

Características geomecánicas del suelo de relleno controlado para cimentaciones, Pucallpa, Perú

Geomechanical characteristics of controlled backfill soil for foundations, Pucallpa, Peru

De la Cruz Vega, Sleyther Arturo; Noel Cornelio, Esther Noemi



JOURNAL OF THE
Selva Andina
Biosphere.
Official Journal of the Selva Andina Research Society.

 De la Cruz Vega, Sleyther Arturo *
sleyther@ucvvirtual.edu.pe
Universidad Nacional de Barranca, Perú

 Noel Cornelio, Esther Noemi
enoelc141@unab.edu.pe
Universidad Nacional de Barranca, Perú

Journal of the Selva Andina Biosphere

Selva Andina Research Society, Bolivia
ISSN: 2308-3867
Periodicidad: Bianaual
vol. 10, núm. 1, 2022
directoreditorbiosphere@gmail.com

Recepción: 01 Noviembre 2021
Corregido: 01 Enero 2022
Aprobación: 01 Febrero 2022
Publicación: 01 Mayo 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/71/713303004/>

DOI: <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2022.100100032>

Selva Andina Research Society



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Resumen: El crecimiento poblacional en la ciudad de Pucallpa, cada día obliga más a que se ejecute proyectos sobre suelos complicados, que antiguamente fueron rechazados por sus malas características, por ello, las cimentaciones sobre rellenos no controlados presentan problemas muy graves por la heterogeneidad de estos materiales, produciendo daños y reduciendo el tiempo de vida de dichas edificaciones. El objetivo de esta investigación experimental fue diagnosticar mediante ensayos de laboratorio las características mecánicas del suelo de relleno controlado para cimentaciones. Los métodos empleados fueron el análisis documental, los estudios de laboratorio y el procesamiento estadístico por medio del programa Microsoft Excel; los procedimientos realizados para cada ensayo de suelo fueron guiados e indicados por el manual de ensayos de materiales. Los resultados realizados al suelo de relleno controlado fueron: i) la granulometría arrojó una clasificación SUCS "SC (arena arcillosa)", clasificación AAHSTO "A-7-6 (suelos arcillosos)" ii) la compactación arrojó un CBR al 100 % de la MDS del 14.00 % a 0.1" iii) la resistencia al corte arrojó un ángulo de fricción a 25.01° y una cohesión de 0.00 kg cm⁻². Lo anterior indica que las características geomecánicas del suelo de relleno controlado, la sub rasante del terreno según el MTC es un material bueno para las cimentaciones de la ciudad de Pucallpa, dado que es un material con mejores propiedades físicas mecánicas.

Palabras clave: Relleno no controlado, relleno controlado, cimentaciones de Pucallpa, suelos tropicales, asentamientos de edificaciones, construcciones en rellenos controlados.

Abstract: The population growth in the city of Pucallpa, forces more and more projects to be executed on complicated soils, which in the past were rejected because of their bad characteristics, therefore, foundations on uncontrolled fills present very serious problems due to the heterogeneity of these materials, producing damages and reducing the life time of these buildings. The objective of this experimental investigation was to diagnose, by means of laboratory tests, the mechanical characteristics of controlled fill soils for foundations. The methods used were documentary analysis, laboratory studies and statistical processing using the Microsoft Excel program; the procedures performed for each soil test were guided and indicated by the manual of materials testing. The results for

the controlled fill soil were: i) granulometry yielded a SUCS classification "SC (clayey sand)", AAHSTO classification "A-7-6 (clayey soils)" ii) compaction yielded a CBR at 100 % of the MDS of 14.00 % at 0.1" iii) shear strength yielded a friction angle at 25.01° and a cohesion of 0.00 kg cm^{-2} . The above indicates that the geomechanical characteristics of the controlled fill soil, the subgrade of the terrain according to the MTC is a good material for foundations in the city of Pucallpa, since it is a material with better physical and mechanical properties.

Keywords: Uncontrolled landfill, controlled landfill, Pucallpa foundations, tropical soils, building settlements, controlled landfill constructions.

INTRODUCCIÓN

En los suelos peruanos, Tarapoto está posicionado en el espacio sísmico más activo del planeta tierra, dentro del Cinturón Circumpacífico, con 4 zonas sísmicas¹. La zona I, capacidad portante del terreno 0.78 kg cm^{-2} , localizada en el sector de extensión urbana de la jurisdicción de Morales, en el distrito de Tarapoto abarca el área de la Hoyada, Partido alto, Comercio y en el distrito de La Banda de Shilcayo. Zona II, capacidad portante del terreno 1.86 kg cm^{-2} , localizada en el sector de extensión urbana de la jurisdicción de Morales, en forma paralela al río Cumbaza en su margen derecha, en el distrito de Tarapoto abarca el área de Sachapuquio, Pueblo Joven 9 de Abril, punta del este, Barrio Huayco y en el distrito de La Banda de Shilcayo. Zona III, la capacidad portante del terreno 1.77 kg cm^{-2} , localizada en la jurisdicción de Tarapoto parte de Atumpampa, zona Aeropuerto, AA. HH el Porvenir, Barrio Suchiche, 10 de agosto, 2 de mayo, en la jurisdicción de La Banda de Shilcayo. Por último, zona IV, la capacidad portante del terreno 0.82 kg cm^{-2} . En la ciudad de Tarapoto, el poblado Villa Universitaria, AA. HH los Andes y Porvenir^{1,2}. INDECI, recomiendan cimentaciones con, zapatas rectangulares exteriores excavadas a 1.60 m de fondo mínimo, empalmadas con plateas y/o vigas de cimentación, en suelos con características arcillosas².

Uno de los aspectos importantes para la caracterización geotécnica de suelos tropicales, es establecer sus propiedades, al considerar la variación con respecto a la profundidad³. Los perfiles del suelo tienen cinco factores que determinan su formación, difiriendo de un lugar a otro⁴. En Distritos de Yarinacocha, Campo Verde y Callería, jurisdicción de Ucayali, Perú, un área cercana a 25000 ha, se tienen reconocidos 7 diversas clases de suelos: Restinga, Cashibococha, Barrizal, Colina, Yarinacocha, Aguajal y Campo Verde. De manera morfológica los 3 principales tienen perfiles típicos A/C, Aguajal, Colina y Yarinacocha perfiles típicos A/Bw/C, finalmente Campo Verde, es típico A/Bt/C, la densidad volumétrica cambia de 1.20 a $1.71 \text{ g cm}^{-2/5}$.

Los suelos de la ciudad de Pucallpa pertenecen a la jurisdicción de la selva del Perú, por lo que están clasificados como suelos arcillosos. Por ello, se evaluó el material de relleno controlado para emplearlo en las cimentaciones del proyecto. Los rellenos son depósitos artificiales que se diferencian por su naturaleza, como los suelos compactables, sin elementos extraños, y por las condiciones bajo las que son colocados⁶.

En línea con lo anterior, algunos autores han desarrollado trabajos de investigación acerca de las cimentaciones sobre suelos de rellenos, Moreira Montigue⁷, menciona en su análisis comparativo de

NOTAS DE AUTOR

* Dirección de contacto: Sleyther Arturo De la Cruz Vega Universidad Nacional de Barranca. Departamento de Ingeniería. Av. Toribio de Luzuriaga N°376, Mz J, Urbanización La Florida, Barranca. Barranca, Perú. 931 279 378.

cimentaciones profundas con pilotes de concreto reforzado en suelos blandos vs arenosos, para aminorar subsidencia en un edificio de 10 pisos mediante ensayos de laboratorio, permitió conocer las características geomecánicas de suelos de fundación de cada sitio. El pilote diseñado para la cimentación de estructura en Cantón Manta, resultó de 10.0 m de longitud y 0.45 m de diámetro con capacidad 60 t.

Maldonado Gutiérrez & Vargas García⁸, indican en su manual para el seguimiento, control de una “cimentación profunda y construcción de pilotes de sustracción tipo Kelly” a través de la implicación del tema de estudio que funciona de apoyo para su empleo administrativos y técnico. El compendio de consulta producida es apropiado mencionar, los diversos procesos de procedimientos de elaboración de cimentación profunda, las limitaciones de proyectos como estructuras, limitaciones que señalan el estudio de suelo y los peligros que originan el proyecto.

Rosas González & Sanginés García⁹ señalan de su diseño geotécnico de cimentaciones equilibradas de una edificación habitacional en zona II del estado de México. Además, una vez comprobadas las características del tipo del suelo, en el que estará la edificación, lo más pertinente es optar por el empleo de un cajón rígido de concreto reforzado desplantado, a una profundidad de 5.86 m. Esta solución cumpliría con los estados límites de falla, con capacidad de carga resistente de $q_R = 69086 \text{ kPa}$ y una carga $Q_{ult} = 126 \text{ kPa}$ de servicio.

Escobar Trujillo¹⁰, en su diseño de cimentaciones y estudios de suelos en el mini complejo deportivo del C.P. de Ampas-Huari, que posterior a la construcción se detectó deficiencias en las columnas, en la cara oeste del minicomplejo deportivo (volteos y asentamientos), es así como se vio la necesidad de evaluar las cimentaciones y el área de suelo en hondura para establecer los parámetros de diseño de cimentación.

Huamani Sacha & Ichpas Torres¹¹ realizaron su diseño de cimentación para residencias por clases de suelos en el sector urbano del distrito de Seclla-Angaraes, señalan que en dicho distrito existe crecimiento poblacional, que no conlleva a construcciones de viviendas sin dirección técnica, que presentan un inadecuado diseño de cimentación, todo ello sería por falta de economía y carecer de servicios profesionales, sumando a un historial de un suelo inestable por falta de su estudio y diseño de cimentaciones, con el tiempo se presenten aún más fallas.

Teniente Paucar¹², desarrollo un estudio comparativo en la definición, de la capacidad admisible a través de métodos Meyerhof y Terzagui, para el diseño de una cimentación superficial de acuerdo a propiedades del suelo de Inquilpata en la jurisdicción de Anta, realizó excavación para calicata (cielo abierto) de manera aleatoria, obtuvieron parámetros característicos de sus suelos y región Cusco, los experimentos que se hicieron, caracterización y resistencia al corte. Todo esto por el relieve del lugar que es desventajoso, a causa de la pendiente alta en la zona, provocando el descenso de peñasco sea de gran consecuencia.

En su gran mayoría las obras de ingeniería civil comienzan en el suelo, siendo éste parte fundamental de una estructura¹³. El suelo donde se cimentará cualquier tipo de construcción debe buscar la manera de densificar el suelo y aumentar su resistencia¹⁴. El suelo constituye uno de los recursos más importantes, su formación es un proceso complejo que involucra cambios físicos, químicos y biológicos de la roca originaria¹⁵. La textura es la que determina la proporción en la que se encuentran las partículas minerales de diversos tamaños que hay presentes en el suelo¹⁶. Según Crespo Villalaz¹⁷, el concepto de suelo, como partículas naturales mineralizadas que podemos encontrar relativamente separadas en pequeños conjuntos de masas y que, en ellas puedan contener aire, materia orgánica, hasta agua. También menciona los tipos de suelo, materiales gravosos, al pasar el tiempo se acumulan de forma suelta en fragmentos de piedras, con dimensiones menores a 2 mm. Para los Limos, granos de finura, con plasticidad casi nula, pueden ser inorgánicos parecidos al que se encuentra en la cantera o limo orgánicos, que se pueden obtener en el río y lagos, presentando estas características plásticas, por último, menciona, la arcilla, compuestos sólidos con dimensión diametralmente menores y cuyos cuerpos presentan la característica de convertirse con plasticidad al encontrarse o mezclarse con agua. Según Ramos¹⁸, la arena es un tipo de suelo fragmentado suelto de rocas que se pueden obtener en lagos, ríos o depósitos volcánicos. Las propiedades mecánicas del suelo, consisten en modificar las características

con el fin de incrementar la capacidad portante, y la resistencia al corte, disminuir los asentamientos, tanto absolutos como diferenciales, disminuir o eliminar el riesgo de licuefacción en caso de terremoto o vibraciones importantes¹³. Las propiedades físicas de un suelo, determinan en gran medida su rigidez, la fuerza de sostenimiento, lo conforman el peso específico, tamaño, forma, rugosidad, el método del tamizado, humedad natural, plasticidad, los límites líquido y plástico¹⁹. El suelo en el Perú es muy variado, en el transcurso del tiempo se pueden presentar múltiples factores que afecten su estabilidad como sismos. Como ejemplo claro es el terremoto del 31 de mayo de 1970, luego que éste, se presentó y generó licuefacción de grandes áreas de la zona de Chimbote, Ancash. De acuerdo a este fenómeno, la información que se tiene en el Perú es muy escasa, siendo necesario realizar estudios de los fenómenos en diversas zonas del Perú²⁰.

Con una sociedad cada vez más urbana, sin contacto con la naturaleza, perdemos de vista la importancia de los suelos para nuestra supervivencia²¹. Existe un gran número de técnicas que se pudo utilizar en este nivel de condición, pero su elección y capacidad de resolución dependen directamente de las características de la edificación, las necesidades de mejora que requieran el terreno para su correcta funcionalidad.

La construcción de edificaciones, cada día obliga más al reconocimiento de los rellenos y su tratamiento, la compacidad de éstos, suele ser muy baja, con índices de poros muy altos, siendo en general estructuras muy abiertas²². Hay muchas clases de rellenos y todos ellos son peligrosos para la estabilidad de las edificaciones²³. La norma técnica de edificaciones (NTE) E.050 fue ampliada, incorporando la clasificación de los rellenos por su naturaleza en: materiales seleccionados (MS), materiales no seleccionados (MNS), por las condiciones de colocación: rellenos controlados (RC) y rellenos no controlados (RNC)²⁴. La cimentación sobre RNC plantea problemas muy graves debido a la heterogeneidad de estos materiales²⁵. Los asentamientos que se pueden producir en las cimentaciones donde se han construido sobre RNC pueden producirse de tres formas: en rellenos compresibles bajo una carga del cimiento, en rellenos sometidos bajo su peso propio, en suelos naturales por debajo del relleno²⁶. Tal es el caso que, actualmente existen muchas edificaciones de material noble, construidas en zona de relleno, y que presentan daños por descuadramiento de las estructuras producidas por los asentamientos, lo que representa un problema social, indudablemente aparte del problema de ingeniería²⁷.

Las edificaciones importantes de la zona, se han resuelto mediante soluciones de cimentación profunda, técnicas de mejora y refuerzo de suelos como los rellenos controlados, ofreciendo una solución alternativa a las cimentaciones en este tipo de terrenos. Por esta razón los RC son aquellos que se construyen con materiales seleccionados, generalmente del tipo granular⁶. Las características que tiene que cumplir un suelo seleccionado para ser considerado relleno deben de seguir los métodos mencionados en la norma E. 0.50. Los métodos empleados en su conformación, compactación y control, dependen principalmente de las propiedades físicas del material⁶.

Los suelos seleccionados con los que se construyen los RC, deberán ser compactados de la siguiente manera⁶: Cuando el 30 % o menos del suelo es retenido en la malla $\frac{3}{4}$ ". i) Se tiene más de 12 % de finos, deberá compactarse a una densidad mayor o igual del 90 % de la máxima densidad seca (MDS) del ensayo de compactación tipo Proctor Modificado en todo su espesor. ii) Se tiene menos del 12 % de finos, deberá compactarse a una densidad no menor del 95 % de la MDS del ensayo de compactación tipo Proctor Modificado en todo su espesor. iii) Cuando más del 30 % del suelo es retenido en la malla $\frac{3}{4}$ ". iv) Si el porcentaje de finos es menor o igual que 15 % deberá compactarse a una densidad relativa, no menor del 70 %. v) No será recomendable la utilización de suelos con más de 15 % de finos, salvo que se sustenten los métodos de compactación y control.

Deben realizarse controles de compactación en todas las capas compactadas, a razón necesariamente de un control por cada 250 m² como máximo en el proyecto a realizarse⁶.

El objetivo de la investigación fue diagnosticar mediante ensayos de laboratorio las características geomecánicas del suelo de RC para cimentaciones en Pucallpa-Perú, ya que los suelos de la selva ocasionan con el tiempo daños a las edificaciones reduciendo su tiempo de vida sino son reemplazados por rellenos que son compactados y controlados. La estructura de un edificio se sostiene y logra la estabilidad a través de sus cimientos²⁸. Estos estudios se llevaron a cabo donde la zonificación sísmica es distinta y las propiedades mecánicas del suelo de relleno arrojan distintos valores, realizando un análisis vinculando a las características del suelo amazónicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La ciudad de Pucallpa se ubica en el departamento de Ucayali en el centro oriente del Perú a orillas del río Ucayali. Está en plena selva amazónica a 154 m.s.n.m. El clima, es tropical cálido todo el año²⁹. El proyecto consta de 1052 m² de terreno.



FIGURA 1
Mapa referencial de la ciudad de Pucallpa, Ucayali, Perú

Abreviaturas. AA. HH: Asentamiento Humano, INDECI: Instituto Nacional de Defensa Civil, C.P: Centro Poblado, NTE: Norma Técnica de Edificaciones, MS: Materiales Seleccionados, MNS: Materiales No Seleccionados, RC: Relleno Controlado, RNC: Relleno no Controlado, MDS: Máxima Densidad Seca, RNE: Reglamento Nacional de Edificaciones, SC: Arena Arcillosa, SUCS: Sistema Unificado de Clasificación del Suelo, AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials, CBR: Californian Bearing Ratio, CHO: Contenido de Humedad Optimo, MTC: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Obtención y selección del material. El suelo empleado fue obtenido de la cantera “Piedras, Ripio y Arenas” con dirección en Jr. Mariano Melgar Mz. 143A Lt.04 Yarinacocha Pucallpa. La selección de este suelo será granular (partículas de grava y arena), con un contenido de arcilla no excesivo y totalmente exento de elementos degradables o agresivos³⁰, por ello la calidad del material de relleno se establecerá de conformidad con los ensayos realizados en el laboratorio.

Características Geomecánicas. Estudio de la manera en que se alteran las rocas, los suelos, hasta finalizar ocasionalmente en su falla, en reacción a las variaciones de temperatura, esfuerzos, presión y demás indicadores ambientales³¹.

Cimentación. Esa sección de la estructura responsable de transferir las cargas al suelo³².

Método. Se describe los procesos empleados en el desarrollo: El análisis documental “implica la revisión minuciosa de los contenidos de las fuentes documentales, de modo que se obtuvo de libros, tesis de licenciatura y artículos científicos los fundamentos de información tan característicos, clasificándolos, analizándolos y organizándolos según la posición de los objetivos del estudio”³³. Los estudios de laboratorio implican realizar ensayos cumpliendo las indicaciones del MTC según el manual de ensayos de materiales que constituye uno de los documentos técnicos de carácter normativo, que rige a nivel nacional y es de cumplimiento obligatorio³⁴, así como los ensayos de análisis granulométrico (MTC E 107), la compactación de tipo Proctor modificado (MTC E 115), el CBR (MTC E 132) y corte directo (MTC E 123), con la finalidad de conocer las propiedades mecánicas del material. El análisis de datos es hipotético deductivo, se basa en la exploración y en procesar estadísticamente la información cuantitativa. Así mismo, se ordenó y clasifiqué en cuadros de Excel para su análisis y estudio con la finalidad de poder extraer las conclusiones. Por ello, Bernal Torres³⁴, indica que “consiste en un procedimiento que parte de unas aseveraciones en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos”.

Procedimiento. Se describe de manera detallada los pasos: Se inició en la cantera con 200 kg de material para transportarlo al laboratorio de mecánica de materiales, se realizó el secado del material al aire libre, se hizo la preparación en seco de la muestra para el análisis granulométrico, se cuarteó la muestra de suelo para elegir dos cuartos diagonales, se pesó una muestra significativa de suelo para proceder a lavarlo por la malla N° 200, se colocó en el horno de $110 \pm 5^\circ \text{C}$. por 24 h, se retiró y se esperó su enfriamiento para ser pesado, se tamizó en mallas de diferentes aberturas mediante una tamizadora mecánica y finalmente se pesó el material retenido en cada malla, se realizó la compactación de tipo Proctor modificado estableciendo el método de ensayo según los datos de la granulometría, se seleccionó el molde de compactación apropiado de acuerdo con el método, se ensambló el molde, base y collar de extensión, se revisó el estado y calibración de la balanza y pistón manual antes de iniciar, se pesó una muestra significativa de suelo para humedecerlo en un recipiente a diferentes porcentajes de contenido de agua, se compactó el espécimen en 5 capas de mismo espesor y cada una con 56 golpes, se enrasó y se removió el collar y plato base del molde, se pesó el molde más el suelo compactado, se removió el material compactado del molde, se obtuvo un espécimen de suelo para determinar el contenido de agua, en cuanto al ensayo CBR, se realizó el mismo procedimiento del Proctor modificado hasta la compactación para los tres moldes de CBR, después se colocó las 2 sobrecargas en cada molde, se remojo los 3 moldes en una tina de agua por 96 h, se tomó la lectura de la expansión por 4 días, luego se sacó los moldes y su sobrecargas para escurrirlo por 15 min, se llevó a la prensa y se colocó en el orificio central de la sobrecarga anular, el pistón de penetración y se añadió el resto de la sobrecarga, seguidamente se sitúan en cero las agujas de los diales medidores y se empezó a penetrar el molde a una velocidad uniforme de 1.27 mm a cada 30 s, y finalmente, se desmontó el molde y se tomó de su parte superior, una muestra para determinar su humedad, por último se realizó el ensayo de corte directo ensamblando la caja de corte con los marcos alineados y se bloqueó, se aplicó una capa de grasa entre los marcos, se introdujo la muestra de ensayo con sumo cuidado, se conectó el dispositivo de carga y se ajustó el dial para medir la deformación, se llenó el depósito de agua permitiendo el drenaje, se aplicó la fuerza a cada una de las muestras, se registró las lecturas de deformación normal en tiempos apropiados y finalmente se representó gráficamente las lecturas de la deformación normal vs tiempo.

RESULTADOS

Tabla 1 Diagnostico de las características geomecánicas del suelo de relleno controlado

TABLA 1 Diagnostico de las características geomecánicas del suelo de relleno controlado				
	Resumen de los ensayos de laboratorio			
	Granulometría	Proctor	CBR	Corte directo
Suelo de relleno	El suelo es un SC según el sistema SUCS, por el sistema AASHTO es un A-7-6, suelo arcillo.	La densidad compactada máxima seca es de 1.57 g cm ⁻³ y la humedad óptima es 8.55 %	El CBR (0.1") al 100 % MDS es de 14.00 % y el CBR (0.2") al 95 % MDS es de 7.04 %	El ángulo de fricción es de 25.01°, cohesión es 0.00 kgcm ⁻² y densidad humedad es de 2.028 g cm ⁻³
Estado	Bueno	Suelo buen compactado	Bueno	Suelo buen compactado

La Tabla 1 presenta el resumen de los resultados de los ensayos realizados al suelo de RC o ingenieril obteniéndose una clasificación SUCS y AASHTO, un CHO de 8.55 %, un CBR a 0.1" al 100 % de su MDS de 14 %, el ángulo de fricción de 25.01° y la cohesión de 0.00 kg cm⁻².

La Tabla 2 y la Figura 2 presenta los resultados de la granulometría por tamizado del suelo de relleno mostrando el 74.33 % de arena y 25.67 % de limo y arcilla, de manera que tiene una clasificación de suelo según los sistemas SUCS un SC y AASHTO un A-7-6. Además, la curva de distribución granulométrica presenta los porcentajes pasantes por cada tamiz y el tamaño máximo nominal del suelo a 0.84 mm.

TABLA 2
Resultados de la granulometría por tamizado y clasificación del suelo

Tamiz	Diámetro (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	% Que Pasa
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº10	2.000	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº20	0.840	0.66	0.05	0.05	99.95
Nº30	0.590	3.14	0.23	0.28	99.72
Nº40	0.420	55.08	4.11	4.39	95.61
Nº50	0.297	475.54	35.49	39.88	60.12
Nº60	0.250	145.54	10.86	50.74	49.26
Nº100	0.150	185.54	13.85	64.59	35.41
Nº200	0.075	130.54	9.74	74.33	25.67
Fondo	0.020	343.96	25.67	100.00	0.00
Total		1340.00	100	Resultados del tamizado	
Clasificación SUCS:				Grava (4.75-0.75 mm)	0
SC				Arena (0.075-0.75 mm)	74.33
Arena Arcillosa, mezcla de arena con arcilla de color rojo				Limo y arcilla (< 0.075)	25.67
Clasificación AASHTO:				Clasificación: Arenas	
A-7-6				Tipos de arena	
Suelos arcillosos				Peso total:	996.04 g
				Arena gruesa:	58.88 g
				Arena fina:	937.16 g
				Clasificación	Arena fina

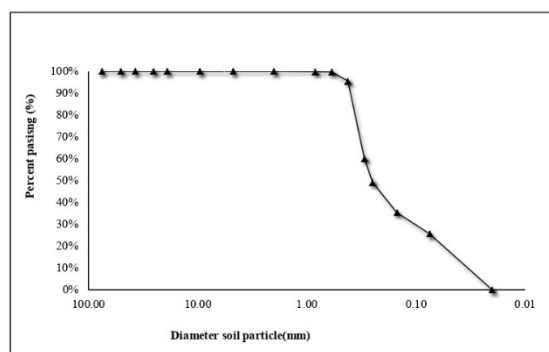


FIGURA 2

Curva granulométrica del suelo de relleno-Pucallpa

La Tabla 3 presenta los resultados de la densidad seca entre los rangos de 1.54 a 1.57 g cm^{-3} y porcentaje de humedad de los 4 especímenes compactados a través del ensayo de Proctor modificado. La Figura 3 refiere la cima de la curva, con resultados al 100 % de compactación para la MDS de 1.57 g cm^{-3} y la humedad óptima de 8.55 % del suelo de RC para cimentación en Pucallpa, Perú.

En la Tabla 4 y Figura 4 se presenta resultados de la resistencia a la penetración obteniéndose los porcentajes de CBR a 0.1" y 0.2" de cada molde, con 56 golpes el CBR es de 15.07 % y 20.37 %, con 25 golpes el CBR es de 7.35 % y 9.33 % y por ultimo con 12 golpes el CBR es de 5.78 % y 6.15 %. También, se halla en la Figura 5 el CBR al 100 % de su MDS de 14.00 % a 0.1" del suelo de RC.

En la Figura 5 presenta resultados de la relación de esfuerzo de corte y la carga vertical de cada muestra obteniéndose el ángulo de fricción de 25.01° , también se obtuvo de la relación de esfuerzo de corte y el desplazamiento lateral la densidad humedad de 2.028 g cm^{-3} , y finalmente el resultado principal la cohesión de 0.00 kg cm^{-2} del suelo de RC para cimentaciones.

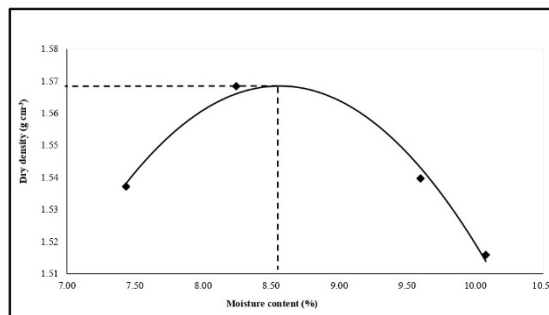


FIGURA 3

Figura 3 curva de compactación densidad máxima seca vs CHO del suelo de relleno

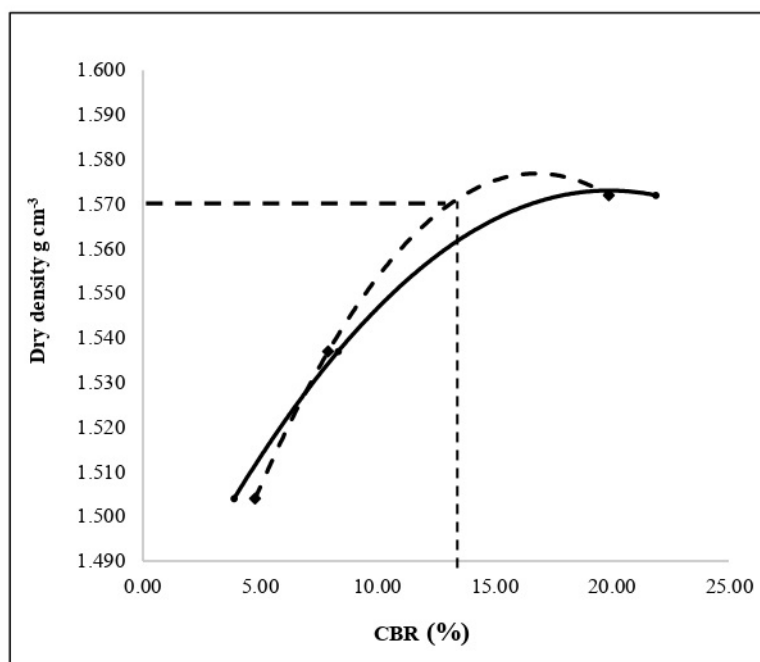


FIGURA 4
Curvas de CBR a 0.1" y 0.2" del suelo de relleno

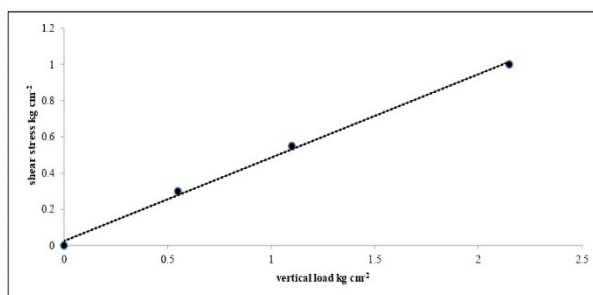


FIGURA 5
Curva esfuerzo de corte vs carga vertical del ensayo corte directo

DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se presenta el diagnóstico de las características geomecánicas del suelo de relleno que fue corroborado mediante los ensayos de laboratorio^{3,7,12}, los datos importantes como el tipo de suelo, el CHO, el CBR al 100 % de la MDS, el ángulo de fricción, la cohesión y la densidad húmeda, con todos estos resultados se categoriza al suelo como subrasante y material de relleno bueno para construir o diseñar cimentaciones. Aclarando que las características de cada suelo dependen de varios factores, los más importantes son el tipo de roca que los originó, su antigüedad, el relieve y el clima¹².

En la Tabla 2 y Figura 2, se refiere a la importancia de la granulometría del suelo de relleno y sus propiedades físicas que poseen para poder identificar su naturaleza, así como la clasificación⁹ por el sistema SUCS es SC denominado arena arcillosa con mezcla de arena con arcilla de color rojo y por el sistema AASHTO es A-7-6 llamado un suelo arcilloso. Además, en la curva granulométrica se puede observar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices³⁵ con la finalidad de conocer el tamaño máximo del material de relleno.

En la Tabla 3 y Figura 3, se observa cómo se determinó la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco³⁵ a través del ensayo de compactación de tipo Proctor modificado, los datos obtenidos son de referencia para el control de calidad de la compactación en obra, que busca eliminar cualquier tipo de asentamiento provocado por la estructura¹⁰. Asimismo, en la curva de compactación se observa el CHO al 100 % de la MDS del suelo de relleno.

TABLA 3
Determinación de la densidad seca máxima en el ensayo de compactación

Ensayo de compactación - Proctor M. - ASTM D 1157								
Determinación de la densidad								
Especimen N°:	M-1		M-2		M-3		M-4	
Número de capa	5		5		5		5	
N° de golpes por capa	56		56		56		56	
Peso molde vacío (g)	6685		6650		6690		6685	
Peso molde + muestra húmeda (g)	11500		11600		11610		11550	
Peso muestra húmeda compactado (g)	4815		4950		4920		4865	
Volumen molde (cm³)	2915.70		2915.70		2915.70		2915.70	
D. húmeda (g cm⁻³)	1.65		1.70		1.69		1.67	
Determinación del contenido de humedad								
Recipiente	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8
Peso recipiente (g)	25.20	25.56	25.06	24.10	25.06	24.10	25.06	24.10
Peso recipiente + muestra húmeda (g)	60.72	60.74	68.30	61.50	45.68	52.58	46.10	52.50
Peso recipiente + muestra seca (g)	58.42	58.15	64.95	58.70	43.90	50.05	44.10	50.00
Peso del agua (g)	2.30	2.59	3.35	2.80	1.78	2.53	2.00	2.50
Peso de la muestra seca (g)	33.22	32.59	39.89	34.60	18.84	25.95	19.04	25.90
Cont. de humedad (%)	6.92	7.95	8.40	8.09	9.45	9.75	10.50	9.65
W medio (%)	7.44		8.25		9.60		10.08	
Densidad seca (g cm⁻³)	1.54		1.57		1.54		1.52	

TABLA 4
Determinación del CBR resistencia a la penetración

Ensayo de California Bearing Ratio			
Determinación de la densidad y humedad de compactación			
Molde N°	1	2	3
Numero de capas	5	5	5
Golpes por capa N°	12	25	56
Peso molde + suelos húmedo (g)	14265	14570	14760
Peso molde (g)	8040	8175	8125
Peso suelo húmedo (g)	6225	6395	6635
Vol. molde (cm ³)	3852	3852	3852
Densidad húmeda (g cm ⁻³)	1.616	1.66	1.722
Capsula N°	1	2	3
Peso capsula + suelo húmedo (g)	79.78	91.12	97.88
Peso capsula + suelo seco (g)	75.86	85.98	91.6
Peso de agua (g)	3.92	5.14	6.28
Peso de capsula (g)	25.2	25.56	26.34
Peso suelo seco (g)	50.66	60.42	65.26
Contenido de humedad (%)	7.74	8.51	9.62
Densidad seca (g cm ⁻³)	1.50	1.53	1.571
Determinación de la expansión			
Altura de molde (cm)	127	127	127
Tiempo (h) / N° de molde	I	II	III
0	0.00	0.00	0.00
24	0.30	0.29	0.10
48	0.70	0.38	0.11
72	0.90	0.365	0.11
96	1.60	0.400	0.13
Expansión (%)	1.260	0.310	0.10

En la Tabla 4 y Figura 4, se presenta porcentajes de la capacidad del material a 0.1" y 0.2", de los que se obtuvo parámetros característicos¹² como la resistencia que muestra este suelo frente a cargas. Además,

según el rango establecido por el MTC, se categoriza como sub rasante buena para colocar material de RC o ingenieril.

En la Figura 5, se observa la determinación del ensayo de corte directo del suelo de relleno, bajo condiciones consolidadas drenadas que busca determinar la capacidad admisible según las características de suelo para indicar cuál brinda mayor seguridad estructural¹², siempre que la caracterización del material y el ensayo se efectuó adecuadamente²⁵. Como sabemos la resistencia al corte está íntimamente ligada a la presión de succión., dicho datos permiten realizar cálculos de cimentaciones

El método de esta investigación es ideal para determinar promedios y tendencias, hacer pronósticos, constatar relaciones y adquirir resultados absolutos de poblaciones grandes³⁶.

Finalmente se concluye que las características geomecánicas del suelo de RC para cimentaciones en la ciudad de Pucallpa cumplen con los parámetros establecidos en la Norma E. 0.50⁶ y el Reglamento Nacional de Edificaciones.

LITERATURA CITADA

1. Dirección Nacional de Construcción. Peculiaridades del suelo en Tarapoto-Moyobamba Normativa Específica [Internet]. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; [citado 30 de octubre de 2021]. 43 p. Recuperado a partir de: http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/eventos/2011/tarapoto/NORM_AE050_SUELOS_CIMENTACIONES.pdf
2. Instituto Nacional de Defensa Civil. Mapa de peligros de las ciudades de Tarapoto, Morales y La Banda de Shilcayo [Internet]. Lima: Instituto Nacional de Defensa Civil; 2000 [citado 20 de octubre de 2021]. Proyecto INDECI-PNUD PER/02/ 051. Recuperado a partir de: http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_San_Martin/sanmartin/tarapoto_otros.pdf
3. Carrillo Gil A. Comportamiento del suelo tropical peruano. *Perfiles_Ingenieria*. 2017;12(12):27-35. DOI: https://doi.org/10.31381/perfiles_ingenieria.v12i12.809
4. The Globe Program [Internet]. Investigación de Suelos. 2005 [citado 17 de noviembre de 2021]. Recuperado a partir de: https://www.globe.gov/documents/10157/381040/soil_chap_es.pdf
5. Sleyter K. Arcillas de Pucallpa-ensayos de mezclas asfálticas [Internet]. Callao: Universidad Cesar Vallejo; 2016 [citado 30 de octubre de 2021]. 35 p. Recuperado a partir de: https://www.academia.edu/22317293/Arcilla_pucallpa_pavimentos
6. Suelos y Cimentaciones. Reglamento Nacional de Construcciones [Internet]. Lima: Ministerio de Transportes, Comunicaciones Vivienda y Construcción. [citado 12 de marzo de 2022]. Recuperado a partir de: <http://www.jorgealvahurtado.com/files/N.T.E.%20E%20050%20-%20Suelos%20y%20Cimentaciones.pdf>
7. Moreira Montigue IR. Estudio comparativo de una cimentación profunda con pilotes de concreto reforzado en suelos arenosos Vs suelos blandos para reducir asentamientos de una edificación de 10 plantas [tesis licenciatura]. [Guayaquil]: Universidad de Guayaquil; 2018 [citado 26 de mayo de 2021]. Recuperado a partir de: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/32383>
8. Maldonado Gutiérrez DA, Vargas García JS (dir). Guía para el control y seguimiento de las "cimentaciones profundas y en la ejecución de pilotes de extracción tipo kelly": caso de estudio [Internet]. Bogotá: Universidad Católica de Colombia; 2019 [citado 30 de octubre de 2021]. 8 p. Recuperado a partir de: <https://library.co/document/qoglle7z-control-seguimiento-cimentaciones-profundas-ejecucion-pilotes-extraccion-estudio.html>
9. Rosas González JM, Sanginés García H (dir). Diseño geotécnicas de cimentaciones compensada de un edificio habitacional en la zona II de la Ciudad de México [tesis licenciatura]. [México]: Universidad Nacional Autónoma de México; 2018 [citado 2 de octubre de 2021]. Recuperado a partir de: https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000783349
10. Escobar Trujillo AMI. Diseño de cimentación y estudio de suelo en el minicomplejo deportivo del centro poblado de Ampas-Huari, 2018 [tesis licenciatura]. [Huacho]: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión;

- 2018 [citado 6 de octubre de 2021]. Recuperado a partir de: <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFS C/2670>
11. Huamani Sacha R, Ichpas Torres R. Diseño de cimentaciones para viviendas por tipos de suelos en la zona urbana del distrito de Secclla-Angaraes [tesis licenciatura]. [Huancavelica]: Universidad Nacional de Huancavelica; 2019. [citado 30 de octubre de 2021]. Recuperado a partir de: <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2882>
 12. Teniente Pauccar AJ. Análisis comparativo en la determinación de la capacidad admisible por los métodos de Terzagui y Meyerhof, para el diseño de cimentaciones superficiales según las características del suelo de Inquilpata del distrito de Anta [tesis licenciatura]. [Cusco]: Universidad Andina del Cusco; 2016 [citado 9 de noviembre de 2021]. Recuperado a partir de: <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/708>
 13. Vilcas Carrasco JM. Planteamiento del mejoramiento del suelo empleando relleno fluido para la construcción de los edificios multifamiliares en la obra casa club recrea "los nogales", distrito de el agustino, Lima [tesis licenciatura]. [Lima]: Universidad Nacional Federico Villarreal; 2018. [citado 12 de marzo de 2022]. Recuperado a partir de: <https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/2042/VILCAS%20CARRASCO%20JESUS%20MIGUEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 14. López Martínez MA. Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de Pomasqui para cimentaciones superficiales y contrapisos, mediante el uso de cemento tipo MH [tesis licenciatura]. [Quito]: Pontificia Universidad Católica del Ecuador; 2017. [citado 12 de marzo de 2022]. Recuperado a partir de: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13132/MARCO%20LOPEZ%20-.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 15. García Y, Ramírez W, Sánchez S. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. Pastos y Forrajes 2012;35(2): 125-38.
 16. Escuela Universitaria de Oficios. El suelo: un universo invisible [Internet]. La Plata: Universidad Nacional de la Plata; [citado 18 de noviembre de 2021]. 13 p. Recuperado a partir de: <https://unlp.edu.ar/frontend/media/98/27598/3f23fc987dbbda82587753c9796000a.pdf>
 17. Crespo Villalaz C. Mecánica de suelos y cimentaciones [Internet] México: Editorial Limusa S.A. de C.V.; 2004 [citado 9 de noviembre de 2021]. 652 p. Recuperado a partir de: <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/mecanica-desuelos-y-cimentaciones-crespo-villalaz.pdf>
 18. Ramos H. Agregados: gravas y arenas para la construcción [Comentario a una entrada en un blog]. 360 en concreto. 16 de septiembre de 2021. [citado 9 de noviembre de 2021]. Recuperado a partir de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/materiales/agregados-gravas-y-arenas-para-la-construccion>
 19. Baque Parrales GA. Caracterización físico-mecánicas del suelo para cimentación en edificaciones de categoría baja, sector By Pass-John F. Kennedy, ciudad Jipijapa [tesis licenciatura]. [Ecuador]: Universidad Estatal del Sur de Manabí; 2017. [citado 12 de marzo de 2022]. Recuperado a partir de: <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1055/1/TESIS%20GALO%20BAQUE%20PARRALES.pdf>
 20. Hurtado Alva JE. Breve historia del fenómeno de licuación de suelos en el Perú. En: Hurtado Alva JE, editor. V Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones; 1983. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería [Internet]. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería; 1983 [citado 9 de noviembre de 2021]. p. 12. Recuperado a partir de: https://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis16_a.pdf
 21. Cotler H, Sotelo E, Domínguez J, Zorrilla M, Cortina S, Quiñones L. La conservación de suelos: un asunto de interés público. Gaceta Ecológica 2007; (83):5-71.
 22. Luque Ruelas M. Cimentaciones en rellenos [Internet]. Scribd; [citado 17 de noviembre de 2021]. 12 p. Recuperado a partir de: <https://es.scribd.com/document/259455218/Cimentaciones-en-Rellenos>
 23. Causas de fallos en las cimentaciones: el desconocimiento de las características intrínsecas del terreno [Internet]. Ingeoexpert. 2016 [citado 17 de noviembre de 2021]. Recuperado a partir de: <https://ingeoexpert.com/articulo/causas-fallos-las-cimentaciones-desconocimiento-las-caracteristicas-intrinsecas-del-terreno/>
 24. Vivar Romero G. Cimentación sobre rellenos. En: Vivar Romero G, editor. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil: 7 al 11 de Octubre de 2003. Colegio de Ingenieros del Perú [Internet]. Lima: Consejo Departamental de

- Loreto del Colegio de Ingenieros del Perú; 2003 [citado 17 de noviembre de 2021]. p. 13. Recuperado a partir de: <https://es.scribd.com/document/230012496/Cimentacion-Sobre-Rellenos>
25. Mora Figueroa L. Caracterización geotécnica del terreno, con ejemplos de gran Canaria y Tenerife [Internet]. Las Palmas: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria; 1996 [citado 18 de noviembre de 2021]. 39 p. Recuperado a partir de: https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/10932/4/7444100000_0000.pdf
 26. Pelinco Astete R. Evaluación de cimentaciones sobre rellenos no controlados en la zona nor-oeste de la Ciudad de Juliaca [tesis licenciatura]. [Juliaca]: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez; 2017 [citado 17 de noviembre de 2021]. Recuperado a partir de: <https://library.co/document/qmw55g5z-evaluacion-cimentaciones-rellenos-controlados-zona-oeste-ciudad-juliaca.html>
 27. Ávila Desposorio P. Estudio y tratamientos de cimentaciones sobre rellenos-casos prácticos [tesis licenciatura]. [Lima]: Universidad Nacional de Ingeniería; 2003. [citado 17 de noviembre de 2021]. Recuperado a partir de: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/19581>
 28. Cimentaciones [Internet]. Construmatica-Metaportal de Arquitectura, Ingeniería y Construcción. [citado 18 de noviembre de 2021]. Recuperado a partir de: <https://www.construmatica.com/construpedia/Cimentaciones>
 29. Geografía de Pucallpa Perú [Internet]. Pucallpa .com-Ciudad de la Tierra Colorada. 2008 [citado 18 de noviembre de 2021]. Recuperado a partir de: <https://www.pucallpa.com/pucallpa/ubicacion-de-pucallpa-peru.html>
 30. Recomendaciones geotécnicas para cimentaciones sobre rellenos controlados [Internet]. Mi cuaderno personal de geotecnia. 2009 [citado 13 de marzo de 2022]. Recuperado a partir de: <https://cuadernodegeotecnia.wordpress.com/2009/06/25/recomendaciones-geotecnicas-para-cimentaciones-sobre-rellenos-controlados/>
 31. Cook J. La geomecánica. Oilfield Rev [Internet]. 2016 [citado 5 de noviembre de 2021];28(1):51-53. Recuperado a partir de: <https://www.slb.com/-/media/files/oilfield-review/la-geomecanica.ashx>
 32. García Pincay MJ, Lucas Moreira RJ, Palma Bravo JC. Importancia de las cimentaciones, y el estudio del suelo para estructuras construidas en la Ciudad de Manta en la Zona de Tarqui, Ecuador [Internet]. Portoviejo: Universidad Técnica de Manabí; 2018 [citado 17 de noviembre de 2021]. 7 p. Recuperado a partir de: <https://www.researchgate.net/project/IMPORTANCIA-DE-LAS-CIMENTACIONES-Y-EL-ESTUDIO-DEL-SUELO-PARA-ESTRUCTURAS-CONSTRUIDAS-EN-LA-CIUDAD-DE-MANTA-EN-LA-ZONA-DE-TARQUI-ECUADOR>
 33. Sánchez Carlessi H, Reyes Romero C, Mejía Sáenz K. Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística [Internet]. Lima: Universidad Ricardo Palma; 2018 [citado 9 de noviembre de 2021]. 146 p. Recuperado a partir de: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1480?show=full>
 34. Bernal Torres CA. Metodología de la investigación. administración, economía, humanidades y ciencias sociales [Internet]. Bogotá: Pearson Educación de Colombia Ltda; 2010 [citado 18 de noviembre de 2021]. 322 p. Recuperado a partir de: <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>
 35. Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Manual de ensayos de materiales [Internet]. Lima: Dirección de Caminos y Ferrocarriles; 2016. [citado 12 de marzo de 2022]. Recuperado a partir de: https://www.academia.edu/36339300/MANUAL_DE_ENSAYO_DE_MATERIALES
 36. Sampieri Hernández R, Fernández Collado C, Baptista Lucio M del P. Metodología de la investigación [Internet]. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V; 2014 [citado 9 de noviembre de 2021]. 634 p. Recuperado a partir de: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

NOTAS

Fuente de financiamiento:El presente trabajo de investigación fue financiado por los autores.

Conflictos de intereses:Los autores declaramos que no existe conflicto de interés con la investigación realizada.

Agradecimientos: En primer lugar, agradecemos a Dios y se agradece a nuestros padres y familiares, y a todas las personas que colaboraron para realizar el trabajo de investigación.

Consideraciones éticas: Se considera las siguientes bases éticas: Principio de la justicia, expresa que todos los estudios para la ejecución del proyecto mencionado serán con igualdad de trato y que serán considerados llegado el momento de tomar la decisión, sin olvidar jamás el reconocimiento de valores intrínsecos. Principio de la autonomía, donde se obtendrá la autorización del municipio, lugar donde se efectuará la realización de las pruebas de laboratorio y de campo, respetando su autonomía, en cumplimiento del derecho a informarse acerca de la finalidad de la investigación. Principio de beneficencia y no de maleficencia, expresa que el trabajo de investigación no causará ningún impacto negativo, riesgos o daños físicos ni psicológicos a ningún elemento integrante de la muestra que participe en la resolución del instrumento, por ser un trabajo de inspección visual, más bien, será positivo en relación con el ámbito social, dado que permitirá conocer los problemas para después analizar, evaluar y tomar decisiones procurando el bien común para todos.

Limitaciones en la investigación: Los autores declaramos que no hubo ningún tipo de limitación en la investigación realizada.

Contribución de los autores: *Sleyther Arturo De la Cruz-Vega*, apporto en la ejecución de la fase experimental, colecta de datos estadísticos, revisión de resultados, discusión, análisis estadísticos y revisión final del artículo generado. *Esther Noemi Noel-Cornelio*, apporto en la ejecución de la fase experimental, colecta de datos estadísticos, administradora de los recursos para desarrollo de la investigación, revisión de literatura para material y métodos.

ID del artículo: 111/JSAB/2021

Nota del Editor: *Journal of the Selva Andina Biosphere (JSAB)* se mantiene neutral con respecto a los reclamos jurisdiccionales publicados en mapas y afiliaciones institucionales.

ENLACE ALTERNATIVO

http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592022000100032&lng=es&nrm=iso (html)