



ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Geofísica aplicada en la exploración de aguas subterráneas de la Formación Monguí, Riohacha (Colombia)

Geophysics applied to groundwater exploration of the Mongui Formation, Riohacha (Colombia)

Jorge Javier Gómez Martínez  ¹, Jaime Segundo Manjarrés Cogollo  ², Elías Ernesto Rojas Martínez  ³, Dino Carmelo Manco Jaraba  ⁴ y Frank David Lascarro Navarro  ⁵

Fecha de Recepción: 23 de marzo de 2024

Fecha de Aceptación: 01 de diciembre de 2024

Cómo citar: Gómez Martínez., J. J., Manjarrez Cogollo, J. S., Rojas Martínez, E. E., Manco Jaraba, D. C., y Lascarro Navarro, F. L. (2025). Geofísica aplicada en la exploración de aguas subterráneas de la Formación Monguí, Riohacha (Colombia). *Tecnura*, 28(82), 12-26. <https://doi.org/10.14483/22487638.22004>

Resumen

Contexto: a lo largo de la historia, se ha constatado la escasez de agua en el departamento de La Guajira, y el profundo impacto en las necesidades esenciales de las poblaciones locales.

Objetivo: esta investigación propende a aplicar métodos geofísicos exploratorios en la Formación Monguí, mediante 17 sondeos eléctricos verticales (SEV) para identificar, clasificar y caracterizar las resistividades de los materiales existentes y determinar el potencial acuífero.

Metodología: los datos se procesaron en el programa *IPI2WIN*, diseñado para la interpretación 1D de las curvas de SEV a lo largo de un perfil. A partir de los datos obtenidos, se implementaron modelos de superposición de capas isorresistivas, gracias a los cuales se establecieron zonas potenciales para la captación de agua subterránea de la Formación Monguí.

Resultados: los valores encontrados por encima de los 12 ohmios resultan de interés debido a que se asocian con limos o arenas de grano fino saturadas con agua dulce o rocas masivas; áreas que resultan las más promisoria para la captación de agua subterránea.

¹Ingeniero geólogo. Fundación Universitaria del Área Andina. Valledupar, Colombia.  Correo electrónico: diegojara1920@gmail.com

²Ingeniero geólogo. Fundación Universitaria del Área Andina. Valledupar, Colombia.  Correo electrónico: keila-jobar@gmail.com

³M. C. Geología Económica, Geólogo. Fundación Universitaria del Área Andina. Valledupar, Colombia.  Correo electrónico: eliaser@hotmail.com

⁴M. C. Gestión Ambiental y Energética en las Organizaciones, Ingeniero de Minas. Docente Ocasional Universidad de La Guajira. Riohacha. Colombia.  Correo electrónico: dinomancojaraba@gmail.com, dcmancoj@uniguajira.edu.co

⁵Ingeniero geólogo. Fundación Universitaria del Área Andina sede Valledupar. Valledupar. Colombia.  Correo electrónico: frank.lascarro@unmsm.edu.pe

Conclusiones: la zona suroeste del área evaluada se presenta como la más promisoria para la captación de agua subterránea. Los SEV en la Formación Monguí arrojaron valores de resistividad que indican presencia probable de limos o arenas de grano fino saturadas con agua dulce.

Palabras clave: formación monguí, geofísica, isoresistividades, sondeos eléctricos verticales, sufer.

Abstract

Context: Throughout history, water scarcity has been noted in the department of La Guajira and the profound effect it has had in relation to the essential needs of local populations.

Objective: This research aims to apply exploratory geophysical methods to the Monguí Formation, through 17 vertical electrical soundings (VES) to identify, classify and characterize the resistivities of the existing materials and determine the aquifer potential.

Methodology: The data were processed using IPI2WIN software, designed for the 1D interpretation of the vertical electrical sounding curves (SEV) along a profile. Based on these data obtained, isoresistive layer superposition models were implemented to establish potential zones for groundwater capture in the Monguí Formation.

Results: values found above 12 ohms are of interest because they are associated with fine- grained silts or sands saturated with fresh water or massive rocks; being these areas the most promising for groundwater abstraction.

Conclusions: The southwestern (SW) zone of the evaluated area is presented as the most promising for groundwater abstraction. The vertical electrical soundings of Monguí yielded resistivity values that indicate the probable presence of silts or fine-grained sands saturated with fresh water.

Keywords: Geophysics, Isoresistivities, Mongui Formation, Vertical electrical soundings, Surfer.

Introducción

La geofísica se plantea como solución a las problemáticas para la exploración de agua subterráneas ([Auge, 2008](#); [Bakkali, 2006](#); [Bhattacharya y Shalivahan, 2016](#); [Fernández, 2012](#); [Mena Hernández, 2020](#); [Paganini Gismondi, 2019](#); [Paredes Ruiz, 2019](#); [Rodríguez Hernández, 2015](#)). Los sondeos eléctricos verticales (SEV) son métodos geofísicos que buscan reconocer la distribución de las resistividades del suelo, por medio de la determinación de las propiedades de las rocas con relación a la presencia de agua subterránea ([Auge, 2008](#); [Bakkali, 2006](#)).

Las aguas subterráneas son fuente importante; además de suplir necesidades de irrigación en la agricultura ([Fernández, 2012](#)), contribuyen al sostenimiento de corrientes, lagos, humedales y otros ecosistemas asociados ([Mendoza, 2019](#)). En este sentido, constituyen un recurso natural estratégico y fundamental para el desarrollo de los ecosistemas y poblaciones que dependen de poder explotarlos de forma sostenible y sustentable ([Corpoguajira y Universidad de Antioquia, 2013](#); [Daza-Daza *et al.*, 2018](#); [León y Acosta, 2015](#); [Ordoñez Gálvez, 2011](#)).

A lo largo de la historia, la escasez de agua en el departamento de La Guajira ha sido constante; situación que ha generado impactos en la satisfacción de las necesidades básicas de las comunidades locales. Esta problemática reviste gran relevancia; sin embargo, en múltiples ocasiones, ante escenarios de sequía, las autoridades regionales no han adoptado medidas efectivas ni sostenibles para enfrentarla; en consecuencia, se han incrementado los niveles de riesgo y vulnerabilidad en las zonas afectadas ([León y Acosta, 2015](#)).

Debido a la necesidad del agua potable de manera sustentable y eficiente para el desarrollo del departamento de La Guajira, es pertinente evaluar continuamente los acuíferos a través de estudios geofísicos e hidrogeológicos ([Fragozo, 2016](#)). Esta investigación tiene como objetivo caracterizar geofísicamente la Formación Monguí, para la exploración de aguas subterráneas en el corregimiento de Monguí, Riohacha (Colombia).

La Formación Monguí (N1m), según [Mosquera et al. \(1976\)](#), está conformada por arcillolitas arenosas de color amarillo pardo a amarillo verdoso, semicompactas e intercaladas con areniscas de color amarillo verdoso de grano medio a grueso, friables; conglomerados color amarillo pocos cohesivos, con cantos de tamaño de 0,5 a 5 cm de diámetros de origen ígneo y englobados en una matriz arenoso arcillosa. La formación está dispuesta por una sucesión semiconsolidada de arcillolitas a la base, que suprayace por un paquete de arenitas, finalizando al tope con un conglomerado matriz soportado semiconsolidado, lo cual le asigna una edad miocena (figura 1). Según [Rodríguez y Londoño \(2002\)](#) se encuentra cubierta discordantemente por depósitos cuaternarios (Qal) (Qca) no consolidados, con presencia de depósitos eólicos de arena fina cuarzosa.

Localización

El área de estudio está en el corregimiento de Monguí, municipio de Riohacha, departamento de La Guajira (Colombia), que limita al norte con el municipio de Riohacha; al sur, con el departamento del Cesar; y al oeste, con Venezuela (figura 1).

Metodología

Para el desarrollo de esta investigación, primero se efectuó una revisión histórica documental en diferentes bases de datos; posteriormente, se programaron salidas de campo para indagar la disponibilidad del recurso hídrico y características geológicas. De estas, se evidenció la necesidad de implementar 17 SEV aleatorios. Los datos se procesaron en el programa *IPI2WIN*, diseñado para la interpretación 1D de las curvas de SEV a lo largo de un perfil. De esta manera, fue posible comparar curvas de campo con curvas sintéticas generadas de modelos hipotéticos;

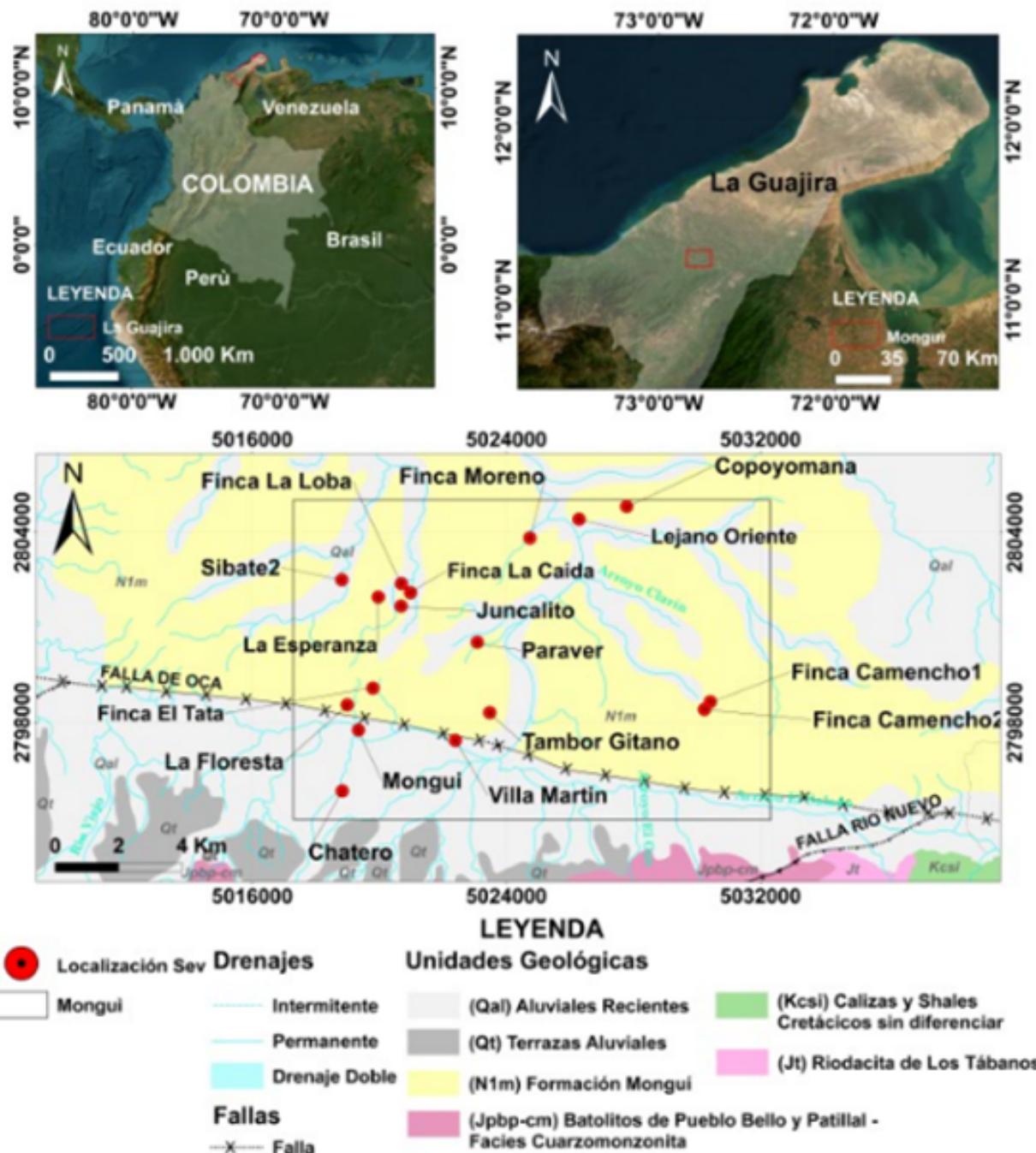


Figura 1. Localización del área de estudio

comparación que fue realizable hasta que ambos tipos de curvas alcanzaran un ajuste pre-terminado de bajo error (Esquivel, 2003).

Se establecieron relaciones entre los diferentes puntos de observación por medio de la elaboración de perfiles geoeléctricos; se analizó la variación de la resistividad del subsuelo tanto

lateralmente como en profundidad. Con el procesamiento de los datos adquiridos y su interpretación, se diseñó el modelo geofísico de la Formación Monguí en la plancha 14IIIB. La modelación fue realizada a partir de las resistividades obtenidas a diferentes profundidades, mediante los SEV. Los datos se procesaron empleando el *software SURFER.*, y se efectuó una distribución espacial de estos, en cada SEV. Esta se extendió hasta encontrarse resistividades de igual valor, para generar así zonas isoresistivas. Se elaboraron mapas de isoresistividad a diferentes niveles de cota de la siguiente manera: 60, 40, 20, 0, -20, -60, -90 y -120 m s. n. m. Estos niveles se seleccionaron con el fin de que representaran ampliamente la distribución lateral y vertical de las resistividades del subsuelo.

Resultados

Los SEV son una técnica geofísica para investigar las propiedades del subsuelo, especialmente la resistividad eléctrica de los materiales que lo componen. La interpretación de los datos obtenidos de estos sondeos y su correlación con los materiales presentes en el subsuelo son cruciales para comprender las estructuras geológicas y características hidrogeológicas de la zona de estudio.

En la tabla 1, se presentan los rangos y valores de resistividad asociados con diversos materiales geológicos; por ejemplo, aquellos altamente conductivos, como algunas capas de suelos saturados, tienden a valores de resistividad más bajos. Por otro parte, las rocas compactas, secas o con menor contenido de agua, suelen mostrar valores de resistividad más altos.

La interpretación de los datos con base en la tabla 1 ayuda a inferir la presencia de diferentes estratos geológicos, a identificar capas con aguas subterráneas, a evaluar la calidad de los acuíferos y a diferenciar la distribución de los materiales en el subsuelo.

Interpretación de las líneas geofísicas de sondeos eléctricos verticales (SEV)

En la figura 2 se ilustra la interpretación de nueve SEV, con base en el comportamiento de las resistividades. A continuación, se detallan las resistividades encontradas:

- *Figura 2A.* En los primeros metros de profundidad se presentan resistividades entre los 4,334 ohm-m y los 83,14 ohm-m correspondiente al primer paquete de materiales, constituido por sedimentos de textura muy gruesa, arenas, depósitos sin estructura, limos y arcillas. La segunda capa exhibe una resistividad de 29,11 ohm-m, relacionada con arenas finas a medias. La tercera sección se identifica con resistividad de 8,33 ohm-m integrada

Tabla 1. Rangos de resistividades

Ohm-m	Litología - Granulometría
0.1 3	Sedimentos con agua salobre
3 6.5	Arcillas y arenas de ambiente transicional saturadas.
6.5 12	Limos de ambiente transicional. Arcillas fluviales.
12 18	Limos o arenas finas saturadas (fluviales).
18 40	Arenas finas a medias saturadas.
40 120	Arenas medias a gruesas saturadas.
120 180	Gravas saturadas, rocas masivas fracturadas.
180 500	Arenas secas, rocas masivas fracturadas.
500 2000	Arenas medias a gruesas secas rocas masivas.
2000 5000	Gravas gruesas secas, rocas masivas.

por limos de ambiente transicional y arcillas fluviales. El cuarto segmento muestra resistividad de 27,14 ohm-m, asociado con arenas finas a medias., La quinta capa registra resistividad de 8,137 ohm-m, correspondientes a limos y arcillas. El sexto material reporta resistividad de 6,453 ohm-m constituida por arcillas y arenas saturadas.

- *Figura 2B.* En los primeros metros de profundidad hay resistividades entre los 31,63 ohm-m y los 152,3 ohm-m, correspondientes a sedimentos de textura muy gruesa, arenas, depósitos sin estructura, limos y arcillas. El segundo segmento presenta resistividad de 12,45 ohm-m, relacionada con limos o arenas finas. La tercera capa reporta resistividad de 3,546 ohm-m, asociada con arcillas y arenas. La cuarta sección exhibe resistividad de 11,82 ohm-m, integrada por limos de ambiente transicional y arcillas fluviales. El quinto material presenta resistividad de 149,7 ohm-m; está constituido por gravas saturadas o rocas masivas fracturadas. La sexta sección muestra una resistividad de 13,39 ohm-m relacionada con limos o arenas finas saturadas. Por último, se registra un paquete de materiales con resistividades de 0,8656 ohm-m y 2,23 ohm-m, integrado por sedimentos con agua salobre.
- *Figura 2C.* En los primeros metros de profundidad se presentan resistividades entre los 2,066 ohm-m y los 75,69 ohm-m, correspondientes al primer segmento de materiales constituido por sedimentos de textura muy gruesa, arenas, depósitos sin estructura, limos y

arcillas. La segunda capa registra una resistividad 8,375 ohm-m, relacionada con limos de ambiente transicional y arcillas fluviales. En la tercera sección hay resistividad de 2,109 ohm-m, integrada por sedimentos limos y arcillas. La cuarta capa muestra resistividad 134,6 ohm-m, asociada con gravas saturadas o rocas masivas fracturadas. La quinta capa reporta resistividad de 10,88 ohm-m, con limos de ambiente transicional y arcillas fluviales. Por último, se muestra un paquete de materiales con resistividades de 1,334 ohm-m y 1,721 ohm-m constituidos por sedimentos con agua salobre.

- *Figura 2D.* En los primeros metros de profundidad se presentan resistividades entre los 8,395 ohm-m y los 11,96 ohm-m, correspondientes al primer paquete de materiales constituido por sedimentos limos de ambiente transicional y arcillas fluviales. La segunda sección presenta un paquete de resistividades de 10,78 ohm-m y 11,31 ohm-m, y se relaciona con sedimentos limo-arenosos y arenas finas. El tercer segmento, identificado con resistividad de 83,79 ohm-m, se asocia con arenas finas a medias. El cuarto material presenta un segmento de resistividades de 15,38 ohm-m y 18,07 conformado por limos o arenas finas saturadas.
- *Figura 2E.* En los primeros metros de profundidad hay resistividades entre los 4,232 ohm-m y los 85,82 ohm-m; primer paquete de materiales constituido por sedimentos superficiales secos, arenas medias a gruesas. La segunda capa ostenta una resistividad de 12,17 ohm-m, relacionada con limos o arenas finas. La tercera sección se identifica con resistividad de 22,6 ohm-m, propia de arenas finas a medias. El cuarto segmento reporta resistividad de 3,37 ohm-m, integrada por arcillas y arenas de ambiente transicional. El quinto material tiene resistividad de 11,78 ohm-m, propia de limos de ambiente transicional y arcillas fluviales. El sexto paquete con resistividad de 44,26 ohm-m, constituido por arenas medias a gruesas saturadas. La séptima sección registra resistividad de 19,72 ohm-m, relacionada con arenas finas a medias saturadas.
- *Figura 2F.* En los primeros metros de profundidad se presentan resistividades entre los 91,42 ohm-m y 203,2 ohm-m, correspondientes al primer segmento de materiales constituidos por sedimentos superficiales y arenas secas. En la segunda sección hay una resistividad de 16,74 ohm-m, relacionada con limos o arenas finas. La tercera capa, identificada con resistividad de 184,8 ohm-m, se asocia con arenas secas o roca masiva fracturada. El cuarto paquete exhibe resistividad de 51,68 ohm-m, integrado por arenas medias a gruesas. La quinta capa reporta resistividad de 13,56 ohm-m, propia de limos o arenas finas. El sexto paquete tiene una resistividad de 196,2 ohm-m, y está constituido por arenas secas. La séptima capa, con resistividad de 9,868 ohm-m, se relaciona con limos de ambiente transicional y arcillas fluviales. Por último, la octava capa registra resistividad de 132,1 ohm-m, y está integrada por gravas saturadas o rocas masivas fracturadas.

- *Figura 2G.* En los primeros metros de profundidad se presentan resistividades entre los 10,2 ohm-m y 109 ohm-m, correspondientes al primer paquete de materiales constituido por sedimentos superficiales, arenas y arcillas secas. La segunda capa registra una resistividad de 3,907 ohm-m, relacionada con arcillas y arenas de ambiente transicional. La tercera sección se identifica con resistividad de 53,17 ohm-m, y se asocia con arenas medias a gruesas. El cuarto segmento presenta resistividad de 3,064 ohm-m, y está integrado por arcillas y arenas de ambiente transicional. El material quinto reporta resistividad de 42,76 ohm-m, correspondiente a arenas medias a gruesas. La sexta capa ostenta un paquete de materiales con resistividades de 1,516 ohm-m y 3,11 ohm-m, correspondientes a arenas y arcillas saturadas. Por último, el séptimo paquete exhibe una resistividad de 6,481 ohm-m, y está relacionado con arcillas y arenas de ambiente transicional saturadas.
- *Figura 2H.* En los primeros metros de profundidad se presentan resistividades entre los 12 ohm-m y 15,27 ohm-m, y un primer paquete de materiales constituido por sedimentos superficiales arenas y limos secos. La segunda sección exhibe una resistividad de 72,41 ohm-m, relacionada con arenas medias a gruesas. La tercera capa se identifica con un paquete de materiales con resistividades de 8,805 ohm-m y 12,44 ohm-m, integrado por limos o arenas finas. El cuarto segmento registra una resistividad de 2,339 ohm-m, asociada con arcillas o limos saturados. La quinta capa muestra una resistividad de 18,69 ohm-m, correspondiente a arenas finas a medias. Por último, el sexto material reporta una resistividad de 77,64 ohm-m, y está conformado por arenas medias a gruesas saturadas.
- *Figura 2I.* En los primeros metros de profundidad se presentan resistividades entre los 42,05 ohm-m y los 71,09 ohm-m, correspondiente al primer paquete de materiales constituido por sedimentos de arenas medias a gruesas secas. La segunda sección muestra una resistividad de 23,73 ohm-m, y se relaciona con arenas finas a medias. El tercer segmento registra una resistividad de 5,559 ohm-m, y está integrado por arcillas y arenas de ambiente transicional. La cuarta capa presenta resistividad de 8,256 ohm-m, y se asocia con limos y arcillas de ambiente transicional. El quinto material exhibe una resistividad de 1,511 ohm-m, correspondiente a sedimentos con agua salobre. La sexta capa tiene una resistividad de 20,51 ohm-m, y está constituida por arenas finas a arenas medias saturadas. Por último, el séptimo paquete muestra resistividad de 730,7 ohm-m, y está asociado con gravas saturadas o roca masiva fracturada.

Distribución de frecuencias de las resistividades de la Formación Monguí

Teniendo en cuenta que la resistividad es la oposición de un material frente al paso de corriente eléctrica, en la figura 3 se representan las distribuciones de frecuencias de las resistivi-

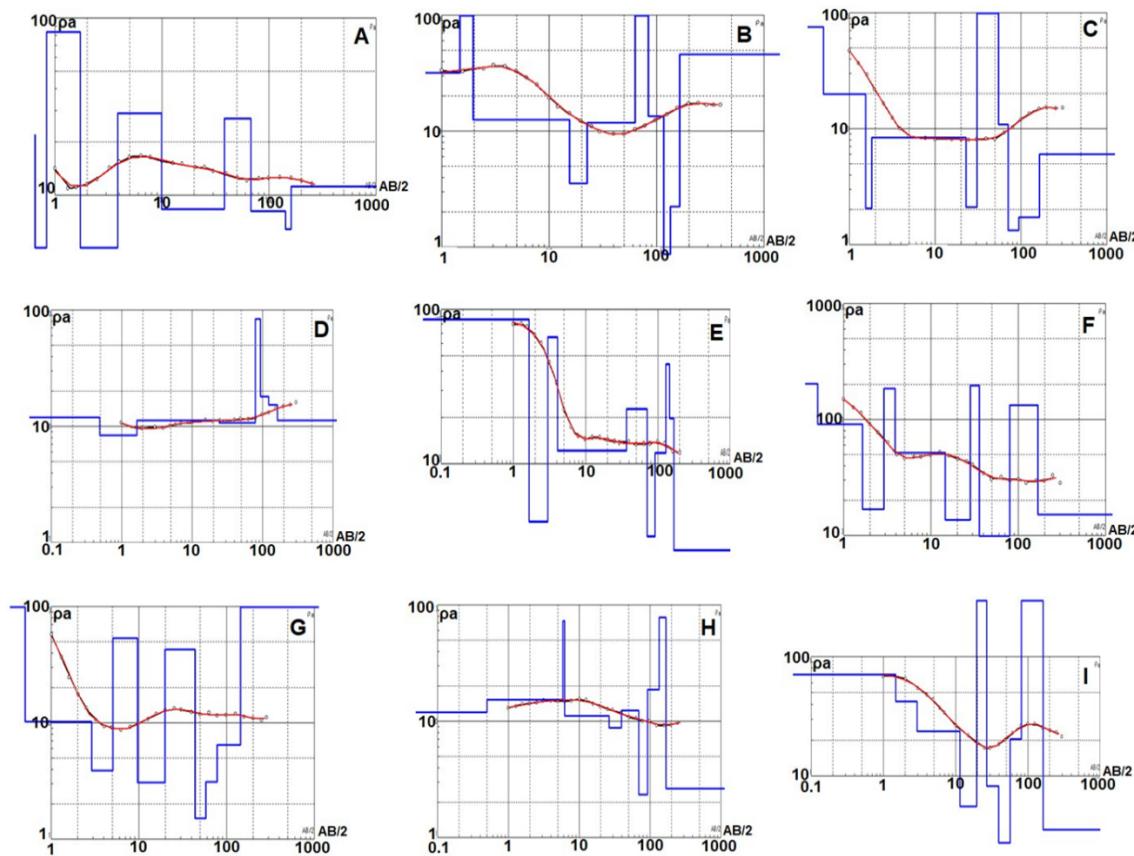


Figura 2. Líneas geofísicas de sondeos eléctricos verticales (SEV)

dades del subsuelo en la Formación Monguí, obtenidas de los SEV. Allí se observan los valores de resistividades más reiterativos en el presente estudio.

El análisis de las distribuciones de frecuencias de resistividades proporciona una visión detallada de la heterogeneidad del subsuelo en la Formación Monguí. Esas distribuciones representan prevalencia y ocurrencia de ciertos valores de resistividad en el subsuelo, y proporcionan información fundamental sobre la composición y la estructura de la Formación Monguí. Los valores de resistividad más frecuentes sugieren características geológicas particulares, como zonas de fracturación o cambios abruptos en la litología.

La observación de valores de resistividad reiterativos revela patrones significativos en la composición del subsuelo. La repetición de valores de resistividad indica presencia de capas homogéneas de material geológico con propiedades eléctricas similares como: estratos sedimentarios, rocas porosas o estratos saturados. Estas capas pueden ser de gran importancia en la evaluación de la calidad y la disponibilidad de recursos hídricos en la zona.

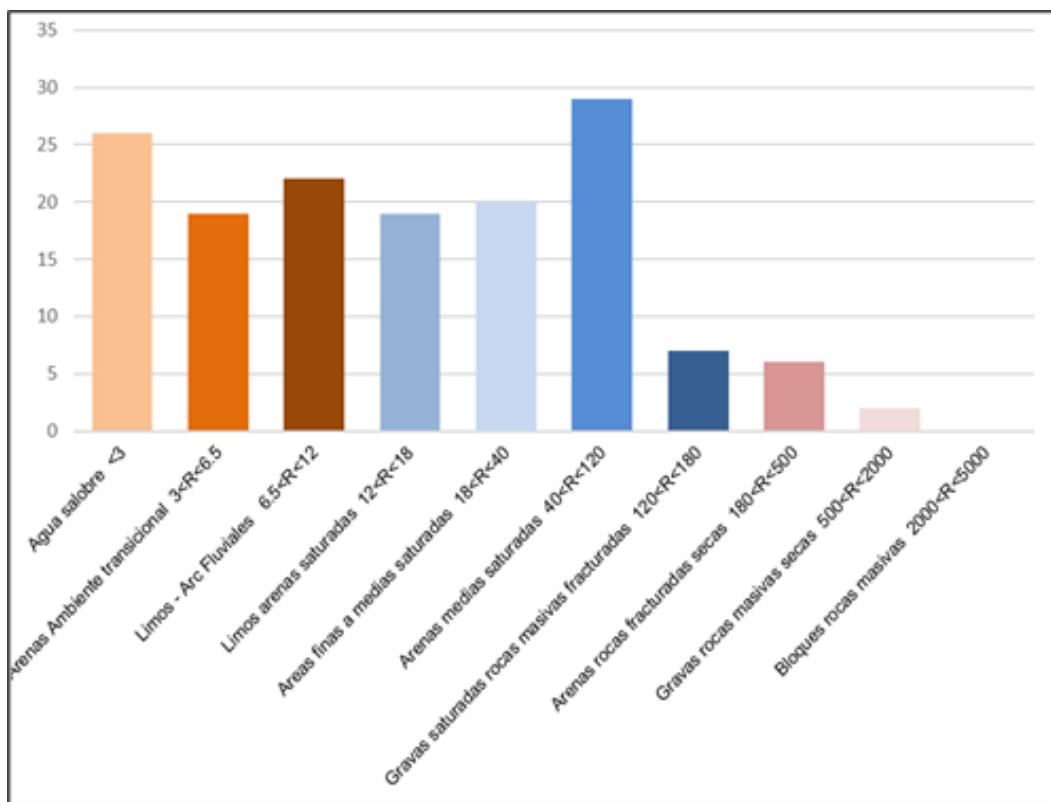
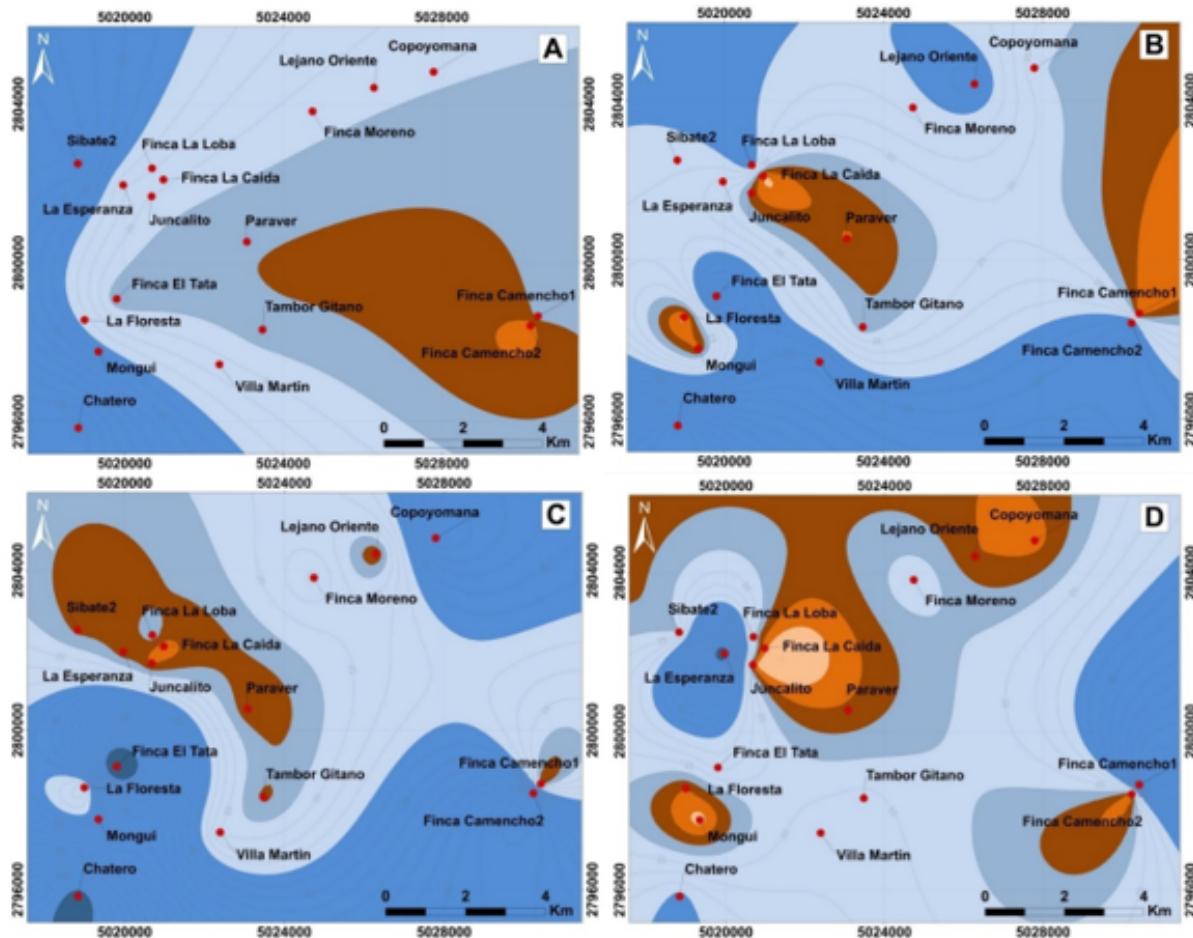


Figura 3. Distribución de frecuencias de las resistividades de la Formación Monguí

Modelación a partir de los datos geofísicos de la Formación Monguí

Las capas en la cota 60 m s. n. m. presentan interés hidrogeológico, debido a los valores de resistividad exhibidos mayores a 12 ohm-m, y están asociadas con limos y arenas de grano finos, suturadas con agua dulce o roca masiva en el área occidental en toda la distribución norte-sur (NS) de la zona evaluada en la plancha 14IIIB (figura 4A). En la cota 40 m s. n. m., los valores de interés hidrogeológico se muestran en las áreas noroeste (NO) y sur (S) de la zona (figura 4B), mientras que en la cota 20 m s. n. m. se presentan hacia el noreste (NE) y S (figura 4C), y en la cota 0 m s. n. m. los valores mayores a 12 ohm-m se distribuyen hacia el NE y el sector central sur de la zona evaluada (figura 4D).

Además, las capas en la cota -20 m s. n. m. presentan interés hidrogeológico, debido a los valores de resistividad exhibidos mayores a 12 ohm-m, y están asociadas a limos y arenas de grano finos, suturadas con agua dulce en las áreas NE y SO de la zona evaluada (figura 5A). En la cota -60 m s. n. m., los valores mayores a 12 ohm-m se distribuyen hacia el NE y SO de la zona evaluada (figura 5B), mientras que en la cota -90 m s. n. m. las zonas de interés se muestran al N y SO de la zona (figura 5C). En la cota -120 m s. n. m. los valores mayores a 12 ohm-m se distribuyen al NO y SO (figura 5D).

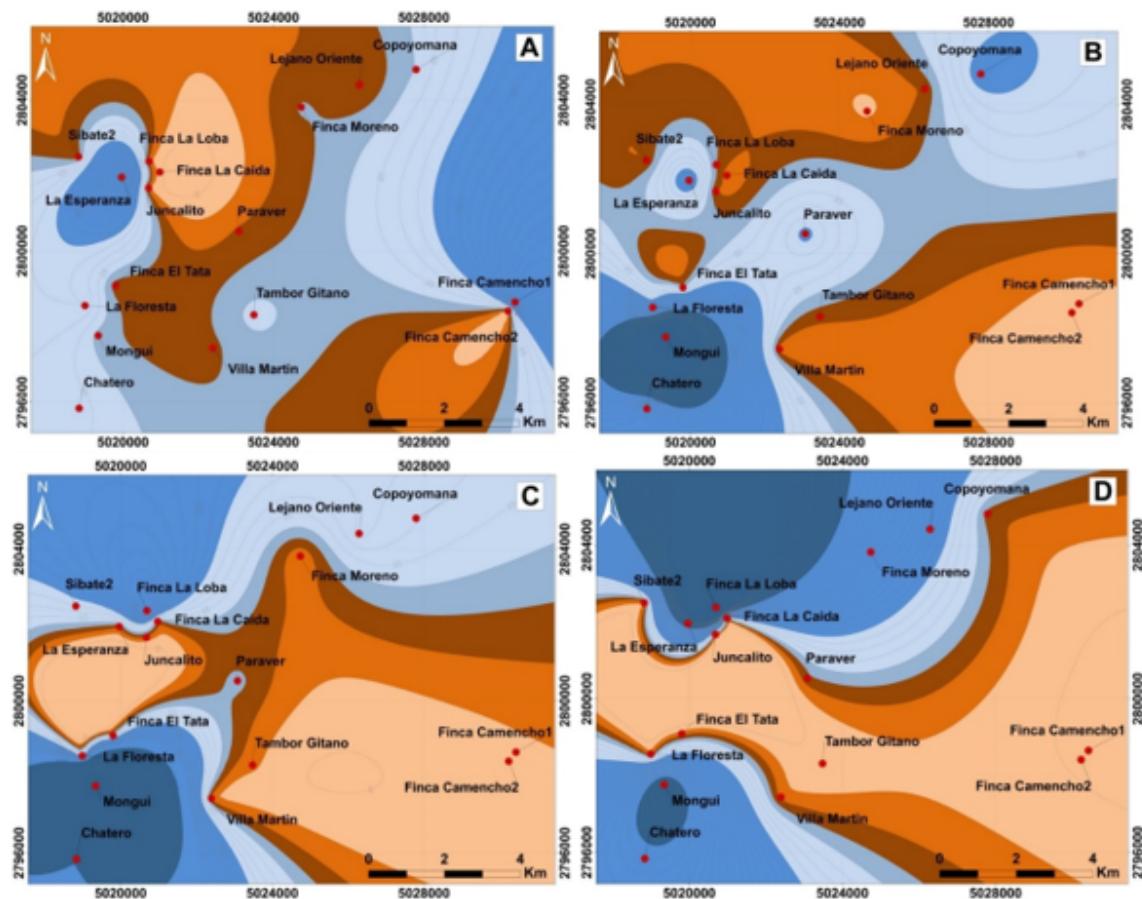


A: 60 m.s.n.m. B: 40 m.s.n.m. C: 20 m.s.n.m. D: 0 m.s.n.m.

Figura 4. Modelamiento de las resistividades de la Formación Monguí a diferentes profundidades

A: 60 m.s.n.m. B: 40 m.s.n.m. C: 20 m.s.n.m. D: 0 m.s.n.m.

Con base en la superposición de capas de los mapas de isorresistividades a diferentes niveles de cotas (60, 40, 20, 0, -20, -60, -90 y -120 m s. n. m.), se establece la probabilidad de encontrar agua subterránea si se parte de los valores de resistividad necesarios. En la zona de estudio los resultados corresponden a resistividades que oscilan entre 0,1 a 180 ohmios, donde se pueden encontrar sedimentos con agua salada, sedimentos con agua salobre y sedimentos con agua dulce. Aquellos valores que superan los 12 ohmios son de interés debido a que se asocian con limos o arenas de grano fino, saturadas con agua dulce. Se observa que el área SO de la zona evaluada es la más promisoria para la captación de agua subterránea, donde está situado el SEV de Monguí, con una profundidad de 178,02 metros en la cota -120 m s. n. m. (figura 6).



A: -20 m s. n. m. B: -60 m s. n. m. C: -90 m s. n. m. D: -120 m s. n. m.

Figura 5. Modelamiento de las resistividades de la Formación Monguí a diferentes profundidades

A: -20 m s. n. m. B: -60 m s. n. m. C: -90 m s. n. m. D: -120 m s. n. m.

Conclusiones

Debido a la aplicación de la geofísica en la exploración de aguas subterráneas en la Formación Monguí, se identificaron zonas de interés hidrogeológico, que contribuyen significativamente a la gestión eficiente y responsable de los recursos hídricos en la Formación.

La relevancia de los valores por encima de 12 ohmios, como indicadores de importancia hidrogeológica, se ha establecido y asociado principalmente con limos o arenas de grano fino, saturadas con agua dulce. Esta relación es crucial para la determinación de posibles áreas con potencial para la captación de agua subterránea en la Formación Monguí.

La zona suroeste (SO) del área evaluada se muestra como la más promisoria para la captación de agua subterránea, debido a la ubicación específica del sondeo eléctrico vertical (SEV)

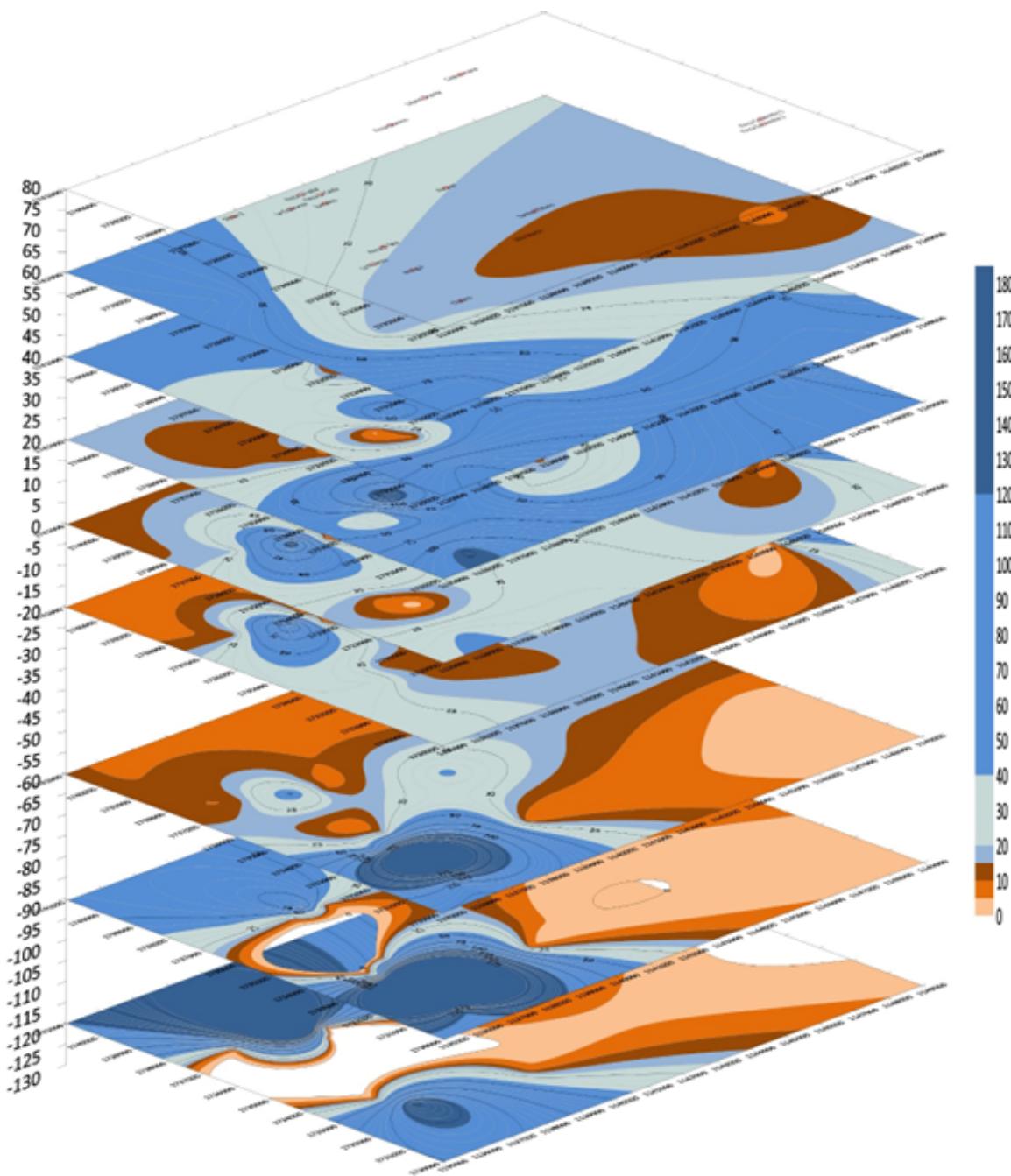


Figura 6. Modelo de superposición de resistividades a diferentes profundidades de la Formación Monguí

de Monguí, que arrojó valores de resistividad que indican la presencia probable de limos o arenas de grano fino, saturadas con agua dulce a una profundidad de 178,02 metros en la cota -120 m s. n. m. Este sector es fundamental para la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos, el desarrollo sostenible y la planificación de proyectos que requieren acceso a fuentes de agua subterránea.

Referencias

- Auge, M. P. (2008). *Métodos geoeléctricos para la prospección de agua subterránea*. Universidad de Buenos Aires. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/153281>
- Bakkali, S. (2006). Utilización de sondeos eléctricos para el diagnóstico del potencial hídrico de la región de Tizeght (anti-atlas marroquí). *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 7(2), 71-84. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432006000200001&script=sci_abstract
- Bhattacharya, B. B., y Shalivahan, S. (2016). *Geoelectric methods: theory and application*. McGraw-Hill Education.
- Corpoguajira y Universidad de Antioquia. (2013). *Plan de manejo ambiental de acuífero (PMAA). Cuenca del río Ranchería. Informe final*. Convenio Interadministrativo 143 de 2013. https://www.corpoguajira.gov.co/web/attachments_Joom/article/1180/Informe%20Final%20PMAA%20Fase%20I.pdf
- Daza-Daza, A. R., Rodríguez-Valencia, N., y Carabalí-Angola, A. (2018). El recurso agua en las comunidades indígenas wayuu de La Guajira colombiana. Parte 1: una mirada desde los saberes y prácticas ancestrales. *Información Tecnológica*, 29(6), 13-24. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000600013>
- Esquivel, J. (2003). *Prospección geoeléctrica para agua subterránea en los municipios de Los Patios y Villa del Rosario, departamento Norte de Santander*. Subdirección de Ensayo y Servicios Tecnológicos.
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147-170. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86325090002>
- Fragozo Maestre, J. A. (2016). *Caracterización espacial mediante prospección geoelectrica del acuífero Moguí localizado en la cuenca del río Ranchería* [Tesis de grado, Fundación Universitaria del Área Andina]. Repositorio Institucional AREANDINA. <https://digitk.areandina.edu.co/handle/areandina/924>
- León Linares, E., y Acosta Arias, C. M. (2015). *Ánálisis de vulnerabilidad del territorio por sequía en el departamento de La Guajira, Colombia, a partir de una visión basada en necesidades básicas insatisfechas* [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional UCaC. <http://hdl.handle.net/10983/2706>
- Mena Hernández, A. E. (2020). *Sondeos eléctricos verticales, en la localidad de Santa María, San Pedro Huamelula, Oaxaca, para fines geohidrológicos* [Tesis de pregrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/11815>

Mendoza Veirana, G. (2019). *Determinación del basamento hidrogeológico en el sector sur de la Cuenca Interserrana mediante sondeos eléctricos verticales* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata]. Repositorio Institucional de la UNLP. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/98501>

Mosquera, F., Arango, J., Carreño, J., Aguilera, H., y Valencia, M. (1976). *Exploración de acuíferos de la alta y media Guajira. Capítulo I, Geología*. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras.

Ordoñez Gálvez, J. J. (2011). *Cartilla técnica: aguas subterráneas-acuíferos*. Sociedad Geográfica de Lima. <https://agua.org.mx/biblioteca/cartilla-tecnica-aguas-subterraneas-acuiferos/>

Paganini Gismondi, F. A. (2019). *Evaluación de resultados de sondeos eléctricos verticales en la prospección de agua subterránea en la provincia de Neuquén, Argentina* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Comahue]. Repositorio Digital Institucional de la UNCo. <http://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/15494>

Paredes Ruiz, A. V. (2019). *Potencial acuífero mediante el sondeo eléctrico vertical (SEV) en las unidades litoestratigráficas en la zona de Agocucho 2019* [Tesis de licenciatura]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <http://hdl.handle.net/11537/21795>

Rodríguez Hernández, N. (2015). *Determinación de zonas potencialmente almacenadoras de agua a partir de sondeos eléctricos verticales en la localidad de José María Morelos, municipio de Cuapiaxtla, Tlaxcala* [Tesis de licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio de la BUAP. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/9036>

Rodríguez, G., y Londoño, A. C. (2002). *Memoria explicativa del mapa geológico del departamento de La Guajira. Geología, recursos minerales y amenazas potenciales*. (2.ª ed.). Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras.

