

Estabilización de la subrasante con ceniza de quinua y cal en la Carretera Lago Sagrado, Puno, Perú

Stabilization of the subgrade with quinoa ash and lime on the Lago Sagrado Highway, Puno, Peru

Griselda Mamani Gonzalo 

Universidad César Vallejo
Lima, Perú
gmamani33@ucvvirtual.edu.pe

Ccori Siello Vega Neyra 

Universidad Nacional de Barranca
Lima, Perú
cvegan182@unab.edu.pe

Walter Manuel Rea Olivares 

Universidad César Vallejo
Lima, Perú
wreao@ucvvirtual.edu.pe

Sleyther Arturo De La Cruz Vega 

Universidad César Vallejo
Lima, Perú
sdelacruz@ucv.edu.pe

Patricia Maribel Yllescas Rodríguez 

Universidad César Vallejo
Lima, Perú
pyllescas@ucv.edu.pe

Fecha de recepción: 26-12-2022 - **Fecha de aprobación:** 05-05-2023

RESUMEN

Las carreteras que conectan los centros poblados de la ciudad de Puno en el Perú carecen de vías pavimentadas, la mayoría de las vías de conexión son trochas carrozables. Además, estas vías dificultan el desplazamiento de los vehículos de forma continua y segura debido a la presencia de huecos y deformaciones producto de la lluvia. Por tanto, el propósito de la presente investigación fue determinar cuán efectiva es la combinación de ceniza de quinua y cal en la estabilización de suelos. El procesamiento de las muestras y los datos fue utilizando metodología aplicada, diseño experimental puro y enfoque cuantitativo. Los resultados muestran una mejora en las características de los suelos cohesivos adicionando ceniza de quinua y cal. Con adición de 9 % de ceniza de quinua y 5 % de cal, se obtuvo una pequeña variación del límite líquido, del límite plástico y el índice de plasticidad en comparación con el suelo de fundación. En el caso de la densidad seca y el contenido de humedad tras el mismo análisis, se obtuvo una disminución del óptimo contenido de humedad al 9 % y un aumento de la densidad seca al 1,902 g/cm³. El CBR aumentó alcanzando valores de 32,0 % al 100 % la densidad seca y al 95 % la densidad seca, mostró un valor de 25,6 %. Se concluye que existe una mejora de las propiedades mecánicas del suelo con la adición de ceniza de quinua y cal.

Palabras clave: Estabilización, suelo, ceniza, quinua, cal.

ABSTRACT

The highways that connect the populated centers of the city of Puno in Peru, lack of paved roads, most of the connecting roads are carriageable trails. In addition, these roads make it difficult for vehicles to move continuously and safely due to the presence of holes and deformation caused by rain. Then, the purpose of this research was to determine the effect of the combination of quinoa ash and lime as soil stabilizers. The samples and data were processed using applied methodology, pure experimental design, and quantitative approach. The results showed an improvement in the characteristics of cohesive soils after adding quinoa ash and lime. With the addition of 9 % quinoa ash and 5 % lime, a small variation of the liquid limit, plastic limit and plasticity index was obtained in comparison with the foundation soil. Similarly, in terms of dry density and moisture content, a decrease in the optimum moisture content of 9 % was obtained, and an increase in the dry density of 1,902 g/cm³. The CBR increased reaching values of 32,0 % at 100 % dry density and at 95 % dry density showed a value of 25,6 %. It is concluded that there is an improvement in the mechanical properties of the soil with the addition of quinoa ash and lime.

Keywords: Stabilization, soil, ash, quinoa, lime.

Introducción

Las carreteras son uno de los factores más importantes para el desarrollo económico y social de un país, siendo en muchos de ellos la principal forma de comunicación, por lo que siguen teniendo alta importancia, ya que las redes viales constituyen, sin lugar a dudas, una necesidad esencial en el mundo moderno (Junco del Pino y Piusseaut, 2013).

El Perú tiene una red vial de 26 017,07 km, de los cuales 12 444,93 km de las carreteras se encuentran pavimentadas (48 %), 11 150,91 km se encuentran a nivel afirmado (subrasante) (43 %) y el restante de una longitud de 2421,23 km (9 %) se encuentra en proyección (MTC, 2015).

A nivel nacional existe gran déficit que se aprecia por la escasez de carreteras que puedan conectar regiones y que estas puedan llegar a los lugares recónditos de producción agrícola, causando dificultades al momento de moverse hacia los grandes mercados. Es aquí donde se presentan muchas diferencias de accesibilidad, provocando escasez de alimentos y afectando la calidad de vida de la población desde el factor social y el económico (Cáceres, 2015).

El suelo es uno de los parámetros más utilizados en estudios geotécnicos, especialmente para estructuras en contacto permanente con el agua. Esta propiedad es significativamente influenciada por la distribución de poros y las características superficiales de las partículas del suelo (Fathi-Moghaddam, Tavakol-Sadrabadi y Tajbakhsh, 2020).

El suelo se caracteriza por su densidad y textura y por encontrarse diferentes tamaños de partículas que pueden clasificarse mediante la granulometría (Cruz *et al.*, 2004).

Los suelos arcillosos o expansivos suelen tener una alta resistencia y se vuelven un problema, ya que tienen presencia de agua y suelen expandirse. En la actualidad, existen estabilizadores tradicionales como: cemento y cal, estabilizadores no tradicionales como: ceniza volante, los polímeros y la combinación de ambos (Armas, Arroyo y Pérez, 2022).

Muchos investigadores han empezado a utilizar materiales alternativos para lograr la estabilización de suelos como González Guerra (2014) que utilizó la mezcla de cal y ceniza volante, Moreno y Montoya (2005) emplearon mezclas de cal, Argadoña y Palomino (2019) con ceniza de cáscara de arroz y cal, llegando a mejorar sus propiedades.

Tradicionalmente, la cal se ha usado para estabilizar suelos cohesivos, pero sus bondades como material estabilizante se han desechado en suelos granulares, dejando de lado beneficios como: incremento en la resistencia mecánica, disminución de la deformabilidad y la permeabilidad (Moreno y Montoya, 2005).

La quinua, luego de su proceso de industrialización (retiro de los granos de quinua), es un material desechado y quemado que no tiene aplicación alguna en el ámbito agrícola. El proceso de obtención mediante el quemado controlado de una ceniza es simple y su empleo en investigaciones empíricas muestra que funciona como estabilizador de suelos cohesivos.

En la ciudad de Puno, debido al crecimiento de la población, se requieren más vías de comunicación, porque existe un alto déficit en las provincias, distritos y centros poblados cercanos. En los últimos años, los mantenimientos y mejoramientos de carreteras se desarrollan de manera incorrecta porque no se realiza un adecuado estudio de suelo. Por esta razón, muchas vías se encuentran con fisuras, piel de cocodrilo y asentamiento.

La vía del centro poblado de Jayujayu hasta Putini tiene suelos cohesivos o suelos blandos que en épocas de lluvias dificultan la capacidad de moverse y transitar. Por esta razón, se necesita estabilizar el suelo para que pueda soportar la carga de los vehículos. Cabe indicar que la ciudad de Puno produce la mayor cantidad de quinua en un 79,5 % a nivel nacional (IICA, 2015).

Esta investigación busca determinar cuán efectiva es la combinación de ceniza de quinua y cal en la estabilización de suelos de la carretera Lago Sagrado.

Metodología

La investigación presente se realizó a fin de obtener resultados que puedan utilizarse en la estabilización de suelo. Se empezó por el reconocimiento de lugar de la carretera para sacar las calicatas de las zonas críticas. Una vez identificadas las calicatas C-01, C-02, C-03 se excavó a una profundidad de 1,50 m, un 1 m de ancho y 1 m de largo. Posteriormente, se llevó las muestras adquiridas para realizar los diferentes ensayos en laboratorio (Figura 1). Se determinó la humedad natural que tuvieron las muestras obtenidas en el campo, luego se realizó el secado de la muestra para empezar con el ensayo de granulometría. Luego de la obtención de la muestra, se continuó con los ensayos de laboratorio establecidos en la norma (Figura 2).



Figura 1. Extracción de muestra de calicata C-03

La distribución de suelos finos y gruesos se determinó mediante un análisis granulométrico con mallas y se clasificaron de acuerdo con su tamaño en agregados gruesos, denominados como gravas, y en agregados finos, conocidos como arenas (Das y León, 2012).

La plasticidad se determinó utilizando un ensayo que analiza el suelo hasta poder deformarse hasta cierto límite, sin romperse (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 2018).

Se realizó la prueba de Proctor Modificado para determinar cuál es la máxima densidad seca (MDS) en las muestras obtenidas y, por último, el ensayo de California Bering Ratio (CBR) para determinar la capacidad de soporte que tiene la muestra del suelo de fundación y adicionando.

La ceniza de quinua se obtuvo del tallo de la quinua seco luego de su proceso de industrialización. Al ser un material altamente inflamable se realizó el quemado de manera natural utilizando fuego directamente. El material que se utilizó para esta investigación tiene un tamaño inferior a la malla N° 04.

En esta investigación la ceniza de quinua y cal se consideran como agentes que pueden utilizarse en la estabilización de suelos. Por tanto, se tomaron distintas proporciones con base en los antecedentes de Almonacid (2019) de 9 %, 7 % y 5 % de ceniza de quinua (CQ) y 5 % de cal (C) para su uso en el suelo de fundación para luego determinar sus propiedades físicas y químicas en el laboratorio.

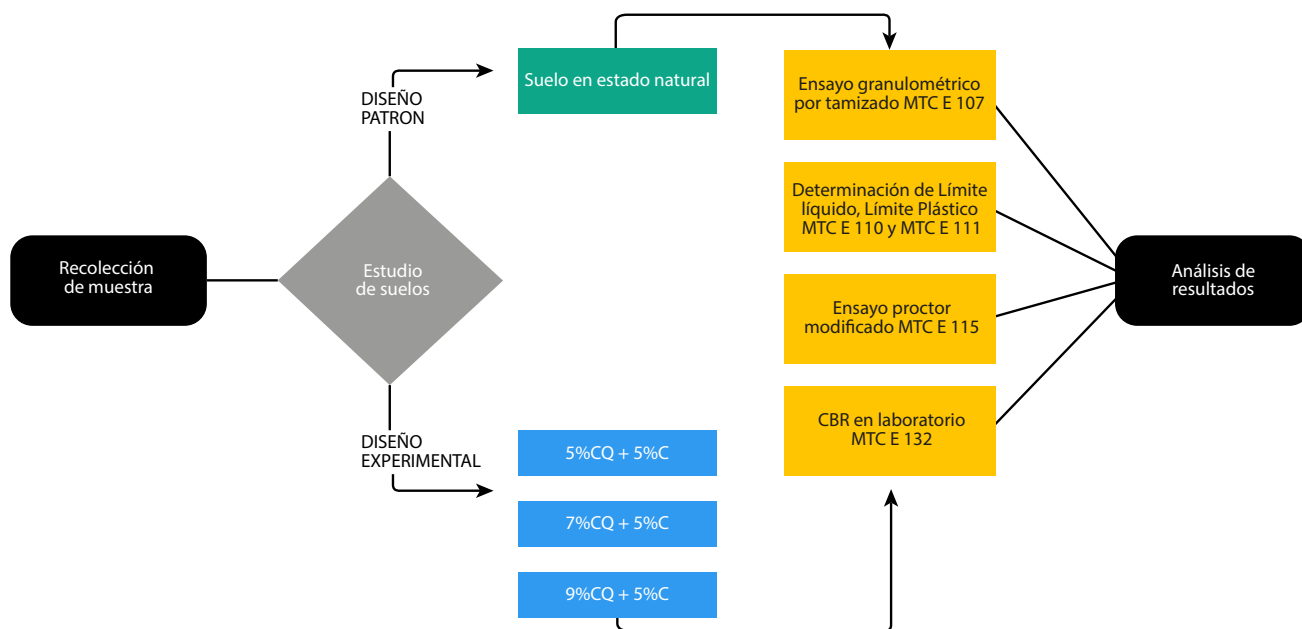


Figura 2. Diseño de investigación y ensayos de laboratorio

Análisis de resultados

Para la clasificación del material se utilizó el SUCS, de acuerdo con la NTP 339.134 (2014) y AASHTO según la NTP 339.135 (2014). En el Cuadro 1 se aprecian los resultados del suelo de fundación, para el cual se obtiene un resultado que, según SUCS, siendo tipo CL es un suelo arcilloso inorgánico de baja plasticidad y, según el sistema AASHTO, se encuentra en el grupo A-6-7. Al ir adicionando la ceniza de quinua y

la cal, se modifica la granulometría obteniendo, según SUCS, un suelo tipo SC que se denomina arena arcillosa y con el sistema de clasificación AASHTO, se encuentra en el grupo A-6-3 y A-4-3 (Cuadro 1 y Cuadro 2).

La curva granulométría de la Figura 3 refleja una diferencia marcada entre el suelo con adición y sin adición, la cal y la ceniza de quinua aumentan las partículas que se encuentran dentro del rango de la malla N° 04 a la malla N° 200.

Cuadro 1. Clasificación según SUCS y AASHTO de suelo de fundación y adicionando 5 %, 7 % y 9 % de ceniza de quinua y 5 % de cal

Muestra	Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)	Clasificación de suelos AASHTO
Suelo de fundación	CL	A-6-7
S + 5 % CQ + 5 % C	SC	A-6-3
S + 7 % CQ + 5 % C	SC	A-6-3
S + 9 % CQ + 5 % C	SC	A-4-3

Cuadro 2. Granulometría de los suelos según porcentajes analizados

Tamiz	Abertura	Fundación	5 % CQ + 5 % C	7 % CQ + 5 % C	9 % CQ + 5 % C
3/4"	19,050	100	100	100	100
1/2"	12,700	100,00	86,45	96,93	100,00
3/8"	9,525	99,51	84,32	95,09	100,00
N° 4	4,760	97,30	79,85	92,10	100,00
N° 10	2,000	92,01	69,52	86,73	87,11
N° 20	0,840	86,98	67,53	81,20	78,35
N° 40	0,426	79,12	61,83	69,16	65,46
N° 100	0,149	69,66	54,31	50,74	53,40
N° 200	0,074	63,88	49,18	46,44	49,70
PLATILLO		0,00	0,00	0,00	0,00
SUCS		CL	SC	SC	SC
AASHTO		A-6-7	A-6-3	A-6-3	A-4-3

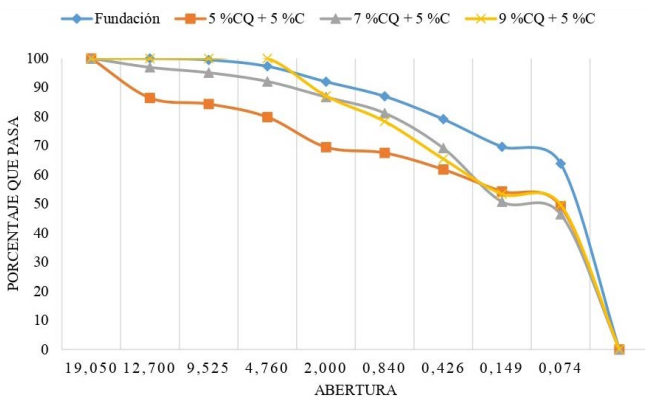


Figura 3. Curvas granulométricas de los suelos estudiados

Según el Cuadro 3 se observa que, a mayor porcentaje de adición, existe una reducción del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad. Esto es consistente con lo que manifiesta González Guerra (2014), ya que en su investigación obtuvo una reducción de su límite plástico y de su índice de plasticidad.

Según la NTP 339.129 y el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2014), un valor mínimo de IP = 0; no plástico (NP), y un valor máximo de IP > 20 de alta plasticidad corresponden a suelos muy arcillosos. Los resultados de la investigación están en ese rango.

Cuadro 3. Límites de consistencia de suelo de fundación y adición de ceniza de quinua y cal

LÍMITES DE CONSISTENCIA				
Identificación		L. L. (%)	L.P. (%)	I.P. (%)
MUESTRA	Suelo de fundación	40,00	26,11	13,89
	S + 5 % CQ + 5 % C	34,40	21,51	12,89
	S + 7 % CQ + 5 % C	29,90	19,40	10,40
	S + 9 % CQ + 5 % C	27,80	18,64	9,16

El Cuadro 4 y la Figura 4 muestran que la adición de S + 9 % CQ + 5 % C tiene una máxima densidad seca de 1,902 g/cm³ y un contenido óptimo de humedad de 9,00 %. Este cuadro refleja que la humedad óptima de todos los ensayos se encuentra dentro del rango de 9,00 % a 9,90 %. La adición de estos nuevos materiales reduce la humedad óptima del suelo con cada incremento, concordando con González Guerra (2018), que obtuvo valores similares de máxima densidad seca en el rango de 2,081 g/cm³ a 2,112 g/cm³ en una investigación similar.

En el Cuadro 5 se aprecia el resultado del suelo de fundación, donde en el ensayo de CBR al 100 % se obtuvo de 12,5 % a una penetración de 0,1" equivalente a 2,54 mm y de CBR al 95 % se determinó 8,2 % de una penetración de 0,1". Según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; la muestra del suelo arcilloso en su estado se considera buena para una subrasante.

Cuadro 4. Contenido de humedad óptimo (CHO), máxima densidad seca (MDS) con adición de distintas proporciones de ceniza de quinua y cal

	Identificación	CHO (%)	MDS (g/cm ³)
MUESTRA	Suelo de fundación	9,90	1,833
	S + 5 % CQ + 5 % C	9,25	1,856
	S + 7 % CQ + 5 % C	9,20	1,880
	S + 9 % CQ + 5 % C	9,00	1,902

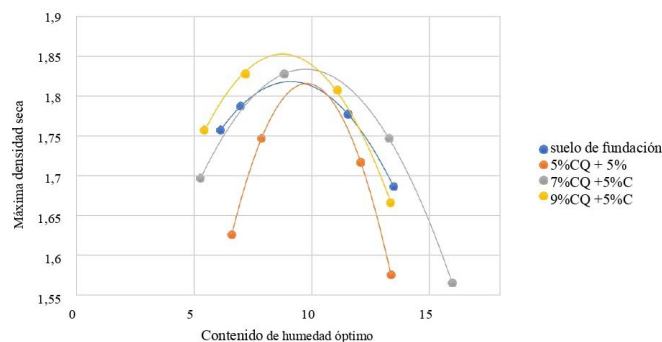


Figura 4. Proctor Modificado de suelo de fundación y adiciones de ceniza de quinua y cal

Según la afirmación de Argandoña y Palomino (2019) en su investigación, es notable el incremento de la capacidad de soporte en el ensayo de CBR al momento de añadir distintos porcentajes ceniza.

Cuadro 5. Ensayo CBR, de suelo de fundación y adicionando ceniza de quinua y cal

MUESTRA	CBR al 100 % MDS	CBR al 95 % MDS
Suelo de fundación	12,5	8,2
S + 5 % CQ + 5 % C	21,5	15,3
S + 7 % CQ + 5 % C	29,9	23,1
S + 9 % CQ + 5 % C	32,0	25,6

Conclusiones

El índice de plasticidad en la C-02 de suelo de fundación dio como resultado un IP de 13,89 % y adicionando 5 %, 7 % y 9 % de ceniza de quinua (CQ) y 5 % de cal (C) en cada dosificación se obtiene una reducción de la plasticidad; el IP a 12,89 %, 10,40 % y 9,6 %, respectivamente.

La densidad máxima seca adicionando al suelo de fundación + 5 %, 7 % y 9 % de ceniza de quinua + 5 % cal, se obtuvo valores de 1,856 g/cm³, 1,880 g/cm³ y 1,902 g/cm³, incrementando los valores de un suelo sin adición de 1,833 g/cm³, ya que las proporciones utilizadas de ceniza de quinua y cal ayudan en la estabilización del suelo arcilloso en la carretera Lago Sagrado.

La capacidad de soporte de CBR al 100 % llegó a 32,0 % y de CBR al 95 % se tiene 25,6 % con una adición al suelo natural de 9 % CQ + 5 % C; por lo que la adición de ceniza de quinua y cal mejora en la resistencia en la carretera llegando a aumentar los valores de un suelo natural. Este aumento mejora el desplazamiento de los vehículos y permite que pueda ser utilizado como base del pavimento flexible.

El suelo con adición de 9 % de ceniza de quinua y 5 % de cal mejora las propiedades del suelo en función al aumento de la máxima densidad seca y aumento del CBR.

Referencias

- Argadoña, D., y Palomino, J. (2019). *Evaluación de las propiedades fisicomecánicas del suelo obtenido de la Apv. Hari grande vía Rumi Wasi – San Sebastián utilizado a nivel de subrasante en la región cusco, estabilizado con ceniza de cascara de arroz y cal en porcentajes 7%-5%, 12%-5% y 15%-5%, respectivamente* (Tesis de grado). Universidad Andina del Cusco, Perú.
- Armas, Y. V. N., Arroyo, J. A. V., y Pérez, S. P. M. (2022). Uso de estabilizadores de suelo: Una revisión del impacto al corte y asentamiento. *Avances Investigación en Ingeniería*, 19(1), 1-15.
- Cáceres, S. H. (2015). Efecto del aceite residual de vehículos motorizados en los factores físicos mecánicos del suelo arcilloso. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 17(2), 207-214.
- Cruz, A. B., Barra, J. E., del Castillo, R. F., y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), 90-97.
- Das, B. M., y León, J. C. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. México D. F.: Cengage Learning.
- Fathi-Moghaddam, M., Tavakol-Sadrabadi, M., y Tajbakhsh, M. (2020). Effect of lime and rice husk ash on horizontal saturated hydraulic conductivity of sandy loam soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38, 2027-2037. <https://doi.org/10.1007/s10706-019-01146-y>
- González Guerra, A. J. F. (2014). *Estabilización mecánica de suelos cohesivos a través de la utilización de cal-ceniza volante* (Tesis doctoral). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- IICA. (2015). *El mercado y la producción de quinua en el Perú*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA, Perú.
- Juárez Badillo, E., y Rico Rodríguez, A. (2018). *Mecánica de suelos. Tomo II: Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos*. Limusa, México.
- Junco del Pino, J. M. J., y Piusseaut, E. T. (2013). Consideraciones acerca de la actividad de las arcillas en la estabilización de suelos con sales cuaternarias de amonio. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 7(3), 1-12.
- Moreno, M. A. R., y Montoya, C. A. H. (2005). Comportamiento de suelos residuales de diorita estabilizados con cal y su evolución en el tiempo. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 4(6), 111-122.
- MTC (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Aprobado por resolución directoral n° 10-2014- MTC/14*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones – MTC, Perú.
- MTC (2015). *Especificaciones técnicas generales para construcción. Aprobado por resolución directoral n° 22-2013- MTC/14*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones – MTC, Perú.

Los contenidos de este documento, representan insumos dentro de un proceso de gestión del conocimiento que, por sí mismos, a priori, no constituyen una declaración de una normativa, procedimiento, criterio o herramienta oficial de acatamiento obligatorio en la gestión de proyectos de obra vial pública de Costa Rica, por parte del LanammeUCR. Cualquier posición oficial para Costa Rica sobre aspectos puntuales contemplados en este documento, se realizarán por los medios que corresponden, según los lineamientos de la Universidad de Costa Rica, de la Ley 8114 y su Reglamento al Art 6 (Decreto 37016 – MOPT).