

3D geological-geotechnical model of the Nulti Centro subsoil based on existing geotechnical data

Modelo 3D geológico-geotécnico del subsuelo de Nulti Centro basado en datos geotécnicos existentes

Autores:

Ramón-studillo, Yomara Abigail
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Graduado de la Carrera de Ingeniería Civil
Cuenca – Ecuador



yaramona42@est.ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0000-2063-8472>

Morocho-Avemanay, Braulio Dario
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Posgradista de la Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras
Sismorresistentes
Cuenca – Ecuador



braulio.morocho.76@est.ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0003-4926-4392>

Avila-Calle, Marco
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Docente Tutor del área
Cuenca – Ecuador



mavila@ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-2134-1432>

Fechas de recepción: 15-AGO-2024 aceptación: 10-SEP-2024 publicación: 15-SEP-2024



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>



Resumen

El crecimiento de la población exige la identificación de nuevas áreas aptas para el desarrollo de infraestructuras seguras y habitables. Para ello, es fundamental contar con información geológica, geotécnica y sísmica, que permita evaluar las características y propiedades del suelo, esenciales para el análisis del comportamiento de estructuras y puentes. Este estudio tiene como objetivo generar un modelo tridimensional (3D) del subsuelo en el área comprendida entre las parroquias de Cuenca y Nulti, utilizando datos geospaciales y software especializado. La información proviene del proyecto de vinculación "Microzonificación sísmica del cantón Cuenca", disponible en el geoportal del laboratorio DATACHADEMICS de la Universidad Católica de Cuenca. El modelo resultante permitirá identificar zonas con posibles condiciones de riesgo. Tras la elaboración del mapa, se identificó que en el área de estudio predominan las arcillas inorgánicas de alta compresibilidad. En conclusión, se determinó que la zona entre las parroquias Cuenca y Nulti presenta un alto nivel de riesgo, considerándose crítica para la construcción.

Palabras clave: Mapa tridimensional; Suelo; Geología; Geotecnia; Geoportal; Arcilla



Abstract

Population growth requires the identification of new areas suitable for the development of safe and habitable infrastructures. To do so, it is essential to have geological, geotechnical and seismic information, which allows the evaluation of the characteristics and properties of the soil, essential for the analysis of the behavior of structures and bridges. This study aims to generate a three-dimensional (3D) model of the subsoil in the area between the parishes of Cuenca and Nulti, using geospatial data and specialized software. The information comes from the linking project "Seismic microzonation of the Cuenca canton", available in the geoportal of the DATAHADEMICS laboratory of the Catholic University of Cuenca. The resulting model will allow the identification of areas with possible risk conditions. After the map was drawn up, it was identified that inorganic clays of high compressibility predominate in the study area. In conclusion, it was determined that the area between the parishes of Cuenca and Nulti presents a high level of risk, being considered critical for construction.

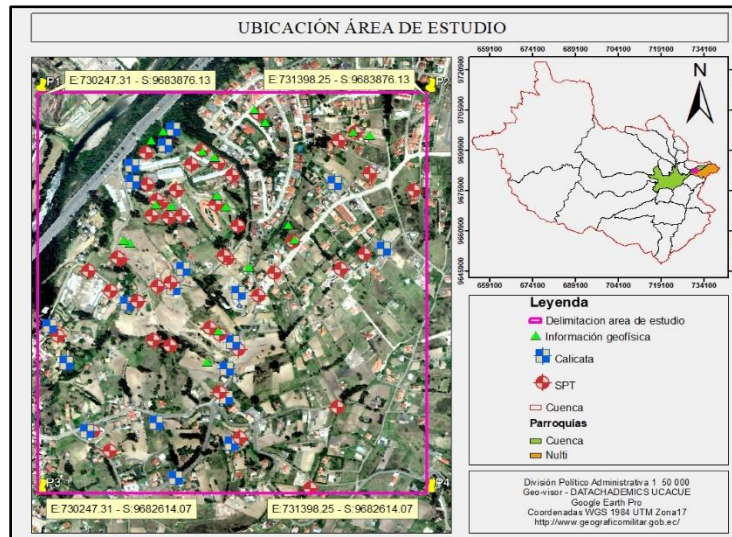
Keywords: Three-dimensional map; Soil; Geology; Geotechnics; Geoportal; Clay



Introducción

El área de estudio se localiza en la zona noroeste de Cuenca y se extiende hacia una parte de la comunidad de Nulti Centro, abarcando un total de 182.04 hectáreas. La elección de esta zona se fundamentó en la disponibilidad de abundante información, que fue recopilada y seleccionada del Geo-portal de información geográfica del laboratorio DATACHADEMICS de la Universidad Católica de Cuenca.

Figura 1
Ubicación del área de estudio



Fuente: Astudillo Ramón (2023).

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del cantón Cuenca para el período 2019-2023, los eventos adversos en la región han estado históricamente asociados con amenazas de movimientos de tierra. El análisis de estas amenazas indicó que, en Nulti Centro, el 79.15% del área presenta susceptibilidad a deslizamientos. El PDOT clasificó la exposición a esta amenaza en Nulti Centro como "Media", considerando factores como pendientes pronunciadas, un grado significativo de meteorización, procesos erosivos intensos y una geología caracterizada por rocas poco consolidadas y altamente fracturadas. Por lo tanto, esta área se considera de alto riesgo para la construcción.

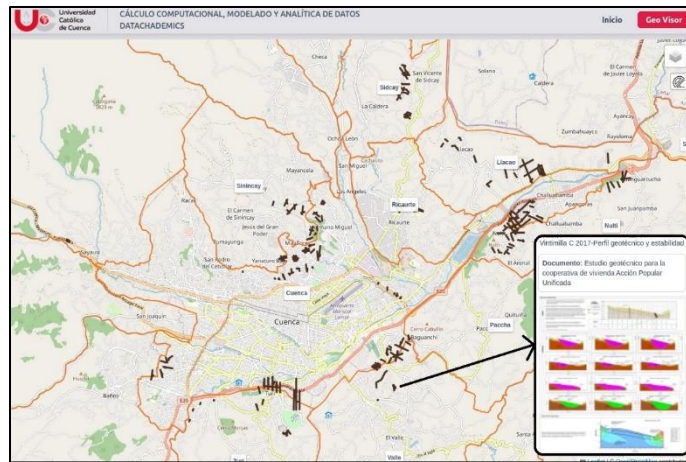
En los últimos 20 años, la zona de estudio ha experimentado deslizamientos que han provocado la destrucción de viviendas, daños a la red eléctrica, interrupciones en la red vial,



y perjuicios en los sistemas de alcantarillado y agua potable. Estos problemas persistirán si no se implementan medidas preventivas adecuadas. Estas medidas deben centrarse en el conocimiento exhaustivo de las propiedades geológico-geotécnicas del suelo, para asegurar un diseño y construcción adecuados y prevenir futuros daños e inconvenientes.

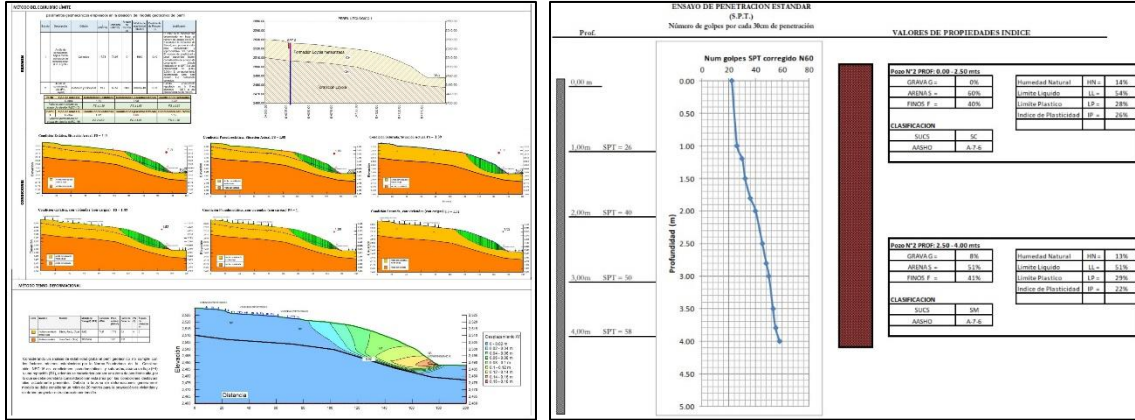
El estudio realizado por Guamán et al. (2024) llevó a cabo la creación de una base de datos que recopila toda la información disponible en bases digitales, con el fin de desarrollar un geoportal utilizando sistemas de información geográfica (SIG). Este geoportal integra datos geológicos, geotécnicos y perfiles estratigráficos del subsuelo de la ciudad de Cuenca, en la provincia de Azuay, Ecuador. La investigación constituye la base para la elaboración del mapa tridimensional geológico-geotécnico. En la Figura 2 se muestra la información recopilada por los autores, que incluye la distribución de los perfiles estratigráficos del suelo en la ciudad de Cuenca a profundidades mayores de 30 metros. Asimismo, en la Figura 3 se presentan los perfiles estratigráficos obtenidos a partir de los resultados de los ensayos de penetración estándar (SPT).

Figura 2
Perfiles estratigráficos con profundidad mayor a 30 metros.



Fuente: Guamán et al. (2024).

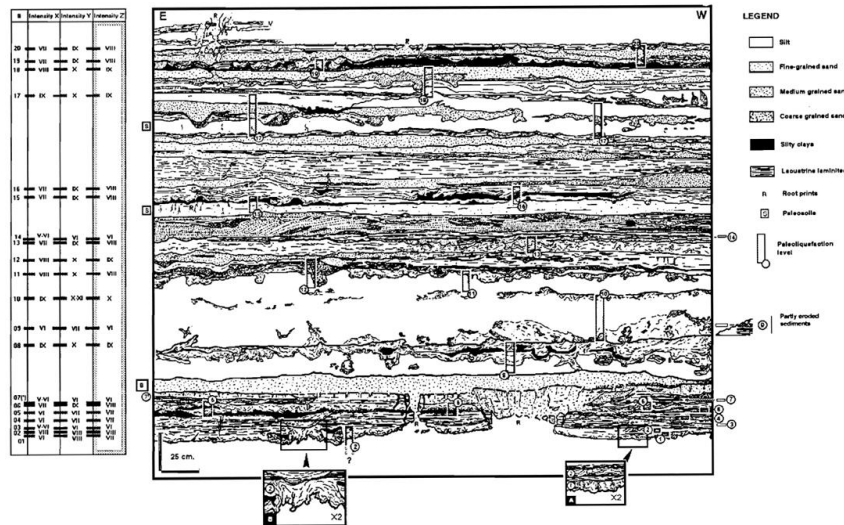
Figura 3
Perfiles estratigráficos y ensayo de penetración estándar.



Fuente: Guamán et al. (2024).

Otras investigaciones similares han sido realizadas por diversos autores. Por ejemplo, Alvarado et al. (1994) llevaron a cabo un análisis de la paleosismicidad en los suelos de Quito, proporcionando información valiosa sobre la estratigrafía profunda de la zona. En la Figura 4 se muestra la estratigrafía y los niveles de paleolicuación identificados en la calle Pinzón.

Figura 4
Niveles de paleolicuación en el afloramiento de la calle pinzón

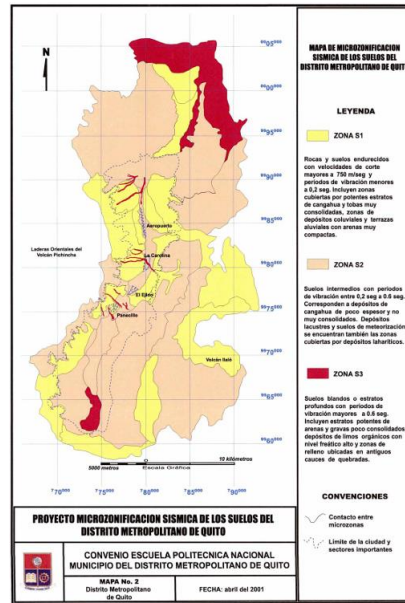


Fuente: Alvarado et al. (1994).



Además, Valverde et al. (2001) realizaron un proyecto de microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de Quito. Este proyecto resultó en la creación de un mapa que clasifica los suelos según las velocidades de ondas de corte, los periodos de vibración y el tipo de suelo, como se muestra en la Figura 5.

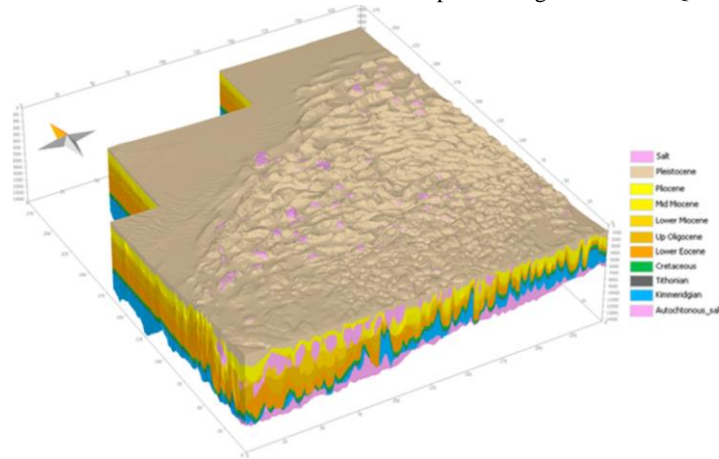
Figura 5
Mapa de microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de Quito



Fuente: Valverde et al. (2001).

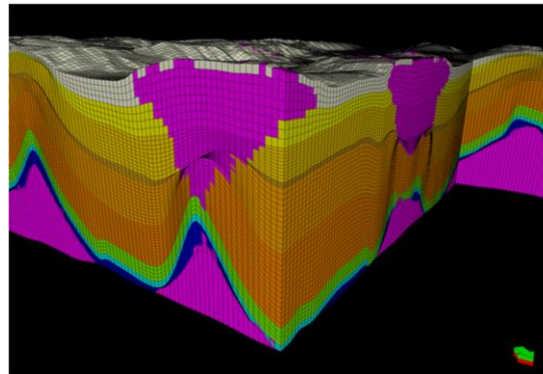
Las Figuras 6 y 7 muestran los aportes de Mariano (2020), quien desarrolló un modelo tridimensional de un sistema petrolífero regional para la cuenca de Salina del Istmo, en el sur del Golfo de México. Este estudio se basó en investigaciones previas sobre la evolución tectonoestratigráfica, restauraciones estructurales regionales y el modelado de sistemas petrolíferos en 2D.

Figura 6
Modelo 3D del sistema petrolífero regional en la cuenca de Salina del Istmo



Fuente: Mariano (2020).

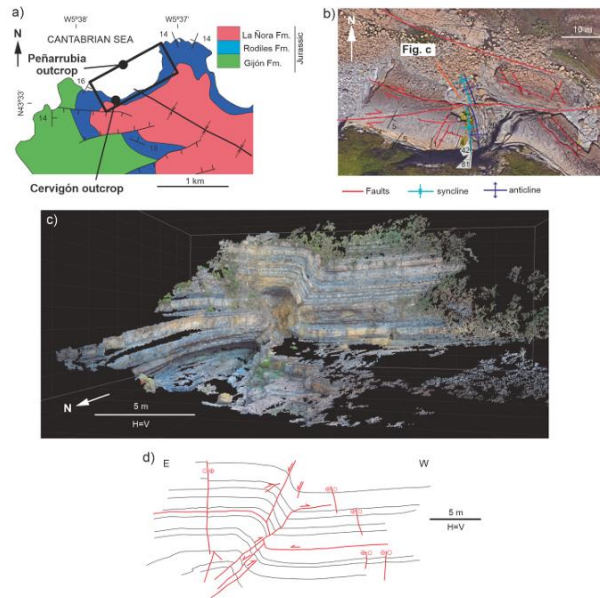
Figura 7
Modelo 3D en elementos finitos del sistema petrolífero regional en la cuenca de Salina del Istmo



Fuente: Mariano (2020).

Por último, Uzkeda et al. (2022) realizaron un inventario de modelos virtuales de afloramientos en la Zona Cantábrica y la Cuenca Asturiana, ubicadas en el norte-noroeste de la Península Ibérica. En la Figura 8 se presenta la ubicación del afloramiento del Cervigón en la estructura regional, junto con la interpretación geológica, una fotografía del afloramiento y una sección transversal geológica. Las técnicas empleadas en este estudio incluyeron trabajos de campo, ortofotografías, imágenes de Google Earth, fotografías estereoscópicas, modelos virtuales de afloramientos y tomas aéreas obtenidas mediante vehículos aéreos no tripulados (drones).

Figura 8 Afloramiento del Cervigón



Fuente: Uzkeda et al. (2022).

El avance tecnológico ha facilitado el procesamiento rápido de datos geográficos, permitiendo analizar, manipular, crear, almacenar y desplegar información de manera lógica y coordinada para obtener resultados precisos. No obstante, la recolección de estos datos a menudo se ve obstaculizada por la falta de accesibilidad. Además, la información suele estar representada en mapas temáticos en 2D, limitando la interpretación a una vista plana.

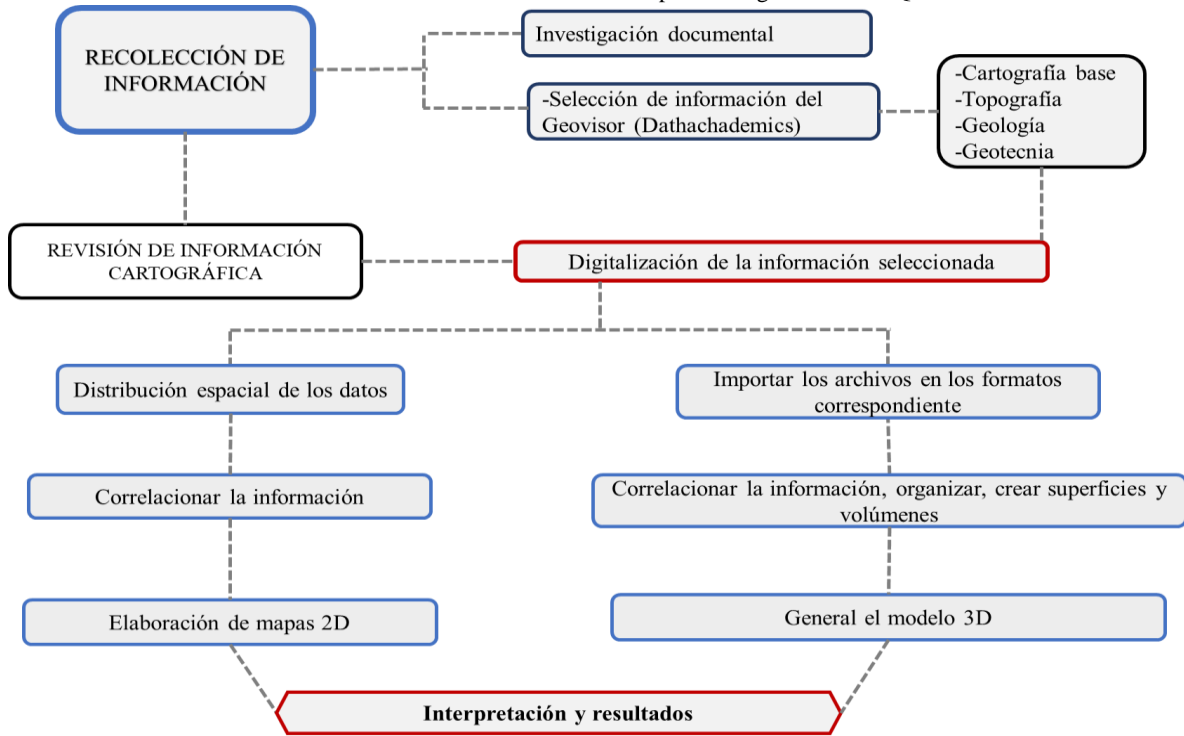
Por ello, el objetivo de esta investigación es desarrollar una metodología para generar mapas 3D del subsuelo integrando datos de ensayos geotécnicos, SPT, perforaciones y calicatas. Esta metodología permitirá obtener una visualización detallada del subsuelo en el área de estudio, facilitando futuros análisis del comportamiento hidrológico o sísmico, y contribuyendo a una toma de decisiones informada en el ámbito geotécnico e ingeniería civil para la planificación de infraestructuras y proyectos de construcción seguros y exitosos a largo plazo.

Material y métodos

Para elaborar el mapa tridimensional (3D) del subsuelo, se empleó una metodología específica adaptada a la información disponible, que permitió integrar todos los datos geológicos y geotécnicos obtenidos mediante ensayos realizados en el área de estudio. La Figura 9 ilustra la secuencia de actividades realizadas para alcanzar los objetivos planteados.

Figura 9
Metodología establecida





Fuente: Astudillo Ramón (2023).

La fase de investigación documental fue fundamental para la recolección de información, durante la cual se revisaron tesis, artículos científicos, páginas web y libros relacionados con el tema.

El punto de partida de la investigación fue la identificación del área de estudio en el Geovisor del laboratorio DATAHADEMICS de la Universidad Católica de Cuenca. De esta área, se seleccionaron datos relevantes, incluyendo cartografía base, topografía, y datos geológicos y geotécnicos. La información recopilada abarcó exploraciones SPT, pozos de prueba y datos de refracción sísmica, los cuales proporcionaron los insumos necesarios para la creación del modelo 3D del subsuelo.

A partir de la información desplegada en el Geo-visor para cada exploración, se obtuvieron las coordenadas UTM, el tipo de exploración, la profundidad, la estratigrafía, la clasificación SUCS y AASHTO en la mayoría de los puntos, así como datos sobre los límites de Atterberg, pruebas de hinchamiento y la clasificación NEC del suelo.



El siguiente proceso consistió en la digitalización de la información seleccionada, es decir pasar los datos de las exploraciones de suelo del geo visor en un formato digital, específicamente una hoja de cálculo de Excel. La digitalización permitió organizar y estructurar los datos de manera más eficiente, facilitando su posterior análisis y manejo en el software ArcGIS y Leapfrog Geo. En esta etapa se realizó un control de calidad y aseguramiento para validar y corregir los datos. Este proceso se llevó a cabo siguiendo la norma INEN de Ecuador. El control de calidad y aseguramiento se enfocó en verificar la consistencia de los datos digitales con los datos físicos originales, así como en corregir cualquier error o inconsistencia que pudiera afectar la precisión del modelo geológico-geotécnico 3D.

Posteriormente se realizó la distribución espacial de los datos, para lo cual se llevó a cabo un procedimiento en el software ArcGIS, el cual se dividió en tres etapas principales:

- Se cargó el ráster para obtener la topografía del área de estudio.
- Se recortó de forma regular el área donde se iba a trabajar para facilitar el análisis y la manipulación de los datos.
- Se cargaron los datos digitalizados en formato Excel y se realizaron mapas temáticos, incluyendo mapa de pendientes, mapa de clima, mapa geológico y mapas geotécnicos a diferentes profundidades con las propiedades físico-mecánicas del suelo.

Durante este proceso, se utilizaron diversas herramientas para el análisis y manejo de archivos formato ráster y shapefile, con el objetivo de crear de mapas temáticos donde se permita visualizar la distribución espacial de las propiedades físico-mecánicas del suelo a diferentes profundidades, lo que facilitó la interpretación y el análisis de los datos.

Resultados

Análisis en la profundidad de 0 a 3m

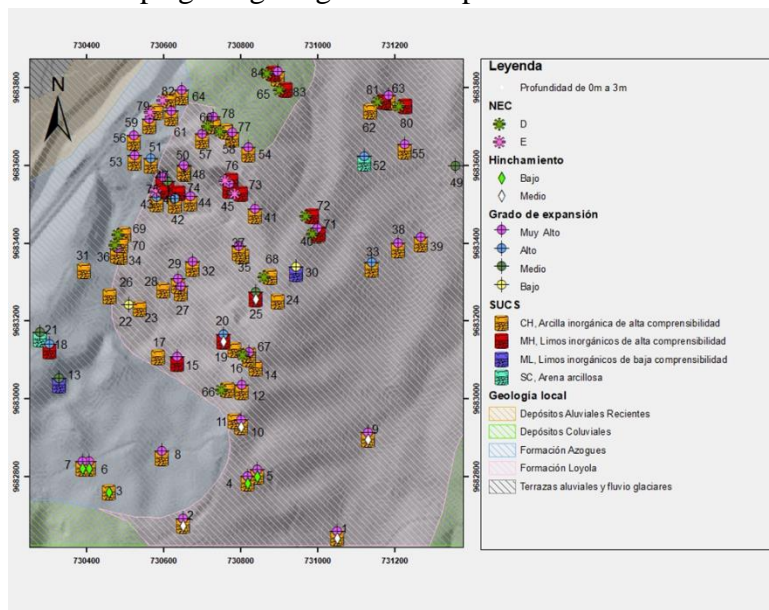
El mapa geológico-geotécnico a una profundidad de 0 a 3 m (Figura 10) reveló la predominancia de las formaciones Azogues y Loyola dentro del área de estudio. El tipo de suelo predominante fue la arcilla de alta compresibilidad (CH), que representó el 71% de los datos obtenidos, seguida de los limos inorgánicos de alta compresibilidad (MH) con el 20%. Las arenas arcillosas (SC) constituyeron el 5%, y los limos inorgánicos de baja compresibilidad (ML) el 2%. En cuanto al grado de expansión, predominó la categoría “Muy



Alto”. Cabe destacar que no todos los datos incluían el ensayo de Atterberg, por lo que no se pudo determinar esta característica en todos los casos.

Los resultados de refracción sísmica indicaron la presencia de suelos de tipo D y E. Los suelos de tipo D corresponden a perfiles de suelos rígidos que cumplen con el criterio de velocidad de la onda de corte, mientras que los suelos de tipo E presentaron un espesor total mayor a 3 m de arcillas, lo que muestra una relación con los resultados de los sondeos. El ensayo de hinchamiento se realizó solo en el 13% de los datos, y entre estos se observó un riesgo de hinchamiento clasificado entre medio y bajo.

Figura 10
Mapa geológico-geotécnico profundidad 0-3m



Fuente: Astudillo Ramón (2023).

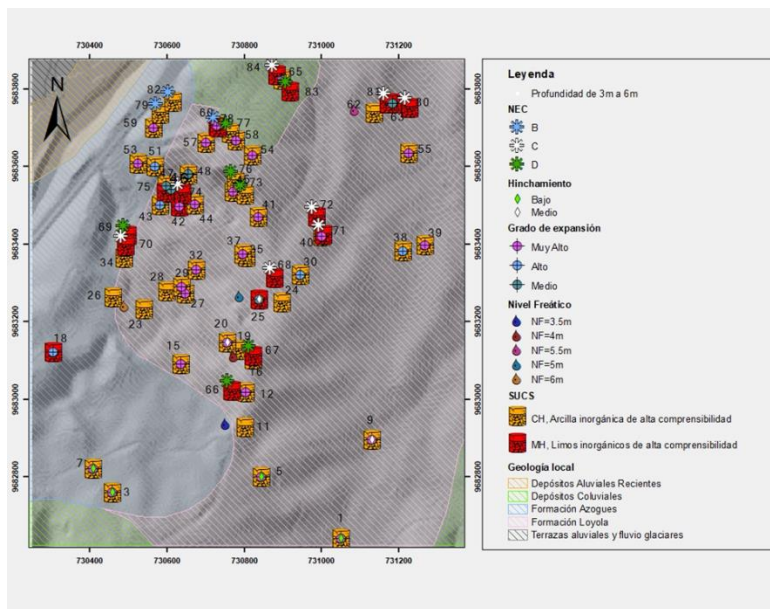
De acuerdo con los resultados, la construcción a esta profundidad requerirá un diseño de cimentación adecuado y mejoramiento del suelo, ya que edificar sobre suelos arcillosos y limosos no es lo ideal debido a su propensión a asentamientos diferenciales, así como a la expansión y contracción con los cambios de humedad. En consecuencia, el costo de construcción será más elevado para garantizar la estabilidad y durabilidad de la estructura.

Análisis en la profundidad de 3 a 6m



El mapa geológico-geotécnico a una profundidad de 3 a 6 m (Figura 11) indicó la predominancia de suelos de tipo CH con un 51%, seguido por suelos tipo MH con un 23%. Del 26% restante, no se encontró información. El análisis realizado mediante la fórmula de Holtz mostró que, a esta profundidad, el Índice de Plasticidad (IP) seguía siendo alto, lo que sugiere que la expansividad del suelo se encontraba entre las categorías de “Muy alta, alta y media”. En cuanto a los resultados de refracción sísmica, se identificaron suelos de tipo B, D y C. El ensayo de hinchamiento se llevó a cabo únicamente en el 9% de los datos, de los cuales se observó un riesgo de hinchamiento clasificado entre medio y bajo. Además, a esta profundidad se identificó la presencia de nivel freático en algunos puntos.

Figura 11
Mapa geológico-geotécnico profundidad 3-6m



Fuente: Astudillo Ramón (2023).

Los resultados revelaron que el área de estudio posee suelos potencialmente problemáticos para la construcción, ya que, a pesar de la profundidad considerable, siguen presentándose arcillas y limos, lo que representa riesgos de asentamientos y cambios volumétricos. La presencia de suelos expansivos y el riesgo de hinchamiento también son problemas graves que pueden afectar negativamente la estabilidad y seguridad de cualquier edificación.

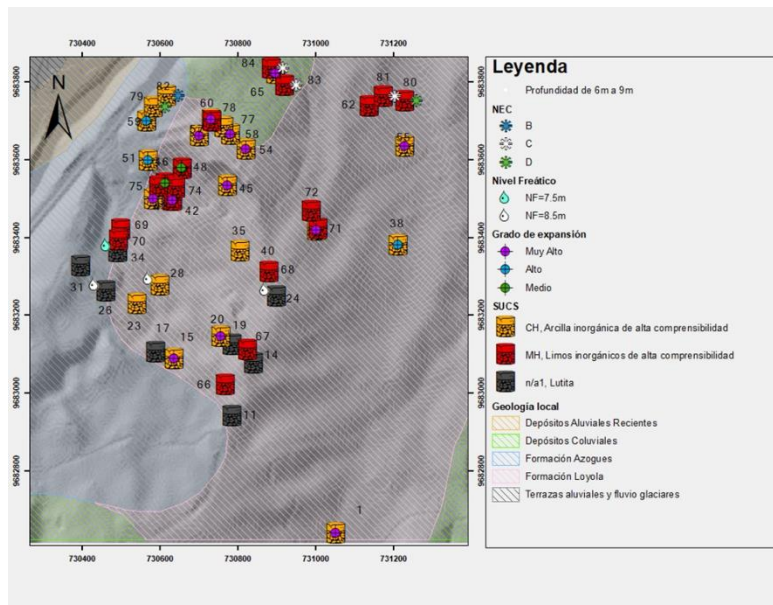


Además, es fundamental tener especial precaución en los puntos con presencia de nivel freático y en las áreas cercanas a estos.

Análisis en la profundidad de 6 a 9m

A una profundidad de 6 a 9 metros (Figura 12), se encontraron suelos de tipo CH en un 25%, MH en un 21% y lutita en un 10%. Aunque la lutita es un suelo consolidado, todavía se observa la predominancia de suelos expansivos, como las arcillas y los limos. El grado de expansión del suelo se mantuvo entre las categorías "Muy alta", "Alta" y "Media", lo que indica que el Índice de Plasticidad (IP) sigue siendo significativo. En cuanto a los resultados de refracción sísmica, se identificaron suelos de tipo B, D y C, cada uno con comportamientos y características geotécnicas diferentes. Por último, se detectó la presencia de nivel freático en muy pocos puntos, los cuales, sin lugar a dudas, deben ser considerados en el diseño de construcciones subterráneas.

Figura 12
Mapa geológico-geotécnico profundidad 6-9m



Fuente: Astudillo Ramón (2023).

La presencia de suelos con malas características geotécnicas a profundidades de 6 a 9 metros representa un desafío significativo para la construcción. Estos puntos son críticos y difíciles

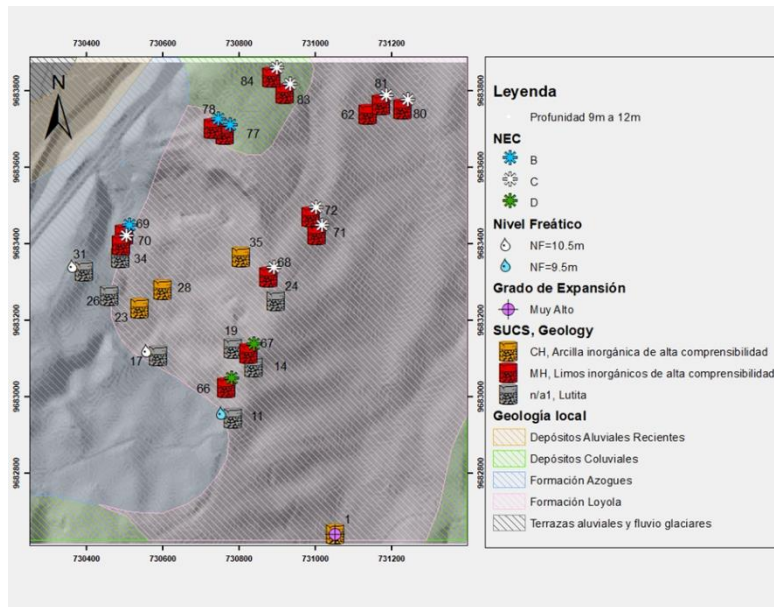


de tratar, lo que conlleva un impacto económico considerable debido a los problemas que presentan.

Análisis en la profundidad de 9 a 12m

A una profundidad de 9 a 12 metros (Figura 13), se observa una disminución en la presencia de arcillas (CH), que representan solo el 5% de los datos. La lutita aparece en un 10%, mientras que los limos (LH) predominan con un 17%. Los resultados de la refracción sísmica identificaron suelos de tipo B, D y C. Además, en algunos puntos se detectó la presencia de nivel freático.

Figura 13
Mapa geológico-geotécnico profundidad 9-12m



Fuente: Astudillo Ramón (2023).

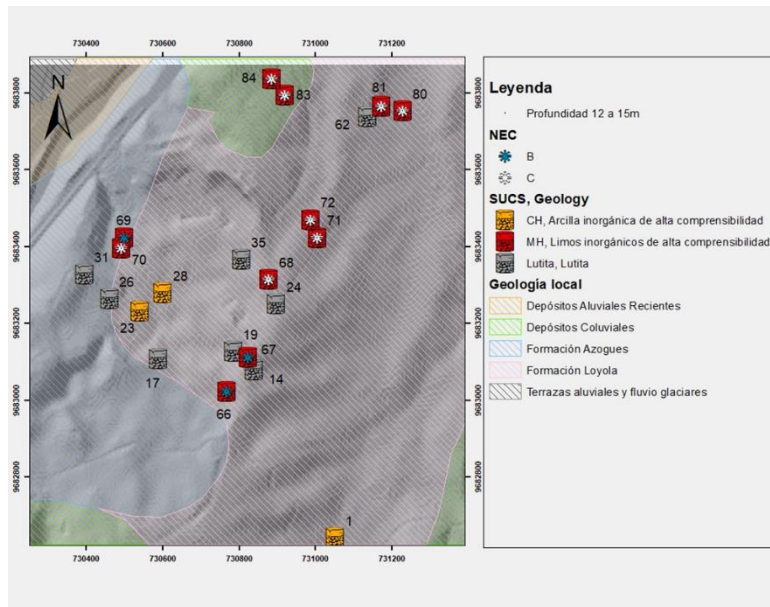
La presencia de arcillas y limos a esta profundidad representa un reto significativo desde el punto de vista geotécnico. Construir o mejorar el suelo a esta profundidad implica una desventaja económica muy considerable.

Análisis en la profundidad de 12 a 15m



El mapa geológico-geotécnico a una profundidad de 12 a 15 metros (Figura 14) revela que el suelo predominante son los limos de alta compresibilidad, que constituyen el 13%, seguidos de la lutita con un 10% y las arcillas de alta compresibilidad con un 4%. Aunque el porcentaje de arcillas es menor, su presencia a esta profundidad sigue siendo preocupante. Los resultados de refracción sísmica indicaron la presencia de suelos clasificados como tipo B y C. A esta profundidad, no se encontró presencia de nivel freático.

Figura 14
Mapa geológico-geotécnico profundidad 12-15m



Fuente: Astudillo Ramón (2023).

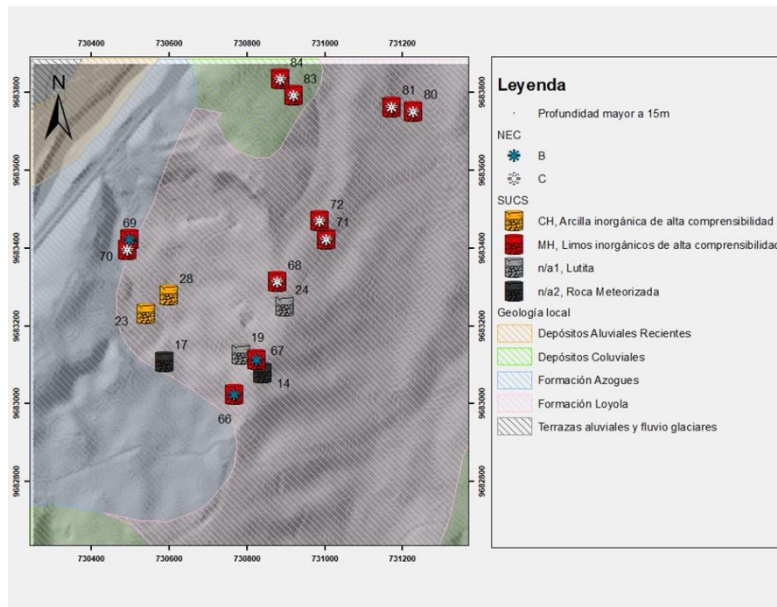
Análisis en la profundidad mayor a 15m

A una profundidad mayor a 15 metros, solo se ha registrado el tipo de suelo en el 20% de los datos. De este porcentaje, el suelo tipo MH es el predominante con un 13%, seguido por CH, lutita y roca meteorizada, cada uno con un 2%. Aunque el porcentaje de arcillas es bajo, su presencia a esta profundidad es muy preocupante, por lo que se debe tener especial cuidado en estos puntos y en los cercanos a ellos. En cuanto a la refracción sísmica, se identificaron suelos de tipo B y C. A esta profundidad, no se ha detectado presencia de nivel freático.

Figura 15



Mapa geológico-geotécnico profundidad mayor a 15m



Fuente: Astudillo Ramón (2023).

Análisis del Modelo 3D Geológico-Geotécnico

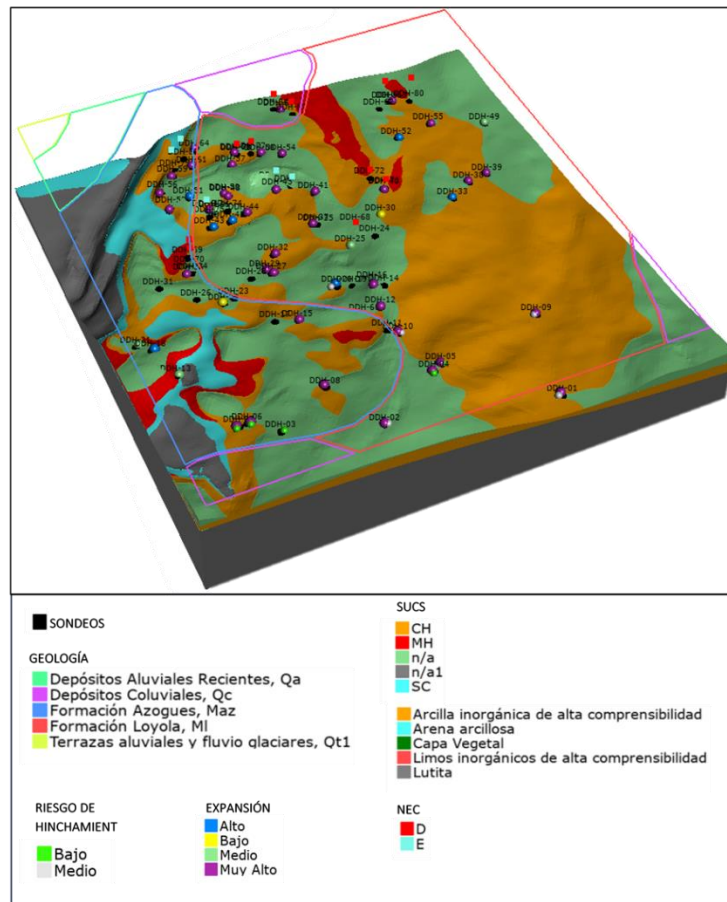
El modelo tridimensional geológico-geotécnico ofreció una representación visual detallada de las formaciones geológicas, el tipo de suelo según la clasificación SUCS, las propiedades de expansión y el riesgo de hinchamiento, así como la clasificación de suelos de acuerdo con la NEC, teniendo en cuenta la respuesta sísmica de los suelos del área de estudio.

En cuanto a la geología, se observó que las formaciones Azogues y Loyola abarcaban gran parte del territorio. Además, el modelo 3D presentó una estratificación del subsuelo en diferentes capas. La primera capa correspondió a la vegetación superficial, con una profundidad típica de 0.5 metros. La segunda capa reveló la presencia de arcillas inorgánicas de alta compresibilidad (CH), que fue el tipo de suelo predominante y se extendió por toda el área. En las capas subyacentes, se identificaron limos inorgánicos de alta compresibilidad (MH) en ciertos puntos del área, mientras que la arena arcillosa (SC) apareció en una zona más reducida. Finalmente, la cuarta capa mostró el suelo consolidado, representado por la lutita.



El modelo incorporó puntos de diferentes tamaños y colores para representar el grado de expansión del suelo. Los puntos más grandes indicaron las áreas más propensas a experimentar cambios volumétricos debido a la presencia de agua. El riesgo de hinchamiento se representó con puntos más pequeños, ubicados cerca de los puntos más grandes, lo que permitió identificar las zonas donde los suelos poseían propiedades expansivas más pronunciadas.

Figura 16
 Modelo tridimensional geológico-geotécnico en un área definida entre las parroquias Cuenca-Nulti



Fuente: Astudillo Ramón (2023).

Discusión



Este estudio desarrolló un mapa tridimensional geológico-geotécnico del área comprendida entre las parroquias Cuenca y Nulti Centro, a partir de la integración de la información disponible en el geoportal DATACHADEMICS de la Universidad Católica de Cuenca. Gracias a este proceso, se obtuvo información sobre las formaciones geológicas, tipos de suelo, grado de expansión y nivel freático en la zona de estudio, lo que facilita la comprensión y predicción de las condiciones del terreno para la construcción de futuras infraestructuras.

Sin embargo, la cantidad limitada de datos geotécnicos disponibles es una de las principales restricciones de este estudio, afectando la precisión del mapa tridimensional. Esto resalta la necesidad de contar con información más actualizada y extendida en varios puntos de la ciudad para mejorar la fiabilidad del modelo.

El mapa tridimensional geológico-geotécnico surge como una herramienta valiosa para la caracterización del subsuelo de la localidad Nulti Centro y se convierte en una fuente de referencia para la toma de decisiones en futuras obras civiles. Se sugiere la creación de un portal de acceso abierto donde los profesionales puedan cargar los sondeos y ensayos que realicen. Con el tiempo, esto permitiría ampliar la base de datos y mejorar la precisión de los mapas tridimensionales, ajustándolos cada vez más a la realidad del subsuelo.

Idealmente, se deberían crear múltiples mapas tridimensionales que caractericen los subsuelos de diferentes áreas de la ciudad. En el futuro, esto posibilitaría la creación de un mapa completo de toda la ciudad de Cuenca. Esta información estaría disponible para su estudio y análisis por parte de los profesionales de la construcción y otras áreas afines, promoviendo prácticas constructivas más conscientes y seguras.

Conclusiones

El modelo tridimensional geológico – geotécnico incorpora la clasificación SUCS que permitió generar el perfil estratigráfico de la zona, el grado de hinchamiento y la probable expansión en ciertos puntos, además incorpora el tipo de suelo según la NEC para el análisis de la resistencia sísmica.

En el área de estudio predominan las arcillas inorgánicas de alta comprensibilidad, existen puntos críticos en donde se tienen arcillas a más de 9 y 15m, con una alta expansividad y riesgo de hinchamiento. En un menor porcentaje, se limos inorgánicos de alta comprensibilidad y lutita.

Los mapas realizados muestran información a diferentes profundidades, comprendiendo así la relación entre la topografía y las características geológicas-geotécnicas del terreno. Estos resultados respaldan la información del “Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del



cantón Cuenca”, que determina que esta zona tiene una amenaza media por la inestabilidad de los terrenos, limitando a construir viviendas solamente hasta 2 pisos.

La conclusión es que el área de estudio localizada entre las parroquias Cuenca y Nulti es una zona que presenta alto nivel de riesgo y es considerada crítica para la construcción poniendo en peligro la vida de las personas y pérdidas económicas por daños en la infraestructura, construir en esta zona conlleva considerablemente un elevado presupuesto para mejorar la capacidad del suelo, sus propiedades y características.

Referencias bibliográficas

- Alvarado, A., Hibsich, C., & Pérez, V. H. (1994). Nuevos aportes para la geología del área de Quito y análisis de la paleosisimidad. In Quito: ORSTOM (Ed.), *Conferencias por los 20 Años de la ORSTOM en Ecuador* (pp. 151–160). Quito: ORSTOM. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers10-09/010006890.pdf
- Astudillo Ramón, Y. A. (2023). *Modelo 3D geológico-geotécnico del subsuelo en una área definida entre las parroquias de Cuenca y Nulti utilizando datos existentes del suelo* [Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Cuenca]. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/15982>
- Guamán, J., Calle, O., & Maldonado, J. (2024). Geovisor implementation for visualization of geodynamic and geomorphological properties of the subsoil: Case study Cuenca, Azuay, Ecuador. *MATEC Web of Conferences*, 396(19004), 1–16. <https://doi.org/10.1051/matecconf/202439619004>
- Mariano, E. (2020, September 21). *Modelo 3D en un área geológicamente compleja*. Energy y Commerce. <https://energyandcommerce.com.mx/modelo-3d-en-un-area-geologicamente-compleja/>
- Uzkeda, H., Poblet, J., Magán, M., Bulnes, M., Martín, S., & Fernández-Martínez, D. (2022). Virtual outcrop models: Digital techniques and an inventory of structural models from North-Northwest Iberia (Cantabrian Zone and Asturian Basin). *Journal of Structural Geology*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2022.104568>
- Valverde, J., Fernández, J., Jiménez, E., Vaca, T., & Alarcón, F. (2001). *Microzonificación sísmica de los suelos del distrito metropolitano de Quito*. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/58524.pdf>



Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

