



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Efectos del Uso de Cemento, Yeso y Cal en Bases Estabilizadas,
Jicamarca, 2022

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTORES:

Lozano Sulca Yimi Tom (orcid.org/0000-0002-0803-1261)

Reyna Mandujano Samuel Carlos (orcid.org/0000-0002-0750-2877)

ASESOR:

Mgtr. Segura Terrones Luis Alberto (orcid.org/0000-0002-9320-0540)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de infraestructura vial

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

Le dedico el resultado de este trabajo a toda mi familia. Principalmente, a mis padres que me apoyaron y contuvieron los momentos malos y en los menos malos. Gracias por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder nunca la cabeza ni morir en el intento. Me han enseñado a ser la persona que soy hoy, mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño. Todo esto con una enorme dosis de amor y sin pedir nada a cambio.

LOZANO SULCA YIMI TOM

Quiero dedicarle este trabajo a mi familia. Por u paciencia, por su comprensión, por su empeño, por dame la fuerza, por su amor, porque los quiero. Realmente, me ayudaron a alcanzar el equilibrio que me permite dar todo mi potencial. y me dieron el empujón que me faltaba para terminar el proyecto.

REYNA MANDUJANO SAMUEL CARLOS

Agradecimiento

Agradecimiento especial a los docentes de la escuela de Ingeniería Civil, al fundador Dr. César Acuña Peralta por ser un líder de la comunidad universitaria y ejemplo de profesional a nuestro asesor el Mg. Luis Alberto Segura Terrones, profesional excelente e investigador.

Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. METODOLOGÍA.....	16
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	17
3.2. Variables y operacionalización.....	18
3.3. Población, muestra y muestreo.....	19
3.4. Técnica e instrumento de recolección de datos.....	19
3.5. Procedimientos.....	19
3.6. Método de análisis de datos.....	20
3.7. Aspectos éticos.....	21
IV. RESULTADOS.....	22
V. DISCUSIÓN.....	35
VI. CONCLUSIONES.....	40
VII. RECOMENDACIONES.....	42
REFERENCIAS.....	44
ANEXOS.....	50

Índice de tablas

Tabla 1.	Comparación de procesos de solidificación/estabilización	15
Tabla 2.	Resultados Contenido de Humedad calicata 1	23
Tabla 3.	Resultados Contenido de Humedad calicata 2	23
Tabla 4.	Resultados Contenido de Humedad calicata 3	23
Tabla 5.	Resultados granulometría calicata 1.....	24
Tabla 6.	Resultados granulometría calicata 2.....	25
Tabla 7.	Resultados granulometría calicata 3.....	26
Tabla 8.	Resultados límite líquido calicata 1	27
Tabla 9.	Resultados límite líquido calicata 2	27
Tabla 10.	Resultados límite líquido calicata 3	27
Tabla 11.	Resultados límite plástico calicata 1.....	28
Tabla 12.	Resultados límite plástico calicata 2.....	28
Tabla 13.	Resultados límite plástico calicata 3.....	28
Tabla 14.	CBR muestra estado natural	34
Tabla 15.	CBR muestra cemento	34
Tabla 16.	CBR muestra yeso	34
Tabla 17.	CBR muestra cal	34

Índice de figuras

Figura 1.	Clasificación básica de las partículas del suelo.....	11
Figura 2.	Efectos de un suelo expansivo.....	12
Figura 3.	Tipos de estabilización.....	13
Figura 4.	Tipos de agregados con suelo para la estabilización.....	20
Figura 5.	Curva granulometría calicata 1.....	24
Figura 6.	Curva granulometría calicata 2.....	25
Figura 7.	Curva granulometría calicata 3.....	26
Figura 8.	Límites calicata 1.....	29
Figura 9.	Límites calicata 2.....	30
Figura 10.	Límites calicata 3.....	31
Figura 11.	Proctor muestra natural.....	32
Figura 12.	Proctor muestra cemento.....	32
Figura 13.	Proctor muestra yeso.....	33
Figura 14.	Proctor muestra cal.....	33
Figura 15.	Comparativo de máxima densidad seca.....	36
Figura 16.	Comparativo de óptimo contenido de humedad.....	37
Figura 17.	Comparativo de CBR al 100% de MDS.....	38
Figura 18.	Comparativo de CBR al 95% de MDS.....	39

Resumen

El presente trabajo de investigación, tuvo como objetivo principal: Evaluar el efecto de aglomerantes en estabilización de suelos, el tipo de investigación es aplicada, el diseño cuasiexperimental, la muestra fue extraída de tres calicatas y muestreo fue no probabilístico. El procediendo fue la obtención de muestra y posteriormente realizar ensayos de laboratorio para las distintas dosificaciones con materiales cementantes (cemento, yeso y cal). Los principales resultados fueron el incremento a la máxima densidad seca en un 1.775, 1.762 y 1.755 g/cm³. Caso similar en el CBR, donde se reportan valores de 18, 24, 21 y 20%. Esta situación se presenta porque la dosificación conjunta adoptada para esta investigación con perspectivas positivas mejora dichas propiedades. Estableciéndose entonces que el mejor comportamiento como estabilizante es el cemento.

Palabras clave: Cemento, yeso, cal, estabilización, suelo.

Abstract

The main objective of this research work was: Evaluate the effect of binders on soil stabilization, the type of research is applied, the quasi-experimental design, the sample was drawn from three test pits and the sampling was non-probabilistic. The procedure was to obtain a sample and subsequently carry out laboratory tests for the different dosages with cementitious materials (cement, plaster and lime). The main results were the increase to the maximum dry density by 1,775, 1,762 and 1,755 g/cm³. Similar case in the CBR, where values of 18, 24, 21 and 20% are reported. This situation arises because the joint dosage adopted for this research with positive perspectives improves said properties. Establishing then that the best behavior as a stabilizer is cement.

Keywords: Cement, plaster, lime, stabilization, soil.

I. INTRODUCCIÓN

En el escenario actual, debido a la rápida urbanización y desarrollo de infraestructuras y a la falta de disponibilidad de terrenos, se hace imprescindible construir los edificios in situ en condiciones desfavorables (James J. et al., 2016, p.2).

Por ello, cuando se diseñan estructuras pesadas como puentes, terraplenes, torres y carreteras, etc., el suelo juega un papel importante, ya que, el suelo que se encuentra debajo de la carretera presenta inestabilidad, este se considera inadecuado para resistir la carga de la rueda que actúa la transferencia en él (Mohan M. y Manjesh L., 2017, citado en Vijayan D. y Parthiban D., 2020, p.2).

Por tal motivo, como consecuencia la estabilización del suelo se aplica desde tiempos remotos en Egipto y Mesopotamia hasta los últimos tiempos donde en la actualidad la primera prueba de estabilización de suelos se realizó en EE. UU (Firoozi Ali A. et al., 2017 citado en Vijayan D. y Parthiban D., 2020, p.2).

Por otro lado, el yeso como material en obras civiles es considerado sal soluble que su uso genera consecuencias perjudiciales en obras de pavimento, edificios y la misma estructura del suelo por un entorno húmedo, por presentar una alta solubilidad en sus características principales (Razouki y Kuttah, 2004, citado en Pu Shaoyun et al., 2021, p.3). Ante ello, los suelos a los que se le aplica el yeso sin ningún estabilizador no presentan larga duración en ciertas condiciones como la inmersión, por lo que, el yeso es aplicado combinado con estabilizadores como el cemento y la cal para disminuir dicha solubilidad que presenta el yeso (Ahmed e Issa, 2014 citado en Pu Shaoyun et al., 2021, p.5).

De igual manera, en el estudio de Hozatlioglu D. y Yilmaz I., (2021, p.1), se aplicó el uso de yeso y cal, como estabilizantes de suelos expansivos, donde se obtuvo que estos dos materiales muestran mejoras considerables con una reducción del 99.8% y 51.9% en el porcentaje de hinchamiento del suelo al usar las técnicas de mezcla superficial y columna, respectivamente.

Ante ello, debido a que la interacción entre la unión del yeso con la cal como material estabilizador ayuda a mejorar la solubilidad de la cal también ayudará a incrementar las propiedades mecánicas del suelo blando (Ding Jianwen et al., 2019, p.1). De la misma manera, se tiene mediante el estudio de Tan Eng Hie et al., (2022, p.1); que

utilizando cemento como material estabilizador en la construcción de carreteras granulares que fueron realizados con agregados a base de arenisca se obtuvo que la estabilización gracias al cemento ayuda en las propiedades mecánicas clave del pavimento.

Siendo considerado, la estabilización de suelos una técnica para mejorar las propiedades geotécnicas y de ingeniería de los suelos, como la resistencia mecánica, la permeabilidad, la compresibilidad, la durabilidad y la plasticidad (Behnoodi Ali, 2018, p.1).

Debido a que se han estudiado diversos aditivos para la estabilización del suelo, se plantea como Formulación del Problema General: ¿Cuál es el efecto de aglomerantes en estabilización de suelos?, así también los problemas específicos siguientes: ¿Cuál es el óptimo aglomerante en la estabilización de suelos?; ¿Cuál es la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo?; ¿Cuáles son las propiedades de los suelos estabilizados con cemento, yeso y cal? De manera congruente con los problemas se plantearon Objetivo general: Evaluar el efecto de aglomerantes en estabilización de suelos y como Objetivos específicos: Determinar el óptimo aglomerante en la estabilización de suelos; Determinar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo; Determinar las propiedades de los suelos estabilizados con cemento, yeso y cal. Justificación de la Investigación.

Las justificaciones presentadas en base al problema del estudio respecto al efecto de aglomerantes en estabilización de suelos se pueden solucionar determinando los efectos que el uso del cemento, yeso y cal como materiales presentan en bases estabilizadas. Como **justificación técnica**: Se busca perfeccionar suelos para el diseño de diversas estructuras mediante la aplicación del uso de los materiales cemento, yeso y cal como materiales estabilizadores, teniendo en cuenta el contenido del aglomerante y las características que debe presentar el suelo en cuestión. Así también, como **Justificación económica**: Es debido mencionar que, para la elaboración de pavimentos, carreteras, estructuras pesadas, el suelo juega un papel crucial, ya que, de él depende la resistencia de la carga, por ende, el determinar el efecto de aglomerantes en estabilización de suelos ayuda a reducir costos. De tal modo también se plantea en el presente trabajo la siguiente **hipótesis general**: Los aglomerantes presentan efectos en la estabilización de suelos y sus **hipótesis específicas** son: El aglomerante óptimo genera estabilización de suelos, La máxima

densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo presentan bases estabilizadas y Las propiedades de los suelos con cemento, yeso y cal incrementa la estabilidad de los suelos. Por último, como **justificación ambiental**, el yeso descartado sin ningún tratamiento, no solo ocupa una gran cantidad de tierra, sino que también contamina el medio ambiente del suelo y el agua y, por lo tanto, causa una grave alteración ambiental, por lo que, al utilizarlo junto con el cemento y la cal como agente en bases estabilizadoras reduce su contaminación ambiental.

Así también tenemos como hipótesis la **Hipótesis general**: Los aglomerantes presentan efectos en la estabilización de suelos, en cuanto a **Hipótesis específicas**: El óptimo aglomerante genera estabilización de suelos; La máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo influyen en mejorar positivamente bases estabilizadas; Las propiedades de los suelos con cemento, yeso y cal incrementan la estabilidad de los suelos.

II. MARCO TEÓRICO

Mediante los antecedentes mostrados a continuación se busca conocer un poco más sobre los efectos que presentaron el uso de materiales como el cemento, yeso y cal en bases estabilizadas en estudios experimentales de diversas partes del mundo; para posteriormente realizar una comparación con los resultados obtenidos.

En el estudio de Mahed Masrur et al., (2019, p.1); realizaron pruebas del procedimiento de lixiviación característico de toxicidad (TCLP) para investigar los peligros ambientales asociados con la lixiviación de aluminio (Al), cobre (Cu), hierro (Fe) y zinc (Zn) de cenizas volantes, escoria, cemento tipo I/II. y cenizas volantes activadas con cemento y suelos estabilizados con escoria. Donde, las concentraciones del carbono inorgánico disuelto y carbono orgánico disuelto fueron estudiados para identificar de qué manera presentan influencia en la lixiviación de los iones metálicos. Realizando en la metodología una prueba de lixiviación donde se analizó el pH en niveles de 2 a 14. Obteniendo en sus resultados que así aumente los valores o el nivel de las cenizas volantes o escoria ello no generará que los iones metálicos incrementen en los efluentes y también se supo que las concentraciones máximas para los metales Al, Zn, Cu y DOC incrementaron en un entorno ácido o básica, pero a diferencia de ellos con el DIC las mayores concentraciones se obtuvieron con pH neutro y casi neutro.

Bahadori H. et al., (2019, p.1); en su trabajo experimental estudia el uso de puzolanas naturales para la estabilización del suelo. Utilizando tres tipos de puzolanas naturales (ceniza volcánica) incluyendo Qizkorpi, Mamaloo y Chichest cerca de la ciudad de Urmia, Irán. Para ello, además de la identificación del suelo mediante el análisis de fluorescencia de rayos X (XRF) y su clasificación, se evaluó la influencia de tres tipos de contenidos de estabilizadores de ceniza volcánica de 5, 10 y 15% a través de la densidad seca máxima (Prueba de Compactación Proctor Estándar) y el contenido de humedad óptimo, los límites de Atterberg, la resistencia a la compresión no confinada (UCS) y el módulo de elasticidad. Obteniendo mediante los resultados características satisfactorias de resistencia y durabilidad por las mezclas de suelos estabilizados con tres tipos de cenizas volcánicas disponibles localmente como estabilizadores; además, los resultados obtenidos indicaron que el aumento del contenido y la duración de las cenizas volcánicas aumenta la eficacia del suelo de marga estabilizada y el aumento del contenido de ceniza volcánica disminuye la expansión y la ductilidad del suelo de marga. Concluyendo que, el suelo de marga estabilizado con ceniza volcánica puede preparar los materiales de construcción de casas e

infraestructuras viales con bajos costes.

Sudhakaran S. et al., (2018, p.2); en su trabajo presenta un nuevo material, la fibra de areca, y su idoneidad como refuerzo de suelos utilizando ceniza de fondo (BA) como agente estabilizador, y se demuestra la idoneidad de la fibra de areca natural como refuerzo mediante investigaciones experimentales detalladas y análisis de fiabilidad. El método de ensayo incluye ensayos de compactación, ensayos de resistencia a la compresión no confinada (UCS), ensayos de coeficiente de carga de California (CBR) y ensayos de resistencia a la tracción dividida. El contenido de BA se varió de 0 a 40%, el contenido de fibra se varió de 0 a 1,5%, y se realizó la correspondiente evaluación del rendimiento. También se añadió una pequeña cantidad de cemento (3%) para mejorar la reacción puzolánica. Los ensayos de UCS y de resistencia a la tracción dividida se llevaron a cabo en muestras con diferentes períodos de curado, con un curado máximo de 90 días, mientras que los ensayos de CBR se realizaron después de 7 días de curado, tanto en condiciones de remojo como sin remojo. Observando mediante los resultados que se presentó un incremento considerable de la UCS, del CBR y de la resistencia a la tracción por división del suelo con la adición de BA, y los valores de resistencia aumentaron enormemente en presencia de la fibra de areca; además, se confirmaron la formación de compuestos cementicios en los patrones de DRX y mostraron el desarrollo de una matriz densa en las imágenes de MEB.

James J. y Pandian P., (2016, p.2); en su artículo emplea cemento y cal en un suelo estabilizado como tratamiento del suelo. Donde, el uso del cemento genera buenas resistencias a la compresión y es recomendable en suelos sin cohesión o moderadamente cohesivos, pero su poder de eficacia se pierde cuando el suelo es muy plástico; por otro lado, el cal es el método preferido para las arcillas plásticas; sin embargo, resulta ineficaz en las arcillas ricas en sulfatos y su rendimiento disminuye en condiciones extremas. Concluyendo mediante el estudio que el uso de residuos sólidos como aditivos y reemplazo de los estabilizadores convencionales ha dado mejores resultados que el rendimiento de cualquiera de ellos por separado.

Porter Hannah et al., (2017, p.4); en su artículo investiga el módulo elástico y la absorción de agua mediante la estabilización de agregados. Para lo cual se realizó una columna de arena químicamente estabilizadas con OPC y geopolímero en condiciones óptimas de humedad y máxima densidad; las columnas de arena estabilizadas fueron preparadas en diferentes tiempos posterior a un período de curado de 3 días se realizó MICP en esas muestras. Donde se obtuvo que las resistencias reportadas para la arena estabilizada usando el tratamiento MICP varían ampliamente dependiendo del grado de estabilización. Concluyendo mediante los resultados que La nueva tecnología es capaz de reducir significativamente la energía incorporada y la emisión de materiales granulares estabilizados.

Dos Santos C. et al., (2022, p.2); en su trabajo estudia el comportamiento mecánico de relaves de oro estabilizados con carburo activado alcalino, cal y ceniza de bagazo de caña de azúcar. Como grupo de control, los relaves de oro también se estabilizaron con cemento Portland de alta resistencia inicial (tipo III). Todos los resultados se correlacionaron con el índice de porosidad/aglutinante para crear una metodología de dosificación racional para las mezclas de relaves y cemento; además, la adición del cemento generó una mayor resistencia, rigidez y durabilidad en comparación con el cemento activado con álcali, sin embargo, el cemento alternativo también logró mejorar el comportamiento mecánico de los relaves auríferos y la reducción de la porosidad y aumento del contenido de cemento condujo a la mejora del comportamiento mecánico de todos los especímenes. Concluyendo que la porosidad/aglutinante es un método de dosificación efectiva para pronosticar el comportamiento mecánico de los relaves auríferos estabilizados, generando que los resultados se puedan plantear en una sola relación, reemplazando las estrategias convencionales de prueba y error.

Sahu Vaishali et al., (2017, p.1); en su trabajo se estudió la estabilización de dos materiales de desechos para determinar si pueden ser usadas como estabilizados, siendo dichos materiales las cenizas volantes (FA) y lodos de cal (LS) utilizando cal (CL) y yeso (G) para hacerlos aptos para su uso en aplicaciones de construcción de ingeniería civil. En su estudio experimental se estudiaron diferentes proporciones de mezcla de FA y LS estabilizadas con diferentes porcentajes de CL y G para resistencia a la compresión no confinada (UCS), resistencia a la tracción dividida (STS) y la relación de carga de California (CBR) para verificar la idoneidad del compuesto preparado para las industrias de la construcción. Los resultados

demonstraron que la composición óptima consistió en FA y LS en proporción 1:1, 12% de CL y 1% de contenido de G. También se encontró que el compuesto era duradero sin lixiviación de metales pesados.

Wang Lusheng et al., (2022, p.1); en su artículo empleó residuos de macadán estabilizado con cemento en el mantenimiento de bases de carreteras como un agregado. Para lo cual, se preparó el macadán con diferentes cantidades de contenido y se probaron las propiedades mecánicas y el rendimiento de contracción en seco. Los resultados, mostraron que ZFP y ZSP tienen una relación de mezcla óptima, lo que hace que el tiempo de fraguado, las propiedades mecánicas y la contracción en seco del mortero de cemento sean las mejores; además, la resistencia a la compresión del macadán estabilizado con cemento de regeneración rápida que contenía 8 % de ZSP fue de 6,23 MPa, mientras que la resistencia a la compresión en 3 días del macadán estabilizado con cemento de regeneración rápida que contenía 7 % de ZFP fue de 6,14 MPa, y los coeficientes de contracción en seco correspondientes fueron 91,6 % y 11,2 % inferiores a las del grupo control, respectivamente.

Khadka Suraj D. et al., (2020, p.1); en su investigación se investigaron dos geopolímeros sintetizados a partir de fuentes de aluminosilicato, cenizas volantes y metacaolín, para determinar su eficacia en la estabilización del comportamiento de contracción-hinchazón de suelos expansivos con alto contenido de sulfato. Se modificaron geopolímeros con cal y yeso para mejorar su eficacia como agentes estabilizadores para suelos que contienen sulfatos. Los contenidos de modificadores se optimizaron para lograr la máxima reducción en el potencial de hinchamiento y al mismo tiempo prevenir la formación de etringita. Se realizaron análisis microestructurales en geopolímeros con adición de cal y yeso para determinar el mecanismo de modificación. Se realizaron pruebas de hinchamiento en suelo con alto contenido de sulfato tratado con geopolímero modificado en diferentes concentraciones y se estableció la concentración óptima de geopolímero modificado requerida para lograr un hinchamiento mínimo.

Furlan Ana P. et al., (2021, p.1); en su estudio investigó la definición de una combinación eficiente de cenizas volantes (FA) con cal o cemento y con ambos, para mejorar las propiedades del sedimento dragado (DS). Donde, los DS estabilizados con FA muestran una menor retracción y una mayor resistencia mecánica que los

estabilizados sin FA, con efectos más pronunciados cuando se mezcla FA con cemento y los resultados numéricos confirman la superioridad del modelo propuesto sobre los demás en la predicción del tamaño de las partículas de los gránulos. Concluyendo que al realizar en el estudio experimental una estrategia de control predictivo, empleando el modelo propuesto se desarrollaron varios escenarios para identificar los ajustes del proceso más adecuados con respecto a la respuesta deseada del proceso; donde la utilización de estos escenarios permite tomar decisiones sobre el secado por atomización de forma coherente y sin necesidad de especulaciones o costosas pruebas de ensayo y error.

Mediante los antecedentes mostrados se expone la siguiente información del contenido a desarrollar:

El rápido desarrollo de las zonas urbanas y el aumento de las actividades de construcción han provocado una escasez de terrenos con condiciones edáficas desfavorables, lo que hace necesario el uso de suelos débiles disponibles localmente para las actividades de construcción mediante técnicas de estabilización (Sudhakaran S. et al., 2018, p.2).

Los muros de tierra son considerados materiales sostenibles por su baja energía incorporada; pero, estas bases deben presentar ciertas características para no sufrir daños por acción de las lluvias y/o humedad [...]. Por lo que la estabilización de los muros es uno de los requisitos de construcción (Egenti C. y Khatib J., 2016, p.309). Además, debido a la construcción de más estructuras de ingeniería civil en suelos problemáticos, se han desarrollado numerosas técnicas de mejora del suelo, como la estabilización del mismo (Bahadori H. et al., 2019, p.1).

Ante ello, mediante la figura 1 se muestra la estructura y partes del suelo. Ya que, de acuerdo con Uzoegbo H., (2016, p.63), es necesario conocer la textura que presenta un suelo en una construcción civil, debido a que, las características de la composición de la tierra van a permitir generar rigidez, fuerza, unión, entre otros; por ello, el saber la textura ideal del suelo es esencial para la elaboración de bloques de suelo – cemento.

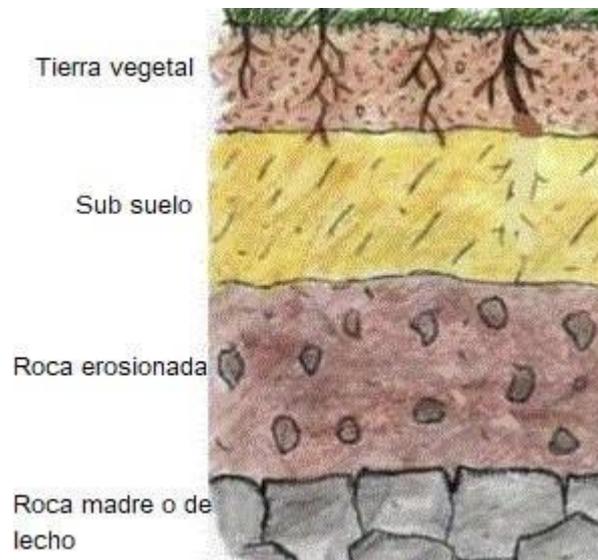


Figura 1. Clasificación básica de las partículas del suelo

Fuente: Modificado de Uzoegbo H.C., (2016)

Es así como los suelos del tipo hinchables causan efectos negativos en la realización de estructuras; ya que, estos suelos causan graves daños, especialmente en las estructuras ligeras como carreteras, aeropuertos, muros de jardines, infraestructuras y edificios de una sola planta (Hozatlioglu D. y Yilmaz I., 2021, p.2). Ya que, este tipo de suelo al humedecerse la resistencia se reduce repentinamente (Vijayan D. y Parthiban D., 2020, p.2).

Así también, están los suelos expansivos quienes presentan como característica el hinchamiento y contracción, lo que genera defectos en el pavimento como surcos, grietas, desmoronamiento, formación de baches y daños en los pavimentos y estructuras de ingeniería civil con carga ligera (Little et al., 2019 citado en Amakye S. y Abbey S., 2021, p7) (Ver figura 2).

Pero, para enfrentar los problemas mencionados las estabilizaciones en diversas bases se vienen estudiando aplicando materiales como el cemento, cal y yeso.

Siendo la estabilización un proceso en el que se aplican los tratamientos físicos y químicos que se utilizan para estabilizar o mejorar las propiedades del suelo en ingeniería (Torralvo D. et al., 2017, p.465). De manera general, la estabilización se clasifica en estabilización mecánica y química; donde la estabilización mecánica, la

clasificación de un suelo se cambia mezclándolo con otros tipos de suelos de diferentes grados (Anjan Patel., 2019, p.19).



Figura 2. Efectos de un suelo expansivo

Fuente: Amakye S. y Abbey S., (2021)

En la figura 2 muestra una grieta longitudinal típica desarrollada en pavimentos sobre arcillas expansivas.

La estabilización tradicional con aditivos suele aumentar el pH del suelo después del tratamiento debido al alto contenido del estabilizador, que puede tener efectos perjudiciales para el medio ambiente, como amenazar la calidad de las aguas subterráneas o limitar la vegetación. Los suelos tratados tradicionalmente también presentan excesivamente fragilidad que pueden afectar al rendimiento y la estabilidad de las estructuras (Chang Lihan et al., 2015, p.2).

Pero también, la estabilización es el cambio de las propiedades no deseadas de los suelos mediante cinco técnicas de estabilización que mejoran la estructura de los suelos débiles y consiguen el objetivo de la ingeniería (Mohammad J. et al., 2022, p.489).



Figura 3. Tipos de estabilización.

Fuente: Elaboración propia.

Mientras que, la estabilización química se encarga del cambio que se realiza en las propiedades del suelo por añadir materiales químicamente activos (Barman D. y Dash S., 2022, p.1).

Es así que, utilizar agentes estabilizadores ayuda a mejorar el rendimiento de las propiedades del suelo y comportamiento mecánico (Contessi S. et al., 2021, p.1). Además de satisfacer puntos económicos y ambientales presenta proyectos geotécnicos como el revestimiento de canales, capas de soporte para cimentaciones superficiales, estabilización y protección de taludes, prevención de licuefacción y capas de pavimento (Dos Santos Ferreira et al., 2021, p.2).

Entre los materiales estabilizadores, los suelos tratados con cemento se aplican ampliamente en todo el mundo para mejorar los suelos blandos (Ho Lanh S. et al., 2018, p.1). Donde, el desarrollo de la resistencia a corto plazo en suelos tratados con cemento se produce principalmente por la hidratación del cemento mientras que el desarrollo de la resistencia a largo plazo se atribuye a la reacción puzolánica (Kitazume M. y Terashi M., 2013 citado en Ho L. et al., 2018, p.1).

La eficiencia y capacidad que presenta el cemento como material estabilizador es debido a la formación de la estructura de los poros (Maruyama I. y Igarashi G., 2015,

p.2). Pero, el uso de cemento para aplicaciones de mejora del suelo es costoso, especialmente en los países menos desarrollados, en los que algunos de estos aglutinantes pueden no producirse localmente y deben ser importados (Chang y Cho 2012).

Así, el uso de cemento se considera generalmente menos respetuoso con el medio ambiente que los subproductos industriales, que son intrínsecamente más sostenibles, porque representan una aplicación de reutilización beneficiosa de los subproductos industriales, que son intrínsecamente más sostenibles, ya que representan una aplicación de reutilización beneficiosa que es una alternativa al vertido o a otro tipo de los subproductos.

Por otro lado, la estabilización química utilizando la cal como material de estabilización es más adecuada, siendo empleado a nivel mundial, ello debido a la rentabilidad y sus características estables a corto y largo plazo (Raja P. y Thyagaraj T., 2020, p.4). Así como el yeso, quien en unión con el cemento y la cal se vuelven un material ideal para minimizar la solubilidad y es que, estos mejoran las características de resistencia del suelo (Pu Shaoyun et al., 2021, p.5).

Lo que afirma que, la estabilización usando productos químicos mixtos es entre todos el que presenta mejor rendimiento de costos combinando más de dos métodos se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Comparación de procesos de solidificación/estabilización

pretratamiento	Madurez tecnológica	Eficiencia económica	Contaminación Secundaria	Adición en masa	Evaluación de la Adaptabilidad del Proyecto
Solidificación del cemento	Bueno	Bueno	Leve	Excelente	Combinado con otros métodos.
Solidificación de residuos hidráulicos	Mejor	Bueno	Leve	Enorme	Factible
Solidificación de material termoplástico	Mejor	Débil	Leve	Excelente	inviable
Estabilización de fosfato	Bueno	Bueno	Leve	Leve	Combinado con otros métodos.
Estabilización de sulfato ferroso	Normal	Mejor	Leve	Leve	inviable
Estabilización de sulfuro	Mejor	Peor	Normal	Leve	inviable
Estabilización de quelantes poliméricos	Bueno	Mejor	Leve	Leve	Factible

Fuente: Modificado de Zhao Youcai, (2017)

Mediante la tabla 1 se detalla que la estabilización química se puede realizar mezclando estabilización química más solidificación de cemento, estabilización química más tratamiento térmico, depuración con agua más tratamiento térmico, depuración con agua más estabilización química más sinterización a baja temperatura, agua (ácido) lavado más estabilización química, estabilización con quelante polimérico más solidificación con cemento, etc.,

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

Este estudio científico presenta un tipo de investigación aplicada; siendo basado en el efecto del uso del cemento, yeso y cal en bases estabilizadas.

Donde Thomas W. y David O., (2017, p.299), señala que, para abordar un problema en el mundo real, una aplicación de la ciencia suele probarse y evaluarse en la investigación aplicada. Los experimentos aplicados y la investigación observacional aplicada son dos tipos de métodos de investigación aplicada. Los estudios descriptivos aplicados también examinan cómo se utiliza el conocimiento, un proceso o un sistema en el mundo real.

Además, el estudio se esfuerza por ofrecer una solución al problema actual mediante la discusión, descripción y análisis del progreso científico de la investigación (Nisbet Robert et al., 2018, p.149).

3.1.2. Diseño de investigación

El diseño aplicado es experimental, siendo descrito por Alan McIntosh y Jennifer Pontius, (2017, p.12); como la técnica que consiste en realizar un examen de forma objetiva y en condiciones controladas para optimizar la precisión y llegar a conclusiones concretas sobre un enunciado hipotético; normalmente, el objetivo es determinar el impacto que tiene un factor, una variable independiente o una variable dependiente sobre otra. También se considera la formulación de una estrategia experimental minuciosa que permita reunir la mayor cantidad de información pertinente a los objetivos.

Como parte de una estrategia estadística para evaluar el impacto de la variable independiente y cualquier ajuste de la variable dependiente, una de las variables se cambiará a propósito, haciendo que el diseño del estudio sea experimental (Hernández – Sampieri R. et al., 2018, p.4). En donde, las variables a modificar serán el cemento, yeso y cal para determinar su efecto en las bases estabilizadas.

Dado que la estabilización de la base se desarrolló utilizando cemento, yeso y cal, esta investigación utilizó un diseño experimental cuantitativo del tipo de investigación aplicada.

3.2. Variables y operacionalización

Las variables de estudio fueron los siguientes:

1. Variable independiente: Cemento, yeso y cal
 - Dimensiones de la V. I.:
 - ✓
 - ✓
2. Variable Dependiente: Bases estabilizadas
 - Dimensiones de la V. D.:
 - ✓
 - ✓

Así mismo, se detalla la matriz en Anexo 1 y 2.

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población

En el presente estudio la población está constituida por el cemento, yeso y cal obtenidos de Jicamarca.

a) Criterio de inclusión:

- Muestras de Jicamarca.
- Materiales de cemento, yeso y cal

b) Criterio de exclusión:

- Muestras de otra zona diferente a Jicamarca

3.3.2. Muestra

La dosis utilizada de cal fue de 1.755 gr/cm³, de yeso una densidad seca de 1.762gr/cm³ y de cemento 1.775gr/cm³.

3.4. Técnica e instrumento de recolección de datos

El enfoque utilizado para la recogida de datos en el laboratorio fue la observación, y los instrumentos empleados fueron el registro de campo y el registro técnico, ya que se utilizaron para explicar y procesar los datos al principio y al final de la investigación.

3.5. Procedimientos

Para determinar el efecto del cemento, yeso y cal en bases estabilizadas en Jicamarca, 2022 se siguió con los siguientes pasos:

Etapas de elaboración:

- Examen y evaluación de la guía de estudio
- Búsqueda y selección del documento o documentos guía pertinentes
- Programación de la tarea experimental a realizar

Etapas metodológicas:

El primer paso consistió en tomar una muestra de suelo en Jicamarca hallando el peso seco inicial, peso seco lavado y peso perdido por lavado, de tres calicatas para determinar la granulometría, así también se realizaron tres calicatas para determinar el contenido de humedad del suelo a utilizar y mediante el contenido de humedad total y la granulometría obtenida más los límites se determinaron para hallar los resultados que definirán el tipo de suelo.

Paso siguiente, para determinar el material estabilizador con mayor eficiencia se comparó 4 muestras: suelo solo (0% de aditivo), suelo con cemento, otro con yeso y por último otro con cal; donde de cada uno se determinó el Ensayo Proctor Modificado ASTM D-1557; el cual consistió en hallar el Máxima Densidad Seca (gr/cm^3), Óptimo Contenido de Humedad (%).

Además, se determinó el ensayo californiano bearing ratio (C:B:R), al igual que el Ensayo Proctor Modificado como se muestra en la figura X

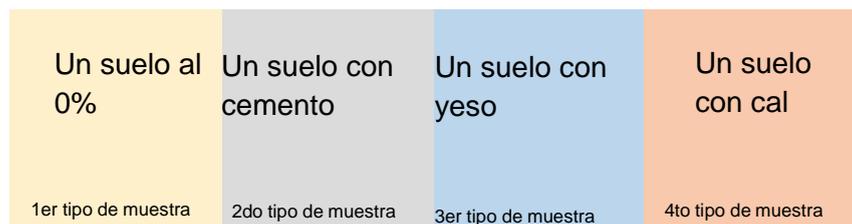


Figura 4. Tipos de agregados con suelo para la estabilización

Elaboración propia

Finalmente se realizó la comparación de los ensayos del CBR y el PROCTOR para determinar la eficiencia de los diferentes estabilizadores.

3.6. Método de análisis de datos

Para el análisis y la fiabilidad de los resultados se emplearon técnicas estadísticas y Microsoft Excel. Para analizar los datos, se utilizó la prueba t de Student y el ANOVA para determinar la probabilidad normal.

3.7. Aspectos éticos

Para cumplir con las normas académicas y asegurarse de que se crearon las citas correctas de acuerdo con las normas ISO 690, este trabajo empleó la herramienta Turnitin. Como resultado, pudimos asegurar que el trabajo es original y libre de casos de plagio.

IV. RESULTADOS

En la aplicación de cemento, yeso y cal en bases estabilizadas, se realizó la toma de

Tabla 2. Resultados Contenido de Humedad calicata 1

ENSAYO N°	M-01	M-02
Peso de tara + MH	700.00	700.00
Peso de tara + MS	685.80	686.40
Peso de tara	150.00	150.00
Peso del agua	14.20	13.60
Peso de muestra seca	535.80	536.40
Contenido de humedad (%)	2.65	2.54
HUMEDAD PROMEDIO	2.59	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Resultados Contenido de Humedad calicata 2

ENSAYO N°	M-01	M-02
Peso de tara + MH	710.00	710.00
Peso de tara + MS	694.30	695.50
Peso de tara	150.00	150.00
Peso del agua	15.70	14.50
Peso de muestra seca	544.30	545.50
Contenido de humedad (%)	2.88	2.66
HUMEDAD PROMEDIO	2.77	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Resultados Contenido de Humedad calicata 3

ENSAYO N°	M-01	M-02
Peso de tara + MH	750.00	750.00
Peso de tara + MS	730.30	731.20
Peso de tara	150.00	150.00
Peso del agua	19.70	18.80
Peso de muestra seca	580.30	581.20
Contenido de humedad (%)	3.39	3.23
HUMEDAD PROMEDIO	3.31	

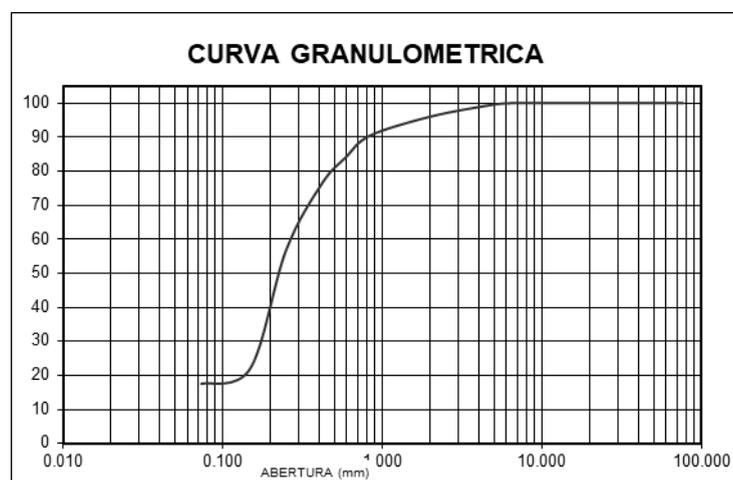
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Resultados granulometría calicata 1

TAMIZ		PESO RETEN. (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
N°	ABERT. (mm.)				
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.520	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	2.50	0.54	0.54	99.46
N° 10	2.000	15.60	3.39	3.94	96.06
N° 20	0.840	25.60	5.57	9.50	90.50
N° 30	0.590	29.60	6.44	15.94	84.06
N° 40	0.420	35.10	7.63	23.57	76.43
N° 60	0.250	90.50	19.68	43.25	56.75
N° 100	0.149	160.30	34.86	78.10	21.90
N° 200	0.074	20.10	4.37	82.47	17.53
PLATO		80.60	17.53	100.00	0.00
TOTAL		459.90	100.00		

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Curva granulometría calicata 1



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Resultados granulometría calicata 2

TAMIZ		PESO RETEN. (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
N°	ABERT. (mm.)				
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.520	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	10.50	2.01	2.01	97.99
N° 10	2.000	18.60	3.56	5.56	94.44
N° 20	0.840	23.60	4.51	10.07	89.93
N° 30	0.590	30.10	5.75	15.83	84.17
N° 40	0.420	38.60	7.38	23.20	76.80
N° 60	0.250	115.20	22.02	45.22	54.78
N° 100	0.149	175.40	33.52	78.75	21.25
N° 200	0.074	35.80	6.84	85.59	14.41
PLATO		75.40	14.41	100.00	0.00
TOTAL		523.20	100.00		

Fuente: Elaboración propia.

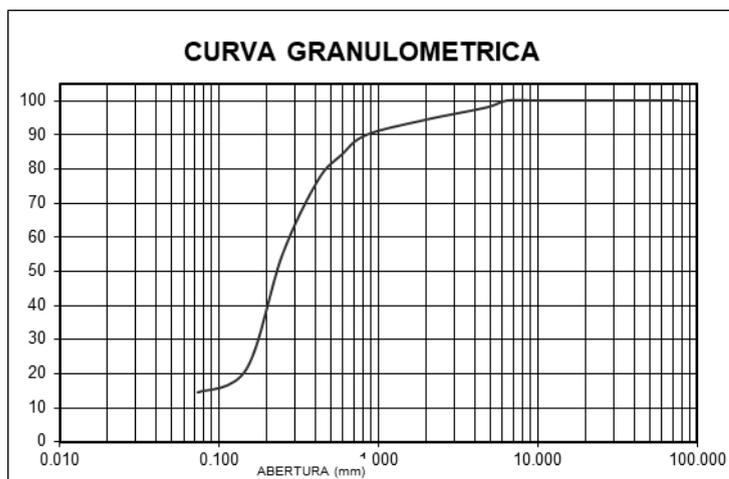


Figura 6. Curva granulométría calicata 2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Resultados granulometría calicata 3

TAMIZ		PESO RETEN. (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
Nº	ABERT. (mm.)				
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.520	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.760	11.90	2.14	2.14	97.86
Nº 10	2.000	20.10	3.61	5.75	94.25
Nº 20	0.840	25.40	4.57	10.32	89.68
Nº 30	0.590	35.60	6.40	16.72	83.28
Nº 40	0.420	40.10	7.21	23.93	76.07
Nº 60	0.250	123.40	22.18	46.11	53.89
Nº 100	0.149	190.60	34.26	80.37	19.63
Nº 200	0.074	39.10	7.03	87.40	12.60
PLATO		70.10	12.60	100.00	0.00
TOTAL		556.30	100.00		

Fuente: Elaboración propia.

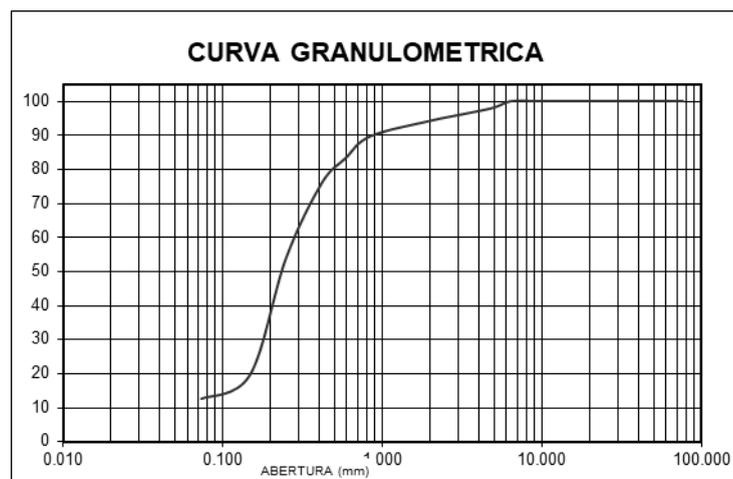


Figura 7. Curva granulometría calicata 3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Resultados límite líquido calicata 1

Nro. DE ENSAYO	LÍMITE LÍQUIDO		
	1	2	3
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)	30.00	30.00	30.00
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)	26.00	25.00	24.00
PESO DE LA TARA (gr.)	0.00	0.00	0.00
PESO DEL AGUA (gr.)	4.00	5.00	6.00
PESO SUELO SECO (gr.)	26.00	25.00	24.00
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	15.38	20.00	25.00
Nro. DE GOLPES	35	25	15

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Resultados límite líquido calicata 2

Nro. DE ENSAYO	LÍMITE LÍQUIDO		
	1	2	3
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)	30.00	30.00	30.00
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)	26.30	24.80	24.00
PESO DE LA TARA (gr.)	0.00	0.00	0.00
PESO DEL AGUA (gr.)	3.70	5.20	6.00
PESO SUELO SECO (gr.)	26.30	24.80	24.00
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	14.07	20.97	25.00
Nro. DE GOLPES	35	25	15

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Resultados límite líquido calicata 3

Nro. DE ENSAYO	LÍMITE LÍQUIDO		
	1	2	3
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)	30.00	30.00	30.00
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)	26.20	25.50	24.80
PESO DE LA TARA (gr.)	0.00	0.00	0.00
PESO DEL AGUA (gr.)	3.80	4.50	5.20
PESO SUELO SECO (gr.)	26.20	25.50	24.80
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	14.50	17.65	20.97
Nro. DE GOLPES	35	25	15

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Resultados límite plástico calicata 1

Nro. DE ENSAYO	LÍMITE PLÁSTICO		
	1	2	3
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)	-	-	-
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)	-	-	-
PESO DE LA TARA (gr.)	-	-	-
PESO DEL AGUA (gr.)	-	-	-
PESO SUELO SECO (gr.)	-	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	-	-	-
Nro. DE GOLPES	NP		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Resultados límite plástico calicata 2

Nro. DE ENSAYO	LÍMITE PLÁSTICO		
	1	2	3
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)	-	-	-
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)	-	-	-
PESO DE LA TARA (gr.)	-	-	-
PESO DEL AGUA (gr.)	-	-	-
PESO SUELO SECO (gr.)	-	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	-	-	-
Nro. DE GOLPES	NP		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Resultados límite plástico calicata 3

Nro. DE ENSAYO	LÍMITE PLÁSTICO		
	1	2	3
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)	-	-	-
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)	-	-	-
PESO DE LA TARA (gr.)	-	-	-
PESO DEL AGUA (gr.)	-	-	-
PESO SUELO SECO (gr.)	-	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	-	-	-
Nro. DE GOLPES	NP		

Fuente: Elaboración propia.

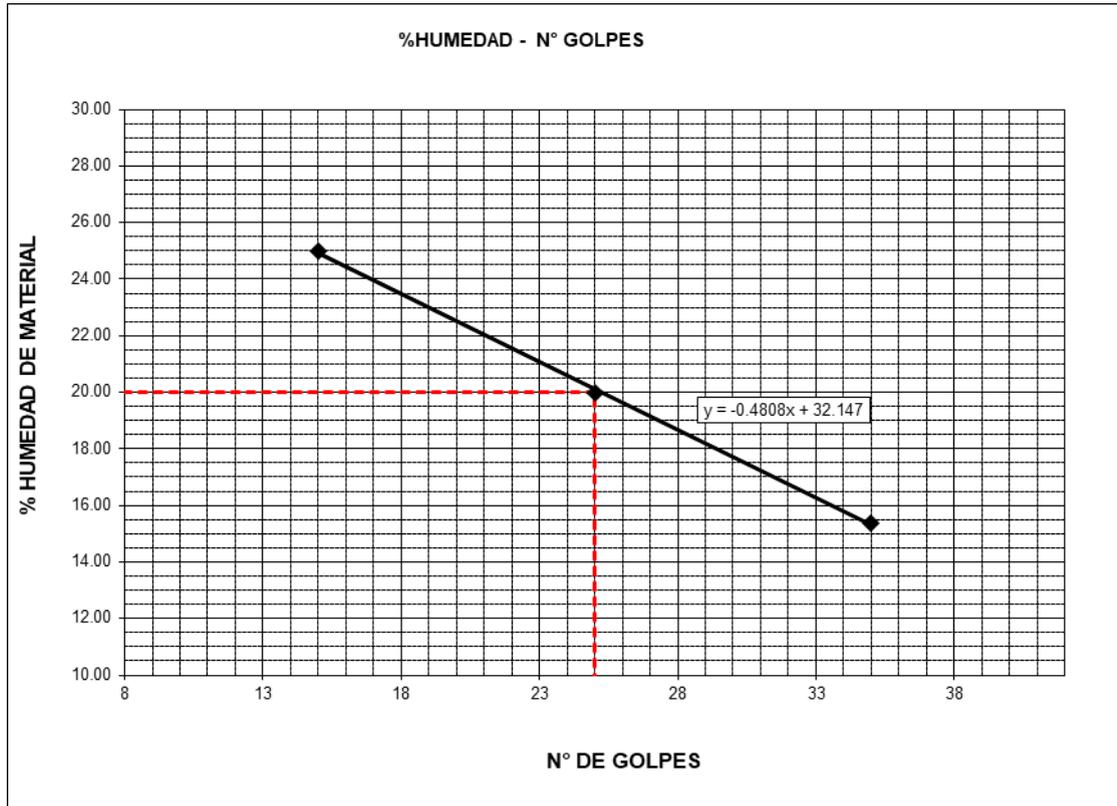


Figura 8. Límites calicata 1.

Fuente: Elaboración propia

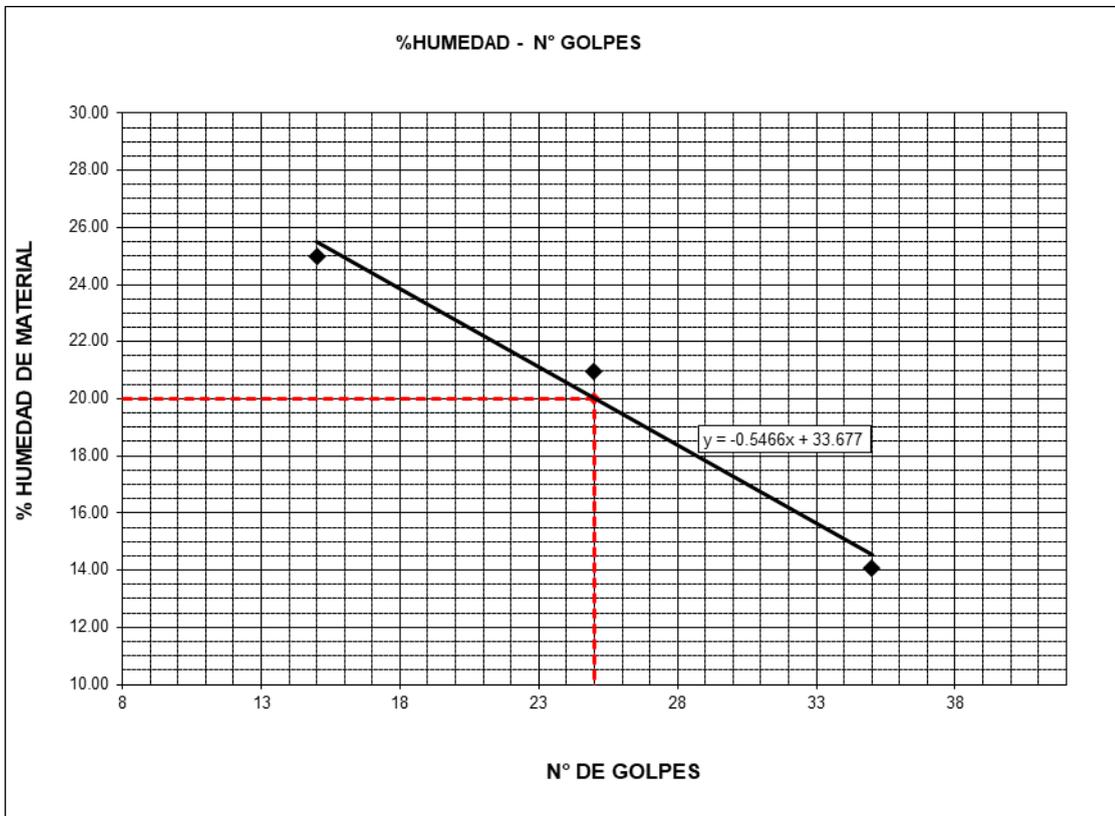


Figura 9. Límites calicata 2

Fuente: Elaboración propia

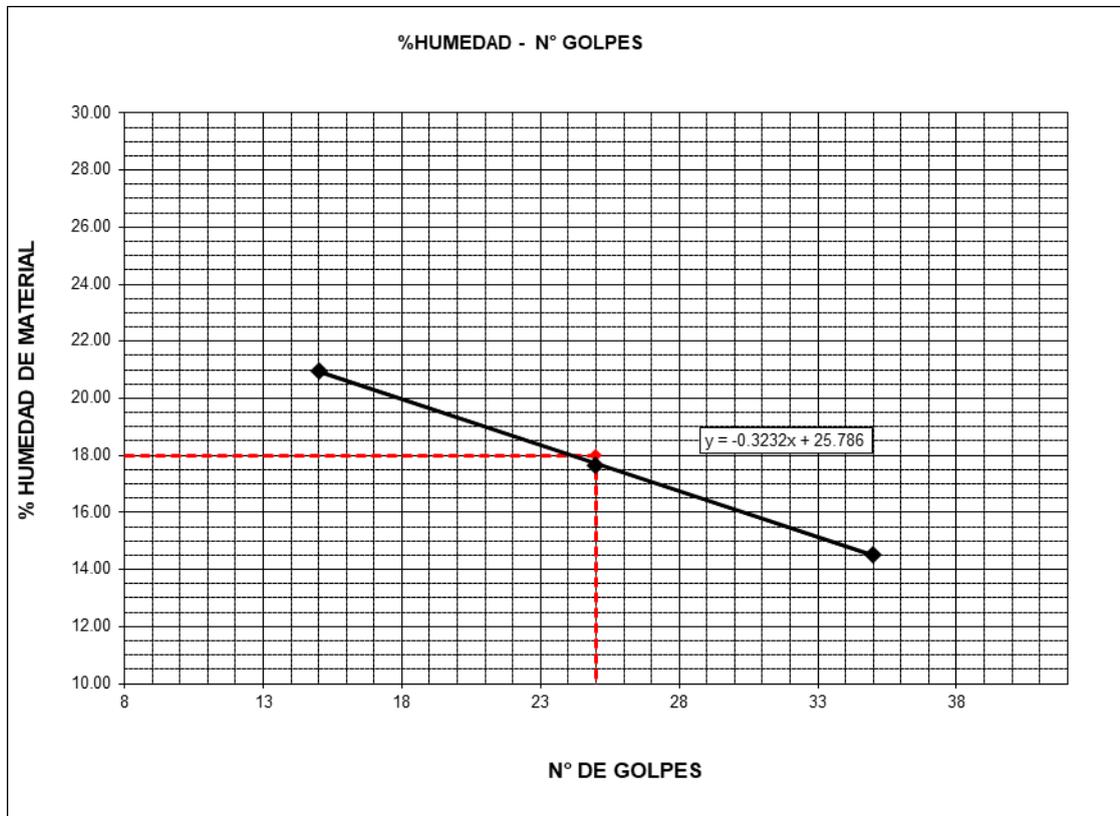


Figura 10. Límites calicata 3
Fuente: Elaboración propia

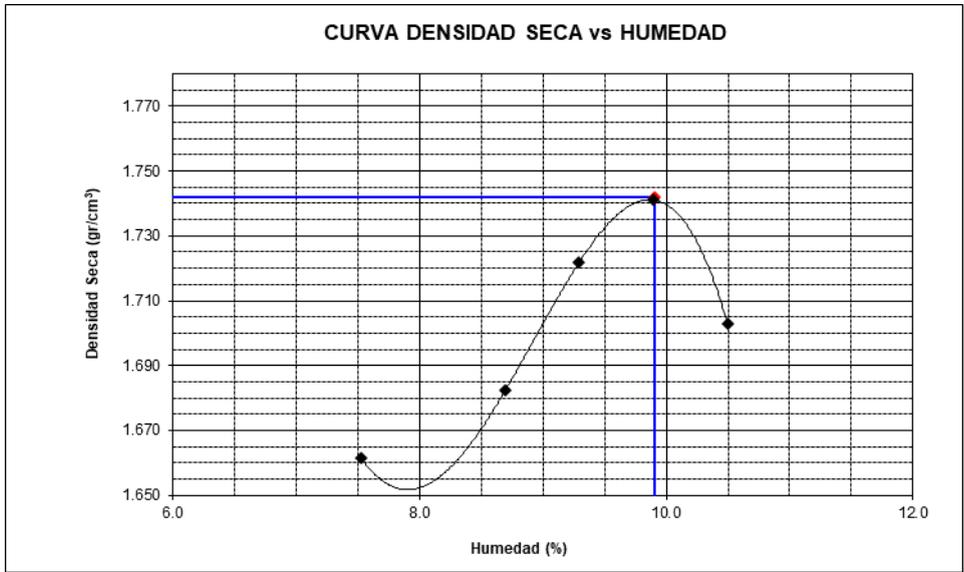


Figura 11. Proctor muestra natural
Fuente: Elaboración propia

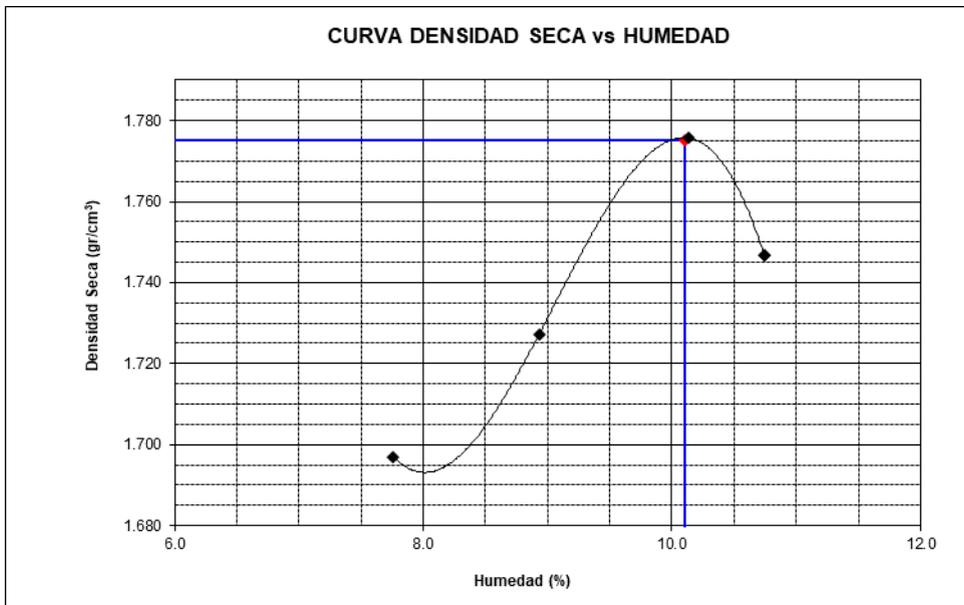


Figura 12. Proctor muestra cemento
Fuente: Elaboración propia

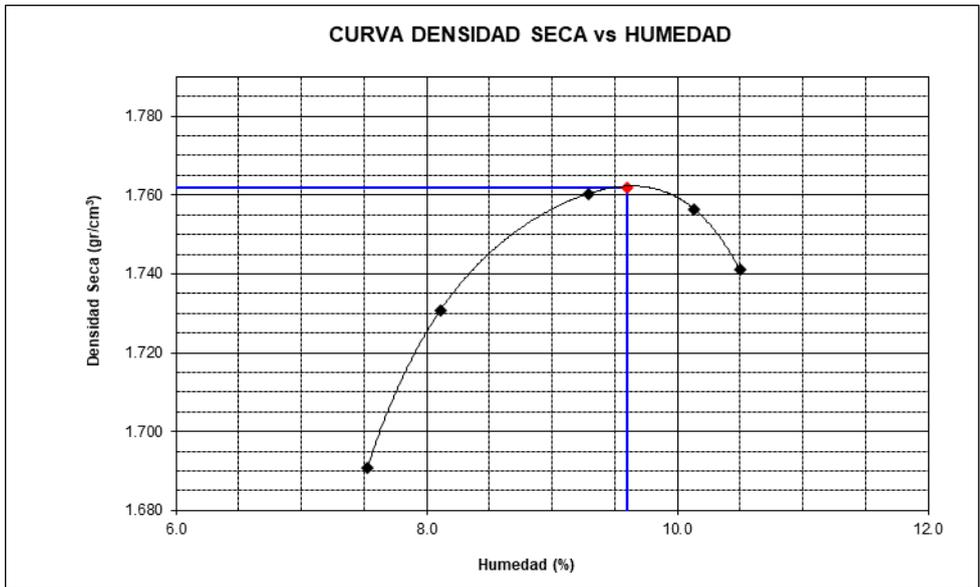


Figura 13. Proctor muestra yeso
Fuente: Elaboración propia

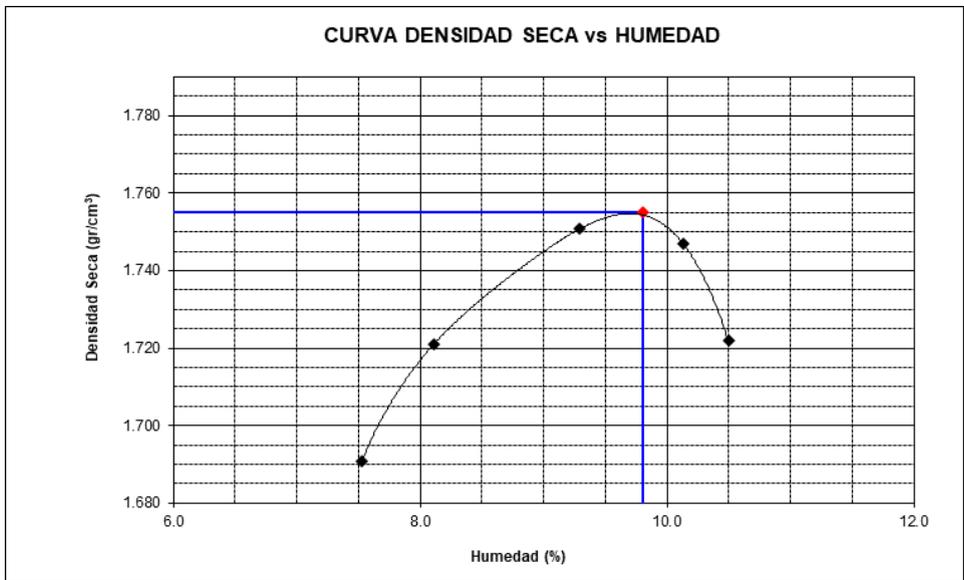


Figura 14. Proctor muestra cal
Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. CBR muestra estado natural

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	180	1000	18.0
II	0.1	170	1000	17.0
III	0.1	160	1000	16.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. CBR muestra cemento

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	200	1000	20.0
II	0.1	190	1000	19.0
III	0.1	180	1000	18.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. CBR muestra yeso

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	210	1000	21.0
II	0.1	190	1000	19.0
III	0.1	170	1000	17.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. CBR muestra cal

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	200	1000	20.0
II	0.1	190	1000	19.0
III	0.1	180	1000	18.0

Fuente: Elaboración propia

V. DISCUSIÓN

De la figura 15 podemos encontrar los resultados del ensayo de Proctor modificado, la figura muestra la máxima densidad seca (g/cm^3), del resultado podemos ver la muestra patrón en un valor de 1.742 g/cm^3 , y como a través de los estabilizantes existe un incremento, primero del cemento con 1.775 g/cm^3 , luego con el yeso con 1.762 y posterior con la cal en 1.755 g/cm^3 . Esto representa un incremento del 2% en la aplicación de cemento con respecto a la muestra control, un incremento del 1% en la aplicación de yeso con respecto a la muestra control y un incremento del 1% en la aplicación de cal con respecto a la muestra control.

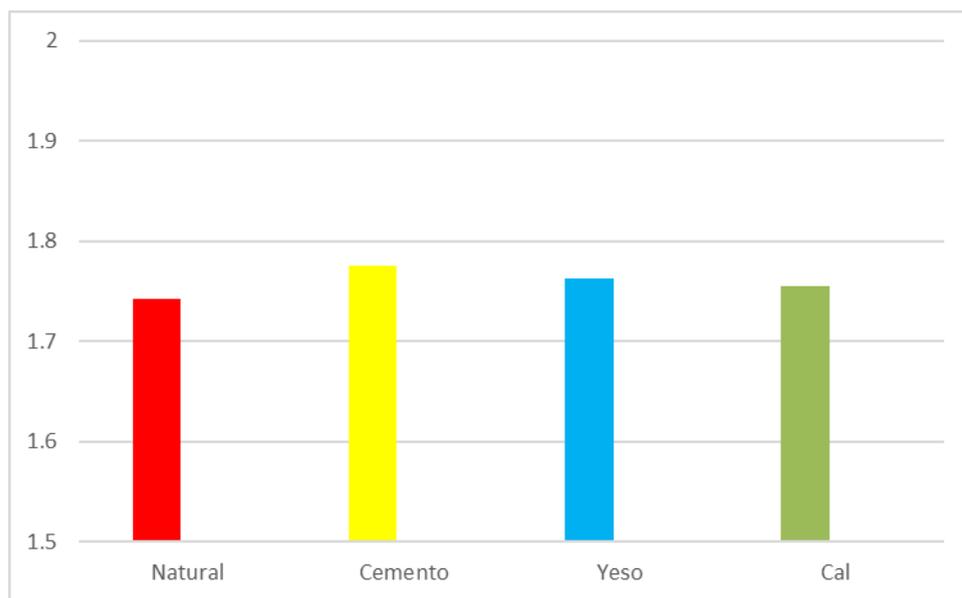


Figura 15. Comparativo de máxima densidad seca.

Fuente: Elaboración propia

De la figura 16 podemos encontrar los resultados del ensayo de Proctor modificado, la figura muestra el óptimo contenido de humedad (%), del resultado podemos ver la muestra patrón en un valor de 9.9%, y como a través de los estabilizantes existe un incremento, primero del cemento con 10.1%, luego con el yeso con 9.6% y posterior con la cal en 9.8%. Esto representa un incremento del 2% en la aplicación de cemento con respecto a la muestra control, un decrecimiento del 3% en la aplicación de yeso con respecto a la muestra control y un decrecimiento del 1% en la aplicación de cal con respecto a la muestra control.

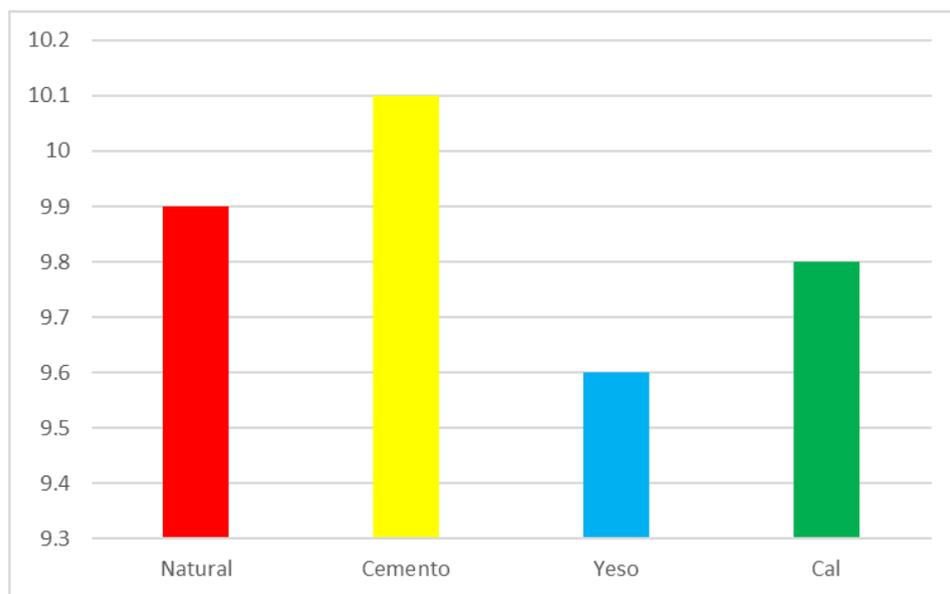


Figura 16. Comparativo de óptimo contenido de humedad

Fuente: Elaboración propia

De la figura 17 podemos encontrar los resultados del ensayo de California Bearing Ratio CBR al 100% de la máxima densidad seca, la figura muestra el CBR (%), del resultado podemos ver la muestra patrón en un valor de 18%, y como a través de los estabilizantes existe un incremento, primero del cemento con 24%, luego con el yeso con 21% y posterior con la cal en 20%. Esto representa un incremento del 30% en la aplicación de cemento con respecto a la muestra control, un incremento del 16% en la aplicación de yeso con respecto a la muestra control y un incremento del 10% en la aplicación de cal con respecto a la muestra control.

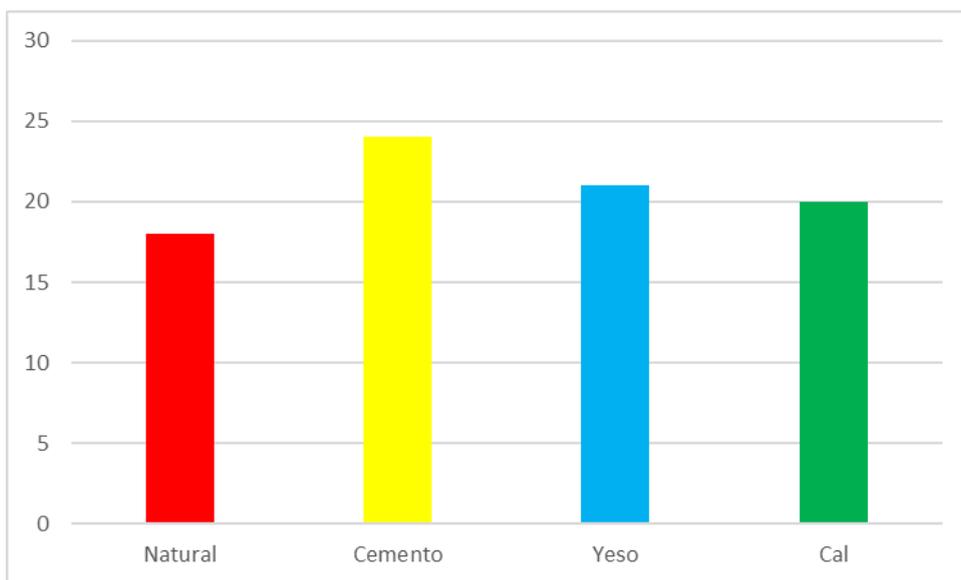


Figura 17. Comparativo de CBR al 100% de MDS

Fuente: Elaboración propia

De la figura 18 podemos encontrar los resultados del ensayo de California Bearing Ratio CBR al 95% de la máxima densidad seca, la figura muestra el CBR (%), del resultado podemos ver la muestra patrón en un valor de 16%, y como a través de los estabilizantes existe un incremento, primero del cemento con 22%, luego con el yeso con 19% y posterior con la cal en 18%. Esto representa un incremento del 37% en la aplicación de cemento con respecto a la muestra control, un incremento del 18% en la aplicación de yeso con respecto a la muestra control y un incremento del 12% en la aplicación de cal con respecto a la muestra control.

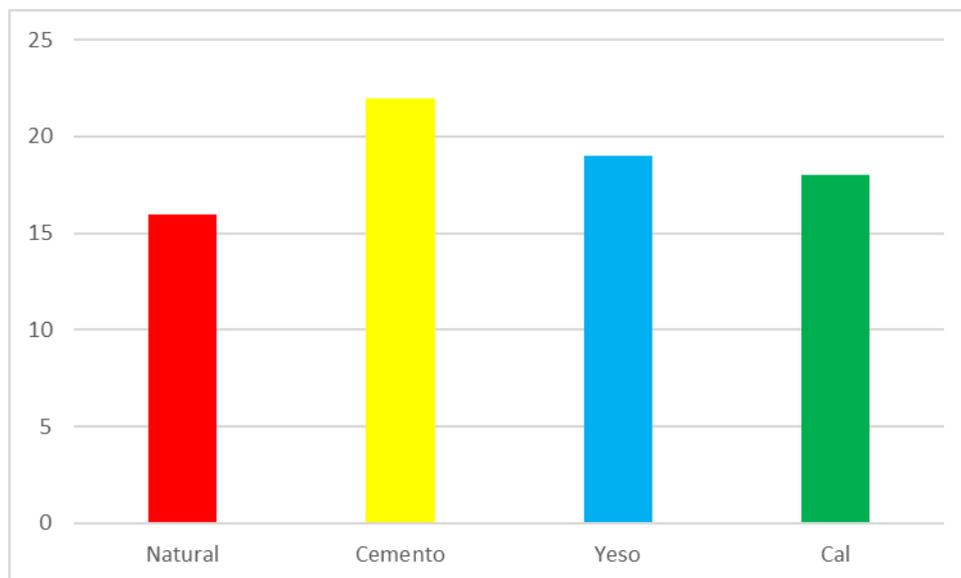


Figura 18. Comparativo de CBR al 95% de MDS}

Fuente: Elaboración propia.

VI. CONCLUSIONES

- Del ensayo de granulometría y de límites de consistencia se ha clasificado al suelo como arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla (SC) en la clasificación SUCS, y como arena limo-arcillosa (A-2-4) en la clasificación AASHTO.

- De la máxima densidad seca, existe un incremento del 2% en la aplicación de cemento con respecto a la muestra control, un incremento del 1% en la aplicación de yeso con respecto a la muestra control y un incremento del 1% en la aplicación de cal con respecto a la muestra control, por lo que el estabilizante cemento tiene el mejor comportamiento frente a la muestra patrón. 1.775 g/cm^3 y 1.742 g/cm^3 respectivamente.

- Del óptimo contenido de humedad, existe un incremento del 2% en la aplicación de cemento con respecto a la muestra control, un decremento del 3% en la aplicación de yeso con respecto a la muestra control y un decremento del 1% en la aplicación de cal con respecto a la muestra control, por lo que el estabilizante cemento tiene el mejor comportamiento frente a la muestra patrón. Por lo que el yeso tiene el mejor comportamiento frente a la muestra patrón 9.6% y 9.9% respectivamente.

- Del CBR al 100% de la máxima densidad seca, existe un incremento del 30% en la aplicación de cemento con respecto a la muestra control, un incremento del 16% en la aplicación de yeso con respecto a la muestra control y un incremento del 10% en la aplicación de cal con respecto a la muestra control, por lo que el estabilizante cemento tiene el mejor comportamiento frente a la muestra patrón 24% y 18% respectivamente.

- Del CBR al 95% de la máxima densidad seca, existe un incremento del 37% en la aplicación de cemento con respecto a la muestra control, un incremento del 18% en la aplicación de yeso con respecto a la muestra control y un incremento del 12% en la aplicación de cal con respecto a la muestra control., por lo que el estabilizante cemento tiene el mejor comportamiento frente a la muestra patrón 22% y 16% respectivamente.

VII. RECOMENDACIONES

- El uso de estabilizantes en suelos finos con porcentajes de CBR menores al 10%.
- Búsqueda de bibliografía para la aplicación de materiales estabilizantes sostenibles y amigables con el medio ambiente.
- El análisis de materiales que contengan compuestos químicos como sílice, y calcio de origen natural y que puedan ser utilizados como reemplazos parciales de los estabilizantes o en conjunto como estabilizantes híbridos.

REFERENCIAS

1. AMAKYE, Samuel Y.; ABBEY, Samuel J. Understanding the performance of expansive subgrade materials treated with non-traditional stabilisers: a review. *Cleaner Engineering and Technology*, 2021, vol. 4, p. 100159. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100159>
2. Anjan Patel. 3 - Soil stabilization. *Geotechnical Investigations and Improvement of Ground Conditions*. Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. 2019, Pages 19-27. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817048-9.00003-2>
3. BAHADORI, Hadi; HASHEMINEZHAD, Araz; TAGHIZADEH, Farshad. Experimental study on marl soil stabilization using natural pozzolans. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2019, vol. 31, no 2, p. 04018363. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002577](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002577)
4. BARMAN, Dharmendra; DASH, Sujit Kumar. Stabilization of expansive soils using chemical additives: A review. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2022.02.011>
5. BEHNOOD, Ali. Soil and clay stabilization with calcium-and non-calcium-based additives: A state-of-the-art review of challenges, approaches and techniques. *Transportation Geotechnics*, 2018, vol. 17, p. 14-32. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2018.08.002>
6. CHANG, Ilhan, et al. Effects of Xanthan gum biopolymer on soil strengthening. *Construction and Building Materials*, 2015, vol. 74, p. 65-72. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.026>
7. CONTESSI, Silvia, et al. Cement-stabilized contaminated soil: understanding Pb retention with XANES and Raman spectroscopy. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 752, p. 141826. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141826>

8. DING, Jianwen, et al. Failure of roadway subbase induced by overuse of phosphogypsum. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 2019, vol. 33, no 2, p. 04019013. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001278](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001278)
9. DOS SANTOS, Carolina Pereira, et al. Stabilization of gold mining tailings with alkali-activated carbide lime and sugarcane bagasse ash. *Transportation Geotechnics*, 2022, vol. 32, p. 100704. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2021.100704>
10. DOS SANTOS FERREIRA, José Wilson; CASAGRANDE, Michéle Dal Toé; TEIXEIRA, Raquel Souza. Sample dimension effect on equations controlling tensile and compressive strength of cement-stabilized sandy soil under optimal compaction conditions. *Case Studies in Construction Materials*, 2021, vol. 15, p. e00763. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00763>
11. EGENTI, C.; KHATIB, J. M. Sustainability of compressed earth as a construction material. En *Sustainability of Construction Materials*. Woodhead Publishing, 2016. p. 309-341. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100370-1.00013-5>
12. FIROOZI, Ali Akbar, et al. Fundamentals of soil stabilization. *International Journal of Geo-Engineering*, 2017, vol. 8, no 1, p. 1-16. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40703-017-0064-9>
13. FURLAN, Ana Paula, et al. Effect of Fly Ash on microstructural and resistance characteristics of dredged sediment stabilized with lime and cement. *Construction and Building Materials*, 2021, vol. 272, p. 121637. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121637>
14. HO, Lanh Si, et al. Analysis of strength development in cement-treated soils under different curing conditions through microstructural and chemical investigations. *Construction and Building Materials*, 2018, vol. 166, p. 634-646. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.112>
15. HOZATLIOĞLU, Derya Toksöz; YILMAZ, Işık. Shallow mixing and column performances of lime, fly ash and gypsum on the stabilization of swelling soils.

- Engineering Geology, 2021, vol. 280, p. 105931. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105931>
16. JAMES, Jijo; PANDIAN, P. Kasinatha. Industrial wastes as auxiliary additives to cement/lime stabilization of soils. *Advances in Civil Engineering*, 2016, vol. 2016. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2016/1267391>
17. JAMES, Jijo; PANDIAN, P. Kasinatha. Plasticity, swell-shrink, and microstructure of phosphogypsum admixed lime stabilized expansive soil. *Advances in Civil Engineering*, 2016, vol. 2016. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2016/9798456>
18. KHADKA, Suraj D., et al. Stabilization of highly expansive soils containing sulfate using metakaolin and fly ash based geopolymer modified with lime and gypsum. *Transportation Geotechnics*, 2020, vol. 23, p. 100327. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100327>
19. MAHEDI, Masrur; CETIN, Bora; DAYIOGLU, Asli Y. Leaching behavior of aluminum, copper, iron and zinc from cement activated fly ash and slag stabilized soils. *Waste Management*, 2019, vol. 95, p. 334-355. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.018>
20. MARUYAMA, Ippei; IGARASHI, Go. Cement reaction and resultant physical properties of cement paste. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 2015, vol. 12, no 6, p. 200-213. Disponible en: <https://doi.org/10.3151/jact.12.200>
21. Mohammad Jamalimoghadam, Rassoul Ajalloeian, Amirhomayoun Saffarzadeh. 23 - Sustainable alkali-activated materials. *Handbook of Sustainable Concrete and Industrial Waste Management*. Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. 2022, Pages 489-508. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821730-6.00030-9>
22. MOHAN, M.; MANJESH, L. A study on stabilization of sub grade soil using natural fibers (Coir and Jute). *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol*, 2017, vol. 6, no 09, p. 19042-19049. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15680/IJIRSET.2017.0609035>

23. PORTER, Hannah; DHAMI, Navdeep Kaur; MUKHERJEE, Abhijit. Synergistic chemical and microbial cementation for stabilization of aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 2017, vol. 83, p. 160-170. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.07.015>
24. PU, Shaoyun; ZHU, Zhiduo; HUO, Wangwen. Evaluation of engineering properties and environmental effect of recycled gypsum stabilized soil in geotechnical engineering: a comprehensive review. *Resources, Conservation and Recycling*, 2021, vol. 174, p. 105780. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105780>
25. RAJA, P.; THYAGARAJ, T. Sulfate effects on sulfate-resistant cement-treated expansive soil. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2020, vol. 79, no 5, p. 2367-2380. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10064-019-01714-9>
26. SAHU, Vaishali, et al. Stabilization of fly ash and lime sludge composites: Assessment of its performance as base course material. *Archives of civil and mechanical engineering*, 2017, vol. 17, no 3, p. 475-485. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.acme.2016.12.010>
27. SUDHAKARAN, Sooraj P.; SHARMA, Anil Kumar; KOLATHAYAR, Sreevalsa. Soil stabilization using bottom ash and areca fiber: Experimental investigations and reliability analysis. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2018, vol. 30, no 8, p. 04018169. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002326](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002326)
28. TAN, Eng Hie; ZAHRAN, Elsaid MM; TAN, Soon Jiann. A comparative experimental investigation into the chemical stabilisation of sandstone aggregates using cement and styrene-butadiene copolymer latex for road sub-base construction. *Transportation Geotechnics*, 2022, p. 100864. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100864>
29. Thomas W., Edgar David O. Manz. Chapter 12 - Applied Observational Study. *Research Methods for Cyber Security*. 2017, Pages 299-317. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805349-2.00012-1>

30. TOPOLNICKI, M. Zasady stosowania i projektowania wzmocnienia gruntu metodą głębokiego mieszania na mokro (DSM). Inżynieria i Budownictwo, 2018, vol. 74.
31. TORRALVO, Fátima Arroyo; PEREIRA, Constantino Fernández; PIQUERAS, Oriol Font. By-products from the integrated gas combined cycle in IGCC systems. En Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) Technologies. Woodhead Publishing, 2017. p. 465-494. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100167-7.00014-7>
32. UZOEGBO, Herbert. Dry-stack and compressed stabilised earth-block construction: Exploring new frontiers in construction. Knowledge Exchange for Young Scientists (KEYS), 2016, p. 63. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100038-0.00008-1>
33. VIJAYAN, D. S.; PARTHIBAN, D. Effect of Solid waste based stabilizing material for strengthening of Expansive soil-A review. Environmental Technology & Innovation, 2020, vol. 20, p. 101108. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101108>
34. WANG, Lusheng, et al. Rapid regeneration cement-stabilized macadam: Preparation, mechanical properties, and dry shrinkage performance. Construction and Building Materials, 2022, vol. 341, p. 127901. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127901>
35. Zhao Youcai. Chapter Eight - Solidification/Stabilization Process of Fly Ash. Pollution Control and Resource Recovery: Municipal Solid Wastes Incineration. Bottom Ash and Fly Ash. 2017, Pages 257-286. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812165-8.00008-1>

ANEXOS

ANEXO 1. Variables de estudio

	Variable de estudio	Definición Conceptual	Definición Operacional
I N D E P E N D I E N T E	Cemento, yeso y cal	El yeso se combina frecuentemente con cemento y cal para reducir su solubilidad; esto se hace porque la cal + el yeso puede mejorar las características de resistencia del suelo, así como las propiedades mecánicas del suelo blando. Los subproductos de cemento y cal se utilizan como estabilizadores de suelos blandos, tratamiento de suelos expansivos, etc. (Pu S., Zhu Z. y Huo W., 221, p.2).	En el presente trabajo se realizó 4 tipo de muestras para determinar el agregado más eficiente; siendo suelo solo, suelo con adición de cemento, suelo con adición de yeso, suelo con adición de cal. Donde cada tipo de muestra fue comprada por la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad.
D E P E N D I E N T E	Bases estabilizadas	Las bases estabilizadas se realizan para mejorar la eficacia de los suelos expansivos y soportar la carga pesada, pudiendo realizarse mediante las propiedades químicas y físicas de los suelos débiles y se pueden llevar a cabo mediante la adición de diversos materiales (Pourakbar, 2015 citado en Vijayan D. y Parthiban D., 2020, p.2). Así también Topolnicki M., (2018, p.2), menciona que es un método de refuerzo que funciona añadiendo un agente aglutinante al suelo para aumentar sus propiedades de resistencia.	El cemento, el yeso y la cal son tres agregados que se añaden al suelo para estabilizarlo. El peso seco inicial, el peso seco lavado y el peso perdido por el lavado se compararán utilizando tres fosas de prueba.

Anexo 2. Operacionalización de variables

	Variable de estudio	Dimensión	Indicadores	Escala de Medición
I N D E P E N D I E N T E	Cemento, yeso y cal	PROCTOR	Cemento	gr/cm3
				%
			Cal	gr/cm3
				%
		Yeso	gr/cm3	
			%	
		CBR	Suelo natural	gr/cm3
				%
D E P E N D I E N T E	Bases estabilizadas	Granulometría	Calicata 1	m
			Calicata 2	m
			Calicata 3	m
		Humedad	Calicata 1	m
			Calicata 2	m
			Calicata 3	m
		Límite	Calicata 1	m
			Calicata 2	m
			Calicata 3	m



CONTENIDO DE HUMEDAD

SOLICITA : REYNA MANDUJANO SAMUEL CARLOS
LOZANO SULCA YIMI TOM

PROYECTO : Efectos del Uso de Cemento, Yeso y Cal en Bases Estabilizadas, Jicamarca, 2022

LUGAR : Jicamarca

FECHA : 05/10/2022 **CALICATA :** C - 2

ESTRATO : E - 1 **PROF. (m) :** 0.50 - 1.20

ENSAYO N°	M-01	M-02
Peso de tara + MH	710.00	710.00
Peso de tara + MS	694.30	695.50
Peso de tara	150.00	150.00
Peso del agua	15.70	14.50
Peso de muestra seca	544.30	545.50
Contenido de humedad (%)	2.88	2.66
HUMEDAD PROMEDIO	2.77	

ING. VILLACORTA DIAZ ALDO
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP. 180468
 NICOLES HYDGEOSTRUCT SAC



CONTENIDO DE HUMEDAD

SOLICITA : REYNA MANDUJANO SAMUEL CARLOS
LOZANO SULCA YIMI TOM

PROYECTO : Efectos del Uso de Cemento, Yeso y Cal en Bases Estabilizadas, Jicamarca, 2022

LUGAR : Jicamarca

FECHA : 05/10/2022 **CALICATA :** C - 3

ESTRATO : E - 1 **PROF. (m) :** 0.50 - 1.20

ENSAYO N°	M-01	M-02
Peso de tara + MH	750.00	750.00
Peso de tara + MS	730.30	731.20
Peso de tara	150.00	150.00
Peso del agua	19.70	18.80
Peso de muestra seca	580.30	581.20
Contenido de humedad (%)	3.39	3.23
HUMEDAD PROMEDIO	3.31	


ING. VILACORTA DIAZ ALDO
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP. 169459
 NICOLES HYDGEOSTRUCT SAC



ANALISIS DE SUELOS

SOLICITA : REYNA MANDUJANO SAMUEL CARLOS
LOZANO SULCA YIMI TOM

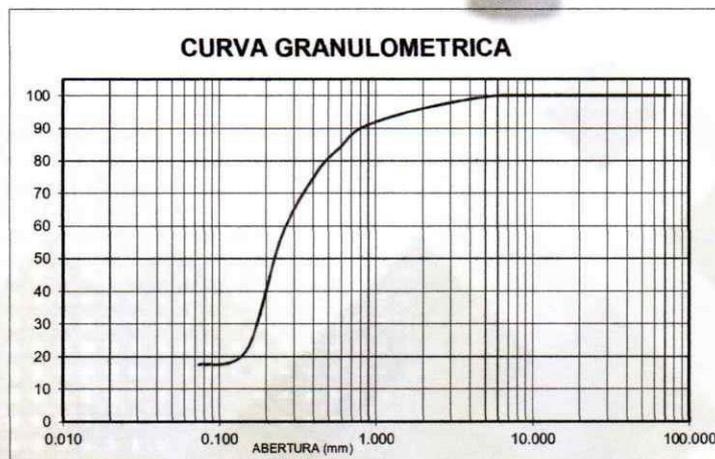
PROYECTO : Efectos del Uso de Cemento, Yeso y Cal en Bases Estabilizadas, Jicamarca, 2022

LUGAR : Jicamarca

FECHA : 05/10/2022 **CALICATA :** C - 1 **ESTRATO :** E - 1 **PROF. (m) :** 0.50 - 1.20

PESO SECO INICIAL	459.9
PESO SECO LAVADO	379.30
PESO PERDIDO POR LAVADO	80.60

TAMIZ		PESO RETEN. (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
N°	ABERT. (mm.)				
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.520	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	2.50	0.54	0.54	99.46
N° 10	2.000	15.60	3.39	3.94	96.06
N° 20	0.840	25.60	5.57	9.50	90.50
N° 30	0.590	29.60	6.44	15.94	84.06
N° 40	0.420	35.10	7.63	23.57	76.43
N° 60	0.250	90.50	19.68	43.25	56.75
N° 100	0.149	160.30	34.86	78.10	21.90
N° 200	0.074	20.10	4.37	82.47	17.53
PLATO		80.60	17.53	100.00	0.00
TOTAL		459.90	100.00		




ING. VILLACORTA DIAZ ALDO
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP. 188459
 NICOLES HYDGEOSTRUCT SAC



ANALISIS DE SUELOS

SOLICITA : REYNA MANDUJANO SAMUEL CARLOS
LOZANO SULCA YIMI TOM

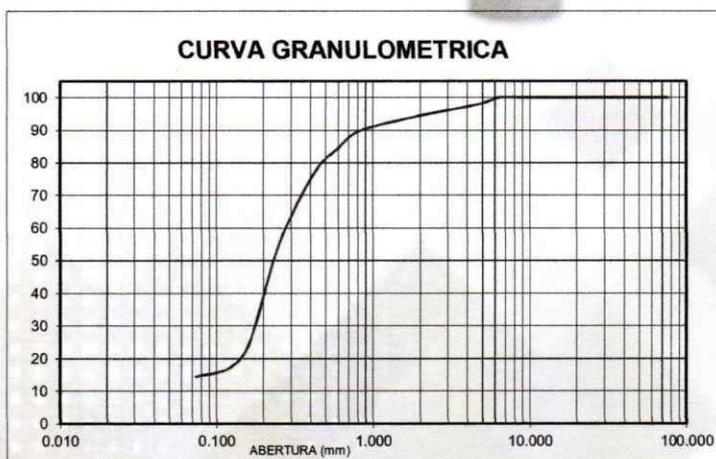
PROYECTO : Efectos del Uso de Cemento, Yeso y Cal en Bases Estabilizadas, Jicamarca, 2022

LUGAR : Jicamarca

FECHA : 05/10/2022 **CALICATA :** C - 2 **ESTRATO :** E - 1 **PROF. (m) :** 0.50 - 1.20

PESO SECO INICIAL	523.2
PESO SECO LAVADO	447.80
PESO PERDIDO POR LAVADO	75.40

TAMIZ		PESO RETEN. (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
N°	ABERT. (mm.)				
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.520	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	10.50	2.01	2.01	97.99
N° 10	2.000	18.60	3.56	5.56	94.44
N° 20	0.840	23.60	4.51	10.07	89.93
N° 30	0.590	30.10	5.75	15.83	84.17
N° 40	0.420	38.60	7.38	23.20	76.80
N° 60	0.250	115.20	22.02	45.22	54.78
N° 100	0.149	175.40	33.52	78.75	21.25
N° 200	0.074	35.80	6.84	85.59	14.41
PLATO		75.40	14.41	100.00	0.00
TOTAL		523.20	100.00		



ING. VILLACORTA DIAZ ALDO
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP. 156459
 NICOLES HYDGEOSTRUCT SAC



ANALISIS DE SUELOS

SOLICITA : REYNA MANDUJANO SAMUEL CARLOS
LOZANO SULCA YIMI TOM

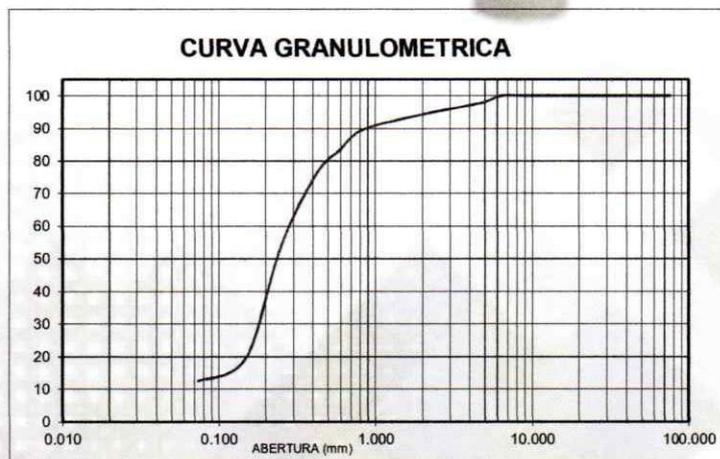
PROYECTO : Efectos del Uso de Cemento, Yeso y Cal en Bases Estabilizadas, Jicamarca, 2022

LUGAR : Jicamarca

FECHA : 05/10/2022 **CALICATA :** C - 3 **ESTRATO :** E - 1 **PROF. (m) :** 0.50 - 1.20

PESO SECO INICIAL	556.3
PESO SECO LAVADO	486.20
PESO PERDIDO POR LAVADO	70.10

TAMIZ		PESO RETEN. (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
N°	ABERT. (mm.)				
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.520	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	11.90	2.14	2.14	97.86
N° 10	2.000	20.10	3.61	5.75	94.25
N° 20	0.840	25.40	4.57	10.32	89.68
N° 30	0.590	35.60	6.40	16.72	83.28
N° 40	0.420	40.10	7.21	23.93	76.07
N° 60	0.250	123.40	22.18	46.11	53.89
N° 100	0.149	190.60	34.26	80.37	19.63
N° 200	0.074	39.10	7.03	87.40	12.60
PLATO		70.10	12.60	100.00	0.00
TOTAL		556.30	100.00		




ING. VILLACORTA DIAZ ALDO
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP. 168459
 NICOLES HYDGEOSTRUCT SAC



LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO

(MTC E-110,E-111,ASTM D-4318 y MTC E-110, AASHTO T89, T90)

SOLICITA : REYNA MANDUJANO SAMUEL CARLOS
LOZANO SULCA YIMI TOM

PROYECTO : Efecto del Uso de Cemento, Yeso y Cal en Bases Estabilizadas, Jicamarca, 2022

LUGAR : Jicamarca

FECHA : 05/10/2022 **CALICATA :** C - 1

ESTRATO : E - 1 **PROF. (m) :** 0.50 - 1.20

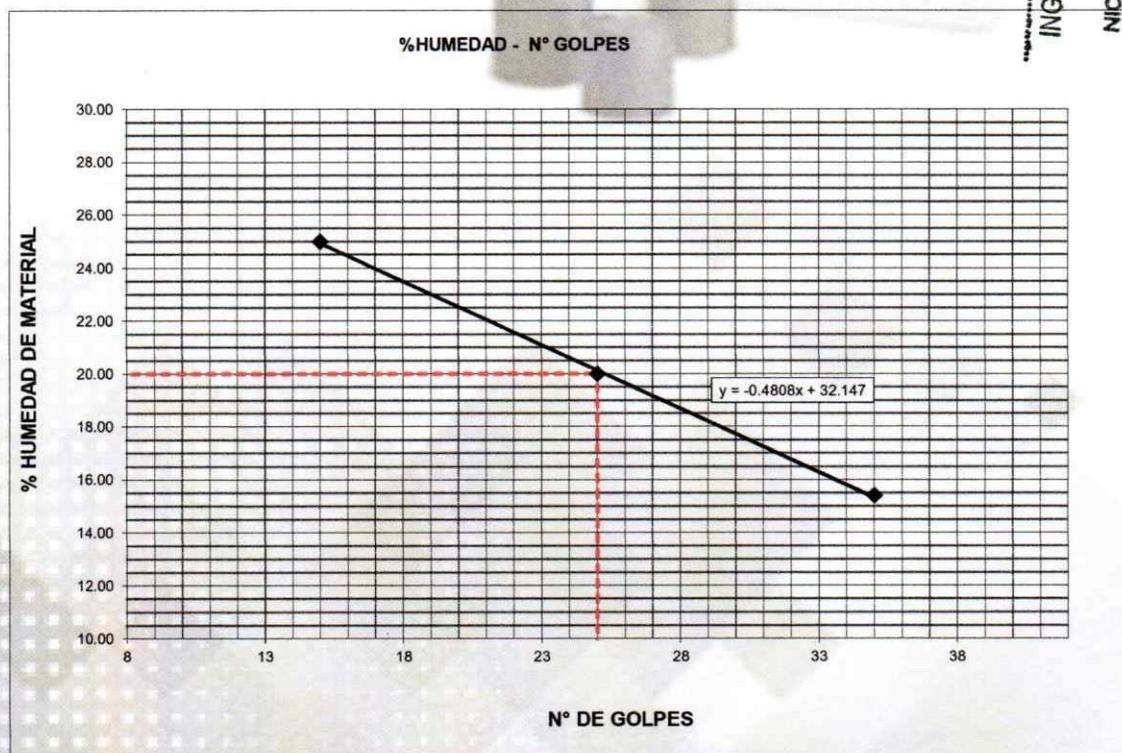
Nro. DE ENSAYO	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)	30.00	30.00	30.00	-	-	-
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)	26.00	25.00	24.00	-	-	-
PESO DE LA TARA (gr.)	0.00	0.00	0.00	-	-	-
PESO DEL AGUA (gr.)	4.00	5.00	6.00	-	-	-
PESO SUELO SECO (gr.)	26.00	25.00	24.00	-	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	15.38	20.00	25.00	-	-	-
Nro. DE GOLPES	35	25	15	NP		

LIMITE LIQUIDO		
(MTC E-110,ASTM D-4318 y AASHTO T89)		
LL :	%	20.00

LIMITE PLASTICO		
(MTC E-111,ASTM D-4318 y AASHTO T90)		
LP :	%	NP

INDICE DE PLASTICIDAD		
ASTM D-438		
IP :	%	NP

ING. VILLACORTA DIAZ ALDO
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 168459
NICOLES HYDGEOSTRUCT SAC





LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO

(MTC E-110,E-111,ASTM D-4318 y MTC E-110, AASHTO T89, T90)

SOLICITA : REYNA MANDUJANO SAMUEL CARLOS
LOZANO SULCA YIMI TOM

PROYECTO Efecto del Uso de Cemento, Yeso y Cal en Bases Estabilizadas, Jicamarca, 2022

LUGAR Jicamarca

FECHA 05/10/2022 **CALICATA :** C - 2

ESTRATO : E - 1 **PROF. (m) :** 0.50 - 1.20

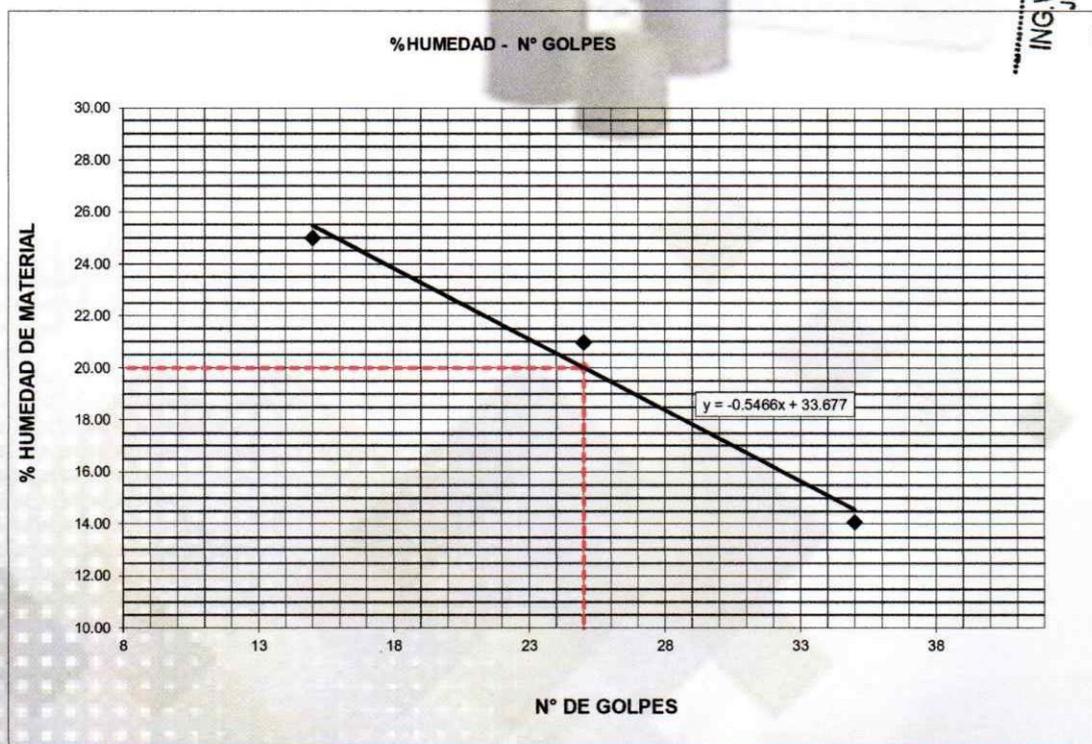
Nro. DE ENSAYO	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)	30.00	30.00	30.00	-	-	-
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)	26.30	24.80	24.00	-	-	-
PESO DE LA TARA (gr.)	0.00	0.00	0.00	-	-	-
PESO DEL AGUA (gr.)	3.70	5.20	6.00	-	-	-
PESO SUELO SECO (gr.)	26.30	24.80	24.00	-	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	14.07	20.97	25.00	-	-	-
Nro. DE GOLPES	35	25	15	NP		

LIMITE LIQUIDO	
(MTC E-110,ASTM D-4318 y AASHTO T89)	
LL :	% 20.00

LIMITE PLASTICO	
(MTC E-111,ASTM D-4318 y AASHTO T90)	
LP :	% NP

INDICE DE PLASTICIDAD	
ASTM D-438	
IP :	% NP

ING. VILACORTA DIAZ ALDO
JEFE DE LABORATORIO
CIP: 189459
NICOLES HYDGEOSTRUCT SAC





LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO

(MTC E-110,E-111,ASTM D-4318 y MTC E-110, AASHTO T89, T90)

SOLICITA : REYNA MANDUJANO SAMUEL CARLOS
LOZANO SULCA YIMI TOM

PROYECTO Efecto del Uso de Cemento, Yeso y Cal en Bases Estabilizadas, Jicamarca, 2022

LUGAR Jicamarca

FECHA 05/10/2022 **CALICATA :** C - 3

ESTRATO : E - 1 **PROF. (m) :** 0.50 - 1.20

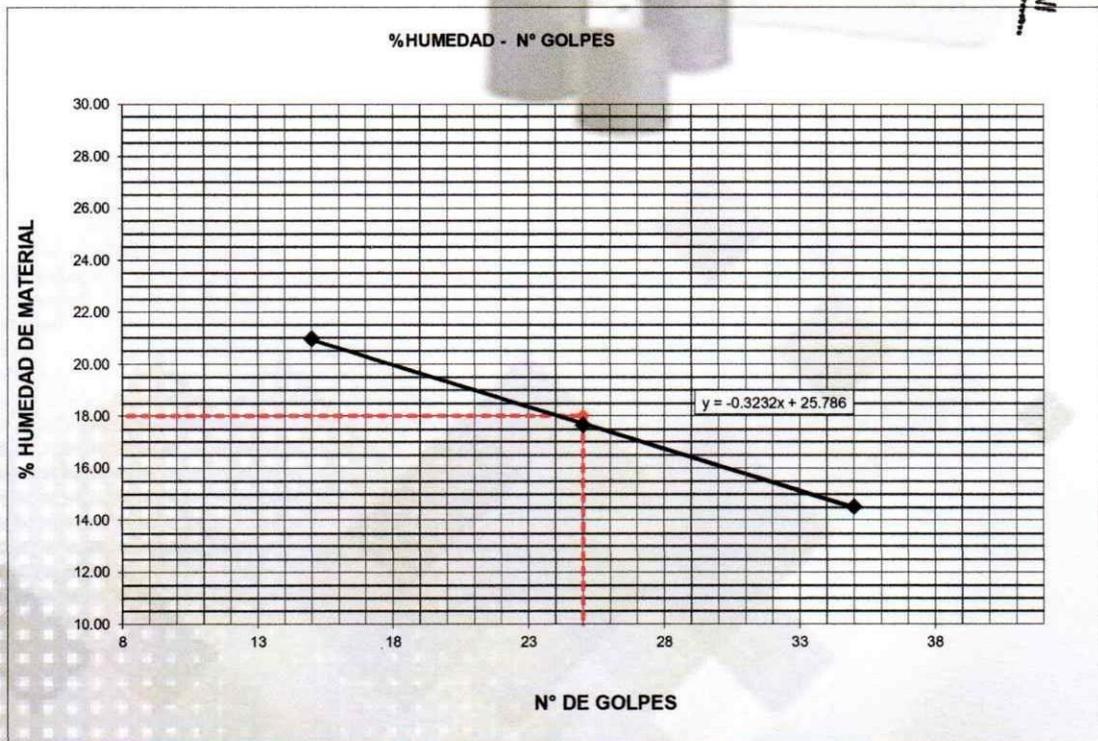
Nro. DE ENSAYO	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.)	30.00	30.00	30.00	-	-	-
PESO TARA + SUELO SECO (gr.)	26.20	25.50	24.80	-	-	-
PESO DE LA TARA (gr.)	0.00	0.00	0.00	-	-	-
PESO DEL AGUA (gr.)	3.80	4.50	5.20	-	-	-
PESO SUELO SECO (gr.)	26.20	25.50	24.80	-	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	14.50	17.65	20.97	-	-	-
Nro. DE GOLPES	35	25	15	NP		

LIMITE LIQUIDO	
(MTC E-110,ASTM D-4318 y AASHTO T89)	
LL :	% 18.00

LIMITE PLASTICO	
(MTC E-111,ASTM D-4318 y AASHTO T90)	
LP :	% NP

INDICE DE PLASTICIDAD	
ASTM D-438	
IP :	% NP

ING. VILLACORTA DIAZ ALDO
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 188459
NICOLES HYDGEOSTRUCT SAC





PROCTOR MODIFICADO

SOLICITA : REYNA MANDUJANO SAMUEL CARLOS
 LOZANO SULCA YIMI TOM

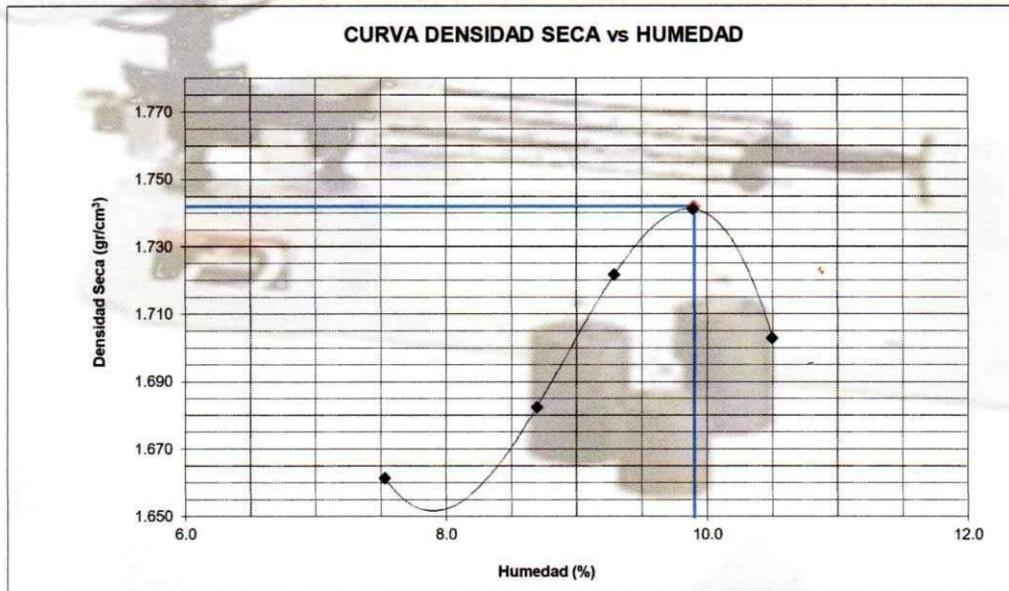
PROYECTO : Efectos del Uso de Cemento, Yeso y Cal en Bases Estabilizadas, Jicamarca, 2022

MATERIAL : Natural

LUGAR : Jicamarca

FECHA : 25/10/2022

Método : A
 Máxima Densidad Seca : 1.742 gr/cm³
 Optimo Contenido de humedad : 9.9 %



ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño ASTM D - 1557.


ING. VILLACORTA DIAZ ALDO
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP. 186459
 NICOLES HYDGEOSTRUCT SAC



PROCTOR MODIFICADO

SOLICITA : REYNA MANDUJANO SAMUEL CARLOS
 LOZANO SULCA YIMI TOM

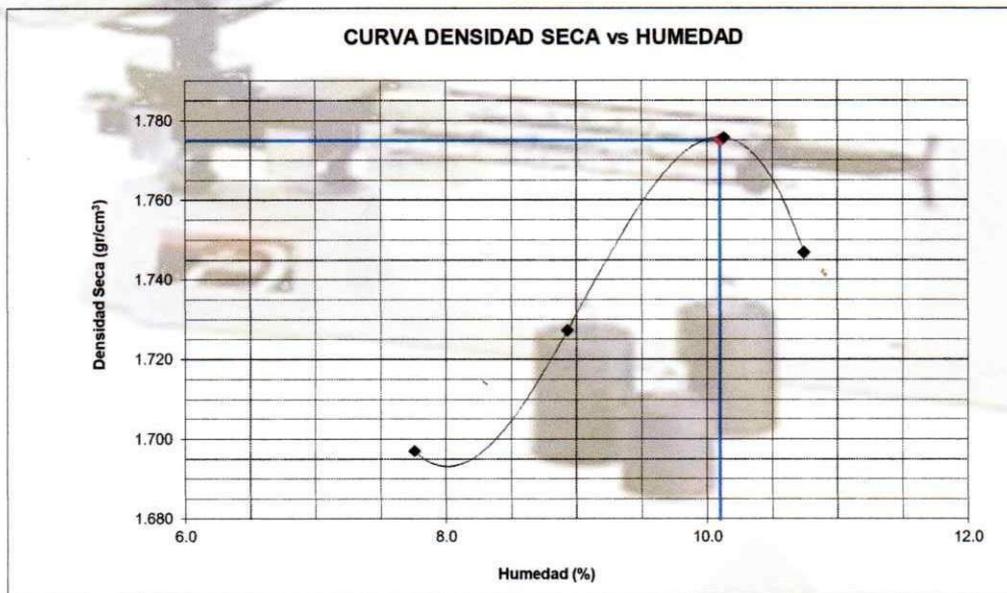
PROYECTO : Efectos del Uso de Cemento, Yeso y Cal en Bases Estabilizadas, Jicamarca, 2022

MATERIAL : Cemento

LUGAR : Jicamarca

FECHA : 25/10/2022

Método : A
 Máxima Densidad Seca : 1.775 gr/cm³
 Optimo Contenido de humedad : 10.1 %



ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño ASTM D - 1557.


ING. VILLACORTA DIAZ ALDO
 JEFE DE LABORATORIO
 C.I.P. 189459
 NICOLES HYDGEOSTRUCT SAC



PROCTOR MODIFICADO

SOLICITA : REYNA MANDUJANO SAMUEL CARLOS
 LOZANO SULCA YIMI TOM

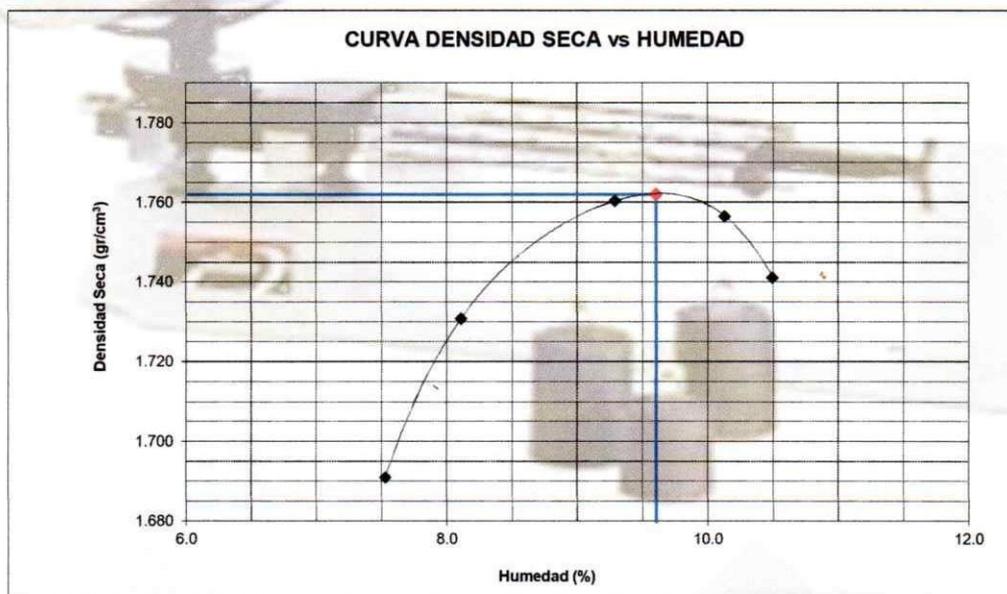
PROYECTO : Efectos del Uso de Cemento, Yeso y Cal en Bases Estabilizadas, Jicamarca, 2022

MATERIAL : Yeso

LUGAR : Jicamarca

FECHA : 25/10/2022

Método : A
 Máxima Densidad Seca : 1.762 gr/cm³
 Óptimo Contenido de humedad : 9.6 %



ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño ASTM D - 1557.


ING. VILLACORTA DIAZ ALDO
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP: 186459
 NICOLES HYDGEOSTRUCT SAC



PROCTOR MODIFICADO

SOLICITA : REYNA MANDUJANO SAMUEL CARLOS
LOZANO SULCA YIMI TOM

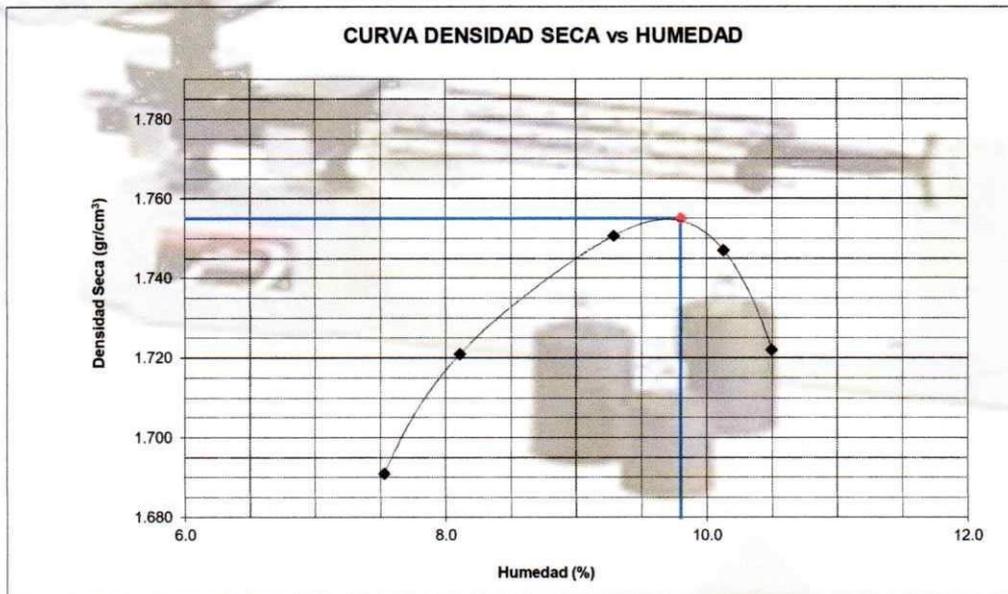
PROYECTO : Efectos del Uso de Cemento, Yeso y Cal en Bases Estabilizadas, Jicamarca, 2022

MATERIAL : Cal

LUGAR : Jicamarca

FECHA : 25/10/2022

Método : A
Máxima Densidad Seca : 1.755 gr/cm³
Optimo Contenido de humedad : 9.8 %



ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño ASTM D - 1557.


ING. VILLACORTA DIAZ ALDO
JEFE DE LABORATORIO
CIP: 189459
NICOLES HYDGEOSTRUCT SAC



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)

SOLICITA : REYNA MANDUJANO SAMUEL CARLOS
LOZANO SULCA YIMI TOM

PROYECTO : Efectos del Uso de Cemento, Yeso y Cal en Bases Estabilizadas, Jicamarca, 2022

LUGAR : Jicamarca

FECHA : : 25/10/2022

MATERIAL : Natural

Ensayo Proctor Modificado ASTM D-1557

Método : A

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.742

Optimo Contenido de Humedad (%) : 9.9

b).- Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.740	1.730	1.720
Contenido de Humedad	9.9	9.9	9.9

c).- Cuadro C.B.R. Para 0.1 pulg de Penetración

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	180	1000	18.0
II	0.1	170	1000	17.0
III	0.1	160	1000	16.0

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. : 18.0 %

C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. : 16.0 %


ING. VILLACORTA DIAZ ALDO
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP: 189469
 NICOLES HYDGEOSTRUCT SAC



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)

SOLICITA : REYNA MANDUJANO SAMUEL CARLOS
LOZANO SULCA YIMI TOM

PROYECTO : Efectos del Uso de Cemento, Yeso y Cal en Bases Estabilizadas, Jicamarca, 2022

LUGAR : Jicamarca

FECHA : : 25/10/2022

MATERIAL : Cemento

Ensayo Proctor Modificado ASTM D-1557

Método : A

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.775

Optimo Contenido de Humedad (%) : 10.1

b).- Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.775	1.765	1.755
Contenido de Humedad	10.1	10.1	10.1

c).- Cuadro C.B.R. Para 0.1 pulg de Penetración

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	200	1000	20.0
II	0.1	190	1000	19.0
III	0.1	180	1000	18.0

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. : 24.0 %

C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. : 22.0 %


ING. VILLACORTA DIAZ ALDO
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP 189459
 NICOLES HYDGEOSTRUCT SAC



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)

SOLICITA : REYNA MANDUJANO SAMUEL CARLOS
LOZANO SULCA YIMI TOM

PROYECTO : Efectos del Uso de Cemento, Yeso y Cal en Bases Estabilizadas, Jicamarca, 2022

LUGAR : Jicamarca

FECHA : : 25/10/2022

MATERIAL : Yeso

Ensayo Proctor Modificado ASTM D-1557

Método : A

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.762

Optimo Contenido de Humedad (%) : 9.6

b).- Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.762	1.752	1.742
Contenido de Humedad	9.6	9.6	9.6

c).- Cuadro C.B.R. Para 0.1 pulg de Penetración

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	210	1000	21.0
II	0.1	190	1000	19.0
III	0.1	170	1000	17.0

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. : 21.0 %

C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. : 19.0 %

ING. VILLACORTA DIAZ ALDO
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP. 189459
 NICOLES HYDGEOSTRUCT SAC



ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)

SOLICITA : REYNA MANDUJANO SAMUEL CARLOS
LOZANO SULCA YIMI TOM

PROYECTO : Efectos del Uso de Cemento, Yeso y Cal en Bases Estabilizadas, Jicamarca, 2022

LUGAR : Jicamarca

FECHA : 25/10/2022

MATERIAL : Cal

Ensayo Proctor Modificado ASTM D-1557

Método : A

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.755

Optimo Contenido de Humedad (%) : 9.8

b).- Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.755	1.745	1.735
Contenido de Humedad	9.8	9.8	9.8

c).- Cuadro C.B.R. Para 0.1 pulg de Penetración

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	200	1000	20.0
II	0.1	190	1000	19.0
III	0.1	180	1000	18.0

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. : 20.0 %

C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. : 18.0 %

ING. VILLACORTA DIAZ ALDO
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 189459
NICOLES HYDGEOSTRUCT SAC



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SEGURA TERRONES LUIS ALBERTO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Efectos del uso de cemento, yeso y cal en bases estabilizadas, Jicamarca, 2022

", cuyos autores son REYNA MANDUJANO SAMUEL CARLOS, LOZANO SULCA YIMI TOM, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 25.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

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

LIMA, 27 de Octubre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SEGURA TERRONES LUIS ALBERTO DNI: 45003769 ORCID: 0000-0002-9320-0540	Firmado electrónicamente por: LASEGURAT el 19- 12-2022 18:22:47

Código documento Trilce: TRI - 0436072