

## Análisis de la resistencia a la compresión no confinada de la Cangahua en el barrio San José de Chibunga, Riobamba

*Analysis of the unconfined compressive strength of "Cangahua" in the San Jose de Chibunga neighborhood, Riobamba*

**Byron Leonardo López Sánchez**

Universidad Indoamericana  
blopez15@indoamerica.edu.ec  
<https://orcid.org/0009-0009-5326-5591>  
Ambato - Ecuador

**Erick Alexis Amaguaña Palate**

Universidad Indoamericana  
eamaguana6@indoamerica.edu.ec  
<https://orcid.org/0009-0002-7626-5243>  
Ambato - Ecuador

### **Formato de citación APA**

López, B., Amaguaña, E. (2026). *Análisis de la resistencia a la compresión no confinada de la Cangahua en el barrio San José de Chibunga, Riobamba*. Revista REG, Vol. 5 (Nº. 1), p. 1031 – 1043..

### **CIENCIA INTERACTIVA**

**Vol. 5 (Nº. 1). Enero – marzo 2026.**

**ISSN: 3073-1259**

Fecha de recepción: 01-03-2026

Fecha de aceptación :10-03-2026

Fecha de publicación:30-03-2026

## RESUMEN

El estudio de los suelos volcánicos en la región interandina del Ecuador garantiza la seguridad en las edificaciones. La presente investigación tuvo como objetivo caracterizar mecánicamente la cangahua del barrio San José de Chibunga, en la ciudad de Riobamba, mediante ensayos de laboratorio. La metodología se basó en un enfoque experimental donde se recolectaron cinco especímenes de suelo en estado natural, los cuales fueron tallados en cilindros con relaciones de esbeltez 2:1. Se aplicó el ensayo de compresión no confinada siguiendo la norma ASTM D2166 para determinar la resistencia a la compresión simple ( $q_u$ ) y la cohesión no drenada ( $C_u$ ). Los resultados revelaron que la cangahua presenta una resistencia elevada, con valores de esfuerzo máximo que oscilaron entre 737,18 kPa y 1683,32 kPa, destacando el espécimen 4 como el de mayor competencia mecánica. Se identificó un comportamiento de falla frágil, donde el material soporta cargas considerables con deformaciones mínimas antes de una ruptura súbita. En conclusión, se determinó que existe una relación directamente proporcional entre la cohesión y la resistencia del suelo; a mayor cementación natural, mayor es la capacidad portante. Estos hallazgos confirman que la cangahua de San José de Chibunga es un estrato altamente competente para el desplante de cimentaciones, aunque su naturaleza frágil exige factores de seguridad rigurosos. Se recomienda para futuros estudios evaluar la influencia del contenido de humedad en la pérdida de resistencia de este material volcánico.

**PALABRAS CLAVE:** Cangahua, compresión no confinada, cohesión no drenada, suelo volcánico, Riobamba, geotecnia.

---

**ABSTRACT**

The study of volcanic soils in the inter-Andean region of Ecuador is essential to guarantee building safety. This research aimed to mechanically characterize the cangahua (indurated volcanic soil) from the San José de Chibunga neighborhood, in the city of Riobamba, through laboratory testing. The methodology was based on an experimental approach where five natural soil specimens were collected and carved into cylinders with a 2:1 slenderness ratio. The unconfined compression test was performed following the ASTM D2166 standard to determine the unconfined compressive strength ( $q_u$ ) and the undrained cohesion ( $C_u$ ). Results revealed that the cangahua exhibits high strength, with maximum stress values ranging from 737.18 kPa to 1683.32 kPa, highlighting specimen 4 for its superior mechanical competence. A brittle failure behavior was identified, where the material withstands significant loads with minimal deformation before sudden rupture. In conclusion, a directly proportional relationship was determined between cohesion and soil strength; the higher the natural cementation, the greater the bearing capacity. These findings confirm that the cangahua in San José de Chibunga is a highly competent stratum for foundation support, although its brittle nature requires rigorous safety factors. For future studies, it is recommended to evaluate the influence of moisture content on the loss of strength of this volcanic material.

**KEYWORDS:** Cangahua, unconfined compression, undrained cohesion, volcanic soil, Riobamba, geotechnics.

## INTRODUCCIÓN

La región interandina del Ecuador presenta una notable diversidad en la composición y evolución de sus suelos, resultado en una interacción entre procesos tectónicos y actividad volcánica a lo largo del tiempo. Este corredor, situado entre las cordilleras Real y Occidental, ha sido continuamente influenciado por la deposición de materiales piroclásticos que han configurado la estratigrafía característica de sus valles intermontanos (Jodán, 2024). En Riobamba, la geología está dominada por depósitos asociados a la actividad de los volcanes Chimborazo y Tungurahua. La naturaleza de estos suelos es volcánica, consistiendo en una intrincada alternancia de cenizas, flujos piroclásticos, lahares y depósitos aluviales que han sido transportados y sedimentados por el sistema fluvial de la cuenca del río Chibunga (Jodán, 2024).

De acuerdo con los estudios de microzonificación sísmica realizados en la urbe, estos depósitos se clasifican mayoritariamente como perfiles tipo "D" (suelos rígidos) y, en sectores con materiales más competentes o presencia de cangahua superficial, como perfiles tipo "C" (suelos muy densos o roca blanda) (Ministerio de Infraestructura y Transporte, 2016). Actualizaciones recientes de la normativa sugieren que gran parte de la plataforma urbana de Riobamba tiende a comportarse como un perfil de suelo tipo "C" debido a la densidad de sus estratos volcánicos cementados (Novillo & Alvarado, 2014).

Los orígenes de este material están vinculados a los periodos de glaciación de la cordillera de los Andes. Durante estos periodos, las bajas temperaturas y los flujos de aire constante en las cimas de los glaciares favorecieron el endurecimiento de los materiales piroclásticos depositados (Zebrowski, 1997). La literatura técnica distingue entre la cangahua proveniente de flujos piroclásticos y la originada por caídas piroclásticas. Bajo condiciones climáticas iguales, la segunda es consistentemente menos dura que la que proviene de las tobas de flujo (Gaibor & Guano, 2012).

Un elemento distintivo en la estratigrafía de Riobamba es la presencia de la Cangahua, definida técnicamente como un suelo indurado de origen volcánico (Hidrobo, y otros, 2021). Este material, resultado de la acumulación de cenizas y loess que han experimentado procesos de cementación y compactación natural, se presenta como un horizonte de suelo que actúa como estrato de apoyo fundamental para las cimentaciones en la región (Trujillo, Hidrobo, Ortega, & Prat, 2014).

Como suelo indurado, la cangahua posee una densidad aparente elevada, que oscila entre  $1.7 \frac{g}{cm^3}$  y  $1.78 \frac{g}{cm^3}$ , y una estructura maciza que le otorga un comportamiento mecánico similar al de una roca blanda en estado seco. En la práctica de la ingeniería local, este estrato es buscado por su alta capacidad portante; estudios en zonas de Riobamba han registrado valores de resistencia



admisible que superan las  $50 \frac{Tn}{m^2}$  cuando se alcanza este horizonte, llegando incluso a picos de  $100 \frac{Tn}{m^2}$  en puntos de alta cementación (Hidrobo, y otros, 2021).

La clasificación del suelo es el primer paso en la predicción de su comportamiento. La cangahua de Riobamba se clasifica generalmente dentro del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como un limo arenoso (ML) o una arena limosa (SM). Esta dualidad refleja su naturaleza de material volcánico fino que conserva una estructura granular, pero con un comportamiento cohesivo debido a su cementación (Viera, Gallegos, & Venegas, 2023).

La investigación sugiere que la cangahua, procesada mediante maquinaria para romper su dureza natural y luego estabilizada, puede ser una alternativa viable para la construcción de viviendas de bajo costo y alto rendimiento térmico. Los resultados de resistencia a la compresión demuestran que, con el control de calidad adecuado siguiendo las normas NTE INEN 3066, es posible producir unidades de mampostería que garanticen la seguridad estructural de las edificaciones (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2016)

El ensayo de compresión no confinada se define como un mecanismo para determinar la resistencia al esfuerzo cortante de suelos cohesivos en condiciones no drenadas (ASTM International, 2024). Este método consiste en aplicar una carga axial a una probeta cilíndrica de suelo sin presiones laterales de confinamiento ( $\sigma_3 = 0$ ), permitiendo obtener el esfuerzo máximo de falla o resistencia a la compresión simple ( $q_u$ ) (Sandoval & Rivera, 2019).

En los suelos volcánicos de la Sierra, la estabilidad depende de la "cohesión aparente" proporcionada por la estructura interna y los agentes cementantes de materiales como la cangahua. La cangahua, al ser una toba endurecida, posee una estructura interna frágil pero resistente en su estado natural; sin embargo, esta resistencia disminuye drásticamente si la estructura es perturbada o remodelada (Llumigusin & Pallango, 2022). El ensayo permite calcular la cohesión no drenada ( $C_u$ ) mediante la relación matemática:

$$C_u = \frac{q_u}{2}$$

Como lo menciona (Jodán, 2024), este parámetro permite modelar el comportamiento del suelo en el corto plazo, especialmente ante cargas rápidas donde no hay disipación de la presión de poros. La normativa técnica que rige este procedimiento es la ASTM D2166 (*Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*), la cual establece los protocolos para la preparación de muestras intactas y remodeladas, así como las tasas de deformación controlada para garantizar la validez de los resultados (ASTM International, 2024).

La ingeniería civil trabaja con suelos cuya capacidad portante es altamente sensible a las variaciones ambientales y mecánicas (García & Schlatter, 2012). Se ha demostrado que la resistencia de la cangahua y las cenizas limosas es extremadamente susceptible a las condiciones de humedad; simulaciones de lluvia muestran que materiales endurecidos pueden alcanzar coeficientes de escurrimiento del 80%, lo que indica una baja capacidad de infiltración y una tendencia a la saturación superficial que debilita los enlaces de cohesión (Erazo, 2020).

Entender y cuantificar la resistencia a la compresión máxima ( $q_u$ ) es importante para la seguridad de la infraestructura. Según (Erazo, 2020), la variabilidad de los depósitos volcánicos puede generar asentamientos diferenciales si no se considera la pérdida de rigidez que ocurre cuando el suelo se humedece o cuando se excede su esfuerzo de preconsolidación natural. Dado que muchos barrios de Riobamba, como La Victoria o 24 de Mayo, presentan estratigrafías donde alternan arenas limosas con niveles de arcilla de baja plasticidad, el diseño de cimentaciones requiere una determinación precisa de estos parámetros para evitar fallas por corte o deformaciones excesivas en edificaciones (Erazo, 2020).

La realización de ensayos geotécnicos en Ecuador está regulada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), la cual establece la obligatoriedad de seguir las normas NTE INEN y, en su ausencia o para mayor detalle, las normas internacionales ASTM (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2011). Para el ensayo de compresión no confinada, la referencia principal es la ASTM D2166, adoptada integralmente por los laboratorios de instituciones como la UNACH y la ESPOCH en Riobamba (ASTM International, 2024).

Finalmente, la variabilidad de estos depósitos, que incluyen intercalaciones de limos y arenas volcánicas, exige una determinación precisa de la densidad y la humedad para evitar asentamientos que comprometan la integridad estructural (Jodán, 2024). El objetivo de esta investigación es evaluar la influencia de la cohesión en la resistencia a la compresión no confinada de una muestra de suelo recolectadas en el sector de Riobamba, de la cual se obtuvieron cinco especímenes, clasificando su consistencia conforme a la normativa ASTM D2166 para su aplicación en el diseño de infraestructuras.

### **MÉTODOS MATERIALES**

La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental orientado a determinar la resistencia a la compresión no confinada de suelos volcánicos característicos de la región interandina. El estudio se llevó a cabo entre octubre de 2025 y febrero de 2026, periodo durante el cual se realizaron las etapas de muestreo, preparación de probetas y ensayos mecánicos.

La extracción del material se efectuó en un único sector de la ciudad de Riobamba, específicamente en el barrio San José de Chibunga, zona en la que afloran depósitos de ceniza volcánica, arenas limosas y niveles cementados propios del sistema fluvial del río Chibunga.

**Tabla N 1** Cuadro de coordenadas y elevaciones

ID DE LA MUESTRA	Este (X)	Norte (Y)	Cota (Z)
M-01 (m)	758908,23	9814238,94	2789

**Fuente:** Google Eart (2026)

Para la ejecución de los ensayos, se prepararon especímenes cilíndricos tallados manualmente. Las muestras numeradas del 1 al 4 mantuvieron una relación de esbeltez 2:1, con dimensiones aproximadas de 7 cm de diámetro y 15 cm de altura. Por su parte, el espécimen 5 se confeccionó con un diámetro de 5 cm y una altura de 10 cm, manteniendo la proporcionalidad geométrica requerida para evitar efectos de esbeltez durante la aplicación de la carga axial, de acuerdo con las tolerancias de la norma ASTM D2166, todas las muestras fueron recolectadas del suelo del barrio San José de Chibunga.

**Ilustración 1** Muestras Cilíndricas de Cangahua



**Fuente:** Laboratorio de Ingeniería Civil UTI (2026)

Una vez conformados, los especímenes fueron transportados al Laboratorio de Ingeniería Civil del Campus Tecnológico Indoamérica, donde se efectuaron los ensayos. Previo a la aplicación de la carga, se midieron las dimensiones iniciales (altura y diámetro) y la masa de cada probeta utilizando instrumentos calibrados. Las caras extremas fueron niveladas para garantizar la correcta distribución de esfuerzos durante la prueba.

El ensayo consistió en someter cada probeta a una carga axial creciente, sin confinamiento lateral, hasta alcanzar el esfuerzo máximo de falla. La máquina de compresión operó bajo una velocidad de deformación constante, siguiendo los protocolos establecidos por ASTM D2166. A partir de la carga máxima registrada se determinó la resistencia a la compresión simple ( $q_u$ ), parámetro para el análisis del comportamiento mecánico de los suelos cohesivos no drenados, Con base en esta resistencia se estimó la cohesión no drenada.

**Ilustración 2** Muestras Cilíndricas después del Ensayo



**Fuente:** Laboratorio de Ingeniería Civil UTI (2026)

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se detallan los resultados obtenidos tras el ensayo de compresión no confinada realizado a las cinco muestras de cangahua recolectadas de Riobamba.

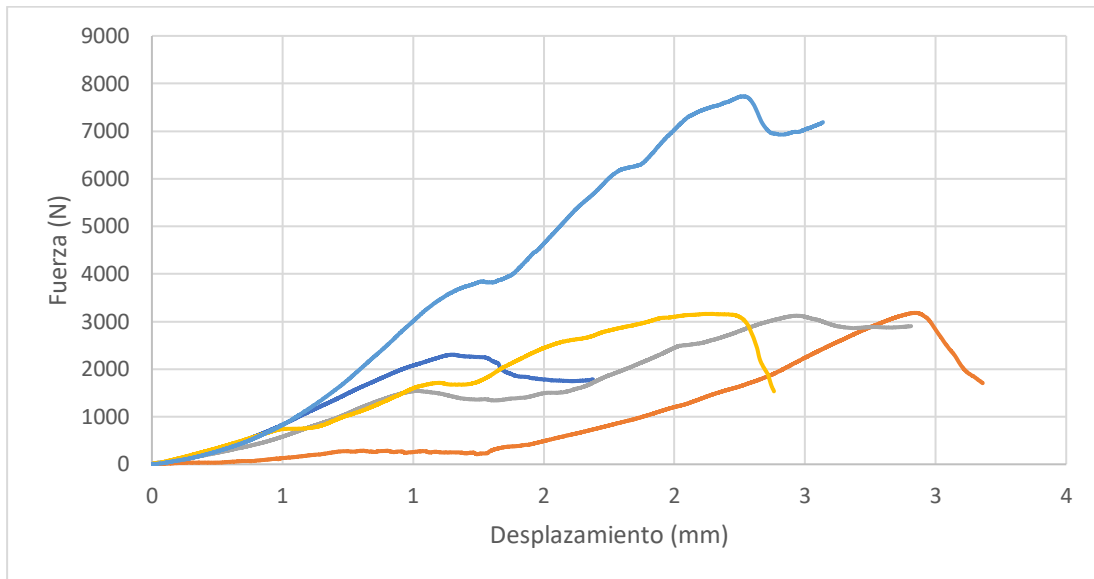
Posteriormente, los resultados correspondientes al esfuerzo máximo de falla ( $\sigma_{MAX}$ ) y la cohesión no drenada ( $C_u$ ) se muestran en la Tabla 1. El cilindro 4 registró la mayor resistencia con 1683,32 kPa y los otros cuatro cilindros la resistencia osciló entre 737,18 kPa y 1001,15 kPa.

**Tabla 2** Resumen de esfuerzos máximos y cohesión calculada para las muestras de Riobamba.

		1	2	3	4	5
<b>Esfuerzos</b>	$\sigma_{1 \text{ MAX}}$ (kPa)	737,18	1084,06	903,51	1683,32	1001,15
	<b>Principales</b>					
	$\sigma_{3 \text{ MIN}}$ (kPa)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	$C_u$ (kPa)	368,59	542,03	451,76	841,66	500,58

**Fuente:** Laboratorio de Ingeniería Civil UTI (2026)

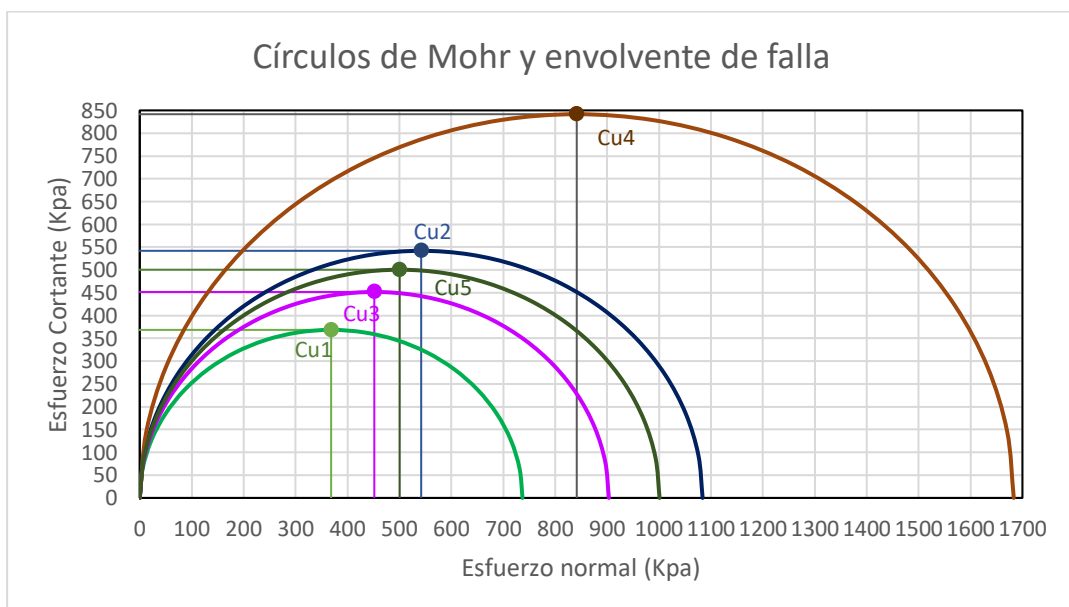
**Figura 1** Comportamiento mecánico de las cinco muestras de cangahua bajo carga axial



**Fuente:** Laboratorio de Ingeniería Civil UTI (2026)

En la Figura 1 se ilustraron las curvas de esfuerzo-deformación axial para los cinco especímenes evaluados.

**Figura 2** Determinación gráfica de la cohesión no drenada ( $C_u$ )



**Fuente:** Laboratorio de Ingeniería Civil UTI (2026)

En la figura dos se visualiza la envolvente de falla en términos de esfuerzos totales, se empleó la representación de los Círculos de Mohr.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en los ensayos de compresión no confinada muestran la alta capacidad portante que posee la cangahua en el sector de San José de Chibunga, Riobamba. Los valores de resistencia a la compresión simple que oscilaron entre  $737,18 \text{ kPa}$  y  $1683,32 \text{ kPa}$  clasifican a este material como un suelo de consistencia muy dura o roca blanda. Este comportamiento es consistente con lo expuesto por (Hidrobo, y otros, 2021), quienes señalan que la cangahua es un material volcánico indurado cuya cohesión se deriva de procesos de cementación natural por la presencia de sílice y carbonatos, diferenciándola de otros suelos arcillosos de la región interandina.

Al analizar las curvas de esfuerzo-deformación (Figura 1), se identificó una falla de tipo frágil con deformaciones pequeñas. Este fenómeno sugiere que, una vez que se supera el umbral de resistencia de la cementación interna, el suelo pierde su estructura de manera abrupta. Esta observación coincide con los estudios de (Llumigusin & Pallango, 2022), quienes determinaron que los suelos volcánicos en el Ecuador, al ser sometidos a cargas axiales, muestran una rigidez inicial elevada que decae rápidamente tras la formación de planos de falla definidos. La variabilidad observada en la muestra 4, que superó significativamente el promedio, podría atribuirse a una mayor densidad local o a un grado superior de cementación piroclástica, factor común en los depósitos de la cuenca del río Chibunga.

Un hallazgo en este análisis es la relación directa entre los parámetros hallados: a mayor cohesión, mayor es la resistencia del suelo. Como en este ensayo no se aplica presión lateral (no hay confinamiento), toda la fuerza que aguanta el cilindro depende exclusivamente de qué tan unidos están sus componentes. En este sentido, la muestra 4 fue la más destacada, alcanzando la resistencia más alta ( $C_u$  de  $841,66 \text{ kPa}$ ).

Desde una perspectiva geotécnica, la determinación de la cohesión no drenada ( $C_u$ ) mediante los Círculos de Mohr (Figura 2) proporciona parámetros para el diseño de cimentaciones en Riobamba. Comparando estos hallazgos con las correlaciones de (Sandoval & Rivera, 2019), se confirma que la resistencia a la compresión simple es un indicador de la estabilidad de taludes en este tipo de formación. Sin embargo, se debe considerar que, aunque la cangahua presenta una resistencia elevada en estado seco o natural, su comportamiento puede verse alterado ante procesos de saturación, un aspecto que debe ser evaluado en futuras investigaciones para complementar lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (Ministerio de Infraestructura y Transporte, 2016).

A pesar de los resultados sobre la rigidez de la cangahua en San José de Chibunga, el presente estudio presenta limitaciones que deben ser consideradas. En primer lugar, los ensayos se realizaron

bajo condiciones de humedad natural; no obstante, se advierte que la cementación de los suelos volcánicos es altamente sensible al incremento del contenido de agua, lo que podría reducir los valores de cohesión reportados. Asimismo, el tamaño de la muestra se limitó a cinco, lo que, sugiere que para una caracterización geotécnica regional se requeriría un muestreo más extenso en diferentes estratos del valle del río Chibunga.

Como recomendación para futuros ensayos, se sugiere integrar pruebas de corte directo y triaxiales que permitan evaluar el ángulo de fricción interna y el comportamiento del suelo bajo diferentes presiones de confinamiento, simulando con mayor precisión las cargas de cimentaciones profundas.

### CONCLUSIONES

La caracterización mecánica de la cangahua en el barrio San José de Chibunga permite concluir que este suelo volcánico posee una elevada resistencia a la compresión simple, con valores que superan los  $700 \text{ kPa}$ , lo que lo posiciona como un estrato competente para el desplante de cimentaciones superficiales en la zona urbana de Riobamba. No obstante, su comportamiento frágil ante cargas axiales advierte sobre la necesidad de considerar factores de seguridad conservadores, ya que el material pierde su capacidad portante una vez superado el esfuerzo de fluencia.

Se determinó que la fuerza de este suelo depende directamente de su cohesión. En este estudio, quedó claro que a medida que la cohesión aumenta, la capacidad del suelo para soportar peso también lo hace, siendo la muestra 4 el mejor ejemplo de esta relación al alcanzar los niveles más altos de dureza. Esta variación entre las muestras confirma que la cangahua en Riobamba no es igual en todos los puntos, por lo que siempre es necesario realizar pruebas específicas en cada terreno antes de iniciar una obra.

El uso de diferentes tamaños en los cilindros de prueba ( $7 \times 15 \text{ cm}$  y  $5 \times 10 \text{ cm}$ ) no alteró la calidad de los resultados, siempre que se respete la proporcionalidad de altura y diámetro. Esto demuestra que el método utilizado fue correcto. Los datos presentados sirven como una guía práctica para ingenieros y constructores de la ciudad, resaltando que la cangahua es un excelente material para la construcción, pero que siempre debe protegerse de factores como el exceso de agua para que no pierda su fuerza con el tiempo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM International. (18 de Junio de 2024). *ASTM D2166/D2166M-24 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*. Obtenido de ASTM International: [https://www.astm.org/d2166\\_d2166m-24.html](https://www.astm.org/d2166_d2166m-24.html)
- Erazo, J. (2020). *Caracterización física y geomecánica, y determinación de la matriz de succión del subsuelo, en el distrito metropolitano de Quito sector el Rocio de Guamani. coordenadas 17m 0771098, 9962442*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Gaibor, A., & Guano, M. (2012). *RESISTENCIA DE LA CANGAHUA EN FUNCIÓN DE SU COMPOSICIÓN MINERALÓGICA Y CONTENIDO DE HUMEDAD EN DOS SECTORES DE QUITO: SUR Y NORTE*. Quito: Universida Politécnica Salesiana.
- García, L., & Schlatter, J. (2012). Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador. *Revista Brasileña de Ciencias Agrarias*, 456-464.
- Hidrobo, J., Costa, M., Prat, C., Trujillo, G., Moreno, J., & Ortega, C. (2021). Sistemas de producción en áreas con cangahua habilitada en la Sierra Norte de Ecuador. *Siembra*, 59-72.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2016). *NTE INEN 3066: Bloques de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo*. Quito: INEN.
- Jodán, M. (2024). Peregrinaciones por el valle del río Chibunga: dinámica política y social en la veneración puruhá al volcán Chimborazo en Riobamba, Ecuador. *ANTROPOLOGÍA*, 99-114.
- Llumigusin, L., & Pallango, M. (2022). *Utilización de la ceniza volcánica, con diferentes métodos de activación puzolánica, para la estabilización de suelos con resistencia a compresión menor a 80 kN/m<sup>2</sup>*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2011). *NEC-11. Capítulo 9: Geotecnia y Cimentaciones*. Quito: MIDUVI.
- Ministerio de Infraestructura y Transporte. (2016). *Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-SE-DS: Cargas sísmicas, diseño sismo resistente*. Quito: MIT.
- Novillo, C., & Alvarado, M. (2014). *Determinación del mapa ISO períodos de los suelos en los barrios "Alborada, 24 de Mayo y La Victoria" de la ciudad de Riobamba*. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.



Sandoval, E., & Rivera, W. (2019). Correlación del CBR con la resistencia a la compresión confinada. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*.

Trujillo, G., Hidrobo, J., Ortega, C., & Prat, C. (2014). Habilitación de Cangahua en el Ecuador . *Universidad Central del Ecuador*, 106-109.

Viera, P., Gallegos, Y., & Venegas, E. (2023). Resistencia a la compresión y flexión de bloques elaborados a base de cangahua, cal, arcilla y paja. *Novasinergia*, 150-166.

Zebrowski, C. (1997). *Suelos volcánicos endurecidos: III Simposio Internacional* . Quito: ORSTOM.

**CONFLICTO DE INTERÉS:**

*Los autores declaran que no existen conflicto de interés posibles*

**FINANCIAMIENTO**

*No existió asistencia de financiamiento de parte de pares externos al presente artículo.*

**NOTA:**

*El artículo no es producto de una publicación anterior.*