

Consolidación del Inventario de Información de Aguas Subterráneas para el Área de  
Jurisdicción de la CDMB

Julio Mario Florez Bonza

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniería Civil

Director

SANDRA ROCÍO VILLAMIZAR AMAYA

Ph.D. Sistemas Ambientales

Tutor empresarial

MIGUEL ÁNGEL ÁLVAREZ JAIMES

Esp. Geotecnia Ambiental.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniería Civil

Bucaramanga

2025

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	9
1. Antecedentes .....	12
1.1. Marco contextual .....	12
1.2 Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB....	13
1.3. Marco conceptual.....	17
1.3.1. Las aguas subterráneas dentro del ciclo hidrológico de una cuenca.....	17
1.3.2. Monitoreo de las aguas subterráneas .....	18
1.3.3. Los sistemas de información geográfica como una herramienta para agregar información espacial.....	21
2. Objetivos.....	23
2.1 Objetivo General.....	23
2.2 Objetivos Específicos.....	23
3. Metodología .....	24
3.1 Primera Fase.....	24
3.1.2 Recolección de información .....	24
3.1.2 Análisis de datos .....	25
3.1.3 Tratamiento de datos.....	25
3.1.4 Visita de campo.....	26
3.2 Segunda Fase .....	27
3.2.1 Creación de la base de datos .....	27
4. Resultados .....	28

4.1 Resultados de la Primera Fase .....	28
4.1.1 Puntos exactamente duplicados .....	30
4.1.1.1 Coincidencia entre SGC1 y SGC4.....	31
4.1.1.2 Coincidencia entre SGC2 y SGC3.....	31
4.1.1.3 Coincidencia entre UIS1 y Concesiones CDMB.....	31
4.1.1.4 Coincidencia entre UIS5 y SGC3.....	31
4.1.2 Puntos duplicados .....	31
4.1.2.1 Coincidencia entre UIS1 y UPB.....	31
4.1.2.2 Coincidencia entre UIS1 y Concesiones CDMB.....	32
4.1.2.3 Coincidencia entre UIS1, UIS3, UIS4 y UIS5.....	32
4.1.2.4 Coincidencia entre UIS1, CDMB, SGC2 y UIS6.....	32
4.1.2.5 Coincidencia entre UIS1, UIS2, AMB y IDEAM.....	32
4.1.3 Posibles puntos duplicados .....	33
4.1.3.1 Coincidencia entre UIS1, CDMB, SGC2 y UIS6.....	33
4.1.4 Visitas de campo .....	34
4.1.4.1 Visitas a manantiales.....	34
4.1.4.2 Visitas a pozos/piezómetros.....	36
4.2 Resultados de la Segunda Fase .....	39
4.3 Selección de Puntos de Monitoreo del 2024.....	41
5. Conclusiones y recomendaciones .....	43
Referencias Bibliográficas .....	45

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 <i>Listado de estudios y listados recogidos</i> .....	29
Tabla 2 <i>Resumen de puntos hidrogeológicos de cada estudio/listado</i> .....	30
Tabla 3 <i>Coincidencia entre UIS1, UIS2, AMB y IDEAM</i> .....	33
Tabla 4 <i>Resumen de coincidencias entre investigaciones</i> .....	34
Tabla 5 <i>Manantiales visitados</i> .....	34
Tabla 6 <i>Propiedades fisicoquímicas de los manantiales visitados</i> .....	35
Tabla 7 <i>Pozos y piezómetros visitados</i> .....	37
Tabla 8 <i>Distribución de puntos de agua subterránea por municipio</i> .....	39
Tabla 9 <i>Puntos de monitoreo para el año 2024</i> .....	42

**Lista de Figuras**

Figura 1 <i>Jurisdicción de la CDMB y sus municipios</i> .....	14
Figura 2 <i>Cuencas hidrográficas de la CDMB</i> .....	15
Figura 3 <i>Esquema de la metodología</i> .....	24
Figura 4 <i>Manantial M8</i> .....	35
Figura 5 <i>Toma de muestra del manantial M8</i> .....	36
Figura 6 <i>Pozo P7</i> .....	38
Figura 7 <i>Piezómetro P9</i> .....	38
Figura 8 <i>Distribución espacial del inventario en los municipios</i> .....	40
Figura 9 <i>Visualización de la base de datos del inventario de aguas subterráneas en QGIS</i> .....	41
Figura 10 <i>Distribución espacial de los puntos de monitoreo</i> .....	42

### **Lista de Apéndices**

Los apéndices se encuentran adjuntos y pueden ser consultados en la base de datos de la Biblioteca UIS.

**Apéndice A.** Estructura de modelo de base de datos.

**Apéndice B.** Vínculos a información de estudios recolectados.

**Apéndice C.** Coincidencia de datos entre los distintos estudios.

**Apéndice D.** Puntos con errores de localización de SGC2.

**Apéndice E.** Comparación de los diferentes estudios.

## Resumen

**Título:** Consolidación del Inventario de Información de Aguas Subterráneas para el Área de Jurisdicción de la CDMB \*

**Autor:** Julio Mario Florez Bonza \*\*

**Palabras Clave:** Punto hidrogeológico, estándar, SIG, PIRMA, monitoreo.

### Descripción:

El agua subterránea es un reservorio fundamental que, en la mayoría de los casos representa la mayor incertidumbre para la comprensión del ciclo hidrológico de una cuenca hidrográfica. Este es el caso de las cuencas de los ríos Lebrija, Cáchira y Sogamoso donde, a la fecha, no se tiene claridad sobre la información disponible que pueda servir para cerrar la brecha de conocimiento sobre este recurso. El Plan de Desarrollo de la actual dirección de la CDMB contempla la implementación del Programa Institucional Regional de Monitoreo del Agua (PIRMA) y para lograr este objetivo, es necesario iniciar con la consolidación del inventario de información de aguas subterráneas para el área de jurisdicción de la CDMB. Esta práctica empresarial se enfocó en, primero, identificar los datos alfanuméricos y espaciales de aguas subterráneas existentes en los estudios desarrollados por diferentes entidades que tienen injerencia en el área de estudio y, segundo, construir una base de datos geoespacial de la información de aguas subterráneas para el área de estudio, teniendo en cuenta formatos y estructuras de datos estándares. Se revisó un total de 15 estudios y 3 inventarios provenientes de entidades gubernamentales y académicas buscando identificar y extraer datos alfanuméricos y espaciales relevantes. Se desarrolló un proceso de estandarización de estos datos, que consistió en la normalización y conversión a formatos geoespaciales estándares y la verificación de los puntos duplicados entre las diferentes fuentes del inventario. Para algunos puntos, fue necesario realizar visitas de campo, clarificando así dudas sobre su ubicación y tipología. La creación de la base de datos consistió en el diseño de la estructura, la carga de información y generación de la documentación para su respectiva entrega a la CDMB. En total, la base de datos estructurada incluye información para 822 puntos hidrogeológicos clasificados como 258 pozos, 90 aljibes o cisternas, 106 piezómetros, 4 bocaminas y 364 manantiales. Para facilidad en el manejo de la información, la base de datos se estructuró en Excel y los datos fueron estandarizados siguiendo los formatos institucionales. También se generó un archivo espacial en formato shapefile de esta base de datos, que se puede abrir en cualquier Software GIS. En campo se logró verificar 40 puntos de agua y recolectar uno nuevo. El valor agregado de este trabajo se resume en la consolidación del inventario de aguas subterráneas para el área de jurisdicción de la CDMB, el cual sirvió para la selección de los nuevos puntos de monitoreo para el año 2024; y las respectivas recomendaciones para el uso de este inventario.

---

\* Consolidación del Inventario de Información de Aguas Subterráneas para el Área de Jurisdicción de la CDMB

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Programa académico. Director: Sandra Rocío Villamizar Amaya. Dr. En Sistemas Ambientales. Codirector: Miguel Ángel Álvarez Jaimes. Especialista en geotecnia ambiental.

## Abstract

**Title:** Consolidation of the Groundwater Information Inventory for the CDMB Jurisdiction Area

\*

**Author(s):** Julio Mario Florez Bonza\*\*

**Key Words:** Hydrogeological point, standard, GIS, PIRMA, monitoring.

### Description:

Groundwater is a critical reservoir that, in most cases, represents the greatest source of uncertainty in the characterization of the hydrological cycle within a watershed. This is particularly evident in the Lebrija, Cáchira, and Sogamoso river basins, where, to date, there is no comprehensive assessment of the available data that could contribute to closing the existing knowledge gap on this resource. The Development Plan of the current administration of the Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) includes the implementation of the Regional Institutional Water Monitoring Program (PIRMA). As an initial step toward achieving this objective, it is essential to consolidate an inventory of groundwater data within the CDMB's jurisdictional area. This study focused on two key objectives: (i) identifying existing alphanumeric and spatial groundwater data from studies conducted by various entities with jurisdiction in the study area, and (ii) developing a geospatial database of groundwater information, adhering to standardized data formats and structures. A total of 15 studies and 3 inventories from governmental and academic sources were analyzed to extract and systematize relevant alphanumeric and spatial data. A data standardization process was implemented, involving normalization, conversion to standard geospatial formats, and verification of duplicate records across different inventory sources. For certain data points, field verification campaigns were conducted to resolve uncertainties regarding their spatial location and classification. The database development process encompassed schema design, data integration, and documentation generation for its formal submission to the CDMB. The resulting structured database comprises 822 hydrogeological data points, classified as follows: 258 wells, 90 cisterns, 106 piezometers, 4 mine adits, and 364 springs. To facilitate data management, the database was structured in Excel, with standardized formatting aligned to institutional guidelines. Additionally, a shapefile was generated to ensure compatibility with Geographic Information Systems (GIS) for spatial analysis and visualization. Field validation efforts confirmed 40 groundwater points and incorporated one new data point into the inventory. The primary contribution of this study is the consolidation of a groundwater inventory for the CDMB's jurisdictional area, which served as the basis for selecting new monitoring points for 2024. Furthermore, recommendations were provided regarding the optimal utilization and future updating of this inventory.

---

\* Consolidation of the Groundwater Information Inventory for the CDMB Jurisdiction Area

\*\* Faculty of Physical-Mathematical Engineering. School of Civil Engineering. Academic Program. Director: Sandra Rocío Villamizar Amaya. PhD in Environmental Systems. Codirector: Miguel Ángel Álvarez Jaimes. Specialist in Environmental Geotechnics.

## Introducción

El agua subterránea, como recurso hídrico fundamental, se inicia a partir de la infiltración del agua de lluvia o de fuentes superficiales en los poros del suelo, lo que permite su almacenamiento en acuíferos al final del proceso de percolación. Constituye el 96% del agua líquida dulce disponible en el planeta (Betancur Vargas, 2023), y es crucial para el abastecimiento humano y diversos usos. Sin embargo, está expuesta a agentes contaminantes, principalmente de origen humano (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Dirección de Gestión Integral de Recurso Hídrico, 2014).

Es innegable la importancia de gestionar, monitorear y coordinar este recurso hídrico para el desarrollo socioeconómico sostenible, preservando los ecosistemas y la vida dependiente de él (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Dirección de Gestión Integral de Recurso Hídrico, 2014), Colombia ha evolucionado sus normativas y políticas ambientales para alinearse con los estándares internacionales de desarrollo sostenible, incluyendo la adhesión al Comité de Política Ambiental de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), la agenda 2030 para el desarrollo sostenible y el Acuerdo de París (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB, 2020); estas políticas públicas ambientales incluyen la Política Nacional de Cambio Climático, la Política para la Gestión Sostenible del Suelo (PGSS), la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE), la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH), entre otras; las cuales son las directrices o lineamientos base que se deben tomar para la planeación, protección, prevención y control de los recursos naturales entre los cuales está el recurso hídrico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023).

En el marco de las políticas y normativa ambiental colombiana, a nivel regional, la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) ha elaborado varios planes para la gestión ambiental, como el Plan de Gestión Ambiental Regional (PGAR), los planes de ordenamiento del recurso hídrico (POHR), los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (POMCAS), y el Plan de Acción CDMB 2020-2023, entre otros, siendo instrumentos que han servido como base para la gestión de los recursos naturales en la zona de influencia de la CDMB (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB, 2020).

El Programa Institucional Regional de Monitoreo de Cantidad y Calidad del Agua (PIRMA) es el documento rector para el monitoreo del agua en la jurisdicción de la CDMB; cuyo marco normativo se fundamenta en la PNGIRH, el Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico (PNMRH) y en la designación del compromiso de monitoreo y seguimiento del recurso hídrico, de manera explícita, a las autoridades ambientales en su área de jurisdicción; y el cual se alinea con el Plan de Acción 2020-2023 de la CDMB, que busca garantizar la seguridad hídrica como pilar de sostenibilidad. Cuenta con un horizonte de aplicación hasta el año 2031 y permitirá abordar la necesidad de la CDMB de fortalecer su base de conocimiento sobre las aguas subterráneas en su jurisdicción, debido a que ha establecido objetivos específicos para el monitoreo de las aguas subterráneas, incluyendo el control y seguimiento de su estado y dinámica, el análisis de su cantidad y calidad, y la generación de insumos para evaluar la vulnerabilidad y riesgo de contaminación (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB, 2022). Una de las necesidades prioritarias para alcanzar estos objetivos dentro de las actividades del PIRMA es la actualización periódica del inventario de puntos de agua subterránea dentro del territorio de la jurisdicción de la CDMB. Se requirió, entonces, del apoyo de un

estudiante de ingeniería civil en práctica para identificar la información existente en diferentes entidades, extraer datos geográficos y alfanuméricos relevantes de dichos estudios, y estructurarlos según los requerimientos y prácticas actuales de la CDMB. En este documento se reporta el trabajo realizado por el estudiante para consolidar el inventario de información de aguas subterráneas para el área de jurisdicción de la CDMB. También se muestra la implementación del inventario de aguas subterráneas desarrollado para la selección de los nuevos puntos de monitoreo de agua subterránea del año 2024; monitoreo que lleva adelantando la CDMB desde el año 2023 como parte de la reactivación de la red de monitoreo de agua subterránea en la región.

## **1. Antecedentes**

### **1.1. Marco contextual**

A nivel internacional los países buscan cómo gestionar sus recursos naturales de manera sostenible en pro del desarrollo socioeconómico, destacando la importancia del trabajo conjunto de los actores involucrados para cumplir sus roles preservando la biodiversidad, la atmosfera, los suelos y el agua. Por ello buscan orientar sus políticas a un enfoque ambiental ajustándose a diferentes organismos multilaterales para el direccionamiento de sus políticas ambientales. De esta manera Colombia, a través de los años, ha evolucionado sus normas y políticas ambientales para ajustarse a los requerimientos mundiales para el desarrollo sostenible, tal como el ingreso al Comité de Política Ambiental de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), la agenda 2030 para el desarrollo sostenible y el Acuerdo de Paris (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB, 2020).

En pro de este avance medioambiental sostenible el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible publicó en 2010 la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH). Esta política busca la correcta gestión y aprovechamiento del recurso hídrico, la tierra y los recursos naturales relacionados en favor del desarrollo socioeconómico sostenible, sin afectar los ecosistemas y seres vivos que dependen del mismo. Esto requiere considerar el agua en todos sus componentes del ciclo hidrológico y su interdependencia con los demás recursos naturales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Dirección de Gestión Integral de Recurso Hídrico, 2014). El agua subterránea, como parte del ciclo hidrológico, representa el 96% del agua líquida dulce que hay en el planeta (Betancur Vargas, 2023); a pesar de ser la principal fuente de abastecimiento de distintas regiones del país, se presentan vacíos en el conocimiento y preparación técnica y académica del tema, como también escaso trabajo articulado de los niveles

nacional, regional y local para la generación de información que permita gestionar y planificar el recurso (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Dirección de Gestión Integral de Recurso Hídrico, 2014). Esto resulta en el desconocimiento de aspectos fundamentales como la oferta y demanda de este recurso.

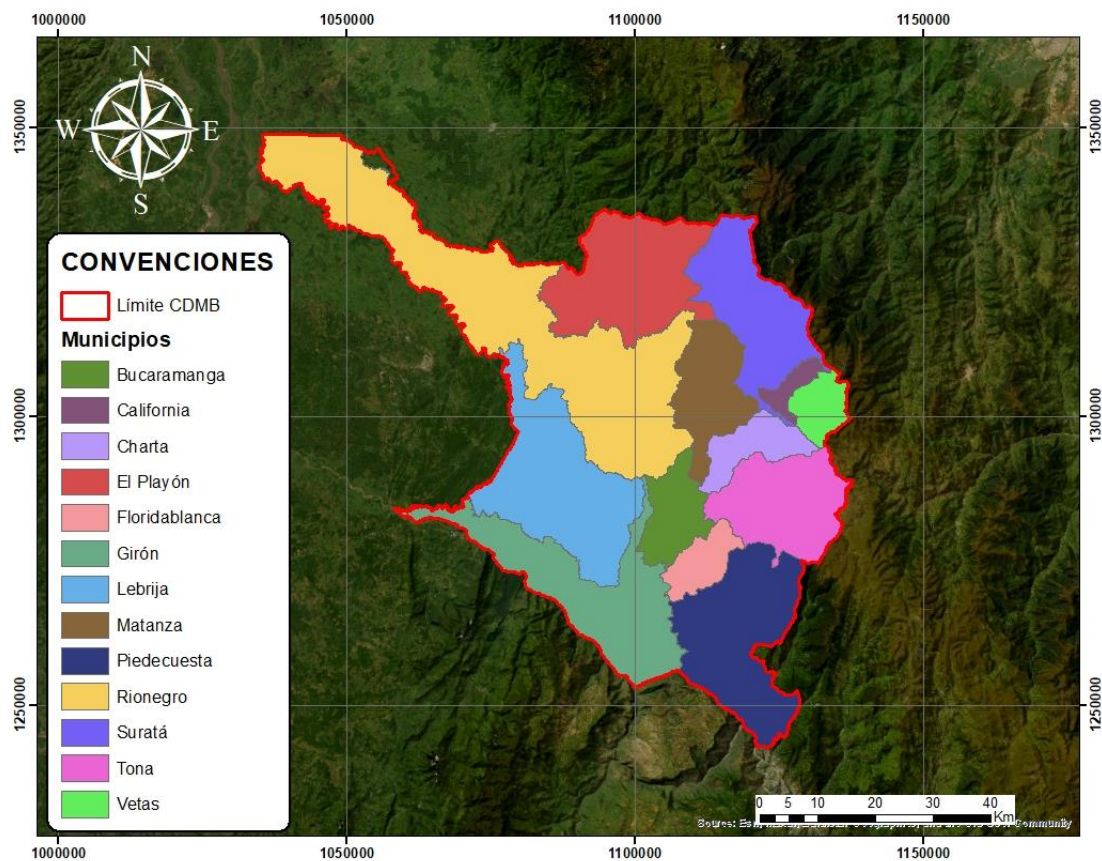
El Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH) establece que las autoridades ambientales regionales y urbanas dentro del SIRH deberán realizar el monitoreo y seguimiento del recurso hídrico en el área de su jurisdicción aplicando protocolos y estándares establecidos (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB, 2022). En cuanto a aguas subterráneas, solo alrededor de un 55% de las autoridades ambientales han reportado información de esta temática para su jurisdicción y muy pocas cuentan con adecuada información hidrogeológica de sus zonas de jurisdicción. Esto demuestra la poca inversión y conocimiento que se tiene de este recurso fundamental. Es primordial, entonces, para las corporaciones regionales adelantar investigaciones del agua subterránea para poder establecer modelos hidrogeológicos conceptuales (MHC) relevantes y redes de monitoreo de las unidades hidrogeológicas con ayuda de los Programas Institucionales Regionales de Monitoreo del agua (PIRMA) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023).

## **1.2 Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB**

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB es un ente corporativo de carácter público, el cual es integrado por entidades territoriales que comparten geográficamente un mismo ecosistema. Esta se encarga de administrar medioambientalmente su zona de jurisdicción la cual comprende 13 municipios de Santander (Bucaramanga, Floridablanca, Girón, Piedecuesta, Vetas, California, Suratá, Matanza, Charta, Tona, El Playón y Rionegro y Lebrija), y ejecutar políticas, planes, proyectos y programas

medioambientales y sobre recursos naturales renovables (CDMB, 2021). En la Figura 1 se puede observar el mapa de la jurisdicción de la CDMB y sus municipios. En su zona de jurisdicción confluyen las cuencas hidrográficas de Cáchira Sur, Lebrija Medio, Lebrija Alto, Chítagá, Chicamocha y Sogamoso (Corporación autónoma regional para la defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB, n.d.). En la Figura 2 se observa la distribución de estas cuencas en la jurisdicción de la CDMB.

**Figura 1** Jurisdicción de la CDMB y sus municipios.



Nota. Mapa de elaboración propia.

**Figura 2** Cuencas hidrográficas de la CDMB

Nota: Las subcuencas de la Cuenca del Río Sogamoso que confluyen en la zona de jurisdicción corresponden a las que tributan directo al Río Sogamoso, Hidrosogamoso, Quebrada Pujamán y Río Sucio. Mapa de elaboración propia.

El origen de la CDMB se da a raíz del problema erosivo que tenía la escarpa occidental de la meseta de Bucaramanga que empezó a sufrir la población en la década de los años 50, iniciando un plan de emergencia que se encargaría de controlar este fenómeno con la construcción de obras de drenaje, estabilización de la escarpa y el alcantarillado (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB, 2020). De este modo la CDMB ha avanzado en cuanto al control de las aguas subterráneas en la meseta de Bucaramanga, realizando investigaciones sobre el comportamiento de estas a través de los años. El Programa Institucional

Regional de Monitoreo del Agua (PIRMA) es el documento base para el monitoreo del agua en la zona de jurisdicción de la CDMB; su marco normativo se fundamenta en la Política Nacional para la gestión integral del recurso hídrico (PNGIRH), el Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico (PNMRH) y en la designación del compromiso de monitoreo y seguimiento del recurso hídrico a las autoridades ambientales de su jurisdicción (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB, 2022).

Para la presentación de productos cartográficos, la CDMB se acoge a las directrices del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el cual se adapta a los nuevos avances de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) con el fin de proporcionar características y especificaciones para los productos finales que puedan ser usados en diferentes tecnologías. El IGAC en la Resolución 370 del 2021 establece el sistema de proyección cartográfica oficial para Colombia con un único origen denominado “Origen Nacional”, referido al Marco Geocéntrico Nacional de Referencia, también denominado MAGNA SIRGAS el cual se encuentra codificado en el European Petroleum Survey Group como EPSG:9377 (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2021). También en la Resolución 658 del 2022 se establece las especificaciones técnicas mínimas para la generación de cartografía temática oficial de los instrumentos de ordenamiento territorial (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2022). Por otro lado, la CDMB cuenta con el Centro de Documentación Ambiental (CDA) el cual se constituye como la herramienta fundamental para la construcción y divulgación del conocimiento en su área de jurisdicción (Centro de Documentación Ambiental CDMB, 2024).

### 1.3. Marco conceptual

#### 1.3.1. *Las aguas subterráneas dentro del ciclo hidrológico de una cuenca*

**Agua subterránea:** Como parte del ciclo hidrológico, el agua subterránea corresponde al agua que se infiltra en la profundidad a través de los poros del subsuelo, y que puede almacenarse en acuíferos o retornar a cuerpos de agua. Esta cumple un papel importante en la regulación de las corrientes superficiales hídricas o prestando diversos servicios ecosistémicos; es por ello que surge la importancia de conocer el estado y dinámica de este recurso (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Dirección de Gestión Integral de Recurso Hídrico, 2014).

**Acuífero:** Se denomina acuífero a todo estrato o formación geológica que permita la circulación de agua y almacenamiento que puede ser aprovechado por el humano. El agua encerrada en la formación geológica puede ocupar sus poros o vacíos intergranulares, y moverse lentamente a través de fracturas, diaclasas y grietas existentes; de este modo, hay autores que clasifican los acuíferos por porosidad y fracturación o fisuración. También se clasifican los acuíferos por su capacidad de transmitir agua así (Custodio & Llamas, 1997):

**Acuicludo:** es una formación geológica que contiene agua en su interior incluso hasta la saturación, pero no puede transmitirla, imposibilitando su explotación.

**Acuitardo:** son varias formaciones geológicas que contienen agua, pero la transmiten de manera lenta, y que en condiciones especiales puede recargar verticalmente a otros acuíferos.

**Acuifugo:** corresponde a aquellas formaciones geológicas que no pueden almacenar agua y por tanto no la transmiten.

**Unidad hidrogeológica:** una unidad hidrogeológica corresponde a una o varias unidades geológicas adyacentes que presentan propiedades o características hidráulicas similares (Betancur Vargas, 2023).

**Modelo hidrológico conceptual (MHC):** un modelo hidrogeológico conceptual (MHC) de los sistemas acuíferos es el resultado de la integración del conocimiento de las aguas subterráneas como producto del monitoreo, evaluación y gestión del recurso, este se conforma por el modelo hidrológico, hidroquímico, hidráulico y geológico, los cuales ayudan a comprender la dinámica del fluido a través de los sistemas acuíferos. Este modelo debe tener una continua actualización de datos provenientes del monitoreo permanente y sistemático por medio de pozos y piezómetros que permiten llegar a unidades acuíferas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023).

### ***1.3.2. Monitoreo de las aguas subterráneas***

El monitoreo de las aguas subterráneas consiste en la observación continua de varios puntos seleccionados estratégicamente en un territorio para evaluar variables fisicoquímicas y biológicas, lo que permite entender la dinámica de los sistemas acuíferos (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019).

**Punto de monitoreo de agua subterránea:** corresponde a los puntos de extracción y monitoreo del agua subterránea hechos por el humano tales como los pozos, aljibes, cisternas y piezómetros, y los puntos de brote natural del agua subterránea a la superficie tales como los manantiales (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019).

**Diseño de red de monitoreo de aguas subterráneas:** Para el diseño de una red de monitoreo de aguas subterráneas es necesario establecer los objetivos que se desean alcanzar con esta; estos pueden ser piezometría, hidro-geoquímica, calidad del agua e isotopía (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019):

- 1. Piezometría:** este aspecto tiene como fin observar las variaciones del nivel del agua, el cálculo de la recarga del acuífero, así como la elaboración de modelos

que representen las superficies piezométricas y las redes de flujo. Una red de minitorneo piezométrica se hace para cada unidad hidrogeológica en la zona de estudio.

- 2. Hidrogeoquímica:** este objetivo permite definir en un modelo hidrogeológico conceptual lo cual puede implicar la interpretación del origen y evolución de agua subterránea, la relación entre atmósfera - superficie, corrientes – lagos-acuífero, acuífero-océano, del ciclo hidrológico, y determinar los tiempos de residencia y la edad del agua subterránea. Los parámetros que se miden están relacionados con los minerales y compuestos químicos más abundantes en las formaciones geológicas donde circula el agua, y en este sentido se miden aniones y cationes en el agua, así como también otros parámetros que indican la evolución química del agua subterránea, tales como, Alcalinidad, pH, Conductividad, STD y Dureza total.
- 3. Calidad del agua:** permite evaluar el potencial uso del agua subterránea bajo estándares de calidad, el impacto de diferentes fuentes de contaminación en el agua subterránea y por ende establecer medidas de protección de estas. Los parámetros que se miden deben estar asociados a las posibles fuentes de contaminación de la zona, el Decreto 3930 de 2010 (hoy compilado en el 1076 de 2015) reglamenta los criterios de calidad para la destinación del recurso hídrico utilizando por lo menos los parámetros: Demanda química de oxígeno (DQO), Demanda bioquímica de oxígeno a cinco (5) días (DBO5), Sólidos Suspendidos (SS), pH, temperatura, Oxígeno Disuelto (OD), Caudal, datos hidrobiológicos, Coliformes Totales y Coliformes Fecales.

- 4. Isotopía:** permite determinar las zonas de recarga de acuíferos y los mecanismos que intervienen en esta, así como también establecer el origen del agua subterránea. Los parámetros que se miden corresponden a los isotopos dependiendo según sea el objetivo del estudio del agua subterránea, los cuales sirven para determinar diferentes características y condiciones del agua, tales como dinámica, origen y contaminación.

**Requisitos generales para el diseño de una red de monitoreo del agua subterránea:**

Para definir una red de monitoreo es necesario contar con la información preliminar del inventario de puntos de agua subterránea y el respectivo modelo hidrogeológico conceptual de la zona de estudio, los criterios generales para el diseño de una red de monitoreo de agua subterránea independientemente del objetivo del estudio corresponden a (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019)(Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019)(Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019):

- 1. Número de puntos y su distribución espacial:** estos se determinan según sea la extensión de la zona de estudio, su escala de trabajo y los recursos financieros disponibles para los procesos de toma y análisis de muestras.
- 2. Unidades Hidrogeológicas:** cada unidad hidrogeológica de estudio debe tener ubicado puntos de muestreo.
- 3. Cuerpos de agua superficiales:** corresponden a aquellos cuerpos de agua superficial relacionados con los sistemas de acuíferos en la zona de estudio.
- 4. Condiciones de la captación o punto de muestreo:** se debe considerar el método de explotación y el diseño técnico de la captación para identificar la unidad o unidades hidrogeológicas que corresponden los datos. También se

deben tener en cuenta las condiciones de acceso a los puntos de muestreo y su frecuencia de toma de datos.

### ***1.3.3. Los sistemas de información geográfica como una herramienta para agregar información espacial.***

**Sistema de Información Geográfica (GIS):** un sistema de información geográfica funciona como una base de datos georreferenciada que está diseñada para visualizar, editar, gestionar y analizar información geográfica, siendo útil para la planificación y gestión de los territorios en la toma de decisiones. Este tipo de información geográfica tiene una posición absoluta (coordenadas), una posición relativa (topología) y atributos (datos alfanuméricos). Estos poseen los siguientes subsistemas de tratamiento de datos: el almacenamiento y organización de datos espaciales gráficos, almacenamiento y organización de datos espaciales alfanuméricos, tratamiento de datos y reporte de resultados. La entrada de datos a los sistemas de información geográfica normalmente está relacionada a la digitalización de información gráfica, dibujo de mapas y datos en tabla o base de datos (Gobernación de la Provincia de Buenos Aires, 2011) (Gobernación de la Provincia de Buenos Aires, 2011) (Gobernación de la Provincia de Buenos Aires, 2011).

El SIG se caracteriza por: (i) incluir un lenguaje de análisis de datos que permite a los usuarios crear sentencias de programación o recursos de análisis dentro de las limitaciones del lenguaje; (ii) contar con reglas de coherencia que aseguran la comprobación y mantenimiento de la integridad de los datos; (iii) mejorar la capacidad y los recursos gráficos mediante la automatización de la cartografía; y (iv) ofrecer la posibilidad de gestionar datos descriptivos no gráficos, realizar consultas a la base de datos y aplicar estadísticas espaciales. Un ejemplo de esto es que, si el usuario modifica los límites de las entidades gráficas, el sistema actualiza

automáticamente el campo correspondiente a la superficie o área en la base de datos asociada (Gobernación de la Provincia de Buenos Aires, 2011) (Gobernación de la Provincia de Buenos Aires, 2011) (Gobernación de la Provincia de Buenos Aires, 2011).

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo General**

Consolidar el inventario de información de aguas subterráneas en el área de jurisdicción de la CDMB.

### **2.2 Objetivos Específicos**

1. Identificar los datos alfanuméricos y espaciales de aguas subterráneas existentes en los estudios desarrollados por diferentes entidades que tienen injerencia en el área de estudio.

2. Construir una base de datos geoespacial de la información de aguas subterráneas para el área de estudio, teniendo en cuenta formatos y estructuras de datos estándares.

### 3. Metodología

En este apartado se explica de manera esquemática el proceso metodológico llevado a cabo para desarrollar la base de datos, la figura 3 muestra las dos fases de la metodología para alcanzar los dos objetivos específicos de este trabajo.

**Figura 3** Esquema de la metodología



#### 3.1 Primera Fase

##### 3.1.2 Recolección de información

La recolección de información consistió primero en la identificación de las entidades o instituciones relevantes para la investigación de estudios relacionados con el agua subterránea. Luego se procedió a la búsqueda en la base de datos disponibles del SGC (Motor de Integración de Información Geocientífica – MIIG, el cual es una herramienta que el SGC proporciona al

público para la descarga de información almacenada en el SIG) y de la biblioteca de la UIS. También se solicitó información mediante Derechos de Petición a las diferentes entidades identificadas y a través de un memorando enviado a la CDMB.

### ***3.1.2 Análisis de datos***

El análisis de datos consistió en la revisión de cada uno de los estudios encontrados en la recolección de información, buscando datos alfanuméricos (características de cada punto hidrogeológico tales como, propietario, nombre, tipo de punto, propiedades fisicoquímicas, usos, entre otras que ayuden a definirlo e identificarlo) y datos espaciales correspondientes a las coordenadas y elevación del punto. Luego se extrajeron y se almacenaron en diferentes carpetas de cada estudio.

### ***3.1.3 Tratamiento de datos***

En el tratamiento de datos se normalizaron los datos extraídos de cada estudio en el paso anterior en hojas de Excel conservando los atributos de propietario, nombre, tipo de punto, expediente de la concesión, coordenadas y elevación. Luego utilizando el Software QGIS se procedió a convertirlos a formatos geoespaciales estándares (Shapefile) para poder visualizarlos de manera gráfica en el mapa y así poder determinar los puntos duplicados entre los diferentes estudios y las inconsistencias de los datos.

Para determinar los puntos duplicados, se analizaron las coincidencias de los diferentes estudios identificando tres tipologías: los puntos que compartían las mismas coordenadas y atributos como propietario de la concesión de agua, tipo de punto y uso de la concesión (Puntos exactamente duplicados), los puntos que compartían ciertos atributos, pero diferían en coordenadas (Puntos duplicados), y los puntos cuya información no era suficiente para definir la coincidencia, pero que, por su ubicación, posiblemente se tratara del mismo punto (Posibles puntos duplicados).

Para determinar estas coincidencias de diferentes atributos entre los estudios, se utilizó el Software QGIS, mediante la herramienta de geoproceto para interceptar los datos de los estudios que, por simple visualización, parecían ser los mismos, entonces fue un proceso entre interceptar distintos estudios y comparar de manera visual; de este modo se pudo evidenciar inconsistencias en los datos como coordenadas incorrectas y/o ubicación del punto.

Luego de haber realizado en su totalidad el tratamiento de datos y haber determinado las distintas coincidencias e inconsistencias en los datos, se realizó una depuración de los datos duplicados asociándolos a una sola coordenada para el punto y rescatando la información relevante de ambos puntos duplicados como podrían ser las pruebas de las propiedades fisicoquímicas.

#### ***3.1.4 Visita de campo***

Se programaron visitas de campo para verificar ciertos puntos del inventario de datos ya depurados; estas se hicieron en los meses de agosto, septiembre y octubre. Las visitas de campo también tuvieron un objetivo para la CDMB de verificar y seleccionar nuevos puntos para el monitoreo de agua subterránea del 2024.

Estas se hicieron bajo la coordinación del tutor empresarial y mi persona; un ingeniero químico y una ingeniera ambiental de la CDMB se encargaron de dirigir el procedimiento de toma de muestras y medición de las propiedades fisicoquímicas. Las visitas a manantiales se hicieron en su mayoría en la cuenca de Río Frío en el municipio de Tona, debido a la gran concentración de manantiales en esta zona. Las visitas hechas a pozos y piezómetros se realizaron en el área metropolitana de Bucaramanga y Lebrija, esto debido a la prioridad de la CDMB en monitorear el área metropolitana y por la gran demanda que tiene el agua subterránea en el municipio de Lebrija.

## **3.2 Segunda Fase**

### ***3.2.1 Creación de la base de datos***

Para definir la estructura de la base de datos se utilizó el modelo de datos de La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA para la presentación de los estudios Diagnóstico Ambiental De Alternativas (DAA), Estudio De Impacto Ambiental (EIA), Plan De Manejo Ambiental Específico (PMAE) e Informe De Cumplimiento Ambiental (ICA), que actualmente utiliza la CDMB. El diccionario de la estructura del modelo de datos fue proporcionado por la CDMB, el cual contiene la estructura con los diferentes campos que la conforman. En el Apéndice A se observa la descripción de cada campo. Estos campos fueron organizados en un Excel de manera que se generó la base de datos para proceder a pasar los datos de los puntos inventariados. Luego se generó la base de datos definitiva en un archivo shapefile el cual se puede editar y actualizar en cualquier software GIS para el manejo de los funcionarios de la CDMB.

#### **4. Resultados**

En esta sección se muestra los resultados obtenidos en las dos fases metodológicas. Adicionalmente se muestra los avances en la programación del monitoreo de agua subterránea de la CDMB en el 2024, en el cual se utilizó el inventario realizado para tomar decisiones respecto a la selección de los puntos de monitoreo; objetivo que no está enmarcado en el plan del trabajo, pero que refuerza el inventario realizado y el producto entregado para la CDMB.

##### **4.1 Resultados de la Primera Fase**

Las entidades que se tuvieron en cuenta para solicitar información por su enfoque ambiental e injerencia en el territorio colombiano corresponden al Instituto de Hidrología Meteorología Y Estudios Ambientales (IDEAM), Servicio Geológico Colombiano (SGC), Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (amb), Universidad Industrial de Santander (UIS), la Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios de Lebrija ESPL y la CDMB. Se solicitó información a las entidades identificadas mediante Derechos de Petición y a través de un memorando a la CDMB. De las solicitudes hechas a las entidades, la CDMB, el amb, el SGC, el AMB y la ESPL respondieron positivamente, proporcionando información relevante para este trabajo. También se encontró en la base de datos de la CDMB investigaciones realizadas por otras entidades como el Ministerio Vivienda, Ciudad y Territorio, la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), la Electrificadora de Santander (ESSA), la UIS, el AMB y el SGC. En la tabla 1 se puede observar la lista de estudios y listados recogidos de las diferentes entidades o instituciones, a cada estudio se le asignó un código para denominarlo fácilmente y el año de publicación; en el caso de los listados de concesiones y del ESPL, el año corresponde al año en que se hizo la solicitud de la información.

**Tabla 1** Listado de estudios y listados recogidos

Entidad/Insti tución	Código de estudio/listado	Año	Tipo de documento	Título
UPB	UPB	2011	Estudio	Diseño de la Red de Inclínómetros y Piezómetros en el Área Metropolitana de Bucaramanga
Minvivienda	Minvivienda	2013	Estudio de consultoría	Análisis de Riesgo y Estudio de Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa e Inundación para el Municipio de Suratá en el Departamento de Santander
UIS	UIS1	2011	Trabajo de grado	Inventario de Puntos de Aguas Subterráneas y Distribución Espacial de Niveles de Acuíferos en la Parte Aluvial y Sedimentaria de la Región de Bucaramanga
	UIS2	2022	Trabajo de grado	Modelo Hidrogeológico Numérico de la Zona Norte de la Meseta de Bucaramanga, Santander
	UIS3	2015	Trabajo de grado	Estudio Hidrodinámico, Geoquímico e Isotópico de las Formaciones Acuíferas de la Región de Bucaramanga (Colombia)
	UIS4	2011	Trabajo de grado	Instrumentación de Piezómetro Piloto Ubicado en la Zona Norte de Bucaramanga y Revisión de Datos Obtenidos de Piezómetros en la Zona Oriente y Norte de la Ciudad
	UIS5	2013	Trabajo de grado	Integración de Nueva Información en un SIG de Puntos de Agua Subterránea y Datos de Calidad, en la Zona Alta de las Cuencas Río de Oro, Río Tona y Frío
	UIS6	2014	Trabajo de grado	Localización y Georeferenciación de Puntos de Agua Subterránea de los Pozos Ubicados en la Parte Occidental de la Ciudad de Bucaramanga y El Río de Oro
	UIS7	2023	Trabajo de grado	Análisis de Vulnerabilidad a la Contaminación del Sistema Acuífero del Miembro Superior de la Formación los Santos, Mesa de los Santos - Santander (Colombia)
AMB	AMB	2017	Informe	Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa del Sector Norte de Bucaramanga (Barrios Lizcano, Esperanza III, Mirador, Jose Maria Cordoba, Villa Helena, Villa Rosa, Villa María)
CDMB	CDMB	2017	Listado	Catálogo Nacional de Estaciones Hidrometeorológicas y Ambientales – CNE
	CONCESIONES	2024	Listado	Listado de Solicitudes de Concesiones de Aguas por Estado de Solicitud, Vereda y Tipo de Concesión CDMB – SINCA
SGC	SGC1	2022	Estudio	Generación de Conocimiento Hidrogeológico que Permita Establecer la Ocurrencia, Origen y Conexión Entre los Flujos de Agua Subterránea de la Cuenca Alta de las Quebradas La Baja y Angosturas Con el Páramo de Santurbán Mediante Técnicas Hidro Geoquímicas e Isotópicas
	SGC2	2002	Estudio	Evaluación del Agua Subterránea en el Área Metropolitana de Bucaramanga, Santander a Escala 1:25.000
	SGC3	2009	Estudio	Informe Hidrogeológico del Macizo de Santander
	SGC4	2023	Estudio	Interacción del Ciclo del Agua con la Actividad Minera en la Cuenca la Baja del Municipio de California, Santander - Páramo de Santurbán
	SGC5	2007	Proyecto de investigación	Proyecto de Investigación Geológica e Hidrogeológica en la Región Central del Departamento de Santander
ESPL	ESPL	2024	Listado	Respuesta a Derecho de Petición (Ubicación de dos pozos e información técnica de diseño de caudal, bombeo y red hidráulica)

En total fueron un estudio de la UPB, un estudio de consultoría del Minvivienda, siete trabajos de grado de la UIS, un informe de un estudio desarrollado por el Grupo de Investigación Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas de la UIS y presentado al AMB, dos listados de la CDMB, 4 estudios y un proyecto de investigación del SGC, y un listado de la ESPL. El Apéndice B provee acceso a los estudios usados.

Durante la revisión de los estudios se encontraron 1059 puntos de monitoreo de agua subterránea (pozos, cisternas, aljibes, piezómetros, manantiales, bocaminas e indefinidos). En la tabla 2 se muestra el resumen de los datos extraídos de cada estudio.

**Tabla 2** Resumen de puntos hidrogeológicos de cada estudio/listado

ESTUDIO	AÑO	TIPO DE PUNTO DE AGUA SUBTERRANEA						Total de Puntos
		POZO	ALJIBE (CISTERNA)	PIEZOMETRO	MANANTIAL	BOCAMINA	INDEFINIDO	
UPB	2011	0	0	66	0	0	0	66
Minvivienda	2013	0	0	2	0	0	0	2
UIS1	2011	33	24	48	8	0	13	126
UIS2	2022	0	0	8	0	0	0	8
UIS3	2015	2	0	0	0	0	0	2
UIS4	2011	4	0	0	0	0	0	4
UIS5	2013	0	0	0	175	0	0	175
UIS6	2014	16	3	0	1	0	0	20
UIS7	2023	8	22	0	1	0	0	31
AMB	2017	1	0	17	0	0	0	18
CDMB	2017	0	0	7	0	0	0	7
CONCESIONES	2024	159	0	0	0	0	0	159
SGC1	2022	27	0	0	37	0	0	64
SGC2	2002	45	60	0	113	0	0	218
SGC3	2009	0	0	0	59	0	0	59
SGC4	2023	27	0	0	38	4	0	69
SGC5	2007	0	0	0	29	0	0	29
ESPL	2024	2	0	0	0	0	0	2
<b>Total de Puntos</b>		<b>324</b>	<b>109</b>	<b>148</b>	<b>461</b>	<b>4</b>	<b>13</b>	<b>1059</b>

#### 4.1.1 Puntos exactamente duplicados

Para determinar los puntos exactamente duplicados se hizo uso de la herramienta de geoproceto de QGIS para interceptar los puntos entre las diferentes investigaciones que por simple vista se notaba que tenían datos duplicados.

#### **4.1.1.1 Coincidencia entre SGC1 y SGC4.**

Estas dos investigaciones recogen en su mayoría la misma cantidad de puntos con la diferencia de que SGC4 recoge 4 bocaminas y 1 manantial de más.

#### **4.1.1.2 Coincidencia entre SGC2 y SGC3.**

Estas dos investigaciones coinciden en un único punto el cual corresponde a un manantial ubicado en Tona y codificado como 120-II-B-066.

#### **4.1.1.3 Coincidencia entre UIS1 y Concesiones CDMB.**

El inventario de la UIS cuenta con 61 concesiones de la CDMB, 20 de estas coinciden exactamente con las concesiones de la CDMB.

#### **4.1.1.4 Coincidencia entre UIS5 y SGC3.**

La investigación de la UIS5 recoge los puntos inventariados de SGC3, por lo que se toman los puntos de UIS5 para el inventario general.

### ***4.1.2 Puntos duplicados***

En esta sección se recogen los puntos que difieren en coordenadas pero que corresponden al mismo punto.

#### **4.1.2.1 Coincidencia entre UIS1 y UPB.**

Estas dos investigaciones coinciden en 29 piezómetros ubicados en la meseta de Bucaramanga, pero difieren en las coordenadas con diferencias que van desde el metro hasta los 416 metros. Cabe destacar que el inventario de UIS1 incluye 8 piezómetros que la UPB no, por consiguiente, para este inventario se van a tomar los puntos de la UPB y se incluyen los 8 piezómetros de la UIS1.

#### **4.1.2.2 Coincidencia entre UIS1 y Concesiones CDMB.**

Entre la UIS1 y la CDMB se encuentran 15 puntos que difieren en coordenadas pero que corresponden a la misma concesión de agua.

#### **4.1.2.3 Coincidencia entre UIS1, UIS3, UIS4 y UIS5.**

Estas cuatro investigaciones comparten los piezómetros ubicados en Pan de Azúcar y las tres primeras investigaciones comparten los piezómetros en el Parque la Flora.

#### **4.1.2.4 Coincidencia entre UIS1, CDMB, SGC2 y UIS6.**

Para determinar los puntos duplicados entre estas investigaciones, se hizo una tabla en Excel extrayendo los puntos cercanos con los atributos de propietario de la concesión o punto de agua, tipo de punto y expediente si lo tenía. En el Apéndice C se muestran estos resultados y las observaciones pertinentes.

Cabe destacar que al revisar las direcciones que presenta el estudio SGC2 en los monitoreos realizados, algunos de los puntos no coinciden con las coordenadas presentadas. En el Apéndice D se muestran los puntos que se encontraron con coordenadas erróneas, los puntos cuyas coordenadas están relativamente cerca de la dirección presentada y los puntos que no presentan suficiente información de ubicación o que no se encontró la ubicación presentada.

#### **4.1.2.5 Coincidencia entre UIS1, UIS2, AMB y IDEAM.**

Estas investigaciones realizadas por la UIS y el AMB, sumado al Catalogo del IDEAM ubican puntos de agua subterránea en la zona norte de Bucaramanga; en la tabla 3 se muestran los puntos que coinciden.

**Tabla 3** Coincidencia entre UIS1, UIS2, AMB y IDEAM

UIS1		UIS2		AMB		IDEAM	
Tipo Punto	Nombre	Tipo Punto	Nombre	Tipo Punto	Nombre	Tipo Punto	Nombre
		Piezómetro	P1	Piezómetro	S1	Piezómetro	P_VR_S1
		Piezómetro	P2	Piezómetro	S6	Piezómetro	P_E3-S6
		Piezómetro	P3	Piezómetro	S7	Piezómetro	P_RN-S7
		Piezómetro	P4	Piezómetro	Lizcano 4		
Pozo	Pozo norte padres somascos CDMB	Piezómetro	P5	Pozo	Pozo CDMB		
		Piezómetro	P6	Piezómetro	Somascos 1		
		Piezómetro	P7	Piezómetro	Villa Rosa 1		
		Piezómetro	P8	Piezómetro	Mirador 6		

#### 4.1.3 Posibles puntos duplicados

##### 4.1.3.1 Coincidencia entre UIS1, CDMB, SGC2 y UIS6.

En la estación de servicios Centro Abastos se ubica una cisterna registrada por UIS1 y un pozo registrado por UIS6, estos dos puntos se relacionan por su cercanía y ubicación en el mismo predio, esto también sucede con los pozos ubicados en Ruitoque condominio registrados por UIS1 y SGC2. En el Apéndice C se pueden observar los posibles puntos duplicados.

Para este inventario de puntos de aguas subterráneas se depuraron todos los puntos que presentan algún tipo de coincidencia, y se dejó en evidencia los posibles puntos de agua para futuras visitas en las que se descarten las coincidencias. También durante este proceso se pudo determinar el tipo de punto de agua subterránea para los puntos indefinidos del estudio “UIS1”. En la tabla 4 se muestra el resumen de las coincidencias entre investigaciones priorizando las más recientes con respecto a las más viejas. El Apéndice E provee información mas detallada respecto a cada estudio, se presentan los objetivos de cada estudio, una descripción breve de la información, las inconsistencias encontradas, y si contempla en su estudio propiedades fisicoquímicas y piezometría.

**Tabla 4** Resumen de coincidencias entre investigaciones

FUENTE	AÑO	COINCIDENCIA DE PUNTOS ENTRE LAS DIFERENTES INVESTIGACIONES									
		UPB	SGC2	SGC3	UIS1	SGC1	CDMB	AMB	UIS4	UIS5	CONCESIONES
UIS1	2011	29	17								35
UIS2	2022				1		3	8			
UIS3	2015				2				2	1	
UIS5	2013			59	1						
UIS6	2014		1		6						6
SGC3	2009		1								
SGC4	2023					64					
SGC2	2002										7

#### 4.1.4 Visitas de campo

##### 4.1.4.1 Visitas a manantiales

En total se visitaron 8 manantiales que se georreferenciaron usando la aplicación de celular “Avenza Maps”. Esta aplicación permite almacenar las coordenadas del punto, la cota y las fotos tomadas del mismo. Posteriormente, se midieron los parámetros fisicoquímicos de pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura de la muestra, con el fin de tener unos primeros indicios de si se trataba de agua subterránea. En la tabla 5 y 6 se puede observar la información recogida en las visitas de campo.

**Tabla 5** Manantiales visitados

ID	Ubicación	Municipio	Fecha	Cota	CUADRO DE COORDENADAS			
					WGS 84		Magna Colombia Bogota	
					Latitud	Longitud	Este	Norte
M1	Berlin	Tona	13/08/2024	3429,83	7°7'50,8"N	72°56'45,2"W	1125011,29	1280442,14
M2	Berlin	Tona	13/08/2024	3429,19	7°9'50,209"N	72°52'51,949"W	1132160,39	1284129,2
M3	Via Tona	Tona	29/08/2024	1859,5	7°7'44,4"N	73°3'21,6"W	1112846,3	1280217,12
M4	Tributario Qda. El Brasil	Tona	29/08/2024	1652,28	7°8'42"N	73°3'0"W	1113505,25	1281988,34
M5	El Carajo	Tona	29/08/2024	2021,71	7°8'31,2"N	73°2'6"W	1115163,17	1281660,23
M6	El Diviso	Tona	3/09/2024	2045,34	7°8'2,4"N	73°1'44,4"W	1115828,06	1280776,86
M7	Alto de los Padres	Tona	10/09/2024	1434,49	7°7'46,391"N	73°5'15,9"W	1109338,39	1280270,66
M8	Q. De las Ranas	Tona	10/09/2024	1661,33	7°7'22,8"N	73°4'37,2"W	1110527,63	1279548,4

**Tabla 6** *Propiedades fisicoquímicas de los manantiales visitados*

ID	Parámetros físico-químicos			
	CE (uS/cm)	pH	OD (mgO <sub>2</sub> /L)	T (°C)
M1	14,87	6,75	5,14	11,60
M2				
M3	54,65	7,08	7,60	18,85
M4	134,31	6,78	6,86	21,20
M5	112,25	6,63	6,55	22,25
M6				
M7	258,50	6,84	4,32	20
M8	101,90	6,54	5,80	19,50

Cabe resaltar que no se pudo medir los parámetros en los manantiales M2 y M6 por problemas con los equipos de medición utilizados, y que hubo incertidumbre en la ubicación del manantial del Diviso (M6) debido a que no fue posible encontrar su nacimiento. Para este se tomaron muestras cerca de una cascada donde, se suponía, estaría el manantial. Por esto, la ubicación de este punto no se tomó en cuenta para el inventario. En las figuras 4 y 5 se muestran el manantial M8 y la toma de muestra respectivamente.

**Figura 4** *Manantial M8*

**Figura 5** Toma de muestra del manantial M8



#### **4.1.4.2 Visitas a pozos/piezómetros**

En total se visitaron 27 pozos y 6 piezómetros para monitoreo. En la tabla 7 se muestra la información recogida con ayuda de la aplicación “Avenza Maps”. En las Figuras 6 y 7 se muestran el pozo P7 y el piezómetro P9.

**Tabla 7 Pozos y piezómetros visitados**

Punto	Ubicación	Municipio	Tipo de Punto	Expediente	Fecha	Prof. Aprox	Cota	COORDENADAS		Estado
								Norte	Este	
P1	Pantano	Lebrija	Pozo	CA-0104-2015	2/09/2024		1078,07	1274836	1092917	Activo
P2	Condominio Mesitas	Lebrija	Pozo	CA-0267-2016	2/09/2024	70	1065,2	1280510	1096048	Activo
P3	Almacen Donautos	Lebrija	Pozo	CA-0119-2022	9/09/2024		1007,02	1278735	1093907	Activo
P4	Quebrada La Pantera	Lebrija	Pozo	CA-0264-2021	9/09/2024	40	985,41	1281672	1095087	Activo
P5	Tributario Qda. La Pantera	Lebrija	Pozo	CA-0098-2021	9/09/2024	80	1009,1	1282119	1094852	Activo
P6	Finca El Eden	Lebrija	Pozo	CA-0024-2021	9/09/2024		1051,49	1278597	1096436	Activo
P7	Girasoles de la Loma	Lebrija	Pozo	CA-0061-2016	9/09/2024		1075,33	1278381	1096385	Activo
P8	Via Berlin-Bga	Floridablanca	Pozo	CA-0012-2011	10/09/2024		1584,73	1278451	1110300	Activo
P9	Padres Somascos	Bucaramanga	Piezómetro		12/09/2024		814,41	1282281	1105317	Activo
P10	Parque de los niños	Bucaramanga	Pozo		12/09/2024		998,9	1279858	1105852	Inactivo
P11	Parque San Pio	Bucaramanga	Piezómetro		12/09/2024		999,17	1279029	1106925	Activo
P12	Via Palenque	Giron	Pozo	CA-0105-2011	16/09/2024		697,78	1276186	1100627	Activo
P13	EDS Centro Abastos	Giron	Pozo		16/09/2024		667	1277533	1100832	
P14	Lavadero Kikos	Giron	Pozo	CA-0110-2014	16/09/2024	7	672,13	1276446	1100326	Activo
P15	EDS La Bascula	Giron	Pozo	CA-0153-2023	16/09/2024	5	677,05	1275633	1100231	Activo
P16	Centro Camionero El Palenque	Giron	Pozo	CA-0051-2012	16/09/2024	52	688,13	1274909	1100173	Activo
P17	La Esmeralda	Giron	Pozo	CA-0051-2012	16/09/2024	120	709,53	1275201	1101278	Activo
P18	COTRANDER LTDA	Floridablanca	Pozo	CA-0011-2014	30/09/2024		890	1274396	1107855	Activo
P19	INVERSIONES DIAZ Y CIA LTDA	Bucaramanga	Pozo	CA-0013-2012	30/09/2024		932,72	1277171	1107082	Inactivo
P20	EDGAR DIAZ DIAZ	Bucaramanga	Pozo	CA-0260-2015	30/09/2024		962,49	1278896	1105914	Activo
P21	Jardin la Colina Cementerio	Bucaramanga	Pozo		30/09/2024		1049,39	1277997	1108425	Activo
P22	Parque La Flora	Bucaramanga	Piezómetro		30/09/2024		965,56	1278114	1107162	
P23	Terpel EDS Centenario	Bucaramanga	Pozo	CA-0023-2012	1/10/2024		969,16	1279580	1105225	Activo
P24	EDS Los Caneyes	Giron	Pozo	CA-0240-2004	1/10/2024		696,48	1273317	1100882	Activo
P25	El Tsunami	Giron	Pozo	CA-0232-2005	1/10/2024	7	699	1272949	1100335	Activo
P26	Lava Autos Rio de Oro	Giron	Pozo		1/10/2024	60-90	696,69	1273029	1100277	Activo
P27	Madres Somascas entrada	Bucaramanga	Piezómetro		1/10/2024		818,99	1282267	1105351	
P28	Madres Somascas	Bucaramanga	Piezómetro		1/10/2024		823,3	1282293	1105411	
P29	CRUDESAN S.A.	Bucaramanga	Pozo	CA-0027-2015	1/10/2024		636,99	1283439	1103296	Activo
P30	GASEOSAS HIPINTO S.A.S.	Piedecuesta	Pozo	CA-0055-2012	8/10/2024	80-90	936,98	1265311	1110963	Activo
P31	Padres Somascos	Bucaramanga	Piezómetro		12/09/2024		796,29	1282407	1105316	
P32	Freskaleche	Giron	Pozo	CA-0025-2001	10/10/2024		657,52	1277902	1100762	Activo
P33	EDS El Carmen	Giron	Pozo	CA-0126-2010	10/10/2024		695,15	1273132	1100769	Inactivo

Nota: El punto 26 “Lava Autos Rio de Oro” corresponde a un punto nuevo hallado, cuya información de ubicación se obtuvo por medio de una visita de campo programada el mismo día suministrada por el dueño de la concesión.

**Figura 6** Pozo P7



**Figura 7** Piezómetro P9



Habiendo reunido ya la información necesaria y depurado los datos duplicados, se inventariaron en total 822 puntos de agua subterránea de los cuales 258 son pozos, 90 son aljibes o cisternas, 106 son piezómetros, 364 son manantiales y 4 son bocaminas. En la tabla 8 se muestra

el inventario final de este trabajo con la distribución de los tipos de puntos de agua subterránea por municipios.

**Tabla 8** *Distribución de puntos de agua subterránea por municipio*

Municipio	TIPO DE PUNTO DE AGUA SUBTERRÁNEA					Total de Puntos	Porcentaje
	POZO	ALJIBE (CISTERNA)	PIEZÓMETRO	MANANTIAL	BOCAMINA		
Bucaramanga	54	34	104	25	0	217	26,40%
Floridablanca	16	4	0	51	0	71	8,64%
Piedecuesta	59	33	0	93	0	185	22,51%
Girón	51	19	0	1	0	71	8,64%
Lebrija	43	0	0	0	0	43	5,23%
Vetas	7	0	0	5	0	12	1,46%
California	10	0	0	22	4	36	4,38%
Tona	0	0	0	151	0	151	18,37%
Suratá	11	0	2	11	0	24	2,92%
Matanza	0	0	0	0	0	0	0,00%
Charta	0	0	0	5	0	5	0,61%
El Playón	1	0	0	0	0	1	0,12%
Rionegro	6	0	0	0	0	6	0,73%
<b>Total de puntos</b>	<b>258</b>	<b>90</b>	<b>106</b>	<b>364</b>	<b>4</b>	<b>822</b>	<b>100,00%</b>

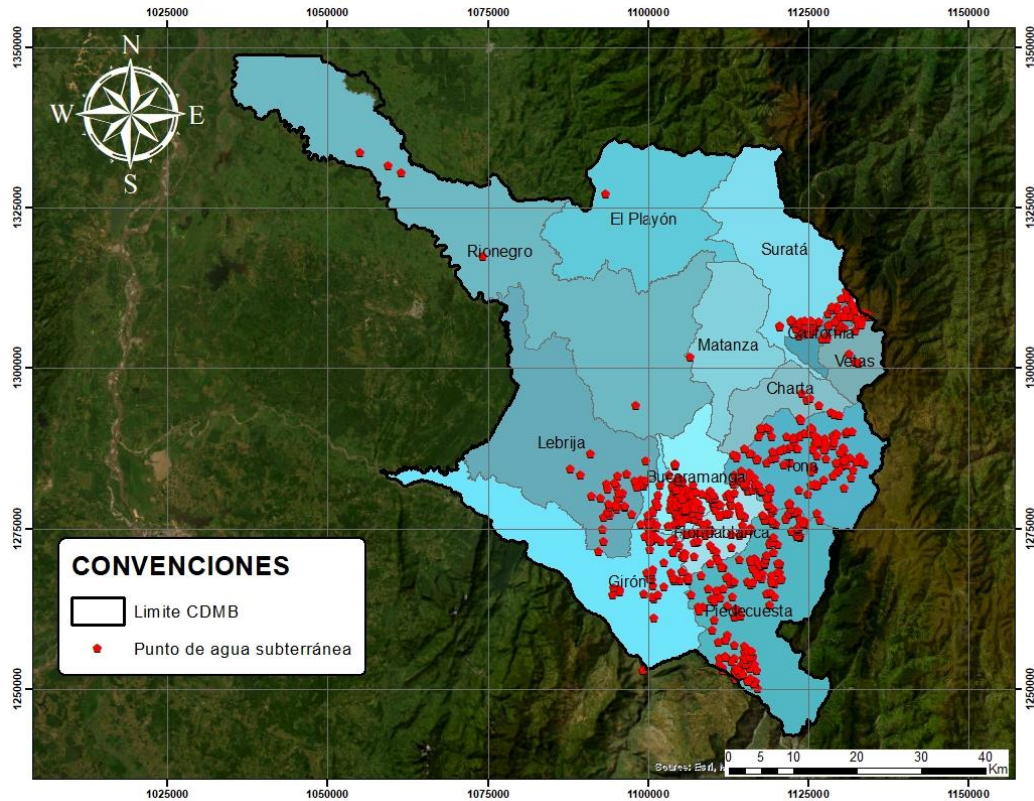
En la tabla se puede observar que el municipio de Matanza no registra ningún punto de agua subterránea, esto podría deberse a la escasa información e investigación en ese municipio o también al poco provecho que se le da al agua subterránea. Los municipios con mayor porcentaje de puntos corresponden a Bucaramanga (26,4%), Piedecuesta (22,51%) y Tona (18,37%), a diferencia de El Playón (0,12%), Rionegro (0,73%), Charta (0,61%) y Vetas (1,46%) con un porcentaje bajo de puntos de agua, lo que también se puede deber a la escasa información e investigación de aguas subterráneas en esos municipios.

#### 4.2 Resultados de la Segunda Fase

Usando el modelo de datos de La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA mencionado en la metodología se generó la base de datos del inventario de aguas subterráneas en la jurisdicción de la CDMB. La distribución espacial del inventario de los puntos de agua se muestra en el mapa de la figura 8; en este se puede evidenciar la gran concentración de información

de puntos de agua en el área metropolitana de Bucaramanga y municipios cercanos como Tona y Lebrija y California.

**Figura 8** *Distribución espacial del inventario en los municipios*



El inventario completo de aguas subterráneas se encuentra en el archivo shapefile con título “Punto Hidrogeológico” localizado en la carpeta del producto a entregar con los apéndices y la respectiva información y documentación de aguas subterráneas obtenida por cada investigación. El archivo shapefile del inventario se consolida como el producto final a entregar de la base de datos geoespacial, la cual puede ser visualizada, editada y actualizada en los softwares GIS que actualmente utiliza la CDMB (ver Figura 9). También se encuentra el Excel del diccionario de modelo de datos del ANLA en el producto final a entregar.

**Figura 9** Visualización de la base de datos del inventario de aguas subterráneas en QGIS

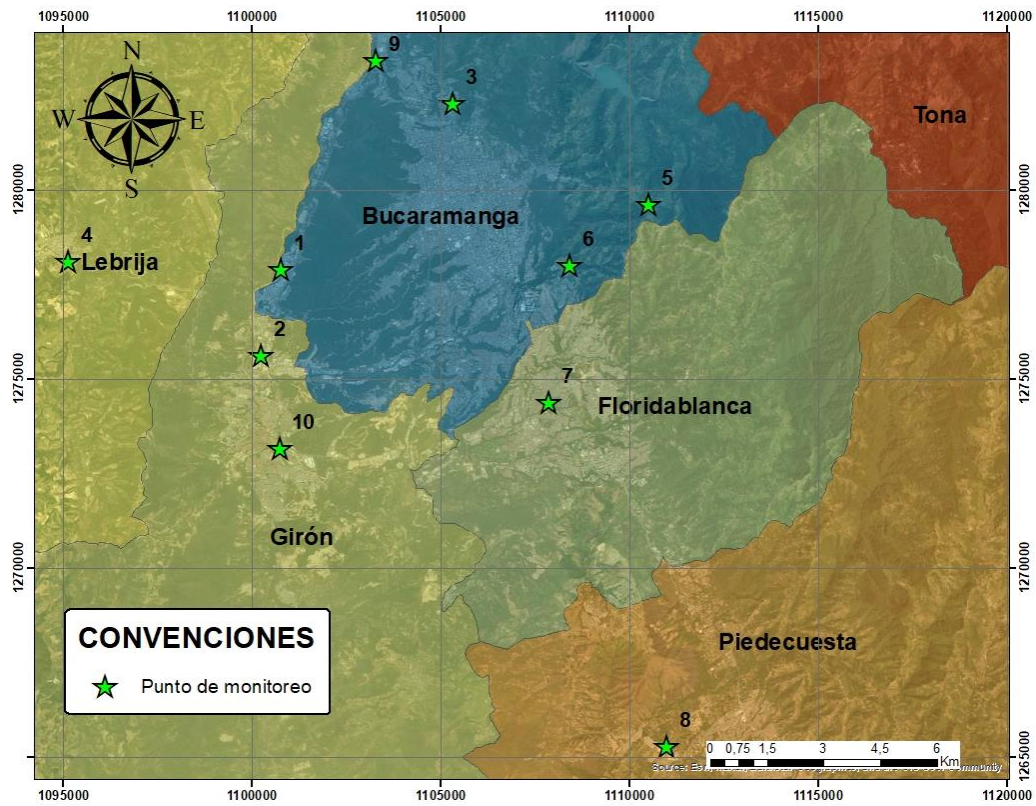
VEREDA	MUNICIPIO	DEPTO	CAR	NOMBRE	ID_PUNTO_M	TIPO_PUNTO	UNI_GEOLO	NOM_PREDIO	COND_PROPI	SITIO	FEC_CARACT	D
243	L	Surata	Santander	CDMB	M. Angosturas 3	110-I-A-5	Manantial	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
244	L	Surata	Santander	CDMB	NULL	110-I-A-3	Pozo	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
245	L	Surata	Santander	CDMB	NULL	110-I-C-1	Manantial	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
246	L	California	Santander	CDMB	Termal El Gigante	110-I-C-11	Manantial	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
247	L	California	Santander	CDMB	PZ TW 1	110-I-C-20	Pozo	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
248	L	California	Santander	CDMB	TW 2	110-I-C-21	Pozo	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
249	L	California	Santander	CDMB	Páez 3	110-I-C-24	Pozo	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
250	L	California	Santander	CDMB	Las P's	110-I-C-25	Pozo	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
251	L	California	Santander	CDMB	La Herrera	110-I-C-28	Manantial	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
252	L	California	Santander	CDMB	NULL	110-I-C-29	Manantial	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
253	L	California	Santander	CDMB	Veta barro	110-I-C-31	Pozo	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
254	L	Surata	Santander	CDMB	NULL	110-I-C-36	Pozo	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
255	L	California	Santander	CDMB	San Juan	110-I-C-44	Manantial	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
256	L	California	Santander	CDMB	NULL	110-I-C-50	Manantial	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
257	L	California	Santander	CDMB	Agualimpia	110-I-C-52	Manantial	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
258	L	California	Santander	CDMB	NULL	110-I-C-56	Manantial	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
259	L	Vetas	Santander	CDMB	NULL	110-I-C-64	Pozo	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
260	L	California	Santander	CDMB	NULL	110-I-C-65	Pozo	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
261	L	California	Santander	CDMB	NULL	110-I-C-66	Pozo	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
262	L	Surata	Santander	CDMB	Angosturas 2	110-I-C-70	Pozo	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
263	L	California	Santander	CDMB	Túnel El Emboq...	110-I-C-76	Manantial	PZgb-bt	NULL	NULL	2022	NL
264	L	Surata	Santander	CDMB	M. Angosturas 2	110-I-A-4	Manantial	PZgb-g	NULL	NULL	2022	NL

### 4.3 Selección de Puntos de Monitoreo del 2024

Adicional a los objetivos propuestos para la elaboración de la base de datos geoespacial, se pudo realizar la selección de los puntos de monitoreo de agua subterránea del año 2024 contratados por la CDMB a un laboratorio externo y desarrollados en el área metropolitana de Bucaramanga y Lebrija. Utilizando el inventario de puntos hidrogeológicos se escogieron los puntos a monitorear, basándose en el estudio del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga para evaluar la posibilidad acuífera en el área metropolitana (Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P., 2004)(Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P., 2004)(Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P., 2004), se seleccionaron puntos cercanos a las zonas donde según el estudio presentaban interés acuífero o hidrogeológico, también priorizando la zona cerca a la falla

de Bucaramanga – Santa Marta y el municipio de Lebrija por su importante crecimiento en el abastecimiento con aguas subterráneas (criterio de la CDMB). En la Figura 10 se puede observar la distribución espacial de los puntos de monitoreo escogidos para el 2024 y en la Tabla 9 la información de cada punto.

**Figura 10** *Distribución espacial de los puntos de monitoreo*



**Tabla 9** *Puntos de monitoreo para el año 2024*

ID	Nombre	Municipio	Norte (m)	Este (m)
1	Freskaleche	Girón	1277892	1100755
2	LaBascula Terpel	Girón	1275634,71	1100233,61
3	Padres Somascos	Bucaramanga	1282280,9	1105316,7
4	Brisas de Campoalegre	Lebrija	1278108,10	1095125
5	Quebrada Las ranas	Bucaramanga	1279610,93	1110503,16
6	Jardin la Colina Cementerio	Bucaramanga	1277993,8	1108404,1
7	COTRANDER LTDA	Floridablanca	1274394	1107851
8	GASEOSAS HIPINTO S.A.S.	Piedecuesta	1265288	1110970
9	CRUDESAN S.A	Bucaramanga	1283439	1103281
10	EDS EL Carmen de Giron	Girón	1273159,9	1100729,9

## 5. Conclusiones y recomendaciones

En el desarrollo de la consolidación del inventario de aguas subterráneas en la jurisdicción de la CDMB, se pudo dimensionar con mayor precisión la cantidad de puntos de agua subterránea registrados a través de los años en diferentes investigaciones de la zona, lo cual permitió evidenciar cómo es la distribución de estos en los 13 municipios que conforman el área de estudio. A través de la primera fase metodológica se pudieron recolectar, analizar y tratar los datos alfanuméricos y espaciales de 1059 puntos encontrados en los distintos estudios y listados recolectados. Luego del tratamiento de datos, se inventariaron 822 puntos entre los cuales 258 son pozos, 90 aljibes o cisternas, 106 piezómetros, 4 bocaminas y 364 manantiales. Los municipios con mayor concentración de puntos son Bucaramanga con el 26,4% de los puntos, Piedecuesta con 22,51% y Tona con 18,37%, a diferencia de Charta, El Playón, Rionegro y Vetas que presentaron menos del 2% de los puntos inventariados. Las visitas de campo realizadas los meses de agosto, septiembre y octubre permitieron verificar 40 puntos del inventario y reconocer un punto nuevo, esto se traduce en un aporte a la veracidad de los datos y sus ubicaciones, ya que con la información inventariada fue posible encontrar ciertos puntos los cuales se georreferenciaron.

Con la culminación de la segunda fase metodológica se pudo generar la base de datos de los puntos hidrogeológicos en formato shapefile, estructurada con el modelo de presentación de datos del ANLA suministrado por la CDMB. Este inventario puede ser consultado, actualizado o editado por los funcionarios de la CDMB para futuros proyectos. Con su debida actualización periódica, podrá servir como instrumento clave para la implementación del PIRMA y así poder fortalecer los conocimientos del agua subterránea en la zona de jurisdicción de la CDMB, lo que se traduciría en una correcta planeación, protección, prevención y control del recurso hídrico

subterráneo, propiciando su adecuado aprovechamiento y preservando los ecosistemas que dependen de este.

Con ayuda del inventario se pudo plantear y seleccionar los puntos de monitoreo de agua subterránea del año 2024 requeridos por la CDMB como continuación del monitoreo desarrollado el año 2023; este inventario permitió establecer los puntos de monitoreo más relevantes para poder obtener datos de mayor importancia hidrogeológica y así lograr resultados que representen con mayor claridad el estado del recurso en el área metropolitana de Bucaramanga.

Para que la CDMB pueda hacer futuras campañas de monitoreo de agua subterránea y disponga de este inventario de aguas, se recomienda realizar una verificación antes de seleccionar algún punto no confirmado o que no posea concesión, esto se debe a que la gran mayoría de los puntos no fueron verificados en campo, además de que las distintas fuentes de información de donde se sacaron estos puntos son viejas y pueden tener ciertos errores en la georreferenciación de estos, de este modo es factible realizar campañas de verificación de los distintos puntos de agua subterránea que tengan buena accesibilidad e importancia hidrogeológica, y así, lograr la actualización de la información y poder establecer redes de monitoreo.

### Referencias Bibliográficas

- Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. (2004). *Prospección Geoeléctrica para Evaluar las Posibilidades Acuíferas en la Meseta de Bucaramanga*.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2019). *Manual para el Monitoreo de Aguas Subterráneas*.
- Betancur Vargas, T. (2023). *El potencial de las Aguas Subterráneas en Antioquia*.
- CDMB. (2021, September 18). *Funciones*.
- Centro de Documentación Ambiental CDMB. (2024). *Centro de Documentación Ambiental*.
- Corporación autónoma regional para la defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB. (n.d.). *Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas - POMCAS*.
- Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB. (2020). *Plan de Acción Cuatrienal 2020-2023*.
- Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB. (2022). *Programa Institucional Regional de Monitoreo del Agua – PIRMA*.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1997). *Hidrología Subterránea*.
- Gobernación de la Provincia de Buenos Aires. (2011). *Sistemas de Información Geográfica para el Ordenamiento Territorial*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2021). *Resolución 370 de 2021*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2022). *Resolución 658 de 2022*. [www.iqac.gov.co](http://www.iqac.gov.co)
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). *Seguimiento a Políticas Públicas Ambientales 2023-1*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Dirección de Gestión Integral de Recurso Hídrico. (2014). *Programa Nacional de Aguas Subterráneas - PNASUB*.

