



ARTÍCULO ORIGINAL

ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE DEL SUELO POR LA CONTAMINACION CON CIANURO

ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF THE ALLOWABLE SOIL CAPACITY DUE TO CYANIDE CONTAMINATION

Mariano Roberto García Loayza^{1*}

Samuel Huaquisto-Cáceres^{2*}

¹Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú

RESUMEN

El proceso de lixiviación de cúmulos de materiales, remojados con cianuro para la extracción de oro, contaminan el suelo procesado, alterando los valores de los parámetros de resistencia del suelo, como son el ángulo de fricción interna, la cohesión y finalmente la capacidad admisible. El presente estudio tiene como objetivo determinar cómo afecta este contaminante, a estos parámetros. Primeramente se exploró el lugar de estudio, identificándose el perfil estratigráfico, seguidamente se extrajo muestras inalteradas para ensayarlas en el laboratorio, donde se clasificó el suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) en el único estrato encontrado, así mismo, se realizó ensayos de compresión triaxial, en muestras de suelo sin contaminar y con muestras remoldeadas contaminadas con diferentes porcentajes de Cianuro (25 %, 50 %, 75 %, 100 %). Los resultados obtenidos indican que el ángulo de fricción interna aumenta de 19,10 ° hasta 26,42 °, la cohesión disminuyó de 0,47 kg/cm² hasta 0,32 kg/cm² y la capacidad de carga admisible del suelo disminuyó de 1,06 kg/cm² hasta 0,75 kg/cm², concluyendo que a mayor contaminación del suelo con cianuro, el Angulo de fricción interna incrementa, disminuyendo la cohesión y la capacidad de carga admisible.

Palabras clave: Cianuro, cohesión, consolidado, fricción, triaxial.

ABSTRACT

The leaching process of clusters of materials soaked with cyanide for gold extraction contaminates the processed soil, altering the values of soil strength parameters, such as the angle of internal friction, cohesion, and ultimately, the bearing capacity. The present study aims to determine how this contaminant affects these parameters. Firstly, the study site was explored, identifying the stratigraphic profile. Then, undisturbed samples were extracted for laboratory testing, where the soil was classified according to the Unified Soil Classification System (USCS) within the single identified stratum. Likewise, triaxial compression tests were conducted on uncontaminated soil samples and on remolded samples contaminated with different percentages of cyanide (25 %, 50 %, 75 %, 100 %). The obtained results indicate that the angle of internal friction increases from 19.10 ° to 26.42 °, cohesion decreases from 0.47 kg/cm² to 0.32 kg/cm², and the allowable load-bearing capacity of the soil decreases from 1.06 kg/cm² to 0.75 kg/cm². It is concluded that with higher soil contamination by cyanide, the angle of internal friction increases, reducing cohesion and allowable load-bearing capacity.

Keywords: Cohesion, consolidated, cyanide, friction, triaxial.

*Auto para correspondencia: mgarcia@unap.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9022-1680>



INTRODUCCIÓN

En el Perú, la minería informal de mayor incidencia se encuentra focalizada en los departamentos de Puno, Ica, Arequipa, La Libertad y principalmente Madre de Dios (Bento 2013; Cárdenas 2013; Hilson 2009), siendo el oro el mineral de mayor atracción (Logsdon *et al.* 2001). En el año 2019 en la zona de Maravillas en la localidad de Juliaca, se venía realizando el proceso de lixiviación de cúmulos de materiales de relave (Johnson 2015), remojados con cianuro de sodio al aire libre, proceso que iniciaba con el traslado de material de relave en volquetes, de la zona de rinconada a la localidad de Maravillas en Juliaca (Delgadillo 2017); estos relaves eran vertidos, extendidos y nivelados en pozas previamente impermeabilizadas con cubiertas de material plástico, al cual se rociaba con agua cianurada (Romero *et al.* 2017), a través de mangueras con agujeros empleando el sistema de aspersión (Mulenga 2022), y finalmente el agua cianurada descendía por gravedad a la parte inferior transformándose en una solución líquida rica en mineral aurífero (Rodríguez 2020), para finalmente pasar a un proceso de adsorción y desorción a base de carbón activado (Li *et al.* 2010), el agua residual era nuevamente recirculada para repetir el proceso (Li & Hu 2022; Bepalov *et al.* 2016). El forro impermeable de plástico colocado en el pozo, durante la constante operación y manipuleo de herramientas manuales producían hoyos (González-Valoys *et al.*, 2021), por donde el agua cianurada se infiltraba a los estratos subyacentes, de manera constante mientras duraba el proceso, generándose el primer gran foco de contaminación (Bepalov *et al.* 2016). Así mismo el material de relave después de este proceso de cianuración, era extraído de los pozos de lixiviación y depositado en áreas cercanas, creándose otro foco de contaminación, ya que con el efecto de las

lluvias se generaba infiltración de los residuos líquidos de cianuro en el terreno natural (Hilson 2009).

Para el diseño de cimentaciones, está en función de los valores del ángulo de fricción interna y de la cohesión del suelo, dependiendo de estos, la definición del tipo de cimentación y por ende su costo (Hossne & Salazar 2004).

El cianuro por sus características químicas propias se encarga de eliminar la atracción intermolecular de las partículas de la arcilla (Ratnaweera & Meegoda 2005), rompiendo su cohesión (Li *et al.* 2021), y en el caso de suelos granulares pule la superficie de los granos, incluyendo sus poros y oquedades (Uwamungu *et al.* 2022), de tal manera que esto nos permite inferir que disminuye por un lado la cohesión y se aumenta la fricción entre partículas (Zheng *et al.* 2021), lo que afectará los valores de capacidad admisible y la propuesta de cimentaciones adecuadas (García *et al.* 2014), por lo que es necesario realizar pruebas de compresión triaxial (Parmar 2021; Sandoval-Vallejo *et al.* 2015), primero en una muestra patrón de suelo no cianurado y otros con diferentes porcentajes de agua cianurada (Hernández-Hernández *et al.* 2021), para de esta manera determinar los efectos que produce el agua cianurada en estos parámetros, empleándose el método cuantitativo (Soriano-Disla *et al.* 2018).

El objetivo del presente estudio es determinar cómo afecta el cianuro a los parámetros de resistencia de suelo que son el ángulo de fricción interna, cohesión y la capacidad admisible.

MÉTODOS

Ámbito de Estudio

El estudio se realizó en el centro poblado de Maravillas (15°24'48.63"S, 70° 8'11.46"O), el cual pertenece a la provincia de San Román, distrito de Juliaca en el departamento de Puno. Este centro poblado se encuentra rodeado de tres comunidades y el Río Coata, esto limitaría su expansión territorial. Siendo la única opción de crecimiento población de manera vertical, requiriendo edificaciones más altas.

Descripción de Métodos

a) Periodo de estudio o frecuencia de muestreo.

Este estudio se realizó durante el mes de julio del 2019 en época de sequía.

b) Descripción detallada de los materiales, insumos e instrumentos utilizados en la ejecución de la investigación.

Se estableció tres puntos de muestreo de acuerdo al Reglamento de Nacional de Edificaciones del Perú sección suelos y cimentaciones (RNE 1997). Seguidamente se extrajo muestras alteradas e inalteradas a una profundidad de tres metros, donde se midió los espesores de los estratos y se ubicó el nivel freático. Las muestras inalteradas se extrajeron por debajo del nivel de desplante de la cimentación proyectada para ensayos especiales en laboratorio. Todas las muestras fueron etiquetadas, embaladas y transportadas en un cooler hasta el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

En el laboratorio se realizó una caracterización de las muestras de suelo natural (grupo control), determinándose su clasificación del suelo mediante AASHTO y SUCS, densidad natural, gravedad específica para las muestral alteradas.

Posteriormente, en las muestras inalteradas se determinaron mediante el ensayo triaxial los siguientes factores:

- Angulo de fricción, el cual es uno de los parámetros para analizar la resistencia al esfuerzo cortante, el cual es un indicador de la fricción entre partículas del suelo, evidenciando el incremento de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, los valores varían de 0° para arcillas plásticas, cuya consistencia este próxima a su límite líquido, hasta 45° o más, para gravas y arenas secas compactas y de partículas angulares (Carbonell *et al.* 2018).
- Cohesión de suelo, es una propiedad física de la materia que se refleja en el arrastre intermolecular hacia entre moléculas de la misma. Siendo una característica muy importante de un suelo coherente o ligado y se produce bajo la influencia de fuerzas electroquímicas entre partículas (Nedim 2013). Asimismo, Carbonell *et al.* (2018) define la cohesión como la adherencia entre las partículas del suelo debido a la atracción entre ellas en virtud de las fuerzas moleculares y las películas de agua.
- La Capacidad Admisible, es una propiedad que tiene el suelo para soportar diferentes esfuerzos como consecuencia de la carga provocada por la superestructura, y su valor máximo es el que actúa antes de que ocurra la falla por esfuerzo cortante o se pierda estabilidad. Este valor varía según el tipo de suelo a tratar y el tamaño y distribución de las cargas que

actúan sobre la cimentación (García *et al.* 2014). Se ha calculado la capacidad admisible de carga para el área estudiada en base a las características del subsuelo. Para tal efecto se han utilizado el criterio de Terzaghi-Peck (1967), modificado por Vesic (1973), según el cual la capacidad última y admisible de carga se expresa por la ecuación 4, respectivamente:

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.4\gamma BN_\gamma$$

$$q_a = q_u / F.S. \dots\dots\dots(4)$$

Donde: q_u : Capacidad admisible última (kg/cm^2); q_a : Capacidad admisible (kg/cm^2); ϕ : Ángulo de fricción interna ($^\circ$); c : Cohesión (kg/cm^2); γ : Densidad; B : Ancho de la zapata (m); N_c , N_q , N_γ : Factores de capacidad de carga; $F.S.$: Factor de seguridad.

El experimento consistió en añadir concentraciones de cianuro con las siguientes proporciones 25 %, 50 %, 75 % y 100 %, para luego determinar los factores antes mencionados con el ensayo triaxial y así determinar la capacidad admisible de un suelo contaminado con cianuro.

c) Variables analizadas, indicar que variables intervinieron en el objetivo.

La variable independiente es el suelo con las diferentes concentraciones de cianuro (25 %; 50 %; 75 % y 100 %). Mientras que la variable dependiente son los factores del ensayo triaxial, Ángulo de fricción interna ($^\circ$), cohesión del suelo (kg/cm^2) y, además, la capacidad admisible (kg/cm^2).

d) Prueba estadística aplicada

En este estudio se aplicó la prueba de correlación de Pearson para encontrar las asociaciones entre las variables antes mencionadas donde el valor r comprenderá de -1 a $+1$ y el valor de significancia (p value) tendrá que ser menor a 0,05 para presentar una asociación significativa. Se caracterizará los rangos estipulados por Salas-Mercado *et al.* (2023), donde menciona que los rangos de asociación son de: 0,00 a 0,30 (baja); 0,31 a 0,70 (moderada); 0,71 a 1,00 (fuerte).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del suelo natural

El suelo natural encontrado en el lugar de estudio es un suelo fino, arcilla de baja plasticidad (CL), Los espesores de los estratos se dividen de la siguiente manera de 0,00 m a 1,50 m; conformado por un material fino de baja plasticidad, con contenido de grava en un 2,50 %, arena de 30,56 %, Limo y Arcilla de 66,93 %. Los ensayos realizados sobre las propiedades del suelo natural sin contaminar cuyo porcentaje de finos 66,93 % es mayor a 50 % e índice de plasticidad de 12,3 %, permitió clasificar a una arcilla de baja plasticidad. El contenido de humedad natural de 18,74 %, sirvió de referencia para que este sea remplazado en 25 %; 50 %; 75 % y 100 % por cianuro, resultando agua cianurada, para luego ser contaminado en el suelo seco sin contaminar. La densidad natural de 1,831 g/cm^3 , permitió remoldear las muestras alteradas con mayor aproximación a una inalterada (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización del suelo natural

Propiedades del grupo control	Valores
Contenido de humedad (%)	18,74 ± 0.252
Limite Liquido (%)	26,6
Limite Plástico (%)	14,3±1,114
Índice de plasticidad (%)	12,3
Densidad seca (g/cm3)	1,542
Densidad natural (g/cm3)	1,831

Variación del ángulo de fricción interna

En la Tabla 2 se muestra los resultados de la variación del Angulo de fricción del grupo control y el grupo experimental, donde el coeficiente de correlación de Pearson “r” es de 0,975, indicando una correlación positiva fuerte entre el ángulo de fricción y el porcentaje de cianuro, ya que el ángulo de fricción promedio al 0 % de cianuro es de 19,10°, al 25 % de cianuro aumenta a 20,82°, así sucesivamente hasta llegar a 26,42° con un 100 % de cianuro, además el intervalo de confianza al 95 % calculado con el error estándar está en el rango de 17,06° – 28,96°, por tanto, el total de las muestras se encuentran dentro de ese rango. Lo que concuerda con Fernández (2014) al experimentar con hidrocarburos determina que baja el ángulo de fricción interna, donde realiza la confirmación de dicha disminución. Ma *et al.* (2021), en su investigación de las propiedades mecánicas de arcillas limosas reforzadas con fibras de lino contaminadas con solución de iones de Zinc, observó la variación del ángulo de fricción interna y la cohesión, los cuales fueron analizados desde una perspectiva microscópica concluyendo que, con el aumento de la concentración de iones de zinc, el ángulo de

fricción interna aumenta y la cohesión disminuye. Li *et al.* (2021), en su estudio del análisis de las propiedades mecánicas de la arcilla roja contaminada con iones de Zinc, realizado mediante pruebas triaxiales concluye que el ángulo de fricción interna primero aumenta y luego disminuye con el aumento de la concentración de iones de zinc. La superficie del mineral de arcilla está cargada negativamente, y cuando la concentración de iones de zinc es de 0,1 %, la atracción entre el ion de zinc y el mineral de arcilla disminuye el espesor de la doble capa eléctrica, la distancia entre las partículas del suelo se vuelve más pequeño, por lo que aumenta el ángulo de fricción interna. Cuando la concentración de iones de zinc aumenta, el agua cristalina se diluirá cuando la solución se mezcle con arcilla roja, lo que destruye la estructura de la arcilla roja y reduce la fricción entre las partículas del suelo, por lo que el ángulo de fricción interna disminuye. Shan *et al.* (2023), concluyo que cuando la concentración de ácido clorhídrico aumenta del 1 al 7 %, el ángulo de fricción interna se mantiene constante con una concentración de 1 a 5 %, alternativamente cuando la concentración del hidróxido de sodio aumenta de 1 al 7 %, la concentración alcalina afecta al ángulo de fricción interna.

Tabla 2. Variación del ángulo de fricción interna con diferentes porcentajes de cianuro

Condición	Contenido de cianuro (%)	Ángulo de Fricción promedio (°)
Grupo Control	0	$19,10 \pm 0,206$
	25	$20,82 \pm 2,198$
Grupo Experimental	50	$24,18 \pm 0,320$
	75	$24,54 \pm 0,320$
	100	$26,42 \pm 0,298$

Ma *et al.* (2021), indica que la ruta de esfuerzo del suelo con diferente concentración de álcali es diferente, con una concentración de álcali del 4 al 16 %, el ángulo de fricción interna aumenta gradualmente. Cuando la concentración de NaOH alcanza el 4 %; 8 %; 12 % y 16 %, el ángulo de fricción interna aumenta en un 15,32 %; 46,37 %; 55,97 % y 75,95 % respectivamente.

Rasheed *et al.* (2014) determinaron que para una illita (arcilla) el ángulo de fricción disminuye con adición de diesel; con una concentración de álcali del 4 al 16 %, el ángulo de fricción interna aumenta gradualmente, cuando la concentración de NaOH alcanza el 4 %, 8 %, 12 % y 16 %, los ángulos de fricción interna aumentan en un 15,32 %; 46,37 %; 55,97 % y 75,95 % respectivamente Ma *et al.* (2021). Por otro lado, al comparar parámetros de resistencia de valores internacionales recomendados para diseño, con resultados experimentales obtenidos para un relleno en Colombia, no encontró una dependencia significativa entre la resistencia al corte de los residuos sólidos y su peso específico (Sandoval-Vallejo *et al.* 2015) y los efluentes reducen drásticamente las propiedades

mecánicas del suelo, y el ángulo de fricción resultan más bajo (Irfan *et al.* 2018).

Las investigaciones llegan a conclusiones que difieren de la presente investigación, esto se debe a que ninguno realiza la contaminación del suelo con Cianuro. Por tanto, la presente investigación es de mucha importancia, en vista de que según González-Valoys *et al.* (2021), el cianuro en el suelo no se elimina hasta después de 20 años de contaminado.

Variación de la cohesión del suelo

En la Tabla 3 se muestra los resultados de la variación de la cohesión del suelo del grupo control y el grupo experimental, donde se observa el coeficiente de correlación de Pearson “r” es de -0,988, indicando una correlación negativa fuerte entre la cohesión y el porcentaje de cianuro, ya que la cohesión promedio al 0 % de cianuro es de 0,47 kg/cm², al 25 % de cianuro disminuye a 0,45 kg/cm², así sucesivamente hasta llegar a 0,32 kg/cm² con un 100 % de cianuro, además el intervalo de confianza al 95 % calculado con el error estándar está en el rango de 0,266 kg/cm² – 0,523 kg/cm², por tanto, el total de las muestras se encuentran dentro de ese intervalo.

Tabla 3. Variación de la cohesión con diferentes porcentajes de cianuro

Condición	Contenido de cianuro (%)	Cohesión promedio (kg/cm ²)
Grupo Control	0	0,47 ± 0,010
	25	0,45 ± 0,010
Grupo Experimental	50	0,39 ± 0,012
	75	0,35 ± 0,006
	100	0,32 ± 0,010

Ma *et al.* (2021), en su investigación de las propiedades mecánicas de arcillas limosas reforzadas con fibras de lino contaminadas con solución de iones de Zinc, observó variación de la cohesión, los cuales fueron analizados desde una perspectiva microscópica concluyendo que, con el aumento de la concentración de iones de zinc, la cohesión y el módulo de compresión disminuyen.

Li *et al.* (2021), en su estudio del análisis de las propiedades mecánicas de la arcilla roja contaminada con iones de Zinc, realizado mediante pruebas triaxiales, indica que cuando la concentración de iones de zinc aumenta, el agua cristalina se diluirá cuando la solución se mezcle con arcilla roja, lo que destruye la estructura de la arcilla roja y reduce la cohesión entre las partículas del suelo. Ma *et al.* (2021), indica que con una concentración del 0 %, el índice de resistencia del suelo es de 82,14 kPa, 21,67°, y la concentración de álcali es del 4 al 16 %, la cohesión se reduce ligeramente. Para el suelo del sitio, la cohesión del suelo es de 82,14 kPa y el ángulo de fricción interna es de 21,67°. Cuando la concentración de NaOH alcanza el 4 %; 8 %; 12 % y 16 %, la cohesión aumenta en un 85,51 %; 49,65 %; 41,13 % y 24,76 % respectivamente en comparación con las del suelo original.

Li & Hu (2022), en un estudio a las capas de aislamiento del suelo de los relaves utilizados en las minas, con diferentes valores de

densidad aparente seca, contenido de agua, contenido de bentonita y concentración de iones Plomo, fueron sometidas a ensayos de corte directo, bajo esfuerzos normales de 12,5, 25, 50 y 100 kPa. Encontró que cuando la densidad aparente en seco se incrementa de 1,1 g/cm³ a 1,3 g/cm³, la resistencia al corte aumentó en 49,3 % ~ 117,2 %, y cuando el contenido de agua se redujo de 24 % a 16 %, la resistencia al corte aumenta de una a tres veces.

Mulenga (2022), reporta en cuanto al suelo contaminado por cianuro, este debe ser descontaminado para su posterior utilización, para ello aplicó la lixiviación asistida por alcalisis, para suelos con distintos pH y tiempos, concluyendo que para suelos con pH > 13 se eliminó entre el 97 % y 100 % el contenido de cianuro, y con pH más bajo la eliminación del cianuro es incompleta, independientemente del tiempo de lixiviación con alcalisis. Shan *et al.* (2023), concluye que cuando la concentración de ácido clorhídrico aumenta del 1 al 7 %, la concentración de solución ácida se correlacionó negativamente con la cohesión del suelo, pero el ángulo de fricción interna se mantuvo constante con una concentración de 1 a 5 %, alternativamente cuando la concentración del hidróxido de sodio aumenta de 1 al 7 %, la concentración alcalina afecta al ángulo de fricción interna y la cohesión en una correlación positiva.

Investigaciones realizadas por Rasheed *et al.* (2014) concluyen que el incremento del contenido de diésel reduce la cohesión para una illita (arcilla); con una concentración de álcali del 4 al 16 %, la cohesión se reduce ligeramente. Para el suelo del sitio, la cohesión del suelo es de 82,14 KPa. Cuando la concentración de NaOH alcanza el 4 %, 8 %, 12 % y 16 %, la cohesión aumenta en un 85,51 %, 49,65 %, 41,13 % y 24,76 % respectivamente en comparación con el suelo original. (Ma *et al.* 2021), en la contaminación de los efluentes estos reducen drásticamente las propiedades mecánicas del suelo, específicamente la cohesión, además el límite líquido como el índice de plasticidad de los suelos mostraron una tendencia creciente con la contaminación; los suelos contaminados tenían una densidad seca máxima más baja y tenían cohesión más bajos (Irfan *et al.* 2018).

Tabla 4. Variación de la capacidad admisible con diferentes porcentajes de cianuro.

Condición	Contenido de cianuro (%)	qa promedio (kg/cm ²)
Grupo Control	0	1,06
	25	1,02
Grupo Experimental	50	0,88
	75	0,80
	100	0,75

Ma *et al.* (2019), concluye que el estudio de la variación de la capacidad portante de suelos contaminados con hidrocarburos, mediante ensayos de laboratorio, depende de la efectividad de la compactación previa de las muestras. Como se ve en la Figura 9 la relación de los esfuerzos principales disminuye en el suelo contaminado respecto al no contaminado. Fernández (2014) realiza ensayos con hidrocarburos que se enfoca en los factores de N_q , expresado como N_{qd} para el caso contaminado con 7 %, en donde a función que se contamina disminuye la capacidad portante. Mientras que Ma *et al.* (2021), menciona que no existe una

Variación de la carga admisible del suelo

En la Tabla 4 se muestra la variación de la capacidad admisible del suelo del grupo control y el grupo experimental, El coeficiente de correlación de Pearson “r” es de -0,986, indicando una correlación negativa fuerte entre la capacidad de carga admisible y el porcentaje de cianuro, ya que la capacidad admisible promedio al 0 % de cianuro es de 1,06 kg/cm², al 25 % de cianuro disminuye a 1,02 kg/cm², al 50 % de cianuro disminuye a 0,88 kg/cm²; así sucesivamente hasta llegar a 0,75 kg/cm² con un 100 % de cianuro, además el intervalo de confianza al 95 % calculado con el error estándar está en el rango de 0,635 kg/cm²–1,172 kg/cm², por tanto, el total de las muestras se encuentran dentro de ese rango.

dependencia significativa entre la resistencia al corte de los residuos sólidos y su peso específico Sandoval-Vallejo *et al.* (2015); reporta que la resistencia a la compresión no confinada de los suelos contaminados por efluentes disminuyó hasta un 60 % con la adición de un 20 % de efluentes industriales mientras Irfan *et al.* (2018); indica que la capacidad de carga admisible se reduce en 29,25 %. Fernández (2014) concluye que la disminución de la capacidad portante de suelos contaminados con hidrocarburos, mediante ensayos de laboratorio, depende de la efectividad de la compactación previa de las muestras.

CONCLUSIONES

Existe una correlación positiva muy fuerte entre el ángulo de fricción interna y el porcentaje de agua cianurada añadida al contenido de humedad natural del suelo, ya que el ángulo de fricción promedio al 0 % de cianuro es de 19,10°, al 25 % de cianuro aumenta a 20,82°, así sucesivamente hasta llegar a 26,42° con un 100 % de cianuro, por tanto, a mayor contaminación con cianuro, se incrementa la fricción del suelo. Existe una correlación negativa muy fuerte entre la cohesión y el porcentaje de agua cianurada añadida al contenido de humedad natural del suelo, ya que la cohesión promedio al 0 % de cianuro es de 0,47 kg/cm², al 25 % de cianuro disminuye a 0,45 kg/cm², así sucesivamente hasta llegar a 0,32 kg/cm² con un 100 % de cianuro, por tanto, a mayor contaminación con cianuro, disminuye la cohesión del suelo. Existe una correlación negativa fuerte entre el porcentaje de agua cianurada añadida al contenido de humedad natural del suelo y la capacidad admisible del suelo, es decir a 0 % de cianuro es 1,06 kg/cm², al 25 % de cianuro es 1,02 kg/cm², y así sucesivamente hasta llegar al 100 % de cianuro con capacidad admisible de 0,75 kg/cm² a mayor contenido de cianuro en el suelo, la capacidad de carga admisible disminuye significativamente.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento al Doctorado en Ciencia Tecnología y Medio de la Universidad Nacional del Altiplano, por contribuir en mi formación profesional.

REFERENCIAS

Bento, A. M. 2013. Local/Regional Air Pollution from Stationary Sources. *Encyclopedia of Energy, Natural Resource, and Environmental Economics*, 3–3, 103–108. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12->

375067-9.00093-0

- Bespalov, V. I., Gurova, O. S., & Samarskaya, N. S. 2016. Main Principles of the Atmospheric Air Ecological Monitoring Organization for Urban Environment Mobile Pollution Sources. *Procedia Engineering*, 150, 2019–2024. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.07.286>
- Carbonell, B. G., Robinson, E., Quintana, B. N., Karolina, I., Velarde, M. C., & Carlos, R. 2018. Influencia de la adición de fibras de pet reciclado sobre la resistencia, cohesión y ángulo de fricción interna de suelos arcillosos aplicado a la estabilidad de taludes. In *Universidad Nacional de Trujillo*,. Universidad Nacional de Trujillo. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11114>
- Cárdenas, J. 2013. *Revista Mexicana de Derecho Constitucional* Núm. 28, enero-junio 2013 * *The mining industry in Mexico: the dispossession of the nation*. www.juridicas.unam.mxhttp://biblio.juridicas.unam.mx
- Delgadillo, R. M. 2017. *Evaluación de la influencia de los factores ambientales en las propiedades dinámicas de sistemas estructurales de tierra*. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/8672/delgadillo_rick_propiedades_dinamicas_sistemas_estructurales_tierra.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- García, J., Cobelo, W. D., Quevedo, G. J., & Castro, L. 2014. *Capacidad de carga en suelos parcialmente saturados*. https://www.researchgate.net/publication/303679930_capacidad_de_carga_en_suelos_parcialmente_saturados
- González-Valoys, A. C., Esbrí, J. M., Campos, J. A., Arrocha, J., García-Noguero, E. M., Monteza-Destro, T., Martínez, E., Jiménez-Ballesta, R., Gutiérrez, E., Vargas-Lombardo, M., Garcia-Ordiales,

- E., García-Giménez, R., García-Navarro, F. J., & Higuera, P. (2021). Ecological and health risk assessments of an abandoned gold mine (Remance, Panama): Complex scenarios need a combination of indices. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17). <https://doi.org/10.3390/ijerph18179369>
- Hernández-Hernández, V. A., Joya-Cárdenas, D. R., Equihua-Anguiano, L. N., Leal-Vaca, J. C., Peña, J. A. D.-D. La, Pérez-Moreno, L., Saldaña-Robles, N., & Saldaña-Robles, A. (2021). Experimental and numerical analysis of triaxial compression test for a clay soil. *Chilean journal of Agricultural research*, 81(3). <https://doi.org/10.4067/S0718-58392021000300357>
- Hilson, G. 2009. Small-scale mining, poverty and economic development in sub-Saharan Africa: An overview. *Resources Policy*, 34(1–2), 1–5. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2008.12.001>
- Hossne, A., & Salazar, J. 2004. Límites de Consistencia y sus Implicaciones Agrícolas en un suelo Ultisol de Sabana del Estado Monagas, Venezuela. 28. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43628107>
- Irfan, M., Chen, Y., Ali, M., Abrar, M., Qadri, A., & Bhutta, O. 2018. Geotechnical Properties of Effluent-Contaminated Cohesive Soils and Their Stabilization Using Industrial By-Products. *Processes* 2018, Vol. 6, Page 203, 6(10), 203. <https://doi.org/10.3390/PR6100203>
- Johnson, C. A. 2015. The fate of cyanide in leach wastes at gold mines: An environmental perspective. *Applied Geochemistry*, 57, 194–205. <https://doi.org/10.1016/J.APGEOCHEM.2014.05.023>
- Li, J., Tang, S., & Chen, X. 2021. Analysis of the Mechanical Properties and Mechanism of Zinc Ion-Contaminated Red Clay. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6649691>
- Li, Q., Jiang, T., Yang, Y. Bin, Li, G. H., Guo, Y. F., & Qiu, G. Z. 2010. Co-intensification of cyanide leaching gold by mercury ions and oxidant. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20(8), 1521–1526. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(09\)60332-0](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(09)60332-0)
- Li, Y., & Hu, Z. 2022. Direct Shear Strength Characteristics in Unsaturated Compacted Soil Surface Coverage on Pb(II)-Polluted Tailings Reservoir under Low Normal Stress. *Sustainability (Switzerland)*, 14(15). <https://doi.org/10.3390/su14159035>
- Logsdon, M. J., Hagelstein, K., Mudder, T., on Metals, I. C., & the Environment. 2001. *El manejo del cianuro en la extracción de oro*. International Council on Metals and the Environment.
- Ma, Q., Chen Xiang, J., Cong Yang, Y., Lin Xiao, H., & Wan, J. 2019. Study on the mechanical properties of flax fiber-reinforced silty clay contaminated by zinc-ion solution. <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1652697>, 42(7), 1071–1083. <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1652697>
- Ma, Q., Chen Xiang, J., Cong Yang, Y., Lin Xiao, H., & Wan, J. 2021. Study on the mechanical properties of flax fiber-reinforced silty clay contaminated by zinc-ion solution. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 42(7), 1071–1083. <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1652697>
- Mulenga, C. 2022. Soil governance and the control of mining pollution in Zambia. *Soil Security*, 6, 100039. <https://doi.org/10.1016/J.SOISEC.2022.1>

00039

- Nedim, S. 2013. Importance of soil cohesion on the stability of retaining wall. *17th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2013, Istanbul, Turkey, 10-11 September 2013*. https://www.researchgate.net/publication/331453309_Importance_of_soil_cohesion_on_the_stability_of_retaining_wall
- Parmar, S. 2021. Triaxial Test on Soil - Important Insights for Stress-Controlled and Strain-Controlled Test. *Dharmsinh Desai University*, 4, 1–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.6003832>
- Rasheed, Z. N., Ahmed, F. R., & Jassim, H. M. (2014). Effect Of Crude Oil Products On The Geotechnical Properties Of Soil. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 186, 353–362. <https://doi.org/10.2495/ESUS140301>
- Ratnaweera, P., & Meegoda, J. N. 2005. Shear Strength and Stress-Strain behavior of Contaminated Soils. *Geotechnical Testing Journal*, 29(2), 133–140. <https://doi.org/10.1520/GTJ12686>
- RNE. (1997). E 050 - Suelos y Cimentaciones. In *Resolución Ministerial N° 048-97-MTC/15.VC del 27 de enero de 1997*. <http://www.jorgealvahurtado.com/files/N.T.E.E.050-Suelos-y-Cimentaciones.pdf>
- Rodriguez, A. 2020. Conoce tus datos: evaluación de la normalidad de variables continuas y estrategias para tratar con distribuciones no normales. *Medicina Clínica*, 154(4), 142–145. <https://doi.org/10.1016/J.MEDCLI.2019.05.017>
- Romero, V., Norris, F. J., Ríos, J. A., Cortés, I., González, A., Gaete, L., & Tchernitchin, A. N. 2017. Consecuencias de la fluoración del agua potable en la salud humana. *Revista Médica de Chile*, 145(2), 240–249. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872017000200012>
- Salas-Mercado, D., Belizario-Quispe, G., & Horna-Muñoz, D. 2023. Heavy Metal Pollution Assessment in Lake Rinconada in the Southern Andes, Peru. *Pollution*, 9(2), 477–493. <https://doi.org/http://doi.org/10.22059/POLL.2022.346689.1558>
- Sandoval-Vallejo, E. A., Ramirez-Tascón, A., & Cuarán, D. 2015. Shear strength of landfills. *DYNA (Colombia)*, 82(193), 83–92. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n193.46046>
- Shan, Y., Cai, G., Zhang, C., Wang, X., Shi, Y., & Li, J. 2023. Effects of Acidic/Alkaline Contamination on the Physical and Mechanical Properties of Silty Clay. *Sustainability (Switzerland)*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/su15021317>
- Soriano-Disla, J. M., Janik, L. J., & McLaughlin, M. J. 2018. Assessment of cyanide contamination in soils with a handheld mid-infrared spectrometer. *Talanta*, 178, 400–409. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.08.106>
- Uwamungu, J. Y., Wang, Y., Shi, G., Pan, S., Wang, Z., Wang, L., & Yang, S. 2022. Microplastic contamination in soil agroecosystems: A review. In *Environmental Advances* (Vol. 9). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100273>
- Zheng, K., Cheng, J., Xia, J., Liu, G., & Xu, L. 2021. Effects of soil bulk density and moisture content on the physico-mechanical properties of paddy soil in plough layer. *Water (Switzerland)*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/w13162290>

Nº	TIPOLOGÍAS	AUTOR	APORTE EN %
1	Conceptualización - Ideas, formulación o evolución de los objetivos y metas generales de la investigación.	M.R. García L.	80
		S. Huaquisto C.	20
2	Curación de datos - Actividades de gestión para anotar (producir metadatos), depurar datos y mantener los datos de la investigación (incluido el código de software, cuando sea necesario para interpretar los propios datos) para su uso inicial y su posterior reutilización.	M.R. García L.	0
		S. Huaquisto C.	0
3	Análisis formal - Aplicación de técnicas estadísticas, matemáticas, computacionales u otras técnicas formales para analizar o sintetizar datos de estudio.	M.R. García L.	100
		S. Huaquisto C.	0
4	Adquisición de fondos - Adquisición del apoyo financiero para el proyecto que conduce a esta publicación.	M.R. García L.	100
		S. Huaquisto C.	0
5	Investigación - Realización de una investigación y proceso de investigación, realizando específicamente los experimentos, o la recolección de datos / evidencia.	M.R. García L.	80
		S. Huaquisto C.	20
6	Metodología - Desarrollo o diseño de la metodología y creación de modelos.	M.R. García L.	70
		S. Huaquisto C.	30
7	Administración del proyecto - Responsabilidad de gestión y coordinación de la planificación y realización de la actividad de investigación.	M.R. García L.	100
		S. Huaquisto C.	0
8	Recursos - Suministro de materiales de estudio, reactivos, materiales, pacientes, muestras de laboratorio, animales, instrumentación, recursos informáticos u otras herramientas de análisis.	M.R. García L.	100
		S. Huaquisto C.	0
9	Software - Programación, desarrollo de software, diseño de programas informáticos, implementación del código informático y de los algoritmos de apoyo, pruebas de los componentes de código existentes.	M.R. García L.	0
		S. Huaquisto C.	0
10	Supervisión - Responsabilidad de supervisión y liderazgo en la planificación y realización de actividades de investigación, lo que incluye la tutoría externa al equipo central.	M.R. García L.	70
		S. Huaquisto C.	30
11	Validación - Verificación, ya sea como parte de la actividad o por separado, de la replicabilidad / reproducción general de los resultados / experimentos u otros productos de la investigación.	M.R. García L.	60
		S. Huaquisto C.	40
12	Visualización - Preparación, creación o presentación del trabajo publicado, específicamente la visualización / presentación de datos.	M.R. García L.	80
		S. Huaquisto C.	20
13	Redacción - borrador original - Preparación, creación o presentación del trabajo publicado, específicamente la redacción del borrador inicial (se incluye la traducción sustantiva).	M.R. García L.	70
		S. Huaquisto C.	30
14	Redacción - revisión y edición - Preparación, creación o presentación del trabajo publicado por los miembros del grupo de investigación original, específicamente revisión crítica, comentario o revisión - se deben incluir las etapas previas o posteriores a la publicación.	M.R. García L.	70
		S. Huaquisto C.	30