

INFORME DE PRÁCTICA INSTITUCIONAL:
APOYO TÉCNICO EN LA CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA
DEL ACUÍFERO TEATINOS EN BOYACÁ

SERGIO GUSTAVO ROMERO HEREDIA

TRABAJO PRESENTADO PARA
OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO



UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
PROGRAMA DE GEOLOGÍA
MANIZALES CALDAS
ABRIL 2024

INFORME DE PRÁCTICA INSTITUCIONAL:
APOYO TÉCNICO EN LA CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA
DEL ACUÍFERO TEATINOS EN BOYACÁ

AUTOR:

SERGIO GUSTAVO ROMERO HEREDIA

ASESORA ACADÉMICA:

ESP. HILDA PATRICIA CANO SÁNCHEZ



COORDINADOR DE PRÁCTICA:

ING. CARLOS ANDRÉS MORENO



CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CHIVOR

CORPOCHIVOR- GARAGOA BOYACÁ

SEPTIEMBRE A DICIEMBRE

2022

NOTA DE APROBACIÓN

APROBADO



HILDA PATRICIA CANO SÁNCHEZ
DIRECTORA DE TRABAJO DE GRADO

Manizales Caldas, abril 2024

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	2
2	OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA	3
2.1	Objetivo general	3
2.2	Objetivos específicos.....	3
3	GENERALIDADES	4
3.1	ANTECEDENTES	4
3.2	LOCALIZACIÓN	6
3.3	CUENCA ALTA DEL RIO GARAGOA Y SUBCUENCAS	8
3.3.1	Cuenca del Rio Garagoa	8
3.3.2	Subcuenca Rio Teatinos	8
3.3.3	Subcuenca Rio Garagoa	8
3.3.4	Subcuenca Rio Turmequé.....	9
3.3.5	Subcuenca Rio Juyasia.....	9
3.3.6	Subcuenca Rio Tibaná	9
3.3.7	Subcuenca Rio Fusavita	9
3.3.8	Subcuenca Rio Bosque	10
4	MARCO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO	11
4.1	EVALUACIÓN GEOLÓGICA	11
4.1.1	Estratigrafía	11
4.1.2	Correlación Estratigráfica	13
4.2	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.....	14
4.2.1	Región central (Tunja-Macizo de Floresta	17
4.2.2	Región sureste (Este de la Falla de Soapaga).....	27
4.2.3	Región Sabana de Bogotá	31
4.3	Geología Estructural	32
4.3.1	Pliegues	34
4.3.2	Fallas.....	35
4.4	EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA.....	36
4.4.1	Geoformas de origen denudacional.....	38
4.4.2	Geoformas de origen fluvial y lagunar	42
4.4.3	Geoformas de origen estructural.....	44
4.4.4	Geoformas de origen glacial y periglacial.....	47
4.4.5	Geoformas de origen antropogénico.....	48
5	METODOLOGÍA.....	49
5.1	DESARROLLO DE ACTIVIDADES.....	51
5.1.1	Actividad.1 Búsqueda y revisión de expedientes de concesiones de aguas subterráneas (EAS):	51
5.1.2	Actividad 2. Consulta de información hidrogeológica relevante dentro de los EAS seleccionados:.....	52
5.1.3	Actividad 3: Digitalización de información hidrogeológica.....	59
5.1.4	Actividad 4: Campaña de inventarios de puntos de agua.....	62
5.1.5	Actividad 5: Revisión y reinterpretación de SEV previos.....	66
5.1.6	Actividad 6: Planteamiento de una red de 60 posibles ubicaciones para SEV	68
5.1.7	Actividad 7: Acompañamiento en campo a las campañas de geoeléctrica.....	69

5.1.8	Actividad 8: Elaboración del mapa de dirección de flujo	72
5.1.9	Actividad 9: Acompañamiento en campo a la campaña de muestreo de calidad de agua subterránea.....	76
6	RESULTADOS.....	79
7	CONCLUSIONES.....	88
8	BIBLIOGRAFÍA	90
9	ANEXOS	96

TABLA DE FIGURAS

Figura 1.	Localización del área de estudio del PMAA Teatinos.	7
Figura 2	Delimitación de regiones estratigráficas asociadas al área de estudio	12
Figura 3	Correlación estratigráfica cuenca cordillera y las regiones estratigráficas que intervienen.	13
Figura 4	Diagrama cronoestratigráfico con las unidades hidroestratigráficas para las cuencas de Cordillera Oriental abarcadas. En color azul se presentan unidades acuíferas y en café los acuitardos. Fuente: CORPOCHIVOR, 2022..	15
Figura 5	Mapa con unidades hidroestratigráficas para el área de estudio.....	16
Figura 6	Vista de afloramiento de areniscas fracturadas de la Formación Une en el municipio de Ciénega. E:1086966 N:1089717 Fuente: CORPOCHIVOR, 2022.	17
Figura 7	Vista de afloramiento de la Formación Labor y Tierna compuesto de areniscas compactas. Coordenadas N: 1078925E: 1071361 MAGNA Colombia Bogotá	22
Figura 8	Columna hidroestratigráfica con unidades acuíferas diferenciadas en el sector central del área de estudio para el Paleoceno y Cretácico.	23
Figura 9	Vista de afloramiento de las areniscas que conforman la	28
Figura 10	Columna hidroestratigráfica con unidades acuíferas diferenciadas en el sector sureste al oriente de la Falla de Soapaga.....	29
Figura 11	Corte geológico A-A'	33
Figura 12	Corte geológico B-B.....	33
Figura 13	Corte geológico C-C'	33
Figura 14	Corte geológico D-D'	34
Figura 15	Ambientes geomorfológicos en la cuenca del río Teatinos.....	37
Figura 16	Mapa de unidades geomorfológicas cuenca río Teatinos.	38
Figura 17	Lomo denudado bajo de longitud larga (Dldebl) en La vereda Caicedo municipio de Ramiriquí. Fuente: CORPOCHIVOR, 2022.	41
Figura 18	Ladera ondulada (Dlo) en el costado este del casco urbano del Municipio de Ramiriquí. Fuente: CORPOCHIVOR, 2022.....	42
Figura 19	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc) en el extremo este de la zona de estudio. Fuente: CORPOCHIVOR, 2022.	46
Figura 20	Etapas de la fase de Aprestamiento. Fuente: MADS, 2014.....	49
Figura 21	Etapas de la fase Diagnostica. Fuente: MADS, 2014	50
Figura 22.	Mapa Geológico - Fuente:EAS Corpochivor	52

Figura 23. Sondeo Eléctrico Vertical - Fuente EAS Corpochivor.....	53
Figura 24. Gráfica Recuperación Vs Tiempo - Fuente EAS Corpochivor.....	54
Figura 25. Prueba de Bombeo - Fuente EAS Corpochivor	55
Figura 26. Análisis físico - químicos y bacteriológicos.....	56
Figura 27. Digitalización de Pruebas de Bombeo - Fuente: Autor.....	59
Figura 28. Digitalización de diseños de Pozo - Fuente: Autor.....	60
Figura 29. Digitalización de diseños de Pozo - Fuente: Autor.....	61
Figura 30 Zona de estudio dividida en Cuadrantes - Fuente: PMMA Teatinos Corpochivor 2022.....	62
Figura 31. Diligenciamiento de FUNIAS - Fuente: Autor.....	63
Figura 32. Medición de Parámetros Físico - Químicos - Fuente: Autor.....	64
Figura 33. SEV extraído - Fuente HGA SAS 2014	67
Figura 34. Tabla de SEV históricos - Fuente: Autor	67
Figura 35. Visualización SEV históricos en la zona de estudio - Fuente: Autor.....	68
Figura 36. Red de SEV planteada - Fuente: Autor.....	69
Figura 37. Evidencia fotográfica acompañamiento en campo campaña Geoeléctrica - Fuente: Autor	70
Figura 38 Shape de la unidad hidrogeológica Labor y Tierna (K2lt) en ArcGIS. Fuente: Autor.....	73
Figura 39 Shapes de la unidad hidrogeológica en el área de estudio en Surfer Fuente: Autor.....	75
Figura 38. Evidencia fotográfica acompañamiento campaña de muestras de agua subterránea Fuente: Autor.....	77
Figura 39. Macro construida para generar consolidado. Fuente: Autor	80
Figura 40. Consolidado Puntos de agua de la cuenca hidrográfica de la zona de estudio. Fuente: Autor.....	81
Figura 41. Consolidado de expedientes de concesiones de agua subterránea Fuente: Autor.....	81
Figura 42. Tabla de valores de permeabilidad o Conductividad hidráulica de diferentes agrupaciones litológicas. Fuente: Custodio y Llamas 1983.....	82
Figura 43. Valores de Transmisibilidad. Fuente: Iglesias, (2002), (Villarroya, 2009).....	82
Figura 44. Reinterpretación prueba de bombeo expediente C.A.S 001-04. Fuente: Autor	84
Figura 45 Ejemplo de diseño de pozo integrando información geológica, hidrogeológica	86
Figura 46 Localización de los sondeos eléctricos verticales realizados en campo. Fuente: Corpochivor 2022	87

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Puntos de aguas reconocidos en la base de datos en el área del sistema acuífero Teatinos. Fuente: Autor.....; **Error! Marcador no definido.**

RESUMEN

Para titulación del pregrado en geología, se realizó como práctica profesional servicios de apoyo como pasante en las actividades contempladas en el proyecto denominado: “Caracterización del Sistema Acuífero “Teatinos” y Formulación de Medidas de Manejo Ambiental y Sostenible”, dentro del plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del Río Garagoa, en la corporación autónoma de Chivor CORPOCHIVOR, en el municipio de Garagoa, departamento de Boyacá; de septiembre a Diciembre del año 2022. Desde el departamento de geología se aplican los conocimientos académicos y profesionales en el estudio hidrogeológico y de manejo ambiental. Se desempeñan tareas como acompañamiento en campo a la ejecución del inventario de puntos de agua subterránea, acompañamiento en campo a la campaña de muestreo de aguas subterráneas, acompañamiento técnico en campo a las campañas de geoeléctrica, reinterpretación de pruebas de bombeo llevadas a cabo en las concesiones de agua subterránea otorgadas por la corporación, también la identificación de las fuentes potenciales de contaminación, así como el apoyo en la construcción del modelo hidrogeológico conceptual a partir de la integración de la información geológica, geofísica, hidrológica, hidrogeoquímica e hidráulica de las aguas subterráneas, con el fin de caracterizar el sistema acuífero y de las unidades con limitadas posibilidades de flujo subterráneo, así como la distribución de los puntos de agua, la dirección regional de flujo, las condiciones de recarga y descarga, las características hidrogeoquímicas y parámetros hidráulicos.

1 INTRODUCCIÓN

La Corporación Autónoma Regional de Chivor (CORPOCHIVOR), es consciente de la relevancia que las aguas subterráneas tienen para el desarrollo sostenible de las comunidades que habitan en su jurisdicción y de la necesidad de información técnica para soportar la toma de decisiones orientadas a la gestión adecuada de este recurso.

De otro lado, la creciente necesidad de agua por parte de las comunidades que habitan los municipios localizados en el área norte de la jurisdicción de CORPOCHIVOR y la escasez del recurso hídrico superficial, ha llevado a un aumento en la exploración y aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo y consecuentemente a un mayor número de trámites ante la Corporación.

Este documento presenta los resultados del apoyo técnico que se brindó en la construcción del modelo hidrogeológico y del PMAA Teatinos, presentándose apoyo desde la fase de -Aprestamiento-, que incluye recopilación de información secundaria en el campo geológico, hidrológico, y geofísico de fuentes primarias como las concesiones de aguas subterránea otorgadas por CORPOCHIVOR en los municipios de interés, y entidades de orden Nacional como ANLA, IDEAM, CORPOBOYACA. La fase -Diagnostico-, que incluye el apoyo de la información hidrogeológica para la construcción del modelo hidrogeológico conceptual, delimitación de cuencas hidrogeológicas del sistema acuífero, Apoyo en el análisis e interpretación de datos geofísicos obtenidos en los estudios geoeléctrico y datos de pruebas de bombe, aporte de información obtenida en periodo de campaña de inventario de puntos de agua subterránea realizados en los municipios de Boyacá, Viracachá, Ciénega, Úmbita, construcción de mapa de isopiezas para determinar direcciones de flujo e identificación de zonas de recarga y descarga, apoyo en la evaluación hidrogeoquímica de las unidades hidrogeológicas de interés, apoyo en la estimación de potencial de recarga por medio del balance hídrico subsuperficial de la zona. De esta manera, se establece las bases para continuar con las siguientes fases correspondientes a la Formulación, Ejecución, Seguimiento y Evaluación.

2 OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

2.1 Objetivo general

Brindar apoyo técnico en la construcción de un modelo hidrogeológico conceptual del acuífero Teatinos en Boyacá.

2.2 Objetivos específicos

- Recopilar información secundaria de geología, hidrogeología y geofísica en entidades estatales y municipales relevantes.
- Apoyar el levantamiento de la información hidrogeológica para el desarrollo del modelo hidrogeológico conceptual.
- Analizar e interpretar datos geofísicos en modalidad de sondeos eléctricos verticales e información de inventario de puntos de agua subterránea para poder identificar las unidades hidrogeológicas existentes
- Realizar el mapa de isopiezas y dirección del flujo de agua subterránea e identificar las potenciales zonas de carga y descarga.
- Apoyo a la evaluación hidroquímica de las unidades hidrogeológicas caracterizadas

3 GENERALIDADES

3.1 ANTECEDENTES

sobre la cuenca del río Garagoa tienen jurisdicción las corporaciones autónomas regionales, car, Corpochivor y Corpoboyacá; se hizo necesario crear una comisión conjunta de que trata el artículo 1 del decreto 1604 de 2002 y el artículo 33 de la ley 99 de 1993, para concertar, armonizar y definir las políticas para el ordenamiento y manejo de las cuencas hidrográficas; fue así como mediante convenio interadministrativo y de cooperación técnica no 219, del 9 de diciembre de 2003, entre la comisión conjunta para la ordenación y manejo ambiental de la cuenca del río Garagoa, y la universidad nacional de Colombia, a través del instituto de estudios ambientales “IDEAM”, se elaboró el estudio del diagnóstico, prospectiva y formulación, en el cual se definieron proyectos de inversión para la cuenca del río Garagoa.

En el estudio referido, se realizó el análisis de las características hidrográficas, hidrometeorológicas e hidrogeológicas en las subcuencas principales en la parte alta de la cuenca del río Garagoa como: Teatinos – Garagoa, Guayas – Juyasia, Albarracín – Turmequé. De igual forma, se realizó la caracterización geológica y su relación con temas de agua subterránea, superficial, disponibilidad, zonas de recarga, áreas de protección, ecosistemas, páramos, subpáramos, sus características, así como, las actividades antrópicas que están afectando la zona, se identificaron zonas de restauración, de conservación, zonas de importancia ambiental. El estudio reporta datos importantes para la identificación a groso modo de la composición estructural geológica de los municipios en mención, pero es necesario que se complemente para la generación de mapas que tengan mayor precisión a la hora de identificar las unidades hidrogeológicas de la zona, donde se establezcan en un mapa hidrogeológico los diferentes componentes.

En primer lugar, se toma como referencia directa los resultados a continuación mencionados tiene que, en septiembre de 2014 fue presentado como resultado del convenio interadministrativo N° 067 de 2013, celebrado entre la Corporación

Autónoma Regional de Chivor (CORPOCHIVOR) y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), el plan de manejo ambiental de acuíferos -PMAA- Fase I- Diagnostico, Municipio de Boyacá, Jenesano, Nuevo Colón, Turmequé y Ventaquemada, departamento de Boyacá por Héctor António Fonseca Peralta, Jorge Eladio Buitrago Ladino, Oscar Armando Gavidia Albarracín, Danilo Hernando González Serrano, Jennifer Oriana Guerra Anaya, Diana Camila Chaparro Univio, Yury Carolina Vásquez Pedreros.

En el estudio referido, se realizó la primera Fase del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos -PMAA- en los municipios de Boyacá, Nuevo Colón, Turmequé, Ventaquemada y Jenesano, jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Chivor -CORPOCHIVOR. De igual forma se caracterizó la población en su componente social, económico y cultural de los municipios de Ventaquemada, Nuevo Colon, Boyacá, Jenesano y Turmequé, además, se estructuró e incorporó la información geográfica de aguas subterráneas obtenida, en el SIG de CORPOCHIVOR, de acuerdo a los lineamientos establecidos en el sistema de información de la Corporación y del recurso hídrico a nivel nacional y finalmente se elaboró el modelo hidrogeológico conceptual mediante la recopilación de información primaria y secundaria.

El Plan de Gestión Ambiental Regional 2007 – 2019 PGAR de CORPOCHIVOR, se encuentra estructurado en programas y proyectos, el proyecto que se está presentando al Fondo de Compensación Ambiental, se encuentra enmarcado en la línea estratégica 2 denominada “GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO”, ésta línea estratégica se encuentra conformada por el proyecto denominado “Uso Sostenible del Recurso Hídrico”, el cual está articulado con la macro estructura de proyectos adscrita al Plan de Acción 2007 – 2012, donde se tiene establecida la misma línea estratégica y el mismo proyecto del PGAR 2007 - 2019. Teniendo en cuenta la problemática evidenciada en cuanto a la carencia de conocimiento de la oferta hídrica subterránea existente en la jurisdicción, nació la necesidad de realizar un estudio en donde se establecieron la caracterización de las condiciones actuales del área de influencia en su contexto social, económico y cultural,

y así mismo se identificaron los aspectos geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, y climáticos de la región. Con lo anterior, se realizó la formulación del modelo hidrogeológico conceptual, la cual permitió evaluar la oferta y demanda hídrica y sus características de calidad de las aguas subterráneas, con el fin de formular el Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos y, por consiguiente, se estructuró los programas, proyectos y actividades encaminados a la preservación del recurso subterráneo, su distribución y su vulnerabilidad ante fenómenos antrópicos y naturales. El estudio pretende ser punto de partida para el cumplimiento de objetivos primordiales hacia un Desarrollo Sostenible y hacia las Políticas Nacionales sobre la Gestión Integral del Recurso Hídrico, donde se planifique, administre, se realice seguimiento y monitoreo de las diferentes fuentes alternas de abastecimiento en la jurisdicción, bajo un criterio de Responsabilidad y manejo adecuado de los mismos, siendo fundamental el conocimiento del área de estudio de acuerdo a las condiciones identificadas y a las acciones de fortalecimiento a los procesos para un manejo ambiental adecuado.

3.2 LOCALIZACIÓN

El área de estudio del PMAA abarca una extensión de 845 Km^2 de 11 municipios del Departamento de Boyacá como lo son: Viracachá, Ciénaga, Jenesano, Tibaná, Nuevo Colón, Turmequé los cuales se encuentran en su totalidad dentro del área y con un área parcial los municipios de: Boyacá, Ventaquemada, Ramiriquí, Úmbita y Chinavita. Ver *Figura 1*, el cual se ubica en la cuenca alta del Rio Garagoa la cual se caracteriza por ser exorreica, presentar múltiples formas en la red hidrológica; parte de las vertientes la constituyen tributarios permanentes durante todo el año y en otra gran parte de ellos son intermitentes durante los periodos de sequía, lo que implica que son inestables dependiendo de la intensidad y duración de las lluvias a lo largo del año (Fonseca, 2014). De la cuenca alta del rio Garagoa derivan la subcuenca rio Teatinos, subcuenca rio Garagoa, subcuenca rio Turmequé, subcuenca rio Juyasia, subcuenca rio Tibaná, subcuenca rio Fusavita, subcuenca rio Bosque.

El área del sistema acuífero Teatinos se encuentra limitada al occidente por los municipios de Tunja, Cucaita, Samacá, Guachetá, Lenguaque, hacia el oriente se

encuentra limitado por los municipios de Soracá, Siachoque, Rondón, hacia el Sur-Occidente se encuentra limitado por los municipios de Pachavita, la Capilla, Villapinzón, hacia el Sur-Oriente se encuentra limitado por los municipios de Chinavita y Zetaquirá.

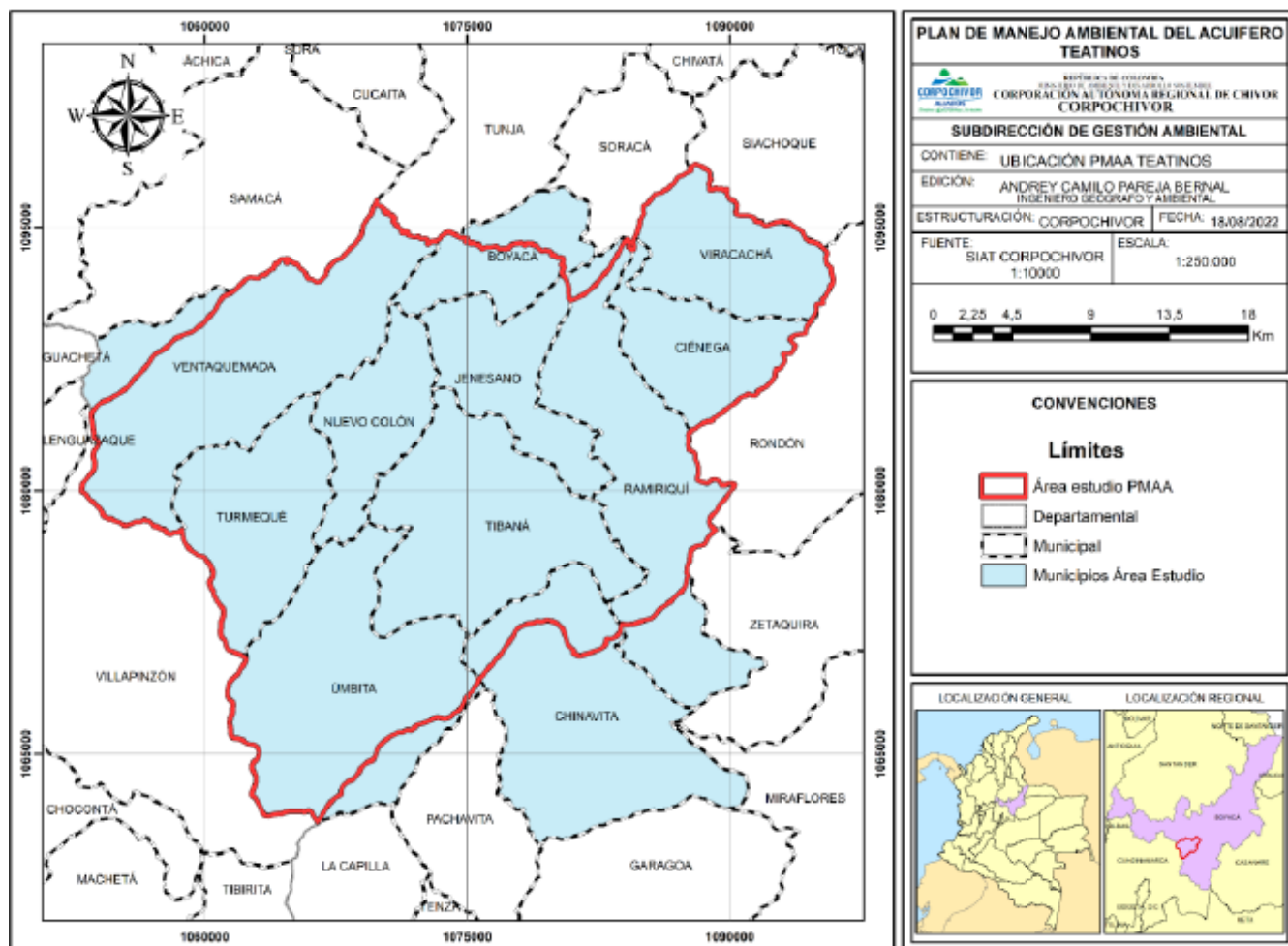


Figura 1. Localización del área de estudio del PMAA Teatinos.

Fuente: Corpochivor 2022, PMAA TEATINOS

3.3 CUENCA ALTA DEL RIO GARAGOA Y SUBCUENCAS

3.3.1 Cuenca del Rio Garagoa

La cuenca del río Garagoa, está localizada en el borde oriental de la Cordillera Oriental, su extremo superior hace parte del altiplano Boyacense y drena en la vertiente Oriental Andina. forma parte de la cuenca del Orinoco a través de los ríos Upía y Meta.

El río Garagoa nace al sur oriente del municipio de Samacá, en el páramo de Rabanal, desde su inicio toma el nombre de río Teatinos que por la confluencia de numerosas quebradas pasa a formar el río Boyacá, al cual drenan las aguas del río Juyasía, a partir de allí se conoce como río Jenesano y más adelante río Tibaná; este se une con el río Turmequé y toma el nombre de río Garagoa. Aguas abajo recibe aportes de los ríos El Bosque, Fusavita, Guaya y Súnuba, punto en el cual comienza el embalse La Esmeralda; después del cual continua su recorrido con el nombre de río Garagoa o Batá, conformando una cuenca de 2508 Km^2 . (Corpochivor, 2022)

3.3.2 Subcuenca Rio Teatinos

La subcuenca del Rio Teatinos nace en el Páramo Rabanal en el municipio de Samacá, cuenta con un área de 19347 (Ha), un perímetro de 100.122 (m), se encuentra a 3450 m.s.n.m. Las microcuencas derivadas del rio Teatinos son Quebrada Honda, Quebrada El Chital, Quebrada Cortaderal, Quebrada El Neme, Quebrada Las Pilas, Quebrada Firagucia, Quebrada Palo de Hacha, Quebrada El Chulo y el Embalse Teatinos. Los municipios aferentes a la cuenca del Rio Teatinos en el marco del proyecto PMAA Teatinos son Ventaquemada y Boyacá. (Corpochivor, 2022)

3.3.3 Subcuenca Rio Garagoa

La subcuenca del Rio Garagoa deriva de la subcuenca del rio Tibaná, cuenta con un área de 29092 (Ha), un perímetro de 113.210 (m), se encuentra a 1860 m.s.n.m. Las microcuencas derivadas del rio Garagoa son Quebrada Sicha, Quebrada Usillo-Chorro Blanco. Los municipios aferentes a la cuenca del Rio Garagoa en el marco del proyecto PMAA Teatinos son Tibaná, Úmbita y Chinavita. (Corpochivor, 2022)

3.3.4 Subcuenca Rio Turmequé

La subcuenca del Rio Turmequé deriva de la subcuenca del rio Albarracín, cuenta con un área de 34685 (Ha), un perímetro de 88.184 (km), se encuentra a 3400 m.s.n.m. Las microcuencas derivadas del rio Turmequé son, Rio Icabuco, Rio Ventaquemada, Rio Muincha, Rio Albarracín, Quebrada Grande, Quebrada Baza. Los municipios aferentes a la cuenca del Rio Turmequé en el marco del proyecto PMAA Teatinos son Tibaná, Úmbita, Nuevo Colon, Turmequé y Ventaquemada. (Corpochivor, 2022)

3.3.5 Subcuenca Rio Juyasia

La subcuenca del Rio Juyasia inicia en la parte Nororiental del municipio de Ciénega, cuenta con un área de 13880 (Ha), un perímetro de 57.535 (km), se encuentra a 2540 m.s.n.m. Las microcuencas derivadas del rio Juyasia son, Quebrada La Isla, Quebrada Chorro Blanco, Quebrada Agua Regada, Quebrada El Guamo, Quebrada El Conchudo, Quebrada El Rosal, Quebrada y la Quebrada El cebadal. Los municipios aferentes a la cuenca del Rio Juyasia en el marco del proyecto PMAA Teatinos son Viracachá, Ciénega y Ramiriquí. (Corpochivor, 2022)

3.3.6 Subcuenca Rio Tibaná

La subcuenca del Rio Tibaná deriva de la subcuenca del rio Turmequé, cuenta con un área de 15577 (Ha), un perímetro de 56.422 (km). Las microcuencas derivadas del rio Tibaná son Quebrada La Isla, Quebrada Chorro Blanco, Quebrada Chiguata, Quebrada Las Sirenas, Quebrada Única, Quebrada Grande, Quebrada Sutamanga, Quebrada La Sucia, Quebrada Ruche y la Quebrada Baganique. Los municipios aferentes a la cuenca del Rio Tibaná en el marco del proyecto PMAA Teatinos son Tibaná, Jenesano, Boyacá, Nuevo Colon y Ramiriquí. (Corpochivor, 2022)

3.3.7 Subcuenca Rio Fusavita

La subcuenca del Rio Fusavita deriva de la subcuenca del rio Tibaná, cuenta con un área de 12663 (Ha), un perímetro de 55.461 (km). Las microcuencas derivadas del

rio Fusavita son Quebrada La Miel, Quebrada Colorada, Quebrada Hundida, Quebrada Las Sirenas, Quebrada Los Quinchos y la Quebrada El Oso. Los municipios aferentes a la cuenca del Rio Fusavita en el marco del proyecto PMAA Teatinos son Tibaná, Ramiriquí y Chinavita. (Corpochivor, 2022)

3.3.8 Subcuenca Rio Bosque

La subcuenca del Rio Bosque deriva de la subcuenca del Rio Turmequé, cuenta con un área de 8877 (*Ha*), un perímetro de 44.283 (*km*). Las microcuencas derivadas del rio Bosque son las Quebrada Colorada, Quebrada Caibo, Quebrada El Barrial y la Quebrada Tásvita. El municipio aferente a la cuenca del Rio Bosque en el marco del proyecto PMAA Teatinos es Úmbita y Tibaná. (Corpochivor, 2022)

4 MARCO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

El presente capítulo describe las unidades geológicas presentes en la zona de estudio. Las descripciones se basan en la actualización cartográfica de la geología de la zona, realizada durante las primeras etapas del PMMA.

La actualización cartográfica de la geología de la zona de estudio se llevó a cabo con el objetivo de generar información geológica actualizada y detallada, con énfasis en los aspectos hidrogeológicos.

4.1 EVALUACIÓN GEOLÓGICA

El presente capítulo resume la memoria explicativa del levantamiento geológico regional y local del Acuífero Teatinos, describiendo brevemente la estratigrafía y geología estructural de la zona de estudio. Las formaciones geológicas descritas corresponden únicamente a las presentes dentro del área hidrogeológica.

4.1.1 Estratigrafía

Las formaciones geológicas aflorantes corresponden a rocas sedimentarias con edades que van desde el cretáceo pasando por el cenozoico hasta los depósitos recientes o cuaternarios. Estos materiales pertenecen a las cuencas de los Farallones y la Sabana de Bogotá, las cuales se identificaron desde la más antigua a la más reciente. Mediante el levantamiento geológico y la asociación de secuencias estratigráficas, se realizó la delimitación de las regiones que presentan condiciones similares y equivalentes dentro de los procesos de sedimentación y la deformación estructural. Las zonas delimitadas obedecen a la presencia de fallas y estructuras que enmarcan límites deposicionales que determinan asociación de facies, estas se pueden apreciar en la *Figura 2*.

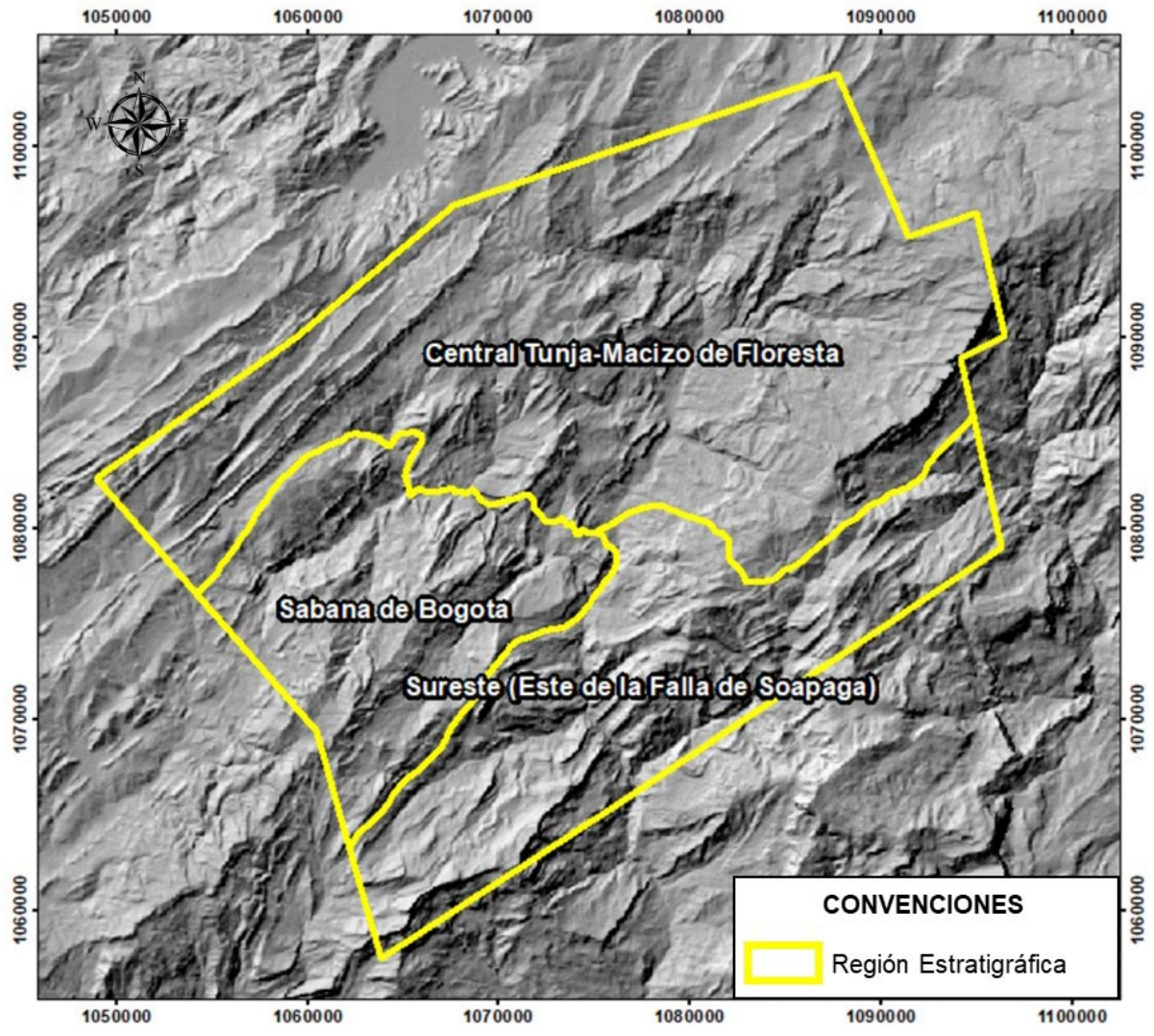


Figura 2 Delimitación de regiones estratigráficas asociadas al área de estudio

Fuente: CORPOCHIVOR,2022.

4.1.2 Correlación Estratigráfica

Mediante el desarrollo del levantamiento geológico ejecutado en el área delimitada, se identificaron secuencias estratigráficas relacionadas con la presencia de tres regiones pertenecientes a la cuenca cordillera oriental ver *Figura 2*. La correlación estratigráfica dentro de estas tres regiones se presenta en la *Figura 3* y se presenta el mapa geológico local del área de estudio en la *Figura 5*

SISTEMA	SERIE	EDAD	CUENCA CORDILLERA ORIENTAL			
			REGION SABANA DE BOGOTA	REGION TUNJA-MACIZO DE FLORESTA	REGION SURESTE (ESTE DE LA FALLA DE SOAPAGA)	
CUATERNARIO	HOLOCENO	MEGALAYIANO	Deposito Aluvial (Qal)	Deposito Aluvial (Qal)	Deposito Aluvial (Qal)	
		NORGRIPIANO	Deposito Coluvial (Q2c)	Deposito Coluvial (Q2c)	Deposito Coluvial (Q2c)	
NEOGENO	PLIOCENO	PIACENZIANO	Formacion Tilata (N2t)	Formacion Tilata (N2t)	HIATO	
		ZANCLIANO				
PALEOGENO	OLIGOCENO	RUPELIANO	HIATO	HIATO	Formacion Concentración (E2E3co)	
		PRIABONIANO				
		BARTONIANO				
		LUTETIANO				
	PALEOCENO	THANETIANO	Formación Bogota (E1b)	Formación Bogota (E1b)	Formación Picacho (E2p)	
					Formación Arcillas de Socha (E1ss)	
			Formación Cacho (E1c)	Formación Cacho (E1c)	Formación Areniscas de Socha (E1si)	
		Formación Guaduas (K2E1g)	Formación Guaduas (K2E1g)	Formación Guaduas (K2E1g)		
CRETACICO	SUPERIOR	MAASTRICHTIANO	Formación Labor y Tierna (K2lt)	Formación Labor y Tierna (K2lt)	Formación Labor y Tierna (K2lt)	
			Formación Plaeners (K2p)	Formación Lidita Superior (K2l)	Formación Plaeners (K2p)	Formación Plaeners (K2p)
		CAMPANIANO				
		SANTONIANO	Formación Arenisca Dura (K2d)		Formación Conejo (K2c)	Formación Arenisca Dura (K2d)
		CONIACIANO	Formación Conejo (K2c)		Formación Conejo (K2c)	Formación Conejo (K2c)
		TURONIANO	Formación Frontera (K2f)			
			Formación Simijaca (K2s)			
		CENOMANIANO	Formación Churuvida (K2ch)	Formación Churuvida (K2ch)	Formación Churuvida (K2ch)	Formación Churuvida (K2ch)
			Formación Une (K1K2U)	Formación Une (K1K2U)	Formación Une (K1K2U)	Formación Une (K1K2U)
DEVONICO	SUPERIOR	ALBIANO	Formación Tibasosa (Kmt)	Formación Tibasosa (Kmt)	Formación Tibasosa (Kmt)	
		APTIANO				
		BARREMIANO				
		HAUTERIVIANO				
		FRASNIANO	Formacion Cucho (Cc)	Formacion Cucho (Cc)	Formacion Cucho (Cc)	

Figura 3 Correlación estratigráfica cuenca cordillera y las regiones estratigráficas que intervienen.

Fuente: CORPOCHIVOR, 2022.

4.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Para los fines de este estudio, una unidad hidroestratigráfica consiste de unidades geológicas contiguas que tienen características hidráulicas similares (Seaber, 1988 en Anderson, Woessner & Hunt 2015). En este sentido en el presente capítulo se categorizará cada una de las unidades geológicas que afloran en el área de estudio según su capacidad de recibir, almacenar y transmitir el agua a través de ellas.

Acuífero: Formación geológica permeable que puede recibir, almacenar y transmitir agua en cantidades significativas (Freeze & Cherry, 1979). Es decir, funciona como un reservorio natural que permite el flujo y la extracción de agua para diversos usos.

Acuitardo: Formación geológica de permeabilidad vertical más importante que la horizontal. Es decir, tiene capacidad para transmitir agua en el sentido de flujo vertical

Acuicludo: Formación geológica de baja permeabilidad que no permite el flujo significativo de agua (Freeze & Cherry, 1979). En otras palabras, actúa como una barrera que limita el movimiento del agua.

Se emplea la información litológica disponible para el área de estudio levantada en campo por el equipo de geología del proyecto, así como aquellas disponibles en informes de geología del SGC.

La síntesis de las unidades hidroestratigráficas del área de estudio se presenta en el diagrama cronoestratigráfico de la Figura 4 que las discrimina por las cuencas de la Cordillera Oriental consideradas. De igual manera, el mapa de la Figura 5 presenta la distribución espacial de cada una de estas unidades. Las unidades litoestratigráficas que afloran en el área del proyecto corresponden a una sucesión sedimentaria con rocas con edades que van desde el Cretácico, depositadas principalmente en un ambiente de depósito marino, así como rocas cenozoicas, depositadas en un ambiente continental.

A continuación, se categorizan cada una de dichas unidades desde la más antigua hasta la más reciente, para la región de la Sabana de Bogotá, de Tunja-Macizo de Floresta y del este de la Falla de Soapaga, descritas siguiendo la nomenclatura estándar del SGC para cada una, por ejemplo Renzoni (1967) y Ulloa & Rodríguez (1975).

SISTEMA	SERIE	EDAD	CUENCA CORDILLERA ORIENTAL			
			REGION SABANA DE BOGOTA	REGION TUNJA-MACIZO DE FLORESTA	REGION SURESTE (ESTE DE LA FALLA DE SOAPAGA)	
CUATERNARIO	HOLOCENO	MEGALAYIANO	Deposito Aluvial (Qal)	Deposito Aluvial (Qal)	Deposito Aluvial (Qal)	
		NORGRIPIANO	Deposito Coluvial (Q2c)	Deposito Coluvial (Q2c)	Deposito Coluvial (Q2c)	
NEOGENO	PLIOCENO	PIACENZIANO	Formación Tilata (N2t)	Formación Tilata (N2t)	HIATO	
		ZANCLIANO				
PALEOGENO	OLIGOCENO	RUPELIANO	HIATO	HIATO	Formación Concentración (E2E3co)	
		PRIABONIANO				
		BARTONIANO				
		LUTETIANO				
	PALEOCENO	THANETIANO	Formación Bogota (E1b)	Formación Bogota (E1b)	Formación Picacho (E2p)	
		SELANDIANO	Formación Cacho (E1c)	Formación Cacho (E1c)	Formación Arcillas de Socha (E1ss)	
			DANIANO	Formación Guaduas (K2E1g)	Formación Guaduas (K2E1g)	Formación Guaduas (K2E1g)
CRETACICO	SUPERIOR	MAASTRICHTIANO	Formación Labor y Tierna (K2t)	Formación Labor y Tierna (K2t)	Formación Labor y Tierna (K2t)	
		CAMPANIANO	Formación Plaeners (K2p)	Formación Lidita Superior (K2l)	Formación Plaeners (K2p)	Formación Plaeners (K2p)
			SANTONIANO	Formación Arenisca Dura (K2d)	Formación Conejo (K2c)	Formación Arenisca Dura (K2d)
		CONIACIANO	Formación Conejo (K2c)	Formación Conejo (K2c)		
		TURONIANO	Formación Frontera (K2f)	Formación Churuvita (K2ch)	Formación Churuvita (K2ch)	
			Formación Simijaca (K2s)			
		CENOMANIANO	Formación Churuvita (K2ch)	Formación Churuvita (K2ch)	Formación Churuvita (K2ch)	
		INFERIOR	ALBIANO	Formación Une (K1K2U)	Formación Une (K1K2U)	Formación Une (K1K2U)

Acuífero
 Acuitardo

Figura 4 Diagrama cronoestratigráfico con las unidades hidroestratigráficas para las cuencas de Cordillera Oriental abarcadas. En color azul se presentan unidades acuíferas y en café los acuitardos. Fuente:

CORPOCHIVOR, 2022

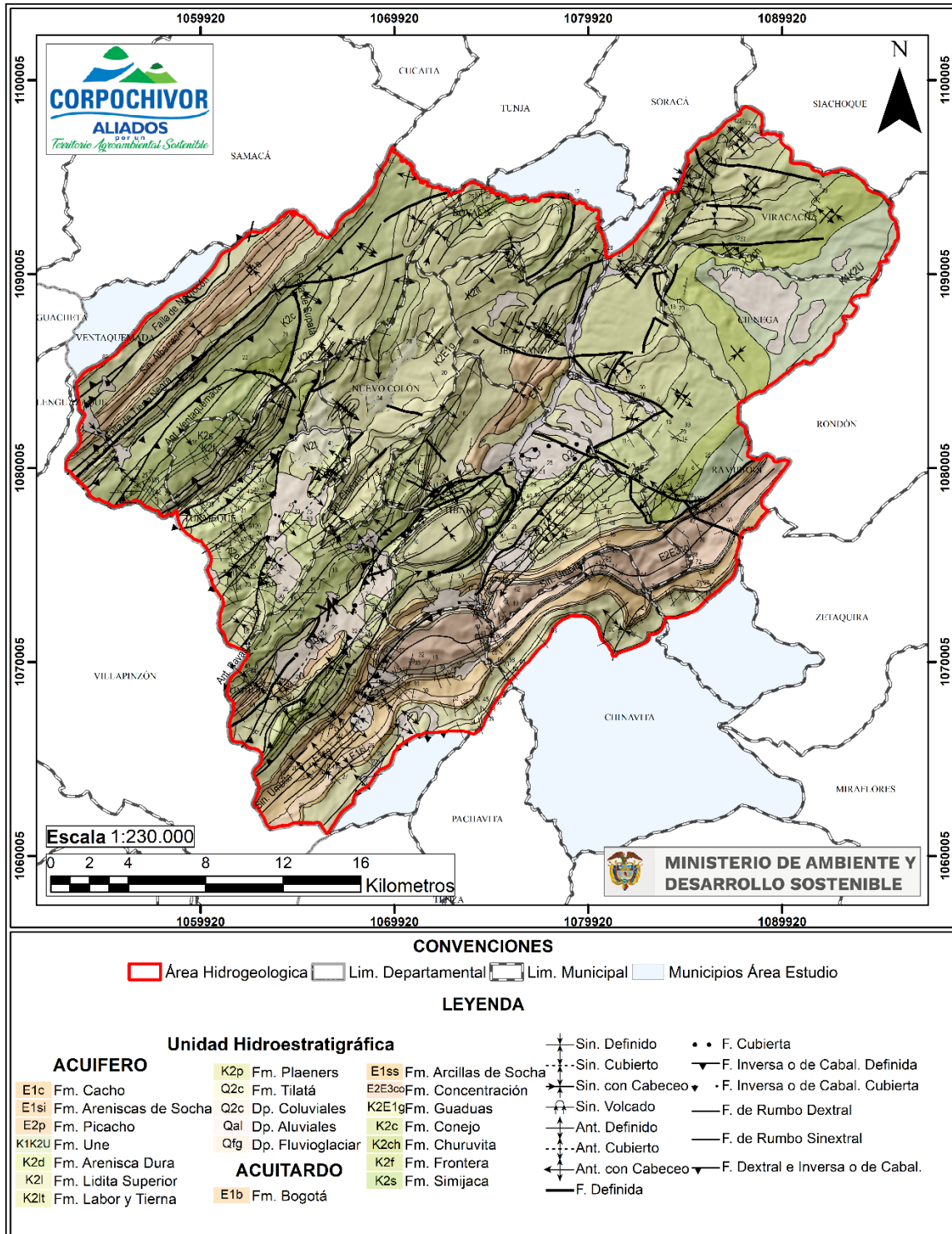


Figura 5 Mapa con unidades hidroestratigráficas para el área de estudio

Fuente: CORPOCHIVOR, 2022

4.2.1 Región central (Tunja-Macizo de Floresta)

4.2.1.1 Acuífero Formación Une (K1K2U) – Albiano Superior a Cenomaniano

Este aflora únicamente en el sector noreste del área de estudio, en los municipios de Ciénega y Viracachá. (Figura 5) Según la descripción de Renzoni (1967) para la Plancha 191-Tunja, esta unidad se compone de areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, localmente conglomeráticas con cemento silíceo y ferruginoso intercaladas con capas de shale, más abundantes hacia su techo. En el área de estudio el equipo de Geología controló un afloramiento característico en esta zona de un banco de 3 m de espesor, arenisca color gris, grano fino a muy fino, compacta, altamente fracturada, moderadamente meteorizada, estratificación plano-paralela discontinua (Corpochivor, 2022). Al norte de Tunja, en el área de Duitama, Santa Rosa de Viterbo y Firavitoba, SGC (2016) describe la unidad como areniscas de cuarzo friables con muy buena porosidad intergranular y por fracturamiento debido al plegamiento, prueba de ellos son los pozos que captan esta formación producen caudales entre 7.5 y 25 L/s. En el área de estudio se midió un espesor de 500 m y se diferenciaron tres niveles, un superior y uno inferior arenoso, de gran espesor y uno intermedio delgado carbonoso. (Corpochivor, 2022).

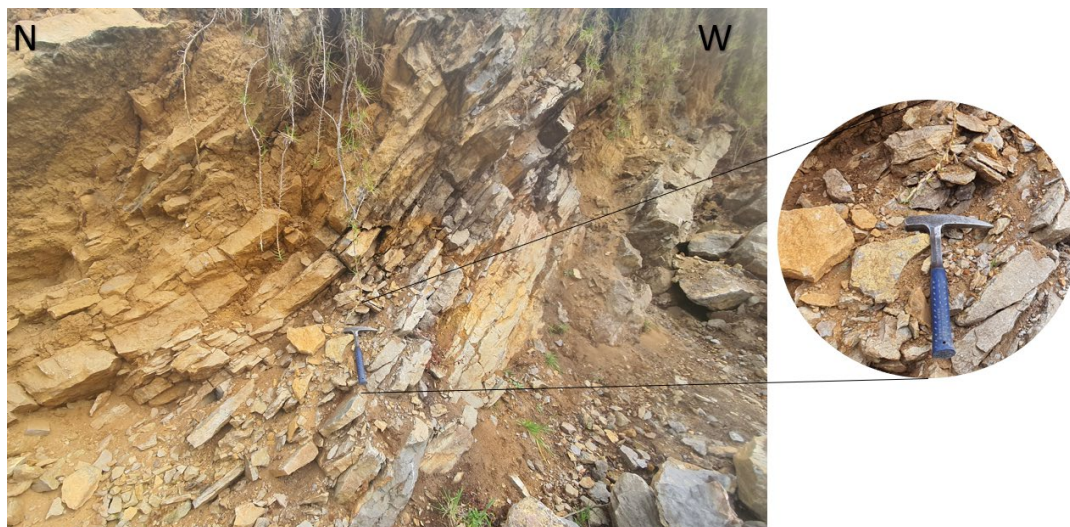


Figura 6 Vista de afloramiento de areniscas fracturadas de la Formación Une en el municipio de Ciénega. E:1086966 N:1089717 Fuente: CORPOCHIVOR, 2022.

Dadas las condiciones anteriormente descritas para la Formación Une en el área de estudio y otras cercanas, esta unidad es catalogada como acuífero. Es importante notar que el grado de cementación y de fracturamiento que presentan las areniscas de la formación pueden reducir significativamente su porosidad y permeabilidad, y por ende su capacidad de transmitir en cantidades significativas el agua subterránea.

4.2.1.2 Acuitardo Formación Churuvita (K2ch) – Cenomaniano a Turoniano

Esta unidad aflora principalmente en el nororiente del área de estudio en los municipios de Ciénega y Viracachá y en menor medida en Ramiriquí (Figura 5). Hacia el norte del área aflora en pequeñas fajas en Boyacá, Ventaquemada y Turmequé. Si bien está definida por las formaciones Churuvita y San Rafael, en la plancha 191- Tunja no se discriminan dichas formaciones en la cartografía geológica. En el área de estudio, Renzoni (1967) interpreta un cambio facial a partir de columnas estratigráficas levantadas dentro del área de estudio. Mientras que en la vía que comunica a Tunja con Zetaquirá a la altura de Bijagual, el grupo tiene un espesor de 250 m y se compone enteramente de shales fosilíferos, más hacia el norte en la carretera que va de Ciénega a Viracachá el espesor de la sucesión se mantiene, pero en la intercalación predominan las calizas sobre los shales (Corpochivor, 2022).

En la vereda de Teguanequé del municipio de Turmequé el equipo de Geología describió un conjunto de niveles de lutitas micáceas con laminación paralela a la estratificación y fácilmente degradable (shale) con espesores promedio de unos 5 m intercalados con niveles de arenisca cuarzosa de grano fino, con presencia de micas son masivas, bien cementadas, color amarillo a blanco, en estratos de 15 a 30 cm de espesor. En el municipio de Boyacá, se describió un banco de lutita carbonosa con alto contenido de óxido de hierro, altamente fracturado, medianamente meteorizado, estratificación plano paralela no continua, asociada a la zona de fracturamiento de la Falla Chivata. En general se espera una mayor proporción de materiales finogranulares sobre las calizas y esporádicas capas de areniscas que la conforman, por lo que se infiere permeabilidad

reducida para esta unidad. No obstante, puede constituir niveles de interés a escala local debido al efecto de fracturamiento cerca a zonas de falla como reporta el equipo de Geología.

4.2.1.3 Acuitardo Formación Conejo (K2c) - Santoniano

Esta unidad aflora en el norte del área de estudio principalmente hacia el NW en Ventaquemada y Turmequé y NE en Ramiriquí, Viracachá y Ciénega (Figura 5). Al norte del área de estudio en el Alto El Conejo, Renzoni (1967) definió esta unidad compuesta por 265 m de una intercalación de shales y 7 niveles de areniscas en capas muy gruesas (3 a 8 m). Al noreste del área de estudio cerca de Boyacá, se reportan también calizas hacia su tope. Por su parte Ortiz, Parra, & Duarte (2018) reportan que en el núcleo del anticlinal de las Pavas la formación está constituida por capas muy gruesas de areniscas de grano fino a muy fino intercaladas con capas muy delgadas hasta medias de lodolitas de color gris claro y limolitas en láminas y capas muy delgadas. Se le asigna una edad Santoniano- Coniaciano. En la región central del área de estudio se midió un espesor total de 370 m compuesto por tres niveles, compuesta en gran medida por arcillas físis grises con intercalaciones regulares de bancos de arenisca. Cubre la mayor parte del área del municipio de Ventaquemada, siendo parte del anticlinal del mismo nombre. En la carretera que conduce a Turmequé, en las Veredas de Choquirá y El Hato se puede observar una parte de la secuencia compuesta por intercalaciones de areniscas compactas de grano fino amarillas a naranjas con lutitas, arcillolitas y shales que varían entre colores naranjas y negros, hacia la parte media se encuentran varias capas de espesores entre 1 y 8 m, compactas, cuarzosas, amarillentas y con tonalidades rosadas; hacia el techo nuevamente se presentan intercalaciones de lutitas, areniscas, arcillolitas y shales. En Nuevo Colón vereda la jabonera se identificó un nivel de arenisca amarilla-blanca grano fino a medio frágil y meteorizada con cemento limo-arcilloso y ferruginoso con evidencia fósil son conchas de tipo braquiópodo (Corpochivor, 2022).

En el Bloque Lanceros, que cubre parte del área de estudio según Sarmiento Rojas (2011), reporta porosidades para los niveles de cuarzoarenitas de grano fino entre el 18 y 28%. La industria de los hidrocarburos caracteriza esta unidad como roca fuente y sello de sistemas petrolíferos, evidencia de esto son los rezumaderos reportados en los contactos de esta unidad con el Grupo Churuvita y Formación Plaeners a unos pocos kilómetros al norte del límite del área de estudio en jurisdicción de Boyacá (Corpochivor, 2022). El predominio de shales sobre los niveles arenosos indican que esta unidad se comporta a nivel regional como un acuitardo, no se descarta, no obstante, un comportamiento como acuífero para aquellos niveles arenosos que se encuentran en medio las capas de arcillolitas (Corpochivor, 2022).

4.2.1.4 Acuífero Formación Plaeners (K2p) – Coniaciano a Santoniano

Esta unidad aflora principalmente al norte del municipio de Ramiriquí y en fajas delgadas en los demás municipios del norte del área de estudio (Figura 5). En la vía que comunica a Ramiriquí con Boyacá a la altura de El Encanto, se compone de una sucesión de 97 m que hacia su base presenta chert con nódulos calcáreos, porcelanitas y fosforitas, y hacia su tope shales y areniscas con cavidades (o amigdaloides) en capas muy gruesas (Renzoni, 1967). En el área de Jenesano, se compone según Ortiz et al. (2018) de chert, limolitas, capas delgadas hasta gruesas de cuarzo arenitas amarillas de grano muy fino con buena selección, intercaladas con láminas de arcillolitas, arenitas fosfáticas y lutitas grises. En el sector central del área de estudio, el equipo de geología reporta un espesor entre 100 y 160 m, compuesto por liditas y en menor proporción areniscas. Así mismo reportan en las áreas estudiadas como punto común el grado de fracturamiento de las porcelanitas que se parten formando “panelitas” rasgo característico de esta unidad (Corpochivor, 2022). El flujo del agua a través de estos materiales se da principalmente a través de las fracturas que comúnmente los afectan, mientras que el flujo intergranular debe ser reducido debido a la naturaleza finogranular de la unidad. Si bien la cantidad de agua almacenada para esta unidad es variable, dependiendo de los procesos tectónicos que propician su fracturamiento, puede ser considerada como un acuífero.

4.2.1.5 Acuífero Formación Labor y Tierna (K2lt) – Maastrichtiano medio

La Formación aflora en extensas fajas hacia los municipios de Nuevo Colón, Jenesano, Boyacá, Ventaquemada y Viracachá y en menor medida en Ramiriquí y Tibaná (Figura 5). Esta unidad en el sector de El Encanto sobre la vía que comunica a Ramiriquí con Boyacá, según Renzoni (1967), tiene un espesor total de 161 m y se compone de una intercalación de 127 m de shales con areniscas, calizas lumaquéticas y fosforitas y 34 m de areniscas y fosforitas hacia su tope. Es generalizada la descripción de areniscas de grano fino a conglomerático, predominando el grano grueso. Estos niveles pueden ser tanto friables como compactas pero fracturadas, en el área de estudio esta formación tiene entre 100 y 120 m de espesor (Corpochivor, 2022).

Según Sarmiento Rojas (2011) en el Bloque Lanceros, dentro del área de estudio se reporta porosidades en promedio de 24% y permeabilidades de hasta 1000 mD (0.335 m/d). Según la recopilación de este autor en una conceptualización realizada por la industria de los hidrocarburos, se tiene un predominio de la facies shoreface inferior con aumento en el espesor del reservorio en sentido SE. Se tiene reporte de un rezumadero de hidrocarburo cerca del contacto con Plaeners en el municipio de Boyacá a pocos kilómetros al norte del límite del área de estudio (Corpochivor, 2022). Esta unidad se caracteriza como acuífero, esperando un flujo predominantemente intergranular en los niveles arenosos más friables y a través de fracturas para niveles arenosos con mayor cementación y para los niveles de lodolitas (Corpochivor, 2022).



Figura 7 Vista de afloramiento de la Formación Labor y Tierna compuesto de areniscas compactas. Coordenadas N: 1078925 E: 1071361 MAGNA Colombia Bogotá

Fuente: CORPOCHIVOR, 2022.

EDAD			FORMACIÓN	ESPESOR (m)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
SISTEMA	PERIODO	PISO				
CRETÁCEO	PALEOGENO	MEDIO	ACUÍFERO CACHO	130-180		Areniscas cuarzosas de color amarillo a pardo oscuro, de grano medio a fino.
						Areniscas de grano grueso con cemento ferruginoso, estratificación interna.
	CAMPA NIANO		ACUÍFERO FM. LABORY TIERNA	100-120		Bancos potentes de de areniscas cuarzosas, de color claro, de grano medio, generalmente friables.
						Lutitas amarillas y grises. Lutitas intercaladas de areniscas cuarzosas blancas, de grano fino a medio.
	CONCINIANO	SUP-MED	ACUÍFERO FM PLAENERS	100-160		Estratos compuestos por lutitas de gran espesor.
						Intercalaciones de arenisca de grano fino compactas y duras con arcillas limosas.
TURONIANO		ACUITARDO FM. CONEJO SUPERIOR	370		Estratos de porcelanitas con presencia de fósiles, intercaladas con arcillolitas friables.	
					ACUÍFERO FM. CONEJO MEDIO	Arcillolitas friables grises con intercalaciones regulares de bancos de arenisca característicos.
					ACUÍFERO FM. CONEJO INFERIOR	
ALBIANO	MEDIO	UNE	505		Bancos de arenisca cuarcítica blanca sumamente compactas y con estratificación cruzada.	
					Lutitas carbonosas	
						Banco de arenisca cuarzosa amarilla, intercalado entre arcillolitas friables de color gris claro.

Figura 8 Columna hidroestratigráfica con unidades acuíferas diferenciadas en el sector central del área de estudio para el Paleoceno y Cretácico.

Fuente: CORPOCHIVOR, 2022.

4.2.1.6 Acuitardo Formación Guaduas (K2E1g) – Maastrichtiano superior a Paleoceno inferior

Esta formación aflora principalmente hacia Nuevo Colón, Jenesano, Turmequé y Ventaquemada, en el norte y hacia Úmbita en la zona SE del área de estudio (Figura 5). Renzoni (1967), al norte del área de estudio, no reporta espesor, pero si describe una intercalación de arcillolitas con arenas y niveles de carbón, con un nivel de areniscas friables de grano grueso hacia su tope de 40 m de espesor. En el área de Jenesano y

Tibaná, se compone de una intercalación de lodolitas grises con mantos de carbón hacia sus partes basal e intermedia, donde además se destacan bancos de arenitas color marrón, de grano fino hasta grueso, mal seleccionados, con estratificación cruzada (Ortiz et al., 2018). Dentro del área de estudio el equipo de Geología del Proyecto refiere arcillolitas abigarradas y grises ricas en materia orgánica y en menor medida intercalaciones de niveles de areniscas.

Según Sarmiento Rojas (2011) en el Bloque Lanceros, dentro del área de estudio se reporta un espesor para la unidad entre 800 y 1200 m. Se espera baja permeabilidad para los niveles arcillosos, flujo intergranular para los niveles arenosos y friables y finalmente para los niveles de carbón flujo preferencial a través de fracturas. Se reporta una edad maastrichtiana a paleocena. A nivel regional se espera para esta unidad, un comportamiento como acuitardo dada la predominancia de niveles arcillosos, no obstante, localmente, niveles arenosos tales como los miembros La Guía y Lajosa, que han sido identificados en otros sectores, pueden constituir acuíferos localmente (Corpochivor, 2022).

4.2.1.7 Acuífero Formación Cacho (E1c)

Dentro del área, la Formación Cacho aflora en los municipios de Tibaná y Ventaquemada. Con base en la cartografía del equipo de Geología, se dividió en dos niveles el basal o nivel 1 (E1cN1) y el superior o E1cN2. Para el nivel basal se describieron areniscas cuarzosas, blanco amarillentas con cemento limo-arcilloso, de grano fino a grueso y en algunos casos hasta conglomerático, matrices soportadas a friables empaquetamientos tangenciales, con buena porosidad de tipo primario, cerca del área de estudio en el municipio de Samacá. El nivel superior se describió en el municipio de Ventaquemada donde forma parte de los flancos del Sinclinal de Albarracín. En el sur del área de estudio, en el municipio de Úmbita, se describieron 112 m de espesor de capas muy gruesas (de hasta 15 m) de areniscas medio a grueso friables y en ocasiones con algo de matriz arcillosa, con moderada a buena selección y esporádicamente capas de arcillolitas. Con base en su litología se esperan porosidades

del orden de 10 a 12%, y conductividad hidráulica (K) en el rango de 10^{-1} a 10^{-2} m/d (Freeze & Cherry 1979).

4.2.1.8 Acuitardo Formación Bogotá (E1b) – Paleoceno superior a Eoceno inferior

Aflora en el norte del área de estudio en Ventaquemada (Figura 5). La unidad comúnmente se encuentra cubierta, por lo que no se encuentran muchas exposiciones. El equipo de Geología del Proyecto describió en el municipio de Ventaquemada, lodolitas varicoloreadas plásticas de color amarillo a beige con concreciones ferruginosas, sin estructura interna. En el municipio vecino al área de estudio la unidad es más arenosa, distinguiéndose una mayor proporción de areniscas de grano fino a medio friables. El predominio de capas arcillosas se expresa en un relieve suave de colinas redondeadas. Al sur de Tunja Renzoni (1967) solo reporta la presencia de niveles de arcillas rojas y de arenisca, haciendo alusión a que pertenece al segmento medio de la formación. Debido al predominio de material de arcillolitas que se reporta para la unidad, esta se considera un acuitardo, con limitada capacidad para transmitir el agua subterránea (Corpochivor, 2022).

4.2.1.9 Acuífero Formación Tilatá (N2t) – Plioceno a Pleistoceno

Aflora en la zona central de área de estudio en los municipios de Turmequé y Nuevo Colón (Figura 5). Los depósitos que se encuentran en el área, denominados así por Renzoni (1967) por analogía a los producidos por el río Chicamocha entre Tunja y Duitama, se encontrarían compuestos de gravas, arcillas, arenas y lignito (de forma esporádica) con un espesor calculado por este autor de 150 m. Consorcio Rio Garagoa (2017) reporta en Nuevo Colón y Turmequé areniscas de grano medio a grueso friables amarillas. Al norte de Tunja, SGC (2016) menciona la variación lateral que tiene la unidad y que puede disminuir su potencial como acuífero, sin descartar posibilidades en ciertos sectores como un acuífero multicapa dado el tamaño grueso de sus arenas y su baja compactación (Corpochivor, 2022).

El equipo de Geología del Proyecto reportó afloramientos en cercanías del área urbana de Nuevo Colón, al sur-oeste un conjunto predominantemente arenoso de matriz arcillosa color beige a pardo claro con clastos arenosos conglomeráticos disgregados embebidos en la zona basal, es un depósito caótico que se clasifico como un ortoconglomerado de color pardo amarillento con cemento limo-arcilloso (óxido de hierro) alterado en pequeñas proporciones a montmorillonita, heterogéneo, compuesto por fragmentos de otras rocas de grano grueso con contacto puntual entre estos, con poca matriz como probable resultado de la litificación en una zona donde se produjo un movimiento en masa. Hacia el este de Nuevo Colón por su parte reportaron estratos de arenisca friable, masiva sin estructura interna identificable, color amarillo a pardo claro de grano medio a muy grueso subangulares mal seleccionada, mal cementada con porosidad y permeable dentro de una cantera. Sus características hacen esperar porosidades del orden de 8 a 10%, y conductividad hidráulica (K) en el rango de 10^{-2} a 10^{-3} m/d, debido principalmente al contenido de arcillas que pueden reducir su productividad (Freeze & Cherry 1979).

4.2.1.10 *Acuífero depósitos cuaternarios*

Es poco lo descrito sobre la litología y espesores de los depósitos cuaternarios en el área de estudio, con excepción de lo expuesto por Consorcio Río Garagoa (2017) que identifica siete tipos de depósito: Terraza Aluvial (Qt1), Fluvio Torrenciales (Qft), Coluviales (Qco), Morrénicos (Qm), Aluviales (Qal), Coluvio Aluviales (Q2c) y Fluvio Glacial (Qfg). Los depósitos Aluviales se componen de arenas, gravas de cuarzo y bloques subredondeados a redondeados de arenisca compacta, embebidos en una matriz areno-arcillosa, mientras que los Depósitos Coluviales (Q2c), presentan materiales heterogéneos, desde bloques hasta arenas embebidos generalmente en matriz areno arcillosa (Consorcio Río Garagoa, 2017). Dada la descripción anterior los depósitos aluviales, se constituyen en acuíferos debido a su tamaño de grano grueso predominante y a su poca compactación. Así se espera un alto rendimiento para estas unidades, mientras que los depósitos Coluviales (Q2c) pueden constituirse en acuíferos, pero se restringen a zonas pequeñas con espesores que pueden ser limitados. Así

mismo su mala selección pueden reducir en gran medida su capacidad para transmitir y almacenar las aguas subterráneas (Corpochivor, 2022).

4.2.2 Región sureste (Este de la Falla de Soapaga)

Además de las unidades descritas anteriormente, se tiene la aparición en esta región de la Formación Arenisca Dura, como equivalente cronoestratigráfico de la Formación Conejo. Así mismo en la nomenclatura litoestratigráfica como equivalente de la Formación Cacho se reporta en esta área la Formación Areniscas de Socha, así como la Formación Picacho como un conjunto arenoso equivalente cronoestratigráfico a la parte superior de la Formación Bogotá (Corpochivor, 2022).

4.2.2.1 Acuífero Arenisca Dura (K2d) - Santoniano

Aflora en el Anticlinal de las Pavas, en el Anticlinal el Rosal y en el flanco norte del Sinclinal de Maranta. El equipo de geología describió la unidad en sus exposiciones en los municipios de Tibaná y Úmbita, como una intercalación de areniscas, limolitas y en menor medida liditas. Las areniscas se disponen en capas muy gruesas y son generalmente masivas de grano fino a medio moderadamente fracturadas y de color crema, pudiendo estar o no meteorizadas. Por su parte las limolitas y arcillolitas reportadas se encuentran fuertemente fracturadas. De acuerdo con su descripción para esta unidad se clasifica a esta unidad como un acuífero para el que se espera un flujo preferencial a través de las fracturas que la afectan. Se esperan valores de porosidad y conductividad hidráulica similares a los de la Formación Labor y Tierna. Sarmiento Rojas (2011) reporta en el antiguo bloque Carrizal, al NW de Tunja entre Tota y Málaga una porosidad de 10 al 17% con base en estudios petrográficos y del 16 al 18% a partir de modelación de porosidad (Corpochivor, 2022).



Figura 9 Vista de afloramiento de las areniscas que conforman la Formación Arenisca Dura. Fuente: CORPOCHIVOR, 2022.

4.2.2.2 Acuífero Areniscas de Socha (Socha Inferior) (E1si) - Paleoceno

Aflora en el sur del área de estudio en Úmbita, Chinavita y Tibaná (Figura 5). En la vía que comunica a Tibaná con Chinavita Ulloa & Rodríguez (1975) midieron un espesor de 180 m, compuesto de base a tope por un primer segmento de 45 m de areniscas blanco amarillentas de grano grueso a conglomerático, seguido de 45 m de intercalación de areniscas conglomeráticas y arcillolitas abigarradas y un tercer segmento de 90 m de areniscas cuarzosas de grano medio a grueso friables con lentes conglomeráticos. De otro lado en el municipio de Úmbita se observa un espesor de 200 m conformados por areniscas de grano fino a grueso, masivas, en capas medias, con abundante materia orgánica y restos vegetales, con intercalaciones de arcillolitas grises con láminas de areniscas blancas de grano fino, laminación cruzada y plano paralela continua (Rincón Mesa et al., 2014). El equipo de Geología del Proyecto discriminó dos niveles, para el basal o E1siN1 se describieron capas muy gruesas de areniscas de grano fino a medio, mientras que para el nivel superior o E1siN2 se describieron capas muy gruesas (hasta 4 m) de areniscas de grano fino a conglomeráticas friables, bien seleccionadas, en ocasiones con nódulos de hierro y cemento arcilloso y ferruginoso y moderadamente fracturadas.

Así mismo, C & CO SERVICES LTDA (2007) a partir de petrografía de muestras tomadas en el Bloque Soapaga, al norte del área de estudio, reportan porosidades primarias de hasta 21.6% y secundaria por disolución de hasta 11.2%, así como matriz arcillosa de hasta 24%. Estos mismos autores reportan en análisis de laboratorio porosidades en promedio de 13% y permeabilidad de 292 mD (0.24 m/d). Las características anteriormente descritas como lo son el tamaño de grano, grado de compactación y espesor determinan el comportamiento como acuífero de esta unidad con flujo intergranular.

EDAD			FORMACIÓN	ESPESOR (m)	LITOLÓGÍA	DESCRIPCIÓN
SISTEMA	PERIODO	PISO				
PALEOGENO	EOCENO	INFERIOR	ACUÍFERO FM. PICACHO	180-220		<p>Arcillolita habana muy característica.</p> <p>Predominan arcillolitas en parte arenosa, con intercalaciones importantes de areniscas.</p> <p>Gruesos bancos de arenisca, con niveles conglomeráticos, masivos.</p>
	PALEOCENO	MEDIO INFERIOR	ACUÍFERO SOCHA INFERIOR	130-150		<p>Potentes bancos de arenisca cuarzosa, masivas de grano variable.</p> <p>Secuencia de arcillolitas rojas y abigarradas, alternadas con banquitos de areniscas.</p>

Figura 10 Columna hidroestratigráfica con unidades acuíferas diferenciadas en el sector sureste al oriente de la Falla de Soapaga.

Fuente: CORPOCHIVOR, 2022.

4.2.2.3 Acuitardo Arcillas de Socha (Socha Superior) (E1ss) - Paleoceno

Aflora en el sur del área de estudio en Úmbita, Chinavita y Tibaná (Figura 5). Ulloa & Rodríguez (1975) en el cuadrángulo K-12 Guateque, reportan arcillas y limolitas grises, intercaladas con areniscas feldespáticas de grano medio a grueso en capas muy gruesas (hasta 10 m de espesor). Estos mismos autores, en la carretera que comunica a Pachavita con Tibaná, midieron un espesor de 400 m. En la vía Chinavita-Ramiriquí, está conformada por arcillolitas de color gris claro a violeta, presencia de diques de limolita café muy meteorizados y concreciones subredondeadas así como areniscas de

grano muy fino a grueso, amarillas, restos de materia orgánica y micas (Rincón Mesa et al. 2014). El marcado predominio de arcillolitas frente a las capas de areniscas, que en el área del valle del río Pesca puede estar en razón de cinco a uno, según los datos referenciados por Renzoni (1967), permiten postular a escala regional un comportamiento como acuitardo para esta unidad (Corpochivor, 2022).

4.2.2.4 Acuífero Formación Picacho (E2p) – Eoceno Inferior

Aflora en los municipios de Úmbita, Tibaná y Ramiriquí, al sur del área de estudio (Figura 4-). Para esta unidad Rincón Mesa et al. (2014) describen en el área de Úmbita areniscas de grano medio a conglomerático en capas delgadas a gruesas grises y limolitas negras con láminas de areniscas blancas de grano fino. Al este del área de estudio en Rondón, se reporta un espesor de 40 m (Renzoni, 1967). En la sección levantada por Ulloa & Rodríguez (1975), la formación tiene un espesor de 180 m y se constituye de areniscas feldespática de grano medio a grueso, intercalaciones frecuentes de lentes conglomeráticos de cantos de hasta 5 cm de diámetro. El equipo de Geología del Proyecto discriminó para esta unidad tres niveles, el inferior E2pN1 compuesto de areniscas de grano medio a conglomerático con selección de muy buena a pobre, un segundo nivel E2pN2 en el que tienden a predominar las areniscas de grano fino y un tercer nivel E2pN3 en el que predominan de nuevo las areniscas de grano medio a conglomerático.

De otra parte, C & CO SERVICIOS LTDA (2007) a partir de petrografía de muestras tomadas en el Bloque Soapaga, al norte del área de estudio, reportan porosidades primarias de hasta 24% y secundaria por disolución de hasta 7%, así como matriz arcillosa de hasta 16%. Estos mismos autores reportan a partir de muestras de laboratorio una porosidad promedio de 17% y permeabilidad de 829 mD (0.7 m/d). La descripción litológica realizada previamente realizada permite categorizar a esta unidad como un acuífero con flujo intergranular (Corpochivor, 2022).

4.2.2.5 Acuitardo Formación Concentración (E2E3co) – Eoceno a Oligoceno Medio

Aflora principalmente en Úmbita, Chinavita, Ramiriquí Tibaná, al sur del área de estudio (Figura 5). Ulloa & Rodriguez (1975) para el área sur de trabajo reportan que de esta formación solo afloran los 200 m basales, constituidos por un primer segmento de una intercalación de arcillas grises y areniscas cuarzosas de grano medio, un segundo de 30 m de areniscas feldespáticas de grano medio a grueso intercaladas con lentes conglomeráticos y 90 m de intercalación de arcillas, limolitas y areniscas en capas finas a muy gruesas. Se espera a nivel regional un comportamiento como acuitardo para esta unidad (Corpochivor, 2022).

4.2.3 Región Sabana de Bogotá

Además de las unidades previamente descritas, para esta región la parte superior de la Formación Churuvita en las otras dos zonas es separada en sus equivalentes cronoestratigráficos en las formaciones Simijaca y Frontera. De igual forma, la Formación Lidita Superior es descrita como equivalente cronoestratigráfico de la Formación Plaeners en el resto del área de estudio (Corpochivor, 2022).

4.2.3.1 Acuitardo Formación Simijaca (K2s) - Turoniano

Se trata de una secuencia monótona de arcillolitas y shales grises, negros, carbonosos, con foraminíferos, e intercalaciones de capas delgadas plano paralelas de calizas y areniscas, con abundantes concreciones de tamaños variables. Se reconoce en campo por su morfología suave. En la vereda volcán blanco de Turmequé se describió un afloramiento con limolitas silíceas en la parte superior en capas delgadas a medias con laminación plano-paralela, fracturadas con cemento entre silíceo y arcilloso en proporciones variables lateralmente. Considerando su litología esta unidad se espera un comportamiento a nivel regional como acuitardo con conductividades hidráulicas (K) del orden de 10^{-4} m/d (Corpochivor, 2022).

4.2.3.2 Acuitardo Formación Frontera (K2f)

En la vereda la Jurpa de Ventaquemada el equipo de Geología del Proyecto, describió un afloramiento meteorizado en el que se distinguieron tres intervalos: en el primero limolita silíceas de color negro, laminada con cemento silíceo y arcilloso con amonita, uno intermedio con una lodolita silíceas de color gris, dura en algunos sectores fracturada con cemento silíceo predominante y presencia de óxidos de hierro secundario y un segmento superior conformado por intercalaciones de lutitas laminadas color gris oscuro a pardo, fisibles con cemento arcilloso y láminas delgadas de arcillolita blanda con tendencia con concreciones. La descripción anterior indica que a nivel regional esta unidad tendría un comportamiento como acuitardo con conductividad hidráulica (K) del orden de 10^{-4} m/d (Corpochivor, 2022).

4.2.3.3 Acuífero Formación Lidita Superior (K2I)

En el noroccidente del área de estudio el equipo de Geología del Proyecto, describió la formación hacia los flancos del anticlinal de Ventaquemada. La unidad se compone de intercalaciones de lodolitas silíceas y chert, con partición romboidal y ocasionales capas de areniscas con foraminíferos bentónicos. Hacia la base presenta arcillolitas silíceas (liditas o porcelanitas), e intercalaciones lodolitas laminadas ocasionalmente, dispuestas en capas delgadas con estratificación plana paralela, en el segmento medio se presentan intercalaciones de liditas color marrón con arcillolitas gris claro y hacia el techo se presentan limolitas silíceas marrón oscuro

4.3 Geología Estructural

En el marco de la evaluación correspondiente a la subcuenca del Rio Teatinos, se desarrolló el análisis de secciones estructurales las cuales determinaron las condiciones evolutivas respecto a los procesos asociados a la compresión y distensión definido por la incidencia de la Falla de Soapaga, Chocontá y Villapinzón, sobre estructuras plegadas tales como el Sinclinal de Albarracín, Úmbita, Pachavita, Anticlinal Ventaquemada, Chocontá, Gachaneque y Pachavita. En las Figura 4-10, Figura **4-11**,

Figura 4-12, Figura 4-13 se presentan los cortes geológicos producidos en el marco de este estudio, tomando como base la cartografía levantada. La localización de los cortes transversales a las estructuras se presenta en la Figura 5, siendo el corte A-A' el más septentrional y el E-E' más meridional. A continuación, se describen las estructuras geológicas más relevante en el área de estudio: pliegues y fallas.

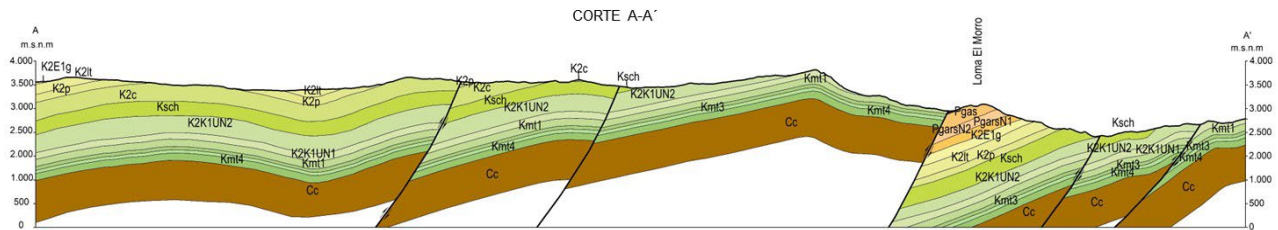


Figura 11 Corte geológico A-A'
Fuente: CORPOCHIVOR, 2022.

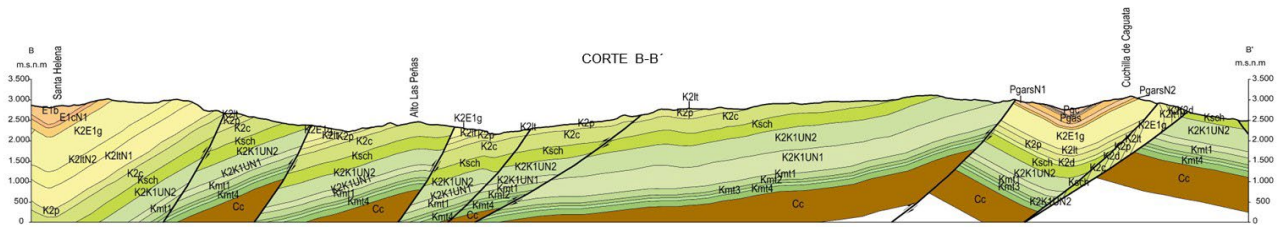


Figura 12 Corte geológico B-B'
Fuente: CORPOCHIVOR, 2022.

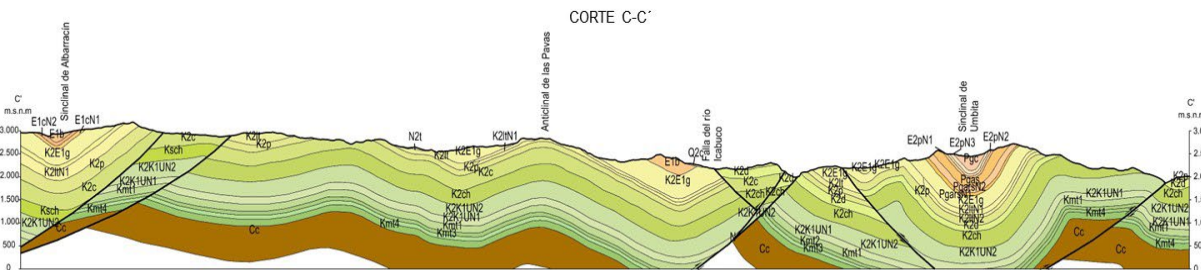


Figura 13 Corte geológico C-C'

Fuente: CORPOCHIVOR,2022.

Fuente: CORPOCHIVOR,2022

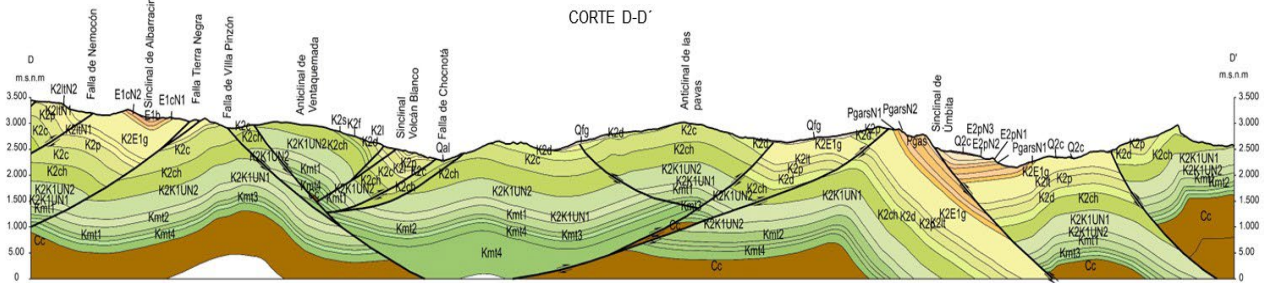


Figura 14 Corte geológico D-D'

4.3.1 Pliegues

Son deformaciones de las rocas, generalmente sedimentarias, en la que estratos litológicos dispuestos de carácter horizontal, son afectados por esfuerzos de compresión sobre las rocas pero que no llegan a romperlas. Dentro del área de estudio la mayoría de los pliegues siguen una dirección regional NE-SW, consistente con el rumbo de las rocas que conforman la cordillera oriental.

4.3.1.1 Anticlinales

Producto de fuerzas compresionales; normalmente son de dirección NE involucrando rocas de las Formaciones Bogotá, Cacho, Conejo, Plaeners y Labor-Tierna, dentro de estas estructuras destacan para el área de estudio el Anticlinal de Ventaquemada, Anticlinal de las Pavas, Anticlinal de Bojirque, Anticlinal al norte de Nuevo Colón, Anticlinal de Guachaneque y Anticlinal del Consumidero.

4.3.1.2 Sinclinales

Deformaciones producidas por fuerzas extensionales que actualmente presentan dirección NE interesando las litologías pertenecientes a las formaciones Labor-Tierna y Guaduas. Estas estructuras son de mayor importancia hidrogeológica teniendo en cuenta su morfología presentando capas convexas hacia arriba y permitiendo, siempre que existan rocas impermeables en su núcleo, zonas de almacenamiento del recurso hídrico subterráneo. Entre los sinclinales más importantes

para la zona de estudio y que dentro de su estructura abarcan rocas de interés hídrico se encuentran el Sinclinal de Albarracín, Sinclinal de Chinata, Sinclinal Puente de Boyacá, Sinclinal de Nueve Pilas y Sinclinal de Úmbita.

4.3.2 Fallas

Las fallas son fracturas en los estratos que se producen por esfuerzos tectónicos, incluida la gravedad y empujes horizontales, actuantes en la corteza. La zona de ruptura tiene una superficie ampliamente bien definida denominada plano de falla. La zona de estudio, se encuentra sometida por esfuerzos compresivos, con el consecuente predominio de fallas de tipo inverso, con presencia de algunas fallas de rumbo, entre las que destacan se encuentran la Falla de Ventaquemada de tipo inversa con orientación NW-SE e inclinación NE; Falla de Villapinzón que se encuentra opuesta a la Falla de Ventaquemada con orientación NE-SW y orientación de inclinación NW; Falla de Tibaná de tipo inversa con dirección aproximada N65°E; Falla de Río Icabuco de tipo inversa con convergencia al NW; y Falla de Soapaga de tipo inversa con ángulo de orientación aproximada N50°E y con vergencia al SE que cambia su orientación en el Alto de las Flores con dirección a N40°W y orientación de inclinación N40°E.

4.4 EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA

El propósito de la cartografía geomorfológica es proporcionar información concisa y sistemática; sobre las formas del terreno, su origen, los tipos de materiales involucrados y los procesos naturales tanto antiguos como activos que los afectan, lo anterior con el fin de proporcionar la reconstrucción histórica, presente y futuro del relieve de una zona específica. Para este estudio se siguieron los lineamientos de jerarquización propuestos por Carvajal (2008) quien plantea enfocar el análisis geomorfológico de un sitio o lugar, siguiendo un proceso analítico del terreno desde lo regional hasta lo local, relacionando la escala aplicada con las jerarquías geomorfológicas, donde la base regional está fundamentada en la génesis geológica de las geoformas y los ambientes morfogenéticos y el detalle basado en los ambientes morfogenéticos, expresión morfológica, litología y procesos morfodinámicos.

Este trabajo se enmarca en la definición de unidades geomorfológicas, como unidad básica de la cartografía geomorfológica. Se siguieron los lineamientos de la *Metodología I.T.C* (Verstappen & Van Zuidam, 1991) las formas del terreno deben ser especificadas y clasificadas desde un punto de vista morfogenético, en términos tales como: terraza fluvial, evitando términos descriptivos y topográficos. Las unidades geomorfológicas se discriminaron en uno de los nueve ambientes morfogenéticos, agrupación de condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas, bajo las cuales se generan las geoformas (SGC, 2012), incluyendo el estructural, volcánico, denudacional, fluvial, marino profundo y costero, glacial, eólico, cárstico o antropogénico y/o biológico. La valoración del relieve siguió los atributos morfológicos y morfométricos estandarizados: contrastes de relieve, inclinación, longitud de la ladera, forma de la ladera, patrón de drenaje,

Tras haber realizado la definición de unidades geomorfológicas, presentadas en la Figura 4-15, en el área que comprende el acuífero Teatinos el ambiente predominante es el estructural con 78.9 % (Figura 15), seguido por el denudacional con un 16.4 %, evidenciando los recientes pulsos orogénicos y la denudación que ha afectado la cordillera oriental. En menor proporción se encuentran el ambiente glacial con un

3.49%, fluvial con un 1.12% y antropogénico con un 0.8%. En el área las alturas van desde 1811 m.s.n.m hasta los 3562 m.s.n.m, con laderas en su mayoría rectas largas a muy largas. El ambiente estructural se presenta en todos los sectores, interrumpido en algunos sectores de piedemonte por unidades de tipo denudacional originadas por la influencia de los procesos geomorfológicos que han afectada las zonas altas de la zona y depositaron materiales de diferente naturaleza en las zonas bajas, representados por conos o lóbulos de soliflucción

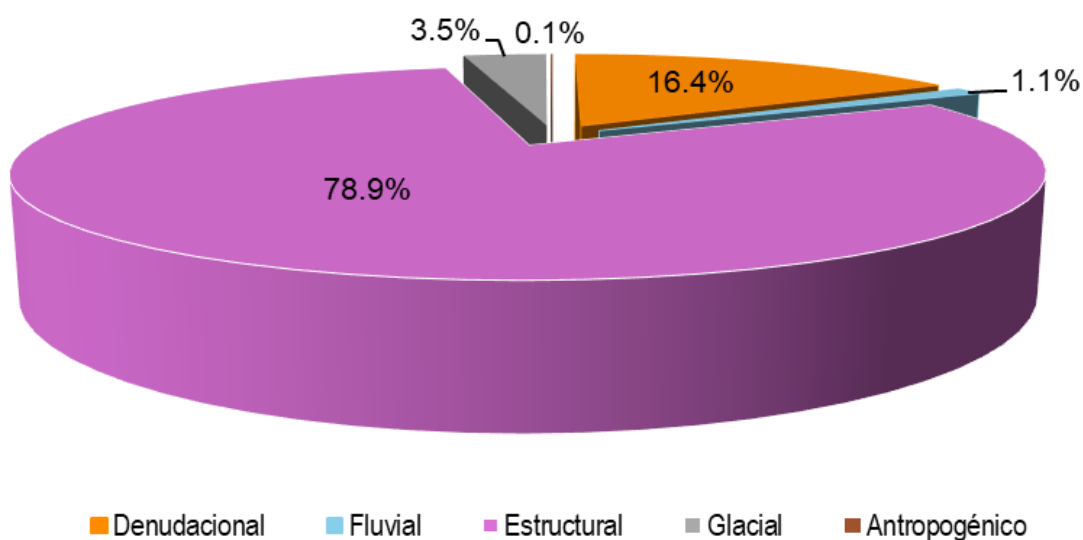


Figura 15 Ambientes geomorfológicos en la cuenca del río Teatinos

Fuente: CORPOCHIVOR, 2022.

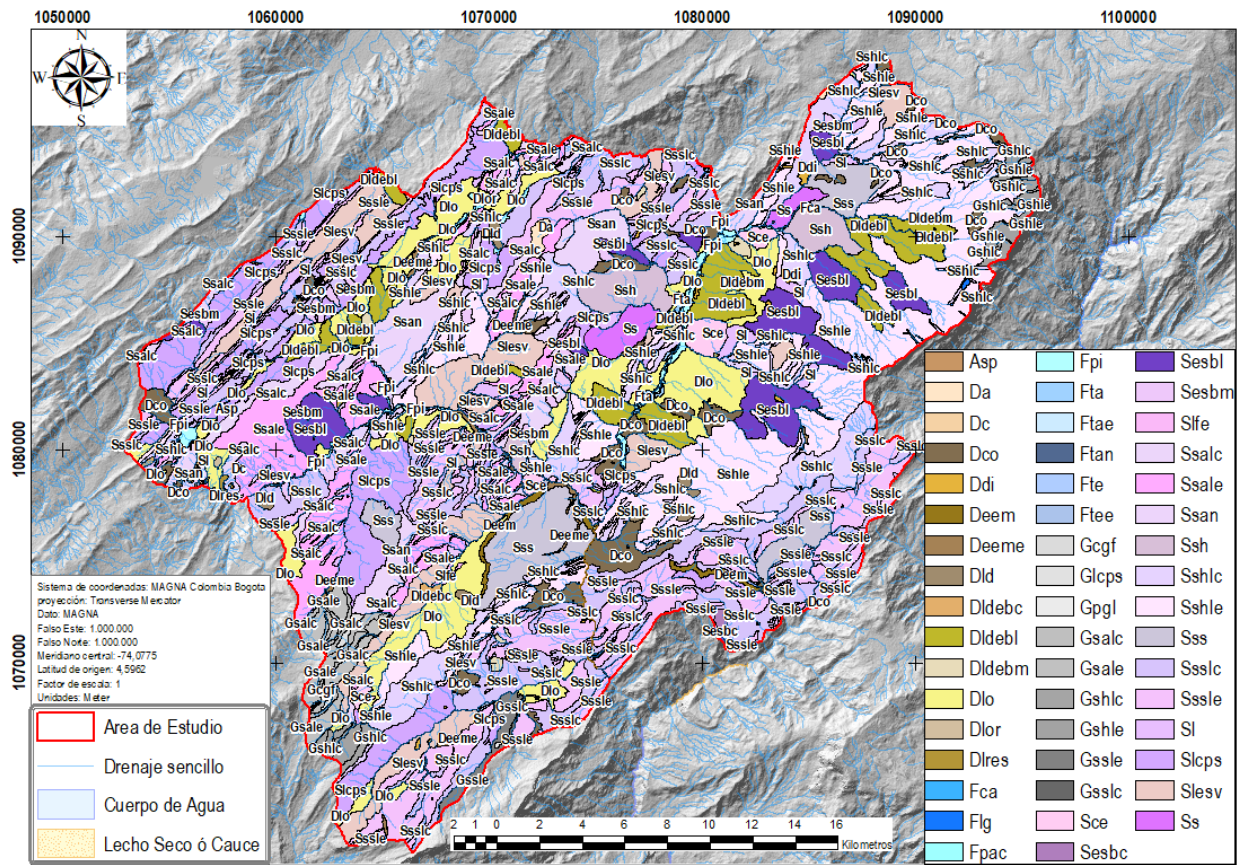


Figura 16 Mapa de unidades geomorfológicas cuenca río Teatinos.
Fuente: CORPOCHIVOR, 2022.

4.4.1 Geformas de origen denudacional

Estas unidades son generadas por procesos de erosión y meteorización moderados a intensos, producidos por los agentes erosivos (principalmente el agua), que modelan y reducen la topografía preexistente, generado relictos o remanentes de las unidades originales, la erosión de estas unidades genera por medio del transporte de materiales nuevas geoformas. Las geoformas dentro de esta categoría se presentan con colores que varían entre amarillo y café en el mapa de la Figura 16, siendo las más abundantes Ladera ondulada (Dlo) con 6373 Ha, el Lomo denudado bajo de longitud larga (Dldebl) con 3402 Ha y el Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción (Dco) con 2368 Ha, que pasarán a ser descritas a continuación:

Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco): Unidad presente en los municipios de Boyacá, Chinavita, Jenesano, Nuevo Colón, Ramiriquí, Tibaná, Ventaquemada, Viracachá y Úmbita, sobre las planchas 190IVD, 191IIIB, 191IIIC, 191IIID, 191IVA, 209IIB, 210IA, 210IB y 210IC, localmente en los sectores conocidos como Alto El Gavilán, Alto Rojas, Alto Ruspaca, Alto San Pedro, Alto de Quemba, Cuchilla de Los Andes, Loma Castillejo, Loma El Coque y Loma de Los Tiestos, en las veredas Baganique Alto, Baganique Bajo, Baganique Medio, Boqueron, Carrizal, Centro, Chen, Chiguata, El Carmen, Foraquira, Guayabal, Icarina, La Isla, Las Juntas, Llano Grande, Mombita, Naranjos, Pachaquira, Paeces, Parras, Pueblo Viejo, Quichatoque, Rodriguez, San Jose, Sastoque, Siata, Sirama, Siraquita, Sirata, Soconsaque Occidente, Soleres, Suta Abajo a una altura promedio de 2462.70 msnm. Desarrollados sobre depósitos del Cuaternario y rocas del Paleoceno, Eoceno, Santoniano, Maastrichtiano, Campaniano y Cenomaniano, de los Depósitos coluvial (Qco), coluvio - aluvial (Qca), de terraza aluvial (Qal) y las formaciones Arcillas de Socha (E1ss), Areniscas de Socha (E1si), Bogotá (E1b), Cacho (E1c), Guaduas (K2E1), Formación Labor y Tierna (K2lt), Plaeners (K2p) y Une (K1K2U). La unidad ocupa el 2.80% de la zona.

Se presenta como conos o lóbulos con morfología alomada baja, con predominio de la pendiente inclinada (43 %), seguidas de la muy inclinada (29 %), alcanzando una longitud y ancho que llega a los 2.200 y 1.385 metros respectivamente. Su origen es relacionado a procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales en suelos saturados y no saturados. Su depósito está constituido por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz generalmente arcillosa a arena limo arcilloso.

Lomo denudado bajo de longitud larga (Dldebl): Geoforma localizada sobre las planchas 191IIIA, 191IIIB, 191IIIC, 191IIID, 191IVA, 191IVC, 210IA y 210IB a una altura promedio de 2494.13 msnm en los sectores conocidos como Alto El Aguardiente, Alto Las Charlas y Cerro Maranta, en los municipios de Ciénega, Jenesano, Nuevo Colón, Ramiriquí, Tibaná, Turmequé, Ventaquemada y Viracachá, las veredas Albanil, Caicedos, Capellania, Carbonera, Centro, Choquira, Compromiso, El Plan, Joraquira, La Isla, Laja, Maranta, Montoya, Piedra, Palenque, Puente Poyaca, Reavita, Romazal, San

Vicente, Santuario, Sirata, Supaneca Abajo, Supaneca Arriba, Supata, Suta Abajo, Tapias (Figura 17). Estas unidades se desarrollan sobre rocas del Campaniano, Eoceno, Santoniano, Cuaternario, Paleoceno, Maastrichtiano y Cenomaniano pertenecientes a las Formaciones Arenisca Dura (K2d), Bogotá (E1b), Cacho (E1c), Guaduas (K2E1g), Labor y Tierna (K2lt), Plaeners (K2p), Tilatá (N2t) y Une (K1K2U). La unidad ocupa el 4.03% de la zona.

Conjuntos de lomos ubicados a diferentes alturas con índice de relieve que alcanza los 30 metros, son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal, la longitud del eje principal alcanza los 2.200 metros, con predominio en la zona de la pendiente inclinada. La inclinación y orientación del eje del lomo puede informar de procesos y velocidades de levantamiento del conjunto cordillerano o de la velocidad de la erosión del río principal o eje geomorfológico.

Ladera ondulada (Dlo): Unidad presente en los municipios de Boyacá, Jenesano, Nuevo Colón, Ramiriquí, Tibaná, Turmequé, Ventaquemada, Viracachá y Úmbita, sobre las planchas 190IVD, 191IIIA, 191IIIB, 191IIIC, 191IIID, 209IIB, 210IA y 210IC, en los sectores conocidos como Alto Carrisal, Alto El Coco, Alto Grande, Alto Monserrate, Loma El Coque, Loma Jupal, Loma La Isla, Loma La Senda, Loma Noncetá, Loma Redonda y Pico de Los Chulos, las veredas Aposentos, Baganique Alto, Baganique Bajo, Baganique Medio, Bojirque, Boqueron, Bosque, Caicedos, Capellania, Carrizal, Choquirá, Chuscal, Compromiso, Dulceyes, El Carmen, Faravita, Fernandez, Frutillo, Huerta Grande Sector 1, Joraquirá, Joyagua, Juana Ruiz, Jupal, Jurpa, Loma Gorda, Molino, Naranjos, Nonceta, Nueve Pilas, Pantano Colorado, Parroquia Vieja, Piedras De Candela, Puente Poyaca, Pulidos, Resguardo Alto, Resguardo Bajo, Santuario, Siata, Sisa, Sota, Supaneca Abajo, Supaneca Arriba, Supata, Suta Abajo, Suta Arriba, Teguanique, Uvero y Zanja a una altura promedio de 2576.44 msnm (). Desarrollados sobre rocas y depósitos del Paleoceno, Campaniano, Eoceno, Santoniano, Cuaternario y Maastrichtiano de las Formaciones Arcillas de Socha (E1ss), Arenisca dura (K2d), Bogotá (E1b), Cacho (E1c), Depósito coluviales (Q2c), Depósitos aluviales (Qal), Guaduas (K2E1g), Labor y tierna (K2lt) y Plaeners (K2p). La unidad ocupa el 7.54% de la zona.

Superficies donde predominan las pendientes inclinadas (42%), con longitudes que alcanzan los 2.600 metros en la zona, de formas planas, cóncavas y convexas. El patrón de drenaje es subdendrítico. Estas laderas se pueden formar en suelos residuales y depósitos coluviales.

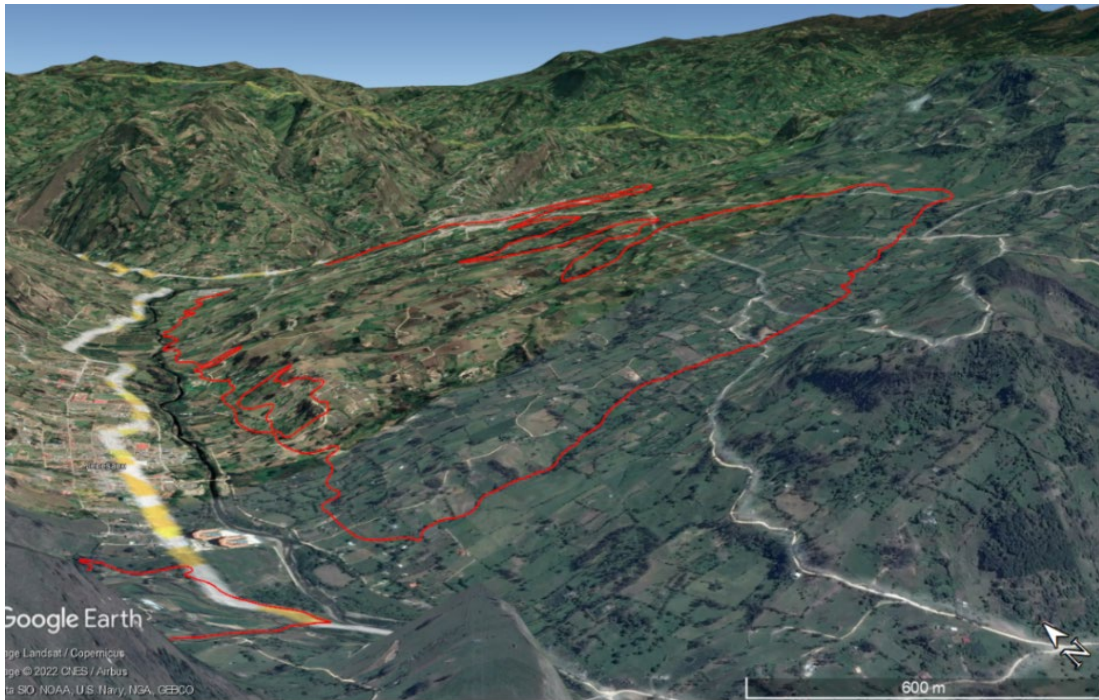


Figura 17 Lomo denudado bajo de longitud larga (Dldebl) en La vereda Caicedo municipio de Ramiriquí. Fuente: CORPOCHIVOR, 2022.

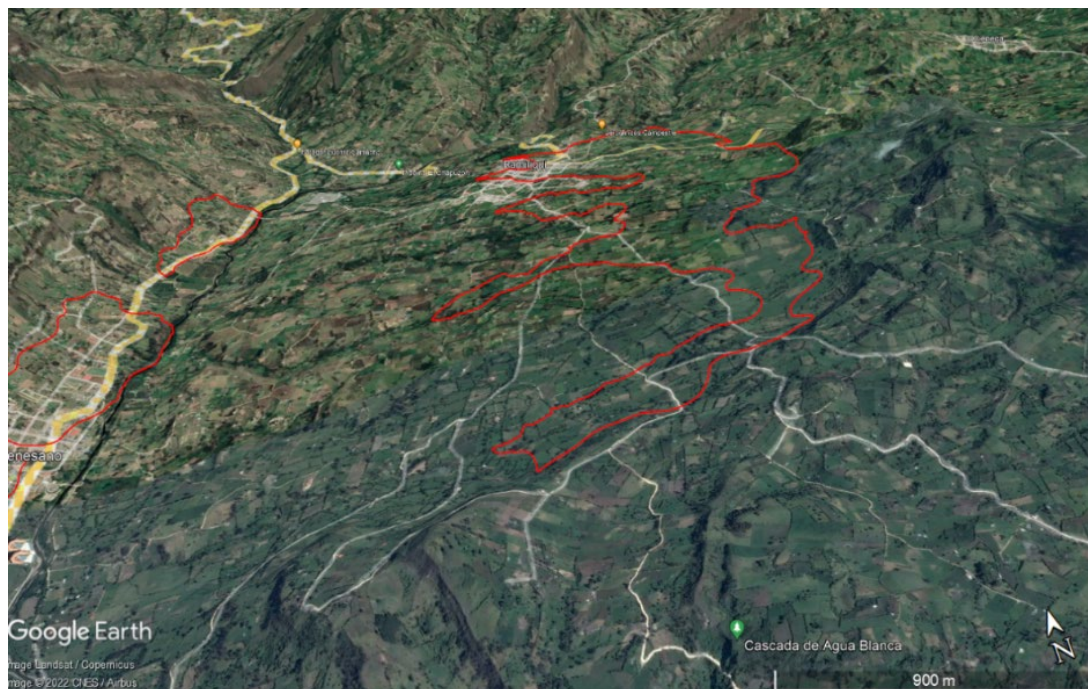


Figura 18 Ladera ondulada (Dlo) en el costado este del casco urbano del Municipio de Ramiriquí. Fuente: CORPOCHIVOR, 2022.

4.4.2 Geoformas de origen fluvial y lagunar

El ambiente fluvial en la zona está relacionado con la acción de drenajes como los ríos Teatinos, Tibaná, Juyasia, Garagoa entre otros, todos ellos han transportado los materiales erosionados en las partes más altas y los han depositado sobre zonas de menor pendiente para formar nuevos tipos de relieve, describiéndose nueve unidades diferentes. Estas geoformas se presentan con gamas de azul en el mapa de la Figura 4-15, siendo las más relevantes el Cauce aluvial (Fca), Plano o llanura de inundación (Fpi) y la Terraza de acumulación (Fta), que se describen a continuación:

Cauce aluvial (Fca): Unidad presente en varios municipios de las planchas 191IIIA, 191IIIB, 191IIIC, 191IIID, 191IVA, 191IVC, 210IA, 210IB, 210IC y 210ID, como son: Boyacá, Chinavita, Ciénega, Jenesano, Nuevo Colón, Ramiriquí, Tibaná, Turmequé, Ventaquemada, Viracachá y Úmbita a una altura promedio de 2141.30 msnm asociada al discurrir de los ríos Tibaná, Garagoa y Turmequé. La unidad ocupa el 0.11% de la zona. Son canales de forma irregular excavados por erosión de las corrientes dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales, recorren grandes distancias, con

predominio de la pendiente plana (39.45 %) e inclinada (32.19 %). Dentro de la zona los cauces se caracterizan por su forma recta y en sectores puntuales cambia a meándrico.

Plano o llanura de inundación (Fpi): Unidad presente en varios municipios de las planchas 190IVD, 191IIIA, 191IIIB, 191IIIC, 191IIID, 209IIB, 210IA y 210IB, como son: Boyacá, Ciénega, Jenesano, Nuevo Colón, Ramiriquí, Samacá, Tibaná, Turmequé, Ventaquemada, Viracachá y Úmbita a una altura promedio de 2321.02 msnm en los sectores conocidos como Alto Los Unes, Cuchilla de Los Andes y Loma Palenque, estos depósitos están relacionados a materiales pertenecientes a rocas del Santoniano, Cuaternario, Paleoceno, Maastrichtiano, Campaniano, pertenecientes a las formaciones Conejo (K2c), Depósitos aluviales (Qal), Depósitos de terraza aluvial (Qt1), y las formaciones Guaduas (K2E1g), Labor y Tierna (K2lt), Plaeners (K2p) y Tilatá (N2t). La unidad ocupa el 0.81% de la zona. Superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza. Incluye los planos fluviales menores en formas de “U” o “V”, al igual que a los conos coluviales menores de los flancos de los valles intramontanos. En regiones montañosas, donde las corrientes fluviales tienden a unirse con sus tributarios para formar el cauce principal, en red de drenaje de tipo subparalelo de mediana densidad, se presentan como superficies estrechas, alargadas y profundas.

Terraza de acumulación (Fta): Unidad geomorfológica localizada sobre las planchas 191IIIB, 191IIIC, 191IIID, 210IA y 210IB a una altura promedio de 2082.95 msnm en los municipios de Boyacá, Jenesano, Nuevo Colón y Tibaná, las veredas Baganique Bajo, Juana Ruiz, Laja, Pantano Colorado, Tapias, en el sector conocido como Loma Palenque. Litológicamente se genera sobre materiales del Campaniano, Cuaternario, Paleoceno y Maastrichtiano, pertenecientes a las Formaciones Arenisca Dura (K2d), Depósitos aluviales (Qal), Depósitos de terraza aluvial (Qt1), Guaduas (K2E1g), Labor y tierna (K2lt) y Plaeners (K2p). La unidad ocupa el 0.10% de la zona.

Superficies elongadas que alcanzan los 950 metros de largo y 300 metros de amplitud, plana a suavemente ondulada, modelada sobre sedimentos aluviales, limitada por escarpes de diferente altura a lo largo del cauce de los ríos Tibaná, Garagoa y Turmequé.

Su origen está relacionado a procesos de erosión y acumulación aluvial, dentro de antiguas llanuras de inundación. Su formación incluye fases de acumulación, incisión y erosión vertical. Estas terrazas pueden ser parte de cauces rectos a meándricos. Su depósito está constituido por gravas arenas, limos y arcillas, con disminución del tamaño a medida que se aleja del cauce del río.

4.4.3 Geoformas de origen estructural

La configuración actual de la zona donde se localiza el área de estudio, es el resultado de procesos orogénicos como la orogenia Andina, además de la acreción de terrenos geológicos, los cuales hacen del área una zona compresiva que genera plegamientos y fallamientos igualmente de otras estructuras que dan como resultado las diferentes geoformas del ambiente estructural. Las fuerzas de compresión que afectan el área de estudio tienen una dirección predominante E - W, por lo cual las estructuras en el área tienen una dirección preferente NE - SW. En el mapa de la Figura 16 se presentan con gamas de morado, siendo las más abundantes la Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc) con el 9% del área total de estudio, la Ladera de contrapendiente sierra sinclinal (Ssslc) con 13%, Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle) con el 12.7%. y Ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle) con 17%. A continuación, la descripción de cada una de Estas.

Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc): Unidad presente en gran parte de la zona y que tiene una alta densidad en los municipios de Boyacá, Ciéneqa, Jenesano, Nuevo Colón, Ramiriquí, Tibaná, Turmequé, Ventaquemada, Villapinzón, Viracachá y Úmbita, sobre las planchas 190IVD, 191IIIA, 191IIIB, 191IIIC, 191IIID, 191IVA, 191IVC, 209IIB, 210IA, 210IB y 210IC a una altura promedio de 2718.23 msnm en los sectores conocidos como Alto Cardonal, Alto El Cajón, Alto El Coco, Alto El Gavilán, Alto Gachapela, Alto Grande, Alto Jabonera, Alto Las Cruces y Alto Las Flores, desarrollada sobre rocas del Paleoceno, Campaniano, Eoceno, Santoniano, Maastrichtiano y Cenomaniano, de las Formaciones Arcillas de Socha (E1ss), Arenisca dura (K2d), Areniscas de socha (E1si), Bogotá (E1b), Cacho (E1c),

Chipaque (Ksc), Guaduas (K2E1g), Labor y tierna (K2lt), Plaeners (K2p), Tilatá (N2t) y Une (K1K2U). La unidad ocupa el 7.37% de la zona.

Superficie vertical a subvertical donde predomina la pendiente muy inclinada, con longitudes que alcanzan los 1.500 metros en la zona, de formas planas y cóncavas, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno. Desarrollada en la ladera estructural de una estructura homoclinal debido a la acción de procesos de erosión, meteorización o tectonismo que cortan y moldean la estructura original.

Ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle): Unidad presente en gran parte de la zona y que tiene una alta densidad en los municipios de Ciénega, Jenesano, Nuevo Colón, Ramiriquí, Tibaná, Turmequé, Ventaquemada, Viracachá y Úmbita, sobre las planchas 190IVD, 191IIIB, 191IIIC, 191IIID, 191IVA, 191IVC, 209IIB, 210IA, 210IB y 210IC a una altura promedio de 2774.48 msnm en los sectores conocidos como Alto Cardonal, Alto El Aguardiente, Alto El Cajón, Alto El Coco, Alto El Gavilán, Alto Gachapela, Alto Grande, Alto Jabonera, desarrollada sobre rocas del Campaniano, Paleoceno, Eoceno, Santoniano, Maastrichtiano y Cenomaniano de las Formaciones Arenisca dura (K2d), Areniscas de Socha (E1si), Cacho (E1c), Guaduas (K2E1g), Labor y tierna (K2t), Plaeners (K2p), Tilatá (N2t) y Une (K1K2U).

La unidad ocupa el 13.71% de la zona. Superficie donde predomina la pendiente muy inclinada, con longitudes que alcanzan los 3.500 metros en la zona, de forma planas, definida por planos preferentes estratos paralelos al sentido de la inclinación del terreno relacionados a una estructura homoclinal

Ladera de contrapendiente sierra sinclinal (Ssslc): Unidad presente en gran parte de la zona y que tiene una alta densidad en los municipios de Boyacá, Chinavita, Jenesano, Nuevo Colón, Ramiriquí, Tibaná, Tunja, Turmequé, Ventaquemada, y Úmbita, sobre las planchas 190IVD, 191IIIA, 191IIIB, 191IIIC, 191IIID, 191IVC, 209IIB, 210IA, 210IB, 210IC y 210ID a una altura promedio de 2610.22 msnm en los sectores conocidos como Alto Barandillas, Alto Buenavista, Alto Buenavista, Alto Campana, Alto El Bosque, Alto El Labra, Alto El Águila, Alto Helechal, Alto Helechal, Alto Helechal, Alto

La Laja, Alto Las Cruces, Alto Los Troncos, Alto Mesalta, Alto Mesetas, desarrollada sobre rocas del Paleoceno, Campaniano, Eoceno, Santoniano, Oligoceno y Maastrichtiano de las Formaciones Arcillas de Socha (E1ss), Arenisca Dura (K2d), Areniscas de Socha (E1si), Cacho (E1c), Concentración (E2E3co), Guaduas (K2E1g), Labor y Tierna (K2lt), Picacho (E2p) y Plaeners (K2p). La unidad ocupa el 10.38% de la zona.

Superficie vertical a subvertical donde predomina la pendiente abrupta, con longitudes que alcanzan los 1460 metros en la zona, de formas planas y convexas, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno. Desarrollada en la ladera estructural de una estructura sinclinal debido a la acción de procesos de erosión, meteorización o tectonismo que cortan y moldean la estructura original.



Figura 19 Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc) en el extremo este de la zona de estudio. Fuente: CORPOCHIVOR, 2022.

Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle): Unidad presente en los municipios de Boyacá, Chinavita, Jenesano, Nuevo Colón, Ramiriquí, Tibaná, Turmequé,

Ventaquemada y Úmbita sobre las planchas 190IVD, 191IIIA, 191IIIB, 191IIIC, 191IIID, 191IVC, 209IIB, 210IA, 210IB, 210IC, 210ID y 210IIA, localmente en los sectores conocidos como Alto Barandillas, Alto Buenavista, Alto Buenavista, Alto Campana, Alto El Bosque, Alto El Labra, Alto El Águila, Alto Helechal, Alto Helechal, Alto Helechal, Alto La Laja, Alto Las Cruces, Alto Los Troncos, Cuchilla Mesetas, Cuchilla Portachuelo, Cuchilla Quichatoque, Cuchilla Quichatoque, Cuchilla San Antonio, Cuchilla Tres Quebradas, Cuchilla Volador, Cuchilla Volador, Cuchilla de Caguata, Cuchilla de Los Andes, Cuchilla de Los Monos, Cuchilla de Pericos, Loma Castillejo, Loma Castillejo, Loma El Bendito a una altura promedio de 2637.78 msnm. Desarrollados sobre rocas del Paleoceno, Campaniano, Eoceno, Santoniano, Oligoceno, Maastrichtiano de las Formaciones Arcillas de Socha (E1ss), Arenisca Dura (K2d), Areniscas de Socha (E1si), Bogotá (E1b), Cacho (E1c), Concentración (E2E3co), Guaduas (K2E1g), Labor y tierna (K2lt), Picacho (E2p) y Plaeners (K2p). La unidad ocupa el 10.02% de la zona.

Superficie donde predomina la pendiente muy abrupta, con longitudes que alcanzan los 1.300 metros en la zona, de formas cóncavas y convexas, definida por estratos paralelos al sentido de la inclinación del terreno relacionados a una estructura sinclinal.

4.4.4 Geformas de origen glacial y periglacial

Las unidades del ambiente glacial fueron generadas por la acumulación y posterior desplazamiento de grandes masas de hielo, las cuales erosionaron la roca remodelando el paisaje preexistente. Se representan en el mapa de la Figura 4-15 con gamas de grises. Sobre el área de estudio el ambiente glacial y periglacial tiene incidencia hacia la zona norte que es justamente la zona de mayor altura. Las unidades geomorfológicas más representativas de este ambiente fueron: la Ladera estructural sierra anticlinal glaciada (Gsale) y la Ladera estructural de sierra homoclinal glaciada (Gshle):

Ladera estructural sierra anticlinal glaciada (Gsale): Unidad presente en los municipios de Turmequé, Villapinzón y Úmbita, sobre las planchas 210IA y 210IC

localmente en los sectores conocidos como Alto Buitreras, Alto Corralejas, Alto Laguna Verde, Alto Las Arenas, Alto Peña Blanca, Alto de Guanachas y Cuchilla Los Bancos las veredas Guanzaque, Jupal, Loma Gorda, Nueve Pilas y Siguinique a una altura promedio de 3179.91 msnm. Desarrollados sobre rocas del Campaniano, Eoceno, Paleoceno, Maastrichtiano de las Formaciones Arenisca Dura (K2d), Cacho (E1c), Guaduas (K2E1g), Labor y tierna (K2lt) y Plaeners (K2p). La unidad ocupa el 1.18% de la zona. Superficie donde las capas o estratos están dispuestas en el mismo sentido de la inclinación del terreno asociados a una estructura anticlinal que ha sido afectada por procesos de glaciación, con predominio de la pendiente abrupta (23.6%), longitudes que alcanzan los 1320 metros en la zona y forma recta. Son comunes las depresiones de exaración.

Ladera estructural de sierra homoclinal glaciada (Gshle): Unidad localizada sobre las planchas 191IVA, 191IVC y 210IC a una altura promedio de 3291.99 msnm localmente en los municipios de Ciénega en la vereda San Vicente, Viracachá en la vereda Caros, La Isla, Pueblo Viejo, Úmbita en la vereda Loma Gorda, en los sectores conocidos como Alto La Vega, Alto Río Grande, Cuchilla El Tablón, Serranía de Galera y Serranía del Vijagual. Litológicamente se genera sobre rocas del Campaniano, Santoniano, Paleoceno y Cenomaniano de las Formaciones Arenisca Dura (K2d), Guaduas (K2E1g), Plaeners (K2p) y Une (K1K2U). La unidad ocupa el 0.96% de la zona. Laderas definidas por la inclinación de los estratos en el mismo sentido del terreno, con pendientes muy inclinada (39.51%), alcanzando una longitud máxima de 900 metros y forma recta, Presentan crestas agudas y delimitando valles glaciales en forma de U.

4.4.5 Geformas de origen antropogénico

Incluye las geformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, en la mayoría de los casos con el objetivo de realizar construcción de vivienda, obras de ingeniería, disposición de desechos o escombros y adecuación de nuevas vías, que modifica la morfología natural del terreno.

5 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto seguimos la metodología planteada en la **“Guía metodológica para la formulación del plan de manejo ambiental de acuíferos”** del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

El cual establece **critérios técnicos, metodologías y procedimientos generales**, que orientan a las CAR, en el **proceso de formulación e implementación** de los **planes de manejo ambiental de acuíferos** (PMAA).

El ministerio determina que los Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos se desarrollarán teniendo en cuenta las siguientes fases:

1. **Aprestamiento:** en esta fase se realiza la conformación del equipo técnico para realizar y acompañar el PMMA, así mismo se realiza una recopilación general de información, planteamiento del plan de trabajo y la logística requerida. En la Figura 20 se muestra el diagrama de etapas que componen esta fase, la etapa señalada en rojo fue en donde se enfocó mi participación durante esta fase.



Figura 20 Etapas de la fase de Aprestamiento. Fuente: MADS, 2014

2. **Diagnóstico:** en esta fase se realiza actualización de la línea base del estudio a través de la construcción de un modelo hidrogeológico conceptual, así mismo se desarrollan los diferentes componentes para la construcción de dicho modelo etc. En la Figura 21 están señaladas con rojo las etapas en las que participé durante esta fase.



Figura 21 Etapas de la fase Diagnóstica. Fuente: MADS, 2014

3. **Formulación:** diseño de estrategias para una buena gestión del acuífero.
4. **Ejecución:** implementación de las estrategias planteadas previamente.
5. **Seguimiento y evaluación:** en esa fase se realiza un monitoreo y una evaluación del plan.

Este proyecto se desarrolló en un cronograma de 8 meses, desarrollados desde el mes de agosto de 2022 y en su momento de mayor trabajo llegó a contar con 30 profesionales de múltiples áreas. En mi caso como pasante del proyecto mi contrato académico fue de cuatro meses, contados a partir de septiembre a diciembre de 2022 en los que pude participar en dos de las 5 fases del proyecto: **Aprestamiento y Diagnóstico**

Durante la fase de **Aprestamiento:** mis actividades se enfocaron en:

- ✓ La recopilación de información secundaria relevante para el proyecto.

Mientras que en la fase de **Diagnóstico:** mis actividades se enfocaron en:

- ✓ El levantamiento de información hidrogeológica.
- ✓ El análisis de datos de información geoelectrica.

5.1 DESARROLLO DE ACTIVIDADES

OBJETIVO ESPECIFICO I *Recopilar información secundaria de geología, hidrogeología y geofísica en entidades estatales y municipales relevantes*

Metodología:

5.1.1 Actividad.1 Búsqueda y revisión de expedientes de concesiones de aguas subterráneas (EAS):

Meta: Revisar y seleccionar los EAS tramitados ante la corporación presentes en la zona de estudio.

Se realizó una solicitud a la oficina de archivo de la Corporación Autónoma de Chivor para obtener todos los EAS presentes en los 11 municipios que abarcan el Sistema Acuífero Teatinos: Boyacá, Chinavita, Ciénega, Jenesano, Nuevo Colón, Ramiriquí, Tibaná, Turmequé, Úmbita, Ventaquemada y Viracachá.

Se seleccionaron los expedientes que cumplieran con los siguientes criterios:

- ✓ **Ubicación:** dentro del Sistema Acuífero Teatinos.
- ✓ **Tipo de concesión:** Aguas subterráneas.
- ✓ **Estado:** Cualquier estado (en trámite, concesionado, rechazado, vigente, vencido).

Se revisaron los expedientes seleccionados para verificar la siguiente información:

- ✓ **Datos del solicitante:** nombre, ubicación, uso del agua, etc.
- ✓ **Características del punto de captación:** tipo, profundidad, diámetro, caudal, etc.
- ✓ **Estudios hidrogeológicos:** informes, mapas, pruebas de bombeo, estudios geoelectrónicos, etc.

5.1.2 Actividad 2. Consulta de información hidrogeológica relevante dentro de los EAS seleccionados:

Se revisaron los expedientes seleccionados previamente para obtener información sobre **geología**: puntualmente se buscaban informes, mapas geológicos, etc. Ver *Figura 22*. También se consultaba información sobre **geoeléctrica**: como sondeos eléctricos verticales (SEV), registros eléctricos de pozo (REP), etc así mismo se consiltó información referente a la **hidrogeología**: como pruebas de bombeo, análisis de caudales, etc (*Figura 24, Figura 25*). Finalmente se buscaba información referente a la **calidad del agua** como análisis fisicoquímicos y bacteriológicos (*Figura 26*).

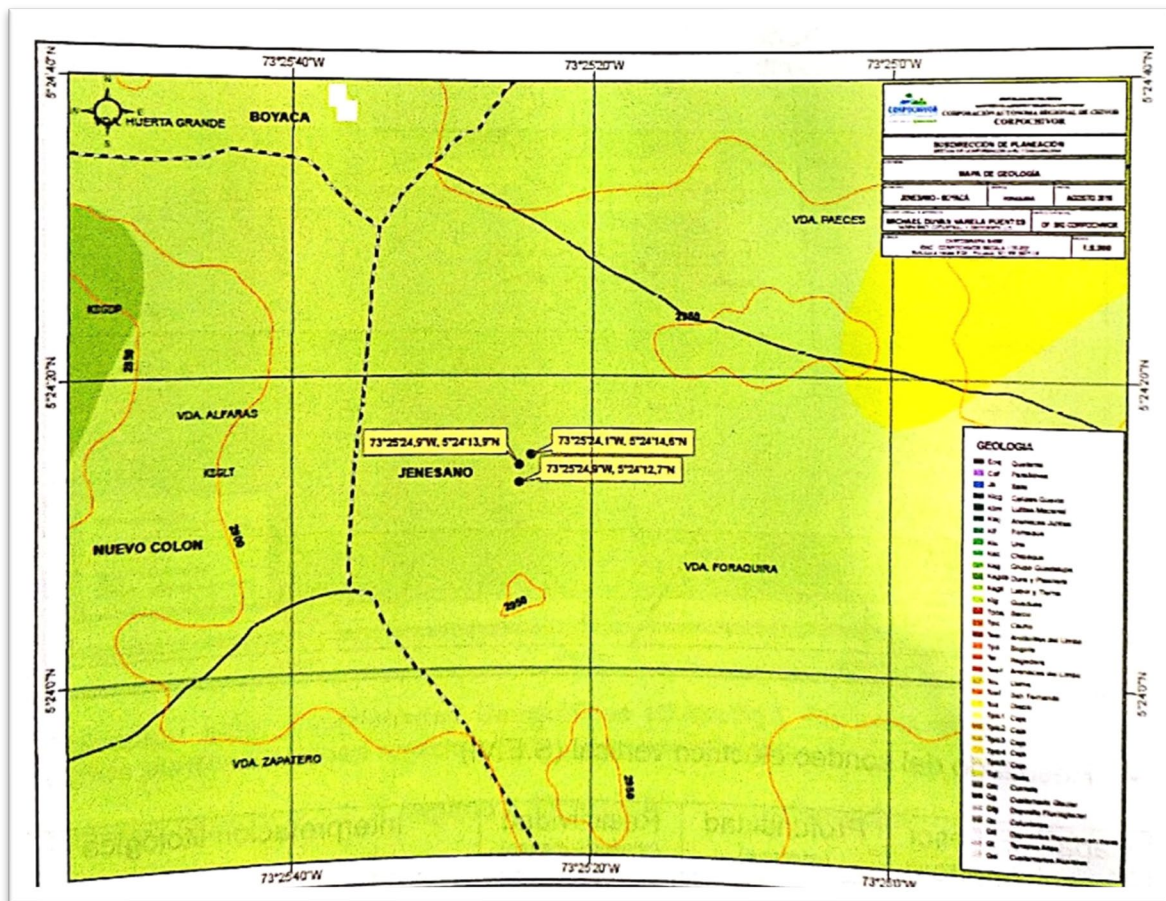


Figura 22. Mapa Geológico - Fuente: EAS Corpochivor

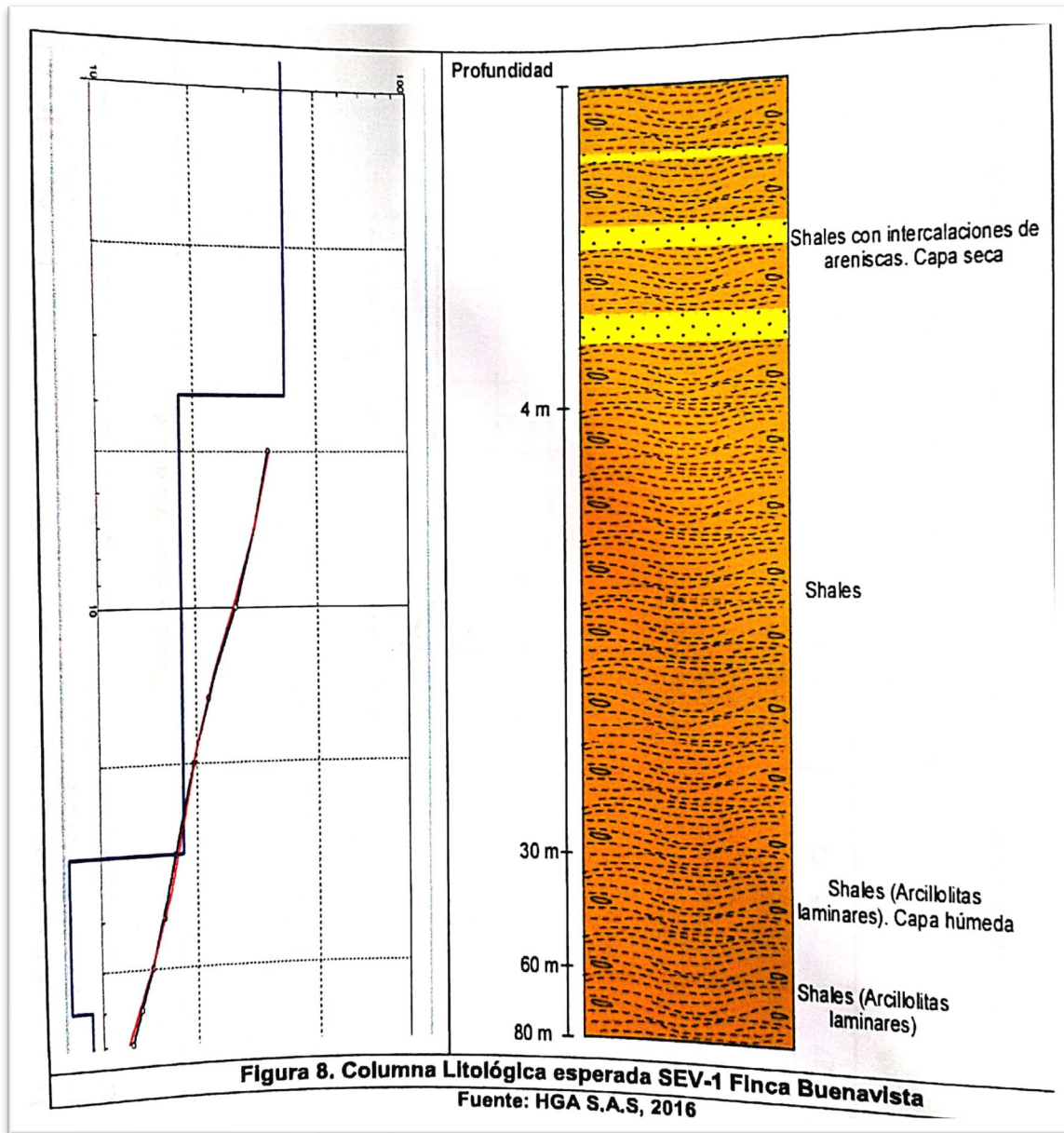


Figura 23. Sondeo Eléctrico Vertical - Fuente EAS Corpochivor

RECUPERACIÓN Vs. TIEMPO

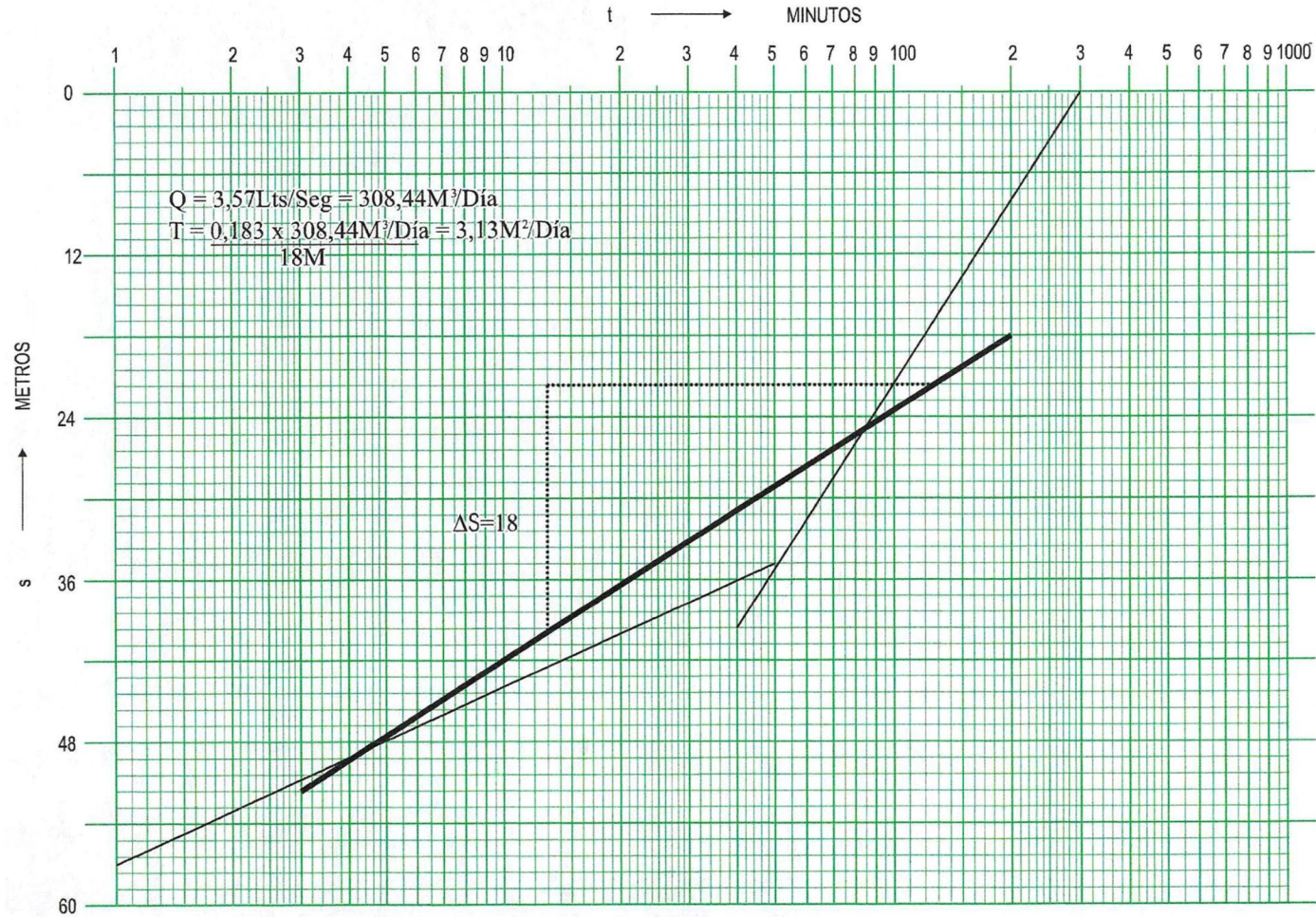


Figura 24. Gráfica Recuperación Vs Tiempo - Fuente EAS Corpochivo

POZO	# 1	POZO HONDO - VEREDA PUENTE BOYACA			FECHA	12 - 12 - 2018				
EQUIPO PRUEBA: FRANKLIN ELECTRIC 10 HP				PROFUNDIDAD BOMBA: 142						
COORDENADAS: N:			E:		TUBERIA: 3"					
HORA	TIEMPO	DIAMETRO	DIAMETRO	ABATIMIENTO	TIEMPO DE	CAUDAL: 3.5		CALIDAD DE		
8:30	24 HORAS	POZO	BOMBA	57.51	LLENADO	litros por		AGUA		
		6 "	5"			segundo				
HORA	NV	ABTMT	AFORO	TIEMPO		HORA	NV.	AFORO	TIEMPO	
	EST			5.2			EST			
	70			segundos						
00:01:00	8	78	3.8	5.2	SEGUNDOS	09:30:00				SEGUNDOS
00:02:00	6.35	84.35				10:00:00				
00:03:00	5.21	89.56	3.5	5.6		10:30:00				
00:04:00	4.05	93.61				11:00:00				
00:05:00	3.18	96.79				11:30:00				
00:10:00	4.85	201.64				12:00:00				
00:15:00	3.27	104.91	3.5	5.6		13:00:00				
00:20:00	3.05	107.96	Litros por	Segundos		14:00:00				
00:25:00	2.45	110.41	Segundo	Llenando		15:00:00				
00:30:00	2.01	112.42		Balde de		16:00:00				
00:40:00	1.92	114.34		20 litros		17:00:00				
00:50:00	1.49	115.83	3.5	5.6		18:00:00				SEGUNDOS
01:00:00	1.46	117.29			SEGUNDOS	19:00:00				
01:15:00	2.03	119.32				20:00:00				
01:30:00	1.91	121.23				21:00:00				
01:45:00	1.53	122.76				22:00:00				
02:00:00	1.19	123.95				23:00:00				
02:15:00	0.92	124.87				24:00:00				
02:30:00	0.81	125.68				RECUPERACIONES		OBSERVACIONES		
02:45:00	0.68	126.36			Recuperación	25:00:01	127.51	Pozo estabilizado a los 127.51 con un caudal de 3.5 litros por segundo		
03:00:00	0.49	126.85			3.94	25:00:02	123.57			
03:15:00	0.28	127.13			3.22	25:00:03	120.35			
03:30:00	0.16	127.29			2.37	25:00:04	117.98			
03:45:00	0.12	127.41			1.98	25:00:05	11.6			
04:00:00	0.10	127.51			1.79	25:00:10	114.21			
04:15:00	0.10	127.51			1.66	25:00:15	112.55			
04:30:00	0.10	127.51			1.43	25:00:20	111.12			
04:45:00	0.10	127.51			1.18	25:00:25	109.94			
05:00:00					1.09	25:00:30	108.85			
05:30:00					2.25	25:00:40	106.7			
06:00:00					2.17	25:00:50	104.53			
06:30:00					2.03	26:00:00	102.5			
07:00:00					5.27	26:00:15	97.23			
07:30:00					1.98	26:00:30	92.25			
08:00:00					2.85	26:00:45	89.4			
08:30:00					0.93	27:00:00	88.47			
09:00:00										
	OBSERVACIONES									
	TOMA MUESTRA									
	FISICOQUIMICO									

Figura 25. Prueba de Bombeo - Fuente EAS Corpochivor

159

DEINPRO LTDA
DEINPRO LTDA: Desarrollo Integral en Proyectos de Ingeniería Limitada. NH 820.004.069-0

ANALIZAR LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO LTDA
MONITOREO Y CONSULTORÍA
R.F. 825.000344-1

Duitama, 2016/02/25

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS
AG20216 - 16

IDENTIFICACIÓN

Solicitante: DEINPRO LTDA
 Dirección: Carrera 10 12-94 Tunja
 Ensayo Realizado: Físicoquímico y Microbiológico
 Tipo de Agua: Pozo profundo Cruda
 Sitio de Muestreo: Vereda Paeces - Acueducto Buenos Aires Jenesano
 Punto de Toma: Pozo Profundo
 Tipo de Muestreo: Simple
 Fecha y Hora de Muestreo: 2016/02/19 17:00
 Recolectada por: El Solicitante - Nelson Medina
 Fecha y Hora de Recepción: 2016/02/20 08:45
 Objeto: Concesión
 Condición de Recepción: Refrigerada
 Período de Análisis: De 2016/02/20 a 2016/02/25

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR OBTENIDO	VALOR MÁX. ACEPTABLE	MÉTODO
ANÁLISIS EN LABORATORIO				
Aktividad Total	mg CaCO ₃ /L	121	200	SM 2320 B
Cloruros (A)	mg Cl ⁻ /L	<2,53	250	SM 4500-Cl ⁻ B
Color Aparente (A)	UPC	6,36	15	SM 2120 C
Conductividad (A)	microsiemens/cm	238	1000	SM 2510 B
Dureza Total (A)	mg CaCO ₃ /L	119	300	SM 2340 C
Fosfatos	mg PO ₄ ³⁻ /L	<0,08	0,30	SM 4500-P O
Hierro Total	mg Fe ²⁺ /L	0,30	0,30	SM 3500-Fe
Nitritos (A)	mg NO ₂ ⁻ /L	0,06	0,1	SM 4500-NO ₂ ⁻ B
Olor	Cualitativo	Aceptable	Aceptable	Organoléptico
Uricidad de pH		7,80	6,5 a 9,0	SM 4500-H ⁺ B
pH		<3,48	250	SM 4500-90 ⁺ B
Sulfatos (A)	mg SO ₄ ²⁻ /L	2,30	≤2	SM 2130 B
Turbiedad (A)	UNT	2,30	≤2	SM 2130 B
Coliformes Totales	UFC/100 ml	300	0	NTC 4772:2008
E. Coli	UFC/100 ml	3	0	NTC 4772:2008

FIN DE LOS ENSAYOS

NE= No Establecido (A)= Acreditado Métodos enunciados referenciados a Standard Methods 22nd Edition NA= No Aplica

OBSERVACIONES:
Las variables físicoquímicas y microbiológicas caracterizadas se comparan con los valores máximos aceptables, reglamentados en el decreto 1575 de 2007 y la Resolución 2115 de 2007 para agua de consumo humano.

GT-01-FR-14-V-10
PAGINA: 1 DE 2

CARRERA 33 N° 16-27 TEL 7614055-7614647- 313 815 0103 DUITAMA E-mail: dhanabiz@gmail.com

35

Carrera 10 No. 12-96 Telefax: (098)7427856 - Cel. 311 2173741, 3103023778 Tunja - Boyacá.
deinpro@gmail.com

Figura 26. Análisis físico - químicos y bacteriológicos

Resultados:

- ✓ Se revisaron 30 expedientes de EAS.
- ✓ Se recopiló información de cada punto de agua subterránea, incluyendo:
- ✓ Sondeos eléctricos verticales (SEV).
- ✓ Registros eléctricos de pozo (REP).
- ✓ Diseños de pozos.
- ✓ Pruebas de bombeo.

Productos:

- ✓ Base de datos con información sobre los puntos de agua subterránea en la zona de estudio.
- ✓ Diligenciamiento del Formulario Único Nacional de Inventario de Puntos de Agua Subterránea (FUNIAS) para los EAS de interés.
- ✓ Comprensión del estado actual del conocimiento hidrogeológico de la zona de estudio.

Dificultades:

- ✓ Inconsistencias en la información: algunos expedientes estaban incompletos. Se solucionó contactando a los usuarios y verificando la información.
- ✓ Acceso a la información: los expedientes no estaban digitalizados. Se digitalizaron todos los expedientes utilizados.

Conclusiones:

- ✓ La información recopilada permitirá caracterizar el Sistema Acuífero Teatinos.
- ✓ Esta información será útil para la gestión sostenible del agua subterránea en la zona.

OBJETIVO ESPECIFICO II: Apoyar el levantamiento de la información hidrogeológica para el desarrollo del modelo hidrogeológico conceptual.

Las actividades 3 y 4 del proyecto se enfocaron en la recopilación y análisis de información hidrogeológica crucial para la construcción del modelo hidrogeológico conceptual del área de estudio.

Durante el proceso, se extrajeron datos de las unidades hidrogeológicas presentes en los diferentes puntos de agua subterránea encontrados, incluyendo manantiales, aljibes y pozos. Se identificó la unidad en la cual se realiza la captación de agua, y se tuvieron en cuenta los diseños de los pozos, particularmente la profundidad de los filtros utilizados.

Como parte del apoyo para esta actividad, fue necesario llevar a cabo la digitalización de pruebas de bombeo extraídas de los E.A.S, lo cual permitió su reinterpretación. Una vez digitalizadas, se realizó un análisis utilizando dos softwares: AquiferTest con el paquete Pumping test. Con estas herramientas, se interpretaron los parámetros hidráulicos, como la transmisividad (T), la capacidad específica, la conductividad hidráulica (K) y el coeficiente de almacenamiento (S), para determinar las características de los diferentes tipos de acuíferos que actualmente están siendo explotados como fuente de abastecimiento para la población local.

La estrategia aplicada para llevar a cabo esta actividad consistió en asignar a cada miembro del equipo el análisis de 4 expedientes de concesiones de agua que cumplieran con los requisitos para realizar la reinterpretación. En este caso se asignan datos de pruebas de bombeo de los expedientes C.A.S 001-04, C.A.S 001-16, C.A.S 002-02, C.A.S 002-08, C.A.S 002-13. Ver desde la *Figura 28* a la *Figura 32*

5.1.3 Actividad 3: Digitalización de información hidrogeológica

Meta: Digitalizar información de estudios hidráulicos y geoelectrónicos de los expedientes de concesiones de aguas subterráneas (EAS) seleccionados previamente.

Metodología:

1. Digitalización de información hidráulica:

✓ Pruebas de bombeo:

Fecha	8/12/2018		Profundidad (m)	140	
Realizado por	LLANPOZOS S.A.		Diametro de perforación	12.25"	
ID Pozo	Buenos Aires		Diametro Tubería	Externo: 6"	
Ubicación	Vereda Paeces Alto, Lote 2		Interno:		
Coordenadas X (E)	1073271.386		Tipo y Potencia de Bomba	3.82	
Coordenadas Y (N)	1090038.188		Nivel estático (m)		
Sistemas de ordenadas			Profundidad bomba (m)	90	
Altura (msnm)	2905		Caudal		
Altura externa de tubería (m)			Tiempo (seg)		
Fotos			Volumen (lt)		
			Caudal (lt/seg)	12 - 15 Lps medido con Macromedidor	

BOMBEO			RECUPERACIÓN		
Tiempo	Nivel	Tiempo	Nivel	Tiempo	Nivel
0	3.82	180	46.53	0	46.60
0.25	14.52	240	46.53	0.25	31.80
0.5	24.40	300	46.53	0.5	22.36
0.75	34.52	360	46.54	0.75	18.38
1	41.37	420	46.53	1	16.78
2	42.52	480	46.54	2	15.87
3	43.55	540	46.54	3	15.54
4	43.56	600	46.54	4	15.31
5	43.56	660	46.54	5	15.16
6	43.56	720	46.54	6	15.02
7	43.57	780	46.54	7	14.92
8	43.57	840	46.54	8	14.86
9	43.57	900	46.54	9	14.71
10	43.57	960	46.54	10	14.63
11	43.57	1020	46.54	11	14.57
12	43.57	1080	46.54	12	14.40
13	43.57	1140	46.54	13	14.38
15	43.57	1200	46.54	14	14.29
20	43.57	1260	46.54	15	14.24
25	43.60	1320	46.55	20	14.00
30	43.61	1380	46.55	25	13.79
35	43.61	1440	46.55	30	13.62
40	43.61	1560	46.55	35	13.51
45	43.60	1620	46.55	40	13.35
50	43.60	1800	46.55	45	13.26
55	46.53	1920	46.81	50	13.15
60	46.53	2100	46.84	55	13.09
80	46.54	2220	46.87	60	12.98
100	46.53	2460	46.63	80	12.75
120	46.53	2640	46.67	100	12.46

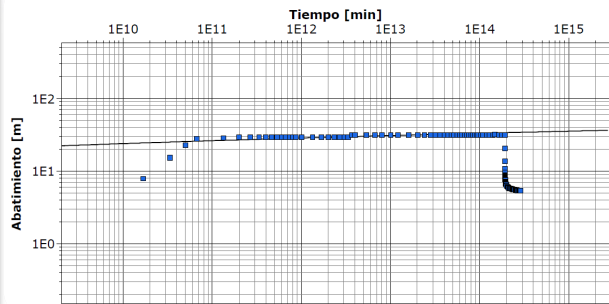
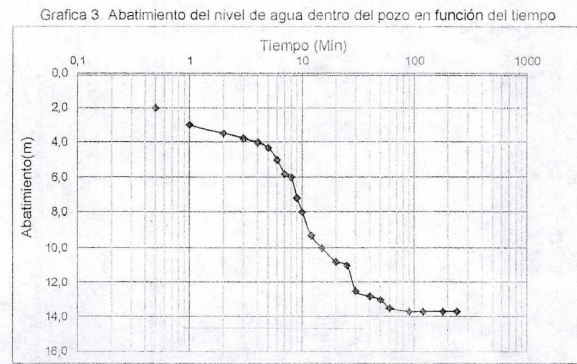


Figura 27. Digitalización de Pruebas de Bombeo - Fuente: Autor

Se utilizó el software AquiferTest para analizar los datos de las pruebas de bombeo y obtener parámetros hidrogeológicos como transmisividad, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento extraídos de los expedientes.

Se aplicaron cinco métodos: Boulton, Neuman, Theis, Hantush y Cooper & Jacob. Y SE

✓ **Diseños de pozos:**

Se utilizó el software Excel para organizar y tabular la información obtenida de los diseños de pozos, como litología, profundidad, materiales, filtros, etc. Posteriormente se realiza el procesado de la información en el software Stratter V5

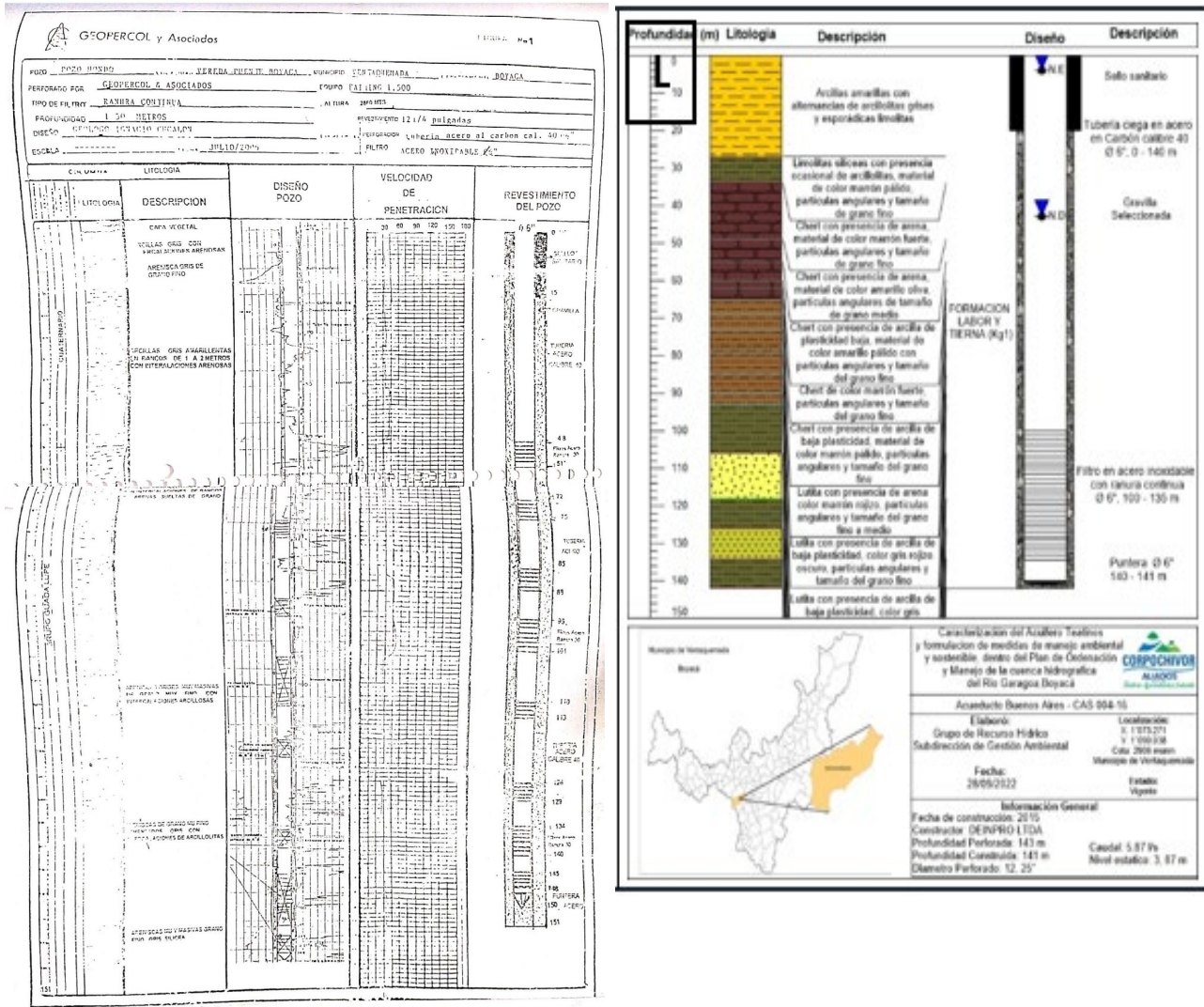


Figura 28. Digitalización de diseños de Pozo - Fuente: Autor

2. Digitalización de información geoelectrónica:

Se realizó la digitación de 9 registros eléctricos de pozo utilizando el software Web Plot Digitalizer para digitalizar la información, y el software Excel para visualizar la información.

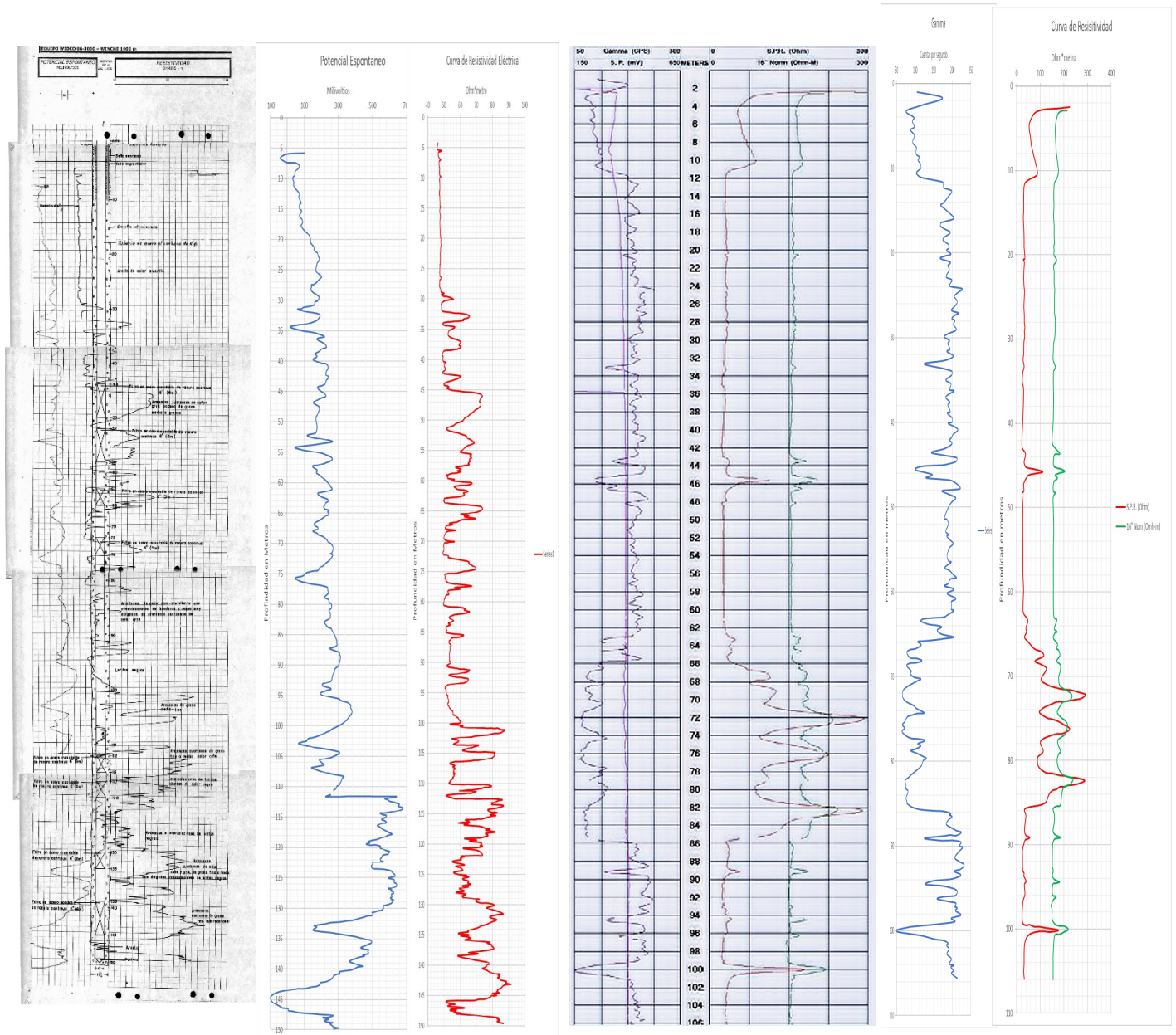


Figura 29. Digitalización de diseños de Pozo - Fuente: Autor

5.1.4 Actividad 4: Campaña de inventarios de puntos de agua

Meta: Identificar y caracterizar nuevos puntos de agua subterránea. Visitar y verificar puntos de agua referenciados previamente.

Metodología:

1. Trabajo de oficina previo: Se realizó la revisión de estudios e informes previos sobre la hidrogeología de la zona. Así como la consulta de información sobre acueductos existentes y sus ubicaciones.

2. Campaña de campo: Se realiza una organización de equipos de trabajo: equipos de 3 profesionales cada uno: geólogo, ingeniero químico e hidrólogo.

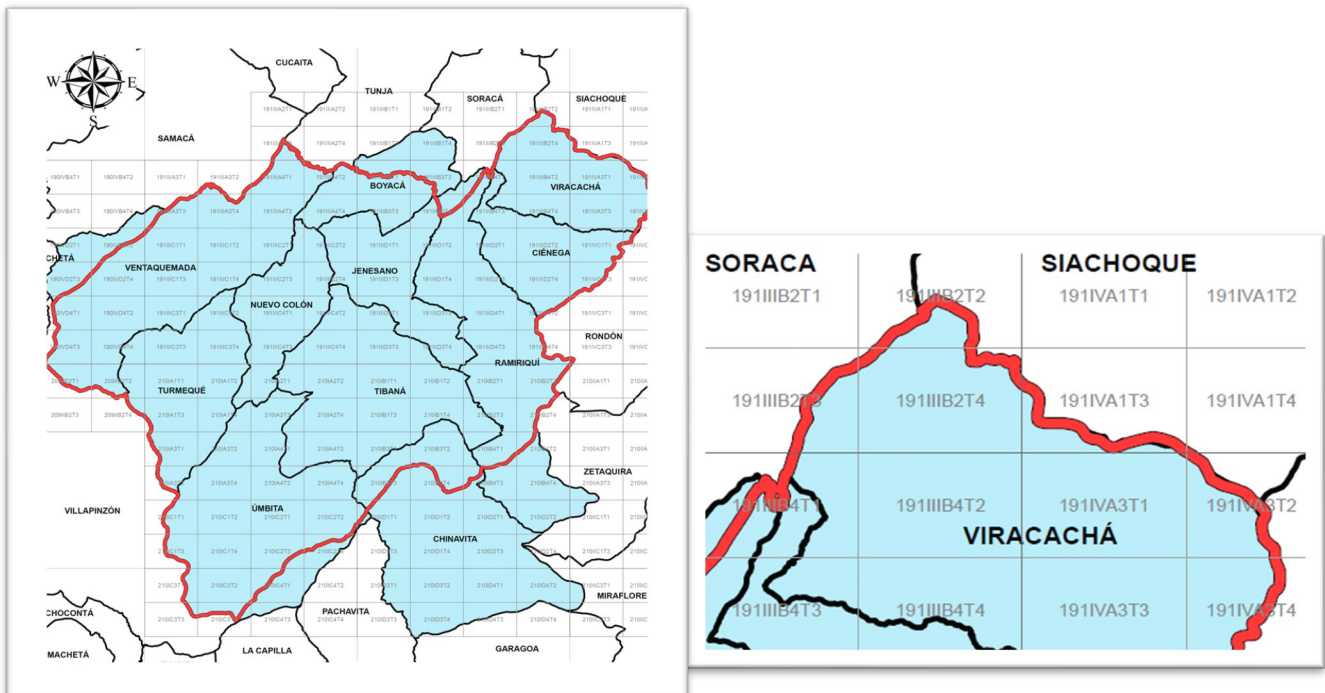


Figura 30 Zona de estudio dividida en Cuadrantes - Fuente: PMMA Teatinos Corpochivor 2022

Asignación de una zona de estudio específica a cada equipo: en mi caso se abordaron los municipios de Boyacá, Ciénega, Viracachá, Úmbita. En un plazo de 4 semanas, una por municipio.

Para abordar a detalle toda la zona se realizó la división de la zona de estudio: en cuadrantes de 24 km². A cada cuadrante se le asigna un código único (*Figura 30*), asociado a la plancha del servicio geológico y un consecutivo. Los puntos registrados en esta zona, llevarán el código del cuadrante y un consecutivo en el cuadrante, así mismo un color dependiendo del punto registrado, aljibe, pozo, manantial.

- ✓ **Registro de la información:** El registro de la información se realizó en la aplicación Avenza Maps.

También a través del diligenciamiento de FUNIAS para los nuevos puntos reportados

- ✓ **Visita a los puntos de agua:**



Durante la campaña se visitaron los puntos de agua referenciados en la consulta de expedientes de aguas subterráneas, estas visitas se enfocaban en la actualización de la información disponible del punto, allí realizábamos el diligenciamiento del formato único nacional de inventario de puntos de agua subterránea FUNIAS, para empezar a construir el inventario de puntos de agua subterránea.

Figura 31. Diligenciamiento de FUNIAS - Fuente: Autor

✓ **Medición de propiedades:**

Durante la campaña me correspondía realizar la medición de parámetros fisicoquímicos de una muestra de agua del punto a reportar, a través de un dispositivo de medición de multiparámetros de la marca Hanna Industries, con el media propiedades como el pH, temperatura, conductividad eléctrica, solidos totales disueltos, oxigenación y oxidorreducción, así mismo se hacía el reporte de las propiedades organolépticas de la muestra: color, olor, aspecto.



3. Trabajo de oficina posterior:

Posteriormente se realizó el procesamiento y análisis de la información obtenida en campo. Se Elaboró un informe para el coordinador del proyecto con la información recopilada.

Resultados:

- ✓ Se digitalizó información hidráulica de 4 pruebas de bombeo.
- ✓ Se digitalizó información de 14 diseños de pozos.
- ✓ Se digitalizó información geoelectrica de 126 nuevos puntos de agua subterránea.

Productos:

- ✓ Base de datos con la información recolectada.

Dificultades:

- ✓ Acceso a los puntos de agua:
- ✓ Dificultad para acceder a zonas rurales o de difícil acceso.
- ✓ Permisos y coordinación con propietarios de terrenos.
- ✓ Dificultades sociales:
- ✓ Sensibilización de la comunidad.

Conclusiones:

- ✓ La digitalización de la información hidrogeológica permitió:
 - ✓ Obtener una base de datos completa y organizada.
 - ✓ Caracterizar el acuífero y comprender su comportamiento.
 - ✓ Obtener información útil para la gestión sostenible del agua subterránea en la zona de estudio.
 - ✓ Se identificaron y caracterizaron 126 nuevos puntos de agua subterránea.

OBJETIVO ESPECIFICO III: Analizar e interpretar datos geofísicos de sondeos eléctricos para identificar las unidades hidrogeológicas existentes

El presente informe describe las actividades realizadas para el análisis e interpretación de datos geofísicos de sondeos eléctricos verticales (SEV) con el objetivo de identificar las unidades hidrogeológicas existentes en el área de estudio.

5.1.5 Actividad 5: Revisión y reinterpretación de SEV previos

Meta: Obtener información actualizada sobre las unidades hidrogeológicas del área de estudio a partir de datos históricos de SEV.

Metodología:

- ✓ **Recepción de información:** Se recibió un estudio hidrogeológico del año 2014 realizado por Corpochivor y la UPTC, el cual define las unidades acuíferas en los municipios de Ciénega, Ramiriquí, Boyacá, Jenesano, Ventaquemada, Nuevo Colón y Turmequé.

- ✓ **Análisis de datos:** Se revisaron y analizaron los SEV encontrados en el estudio, incluyendo sus datos, metodología y ubicación.

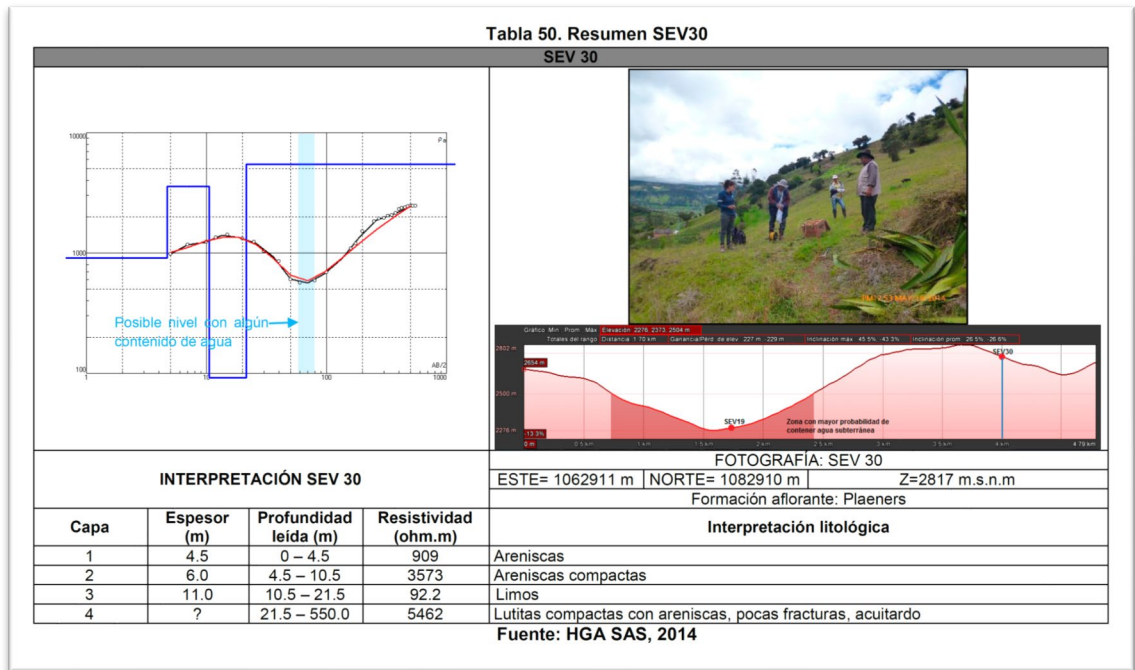


Figura 33. SEV extraído - Fuente HGA SAS 2014

✓ **Digitalización:** Se digitalizó la información de los SEV en una tabla de Excel, incluyendo coordenadas, datos de capas, espesores y litologías.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
	ID	Este	Norte	Z	Fase	Sev	AB_2	Espesor	Profundidad	Resistividad	Litología	FM_Afloran	Geologia_25k	Nomenci	Coincide	Nivel_E	IDONIEDAD
1	1	1065457	1078814	2550	PMA Fase 1	1	500	11	0 - 11,0	552	Areniscas	Plaeners	Formación Plaeners	Ksgp	SI	3.55	Descartado
2	2	1065457	1078814	2550	PMA Fase 1	1	500	43	11,0 - 54,0	113	Areniscas c		Formación Plaeners	Ksgp		0	
3	3	1065457	1078814	2550	PMA Fase 1	1	500	41	54,0 - 95,0	1175	Areniscas c		Formación Plaeners	Ksgp		0	
4	4	1065457	1078814	2550	PMA Fase 1	1	500	?	95,0 - 525,0	3.06	Arcillolitas		Formación Plaeners	Ksgp		0	
5	5	1063183	1079786	2527	PMA Fase 1	2	500	4.5	0 - 4,5	49.5	Suelo	Plaeners	Formación Chipaque	Ksc	NO	3.2	Descartado
6	6	1063183	1079786	2527	PMA Fase 1	2	500	6.5	4,5 - 11	17.3	Arcillas Sec		Formación Chipaque	Ksc		0	
7	7	1063183	1079786	2527	PMA Fase 1	2	500	?	11,0 - 525,0	4306	Areniscas c		Formación Chipaque	Ksc		0	
8	8	1065344	1080199	2423	PMA Fase 1	3	500	2.5	0 - 2,5	127	Suelo aren	Tilatá	Formación Tilatá	QTt	SI	3.36	Admitido
9	9	1065344	1080199	2423	PMA Fase 1	3	500	24.5	2,5 - 27,0	25.2	Arcillas y li		Formación Tilatá	QTt		0	
10	10	1065344	1080199	2423	PMA Fase 1	3	500	29	27,0 - 57,0	2.63	Arcillas		Formación Tilatá	QTt		0	
11	11	1065344	1080199	2423	PMA Fase 1	3	500	?	57,0 - 500,0	1708	Paquete de		Formación Tilatá	QTt		0	

Figura 34. Tabla de SEV históricos - Fuente: Autor

✓ **Creación de un shapefile:** Se generó un shapefile con la información digitalizada para visualizar los puntos de SEV en relación con la zona de estudio.

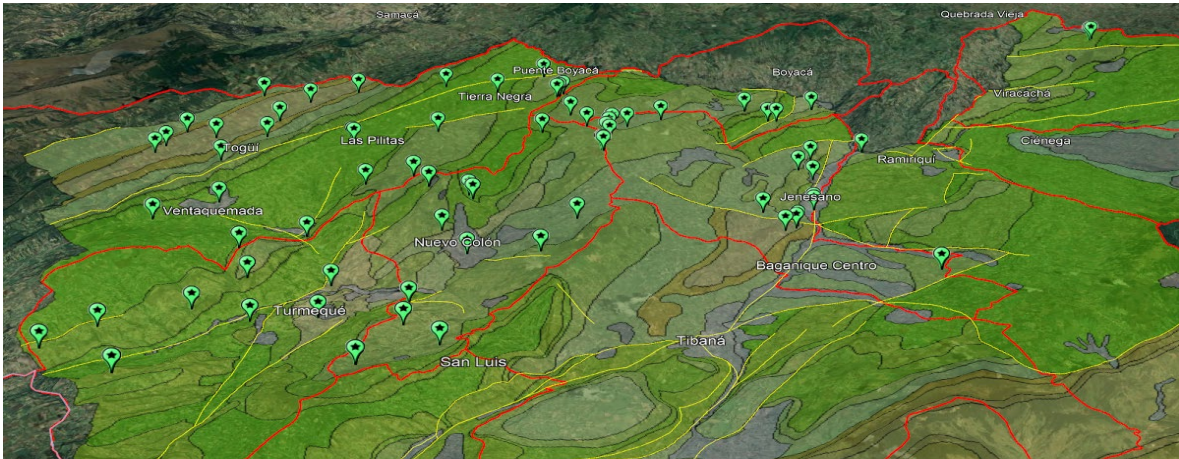


Figura 35. Visualización SEV históricos en la zona de estudio - Fuente: Autor

- ✓ **Identificación de sectores sin información:** Se identificaron sectores de la zona sin información geoelectrica.
- ✓ **Software utilizado:** Excel y ArcMap.

5.1.6 Actividad 6: Planteamiento de una red de 60 posibles ubicaciones para SEV

Meta: Diseñar una red de SEV para obtener información precisa y representativa de las unidades hidrogeológicas del área de estudio.

Para el diseño de la red de SEV se tienen en cuenta los siguientes criterios técnicos mínimos para la correcta realización de estos estudios:

- ✓ Apertura: 800 m AB/2
- ✓ Topografía de la zona.: Plana
- ✓ Accesibilidad (vías, evitando fincas).
- ✓ Apertura mínima de 350 metros, 800 metros en promedio.
- ✓ Disposición paralela a la capa geológica.
- ✓ Arreglo: Wenner y Schlumberger

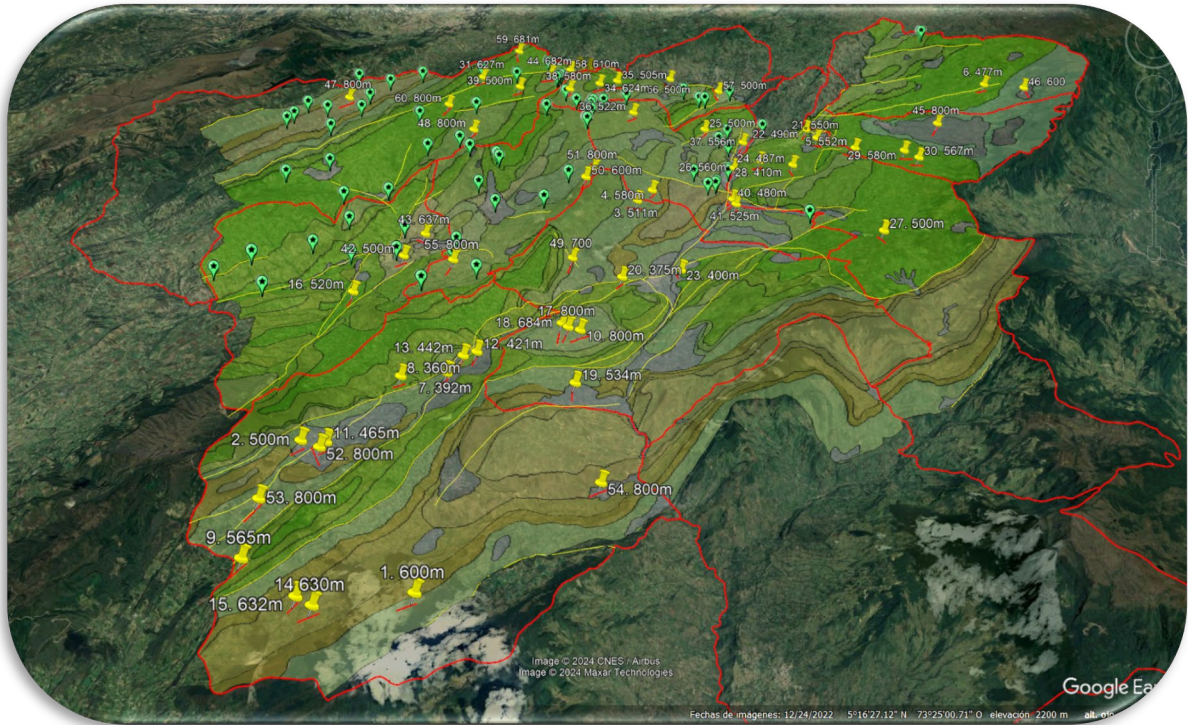


Figura 36. Red de SEV planteada - Fuente: Autor

Metodología:

1. Búsqueda de zonas planas en el área de estudio.
2. Aplicación de los criterios técnicos para la ubicación de los posibles sondeos.

Software utilizado: ArcMap de ArcGIS y Google Earth.

5.1.7 Actividad 7: Acompañamiento en campo a las campañas de geoelectrónica

Meta: Asegurar la calidad de los datos de campo y la correcta ejecución de las campañas de SEV contratadas.

Metodología:

Acompañamiento a una jornada de campo en el municipio de Ventaquemada a una de las cuadrillas de la consultora DeinPro.

Funciones:

- ✓ **Supervisión de la ejecución:** verificar que los SEV se realicen de acuerdo a las especificaciones técnicas y estándares de calidad.

se apoya en la realización de la campaña en acompañamiento de la consultora DeinPro, con el fin de generar insumos técnicos para la construcción del modelo hidrogeológico conceptual (MHC).

Las campañas de prospección geoelectrica se realizaron con dos (2) equipos de Resistividad Eléctrica Terrameter SAS 1000, con lectura digital; conformados por una unidad generadora de fuerza electromotriz FEM electrónica; una unidad de medida conformada por un amperímetro y un voltímetro digitales; un sistema de compensación para eliminar los potenciales espontáneos y una fuente alimentada por dos baterías y corriente de acuerdo a la impedancia del terreno. Los sondeos eléctricos, se hicieron de acuerdo al arreglo de Wenner - Schlumberger, inyectando corriente al subsuelo y midiendo la diferencia de



Figura 37. Evidencia fotográfica acompañamiento en campo campaña Geoelectrica - Fuente: Autor

potencial en varios puntos (siguiendo las distancias apropiadas para el AB/2 máximo

seleccionado); las relaciones delta V/I, multiplicadas por factores geométricos exclusivos para cada arreglo, producen las resistividades aparentes, las cuales son graficadas en función de AB/2, de forma que los puntos obtenidos se visualizan con un cubrimiento adecuado en la escala logarítmica usada como estándar de interpretación.

- ✓ **Control de calidad:** revisar la calidad de los datos de campo durante la adquisición e identificar y corregir errores o inconsistencias.
- ✓ **Comunicación:** informar al líder del proyecto sobre cualquier problema o incidencia durante las campañas.

Resultados:

- ✓ Digitalización de la información de los SEV en una tabla de Excel y creación de un shapefile.
- ✓ Planteamiento de una red de 60 posibles ubicaciones para realizar nuevos SEV.
- ✓ Acompañamiento a una jornada de campo en Ventaquemada.

Conclusiones:

- ✓ Las actividades realizadas permitieron obtener información valiosa sobre las unidades hidrogeológicas del área de estudio.
- ✓ La reinterpretación de SEV existentes, la digitalización de la información y la creación de una red de nuevos SEV aportarán datos relevantes para la construcción del modelo hidrogeológico conceptual.

OBJETIVO ESPECÍFICO IV: Realizar el mapa de isopiezas y dirección del flujo de agua subterránea

El presente informe describe las actividades realizadas para la elaboración del mapa de isopiezas y dirección de flujo de agua subterránea en las unidades hidrogeológicas de interés.

5.1.8 Actividad 8: Elaboración del mapa de dirección de flujo

Meta: Realizar 6 mapas de dirección de flujo para las unidades hidrogeológicas de interés.

Metodología:

1. Recopilación de datos:

- ✓ Información topográfica del terreno (DEM).
- ✓ Datos piezométricos de pozos y puntos de agua subterránea en las 6 unidades hidrogeológicas.
- ✓ Información geológica e hidrogeológica de las unidades de estudio.

2. Análisis de datos: Procesamiento de los datos piezométricos para determinar la dirección del flujo de agua subterránea, la cual coincide con la dirección de los drenajes, es decir, va de zonas de mayor a menor pendiente.

Para esta actividad se utilizó software de análisis espacial y procesamiento de datos como ArcMap, Surfer y Excel.

Para cumplir con el objetivo, se proporcionó apoyo técnico preliminar al generar una serie de shapes de dirección de flujo utilizando el software Surfer. Este análisis se llevó a cabo para las siete (7) unidades hidrológicas seleccionadas, como se muestra en la *Figura 39*.

Los resultados obtenidos permiten identificar de manera general que el flujo de agua en las diferentes formaciones sigue la dirección de la pendiente, lo cual a menudo se puede observar visualmente al coincidir con el sentido de los drenajes.

En la *Figura 38* las zonas de color rojo representan áreas con mayor pendiente, mientras que el degradado de color hacia el verde indica zonas de menor pendiente, indicando hacia dónde fluye el agua. Además, se presenta en ArcGIS la capa de dirección de flujo recortada con respecto al polígono de la unidad hidrogeológica.

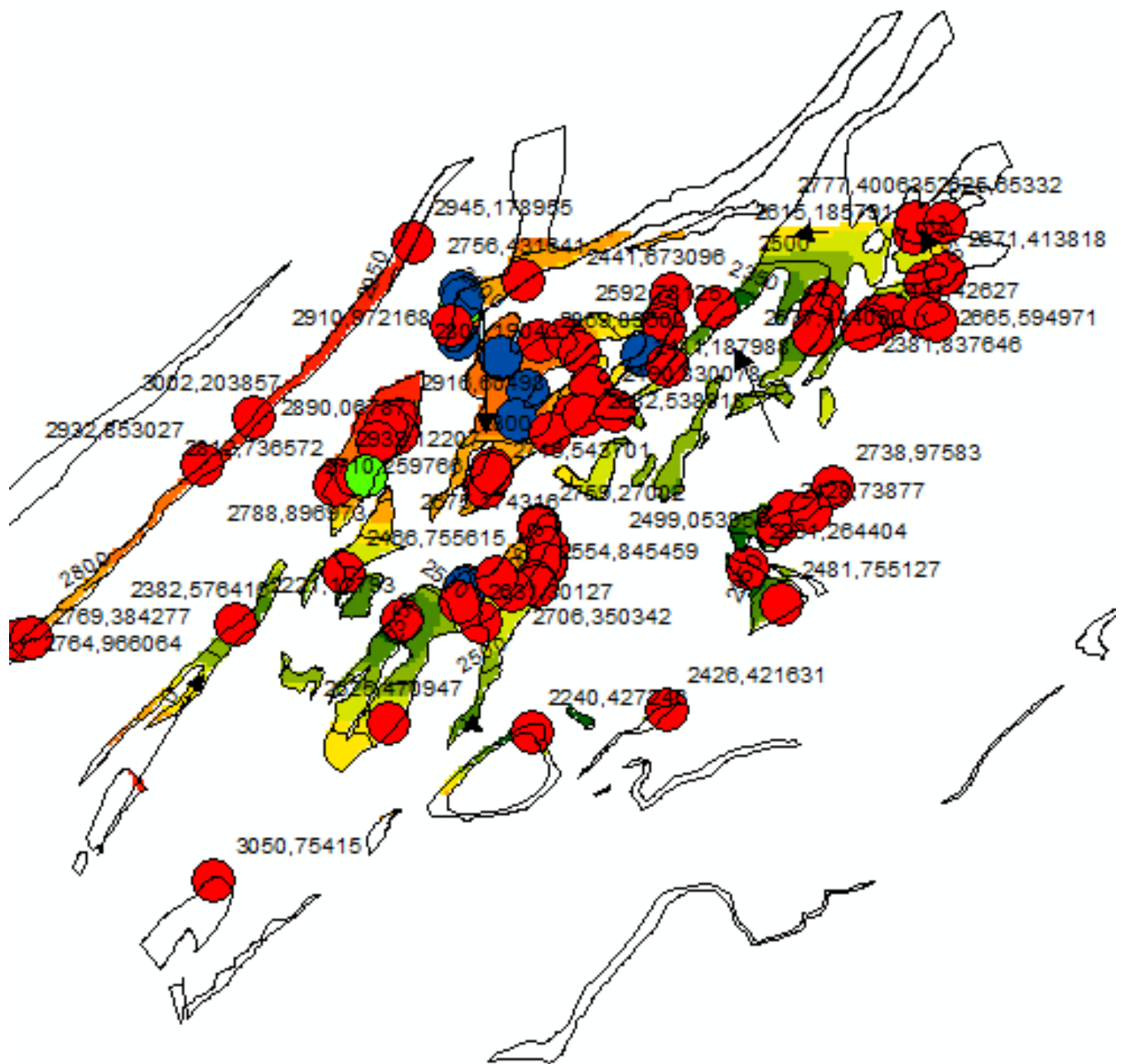


Figura 38 Shape de la unidad hidrogeológica Labor y Tierna (K2lt) en ArcGIS. Fuente: Autor

Se pueden observar los resultados de los mapas de dirección de flujo en la *Figura 48*, correspondientes a las diferentes unidades hidrogeológicas:

A) Unidad hidrogeológica Labor y Tierna (K2lt)

B) Unidad hidrogeológica Tilatá (N2t)

C) Unidad hidrogeológica Plaenners (K2p)

D) Unidad hidrogeológica Arenisca dura (K2d)

E) Unidad hidrogeológica Une (K1K2U).

F) Unidad hidrogeológica Arenisca de Socha (E1si)

G) Unidad hidrogeológica depósitos cuaternarios (Q)

Resultados:

- ✓ Mapeo de la dirección de flujo de 6 unidades hidrogeológicas de interés.

Productos:

6 shapefiles de los mapas de dirección de flujo para las unidades hidrogeológicas.

Dificultades:

- ✓ Falta de información sobre las propiedades hidráulicas de las unidades hidrogeológicas, lo que puede afectar la precisión del mapa.
- ✓ Curva de aprendizaje para el uso de ciertas características del software.

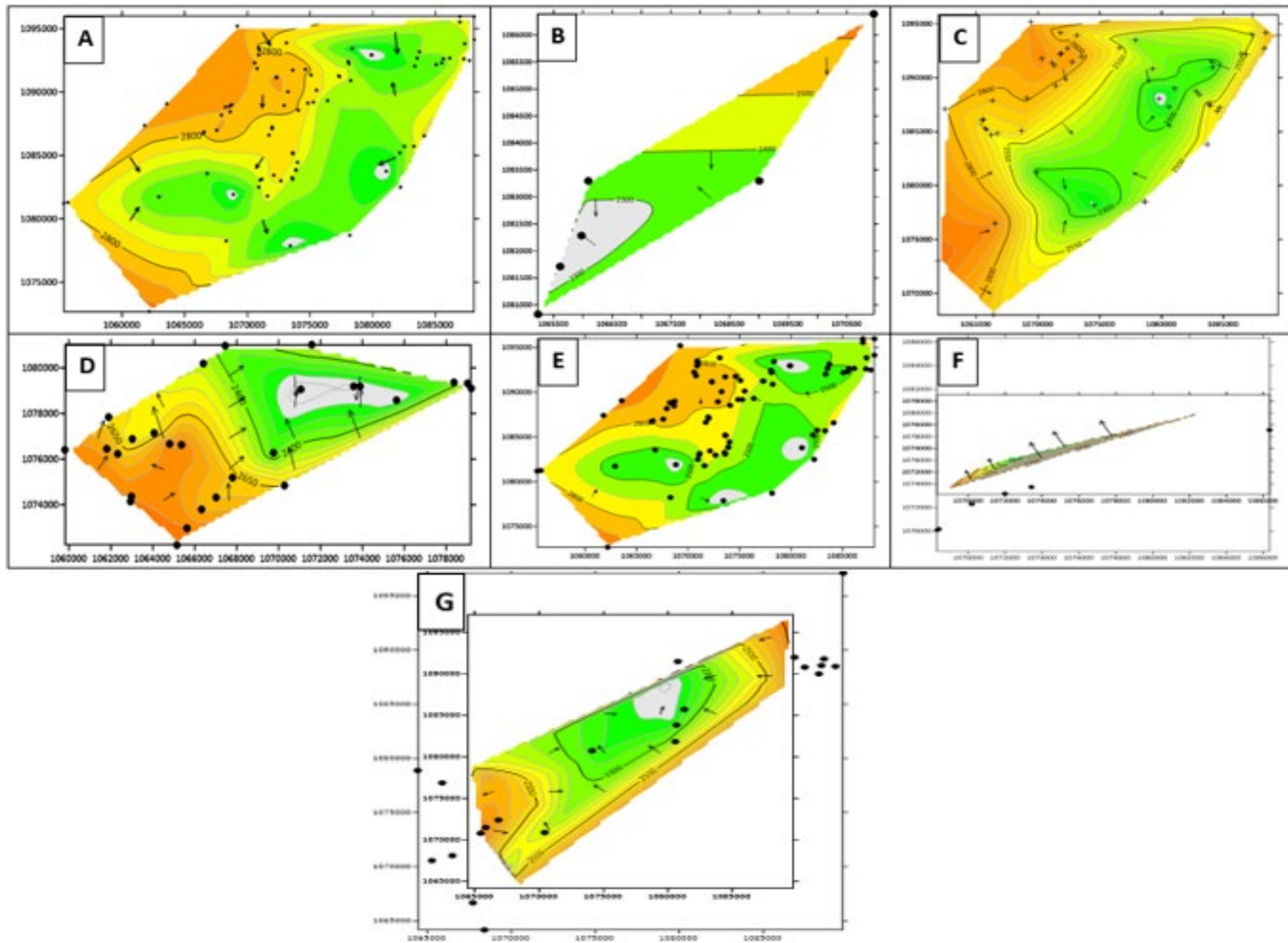


Figura 39 Shapes de la unidad hidrogeológica en el área de estudio en Surfer Fuente: Autor

OBJETIVO ESPECÍFICO V: Apoyo técnico en la evaluación hidroquímica de las unidades hidrogeológicas caracterizadas

5.1.9 Actividad 9: Acompañamiento en campo a la campaña de muestreo de calidad de agua subterránea

Meta: Garantizar la correcta toma de muestras de acuerdo con los protocolos establecidos, Documentar el proceso de muestreo.

Se realiza acompañamiento en la campaña de toma de muestra y custodia de las mismas, tiene como finalidad clasificar las muestras de agua, determinar su calidad e identificar los procesos que determinan la geoquímica de las aguas subterráneas en el Acuífero Teatinos, se realizó la toma de 20 muestras seleccionadas del inventario de puntos de agua obtenida de las campañas de campo desarrolladas en el marco del presente proyecto. Los criterios para elegir los sitios de muestreo a partir del inventario de puntos de agua, fueron sencillos, y se presentan a continuación:

1. Accesibilidad, el punto de muestreo debe estar en un lugar accesible, para que sea posible la toma de muestras, el transporte de los equipos y material de muestreo.

2. Elegir un número de puntos, distribuidos en toda la zona de estudio que abarcara el mayor número de Formaciones priorizadas, para caracterizar el agua del acuífero.

3. Tomar muestras de los puntos más representativos, mayores caudales, mayor número de usuarios, posibles fuentes de contaminación, entre otras.

Se realizó la visita a 4 puntos de interés para la toma de muestras de agua subterránea. para esto se siguió la siguiente metodología:

1. Revisión previa de la metodología de muestreo:

Capacitación por parte del Químico del proyecto, Wilson Elías. Se realizó una revisión de la metodología de muestreo para familiarizarse con los procedimientos y requisitos.

Para el muestreo, la preservación y manejo de las muestras se siguió la norma técnica colombiana NTC-ISO 5667-11 (Guía para el muestreo de aguas subterráneas), NTC-ISO 5667-3 (Directrices para la conservación y el manejo de muestras) y el Protocolo de monitoreo y seguimiento del agua subterránea establecida por el IDEAM (IDEAM and Invemar 2021). Se tuvieron en cuenta también las sugerencias hechas por el laboratorio, con respecto al tipo de conservante, cantidad, y los volúmenes de muestra para analizar varios parámetros a la vez.

2. Preparación del equipo:

Se emplearon recipientes en polietileno de 1000 ml para los iones (Ca^{+2} , Mg^{+} , K^{+} , Na^{+} y Mn^{+2}), de 1000 ml para los parámetros de calidad (alcalinidad, durezas, color, turbiedad, sólidos disueltos y suspendidos.), de 2000 ml para metales trazas y conjuntamente se emplearon envases de vidrio de 500 y 1000ml para análisis microbiológicos e hidrocarburos totales respectivamente. Previo al llenado de los recipientes con el agua de muestra, se llenaron los rótulos entregados por el laboratorio, indicando la ciudad, el punto de muestreo, el código asignado a la captación



Figura 40. Evidencia fotográfica acompañamiento campaña de muestras de agua subterránea Fuente: Autor

según el inventario, y la hora de toma de la muestra con la fecha. A la vez se llenaron los formatos de cadena custodia y de parámetros in situ para cada una de las muestras.

3. Documentación del proceso:

- ✓ Diligenciamiento de formatos para cada punto visitado.
- ✓ Toma de fotografías y videos.

Resultados:

- ✓ Acompañamiento técnico a la campaña de muestreo de agua subterránea en los cuatro puntos de interés.
- ✓ Correcta toma de muestras de acuerdo con los protocolos establecidos.
- ✓ Documentación del proceso de muestreo y registro de las condiciones ambientales.

Productos:

- ✓ Informe técnico del acompañamiento a la campaña de muestreo.
- ✓ Fotografías y videos del proceso de muestreo.
- ✓ Formularios de registro de datos.

Dificultades:

- ✓ Dificultad para acceder a algunos de los puntos de muestreo.
- ✓ Fallas en algunos equipos de medición.
- ✓ Mejoras en la redacción:

6 RESULTADOS

En marco del desarrollo del proyecto se brindó apoyo en cinco (5) actividades de las cuales se entregan como productos, tablas de datos en excel, documentos, mapas y salidas graficas de los softwares utilizados, el análisis de algunos de estos productos se expone a continuación:

Objetivo I

En la etapa de recopilación información secundaria de geología, hidrología, hidrogeología y geofísica, se realiza la búsqueda de información en entidades estatales como ANLA (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales), el SGC (Servicio Geológico Colombiano), el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), CORPOBOYACÁ, la Corporación Autónoma de Chivor (CORPOCHIVOR), Planeación Municipal de los municipios de la zona de estudio. En esta etapa se obtuvieron datos de puntos de agua reportados en los 11 municipios del sistema acuífero de los cuales 27 corresponden a expedientes de exploración de aguas subterránea (E.A.S) y Concesión de agua subterránea (C.A.S).

En cuanto a la calidad de la información, 67% fue clasificada como de buena calidad, debido a que según la totalidad de los expedientes entre C.A.S y E.A.S tienen información completa, es decir cuentan con datos de SEV, pruebas de bombeo, que se pueden reinterpretar, 21% de mediana calidad debido a que algunos expedientes no cuentan con datos precisos de SEV así como no presentan pruebas de bombeo y el restante 12% de mala calidad debido a que no tienen información relevante para el desarrollo del proyecto, ya que no prosperaron los proyectos de perforación.

La recopilación de la información secundaria nos permite conocer, el estado en que se encuentra la zona, en cuanto al tipo y números de puntos inventariados, el estado de formalización, uso del agua, geología, ubicación, topografía.

Según lo observado, actualmente existen un total de 8 puntos con concesiones vigentes en relación con Corpochivor. Estos puntos se encuentran distribuidos en los

municipios de Boyacá (2), Ciénega (1), Jenesano (3), Nuevo Colón (1) y Viracachá (1). Esto significa que solo el 1,70% de la información disponible cuenta con concesiones otorgadas por esta entidad. Sin embargo, es importante destacar que estos puntos son aquellos que han reportado esta información específica. En otras palabras, más del 90% de los puntos de agua subterránea identificados carecen de información sobre su estado de formalización o uso.

Se entrega como producto para esta actividad un consolidado con los puntos identificados por municipio, así como un consolidado de FUNIAS (formulario único nacional de inventario de aguas subterráneas) que corresponden a los expedientes que la corporación tiene en la zona de estudio.

Se brindó apoyo en la construcción de una macro en Excel para agilizar el proceso de extracción de información, la cual es ejecutada en el consolidado de E.A.S (expedientes de aguas subterráneas) y C.A.S. (concesiones de aguas subterráneas)

```

Sub ExtraerValores() 'Macro para extraer valores de varias hojas que tienen campos iguales o la información se encuentra
'En la misma celda pero en diferente hoja
Dim i As Long
Dim BuscarHoja As Boolean

On Error Resume Next
BuscarHoja = (Worksheets("DatosExtraidos").Name <> "")

If BuscarHoja = False Then
Sheets.Add before:=Sheets(1)
End If

ActiveSheet.Name = "DatosExtraidos"

Sheets("DatosExtraidos").Activate

Sheets("DatosExtraidos").Cells.Select

Selection.ClearContents

For i = 1 To Sheets.Count
Sheets("DatosExtraidos").Range("A" & i).Value = Sheets(i).Name 'Nombre de la hoja
Sheets("DatosExtraidos").Range("B" & i).Value = Sheets(i).Range("C6").Value 'Casilla donde se encuentra el nombre de la via
Sheets("DatosExtraidos").Range("C" & i).Value = Sheets(i).Range("C47").Value 'Casilla donde se encuentra el valor de la este
Sheets("DatosExtraidos").Range("D" & i).Value = Sheets(i).Range("C46").Value 'Celda donde se encuentra el valor de la norte
Sheets("DatosExtraidos").Range("E" & i).Value = Sheets(i).Range("C45").Value 'Celda donde se encuentra el valor de la descripcion
Sheets("DatosExtraidos").Range("F" & i).Value = Sheets(i).Range("A1").Value 'Celda donde se encuentra el valor de la norte
Sheets("DatosExtraidos").Range("G" & i).Value = Sheets(i).Range("M8").Value 'Celda donde se encuentra el valor de la norte
Sheets("DatosExtraidos").Range("H" & i).Value = Sheets(i).Range("M8").Value 'Celda donde se encuentra el valor de la norte
Sheets("DatosExtraidos").Range("I" & i).Value = Sheets(i).Range("Q10").Value 'Celda donde se encuentra el valor de la norte
Sheets("DatosExtraidos").Range("J" & i).Value = Sheets(i).Range("R10").Value 'Celda donde se encuentra el valor de la norte
Sheets("DatosExtraidos").Range("K" & i).Value = Sheets(i).Range("S10").Value 'Celda donde se encuentra el valor de la norte
Sheets("DatosExtraidos").Range("L" & i).Value = Sheets(i).Range("T10").Value 'Celda donde se encuentra el valor de la norte
Sheets("DatosExtraidos").Range("M" & i).Value = Sheets(i).Range("M12").Value 'Celda donde se encuentra el valor de la norte

```

Figura 41. Macro construida para generar consolidado. Fuente: Autor

LAPRESTAMIENTO: CONSOLIDADO PUNTOS DE AGUA CUENCA HIDROGRAFICA ZONA DE ESTUDIO

NOMBRE DEL PROYECTO: CARACTERIZACIÓN DEL ACUÍFERO TEATINOS Y FORMULACIÓN DE MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL Y SOSTENIBLE, DENTRO DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL BOYACÁ.

No.	FUENTE	NOMBRE DEL PROYECTO	CAR	CONSECUTIVO	Nº EXPEDIENTE	PARTAMENTO	MUNICIPIO	VEREDA	X	Y	LATITUD	LONGITUD	COTA	TIPO PUNTO	CUENTA PUNTO	OTORGADO (FORMALIZADO)	ESTADO	ANÁLISIS DE LABORATORIO	PRUEBA DE BOMBEO
1	ARCHIVO	PMAA TEATINOS	CORPOCHIVOR	8052	C.A.S. 001-04	BOYACÁ	BOYACÁ	Huerta Grande	1072356	1091179	5,4200833	-73,42497	2831	Pozo	Pozo	SI	VENCIDA	SI	SI
2	ARCHIVO	PMAA TEATINOS	CORPOCHIVOR		C.A.S. 001-16	BOYACÁ	JENESANO	Dulceyes	1079891	1089031			2091	Pozo	Pozo	SI	VIGENTE	SI	SI
3	ARCHIVO	PMAA TEATINOS	CORPOCHIVOR		C.A.S. 002-02	BOYACÁ	VENTAQUEMADA	Puente de Boyacá	1069156	1091908	5,4224167	-73,43561	2830	Pozo	Pozo	SI	TERMINADA Y ARCHIVADA	SI	SI
4	ARCHIVO	PMAA TEATINOS	CORPOCHIVOR	CA054-05	C.A.S. 002-08	BOYACÁ	VENTAQUEMADA	Puente de Boyacá	1070927	1093227			2831	Pozo	Pozo	SI	VENCIDA	NO	SI
5	ARCHIVO	PMAA TEATINOS	CORPOCHIVOR		C.A.S. 002-13	BOYACÁ	CIENEGA	El Espinal	1084184	1088723			2430	Pozo	Pozo	SI	VIGENTE	NO	SI
6	ARCHIVO	PMAA TEATINOS	CORPOCHIVOR		E.A.S. 001-17	BOYACÁ	VENTAQUEMADA	Bojirque	1065295	1088861			2860	Pozo	Pozo	SI	DESISTIO	NO	NO
7	ARCHIVO	PMAA TEATINOS	CORPOCHIVOR		E.A.S. 001-10	BOYACÁ	NUEVO COLON	Fiota	1071078	1083044			2670	Pozo	Pozo	SI	DESISTIO	SI	NO
8	ARCHIVO	PMAA TEATINOS	CORPOCHIVOR		E.A.S. 001-18	BOYACÁ	TIBANA	Lavaderos	1072830	1079131			2116	Aljibe	Aljibe	NO	DESISTIO	NO	NO
9	ARCHIVO	PMAA TEATINOS	CORPOCHIVOR		E.A.S. 003-07	BOYACÁ	VENTAQUEMADA	Bojirque	1067853	1092168				Pozo	Pozo	NO	DESISTIO	NO	NO
10	ARCHIVO	PMAA TEATINOS	CORPOCHIVOR	E.A.S. 003-16	C.A.S. 001-18	BOYACÁ	VENTAQUEMADA	Puente de Boyacá	1071139	1091399			2867	Pozo	Pozo	NO	DESISTIO	NO	SI
11	ARCHIVO	PMAA TEATINOS	CORPOCHIVOR		E.A.S. 003-15	BOYACÁ	VENTAQUEMADA	Laguna	1070782	1091859			2953	Pozo	Pozo	SI	DESISTIO	SI	SI
12	ARCHIVO	PMAA TEATINOS	CORPOCHIVOR		E.A.S. 005-15	BOYACÁ	JENESANO	Foraquira	1072881	1088653			2884	Aljibe	Aljibe	SI	DESISTIO	NO	NO
13	ARCHIVO	PMAA TEATINOS	CORPOCHIVOR		E.A.S. 001-19	BOYACÁ	BOYACÁ	Soconsaque Oriente	1079825	1091738			2696	Pozo	Pozo	SI	DESISTIO	NO	NO
14	ARCHIVO	PMAA TEATINOS	CORPOCHIVOR		C.A.S. 003-21	BOYACÁ	BOYACÁ	Soconsaque Oriente	1077366	1091239			2677	Pozo	Pozo	NO	EN TRÁMITE	SI	SI
15	ARCHIVO	PMAA TEATINOS	CORPOCHIVOR		E.A.S. 004-11	BOYACÁ	JENESANO	Zona Urbana	1079080	1085510			2077	Pozo	Pozo	SI	DESISTIO	NO	NO
16	ARCHIVO	PMAA TEATINOS	CORPOCHIVOR		C.A.S. 001-03	BOYACÁ	JENESANO	Foraquirá	1072917	1088968			2900	Pozo	Pozo	SI	VENCIDA	SI	SI
17	ARCHIVO	PMAA TEATINOS	CORPOCHIVOR	E.A.S. 003-11	E.A.S. 004-16	BOYACÁ	JENESANO	Foraquirá	1073271	1089724			2947	Pozo	Pozo	SI	VIGENTE	SI	SI

Figura 42. Consolidado Puntos de agua de la cuenca hidrográfica de la zona de estudio.

Fuente: Autor

Base de	Proyecto	Vereda	Municipio	Departam	NOMBRE/	Pozo	Aljibe	Manantia	Piezómet	Otro	Unidad Ge	NOM PRE	PROP. PE	PROP. PE	SITIO	DIA
1	C.A.S. 001-02	PMAA TEATI	CIRAQUITÁ	Boyacá	Boyacá	1						Buenos Aires	Municipio de Boyacá	Buenos Aires		
2	C.A.S. 004-16	PMAA - TEA	Paeces Alto	Jenesano	Boyacá	1						Lote 2	Asociación de Suscriptores	Lote 2		
3	C.A.S. 001-04	PMAA - TEA	Huerta Gran	Boyacá	Boyacá	1					F. Labor y Tie	El Lucero	Asociación de Usuarios de	El Lucero		
4	C.A.S. 001-16	PMAA - TEA	Dulceyes	Jenesano	Boyacá	1						Tierra Grata	Sandra Miller	Tierra Grata		
5	C.A.S. 001-21	PMAA - TEA	Huerta Gran	Boyacá	Boyacá	1						La Rinconada	Asociación de Suscriptores	La Rinconada		
6	C.A.S. 002-02	PMAA - TEA	Puente de B	Ventaquem	Boyacá	1						Las Delicias	Asociación de Suscriptores	Las Delicias		
7	C.A.S. 002-07	PMAA - TEA	Montoya	Ventaquem	Boyacá	1					F. Labor y Tie	El Zafiro	Hector Alfon	El Zafiro		
8	C.A.S. 002-08	PMAA - TEA	Puente de B	Ventaquem	Boyacá	1					F. Labor y Tie	Cañada Honda	Virgilio Sanc	Cañada Honda		
9	C.A.S. 002-13	PMAA - TEA	El Espinal	Ciénega	Boyacá	1					Labor y Tierra	La Planada	Asociación de Suscriptores	La Planada		
10	C.A.S. 003-21	PMAA - TEA	Soconsaque	Boyacá	Boyacá	1					Formación L	Lote 2	Asociación de Suscriptores	Lote 2		
11	C.A.S. 001-13	PMAA TEATI	Chen	Viracacha	Boyacá	1						El Arrayan	Empresa de Servicios Pub	El Arrayan		
12	C.A.S. 001-18	PMAA TEATI	Puente de B	Ventaquem	Boyacá	1						Finca Las Del	ASOCIACION DE SUSCRIP	Finca Las Delicias		
13	C.A.S. 002-21	PMAA TEATI	Huerta Gran	Boyacá	Boyacá	1						El Lucero	ASOCIACION DE USUARIO	El Lucero		
14	C.A.S. 002-16	PMAA TEATI	Centro-rural	Nuevo Colon	Boyacá	1						El Terreno	Felix Otalora	El Terreno		
15	C.A.S. 001-03	PMAA TEATI	Foraquirá	Jenesano	Boyacá	1						Finca Agua c	Asociacion de Suscriptores	Finca Agua clara		
16	1	PMAA - TEA	Bojirque	Ventaquem	Boyacá	1		1			Formación C	El Progreso			El Progreso	17
17	2	PMAA - TEA	Bojirque	Ventaquem	Boyacá	2		1			Formación P	El Progreso			El Progreso	17
18	3	PMAA - TEA	Bojirque	Ventaquem	Boyacá	3		1			Formación P	El Progreso			El Progreso	17
19	4	PMAA - TEA	Bojirque	Ventaquem	Boyacá	4		1				N/D			N/D	17
20	CAS 003-21	PMAA - TEA	Siraquitá	Boyacá	Boyacá	4		1				El Guamo			El Guamo	23
21	CAS 003-21	PMAA - TEA	Siraquitá	Boyacá	Boyacá	4		1				Alcaldía			Alcaldía	23

Figura 43. Consolidado de expedientes de concesiones de agua subterránea

Fuente: Autor.

Objetivo II: Apoyar el levantamiento de la información hidrogeológica para el desarrollo del modelo hidrogeológico conceptual.

Para la interpretación de datos de conductividad hidráulica la cual se toma como un indicador de la velocidad de desplazamiento de los fluidos, a través de las rocas y es directamente proporcional a la textura de granos que componen la roca. Se tiene en cuenta la tabla de valores de permeabilidad o conductividad hidráulica según Custodio y Llamas 1983. (Villarroya 2009).

PERMEABILIDAD EN (m/día)

	10^4	10^3	10^2	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
CLASIFICACIÓN GEOLÓGICA	GRAVAS LIMPIAS	GRAVAS Y ARENAS, O ARENAS GRUESAS		ARENAS FINAS O CON MEZCLA DE LIMOS		LIMOS O ARCILLAS ARENOSAS		ARCILLAS COMPACTAS			
CLASIFICACIÓN HIDROGEOLOGICA	BUEN ACUÍFERO			ACUÍFERO POBRE		ACUITARDO		PRÁCTICAMENTE IMPERMEABLE			
	$0,11$	$0,01$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	10^{-4}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-10}				

Clasificación de algunos materiales sedimentarios según su permeabilidad (Custodio y Llamas, 1983).

Figura 44. Tabla de valores de permeabilidad o Conductividad hidráulica de diferentes agrupaciones litológicas. Fuente: Custodio y Llamas 1983.

T (m²/día)	Calificación	Posibilidades del acuífero
T<10	Muy baja	Menos de 1 l/s con 10 metros de depresión
10<T<100	Baja	Entre 1 y 10 l/s con 10 metros de depresión
100<T<500	Media a alta	Entre 10 y 50 l/s con 10 metros de depresión
500<T<1000	Alta	Entre 50 y 100 l/s con 10 metros de depresión
T<1000	Muy alta	Más de 100 l/s con 10 metros de depresión

(1) Pozos y acuíferos. IGME (1984)

Figura 45. Valores de Transmisibilidad. Fuente: Iglesias, (2002), (Villarroya, 2009)

Para la interpretación de los datos de transmisividad (T), la cual se toma como un indicador que representa la capacidad de un acuífero para ceder agua. Esta variable

puede verse influenciada por los ambientes de depositación ocurridos en la zona, ya que a lo largo de toda la cuenca no son uniformes, por el permanente desplazamiento de los cauces, el régimen cambiante de depositación y la erosión de los canales. Se tiene en cuenta la tabla de valores de permeabilidad o conductividad hidráulica según Iglesias, (2002). (Villarroya 2009) Ver Figura 43.

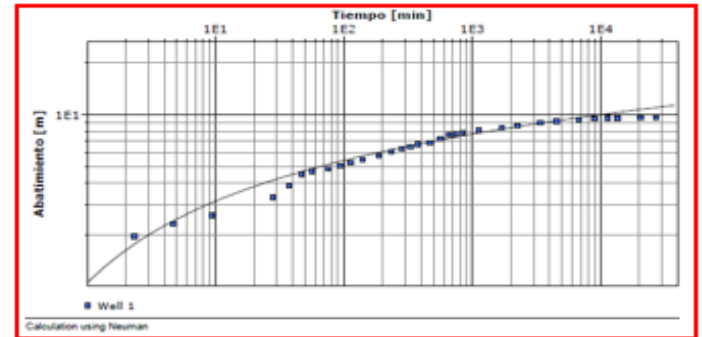
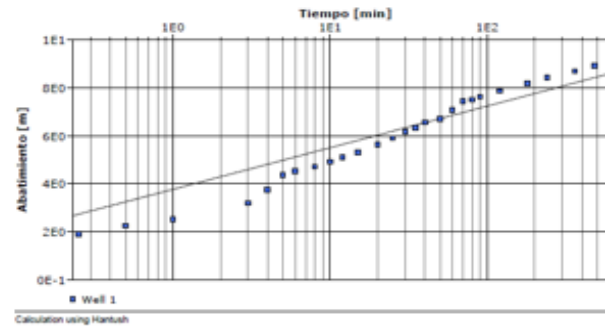
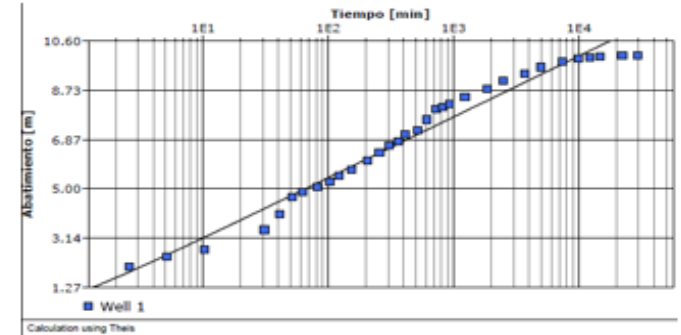
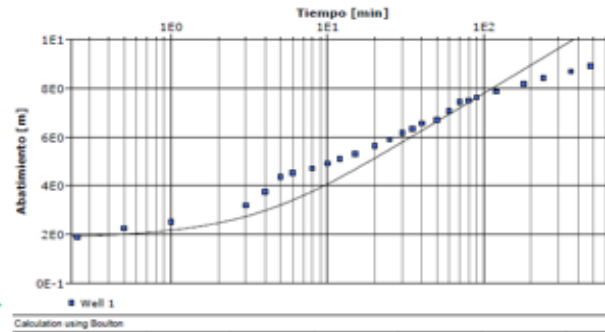
Reinterpretación prueba de bombeo expediente C.A.S 001-04

La prueba de bombeo digitalizada corresponde a un caudal constante de 3,7 litros por segundo, con una duración de 48 horas. Al analizar los datos y realizar la interpolación mediante el método Neuman, se observa una coincidencia en cuanto a su comportamiento. Además, se procede a analizar los datos generados por el método.

El análisis indica que la conductividad hidráulica (k) es de $7,93 \times 10^{-1} m/d$ metros por día, lo cual indica que el acuífero está compuesto por gravas limpias y se considera de buena calidad. Por otro lado, la transmisividad (T) se calcula en $2,62 \times 10^1 m^2/d$ metros cuadrados por día, lo cual se clasifica como muy baja. Esto sugiere que el acuífero es libre y está recibiendo agua de una fuente hídrica superficial, como una quebrada, río o drenajes. Ver Figura 44.

Las demás pruebas de bombeo y sus respectivas reinterpretaciones se encuentran en la sección de anexos.

	Time [min]	Water Level [m]	Drawdown [m]
1	0	0.00	0.00
2	0.25	1.90	1.90
3	0.5	2.25	2.25
4	1	2.52	2.52
5	3	3.20	3.20
6	4	3.75	3.75
7	5	4.38	4.38
8	6	4.54	4.54
9	8	4.71	4.71
10	10	4.90	4.90
11	12	5.10	5.10
12	15	5.31	5.31
13	20	5.62	5.62
14	25	5.91	5.91
15	30	6.16	6.16
16	35	6.32	6.32
17	40	6.55	6.55
18	50	6.69	6.69
19	60	7.07	7.07
20	70	7.44	7.44
21	80	7.51	7.51
22	90	7.63	7.63
23	120	7.87	7.87
24	180	8.17	8.17
25	240	8.42	8.42
26	360	8.70	8.70
27	480	8.91	8.91
28	720	9.11	9.11
29	960	9.20	9.20
30	1200	9.25	9.25
31	1440	9.28	9.28
32	2160	9.32	9.32
33	2880	9.32	9.32



Method name	Well	T [m ² /d]	K [m/d]	S
Boulton	Well 1	1.51×10^1	4.58×10^{-1}	9.90×10^{-1}
Hantush	Well 1	3.38×10^1	1.02×10^0	1.54×10^{-2}
Neuman	Well 1	2.62×10^1	7.93×10^{-1}	8.33×10^{-1}
Theis	Well 1	2.74×10^1	8.30×10^{-1}	7.98×10^{-2}
Cooper & Jacob I	Well 1	3.37×10^1	1.02×10^0	4.99×10^{-2}

Figura 46. Reinterpretación prueba de bombeo expediente C.A.S 001-04. Fuente: Autor

Se hace entrega de 14 diseños de pozos digitalizados a partir de la información obtenida de las concesiones de agua subterránea (C.A.S), usando el software Strater_V5.

Me fueron asignados los diseños de las siguientes expedientes C.A.S 001-08; C.A.S 001-13; C.A.S 001-16; C.A.S 001-21; C.A.S 001-02; C.A.S 001-03; C.A.S 001-04; C.A.S 002-02; C.A.S 002-07; C.A.S 002-08; C.A.S 002-13; C.A.S 002-16; C.A.S 003-21; C.A.S 004-16.

Se ha realizado la entrega del diseño digitalizado del pozo, que incluye los números y espesores de los filtros, el tipo de filtro, el material de revestimiento, el material del tubo, el diámetro del tubo, así como el nivel estático (N.E) y dinámico (N.D). Además, se ha añadido la columna litológica y se ha incluido la formación geológica superficial reportada en cada punto. Es importante aclarar que esta información ha sido proporcionada por los usuarios en los C.A.S.

El diseño nos permite tener información preliminar de la unidad hidrogeológica que abastece el acueducto alfaras del municipio de Nuevo Colon con una profundidad de 150 m su nivel estático está a 56,8 m y su nivel dinámico está a 88 m, el régimen de bombeo del pozo son 4 horas por 4 días a la semana, con un caudal otorgado de 7,57 l/s con un tanque de almacenamiento de 98 m³, el cual es otorgado para uso doméstico, uso pecuario abasteciendo a 118 usuarios y 200 bovinos de la zona veredal del municipio.

Se analiza de la información presentada que los primeros filtros se encuentran a los 44 m de profundidad y la unidad de la que se extrae el recurso es de la Formación Labor y Tierna (K2p), la cual se caracteriza por contener paquetes arenosos y arcillosos.

La reconstrucción de los diseños de pozos nos permite identificar las siguientes características:

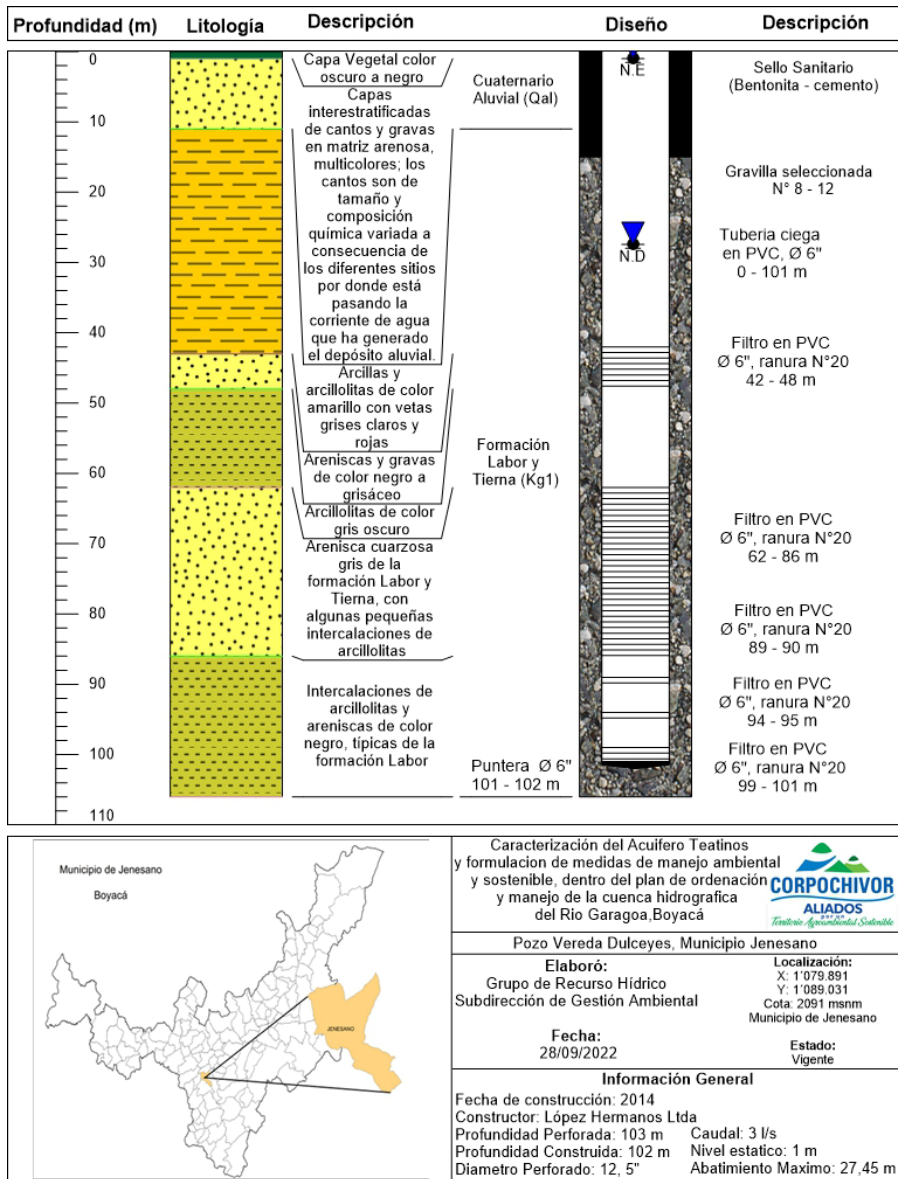


Figura 47 Ejemplo de diseño de pozo integrando información geológica, hidrogeológica

A). Corresponde al diseño del expediente C.A.S 001-08, Pozo alfaras de la vereda alfaras del municipio de Nuevo Colon el cual cuenta con 150 m de profundidad, del cual se extrae un caudal de 6,92 l/s, el nivel estático se encuentra a los 62 de m profundidad y el nivel dinámico a los 112 m de profundidad, la unidad hidrogeológica que abastece a la comunidad es la formación Labor y Tierna (K2lt), el primer filtro se encuentra ubicado en un paquete arenoso, seguido de arcillas e intercalaciones de lutitas para filtros más profundos.

Objetivo III: Analizar e interpretar datos geofísicos en modalidad de sondeos eléctricos verticales e información de inventario de puntos de agua subterránea para poder identificar las unidades hidrogeológicas existentes.

Como parte del apoyo se presentó una red con 60 posibles ubicaciones para realizar líneas de sondeo eléctrico vertical, de las cuales se contrataron 50 con la consultora DeinPro (Figura 46) el proceso de diseño de esta red de sondeos permitió entender a partir de la información previa cuales sectores de la zona de estudio necesitaban mayor concentración de puntos debido a la ausencia de información geoelectrica de la zona.

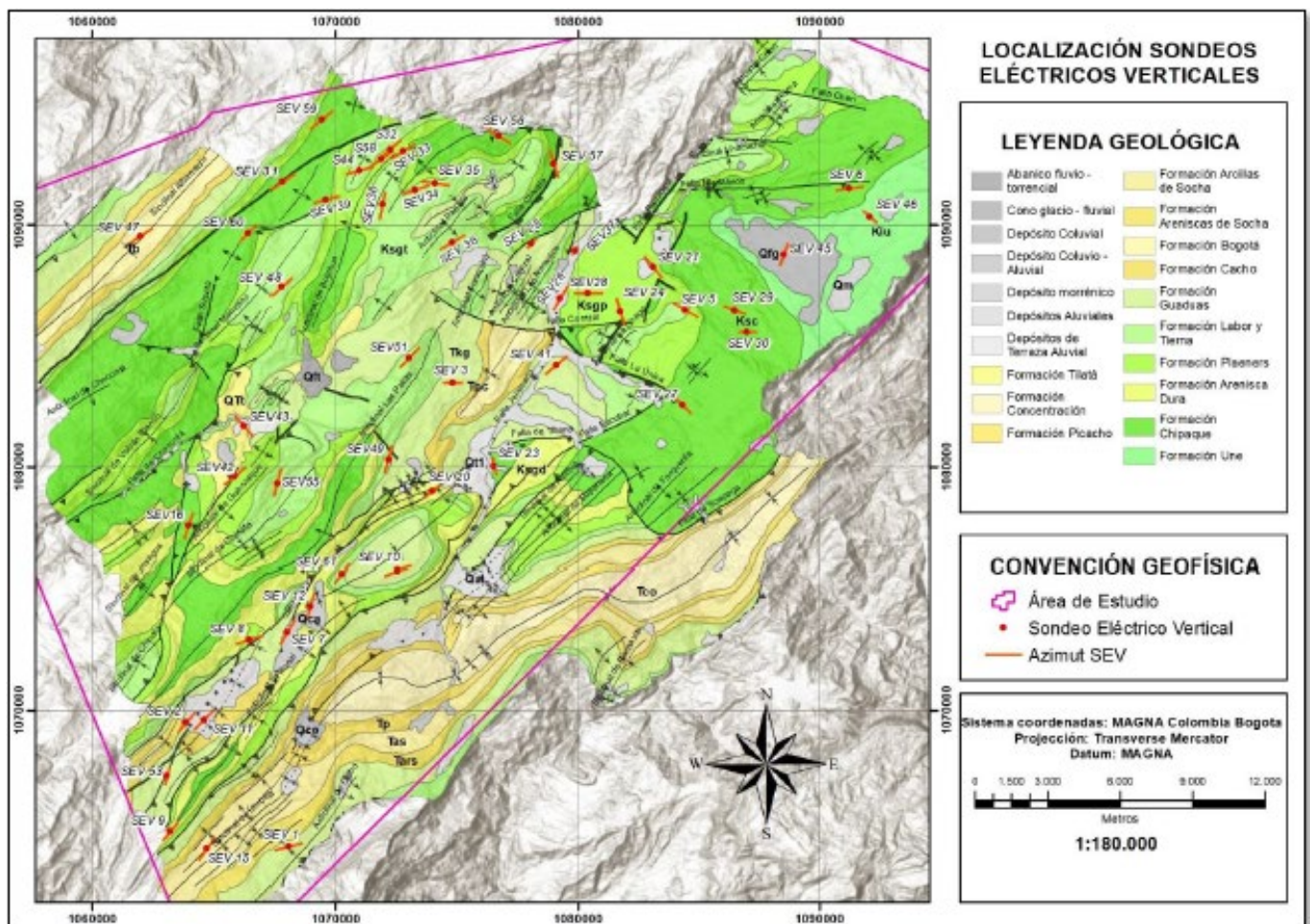


Figura 48 Localización de los sondeos eléctricos verticales realizados en campo.

Fuente: Corpochivor 2022

7 CONCLUSIONES

1. Aporte a la caracterización hidrogeológica del acuífero Teatinos:

- ✓ La información obtenida a partir de las actividades realizadas ha permitido una caracterización más completa y precisa del sistema acuífero Teatinos, lo que representa un avance significativo en el conocimiento hidrogeológico del área.
- ✓ La información recopilada es fundamental para la construcción del modelo hidrogeológico conceptual, lo que permitirá una gestión más efectiva y sostenible del acuífero Teatinos.

2. Cumplimiento de los objetivos específicos:

- ✓ Se han cumplido satisfactoriamente todos los objetivos específicos establecidos para la práctica académica, demostrando un alto nivel de compromiso, dedicación y capacidad para alcanzar metas.
- ✓ Cada actividad desarrollada ha contribuido de manera directa y significativa al cumplimiento del objetivo general, permitiendo la elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual preciso, completo y confiable.

3. Impacto en la gestión del acuífero Teatinos:

- ✓ La información recopilada y analizada durante la práctica ha proporcionado datos críticos para la construcción del modelo hidrogeológico conceptual, incluyendo la identificación de unidades hidrogeológicas, la caracterización de parámetros hidrogeológicos y la definición de límites del acuífero.
- ✓ La información aportada permitirá una gestión más eficiente y sostenible del acuífero Teatinos, optimizando la extracción de agua subterránea, previniendo la sobreexplotación y protegiendo la calidad del recurso hídrico.

4. Fortalecimiento de las capacidades profesionales:

- ✓ Se han adquirido y desarrollado habilidades especializadas en recopilación y análisis de información hidrogeológica, levantamiento de información en campo, interpretación de datos geofísicos, elaboración de mapas hidrogeológicos y acompañamiento en campañas de muestreo.

- ✓ La experiencia adquirida en la práctica académica ha contribuido significativamente al crecimiento profesional como hidrogeólogo, fortaleciendo las habilidades y conocimientos necesarios para abordar desafíos hidrogeológicos reales de manera competente y efectiva.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía municipal de Úmbita. (2002). *Uso actual y cobertura del suelo*.
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J., Petty, R., & Hackett, G. (1987). *DRASTIC: A standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings*. Ada, OK: United States Environmental Protection Agency.
- Anderson, M., Woessner, W., & Hunt, R. (2015). Applied Groundwater Modeling-Simulation of Flow and Advective Transport. In *Elsevier*.
- Ayora Cañada, M. J. (2010). Análisis De Aguas. *Departamento de Química Física y Analítica · Universidad de Jaén*, 1–47. Retrieved from http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/Quimica_ambiental/tema_2010.pdf
- Barco, J., Cuartas, A., Mesa, O., Poveda, G., Vélez, J. I., Mantilla, R., ... Montoya, M. (2000). Estimación de la Evaporación en Colombia. *Avances En Recursos Hidráulicos*, (07), 43–51.
- Bredehoeft, J. (2005). The conceptualization model problem-surprise. *Hydrogeology Journal*, 13, 13–37. <https://doi.org/10.1007/s10040-004-0430-5>
- Briseño-Ruiz, J. V., Herrera-Zamarrón, G. D. S., & Júnez-Ferreira, H. E. (2011). Método para el diseño óptimo de redes de monitoreo de los niveles del agua subterránea. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 2(4), 77–96.
- C & CO SERVICES LTDA. (2007). *Estudio Petrografico Informe Final Cuenca Soapaga*. (Enero), 216.
- Carvajal, H. (2008). *Primeras aproximaciones a la estandarización de la geomorfología en Colombia*. Bogotá D.C.
- Cenit - Transporte y Logística de Hidrocarburos. (2023). *Respuesta Derecho de Petición Caso Cenit 03200557* (p. 5). p. 5.
- Consorcio Rio Garagoa. (2017). *Fase de Diagnóstico 03. Caracterización Físico-Biótica 3.2 Geología*. Bogotá D.C.
- Consorcio Río Garagoa. (2017). *FASE DE DIAGNÓSTICO 03. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-BIÓTICA 3.3 HIDROGEOLOGÍA*. Bogotá D.C.
- CORPOCHIVOR. (2022). *Fase de Aprestamiento PMAA Teatinos*. Garagoa.
- Correa, C. O., Romero, M. R., Quispe, S. H., & Kuaquira, H. F. (2011). Estudio Exploratorio de la Humedad Relativa en Regiones Tropicales. *Universidad Nacional José María Arguedas Departamento Académico de Ciencias Básicas y Humanidades, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios Departamento Académico de Ciencias Básicas*. Retrieved from <https://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2013/12/Correa-C-Odilon-Articulo-HR-APES.pdf>
- Cosenza, A. (2006). El Sondeo Eléctrico Vertical Como Metodología Geofísica en el Estudio de Capas Acuíferas en la Finca “el Baúl”, Santa Lucía Cotzumalguapa. *Univ. de San Carlos de Guatemala (Tesis de Lic.)*, 100.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1996). *Custodio-Llamas I* (p. 1157). p. 1157.
- Davis, S. N., & De Wiest, R. J. . (1966). *Hidrogeología* (2009th ed.). Nueva York: John Wiley & Sons. Inc.

- Deere, D. ., Hendron, A. ., Patton, F. ., & Cording, E. . (1967). Design of Surface and Near-Surface Construction in Rock:, Failure and Breakage of Rock. *Soc. of Min. Eng (AIME)*, 237–302. Nueva York.
- Departamento administrativo de la Función Pública. (2015). Decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible - EVA - Función Pública. *Diario Oficial No. 49.523 de 26 de Mayo de 2015*, 1–920. Retrieved from <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>
- ECOFUIDOS, I. (2012). Estudio De La Calidad De Fuentes Utilizadas Para Consumo Humano Y Plan De Mitigación Por Contaminación Por Uso Doméstico Y Agroquímicos En Apurimac Y Cusco. *Ecofluidos Ingenieros S.A.*, 105. Retrieved from <https://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>
- Edwards, L. S. (1977). A Modified Pseudosection for Resistivity and Induced-Polarization. *Geophysics*, 42(5), 1020–1036.
- Foged, N., & Afdeling, G. (2001). *Inversion Med Lateralt Sammenbundne Modeller af 2-Dimensionale Stokastiske Resistivitetsfordelinger*. Universitet Aarhus, Dinamarca.
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., & Paris, M. (2003). Protección de la Calidad del Agua Subterránea. In *Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/ Banco Mundial*. Retrieved from www.worldbank.org
- Freeze, A., & Cherry, J. . (1979). *Groundwater*. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall.
- Güler, C., Thyne, G. D., McCray, J. E., & Turner, A. K. (2002). Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. *Hydrogeology Journal*, 10(4), 455–474. <https://doi.org/10.1007/s10040-002-0196-6>
- Hirata, R., & Reboucas, A. (1999). *La protección de los recursos hídricos subterráneos: una visión integrada, basada en perímetros de protección de pozos y vulnerabilidad de acuíferos*. 110(HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA), 93.
- Huerta Vásquez, G. J. (2009). Hidrogeoquímica de Aguas Subterráneas en la Cuenca del Estero Punitaqui, IV Región. *Universidad de Chile*, 1–4.
- IDEAM, INGEOMINAS, M. (2009). *FORMULARIO ÚNICO NACIONAL PARA INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA*. 1–3.
- IDEAM. (2005). *Atlas climatológico de Colombia*. Ideam (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales).
- IDEAM. (2010). *Estudio del Agua*.
- IDEAM, INGEOMINAS, & MAVDT. (2009). *Formulario Único Nacional para el Inventario de Puntos de Agua Subterránea - Instructivo para diligenciar el formulario*. 1–8.
- IDEAM, & Invemar. (2021). *Protocolo de monitoreo y seguimiento del agua 2021*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IDIGER. (2019). *Caracterización Climatológica de Bogotá, como un aporte al Fortalecimiento de la Red Hidrometeorológica de Bogotá (RHB)*. Retrieved from <https://www.idiger.gov.co/documents/20182/558631/Caract+Climatológica+-+Bogotá+%281%29.pdf/b5dbcea1-d291-40a0-8ee8-71ca322edcab>
- IGAC. (2014). *Metodología Para La Clasificación De Las Tierras Por Su Capacidad De Uso Grupo Interno De Trabajo Levantamiento De Suelos*.
- IGAC, & UPTC. (2005). *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Boyacá*.

- IGME. (2000). *Algunos constituyentes minoritarios Características físico-químicas*. 33. Retrieved from https://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/1_1.pdf
- INGEOMINAS. (1979). *Geología de las planchas 170 Vélez, 190 Chinquinquirá*. Bogotá.
- INGEOMINAS. (2003). *Geología de la plancha 209 Zipaquirá*. Bogotá.
- INGEOMINAS, & ANH. (2008). *Mapa preliminar de gradientes geotérmicos (método BHT)*. Bogotá D.C.
- Jaramillo, D. F. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. *Introduccion a La Ciencia Del Suelo*, 619. Retrieved from <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence>
- JICA. (2009). *Estudio De Abastecimiento Sostenible De Agua Para La Ciudad De Bogota Y Areas Circundantes Basado En El Manejo Integrado De Recursos Hidricos En La Republica De Colombia*. 79.
- Kruseman, G. ., & de Rieder, N. . (2000). Analysis and evaluation of pumping test data. In *International Institute for Land Reclamation and Improvement* (Second edi). [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(71\)90015-1](https://doi.org/10.1016/0022-1694(71)90015-1)
- Lions, J., Devau, N., Elster, D., Voutchkova, D. D., Hansen, B., Schullehner, J., ... Gourcy, L. (2021). A broad-scale method for estimating natural background levels of dissolved components in groundwater based on lithology and anthropogenic pressure. *Water (Switzerland)*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/w13111531>
- Llanopozos SA. (2019). *Consultoría Para Realizar Prueba De Bombeo O Prueba Hidráulica a Pozos Profundos Localizados En La Jurisdicción De CORPOCHIVOR, En El Marco De Formulación Del Plan De Manejo Ambiental De Acuíferos Teatinos Y Súnuba*. Bogotá D.C.
- Lobo-Guerrero, A. (1992). Geología e Hidrogeología de Santafé de Bogotá y su Sabana. *VII Jornadas Geotécnicas de La Ingeniería de Colombia*, 1–20. Retrieved from http://www.logemin.com/eng/Download/pdf/16_Geologia_hidrogeologia_Sabana_Bogota.pdf
- Mamani Navarro, W., Belizario, E., & Castillo, S. (2021). Universidad Nacional Mayor de San Marcos Determinación de metales pesados en el agua subterránea para uso en actividades productivas , en la zona baja de la provincia , El Oro Para optar el Grado Académico de Doctora en Ciencias. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, 1–81.
- Manzano, M., & Zabala, M. E. (2012). *El fondo químico natural del sistema acuífero de la cuenca del Río Matanza – Riachuelo*. (September), 222.
- Mazor, E. (2004). *Shallow and Deep Groundwater, Petroleum Hydrology, Hydrothermal Fluids, and Landscaping* (1ra ed.). Boca Ratón: CRC Press.
- McMahon, A., Heathcote, M., Carey, M., & Erskine, A. (2001). *Guide to good practice for the development of Conceptual models and the selection and application of mathematical models of contaminant transport processes in the subsurface*. Bristol, UK.
- Mejía-Umaña, L. J., & Pulido-González, O. (1985). *Evaluación de los recursos carboníferos de los sectores El Jupal, El Carmen y Guayabal. Zona Chinavita, Úmbita, Tibaná, Departamento de Boyacá*. Bogotá.
- Mesa, J., Bravo, A., Morales, J., SÁ!nchez, L., Valle, P., GutiÃ\copyrightrrez, E., & Ledo, H. (2007). Content of trace metals in groundwater from western region of Maracaibo Lake,




- Venezuela. *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería -a Universidad Del Zulia*, 30, 20–28. Retrieved from http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702007000400004&nrm=iso
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2020). *Guía Para Realizar Inventarios De Fuentes De Agua Subterránea*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos PMAA. In *MADS, Colombia*.
- Ministerio de tecnologías de la información y las comunicaciones. (2020). Evaluaciones Agropecuarias por consenso DEPARTAMENTO DE BOYACÁ (2011-2018). *Datos Abiertos Colombia*. Retrieved from <https://www.datos.gov.co/en/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-por-consenso-DEPARTAMEN/u958-pr9h/data>
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2017). Resolución 0330 de 2017: “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico -RAS- y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.” *Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Republica de Colombia*, p. 182. Retrieved from <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330 - 2017.pdf>
- Mondal, N. C., Singh, V. P., & Sankaran, S. (2011). Demarcation of prospective groundwater recharge zones in hard rock area from Southern India. *Scientific Research and Essays*, 6(16), 3539–3552. <https://doi.org/10.5897/sre11.659>
- Monsalve Sáenz, G. (1999). Hidrología en la Ingeniería. *Alfaomega, Colombia*.
- Moreno Merino, L., & Martínez Navarrete, C. (1991). *Guía Metodológica para la Elaboración de Perímetros de Protección de Captaciones de Aguas Subterráneas*.
- OIEA. (2009). Estudios de Hidrología Isotópica en América Latina 2006. In *Estudios de Hidrología Isotópica en América Latina 2006 IAEA-TECDOC-1611 Estudios*. Retrieved from http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE_1611s_web.pdf
- OIEA. (2014). *Guía para el muestreo de la precipitación*. 4–12. Retrieved from <http://www.iaea.org/water>.
- Organización Meteorológica Mundial. (2008). *Guía de prácticas hidrológicas*. (6a ed.; Organización Meteorológica Mundial, Ed.). Ginebra- Suiza.
- Ortiz, L. F., Parra, F., & Duarte, C. (2018). *Exploración de gas metano asociado al carbón, Área Machetá-Jenesano. Bogotá, diciembre de 2018*. Bogotá D.C.
- Osborne, P. (1993). *Ground Water Issue Suggested Operating Procedures for Aquifer Pumping Tests Superfund Technology Support Center for Ground Water*.
- Para, E., Determinaci, L. A., Consumo, D. D. E., Recurso, D. E. L., Las, D. D. E., De, C., ... Car, D. E. C. (n.d.). *Tomo 5*.
- Pérez, G., & Salazar, A. (1978). *Estratigrafía y facies del grupo Guadalupe*. Retrieved from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/article/view/30407>
- Poeter, E., & Hsieh, P. (2020). *Construcción gráfica de redes de flujo de agua subterránea*. Guelph, Canadá: The Groundwater Project.
- Renard, P., Glenz, D., & Mejias, M. (2009). Understanding diagnostic plots for well-test interpretation. *Hydrogeology Journal*, 17, 589–600.
- Renzoni, G. (1967). *Geología del Cuadrángulo J-12 Tunja*. Bogotá.

- Rincón Mesa, M. A., Duarte Barrera, C. I., Parra Cristancho, F. A., Peña, M. L., Cañón, Y., Urueña, C. L., ... Muñoz, J. (2014). *Exploración gas metano asociado al carbón. Área Úmbita - Rondón*. Retrieved from [https://miig.sgc.gov.co/Paginas/Resultados.aspx?k=gas metano asociado al carbon](https://miig.sgc.gov.co/Paginas/Resultados.aspx?k=gas%20metano%20asociado%20al%20carbon)
- Rivera, A. V., Marlevis, Y., & Zea, M. (2012). Evaluación Por Contaminación En Suelos Aledaños a Los Cementerios Jardines Del Recuerdo E Inmaculada Assessment By Soil Pollution Bordering Burial Grounds Jardines Del Recuerdo and Inmaculada. *Bogotá Junio De*, 22(1), 165–175.
- Rodriguez-Lache, E. (2017). *ANEXO C Informes muestras Jenesano y Boyacá*.
- Sarmiento, G. (1991). *Palinología de la Formación Guaduas: parte sistemática*. Bogotá.
- Sarmiento Rojas, L. F. (2011). Eastern Cordillera Basin. In F. Cediél & G. Ojeda (Eds.), *Petroleum Geology of Colombia* (Vol. 7).
- SGC. (n.d.). *Metodología para la delimitación del área de recarga de acuíferos*. Bogotá D.C.
- SGC. (2012). *Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000*. Bogotá D.C.
- SGC. (2016). *Modelo Hidrogeológico de Boyacá Centro*.
- Silva, E. O. (1982). *Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua*. Retrieved from <https://books.google.com.do/books?id=Su4DAQAAIAAJ>
- Somers, L. D., & McKenzie, J. M. (2020). A review of groundwater in high mountain environments. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 7(6). <https://doi.org/10.1002/wat2.1475>
- Srinivasan, R., Ramanarayanan, T. S., Arnold, J. G., & Bednarz, S. T. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part II: model application 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 91–101.
- Struckmeier, W. F., & Margat, J. (1995). *Hydrogeological Maps: A Guide and a Standard Legend. International Contributions to Hydrogeology, Vol. 17* (Vol. 17). Hannover: Verlag Heinz Heise.
- Taylor, C. J., & Alley, W. M. (2001). Ground-water-level monitoring and the importance of long-term water-level data. *US Geological Survey Circular*, (1217), 1–68.
- Tuinhof, A., Foster, S., Kemper, K., Garduño, H., & Nanni, M. (2006). Gestión Sustentable del Agua Subterránea. Requerimientos de Monitoreo del Agua Subterránea, para manejar la respuesta de los acuíferos y las amenazas a la calidad del agua. *Banco Mundial GW-MATE*, (Tabla I), 10.
- Ulloa, C. E., & Rodriguez, E. (1975). Geología del Cuadrangulo K-12 Guateque. *Boletín Geológico - Ingeominas*, 3–56.
- UPTC. (2014). *Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos -PMAA- Fase I-Diagnóstico, municipios de Boyacá, Jenesano, Nuevo Colón, Turmequé y Ventaquemada, Departamento de Boyacá*. (H. et Al Fonseca, Ed.). Sogamoso (Boyacá).
- Uribe, N. (2010). SWAT: Conceptos básicos y guía rápida para el usuario. *CIAT. Recuperado El*, 1.
- USDA. (2014). *Claves para la Taxonomía de Suelos*. Retrieved from https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf
- USEPA - United States Environmental Protection Agency. (1994). *Handbook Ground Water*

- and Wellhead Protection*. (September), 269.
- Vélez, M. V., & Vásquez, L. M. (2004). Métodos para determinar la recarga en acuíferos. *Avances En Recursos Hidráulicos*, (11), 51–62.
- Veloza, J. (2013). *Sistema de modelamiento hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá*. Bogotá.
- Verstappen, H. T., & Van Zuidam, R. A. (1991). *The ITC system of geomorphology Survey: a basis for the evaluation of natural resources and hazards*. ITC Publication 10. Enschede: ITC.
- Villanueva, M., & Iglesias, A. (1984). *Pozos y acuíferos*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Zinck, J. (2012). Geopedología. Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. *Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation*, 131. Retrieved from https://www.actswithscience.com/Descargas/zinck_geopedologia_2012.pdf

9 ANEXOS

Anexo 01. Formato FUNIAS

FORMULARIO UNICO NACIONAL PARA INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA			
			
1. INFORMACIÓN GENERAL			
Nombre del proyecto:		<u>PMAA - TEATINOS</u>	<input type="text"/>
Diligenciado por:		<u>Jair Nicolas Rodriguez Osorio</u>	Consecutivo <input type="text"/>
Tipo de punto:		<input type="text"/>	
Condiciones del punto:		Otro-Cuál? <input type="text"/>	
2. FUENTES DE INFORMACIÓN		Información suministrada por:	
		Nombre	<u>Nicolas Rodriguez</u>
		Municipio	<u>Garagoa</u>
		Dirección	<u>Corpochivor</u>
		Telefono/Celular	<input type="text"/>
		Correo Electrónico	<input type="text"/>
Observaciones <input type="text"/>			
Propietario Persona Natural		Propietario Persona Juridica	
Nombre	<u>Hector Alfonso Cruz Sanguino</u>	Razón Social	<input type="text"/>
Documento de identidad	<u>351578</u>	NIT	<input type="text"/>
Municipio	<u>Tunja</u>	Representante Legal	<input type="text"/>
Dirección	<u>Calle 25A No. 10-86</u>	Municipio	<input type="text"/>
Telefono/Celular	<u>3142463712</u>	Dirección	<input type="text"/>
Correo Electrónico	<input type="text"/>	Telefono/Celular	<input type="text"/>
		Correo Electrónico	<input type="text"/>
3. INFORMACIÓN DEL PUNTO			
Legalización del Punto			
Esta Legalizado?	<u>NO (Vencida)</u>	Resolución No. <u>161</u>	Fecha Expedición <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="2008"/>
Nombre del Concesionario	<u>Hector Alfonso Cruz Sanguino</u>		Vencimiento <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="2018"/>
Caudal Concesionario	<u>2.56 Lps</u>	No. Expediente	<u>C.A.S. 002-07</u>
Identificación del Punto			
Plancha	<input type="text"/>	Escala	<input type="text"/>
		Otra Identificación	<input type="text"/>
Localización del punto		Coordenadas	
Departamento	<u>Boyacá</u>	Elipsoide de referencia	<input type="text"/>
Municipio	<u>Ventaquemada</u>	Longitud	<input type="text"/>
Vereda	<u>Montoya</u>	Latitud	<input type="text"/>
Nombre del Lugar (Barrio, Finca, Predio)	<u>El Zafiro</u>	Origen de coordenadas planas	<input type="text"/>
Cuenca Hidrografica	<u>Río Garagoa</u>	X(E-W)	<u>1064943</u>
		Y(N-S)	<u>1090149</u>
Método de medida de las cotas			Cota <u>3035</u>
4. CARACTERÍSTICAS TOPOGRAFICAS, CLIMATICAS, GEOMORFOLOGICAS Y GEOLOGICAS			
Topografía	Geoforma	Condiciones Climaticas	Litología
<p style="text-align: center;">Cual? <input type="text"/></p> <p style="text-align: center;">Cual? <input type="text"/></p> <p>Unidad Geológica: <u>F. Labor y Tierna - F. Plaeners - F. Guaduas</u></p>			

5. CARACTERISTICAS DE LOS POZOS Y ALJIBES

Datos de construcción		Material de revestimiento	
Antigüedad (años)	2007		
Perforador	AQUAMINAS LTDA.		
Diámetro Exterior	6"		
Diámetro Interior			
Diámetro de la perforación	12.25"	Cual? <u>Acero al carbón</u>	
Profundidad	162.0 m	Cual? _____	
Largo			
Ancho			
Esta colapsado?		Esta colmatado? _____	

Características de explotación			
Método de extracción de agua	Tipo de Energía	Clase de bomba	<u>Sumergible</u>
		Modelo	_____
		Potencia	<u>5 HP</u>
		Profundidad del punto de succión	<u>80 m</u>
		Diámetro tubería de descarga	<u>2"</u>
		Longitud	_____
		Material	_____
	Cual? _____		

Diseño del pozo: Diámetro y ubicación de filtros

Tramo	Diámetro (pulg)	Profundidad (m)	
		Desde	Hasta
1	6.0 Pulg.	59.0 m.	62.0 m.
2	6.0 Pulg.	64.0 m.	70.0 m.
3	6.0 Pulg.	86.0 m.	92.0 m.
4	6.0 Pulg.	97.0 m.	100.0 m.
5	6.0 Pulg.	102.0 m.	105.0 m.
6	6.0 Pulg.	107.00 m.	110.00 m.
7	6.0 Pulg.	113.00 m.	116.00 m.
8	6.0 Pulg.	117.00 m.	120.00 m.
9	6.0 Pulg.	122.00 m.	125.00 m.
10	6.0 Pulg.	140.85 m.	143.85 m.
11	6.0 Pulg.	151.00 m.	157.00 m.

Se anexa:

Características hidráulicas			
Régimen de bombeo	_____	Nivel de referencia	<u>3035 m.</u>
Nivel de agua	<u>0.50 m</u>	Tiempo de bombeo	_____
Tiempo desde apagada la bomba	_____		
Metodo de medida del nivel de agua:			

Método de Medida de Caudal		Aforo Volumétrico	
Volumétrico (L/s)	<u>X</u>	No.	Volumen (L)
Vertedero (L/s)	_____	1	_____
Micromolinete (L/s)	_____	2	_____
Estimado (L/s)	_____	3	_____
Orificio (L/s)	_____		
Manómetro	_____	Caudal estimado:	
Macrimedidor	_____	Volumen de almacenamiento	_____
Micromedidor	_____	Tiempo de llenado	_____
		Caudal estimado:	<u>-</u>

6. CONSTRUCCIONES ADICIONALES DE LA CAPTACIÓN

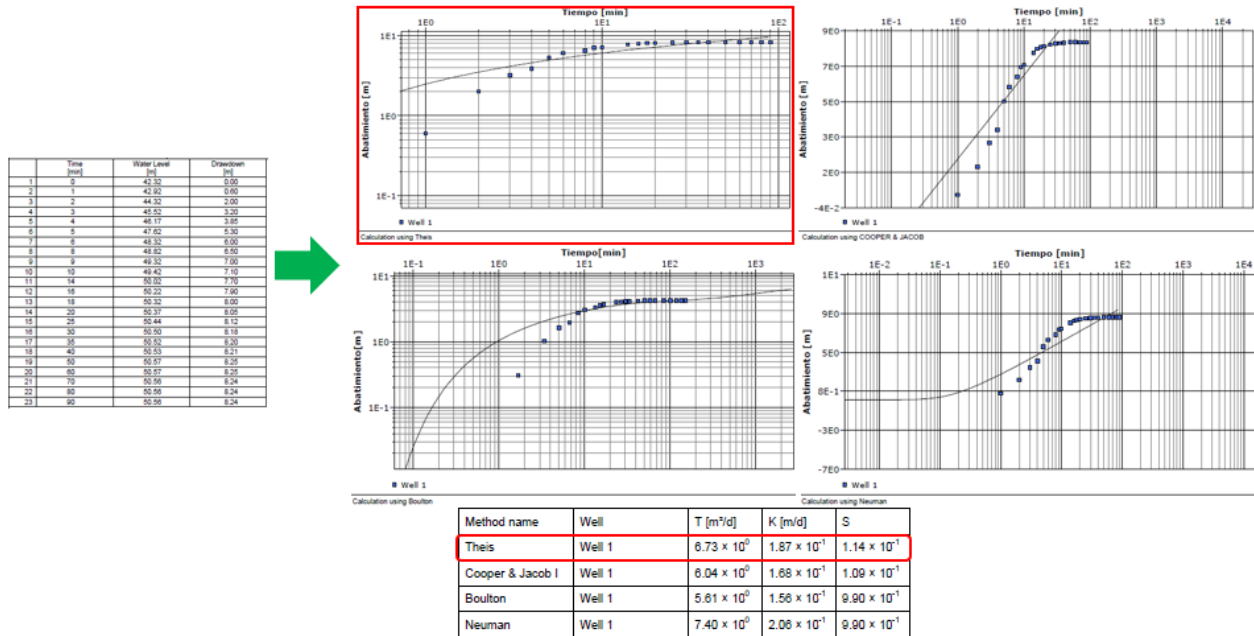
Tipo de construcción	Diámetro (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Capacidad (m³)
Embalse					
Tanque					
Alberca					
Tubería					
Otro-Cual?					

7. CARACTERISTICAS DEL PUNTO DE AGUA			
Tipo de Manantial	Permanencia	Medio de Surgencia	Observaciones
Cual? _____		Cual? _____	
8. CARACTERISTICAS DEL PUNTO DE AGUA			
Método de muestreo	Propiedades Físico Químicas pH: <u>7.7</u> Conductividad Eléctrica (uS/cm) <u>462</u> Propiedades Físico Químicas Temperatura (°C) <u>-</u> SDT (ppm) <u>-</u> Salinidad (ppm) <u>13.6</u>	Color	Apariencia
Muestra para Laboratorio		Olor	_____
Tipo de Análisis			
Lugar de muestreo			
Problemas de Calidad			
9. USOS DEL AGUA			
Actividad económica			
_____	No. de Usuarios		
<u>19</u>	No. de Usuarios		
<u>50</u>	Área Regada (Ha)		
<u>30 Bovinos</u>	No. de Animales		
_____	Usuarios/Año		
_____	Cuál?		
_____	Cuál?		
_____	Cuál?		
Fuente de abastecimiento			
Fuente principal de abastecimiento	Pozo Profundo		
Fuente secundaria de abastecimiento	_____		
Frecuencia de abastecimiento (racionamiento)	_____		

10. DIAGNÓSTICO SANITARIO DE LA CAPTACIÓN			
Existe una Letrina	Distancia a la captación (m)	Condiciones del punto	
Charco de agua estancada	_____	Tiene cubierta adecuada	
Basura, criaderos o estiércol de ganado a su alrededor	_____	Tiene sello sanitario	
Borde o grieta que permita el ingreso de agua superficial al mismo	_____	Piso de cemento alrededor de la captación	
		Cerca alrededor de la instalación adecuado	
Fuentes puntuales de contaminación			
Distancia	Origen	Disposición	
_____	_____	_____	
N/A			
N/A			
N/A			
N/A			
N/A			
N/A			
N/A			
N/A			
N/A			
N/A			
Observaciones			

ANEXO 02

Pruebas de bombeo digitalizadas y reinterpretadas



Reinterpretación prueba de bombeo expediente C.A.S 002-02. Fuente: Autor

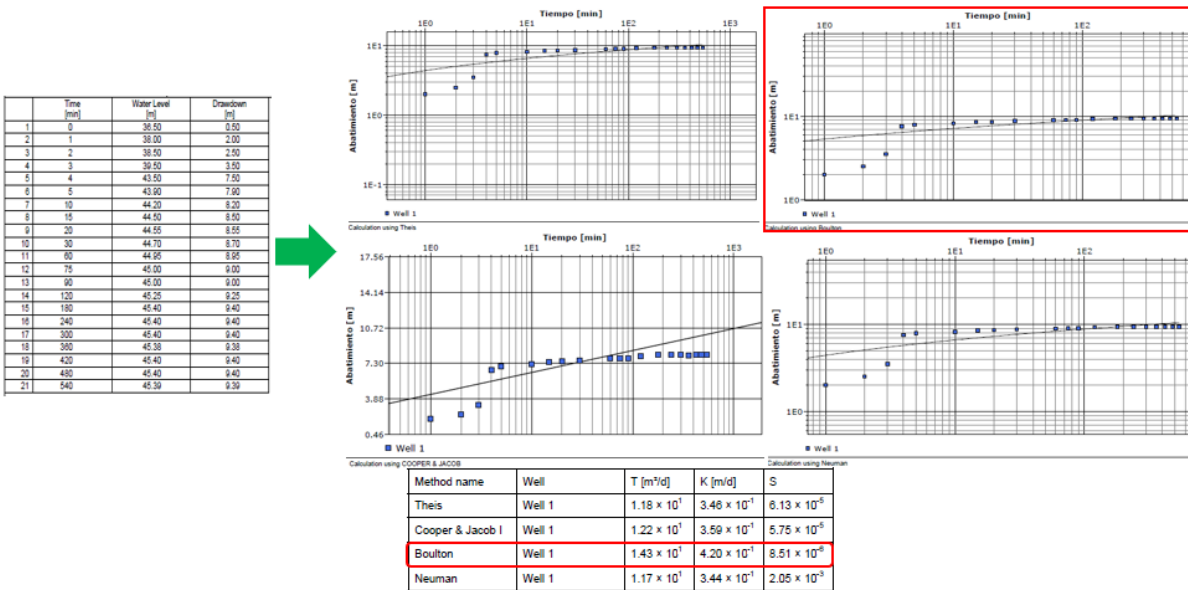
Reinterpretación prueba de bombeo expediente C.A.S 002-02.

La prueba de bombeo digitalizada corresponde a un caudal constante de 1,6 litros por segundo, con una duración de 1,5 horas. Debido a la corta duración y el caudal bajo, la calidad de la información puede considerarse muy mala. Sin embargo, se realiza el análisis con el objetivo de obtener una idea general de las características del acuífero.

Al analizar la tendencia de los datos y realizar la interpolación utilizando el método Theis, se observa una coincidencia en cuanto a su comportamiento. Asimismo, se procede a analizar los datos generados por el método.

Los resultados indican que la conductividad hidráulica (k) es de $1,87 \times 10^{-1}$ metros por día, lo cual sugiere que el acuífero está compuesto por arenas finas o mezclas de limos, clasificándolo como un acuífero de calidad pobre. Por otro lado, la transmisividad (T) se

calcula en $6,73 \times 10^0$ metros cuadrados por día, lo cual se considera muy baja. Estos valores indican que el acuífero se encuentra confinado, es decir, limitado por dos capas de material impermeable, lo que impide su aptitud para el almacenamiento o transmisión adecuada de agua.



Reinterpretación prueba de bombeo expediente C.A.S 002-08. Fuente: Autor.

Reinterpretación prueba de bombeo expediente C.A.S 002-08.

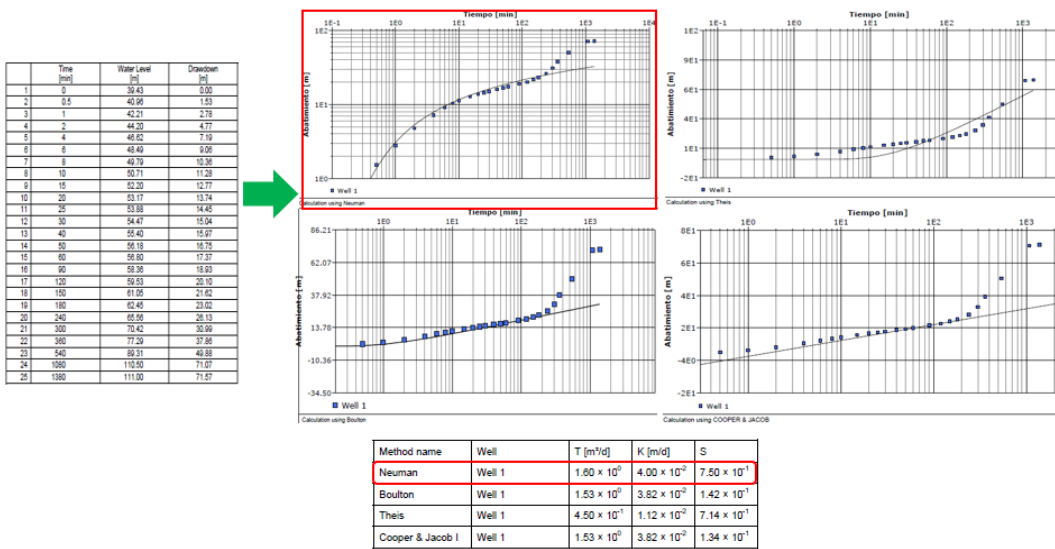
La prueba de bombeo digitalizada corresponde a un caudal constante de 1 litro por segundo, con una duración de 23 horas. Al analizar la tendencia de los datos y realizar la interpolación utilizando el método Neuman, se observa una coincidencia en cuanto a su comportamiento.

Asimismo, se procede a analizar los datos generados por el método. Los resultados indican que la conductividad hidráulica (k) es de $4,00 \times 10^{-2}$ metros por día, lo cual sugiere que el acuífero está compuesto por gravas limpias y se clasifica como un acuífero de buena calidad.

Por otro lado, la transmisividad (T) se calcula en $1,60 \times 10^{-6}$ metros cuadrados por día, lo cual se considera muy baja. Esto indica que el acuífero es libre y está recibiendo agua de una fuente hídrica superficial, como una quebrada, río o drenajes.

En resumen, se puede concluir que el acuífero analizado es de buena calidad en términos de conductividad hidráulica, pero presenta una transmisividad muy baja, lo que indica que depende principalmente de fuentes hídricas superficiales para su recarga.

La prueba de bombeo digitalizada corresponde a un caudal constante de 1,63 litros por segundo, con una duración de 9 horas. Aunque la duración de la prueba y el caudal pueden considerarse información poco confiable, se realiza el análisis con el objetivo de obtener una idea general de las características del acuífero



Reinterpretación prueba de bombeo expediente C.A. S 002-13. Fuente: Autor

Reinterpretación prueba de bombeo expediente C.A.S 002-13.

Al analizar la tendencia de los datos y realizar la interpolación utilizando el método Boulton, se observa una coincidencia en cuanto a su comportamiento. Además, se procede a analizar los datos generados por el método.

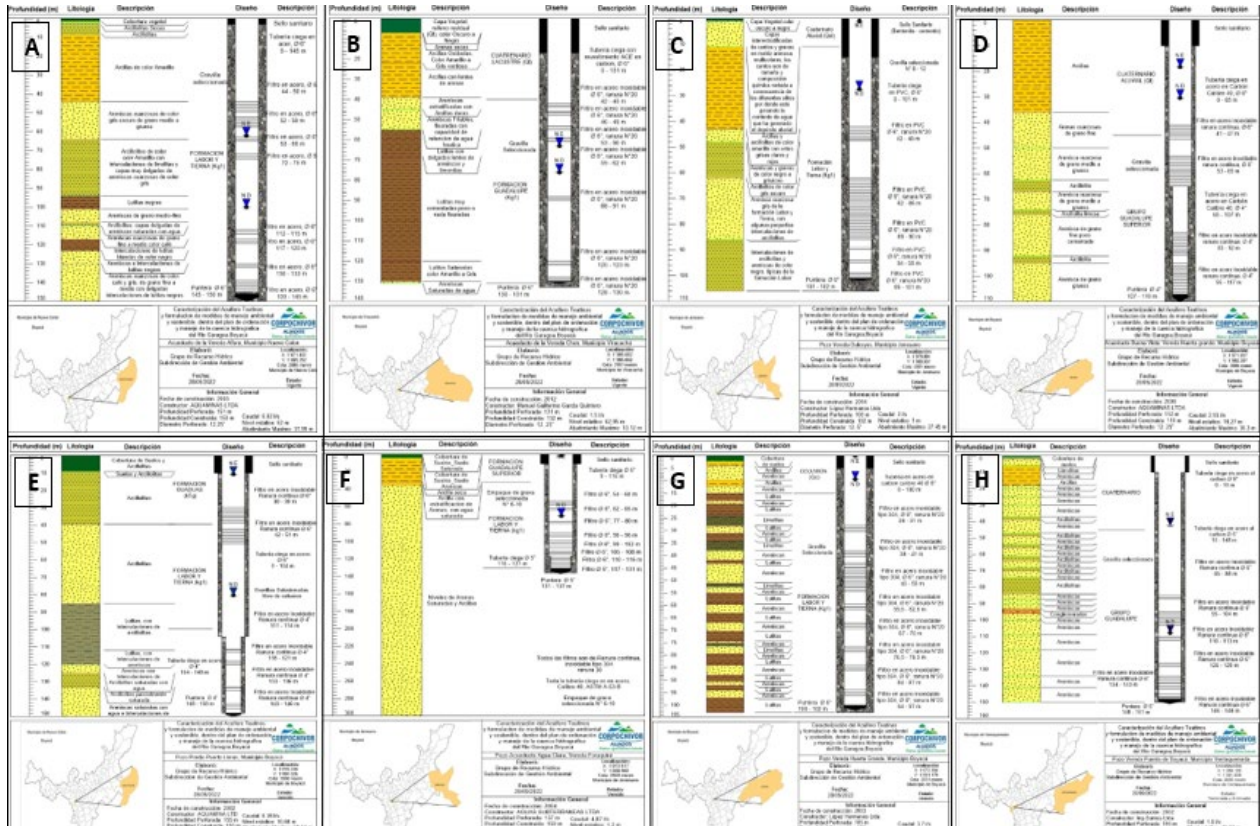
Los resultados indican que la conductividad hidráulica (k) es de $4,20 \times 10^{-1}$ metros por día, lo cual sugiere que el acuífero está compuesto por gravas limpias y se clasifica como un acuífero de buena calidad.

Por otro lado, la transmisividad (T) se calcula en $1,43 \times 10^{-1}$ metros cuadrados por día, lo cual se considera muy baja. Esto indica que el acuífero es libre y está recibiendo agua de una fuente hídrica superficial, como una quebrada, río o drenajes.

En resumen, se puede concluir que el acuífero analizado es de buena calidad en términos de conductividad hidráulica, pero presenta una transmisividad muy baja, lo que indica que depende principalmente de fuentes hídricas superficiales para su recarga. Sin embargo, debido a la naturaleza de la información, es necesario tener precaución al interpretar estos resultados.

Anexo 03

Diseños de pozo digitalizados



B). Corresponde al diseño del pozo presentado en el expedientes C.A.S 001-13, Pozo Acueducto de la vereda el Chen del municipio de Viracachá el cual cuenta con 131 m de profundidad, del cual se extrae un caudal de 1,5 l/s, el nivel estático se encuentra a los 63 de m profundidad y el nivel dinámico a los 118 m de profundidad, la unidad hidrogeológica que abastece a la comunidad es la formación Guadalupe (Kg1), el primer filtro se encuentra ubicado en un paquete arenoso, seguido lutitas saturadas de agua. Ver *Figura*

C). Corresponde al diseño del pozo presentado en el expedientes C.A.S 001-16, Pozo Acueducto de la vereda Dulceyes del municipio de Jenesano el cual cuenta con 103 m de profundidad, del cual se extrae un caudal de 3 l/s, el nivel estático se encuentra a los 1 de m

profundidad y el nivel dinámico a los 27,45 m de profundidad, la unidad hidrogeológica que abastece a la comunidad es la formación Labor y Tierna (K2lt), el primer filtro se encuentra ubicado en un paquete intercalaciones de conglomerados y areniscas, seguido de arcillolitas con intercalaciones de areniscas.

D). Corresponde al diseño del pozo presentado en el expedientes C.A.S 001-21, Pozo Acueducto de la Buenavista, vereda Huerta grande del municipio de Boyacá el cual cuenta con 112 m de profundidad, del cual se extrae un caudal de 2,93 l/s, el nivel estático se encuentra a los 18,27 de m profundidad y el nivel dinámico a los 81,7 m de profundidad, la unidad hidrogeológica que abastece a la comunidad es la formación grupo Guadalupe Superior (Kg1), el primer filtro se encuentra ubicado en un paquete arenoso, seguido de areniscas con delgadas capas de limolitas.

E). Corresponde al diseño del pozo presentado en el expedientes C.A.S 001-02, Pozo Acueducto predio puerto lleras del municipio de Boyacá el cual cuenta con 155 m de profundidad, del cual se extrae un caudal de 0,38 l/s, el nivel estático se encuentra a los 10,60 de m profundidad y el nivel dinámico a los 69,7 m de profundidad, la unidad hidrogeológica que abastece a la comunidad es la formación Labor y Tierna (K2lt), el primer filtro se encuentra ubicado en un paquete arcillosos de la formación Guaduas, seguido de arcillolitas saturadas y areniscas saturadas de la formación Labor y Tierna.

F). Corresponde al diseño del pozo presentado en el expedientes C.A.S 001-03, Pozo Acueducto Agua Clara vereda Foraquirá del municipio de Boyacá el cual cuenta con 137 m de profundidad, del cual se extrae un caudal de 4,87 l/s, el nivel estático se encuentra a los 1,2 de m profundidad y el nivel dinámico a los 70,97 m de profundidad, la unidad hidrogeológica que abastece a la comunidad es la formación Labor y Tierna (K2lt), el primer filtro se encuentra ubicado en un paquete de arenas con intercalaciones de arcillas saturadas.

G). Corresponde al diseño del pozo presentado en el expedientes C.A.S 001-04, Pozo Vereda Huerta Grande del municipio de Boyacá el cual cuenta con 105 m de profundidad, del cual se extrae un caudal de 3,7 l/s, el nivel estático se encuentra a los 0 de m profundidad es

decir se encuentra a superficie, la unidad hidrogeológica que abastece a la comunidad es la formación Labor y Tierna (K2lt), el primer filtro se encuentra ubicado en un paquete de arenoso, seguido de paquetes con intercalaciones de lutitas y areniscas.

H). Corresponde al diseño del pozo presentado en el expediente C.A.S 002-02, Pozo Vereda Puente de Boyacá del municipio de Ventaquemada el cual cuenta con 155 m de profundidad, del cual se extrae un caudal de 1,6 l/s, el nivel estático se encuentra a los 42,32 m de profundidad y el nivel dinámico a los 62,36 m de profundidad, la unidad hidrogeológica que abastece a la comunidad es la formación grupo Guadalupe (Kg1), los filtros se encuentran ubicados en un paquete arenoso.