su comportamiento de suelo en campo. [36]

### **compactación –Proctor Modificado**

nos permite la eliminación de vacíos y generar una masa más compacta dándole al suelo de una mayor resistencia, permitiéndonos obtener el óptimo contenido de humedad para poder controlarlo en campo y se cumpla con lo requerido según la demanda. [35].

### **Impacto ambiental**

En la actualidad el mundo se encuentra en plan de crecimiento de infraestructura de la mano con protección y conservación del medio ambiente dándole relevancia a los ecosistemas, esto debido a la toma de conciencia humana con la reducción de consumo de energía para reducir la emisión de contaminantes. En todos los países que están en vía de desarrollo deben estar comprometidos de crear conciencia creando y fomentando la tecnología limpia y la ejecución obras civiles que estén de la mano con el medio ambiente y el bienestar común.

Debido a la necesidad de transporte eficiente se ha dado un aumento en la construcción, rehabilitación de pavimentos, para ello se utilizan gran cantidad de energía y esto genera gases de efecto invernadero, por ello se busca reducir el consumo de energía, reduciendo la eliminación de material existente, ya que requieren transporte, manejo y ubicación de gran movimiento de material (botaderos) los cuales modifican ecosistemas. Cuando seleccionamos un lugar de préstamo se debe tener en cuenta la alteración del ecosistema en la zona ya que no debe ser afectada para conservar la flora y fauna que ahí habita, y si es el caso plantar árboles removidos por necesidad del proyecto, también se debe tener en cuenta la emisión de gases producidos por el equipo y maquinaria que es utilizada en la ejecución de la obra.

### **Seguridad y salud ocupacional**

Según [37] seguridad en la construcción es muy importante para prevenir accidentes, y que trabajo se realice eficientemente, tiene como finalidad prevenir, garantizar la integridad del trabajador dentro de la obra.

Para el desarrollo <sup>23</sup> de los ensayos realizados en el laboratorio de mecánica de suelos, se utilizaron el equipamiento básico de protección.

### **Equipo de protección**

El equipo de protección individual es obligatorio para el desarrollo de cualquier actividad, si el personal está en obra, siendo lo básico los zapatos de protección, casco, lentes de seguridad, mascarilla y guantes. Adicionalmente, dependiendo del riesgo se dotará de tapones de oídos, respirador contra el polvo y arnés de línea de vida.

### **Gestión de riesgos y prevención de desastres**

Según [38] un desastre es un evento fortuito de carácter natural (inundaciones, sismos, etc) el cual obliga a el paro de las actividades, ocasionando pérdidas significativas, ya sean de vida o económicas.

Es por ello es de suma importancia tener un área de Gestión del Riesgo de Desastre, ayudando a prevenir o sobre llevar cuando se presente un reduciendo así los efectos y peligros.

## <sup>16</sup> II. METODO

### **2.1. Tipo y diseño de investigación**

La presente investigación es tipo cuantitativa permitiéndonos recolectar información de manera confiable y comparar los datos de la estabilización de suelos con adiciones de cemento, cal <sup>9</sup> y ceniza de carbón en los porcentajes de 4%,7%,10% y 13%, con la finalidad de mejorar sus características físicas y mecánicas.

Su diseño de investigación será por medio de seis muestras extraídas de seis calicatas, cada muestra será sometida a la incorporación de adiciones diferente, en porcentajes iguales por separado, los cuales serán comparados entre los mismos porcentajes, pero de diferente adición y se determinara con cuál de ellas y en qué porcentaje el suelo arcilloso se vuelve apto para ser una subrasante mejorada.

## 2.2. Variable, operacionalización

27 En las tablas 1 y 2 se muestra la Operacionalización de la variable independiente

Table 1:variable independiente

Variable de estudio	Dimensiones	Indicadores	Subindicadores	Índice	Técnica de recolección de información	Instrumentos de medición
Cemento, cal y ceniza de carbón	3 Propiedades	Resistencia	Adición en porcentajes	Kg	Observación y análisis de documentos	Análisis de registro



## 24 Operacionalización de la variable dependiente

Table 2: Operacionalización de la variable dependiente

Variable dependiente	Dimensiones	Indicadores	Sub indicadores	Técnica de recolección de información	Instrumentos de recolección de información	Instrumentos de medición
Estabilización de suelos arcillosos	Características Del suelo de estudio en estado natural	Propiedades físicas	<sup>2</sup> MTC E 101 MTC E 107 MTC E 108  MTC E 110 MTC E 111	<sup>3</sup> Observación y análisis de documentos	Guía de observación	<sup>3</sup> Formatos y ensayos en el laboratorio de materiales de la Universidad Señor De Sipán
		Propiedades Mecánicas	MTC E 115 MTC E 121			
	Características del suelo arcilloso con la incorporación cemento, cal y ceniza de carbón en	Propiedades Físicas	MTC E 1101 MTC E 1102		Observación y análisis de documentos	Guía de observación
		Propiedades	<sup>3</sup> MTC E 1103			

diferentes  
porcentajes

Mecánicas

MTC E 1108  
MTC E 1109  
MTC E 121

---

*Fuente: Elaboración propia.*

### 2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección población

es el total de las muestras y probetas utilizadas en estado natural y con adición separada de cemento, cal y ceniza de carbón con el suelo arcilloso y ensayadas según las Norma Técnica Peruana.

#### Muestra

Obtuvimos un total de 468 probetas, siendo 36 de suelo en estado natural, 144 probetas serán adicionadas con cemento, 144 probetas con Cal y 144 con Ceniza de Carbón, estas en los porcentajes de (4%,7%,10% y 13%). Independientemente, Los suelos fueron obtenidos de la Avenida Mexico del Distrito de Mórrope, Lambayeque – Lambayeque.

Se eligió dicha vía porque su pavimento fue cambiado en dos ocasiones por completo por presentar fallas y ruptura antes de 3 años de vida útil, esto a causa que no se realizó un mejoramiento de la sub rasante teniendo como material predominante arcilla y limo.

Table 3: población - muestras probetas

muestras	%adicion	proctor modificado	compresion no confinada	n° de calicatas	sub total	
suelo natural	0%	3	3	6	36	
suelo arcilloso	suelo/cemento	4%	3	3	6	36
		7%	3	3	6	36
		10%	3	3	6	36
		13%	3	3	6	36
	suelo/cal	4%	3	3	6	36
		7%	3	3	6	36
		10%	3	3	6	36
		13%	3	3	6	36
	suelo/ceniza de carbon	4%	3	3	6	36
		7%	3	3	6	36
		10%	3	3	6	36
		13%	3	3	6	36
					468	

Fuente: elaboración propia

Se obtuvieron un total de 174 muestras de suelo, utilizando 06 para el análisis granulométrico para su clasificación, 60 fueron sometidas al

1 ensayo de contenido de humedad, 60 para la determinación de límites de atterberg, en estado natural y con adición.

Table 4: población - muestras material

muestras		análisis granulométrico	contenido de humedad	límites de atterberg	n° de calicatas	sub total
suelo arcilloso	suelo natural	1	1	1	6	12
	suelo/cemento	0	3	6	6	54
	suelo/cal	0	3	6	6	54
	suelo/ceniza de carbon	0	3	6	6	54
						174

Fuente: elaboración propia

## 1 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

### Técnicas de gabinete

**Observación** y recopilación de información que nos permitirán entender el proceso en campo.

### Técnicas de laboratorio

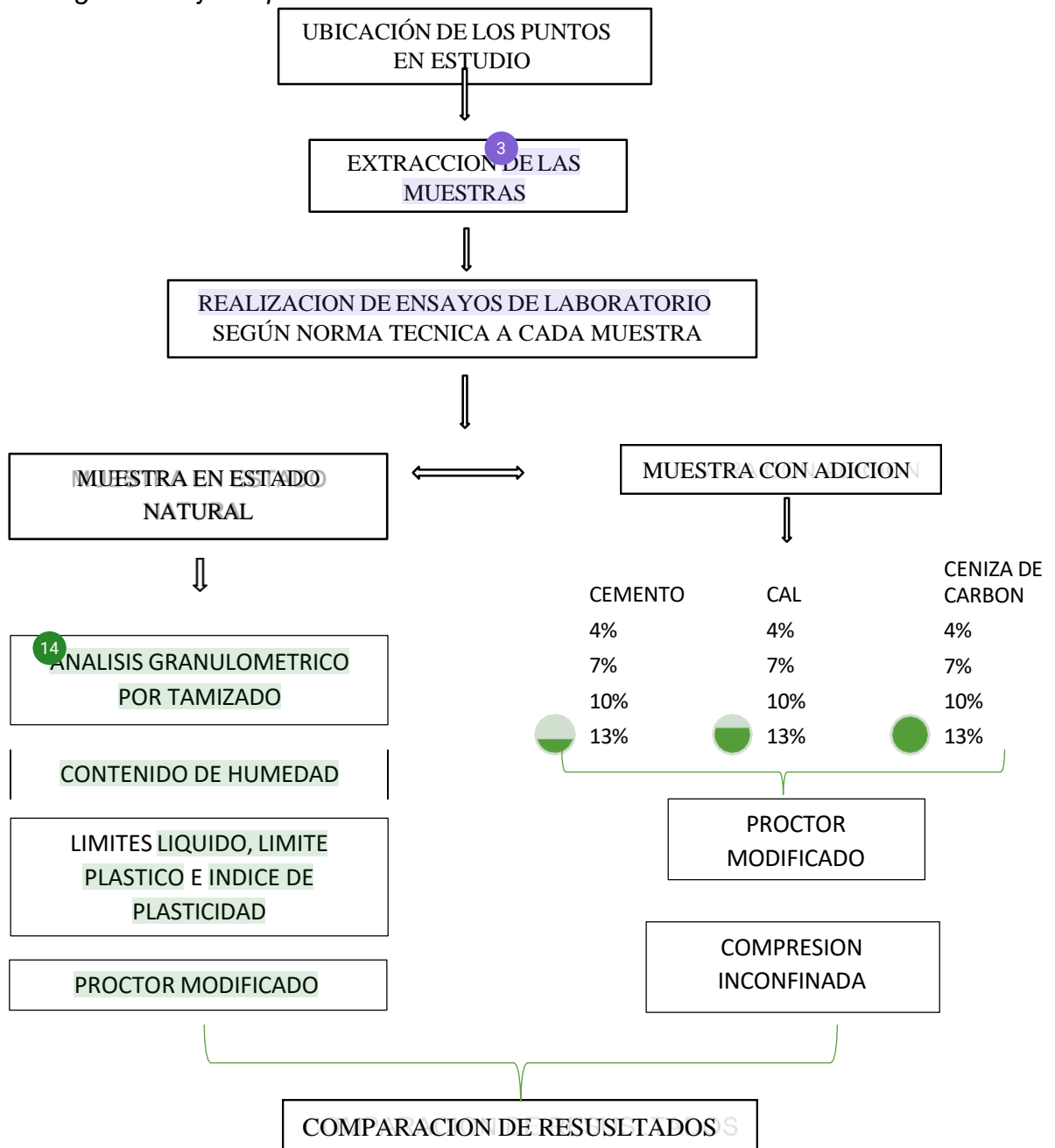
Recolección de datos por medio de la realización experimental y procesados por medio de hojas de cálculo, para ello se utilizarán los formatos de:

- Hoja de cálculo del análisis granulométrico por tamizado.
- Hoja de cálculo para determinar los límites de Atterberg.
- Hoja de cálculo para determinar el contenido de humedad.
- Hoja de cálculo del proctor modificado.
- Hoja de cálculo de compresión inconfiada.

## 1 2.5. Procedimiento de análisis de datos

Se recolectará los datos según el análisis estadístico descriptivo, por ser datos cuantitativos, se codificarán y se almacenarán en forma adecuada en hojas de datos electrónicas, luego se analizarán bajo parámetros de comparación para probar la hipótesis. [39].

Figure 3: flujo de procesos



Fuente: Elaboración propia

## Descripción del proceso

### a). Ubicación de los puntos en estudio

Se seleccionó la Av. Mexico del Distrito de Mórrope, como lugar de estudio ya que es una vía que presenta fallas a causa de una subrasante débil y ha sido cambiado en su totalidad dos veces en menos de 3 años, por ello se busca encontrar una solución. Seleccionamos un campo de estudio de un kilómetro y medio (1.5km).



37 *Figure 4: ubicación del tramo en estudio 1km+500m*  
*Fuente: Elaboración propia.*



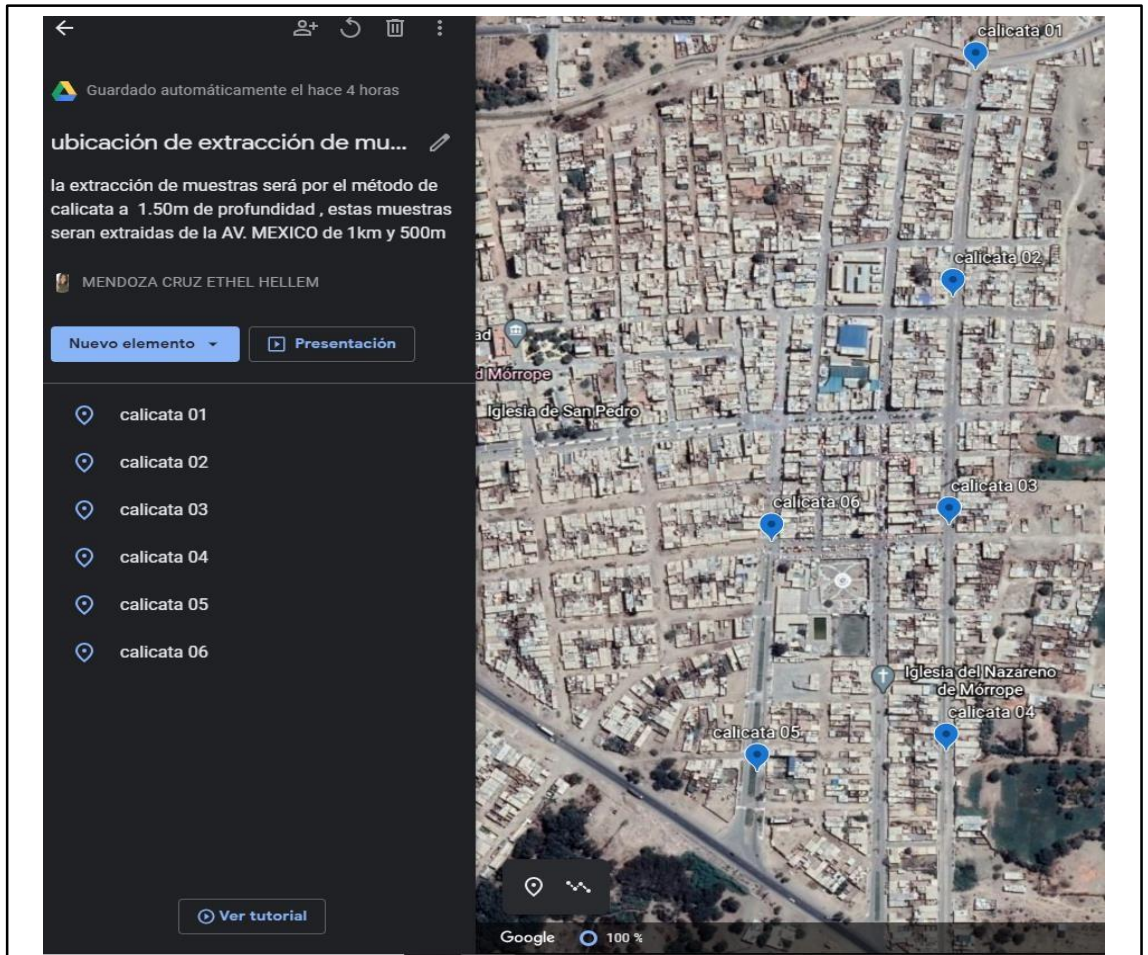


Figure 5: ubicación de los puntos de extracción a cada 250m entre si  
Fuente: Elaboración propia.



13 Figure 6: primer punto de extracción (coordenadas)  
Fuente: Elaboración propia.

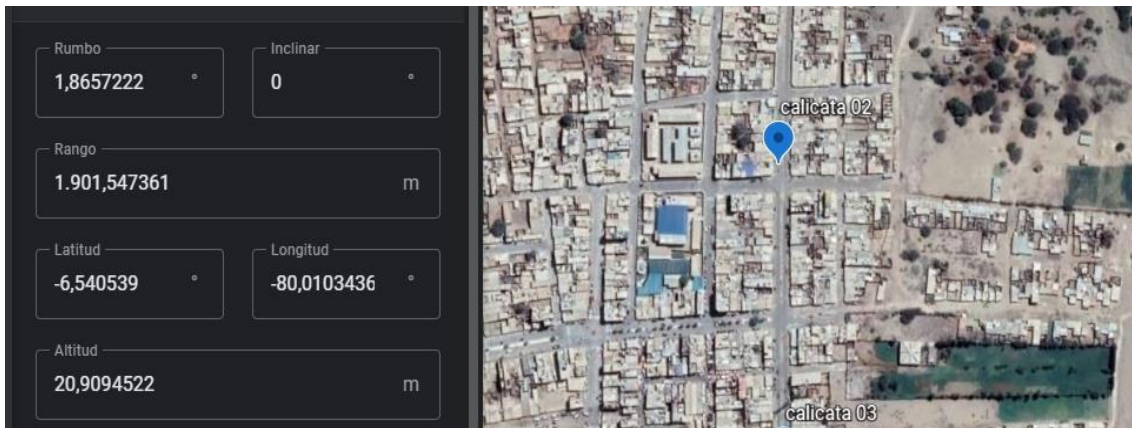


Figure 7:segundo punto de extracción (coordenadas)  
Fuente: Elaboración propia.

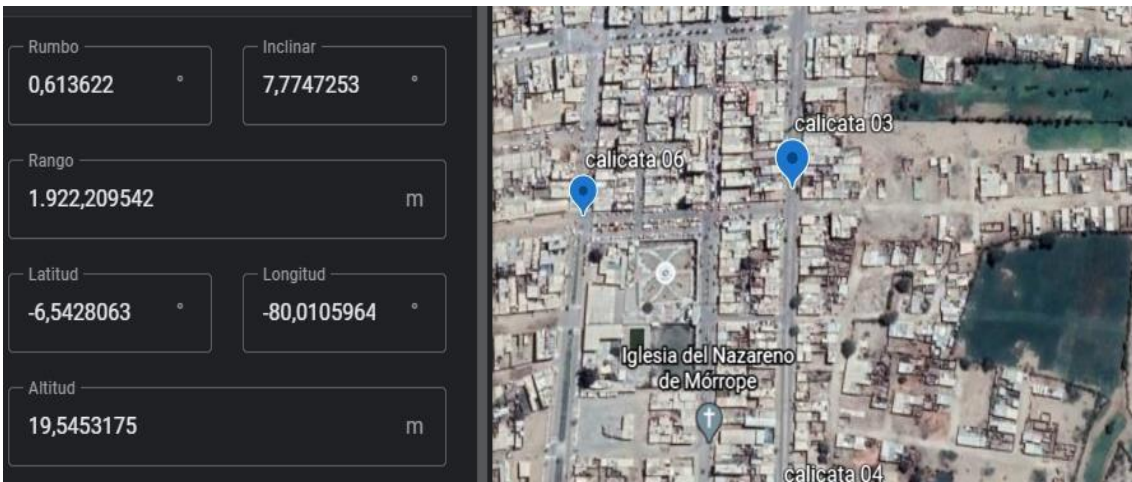
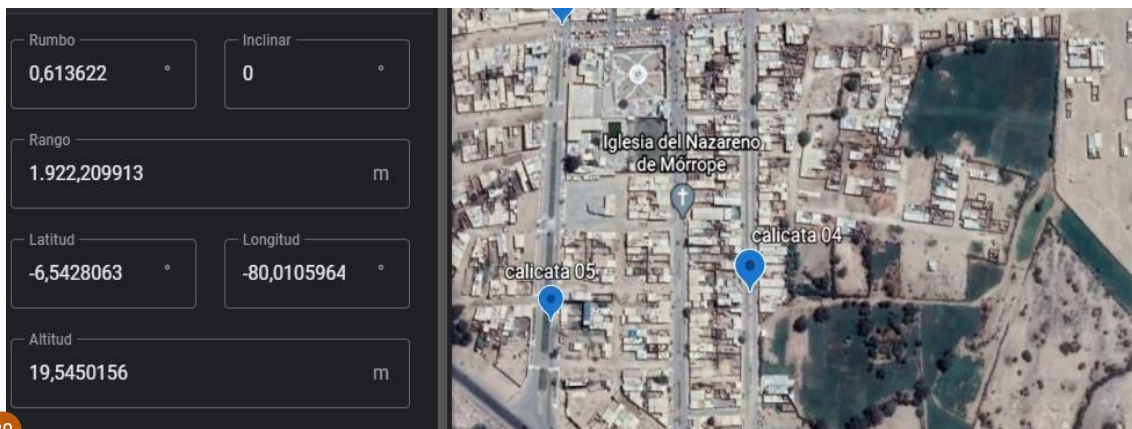


Figure 8: tercer punto de extracción (coordenadas)  
Fuente: Elaboración propia.



30 Figure 9:cuarto punto de extracción (coordenadas)  
Fuente: Elaboración propia.



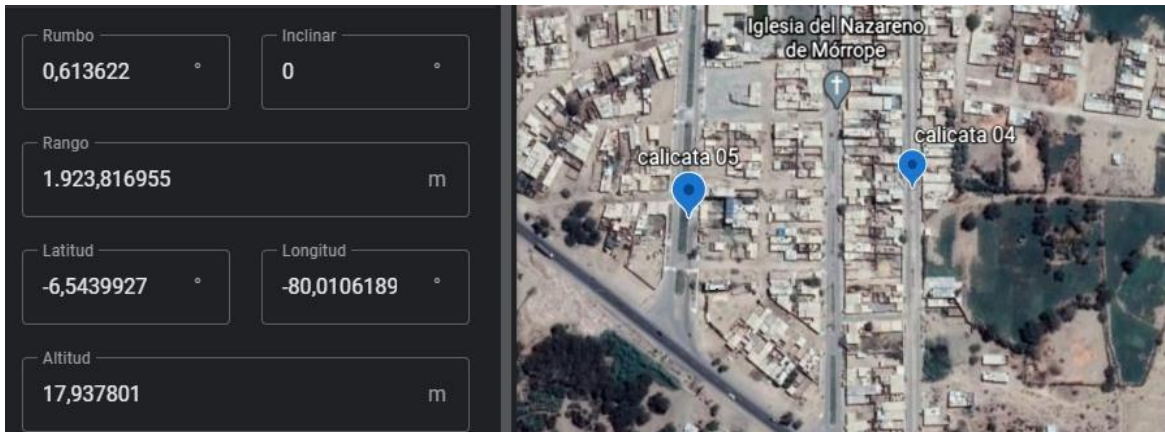


Figure 10: quinto punto de extracción (coordenadas)  
Fuente: Elaboración propia.

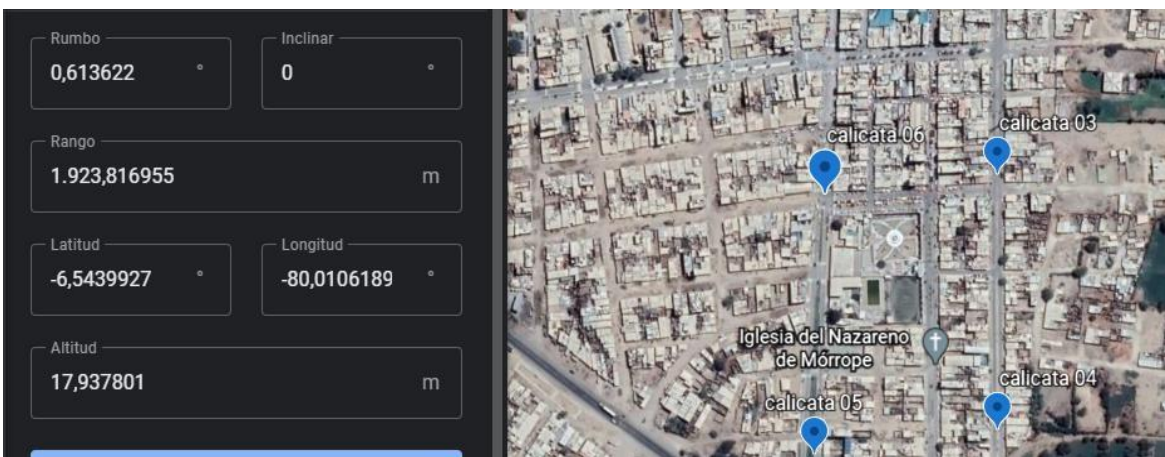


Figure 11: sexto punto de extracción (coordenadas)  
Fuente: Elaboración propia.

**b). obtención de muestra**



*Figure 12:calicata C-1 extracción (0+000) Av. México  
Fuente: elaboración propia*



*Figure 13:calicata C-02 (0+250) Av. México  
Fuente: Elaboración propia.*

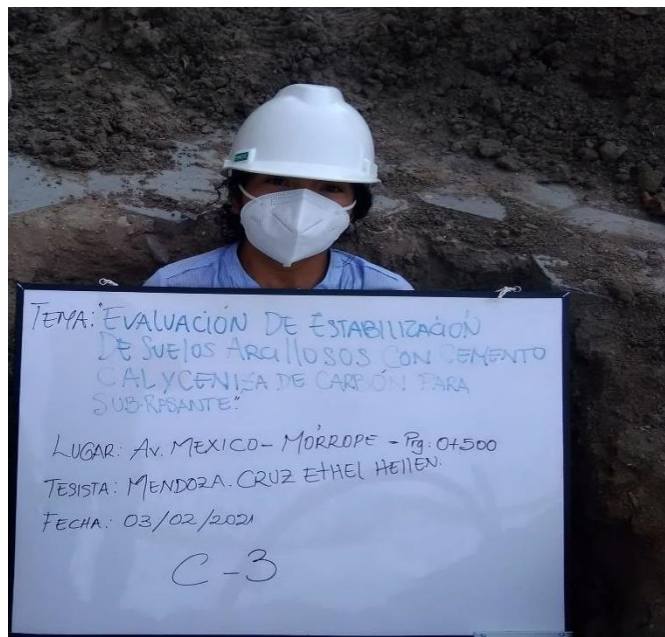


Figure 14:calicata C-03 (0+500) Av. México  
Fuente: elaboración propia



Figure 15:calicata C-04 (0+750) Av. México  
Fuente: elaboración propia





Figure 16:calicata C-05 (1+000) Av. México  
Fuente: elaboración propia



Figure 17:calicata C-06 (1+500) Av. México  
Fuente: elaboración propia

## 2.5.1. Ensayos realizados a las muestras extraídas de las seis calicatas

### ➤ granulometría

nos permite determinar la distribución de las partículas mediante una serie de tamices, teniendo en cuenta el material retenido y el que pasa cada una de las mallas hasta el fondo, generando la curva granulométrica según N.T.P 339.128, que nos ayudara a clasificar el suelo.

### ➤ <sup>10</sup>Contenido de humedad

permite <sup>1</sup>determinar el contenido de agua en peso del <sup>1</sup>suelo en estudio en estado natural de las muestras extraídas de las seis calicatas, el ensayo se realizó según <sup>1</sup>la NTP 339.127

### ➤ Límites de Atterberg

Se realizó este ensayo con el fin de <sup>7</sup>determinar el <sup>7</sup>límite líquido, <sup>7</sup>límite plástico y el <sup>7</sup>índice de plasticidad de cada muestra tanto en estado natural como con cada porcentaje de adición, para su realización se tuvo en cuenta los pasos a seguir según N.T.P.339.129.





➤ **Proctor modificado**

Nos permite a determinar el esfuerzo máximo y <sup>1</sup> el óptimo contenido de humedad con el cual el suelo en estudio es más compacto, esto nos servirá para controlar la compactación en campo, el ensayo se realizó teniendo como guía la N.T.P. 339.141.

➤ **Compresión inconfiada**

Este ensayo nos permitió <sup>10</sup> determinar el contenido de humedad de la muestra en estado natural y en combinación con las adiciones en los diferentes porcentajes para poder determinar <sup>26</sup> la resistencia a la compresión, permitiéndonos visualizar la resistencia al corte mediante la gráfica de esfuerzo vs deformación, para su desarrollo se siguió los pasos señalados según la N.T.P.339.167

## 2.6. Criterios éticos

Según [40] nos expresa que garantiza el proceso de investigación mientras esta cumpla con las normas vigentes establecidas, dotando al profesional de seguridad en su desarrollo profesional.

Según [41] señala que se ejercerá la profesión respetando y haciendo respetar los procesos correcto manteniendo el honor y la dignidad de la profesión haciendo prevalecer el buen concepto de la profesión.

## III. RESULTADOS Y DISCUSION

### 3.1. Resultados

para realizar los estudios primero se determinó la zona en estudio de un kilómetro y medio (1.5km), realizando se un total de seis calicatas con una distancia entre sí de 250m, posteriormente después de extraer las muestras, estas fueron llevadas al laboratorio para seguir con los ensayos establecido en la presente investigación.

#### Propiedades y características físicas del suelo en estudio

##### a. Análisis granulométrico del suelo

se realizó el análisis granulométrico en base al MTC E 107.

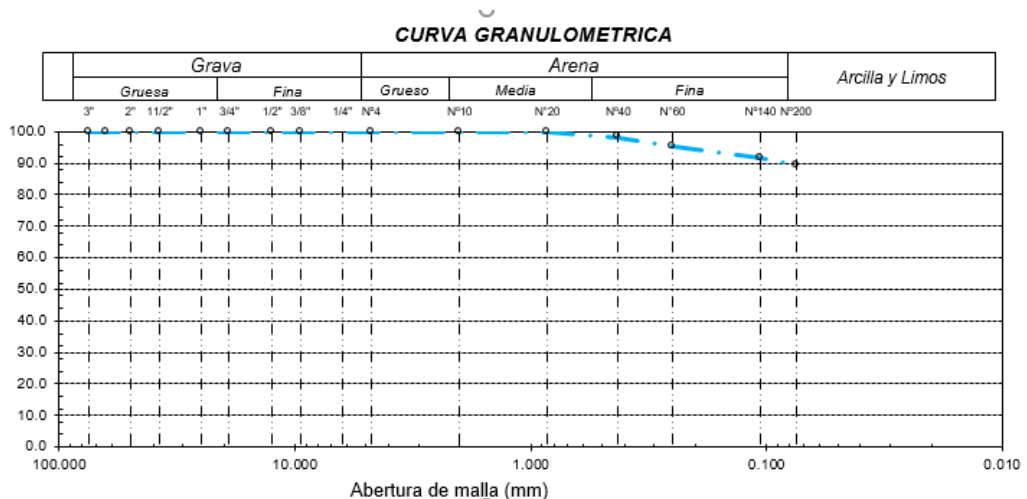


Figure 20: curva granulometrica

Fuente: elaboracion propia

Interpretando los resultados obtenidos se procedió a clasificar el suelo en base a la curva granulométrica observando que más del 50% de la muestra pasa el tamiz No.200, denominándolo como limos y arcilla, pero al tener un LL <50 SE CLASIFICA como arcilla(CL) ó limo (ML) Según AASTHO: LL  $\leq 40$  y  $\geq 41$  y el IP es  $\geq 11$ . se clasifica como suelo arcilloso, también se determinó el contenido de humedad

Table 5: Resumen de la clasificación de suelos y contenido de humedad

DESCRIPCION		LIMITES			CLASIFICACION	
CALICATA	C.H	LL	LP	IP	S.U.C.S	AASHTO
C-01	0.45	39.19	21.7	17.49	A-6 (11)	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD
C-02	1.4	41.7	21.7	20	A-7-6(12)	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD
C-03	0.59	45.74	23.04	22.69	A-7-6(14)	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD
C-04	1.49	39.53	21.7	17.83	A-6 (11)	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD
C-05	0.45	39.19	21.7	17.49	A-6 (11)	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD
C-06	0.83	38.87	21.7	17.17	A-6 (11)	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD

Fuente: elaboración propia

## b. Límites de Atterberg

Table 6: Resumen de resultados

DESCRIPCION		LIMITES		
CALICATA	C.H	LL	LP	IP
C-01	0.45	39.19	21.7	17.49
C-02	1.4	41.7	21.7	20
C-03	0.59	45.74	23.04	22.69
C-04	1.49	39.53	21.7	17.83
C-05	0.45	39.19	21.7	17.49
C-06	0.83	38.87	21.7	17.17

Fuente: elaboración propia

Según los datos obtenidos de los ensayos, los rangos de los resultados oscilan de 17.17 a 17.49 son suelo con mediana plasticidad y los rangos que oscilan de 20 a 22.69 son arcillas de alta plasticidad.



**c. Proctor modificado**

Se obtuvieron los resultados del ensayo su máxima densidad seca y su optimo contenido de humedad, esto en estado natural y con incorporación de las adiciones en los diferentes porcentajes para determinar su grado de compactación dependiendo la carga sometida. Este ensayo fue realizado teniendo como guía la N.T.P.339.141 y MTC E 115.

**Table 7: proctor modificado suelo arcilloso vs adición al 4%**

C.H. SUELO N (%)	PESO UNITARIOS (KN/M3)	C.H. SUELO N (%) CAL 4%	PESO UNITARIOS (KN/M3)	C.H. SUELO N (%) CEMT 4%	PESO UNITARIOS (KN/M3)	C.H. SUELO N (%) C.C4%	PESO UNITARIOS (KN/M3)
13,37	16,168	11,02	18,253	12,76	16,956	12,59	17,186
15,34	16,803	12,74	18,804	14,01	17,838	14,46	18,430
18,31	16,829	14,43	18,972	16,06	17,873	16,29	18,463
20,19	16,246	15,83	18,824	16,83	17,070	17,29	17,534

Fuente: elaboración propia

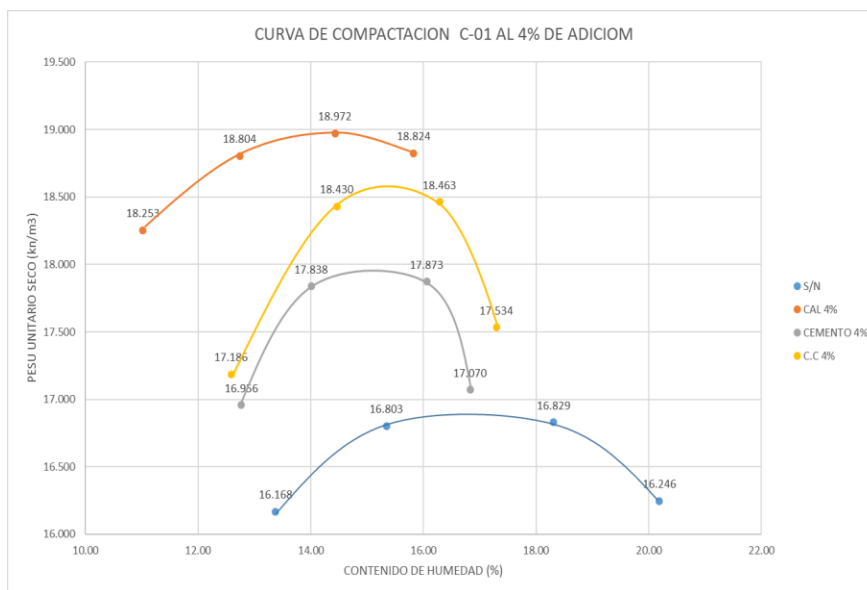


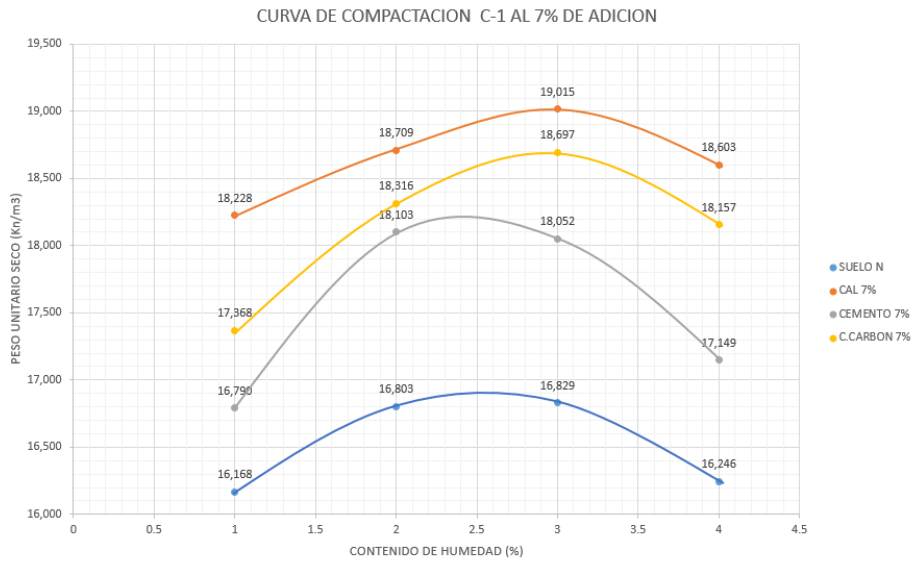
Figure 21: curva de compactación al 4% de adición

Fuente: elaboración propia

**Table 8: proctor modificado suelo arcilloso vs adición al 7%**

C.H. SUELO N (%)	PESO UNITARIOS (KN/M3)	C.H. SUELO N (%) CAL 7%	PESO UNITARIOS (KN/M3)	C.H. SUELO N (%) CEMT 7%	PESO UNITARIOS (KN/M3)	C.H. SUELO N (%) C.C7%	PESO UNITARIOS (KN/M3)
13,37	16,168	10,77	18,228	11,53	16,790	11,17	17,368
15,34	16,803	12,15	18,709	13,09	18,103	12,57	18,316
18,31	16,829	13,84	19,015	15,13	18,052	13,94	18,697
20,19	16,246	15,41	18,603	16,65	17,149	16,01	18,157

Fuente: elaboración propia

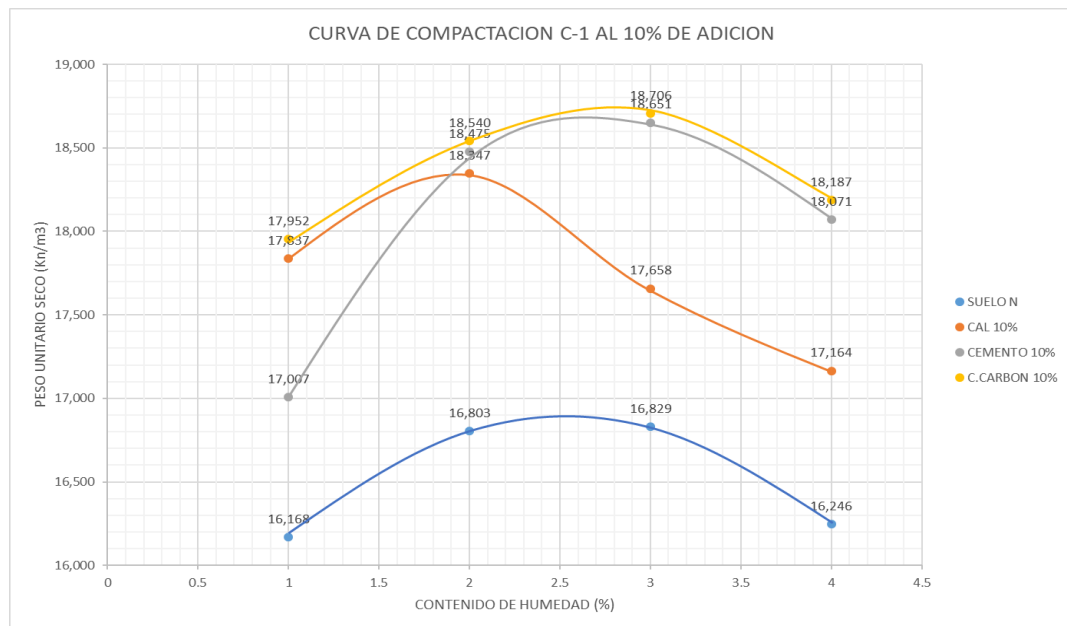


**Figure 22: curva de compactacion al 7% de adicion**  
**Fuente: elaboración propia**

**Table 9: proctor modificado suelo arcilloso vs adición al 10%**

C.H. SUELO N (%)	PESO UNITARIOS (KN/M3)	C.H. SUELO N (%) CAL 10%	PESO UNITARIOS (KN/M3)	C.H. SUELO N (%) CEMENT 10%	PESO UNITARIOS (KN/M3)
13,37	16,168	11,98	17,837	11,09	17,007
15,34	16,803	13,79	18,347	12,44	18,475
18,31	16,829	15,17	17,658	14,50	18,651
20,19	16,246	16,79	17,164	16,28	18,071

**Fuente: elaboracion propia**



**Figure 23: curva de compactacion al 10% de adicion**  
**Fuente: elaboración propia**

Table 10: proctor modificado suelo arcilloso vs adición al 13%

C.H. SUELO N (%)	PESO UNITARIOS (KN/M3)	C.H. SUELO N (%) CAL 13%	PESO UNITARIOS (KN/M3)	C.H. SUELO N (%) CEMENT 13%	PESO UNITARIOS (KN/M3)	C.H. SUELO N (%) C.C13%	PESO UNITARIOS (KN/M3)
13,37	16,168	10,91	18,533	9,41	17,876	10,34	18,280
15,34	16,803	11,91	19,000	10,98	18,512	12,29	18,686
18,31	16,829	14,27	19,016	12,86	18,674	14,42	18,709
20,19	16,246	15,33	18,508	14,69	18,331	15,72	18,383

Fuente: elaboración propia



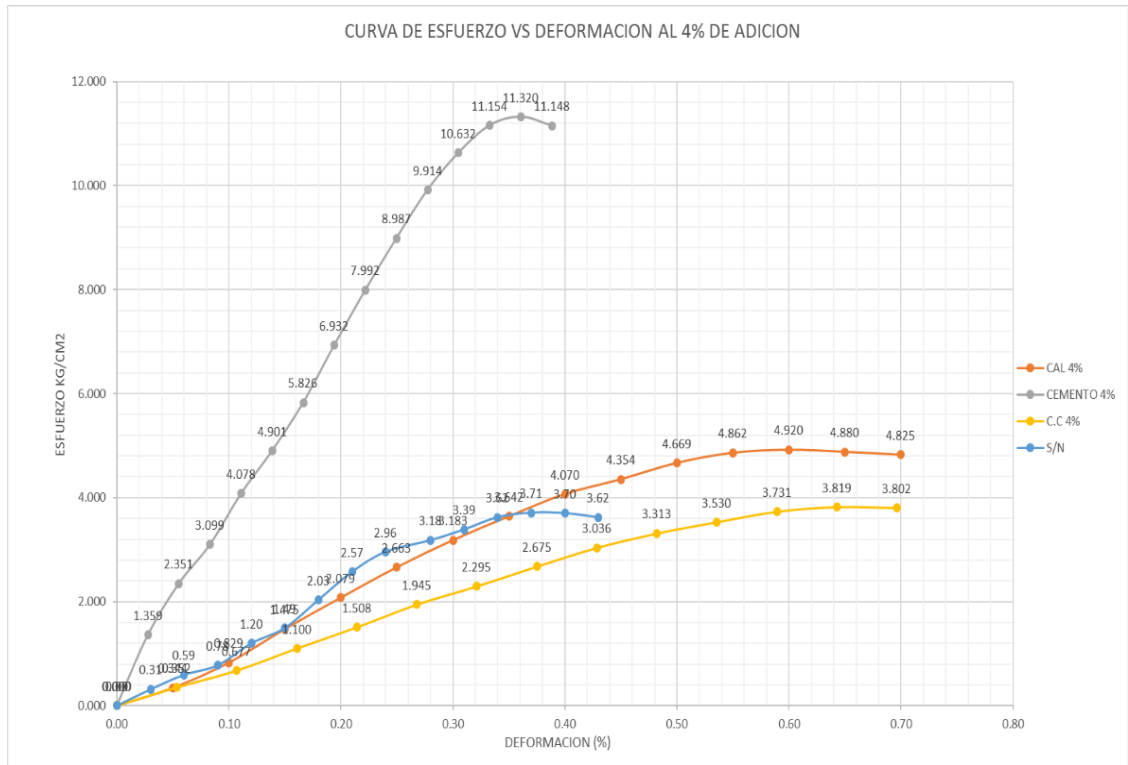
Figure 24: curva de compactación al 13% de adición  
Fuente: elaboración propia

#### d. Compresión no confinada

Table 11: Resultado de ensayo de compresión no confinada al 4% adición

SUELO NATURAL		CAL 4%		CEMENTO 4%		C. CARBON 4%	
ESFUERZO	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION
0.000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
0.344	0.05	1.36	0.03	0.35	0.05	0.31	0.03
0.829	0.1	2.35	0.06	0.68	0.11	0.59	0.06
1.475	0.15	3.10	0.08	1.10	0.16	0.78	0.09
2.079	0.2	4.08	0.11	1.51	0.21	1.2	0.12
2.663	0.25	4.90	0.14	1.95	0.27	1.49	0.15
3.183	0.3	5.83	0.17	2.30	0.32	2.03	0.18
3.642	0.35	6.93	0.19	2.68	0.38	2.57	0.21
4.070	0.4	7.99	0.22	3.04	0.43	2.96	0.24
4.354	0.45	8.99	0.25	3.31	0.48	3.18	0.28
4.669	0.5	9.91	0.28	3.53	0.54	3.39	0.31
4.862	0.55	10.63	0.31	3.73	0.59	3.62	0.34
4.920	0.6	11.15	0.33	3.82	0.64	3.71	0.37
4.880	0.65	11.32	0.36	3.80	0.70	3.7	0.4
4.825	0.7	11.15	0.39	3.69	0.75	3.62	0.43

Fuente: elaboración propia

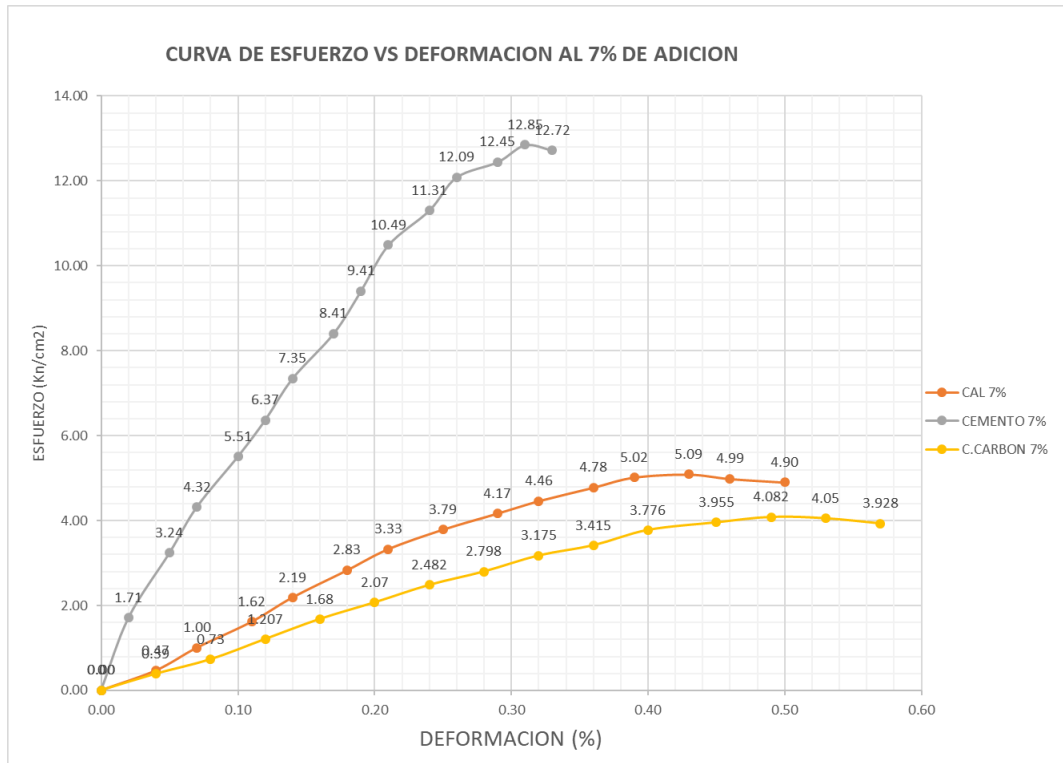


8 Figure 25: curva de esfuerzo vs deformacion al 4% de adición  
Fuente: elaboración propia

Table 12: Resultado de ensayo de compresion no confinada al 7% adición

SUELO NATURAL		CAL 7%		CEMENTO 7%		C. CARBON 7%	
ESFUERZO	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION
0.000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
0.344	0.05	0.47	0.04	1.71	0.02	0.39	0.04
0.829	0.1	1.00	0.07	3.24	0.05	0.73	0.08
1.475	0.15	1.62	0.11	4.32	0.07	1.207	0.12
2.079	0.2	2.19	0.14	5.51	0.10	1.68	0.16
2.663	0.25	2.83	0.18	6.37	0.12	2.07	0.2
3.183	0.3	3.33	0.21	7.35	0.14	2.482	0.24
3.642	0.35	3.79	0.25	8.41	0.17	2.798	0.28
4.070	0.4	4.17	0.29	9.41	0.19	3.175	0.32
4.354	0.45	4.46	0.32	10.49	0.21	3.415	0.36
4.669	0.5	4.78	0.36	11.31	0.24	3.776	0.4
4.862	0.55	5.02	0.39	12.09	0.26	3.955	0.45
4.920	0.6	5.09	0.43	12.45	0.29	4.082	0.49
4.880	0.65	4.99	0.46	12.85	0.31	4.05	0.53
4.825	0.7	4.90	0.50	12.72	0.33	3.928	0.57

fuentes: elaboración propia

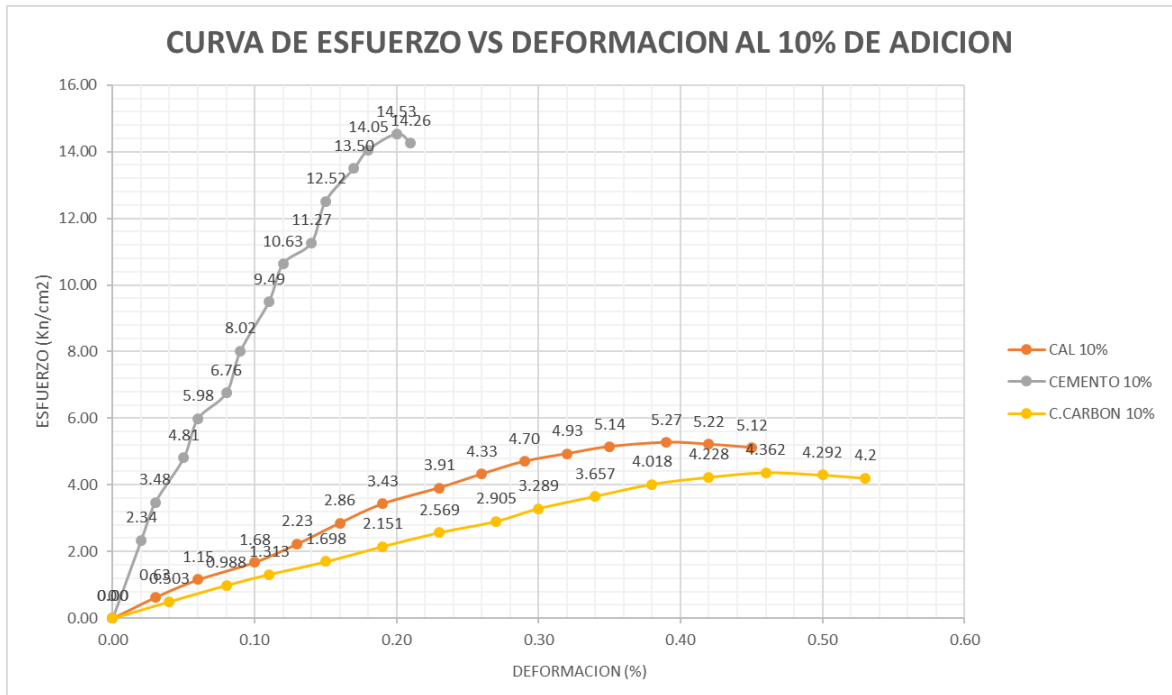


8 **Figure 26: curva de esfuerzo vs deformacion al 7% de adicion**  
fuente:elaboracion propia

**Table 13:Resultado de ensayo de compresion no confinada al 10% adiccion**

SUELO NATURAL		CAL 10%		CEMENTO 10%		C. CARBON 10%	
ESFUERZO	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
0.314	0.03	0.63	0.03	2.34	0.02	0.503	0.04
0.594	0.06	1.15	0.06	3.48	0.03	0.988	0.08
0.776	0.09	1.68	0.10	4.81	0.05	1.313	0.11
1.199	0.12	2.23	0.13	5.98	0.06	1.698	0.15
1.494	0.15	2.86	0.16	6.76	0.08	2.151	0.19
2.034	0.18	3.43	0.19	8.02	0.09	2.569	0.23
2.574	0.21	3.91	0.23	9.49	0.11	2.905	0.27
2.958	0.24	4.33	0.26	10.63	0.12	3.289	0.3
3.18	0.28	4.70	0.29	11.27	0.14	3.657	0.34
3.387	0.31	4.93	0.32	12.52	0.15	4.018	0.38
3.623	0.34	5.14	0.35	13.50	0.17	4.228	0.42
3.709	0.37	5.27	0.39	14.05	0.18	4.362	0.46
3.7	0.4	5.22	0.42	14.53	0.20	4.292	0.5
3.62	0.43	5.12	0.45	14.26	0.21	4.2	0.53

4 **fuente:elaboración propia**



8 **Figure 27: curva de esfuerzo vs deformacion al 10% de adicidente**  
*Fuente: elaboración propia*

**Table 14: Resultado de ensayo de compresion no confinada al 13% adiccion**

SUELO NATURAL		CAL 13%		CEMENTO 13%		C. CARBON 13%	
ESFUERZO	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION	ESFUERZO	DEFORMACION
0	0	0	0	0	0	0	0
0.314	0.03	0.806	0.03	2.283	0.01	0.647	0.04
0.594	0.06	1.434	0.06	4.214	0.03	1.23	0.07
0.776	0.09	2.055	0.09	5.289	0.04	1.675	0.11
1.199	0.12	2.614	0.12	6.234	0.05	2.038	0.15
1.494	0.15	3.12	0.15	7.217	0.07	2.423	0.18
2.034	0.18	3.587	0.19	8.492	0.08	2.861	0.22
2.574	0.21	4.138	0.22	9.902	0.09	3.184	0.26
2.958	0.24	4.545	0.25	10.695	0.1	3.644	0.3
3.18	0.28	4.928	0.28	12.04	0.12	4.005	0.33
3.387	0.31	5.169	0.31	13.302	0.13	4.35	0.37
3.623	0.34	5.401	0.34	14.215	0.14	4.612	0.41
3.709	0.37	5.573	0.37	15.537	0.16	4.77	0.44
3.7	0.4	5.541	0.4	16.631	0.17	4.745	0.48
3.62	0.43	5.358	0.43	16.41	0.18	4.615	0.52

*fuentes: elaboración propia*

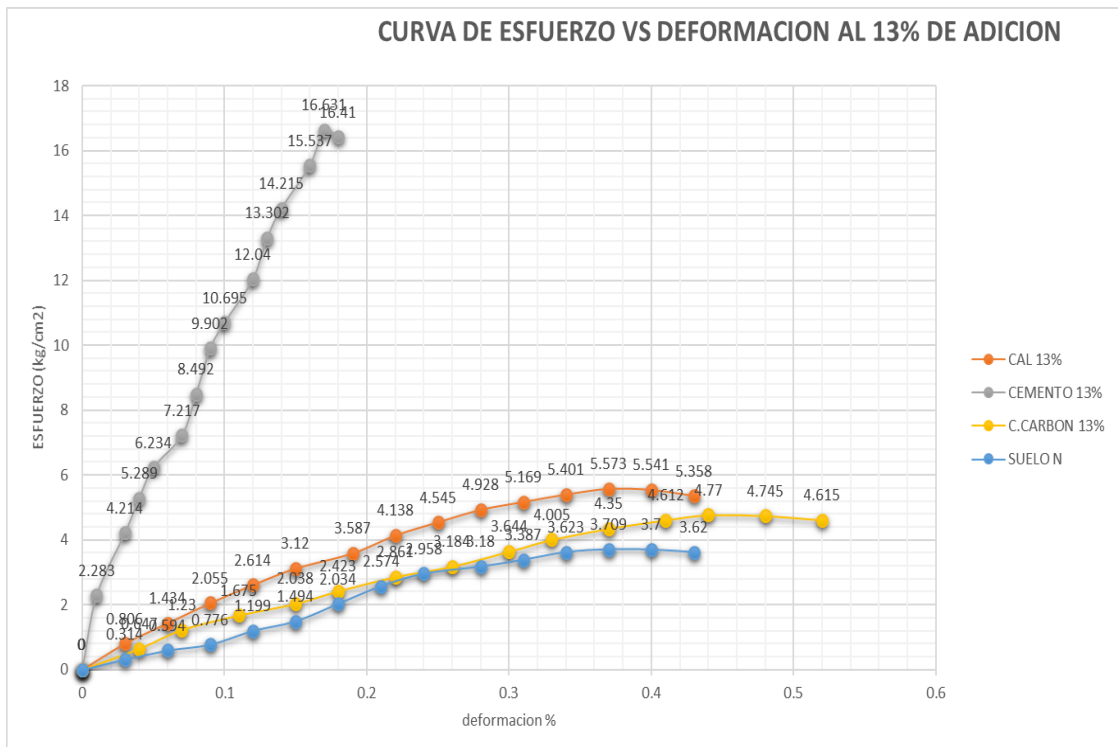


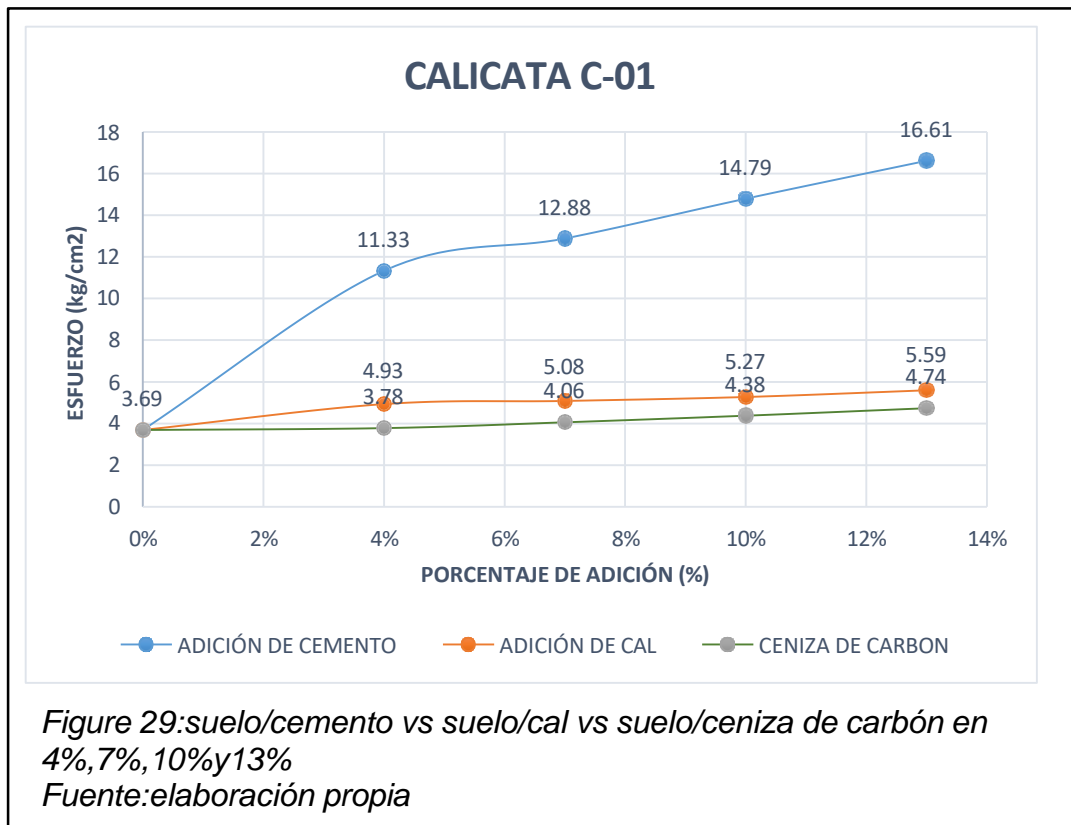
Figure 28: curva de esfuerzo vs deformacion al 13% de adicidente  
Fuente: elaboración propia

**determinación de la mejor adición para estabiliza el suelo arcilloso**

Table 15: porcentaje de adiccion vs esfuerzo

Calicata C-01			
% de adición	cemento esfuerzo(kg/c m3)	Cal esfuerzo(kg/c m3)	Ceniza carbón esfuerzo(kg/c m3)
0%	3.69kg/	3.69	3.69
4%	11.33	4.93	3.78
7%	12.88	5.08	4.06
10%	14.79	5.27	4.38
13%	16.61	5.59	4.74

fuelle: elaboración propia



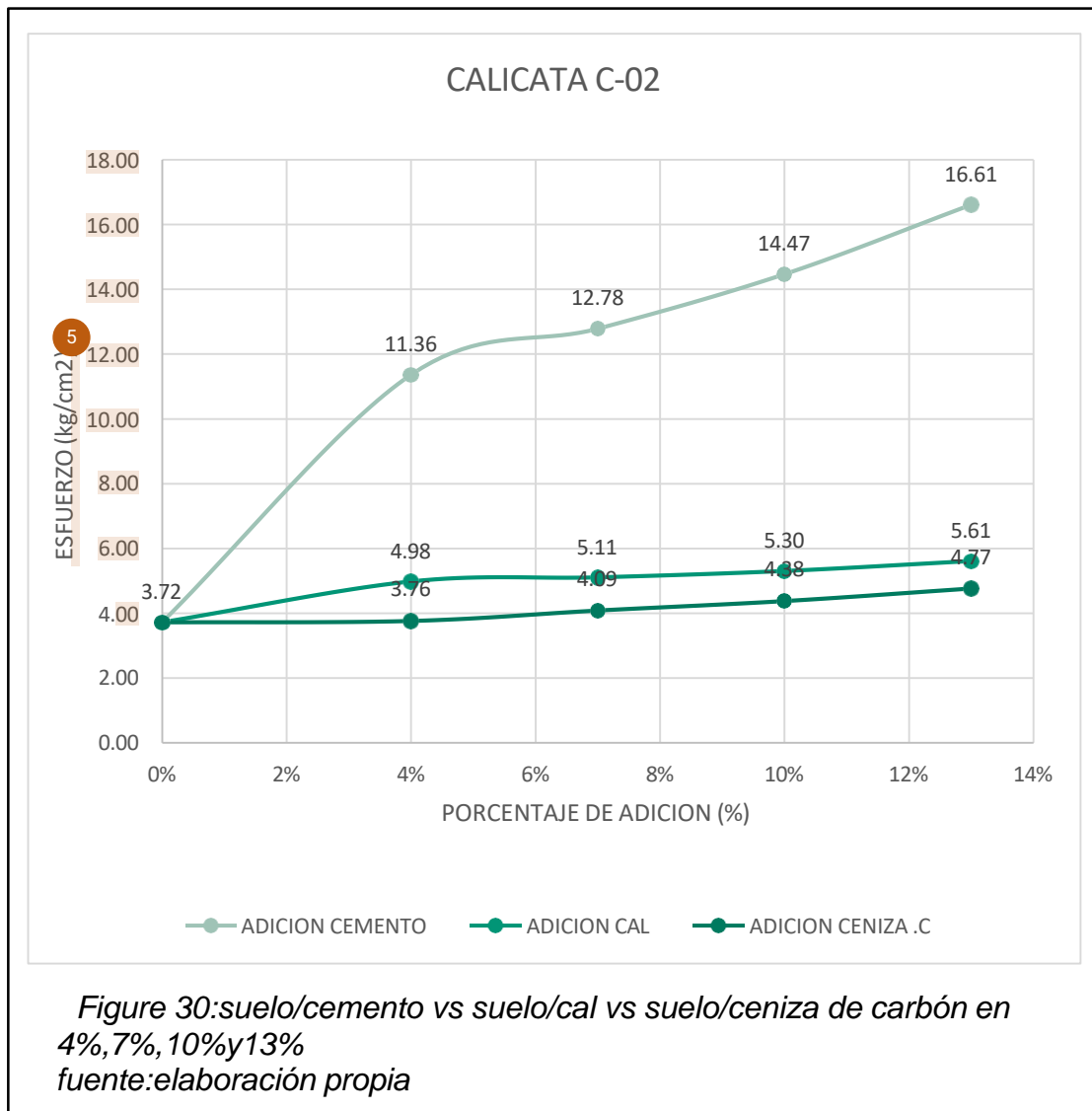
mediante la gráfica se determinó que todas las combinaciones mejoran significativamente sus características mecánicas en relación esfuerzo vs porcentaje de adición, siendo la mejor combinación la suelo/cemento al 13%.

*Table 16: porcentaje de adición vs esfuerzo*

Calicata C-02			
% de adición	6 cemento esfuerzo(kg/cm3)	Cal esfuerzo(kg/cm3)	Ceniza carbón esfuerzo(kg/cm3)
0%	3.60	3.60	3.60
4%	11.33	4.96	3.83
7%	12.88	5.08	4.06
10%	14.41	5.27	4.38
13%	16.61	5.60	4.75

*fuentes: elaboración propia*

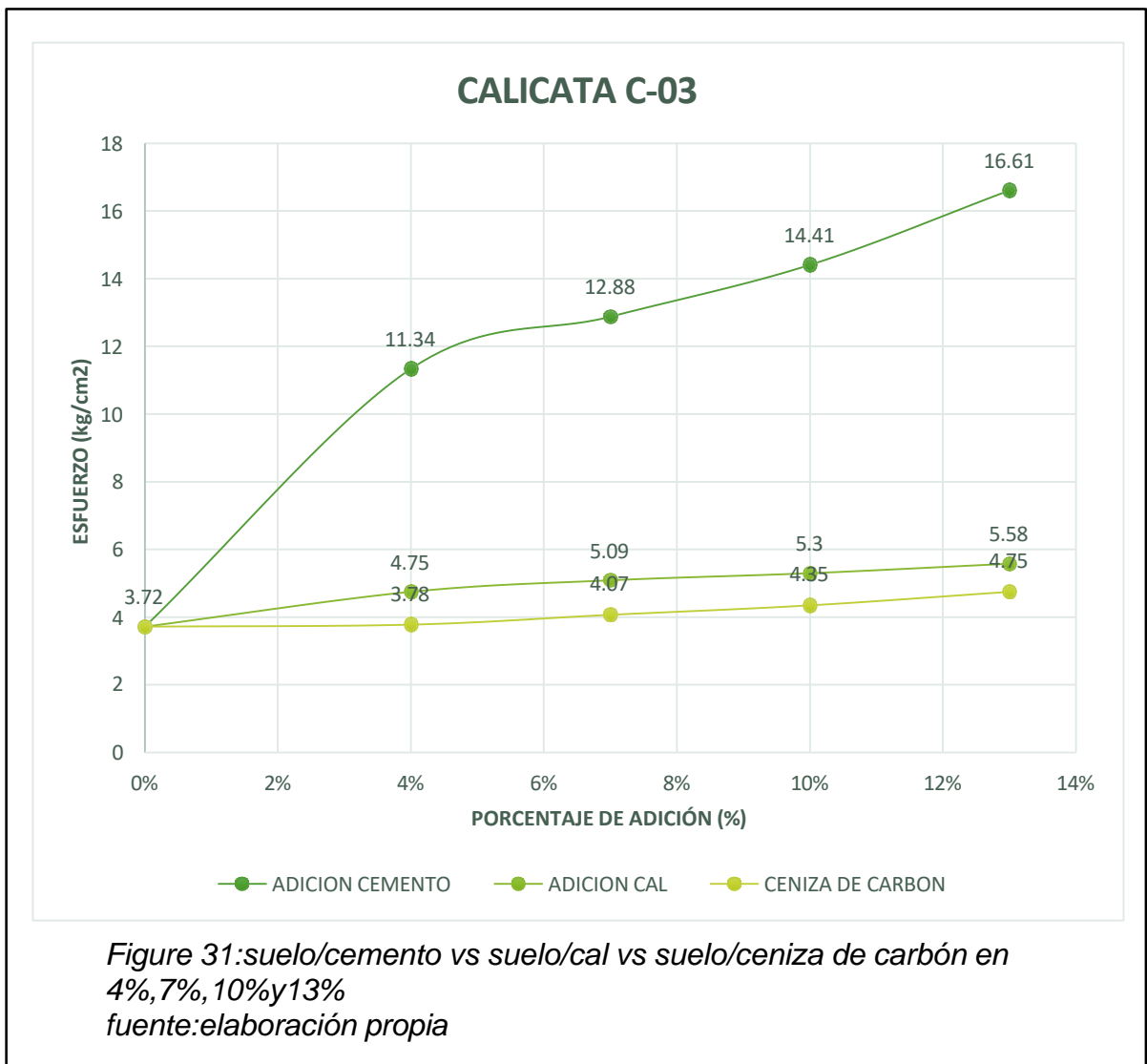




**Table 17: porcentaje de adición vs esfuerzo**

Calicata C-03			
% de adición	6 cemento esfuerzo(kg/cm <sup>3</sup> )	Cal esfuerzo(kg/cm <sup>3</sup> )	Ceniza Carbón esfuerzo(kg/cm <sup>3</sup> )
0%	3.72	3.72	3.77
4%	11.34	4.75	3.81
7%	12.88	5.09	4.08
10%	14.41	5.3	4.4
13%	16.61	5.58	4.79

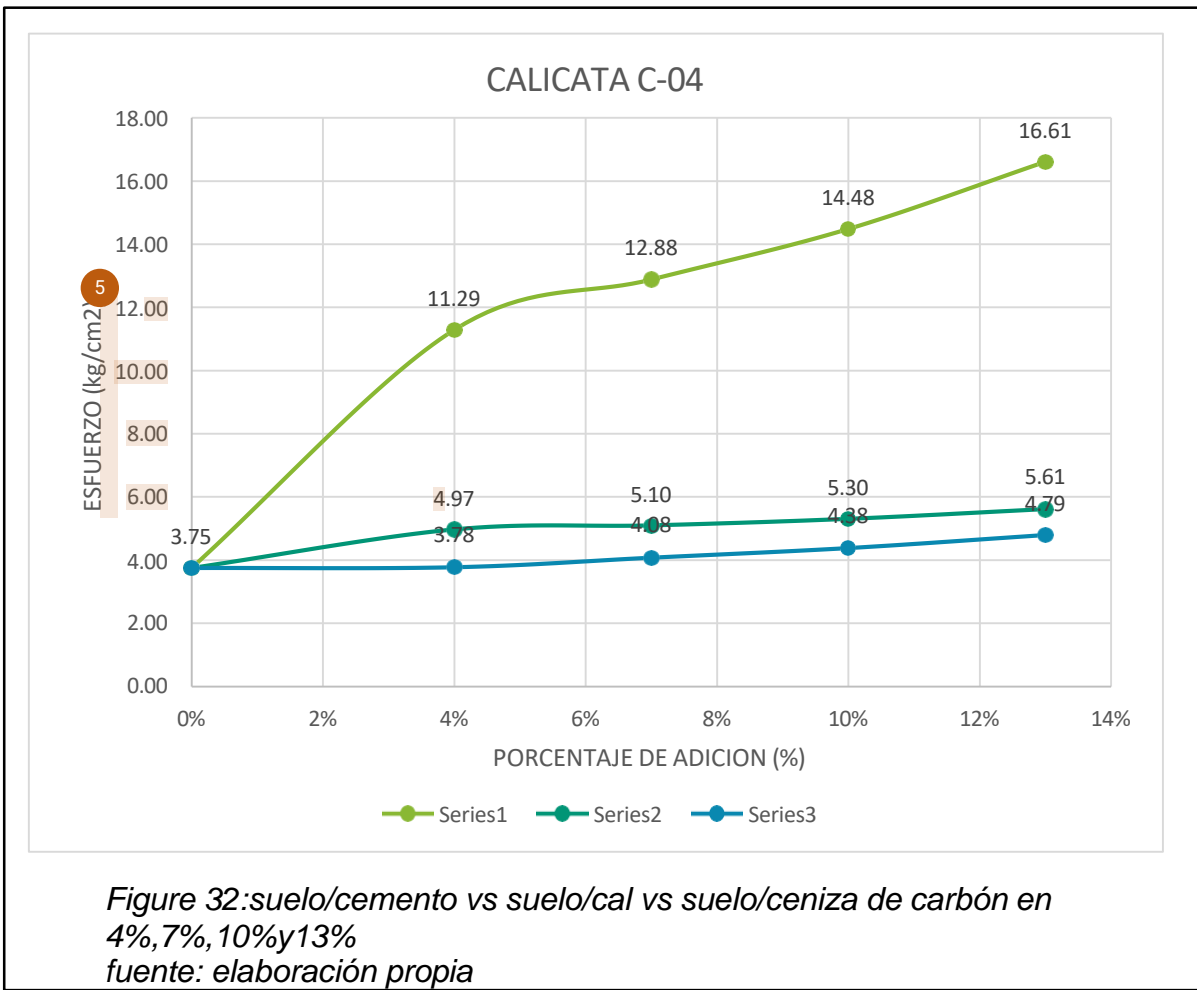
*fuente: elaboración propia*



*Table 18: porcentaje de adición vs esfuerzo*

Calicata C-04			
% de adición	6 cemento esfuerzo(kg/cm <sup>3</sup> )	Cal esfuerzo(kg/cm <sup>3</sup> )	Ceniza carbón esfuerzo(kg/cm <sup>3</sup> )
0%	3.75	3.75	3.75
4%	11.29	4.97	3.78
7%	12.88	5.10	4.08
10%	14.48	5.30	4.38
13%	16.61	5.61	4.79

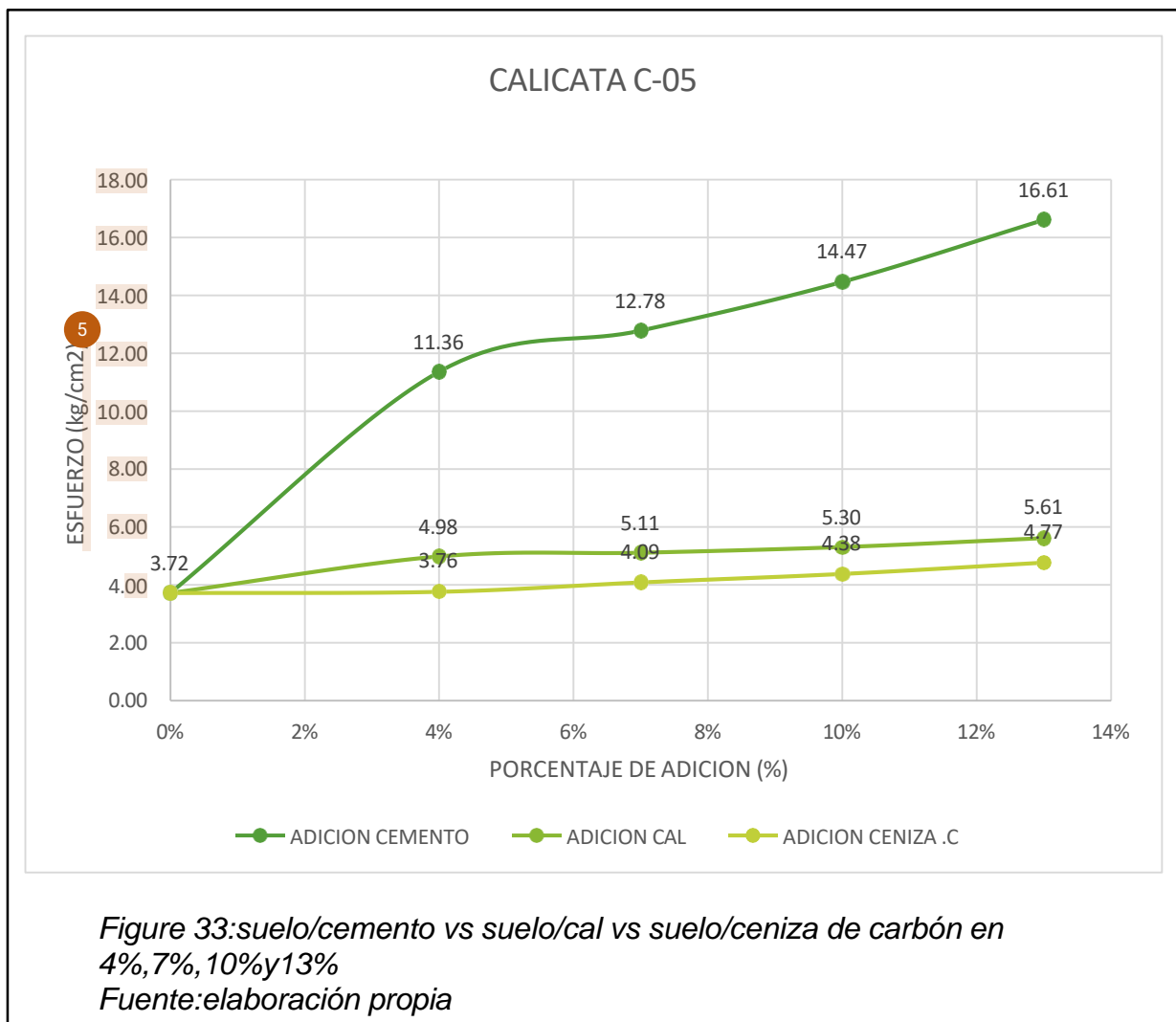
*fuente: elaboración propia*



*Table 19: porcentaje de adición vs esfuerzo*

<i>Calicata C-05</i>			
% de adición	cemento esfuerzo(kg/cm3)	Cal esfuerzo(kg/cm3)	Ceniza carbón esfuerzo(kg/cm3)
0%	3.72	3.72	3.72
4%	11.36	4.98	3.76
7%	12.78	5.11	4.09
10%	14.47	5.30	4.38
13%	16.61	5.61	4.77

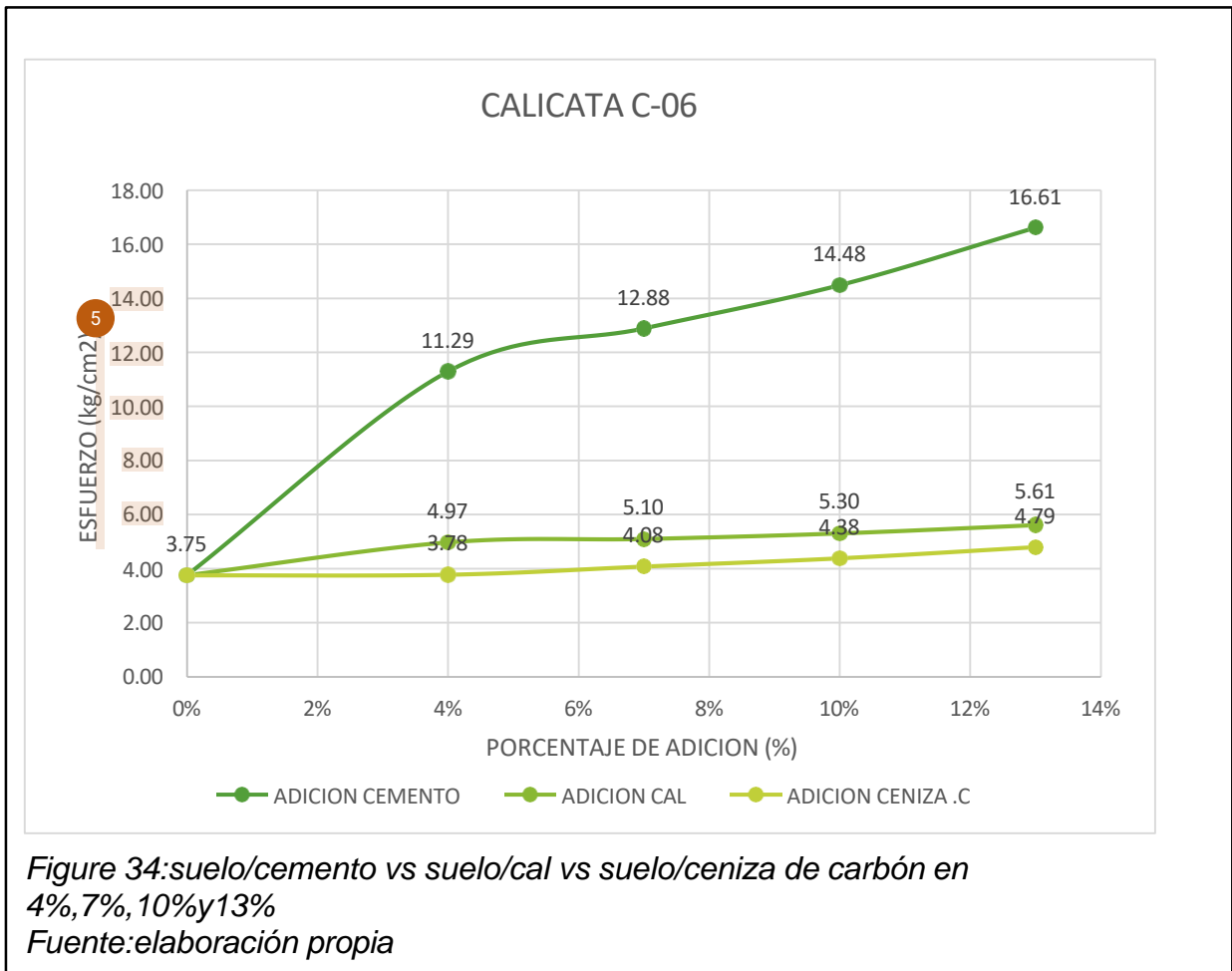
*Fuente: elaboración propia*



*Table 20: porcentaje de adición vs esfuerzo*

Calicata C-06			
% de adición	6 cemento esfuerzo(kg/cm <sup>3</sup> )	Cal esfuerzo(kg/cm <sup>3</sup> )	Ceniza carbón esfuerzo(kg/cm <sup>3</sup> )
0%	3.77	3.77	3.77
4%	11.30	4.97	3.81
7%	12.88	5.11	4.08
10%	14.82	5.29	4.40
13%	16.61	5.63	4.79

*Fuente: elaboración propia*



### 3.2. Discusión

#### 2 propiedades físicas del suelo arcilloso

se determinó que el suelo estudiado es arcilloso de baja y alta plasticidad, con índices de expansión elevada siendo esta una característica destructiva del suelo arcilloso optándolo por mejorar mediante la estabilización, utilizando adiciones.

Como resultado del proctor modificado se determinó que el suelo arcilloso con adición de cal 13% obtuvo la mayor reducción de vacíos inmediatamente al entrar en contacto con la humedad natural del suelo, seguida de la combinación suelo/cemento al 13% y suelo/ceniza de carbón al 13%, pero todas las combinaciones y en todos los porcentajes dotaron al suelo en estudio de mejores características mecánicas y físicas.

Con el ensayo de compresión inconfiada se determinó que tanto la combinación suelo/cemento y suelo/cal obtuvieron las mayores resistencias, pero siendo las tres combinaciones aptas para su uso como adición para la estabilización de subrasantes.

### **3 Análisis de la resistencia de los suelos estabilizados**

Según la Norma CE.020, nos da rangos de porcentajes de adición según el tipo de suelo, siendo la cal de 2 a 8% y en cemento de 1 a 4% para estabilización de suelo, indicando que esto varía según el tipo la arcilla, trabajando en la investigación con rangos de 4%,7%,10% y 13%, de los tres diferentes tipos de adición con fines de determinar su comportamiento mecánico.

Se sometieron las probetas en estudio, tanto de suelo natural y las con adición suelo/cemento, suelo/cal y suelo/ceniza de carbón en los porcentajes ya indicados, obteniendo como resultado que la combinación que alcanzo la mayor resistencia fue la suelo/cemento, en base a resistencia a los 7 días de curado, con un porcentaje óptimo de 13%, y se determinó que esta también depende del tiempo de curado.

la combinación suelo/cal, alcanzo resistencias menores al suelo/cemento, pero mayores al suelo/ceniza de carbón, con un porcentaje óptimo de adición al 10%, ya que al 13% se obtuvo mayor resistencia, pero se volvía muy rígido, una de las cualidades más favorables de esta combinación es que el efecto de estabilizador es casi inmediato al entrar en contacto con el suelo, modificándolo al grado de exhibir menos plasticidad y mejorando la trabajabilidad, además de incrementar su resistencia.

La combinación suelo/ceniza de carbón mejoro significativamente las caracterisitcas del suelo arcilloso con un óptimo contenido de adición al 13%, mejorando la trabajabilidad e incrementando su resistencia, convirtiéndolo al suelo arcilloso en un material mejorado para su uso como subrasante, sus cualidades cementantes y reductores de plasticidad nos dan una opción con poco impacto ambiental y económica.

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

Se determinó que con las tres combinaciones el suelo mejora significativamente sus propiedades físicas y mecánicas, transformando al suelo arcilloso en un material óptimo para su uso como subrasante estabilizada.

Se determinó que la combinación suelo/cemento al 13% dota al suelo arcilloso de mayor resistencia a diferencia de las combinaciones suelo/cal y suelo/ceniza de carbón.

Se determinó que los porcentajes máximos antes de que el material sea muy rígido y sufra de fractura es suelo/cemento al 13%, suelo/cal al 13% y suelo/ ceniza de carbón mayor al 13%.

Se concluye que el curado es de suma importancia en la adquisición de su resistencia y la variación de sus características físicas de la combinación, esta debe ser contralada.

### 4.2. Recomendaciones

el estudio de la propiedades físicas y mecánicas del suelo arcilloso con combinación de adición y en porcentajes mayores.

Se recomiendo realizar investigación teniendo en cuenta el tiempo del curado, ya que de este depende la resistencia adquirida en variaciones de tiempo hasta 28 días.

Se recomiendo realizar una evaluación con respecto al impacto ambiental y economía de las combinaciones entre si y en mayor porcentaje o la mezcla de dos o tres adiciones para determinar si el suelo arcilloso alcanza resistencias mayores.





## ● 12% de similitud general

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### FUENTES PRINCIPALES

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	<b>hdl.handle.net</b> Internet	2%
2	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Internet	2%
3	<b>repositorio.uss.edu.pe</b> Internet	1%
4	<b>doczz.net</b> Internet	<1%
5	<b>dspace.unitru.edu.pe</b> Internet	<1%
6	<b>Universidad Privada del Norte on 2023-08-01</b> Submitted works	<1%
7	<b>upc.aws.openrepository.com</b> Internet	<1%
8	<b>uni on 2022-04-18</b> Submitted works	<1%

9	<b>repositorio.usanpedro.edu.pe</b>	Internet	<1%
10	<b>slideshare.net</b>	Internet	<1%
11	<b>Universidad Alas Peruanas on 2019-12-13</b>	Submitted works	<1%
12	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-08-04</b>	Submitted works	<1%
13	<b>Universidad Internacional de la Rioja on 2023-07-20</b>	Submitted works	<1%
14	<b>Universidad Privada Antenor Orrego on 2019-10-16</b>	Submitted works	<1%
15	<b>Universidad Tecnologica del Peru on 2021-12-07</b>	Submitted works	<1%
16	<b>repositorio.uroosevelt.edu.pe</b>	Internet	<1%
17	<b>viceb.com.br</b>	Internet	<1%
18	<b>repositorio.unc.edu.pe</b>	Internet	<1%
19	<b>revistas.udistrital.edu.co</b>	Internet	<1%
20	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2019-05-30</b>	Submitted works	<1%

21	<b>Universidad Continental on 2021-11-28</b> Submitted works	<1%
22	<b>columbiacentral.edu.py</b> Internet	<1%
23	<b>es.slideshare.net</b> Internet	<1%
24	<b>fdocuments.ec</b> Internet	<1%
25	<b>repositorio.uta.edu.ec</b> Internet	<1%
26	<b>revistas.unilibre.edu.co</b> Internet	<1%
27	<b>servicios.iesa.edu.ve</b> Internet	<1%
28	<b>Universidad Andina del Cusco on 2021-07-01</b> Submitted works	<1%
29	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-07-22</b> Submitted works	<1%
30	<b>Universidad La Gran Colombia on 2019-03-02</b> Submitted works	<1%
31	<b>Universidad Privada Antenor Orrego on 2022-06-03</b> Submitted works	<1%
32	<b>Universidad Andina del Cusco on 2020-07-16</b> Submitted works	<1%

33	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2023-11-01</b>	<1%
	Submitted works	
34	<b>grupo-de-investigacion-gigma.webnode.com.co</b>	<1%
	Internet	
35	<b>Consortio CIXUG on 2022-09-06</b>	<1%
	Submitted works	
36	<b>UNILIBRE on 2020-11-06</b>	<1%
	Submitted works	
37	<b>Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2021-01-13</b>	<1%
	Submitted works	
38	<b>Universidad Andina del Cusco on 2023-08-29</b>	<1%
	Submitted works	
39	<b>Universidad Católica de Santa María on 2021-05-04</b>	<1%
	Submitted works	
40	<b>Universidad Cesar Vallejo on 2022-11-02</b>	<1%
	Submitted works	
41	<b>alicia.concytec.gob.pe</b>	<1%
	Internet	