

INTRODUCCIÓN

El proyecto, denominado “Aprovechamiento y protección integral del agua subterránea en las cuencas del valle del río Cesar y valle del río Magdalena, departamento del Cesar, específicamente en los municipios de El Copey, Bosconia, Valledupar, La Paz y San Diego, como área nueva de estudio del proyecto en desarrollo y continuar, para fines de seguimiento y monitoreo del área piloto del proyecto, en los municipios de Agustín Codazzi, Becerril, La Jagua de Ibírico, Chiriguaná, El Paso, Astrea y Chimichagua.” Ha venido siendo ejecutado conjuntamente por IDEAM y CORPOCESAR en varias zonas del centro del departamento del Cesar, habiéndose complementado con investigaciones básicas en el centro y norte del mismo.

Por lo tanto en el marco del mismo tiene como objeto realizar la captura, procesamiento y evaluación de la información hidrológica, geológica, hidrogeológica y ambiental de los municipios de Valledupar, El Copey, Bosconia, La Paz y San Diego; así como el seguimiento y monitoreo de las aguas subterráneas del área piloto, en los municipios de Agustín Codazzi, Becerril, La Jagua de Ibírico, Chiriguaná, El Paso, Astrea y Chimichagua; con el fin de aprovechar y proteger integralmente el recurso hídrico subterráneo en las ecorregiones del valle del río Cesar y valle del río Magdalena, en el departamento del Cesar.

Este informe contiene a la fecha el estado del arte de los resultados obtenidos en la ejecución de las actividades realizadas a la fecha que incluyen la captura, procesamiento y análisis de la información geológica, hidrogeológica y ambiental de los municipios objeto de estudio, teniendo como base la información recolectada en campo, como es el inventario de puntos de agua (aljibes, pozos y manantiales), la caracterización de parámetros físico químicos del agua tomados en campo, el reconocimiento geológico e hidrogeológico de la zona de estudio, la modelación de la red de flujo, y por último la georeferenciación de fuentes de contaminación puntual y difusa para efectos de cualificar potenciales impactos a fuentes de captación de aguas subterráneas ubicados en los sistemas acuíferos de interés.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluación de los modelos geológicos, hidrogeológicos y ambiental del municipio de Bosconia con el fin de proteger el recurso hídrico subterráneo en las ecoregiones del valle del río Cesar y valle del río Magdalena en el Departamento del Cesar.

2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El departamento del Cesar se encuentra ubicado en la región costera del mar Caribe. Limita al norte con el departamento de La Guajira, al este con la República de Venezuela y el departamento de Norte de Santander, al sur con los departamentos de Norte de Santander y Santander, y al oeste con los departamentos de Bolívar y Magdalena.



Figura 1. Ubicación del departamento del Cesar dentro del territorio colombiano.

Se encuentra separado del mar Caribe por la Sierra Nevada de Santa Marta. Tiene una extensión de 22.905 km² y un clima variado que oscila desde las partes altas de la Sierra Nevada hasta las zonas bajas de los ríos y ciénagas. montañosa, en las estribaciones de la cordillera Oriental de los Andes, donde se encuentran la Sierra Nevada de Santa Marta, con los picos Bolívar y Colón (5.700 m), conocida también como sierra de Perijá o serranía de Valledupar, con los cerros de Jurisdicción (3.850 m), Negro (3.200 m) y la sierra de Ocaña y Schail (2.350 m).

Las zonas bajas están compuestas por ciénagas y ríos; entre las primeras se encuentran las de Zapatoca, Pancuiche, Pajangua, Alfaro y Guamal. En estas sierras nacen varios ríos que riegan el territorio, como el Cesar, Anguani, Calenturitas, Sicarare, Jobo y Manaure.

En el 2000 la población del departamento era de 961.535 habitantes, distribuidos en 24 municipios, incluida Valledupar, su capital, la cual está situada en la orilla occidental del río Guatapurí, en las estribaciones de la sierra Nevada de Santa Marta. Se encuentra a una altitud de 169 m, con una temperatura cuyo promedio es de 27°C , para el año 2000 Valledupar contaba con 270.375 habitantes.

Los siguientes son algunas características de los municipios del departamento, los cuales hacen parte de la zona de estudio:

- **Astrea:** temperatura promedio anual es de 28°C. La población para el año 1993, era de 16.323 habitantes.

- **Bosconia:** presenta un clima cálido seco, con temperaturas superiores a los 29°C y una altura promedio de 200 m.s.n.m, el promedio de lluvias es de 1.030 mm, anuales. La principal fuente hídrica del Municipio de Bosconia es el río Ariguani. La población para el año 1993, era de 22.641 habitantes.

- **Chimichagua:** temperatura media de 28°C. Su extensión es aproximadamente de 1.425 Km². La población para el año 1993, era de 29.186 habitantes.

- **El Copey:** se ubica a 125 m.s.n.m, su temperatura media es de 26,2°C. Su extensión es aproximadamente de 985 Km², la población para el año 1993, era de 22.874 habitantes.

- **El Paso:** temperatura promedio anual de 29°C. La población para el año 1993, era de 18.026 habitantes.

- **Agustín Codazzi:** se encuentra localizado a 132 m de altitud sobre el nivel del mar y tiene una temperatura media anual de 28°C. Dista de Valledupar 60 km. La población para el año 1993, era de 52.943 habitantes.

- **Chiriguaná:** se encuentra situado a 20 m de altitud, su extensión es aproximadamente de 1020 Km², en la parte oriental del municipio se levanta la sierra de los Motilones, con elevaciones de hasta 3.000 m. Su cabecera está a 157 km de Valledupar. En su territorio se ubican las ciénagas de Los Mosquitos, Chepito, Ascensio, Grande, El Paso y Mata de Palma, entre otras. Avenado por los ríos Cesar, Canoas, Calenturitas, Tocuy y La Mula, posee una temperatura media anual de 28,4 °C y pisos térmicos cálido, templado y frío. La población para el año 1993, era de 23.540 habitantes.

- **La Paz:** esta ubicada a una altitud de 160 m.s.n.m, su extensión es de 1350 Km², tiene una temperatura promedio de 28 °C, cuenta con los ríos Cesar, Manaure, Chiriamo, Tocaimo. Cuenta con una población de 22.330 habitantes.

- **La Jagua de Ibérico:** se encuentra ubicada a 150 m.s.n.m, su extensión es de 752 Km², su temperatura promedio es de 29 °C, cuenta con una población de 21329 habitantes.

3 DEMANDA DEL RECURSO HÍDRICO

Teniendo en cuenta que la demanda del recurso hídrico es directamente proporcional a la población que lo requiere, ésta se ha proyectado para el año 2015 para los municipios correspondientes al área de estudio, y de la misma forma se ha proyectado la demanda del recurso hídrico, según el Estudio Nacional del Agua:

Tabla 1. Proyección de la población y de la demanda hídrica para el año 2015 de los municipios del área de estudio.

MUNICIPIO	PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN PARA EL AÑO 2015	PROYECCIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA PARA EL AÑO 2015 EN MILES DE M ³
Agustín Codazzi	100085	5,569
Astrea	23793	1,225
Becerril	15265	842
Bosconia	28424	1,717
Chimichagua	56110	2,860
Chiriguaná	37504	1,978
El Copey	27530	1,556
El Paso	31846	1,557
La Jagua	45660	2,460
San Diego	18596	985
La Paz (Robles)	27988	1,502

Fuente: Estudio Nacional del Agua. IDEAM. 2000.

Los municipios de Astrea, Chiriguaná, Chimichagua y El Paso no tienen una fuente hídrica para abastecerse por lo tanto lo hacen de pozos profundos y aljibes, los demás municipios aunque cuentan con ríos de los cuales se surten también utilizan pozos y aljibes para captar agua subterránea.

Algunos de los ríos que son utilizados por los municipios para abastecerse son el Ariguaní del cual se abastece el municipio de Bosconia que cruza al municipio, por el oeste; nace en el occidente de la cuchilla de San Quintín a 2.050 m.s.n.m. en la Sierra Nevada de Santa Marta convirtiéndose en límite acuífero entre los departamentos del Cesar y del Magdalena, en su recorrido se alimenta de los ríos Chimila y Ariguanicito al igual que numerosos arroyos y quebradas, tales como el arroyo de Mallorquín, el Jobo, Las Muelas, Garrapaso, Espíritu Santo, Mata de Corral y la quebrada de las Pavas. El río Maracas es el principal afluente del municipio de Becerril, cuya cuenca tiene un área de 403.1 Km² que representa el 35.1% de la superficie total del municipio y es la que surte de agua su acueducto.

4. GEOMORFOLOGIA Y GEOLOGIA

En el municipio de Bosconia y su área de influencia rural presenta las siguientes características geomorfológicas y geológicas.

4.1 GEOMORFOLOGIA

El municipio de Bosconia se caracteriza por presentar un relieve en donde se identifican una zona montañosa que corresponde a las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta y a una zona plana correspondiente a lo que se conoce como la Planicie del Cesar.

Zona Montañosa

Localizada al nororiente de Bosconia, forma un relieve bastante escarpado, con alturas que sobrepasan los 5.700 msnm, presenta pendientes bastante abruptas o inclinadas superiores al 50%, donde afloran rocas ígneas principalmente, que ocupan la mayor parte de la región sur de la Sierra Nevada, comprenden rocas ígneas intrusivas que forman los batolitos más notorios y las rocas volcánicas asociadas.



Foto 1. Relieve escarpado en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta al nororiente del municipio de Bosconia.

Zona Plana

Corresponde zona plana amplia y alargada conformada por las llanuras de inundación y ciénagas de los valles del río Cesar y el valle del río Magdalena. Las llanuras aluviales conforman los depósitos aluviales más recientes acumulados por los río Cesar y sus afluentes principales como el Ariguaní. En general esta zona se caracteriza por su poca variación altimétrica (50-200 msnm).



Foto 2. Planicie de inundación del río Cesar en el municipio de Bosconia.



Foto 3. Vista desde el pie de monte de las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta hacia la zona baja en el municipio de Bosconia.

4.2 GEOLOGÍA

En el área de estudio que corresponde al sector urbano y el área de influencia rural del municipio de Bosconia se extienden superficialmente y en el subsuelo rocas Ígneas y Sedimentarias cuyas edades varían desde el triásico hasta el cuaternario.

En el piedemonte de la estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta afloran y se extienden rocas ígneas y sedimentarias correspondientes a la Formación Guatapurí (TRg); la Formación Volcánico Riolítico (JKvr); y el Grupo Cogollo (Kmc) respectivamente y rocas sedimentarias no consolidadas correspondiente a los Depósitos de Llanura de Inundación (Qlla).

En el área de estudio afloran las siguientes unidades estratigráficas.

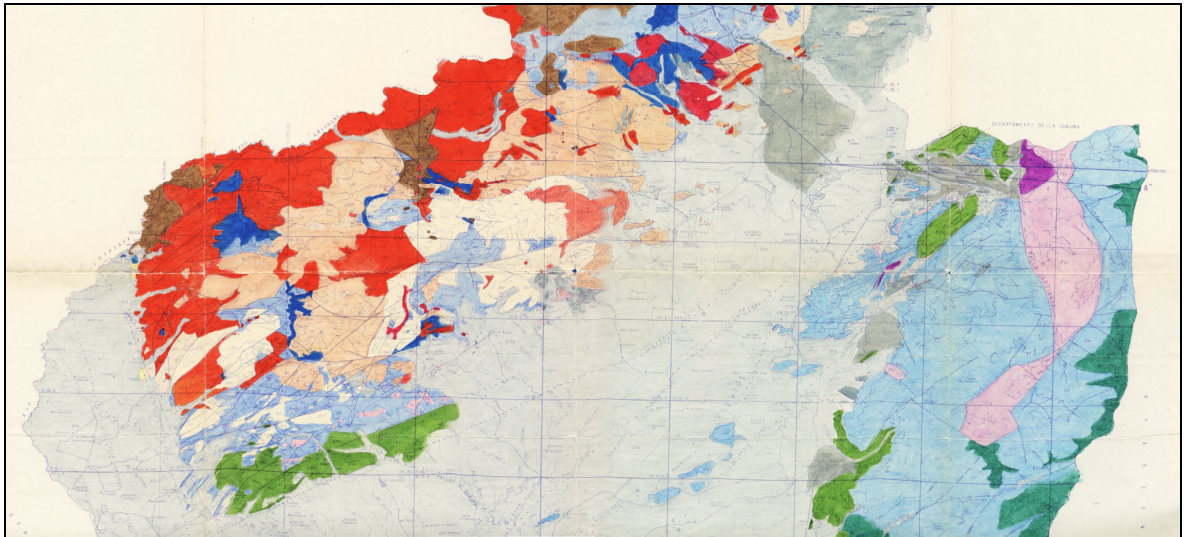


Figura 2. Mapa Geológico de la estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Planicie del río Cesar.

4.2.1 Formación Guatapurí (TRg)

Aflora en la parte media del río Guatapurí, de donde toma su nombre, y desde el sitio de La Estación hasta el arroyo Lajas cerca a la carretera Valledupar -Bosconia.

La unidad se puede dividir en dos conjuntos: una parte basal, predominantemente volcánica con algunas intercalaciones sedimentarias y una parte superior compuesta por limolitas rojizas a moradas, con intercalaciones de rocas volcánicas.

La base está conformada por basaltos porfiríticos, basaltos andesíticos amigdaloides, andesitas, andesitas porfiríticas, volcánicos piroclásticos, keratófidos, espilitas y, ocasionalmente, brechas y conglomerados con cantos subangulares; este conjunto presenta colores de gris verdoso a gris claro que por meteorización se tornan anaranjados a rojizos.



Foto 4. Afloramiento rojizo (basaltos) de la parte basal de la Formación Guatapurí.(TRg)

La parte superior predominantemente sedimentaria es de color rojo, morado y, ocasionalmente, verdoso; está compuesta por limolitas, arenitas feldespáticas, arcosas y grauvacas, con intercalaciones tobáceas y de otras rocas volcánicas, la formación tiene un espesor entre 3.000 y 5.000 m.



Foto 5. Afloramiento de rocas volcánicas rojizas y anaranjadas de la Formación Guatapurí.

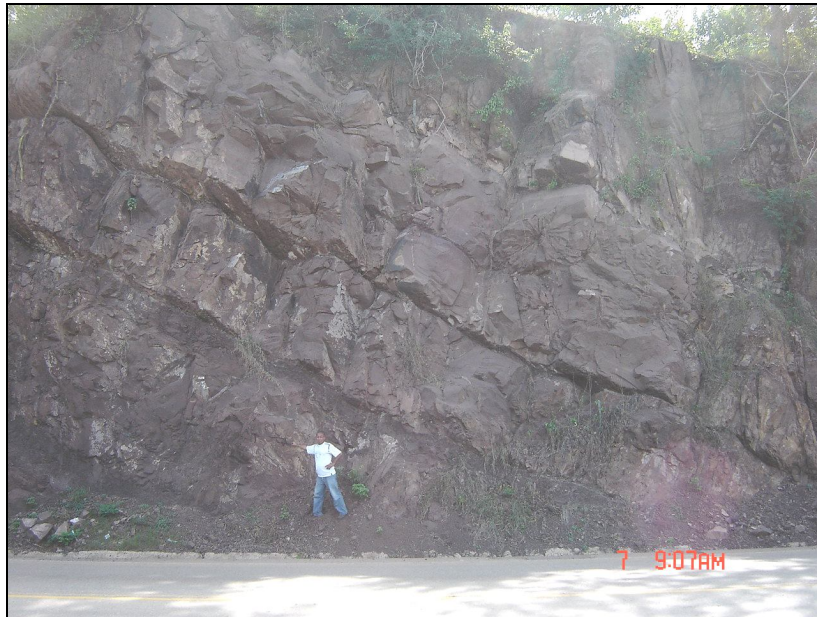


Foto 6. Afloramiento de limonitas y areniscas rojizas de la Formación Guatapurí.



Foto 7. Areniscas y limonitas rojas compactas diaclasadas aflorantes en cerros aislados en la Planicie del Cesar.

4.2.2 Volcánico Riolíptico (JKvr)

Esta unidad corresponde a un grupo de rocas volcánicas riolíticas correspondientes a las Riolutas de los Tábanos y el Golero, El Vitrófiro Riolíptico Negro y otras rocas volcánicas sedimentarias.

El Vitrofito Riolíptico Negro aflora discontinuamente a lo largo de las márgenes del Batolito de Atanquez en contacto con las rocas graníticas rosadas del Batolito de Patillal. Corresponde a una roca negra, vítrea a semivítrea, que contiene cerca del 25% de fenocristales de cuarzo redondeado, pertita rosada y oligoclasa; en el campo se distingue esta roca de la Ignimbrita de Los Clavos por la abundancia de fenocristales de feldespatu rosado y cuarzo, que no son comunes en las ignimbritas.

La Rioluta de Los Tábanos puede tener una amplia variación en su composición, desde latita a rioluta o desde traquita a rioluta. En la parte basal presenta localmente líneas de flujo, cada una de diferente color y textura; la roca predominante es de color rosado a morado muy claro, con pequeños fenocristales de feldespatu potásico. En la parte alta, la unidad presenta microgranitos de color rosado a rosado anaranjado, los cuales a veces contienen esporádicos fenocristales de feldespatu rosado; también se encuentran típicas felsitas afaníticas con 23 bandas de flujo, las cuales usualmente contienen pequeños fenocristales de feldespatu, y presentan un color rosado claro, rosado anaranjado, morado muy claro o gris rojizo.

La Rioluta del Golero es fácilmente reconocible por su combinación de abundantes fragmentos de cuarzo cristalino y feldespatu de potasio, numerosos fragmentos de otras rocas y su característica compactación bandeada irregular; su color es generalmente rosado, rosado anaranjado, o gris parduzco.

Las rocas volcánicas no diferenciadas abarcan aquellas que por una u otra razón no pudieron ser incluidas en otra roca volcánica. Son descritas por Tschanz et al. (1969) como lavas y brechas de ignimbritas de color rosado, pardo y morado.

4.2.3 Grupo Cogollo (Kmc)

Se extiende en la región sur de la Sierra Nevada de Santa Marta, sobre los cerros y estrilaciones ubicados sobre el piedemonte ubicados al nororiente de Bosconia, al norte de la Hacienda Chimilaima y de la Inspección de Policía de los Venados. Se encuentra constituida por caliza en un 60%, 15% de caliza arcillosa y 25% de lutita que es más abundante hacia el techo donde la cantidad de caliza decrece. La caliza es de color gris claro, en bancos delgados a medios, algunos presentan abundantes fósiles de bivalvos, atravesados por venillas de calcita.



Foto 8. Afloramiento de calizas arcillosas del Grupo Cogollo.

4.2.4 Depósitos de Llanuras Aluviales (Qlla)

En la zona plana del municipio de Bosconia y su área de influencia rural se extienden los Depósitos de Llanuras Aluvial del Río Cesar y sus afluentes (río Ariguaní) el cual esta constituido por intercalaciones de gravas, arenas y arcillas en capas de espesores variables. Presentan una granulometría fina, compuesta por arenas, limos y arcillas que generalmente están cubiertas por un delgado nivel de gravas finas de algunos centímetros de espesor.

Al occidente de la Sierra Nevada, el río Arigüaní y los afluentes del suroccidente de la Sierra han generado un depósito limo arcilloso de gran potencia en la denominada Fosa de Arigüaní.

En el área entre Valledupar y Bosconia, en el piedemonte de la Sierra Nevada, el depósito aluvial es de muy poco espesor, cubre las rocas ígneas de la parte sur, y deja pequeños cerros aislados; el espesor aumenta hacia el sur hasta alcanzar más de 100 m, en cercanías del río Cesar; el aluvión está compuesto por gravas, arenas y arcillas provenientes de la meteorización de las rocas ígneas y volcánicas de la Sierra Nevada que por su contenido de materiales máficos dan al aluvión un color gris a gris oscuro.



Foto 9. Depósitos de Llanura Aluvial circundando cerros aislados de la formación Guatapurí.

5 INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

El inventario de puntos de captación de agua subterránea, se realizó en el municipio de Bosconia, durante el mes de Febrero de 2006, por medio de visitas a cada uno de los predios existentes tanto en la cabecera municipal como en el área rural.

Para el trabajo de campo se utilizaron planchas topográficas del IGAC a escala 1:25000 con el fin de localizar posibles predios y ubicar consecutivamente cada punto inventariado. La información obtenida en cada punto de agua se registró en un formato diseñado por IDEAM-CORPOCESAR tanto en forma física como en medio magnético. Este formato contiene los datos generales del predio, nombre del propietario y del administrador, geología, fecha de construcción, método de explotación, construcciones adicionales, uso del agua y condición de la captación, fuentes de contaminación, nivel estático ó dinámico, caudal y propiedades físicas del agua en campo. Los formatos de captura de los datos obtenidos en el inventario se encuentran en el Anexo A.

También se utilizó el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para georeferenciar cada punto de agua inventariado y cada punto de contaminación (pozas sépticas); así como de sondas para la medición de los niveles estáticos dinámicos y la profundidad de la captación. Los parámetros fisicoquímicos de las aguas tomados en campo (Conductividad, pH, SDT y temperatura) de las captaciones fueron realizados utilizando un equipo de Phmetro y conductímetro (Metler Toledo).

En total se inventariaron 108 puntos de captación de agua, donde el 81.4% corresponde a aljibes, el 13.8% corresponde a pozos, el 3.7% son aljibes – pozos y 1% corresponde a manantiales.

5.1 GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA

En cuanto a la geología y geomorfología encontramos que el 88.8% de los puntos de captación de agua se encuentran ubicados dentro de la unidad acuífera Depósito Llanura Aluvial Qlla.

5.2 CONSTRUCCIONES Y DISEÑO

Aljibes

En el diseño y construcción de los aljibes, se pudo detectar que éstos se encuentran dentro de un rango de diámetro entre 0.69 mt y 2 mt, y con una profundidad entre 2.40 a 42.5 mt, en donde el 12.5% de ellos se encuentran dentro del rango de profundidad de 0 a 10 mt, el 20.4% tienen una profundidad entre 10 a 20 mt, y el 29.5% están captando el agua a una

profundidad mayor de 20 mt, éstos últimos, especialmente los que se encuentran sobre los 30 mt de profundidad, se puede decir que se comportan como pozos, ya que están captando el agua de una unidad acuífera más profunda.

En cuanto al tipo de captación y material de revestimiento, encontramos que el 79.5% utilizan anillos de cemento, el 11.36% anillos de ladrillo, y el 5.68% es un hueco abierto. Además se encontró en tres aljibes que les sobresale una caneca de 55 galones la cual tiene un diámetro exterior de 0.56 mt.



Foto 10. Aljibe con revestimiento en anillos de cemento.



Foto 11. Aljibe con revestimiento en anillos de ladrillo. Uso de la sonda para medición de la profundidad.

Pozos

De los 15 pozos inventariados, encontramos que para la construcción de dos de éstos, los cuales corresponden a los pozos del acueducto de Bosconia se utilizaron varias tuberías con diferentes diámetros (12", 8" y 6" en acero inoxidable y PVC) a lo largo de los mismos.

El 33.3% de los 13 pozos restantes fueron contruidos con tubería de 6" en PVC, el 26.6% utilizan tubería de 12" en acero inoxidable, hierro galvanizado y PVC, el 6.6% utiliza tubería de 3" en hierro galvanizado.

Las profundidades de los pozos inventariados están entre 16 mt a 220 mt, lo que nos indica que pueden estar captando los sistemas acuíferos Depósitos Cuaternario de Llanura Aluvial Qlla y la formación Sedimentitas de Arjona Tpaá.



Foto 12. Pozo en tubería de 12" en PVC

Aljibes-Pozos

En el área de estudio se encontraron estructuras hidráulicas, que inicialmente se construyeron con diámetros de 1 mt aproximadamente, y revestidos con anillos de cemento, pero que posteriormente, en su base se hizo una perforación, con el fin de captar aguas de capas más profundas, estas estructuras hidráulicas fueron denominadas aljibes-pozos; y por lo tanto es muy posible que el agua captada por éstos sea una mezcla entre la tabla de agua y aguas de capas acuíferas más profundas.

Las tuberías usadas en la perforación de los aljibes-pozos, son de diámetros de 1 ½", 4" y 6" en PVC.

La profundidad total de estos aljibes-pozos se encuentran entre 23.15 mt a 50 mt.

4.3 METODOS DE EXPLOTACION

Aljibes

Los métodos de explotación de los aljibes es por medio de motobombas, bombas manuales, molinos de vientos, baldeo y turbinas, las tuberías de succión y de descarga utilizadas

varían entre 1” a 4”, siendo la más utilizada la de 2” de diámetro con el 25% y aunque hay diversos materiales el más común es el PVC; a continuación se presentan los porcentajes de uso de cada uno de éstos métodos:

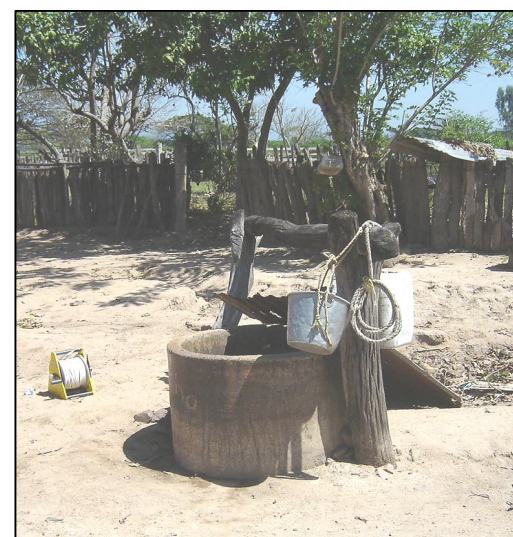
Tabla 2. Porcentajes de uso de los diferentes métodos de explotación.

MÉTODO	PORCENTAJE DE USO	ENERGÍA	
		COMBUSTIBLE	ELÉCTRICA
Motobomba	36.3%	59.3%	21.8%
Baldeo	20.4%		
Turbina	14.77%	7.69%	76.9%
Molino de Viento	2.27%		
Bomba manual	1.13%		

El régimen de bombeo de los aljibes es muy variado, ya que encontramos desde menos de 1 hora/día hasta mayor de 4 horas/día, así como también hay aljibes que son bombeados según la necesidad y ésta puede ser máximo 2 horas cada 2 días. El 62.5% de los aljibes no tienen régimen de bombeo debido a que como ya se mencionó anteriormente el 20.4% de ellos se explotan por medio de baldeo y otros se encuentran en reserva ó secos.



a.



b.

Foto 13. Métodos de explotación de los aljibes. **a.** Aljibe con Molino de Viento **b.** Aljibe con Baldeo.

Pozos

Para la explotación de los pozos los métodos utilizados son las bombas sumergibles, motobombas y turbinas. Siendo el más utilizado la motobomba con el 26.6%, de las cuales el 50% utilizan energía eléctrica; le siguen las bombas sumergibles con el 20% que utilizan en su totalidad energía eléctrica y por último encontramos las turbinas con el 6.6%; el 46.6% restante no tienen método de explotación debido a que 7 de los 15 pozos inventariados o no están funcionando o son de observación y por lo tanto no son explotados.

Los pozos #2 y #5 que pertenecen al acueducto de Bosconia, de los cuales se abastece el municipio, utilizan motobombas eléctricas con motor Siemens de 125 Hp y de 150 Hp respectivamente y bombas de Colbombas que se encuentran ubicadas a 35 mt de profundidad cada una, la bomba del pozo #2 es de eje vertical de 14 impulsores lubricada con aceite, el pozo #5 utiliza una bomba centrífuga, el transmisor de la bomba es Worthington lubricada con aceite.

Las tuberías de succión utilizadas son de 2" y 6" en PVC ó acero galvanizado y las de descarga usadas son de 2", 6" y 8" en manguera, hierro galvanizado, hierro fundido, acero y PVC.

De los 8 pozos bombeados encontramos que 3 de ellos tienen régimen de bombeo de máximo 3 horas al día, así mismo otros 3 pozos tienen régimen de bombeo de 10 a 14 horas diarias, de los dos pozos restantes aunque tienen sistema de bombeo uno no es bombeado y el otro es pozo saltante y por lo tanto no necesita ser bombeado.



a.



b.

Foto 14. Motobombas usadas para la explotación de los pozos. **a.** Transmisor de bomba centrífuga usada en el pozo #5 del acueducto de Bosconia. **b.** Motobomba con motor Brig&Stration.

Aljibes-Pozos

En cuanto a la explotación de los 4 Aljibes-Pozos inventariados, encontramos que dos de ellos son explotados con motobombas marca Barnes a combustible, de los cuales uno de ellos registra un régimen de bombeo de 4 horas diarias con tuberías de succión y descarga de 2" y 2½" en PVC respectivamente, otro es explotado por medio de turbina eléctrica de 1.5 HP, que está ubicada a 25 mt de profundidad con tuberías de succión y de descarga de 1½" y 1¼" respectivamente, y el restante no es usado debido a que se seca a los 15 minutos de ser bombeado.

Manantial

El método de explotación del manantial es por medio de una motobomba de 3 HP a combustible con tuberías de succión de 1 ½" en Manguera y de descarga de 1 ½" en PVC, el régimen de bombeo es de 2 horas al día.

5.4 CONSTRUCCIONES ADICIONALES

En el 53.3% de los aljibes, pozos y aljibes-pozos visitados en el inventario realizado en Bosconia, encontramos que éstos cuentan con una o más construcciones adicionales tales como tanques, silos, anillos, etc, con el fin de almacenar el agua explotada en cada uno de estos puntos de captación de agua. El 46.7% restante no cuenta con dichas construcciones adicionales.

En general la construcción más utilizada para el almacenamiento del agua son los anillos de cemento, los cuales en la mayoría son usados como abrevaderos para el ganado, ya que se encontraron 53 anillos en 16 puntos de agua diferentes con capacidades entre 0.25 m³ a 2.9 m³; le siguen tanques cuadrados en concreto, de los cuales la mayoría se usan como abrevaderos que tienen capacidades entre 0.36 m³ a 4.46 m³, y otros son tanques elevados con mayores dimensiones con capacidad de hasta 33.08 m³, de éstos se registraron en total de 39 tanques en 23 puntos de captación de agua, también se encontraron 22 tanques de Eternit de diferentes capacidades (500 lt, 800 lt, 1000 lt, 2000 lt y 5000 lt), la construcción que mayor capacidad tiene son los silos entre 6 m³ a 32.38 m³, de los cuales se inventariaron 15.

Los pozos que abastecen a Bosconia conducen el agua a un tanque de 1.000.000 m³.



a.



b.



c.

Foto 15. Estructuras para almacenamiento de agua. **a.** Silos. **b.** Anillos, que son usados como abrevaderos. **c.** Tanque de Eternit.

5.5 NIVEL ESTÁTICO, DINÁMICO Y DE RECUPERACIÓN

Durante la visita a los aljibes, pozos y aljibes-pozos se tomaron varios datos, entre los cuales esta el nivel estático, dinámico o de recuperación según fuera el caso, esto se hizo por medio de la sonda.

El nivel estático de los aljibes, en el mes de febrero se encontraba en un rango entre 0.62 mt a 27.91 mt, de los cuales el 55.6% se encuentran entre 0 a 10 mt, el 22.7% entre 10 a 20 mt, el 9.09% de los aljibes presentan nivel estático mayor a 20 mt.

Sólo en 4 aljibes de los 88 inventariados fue posible tomar el nivel dinámico, el cual se encuentra entre 6.73 mt a 19.55 mt, y así mismo en estos aljibes se midió el nivel de recuperación, registra entre 0.01 mt a 5.54 mt.

En cuanto a los pozos inventariados a 6 de ellos fue posible medir el nivel estático que se encuentra entre 1.17 mt y 11.32 mt, al resto de los pozos no fue posible realizar esta medida debido a que se encontraban totalmente tapados, ya sea por que fueron sellados con cemento o porque tienen el cabezote de la bomba lo que impide tomar la medida; o no era confiable introducir la sonda.

El nivel estático registrado en los aljibes-pozos son 6.7 mt, 12.62 mt, 21.15 mt y 22.28 mt, de estos dos últimos se puede decir que realmente están captando aguas de capas acuíferas profundas mientras que los dos primeros pueden ser mezclas de aguas la tabla de agua con capas más profundas.

5.6 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA EN CAMPO

En el inventario realizado en febrero, siempre y cuando fuera posible, por medio del equipo de trabajo en campo, se tomaron datos de las propiedades físicas del agua, tales como la conductividad, pH, sólidos disueltos totales.

Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica es la capacidad de un medio o espacio físico de permitir el paso de la corriente eléctrica a través de si.

En medios líquidos está relacionada con la presencia de sales en solución, cuya disociación genera iones positivos y negativos capaces de transportar la energía eléctrica si se somete el líquido a un campo eléctrico. Por lo tanto La conductividad eléctrica en líquidos, se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. El agua pura prácticamente no conduce la corriente. Los iones cargados positiva y

negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad. En la mayoría de las soluciones acuosas, entre mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad.

El decreto 475 de 1998 "Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable" indica los criterios de calidad de agua potable para el consumo humano, en cuanto a la conductividad, esta debe encontrarse dentro de un rango de 50-1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, (aguas menores de 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, son aguas dulces y mayores a este valor son aguas saladas), y los criterios de calidad del agua segura, que es aquella que sin cumplir algunas de las normas de potabilidad, puede ser consumida sin riesgo para la salud humana, la conductividad puede ser menor a 15000 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Sólidos Disueltos Totales

Los SDT es la suma total de todos los sólidos disueltos volátiles y no volátiles en el agua. Los SDT y la conductividad eléctrica están estrechamente relacionadas, cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica.

Los Sólidos Disueltos Totales para la calidad del agua potable para el consumo humano, según el decreto 475 de 1998, deben ser menores a 500 mg/lit, y para agua segura, deben ser menores de 1000 mg/lit.

Potencial de Hidrógeno: pH

El pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7, y básicas las que tienen pH mayores a 7. El pH igual a 7 indica la neutralidad de la disolución (siendo el disolvente agua).

El pH óptimo del agua para consumo humano según el decreto 475 de 1998 debe estar entre 6.5 y 9.



Foto 16. Equipo de medición de propiedades físicas del agua en campo, pHmetro y Conductivímetro.

De los 88 aljibes inventariados, cuatro se encontraban secos y por lo tanto no registran datos de las propiedades físicas del agua, de los 84 restantes encontramos que en cuanto a la conductividad 43 de ellos, es decir el 51.1% sobrepasan el valor de $1000 \mu\text{S/cm}$, lo que significa que no cumplen con los criterios para agua potable, y dentro de estos se encuentra un dato de $15560 \mu\text{S/cm}$, el cual tampoco cumple con los criterios para agua segura.

En cuanto al pH, sólo el 3.5% se encuentra por debajo del rango permisible para el agua de consumo humano.

Los SDT registrados en los aljibes están entre 111 mg/L a 7830 mg/L , de los cuales el 47.6% se encuentran por debajo de los 500 mg/L , cumpliendo así con la norma para agua potable, el 26.1% se encuentran entre 500 mg/L y 1000 mg/L y por lo tanto cumplen con los criterios para agua segura, sin embargo el 26.1% restante sobrepasan los 1000 mg/L incumpliendo los criterios para el agua apta para el consumo humano.

A Seis de los pozos inventariados en Bosconia no fue posible tomar muestra de agua debido a que se encontraban obstruidos, por lo tanto 9 pozos son los que registran datos de propiedades físicas del agua. De éstos, encontramos que registran conductividades de $450 \mu\text{S/cm}$ a $954 \mu\text{S/cm}$, pH de 6.84 a 7.72 y SDT de 231 mg/L a 484 mg/L , lo que indica que el agua de capas acuíferas profundas que son explotadas por los pozos, los cuales captan a profundidades de hasta 200 mt, cumplen con la norma de calidad del agua potable para consumo humano.

Por lo contrario los aljibes-pozos, que captan mezclas entre la tabla de agua subsuperficial y aguas de capas acuíferas más profundas, se tienen conductividades de $470 \mu\text{S/cm}$, 1040

$\mu\text{S/cm}$, 1608 $\mu\text{S/cm}$ y 1975 $\mu\text{S/cm}$, como se puede observar sólo uno de ellos cumple con la norma de calidad del agua potable y así mismo es el comportamiento de los SDT, ya que estas dos propiedades son directamente proporcionales, los valores de los SDT son 236 mg/Lt, 523 mg/Lt, 811 mg/Lt y 989 mg/Lt. Sin embargo en lo que al pH se refiere si cumplen con la norma ya que este se encuentra entre 6.7 a 7.39.

Las propiedades físicas del manantial se encuentran dentro de los rangos permisibles del agua para el consumo humano, conductividad 761 $\mu\text{S/cm}$, pH 7.16 y SDT 457 mg/Lt.

5.7 USOS DEL AGUA

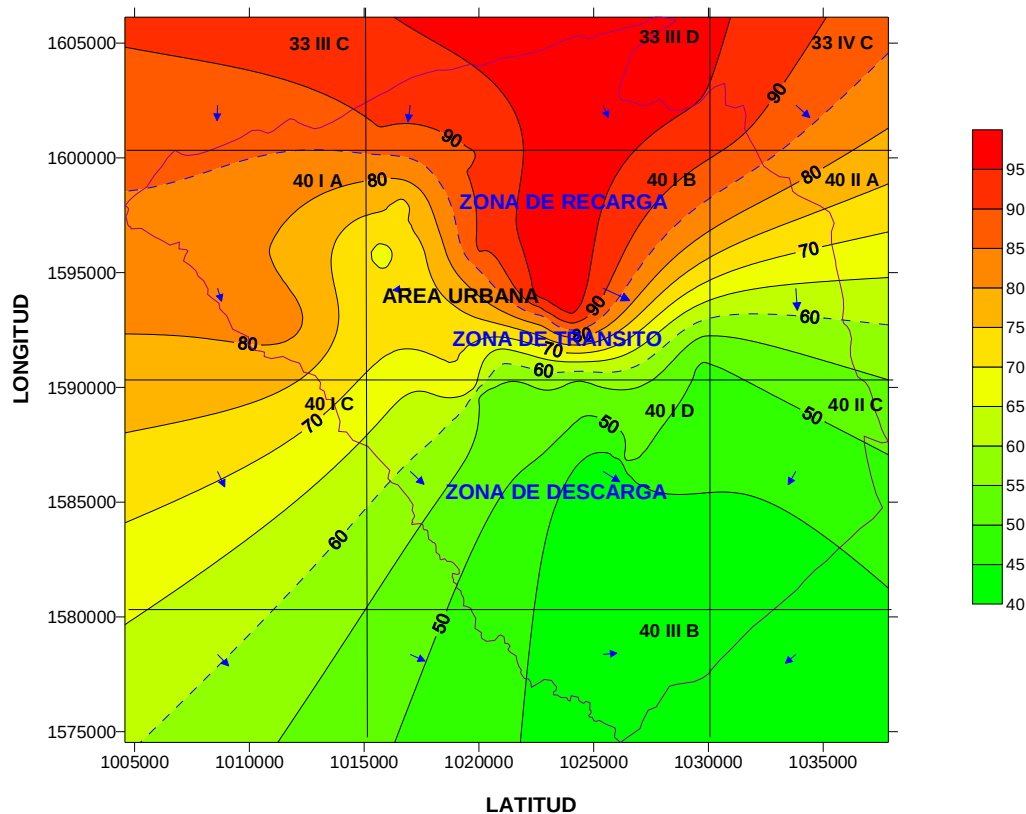
En la visita realizada a los puntos de captación de agua subterránea en el municipio de Bosconia se observó que ésta es usada para diferentes labores llevadas a cabo en cada predio, entre las cuales se encuentra el abastecimiento doméstico, por el que se entiende que el agua se usa para el desarrollo de las actividades propias de la casa sin incluir el abastecimiento humano; abastecimiento humano, ganadería, irrigación y abastecimiento público, sin embargo en algunos puntos no se usa el agua de los pozos, aljibes o aljibes-pozos ya que o se encuentran en reserva, secos, obstruidos o simplemente no la usan. Específicamente el agua del manantial es usada para abastecimiento doméstico y ganadería. Los porcentajes de uso para cada actividad son los siguientes:

- Ganadería: 19.6%
- Abastecimiento doméstico y ganadería: 17.7%
- Abastecimiento doméstico: 11.2%
- Abastecimiento doméstico, humano y ganadería: 5.6%
- Abastecimiento doméstico y humano: 3.73%
- Abastecimiento público: 3.73%
- Irrigación: 0.93%
- Abastecimiento doméstico, ganadería y riego: 0.93%
- No se usa, seco, obstruido ó en reserva: 36.4%

6. MODELO DE FLUJO DE AGUAS SUBTERRANEAS

El modelo de flujo preliminar se obtuvo a partir de la toma de datos de los niveles en los aljibes que captan la primera capa acuífera y de la medida que hay entre la superficie del terreno y la boca del pozo (ya que los datos de los niveles estático se tomaron con respecto a este punto), y la resta de estos dos me da la variación del nivel estático con respecto al terreno, con la cual se elaboró el modelo de flujo, cuya gráfica muestra que el flujo de aguas subsuperficiales presentan una dirección desde el norte hacia el sur, localmente noreste-suroeste y noroeste –sureste, aproximadamente desde el contacto de la unidad acuífera Depósitos de Llanura Aluvial (Qlla) con los afloramientos de rocas igneas y sedimentarias de las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta correspondientes a la Formación Guatapurí (Trg), el Grupo Cogollo (Kmc), y Volcánico Rioltítico (JKvr). En la gráfica se identifican las zonas de recarga, de tránsito y de descarga de la red de flujo Sistema Acuífero Cuaternario Llanura Aluvial.

Gráfica 1. Red de flujo Sistema Acuífero Cuaternario Llanura Aluvial en el Municipio de Bosconia. Febrero 2006.



7. HIDROGEOQUIMICA

Con el fin de conocer el comportamiento espacial y temporal de los parámetros de conductividad, sólidos disueltos totales y pH de las aguas captadas por los aljibes para el mes de febrero, los cuales captan la primera capa acuífera se procedió a interpolar los valores de cada parámetro utilizando método de Kriging mediante el software SURFER. La interpolación de los datos define isolíneas cuya magnitud y forma me permite inferir la trayectoria de los flujos subsuperficiales desde sus zonas de recarga, tránsito y descarga.

Es importante tener en cuenta que las isolíneas de sólidos disueltos totales, es de forma similar a las isolíneas de conductividad, ya que en magnitud corresponden o están en el rango entre 45% a 50% del valor de la conductividad, por lo tanto se analizarán de manera conjunta.

7.1 Municipio de El Paso

Para el municipio de El Paso se realizaron dos modelos de flujo para cada parámetro, debido a que estos al captar la tabla de agua, se encuentran ubicados dentro de la unidad geológica Depósitos de Llanura Aluvial Qlla, por lo que era necesario separarlos de aquellos que se ubican dentro de la unidad geológica Tmc, los cuales captan agua con diferentes características.

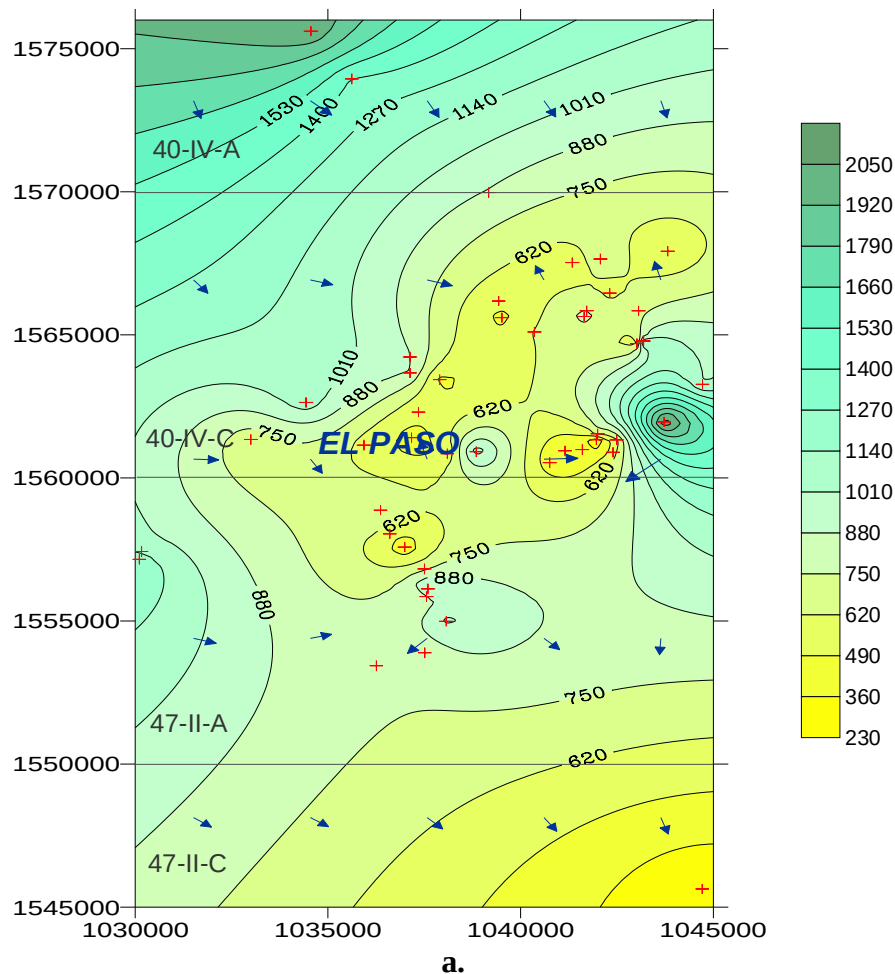
Los mapas de Isolíneas de conductividad y de sólidos disueltos totales, indican las siguientes características sobresalientes:

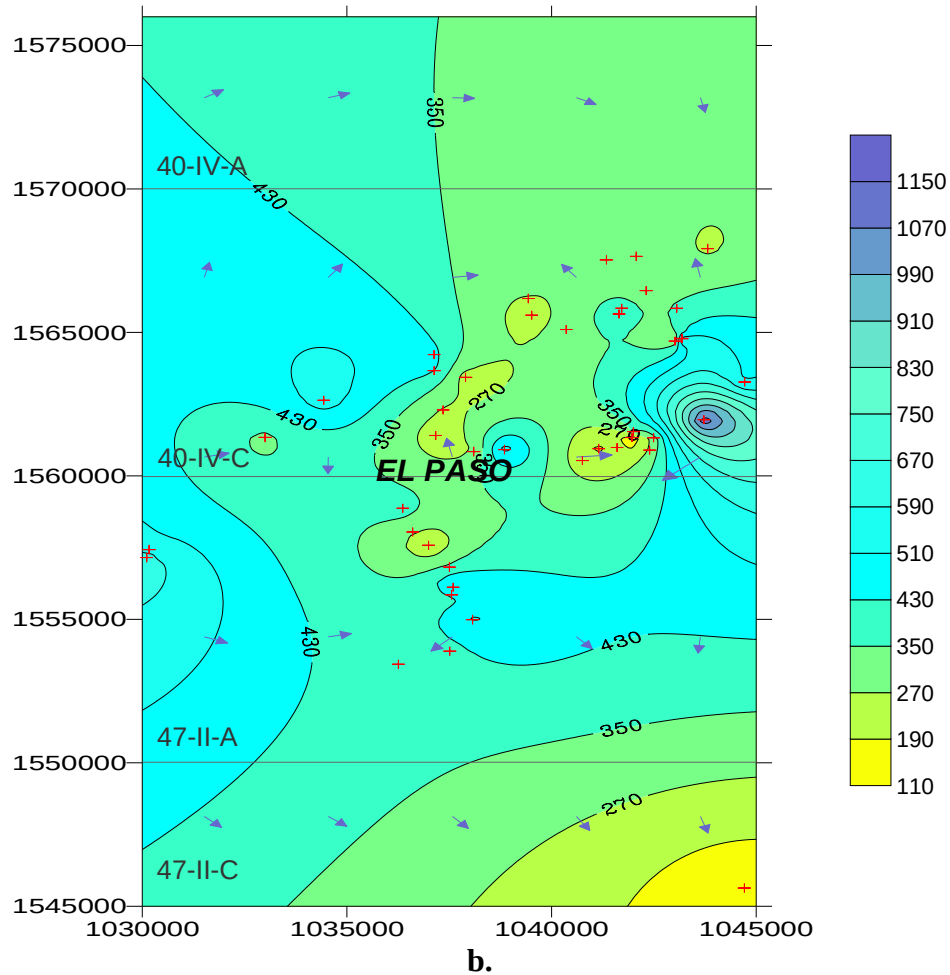
- Se observa un punto con valor alto tanto de conductividad como de sólidos disueltos totales, el cual en ambos casos es centro de isolíneas concéntricas, lo que infiere en el modelo de flujo, por lo que es necesario evaluar este modelo sin este valor, ya que puede estar relacionado a focos de contaminación puntual.
- Se puede observar que el flujo de las aguas subsuperficiales tiene dirección Noroeste – Sureste, sin embargo el punto con valor de conductividad y SDT alto interfiere en el modelo en ambos casos, debido a que a partir de éste, el flujo de agua se dirige hacia el Norte, siendo esto un comportamiento anómalo.
- En general los valores de conductividad para esta zona varían entre 231 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y 2160 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Teniendo en cuenta el decreto 475 de 1998, “Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable” que indica los criterios de calidad de agua potable para el consumo humano, la conductividad debe encontrarse dentro de un rango de 50-1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, es decir aguas clasificadas como dulces, por lo tanto el 76.5% de las muestras realizadas a los aljibes ubicados en esta zona cumplen con la norma; sin embargo este mismo decreto plantea criterios de calidad del agua segura, que es aquella que sin cumplir algunas de las normas de potabilidad, puede ser consumida sin riesgo para la salud humana, en este caso la conductividad puede ser

menor a 15000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, considerando que mayores de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se clasifican como aguas saladas, dentro de los datos analizados encontramos que 11 de ellos sobrepasan el valor de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, es decir el 23.4% del total de datos; sin embargo ningún dato incumple con la norma para el agua segura.

- Los valores de Sólidos Disueltos Totales del agua captada por los aljibes se encuentran entre 116 mg/lit – 1130 mg/lit. Según el decreto 475 de 1998, mencionado anteriormente, para la calidad del agua potable para el consumo humano, los SDT deben ser menores a 500 mg/lit, por lo tanto el 79% de los valores analizados en esta zona cumplen con la norma; y para agua segura, los SDT deben ser menores de 1000 mg/lit, teniendo en cuenta esto sólo el 3% no cumple con la norma.

Gráfica 2. Mapas de Isolíneas de la unidad acuífera depósitos de Llanura Aluvial Qlla. Febrero de 2006. Planchas 40IVA-40IVC-47IIA-47IIC. Municipio de El Paso. **a)** Mapa de Isoconductividad; **b)** Mapa de Isosólidos disueltos totales.

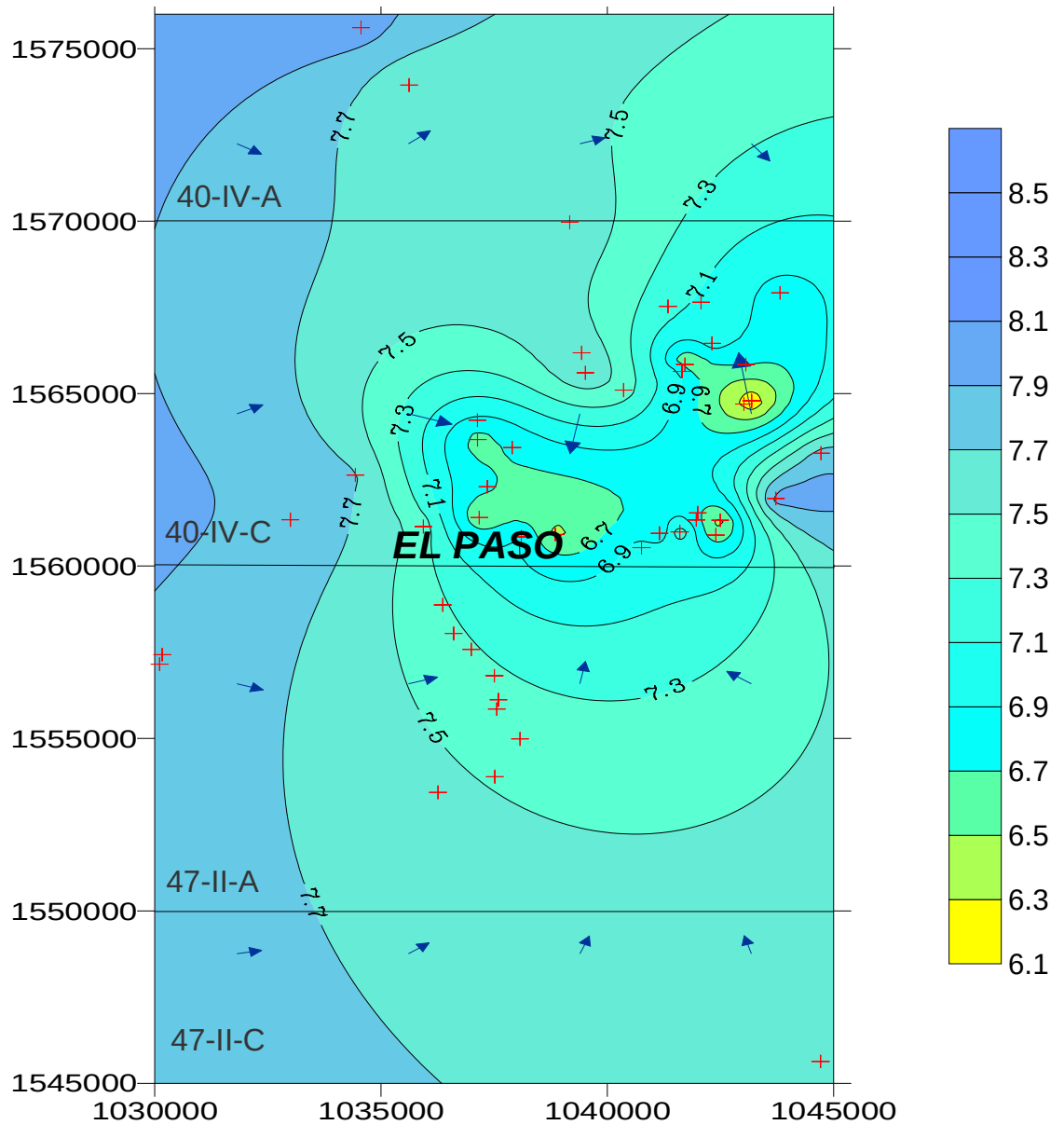




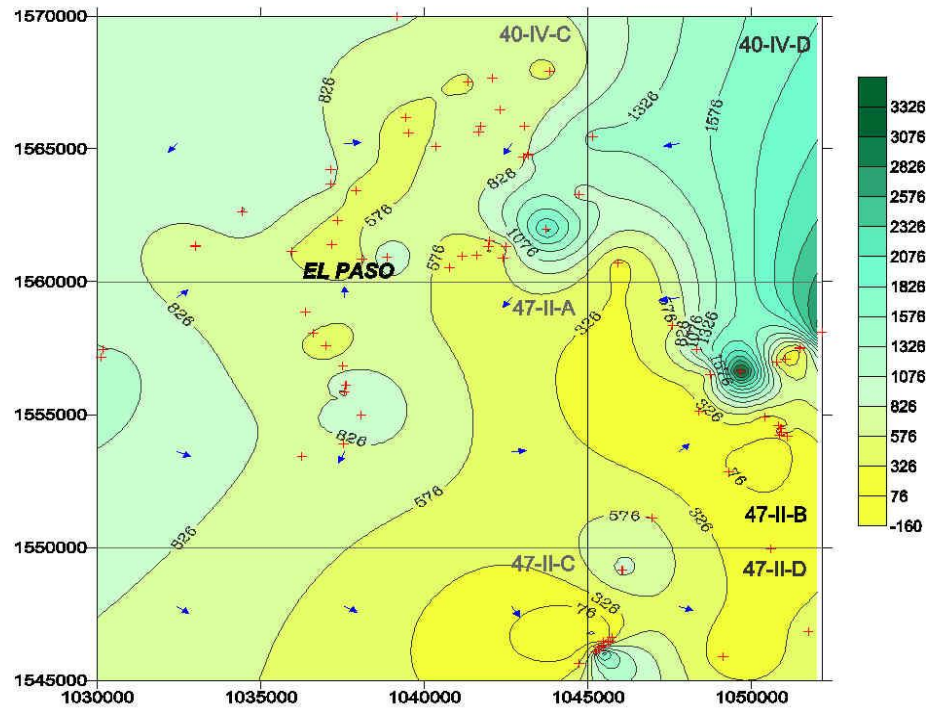
En cuanto al pH en la gráfica 3, mapa de isolíneas de pH se observa:

- Que el punto con el valor mínimo de pH trata de formar a su alrededor líneas concéntricas, sin embargo éstas no se forman de manera pronunciada.
- Que el flujo de agua se dirige de Oeste a Este, sin embargo el punto de menor valor de pH afecta la dirección del flujo, ya que en éste el flujo de agua se dirige hacia el norte; es importante analizar este modelo de flujo exceptuando dicho punto.
- Los valores de pH de las aguas subsuperficiales captadas por los aljibes de esta zona, se encuentran dentro de un rango de 6.11 – 8.02; El decreto 475 de 1998, “Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable” indica que el rango de pH óptimo del agua para consumo humano debe ser entre 6.5 y 9, por lo tanto de la muestras analizadas el 12.7%, que corresponde a 6 aljibes, se encuentran por debajo del rango admisible, y el 87.3% restante cumplen con la norma.

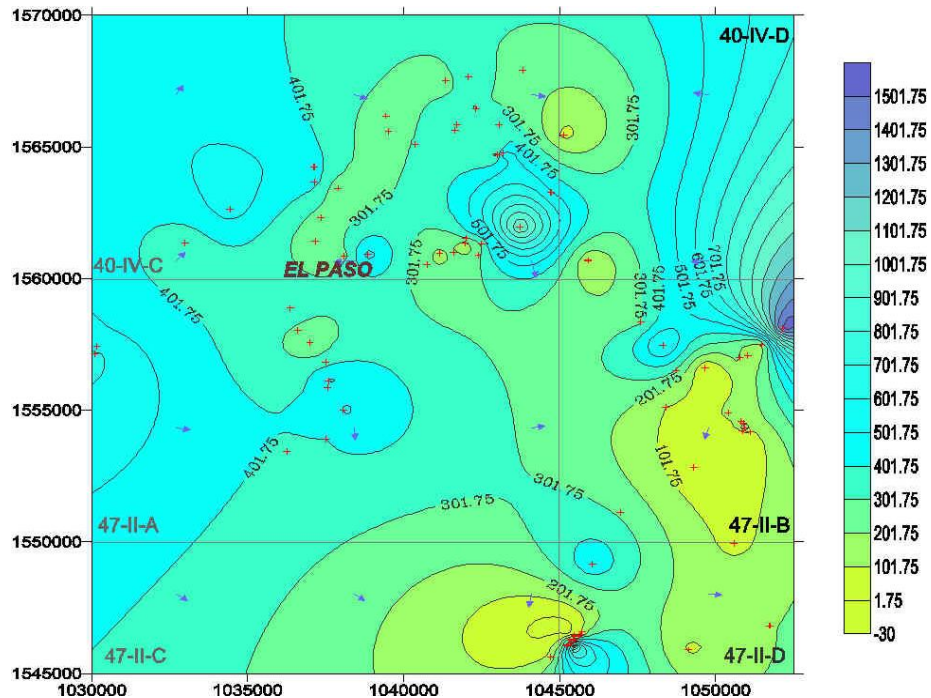
Gráfica 3. Mapas de Isolíneas de pH de la unidad acuífera depósitos de Llanura Aluvial Qlla. Febrero de 2006. Planchas 40IVA-40IVC-47IIA-47IIC. municipio de El Paso.



Gráfica 4. Mapas de Isolíneas de la unidad acuífera depósitos de Llanura Aluvial Qlla. Febrero de 2006. Planchas 40IVC-40IVD-47IIA-47IIB-47IIC-47IID. Municipio de El Paso. **a)** Mapa de Isoconductividad; **b)** Mapa de Isosólidos disueltos totales.



a.

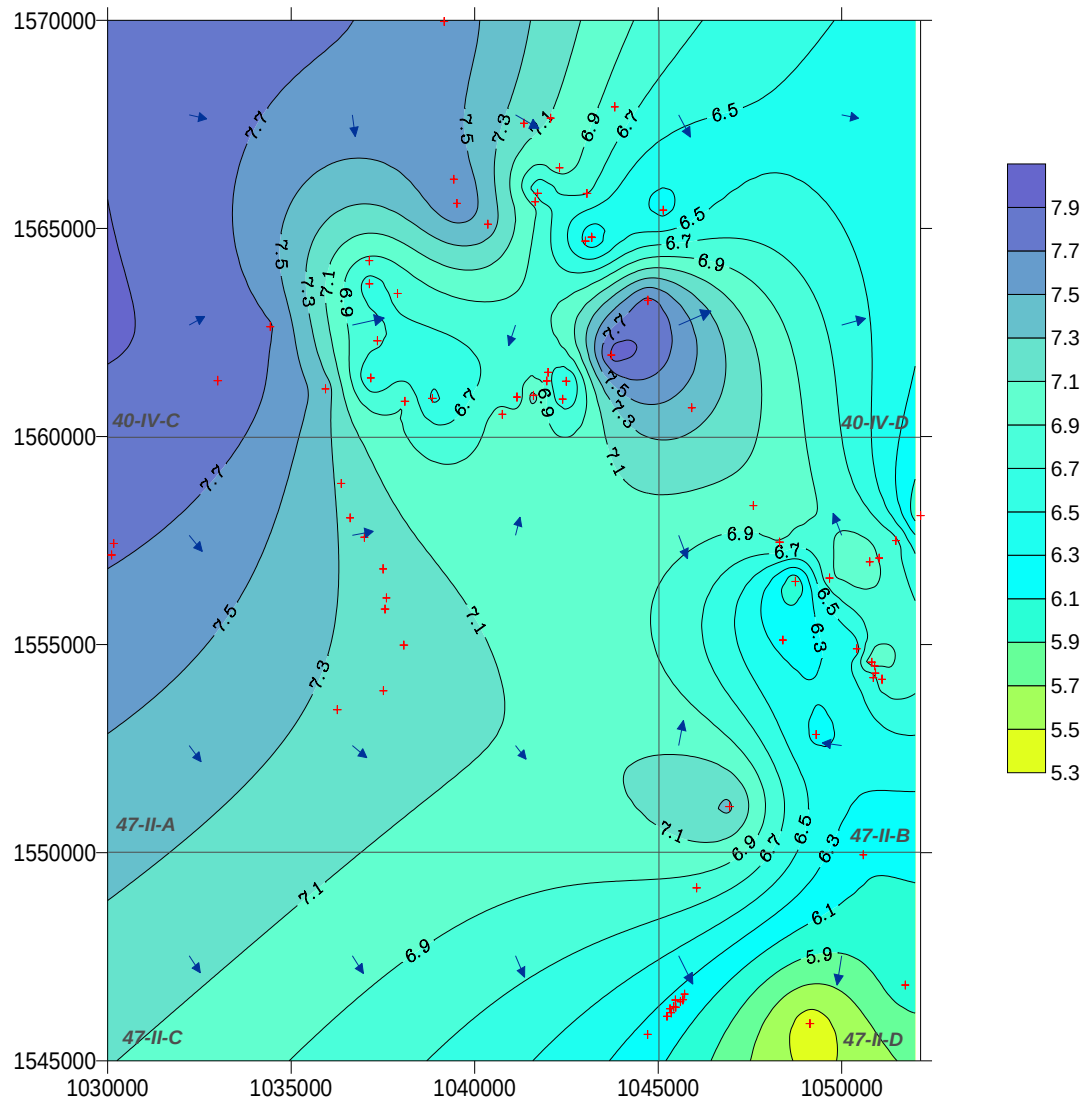


b.

En los mapas anteriores se observa:

- 3 puntos con valor alto de conductividad y de sólidos disueltos totales, los cuales originan a su alrededor isolíneas concéntricas, lo que infiere en el modelo de flujo, por lo que es necesario evaluar este modelo sin dichos valores.
- El flujo de las aguas subsuperficiales tiene dirección Noroeste – Sureste, sin embargo en la zona correspondiente a la plancha 40IVD el flujo se dirige desde el Noroeste, esto puede ser debido a que en esta zona se encuentran las isolíneas con los valores altos de conductividad y sólidos disueltos totales.
- Los valores de conductividad para esta zona varían entre 76.2 $\mu\text{s/cm}$ y 3490 $\mu\text{s/cm}$. Se debe tener en cuenta que el valor mínimo es muy bajo, por lo que es posible que la muestra de agua tomada para el análisis sea agua lluvia.
- Según el decreto 475 de 1998, “Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable” que indica los criterios de calidad de agua potable para el consumo humano, la conductividad debe encontrarse dentro de un rango de 50-1000 $\mu\text{s/cm}$, es decir aguas clasificadas como dulces, por lo tanto el 79.2% de las muestras realizadas a los aljibes ubicados en esta zona cumplen con la norma; sin embargo este mismo decreto plantea criterios de calidad del agua segura, que es aquella que sin cumplir algunas de las normas de potabilidad, puede ser consumida sin riesgo para la salud humana, en este caso la conductividad puede ser menor a 15000 $\mu\text{s/cm}$, considerando que mayores de 1000 $\mu\text{s/cm}$ se clasifican como aguas saladas, dentro de los datos analizados encontramos que el 18.1% de ellos sobrepasan el valor de 1000 $\mu\text{s/cm}$.
- Los valores de Sólidos Disueltos Totales del agua captada por los aljibes se encuentran entre 1.78 mg/l – 1600 mg/l. Teniendo en cuenta el decreto 475 de 1998, mencionado anteriormente, para la calidad del agua potable los SDT deben ser menores a 500 mg/l; y para agua segura, los SDT deben ser menores de 1000 mg/l, por lo tanto el 96% de las aguas captadas por los aljibes cumplen con la norma.

Gráfica 5. Mapas de Isolíneas de pH de la unidad acuífera depósitos de Llanura Aluvial Qlla. Febrero de 2006. Planchas 40IVC-40IVD-47IIA-47IIB-47IIC-47IID. Municipio de El Paso.



En el mapa de IsopH sobresalen las siguientes características:

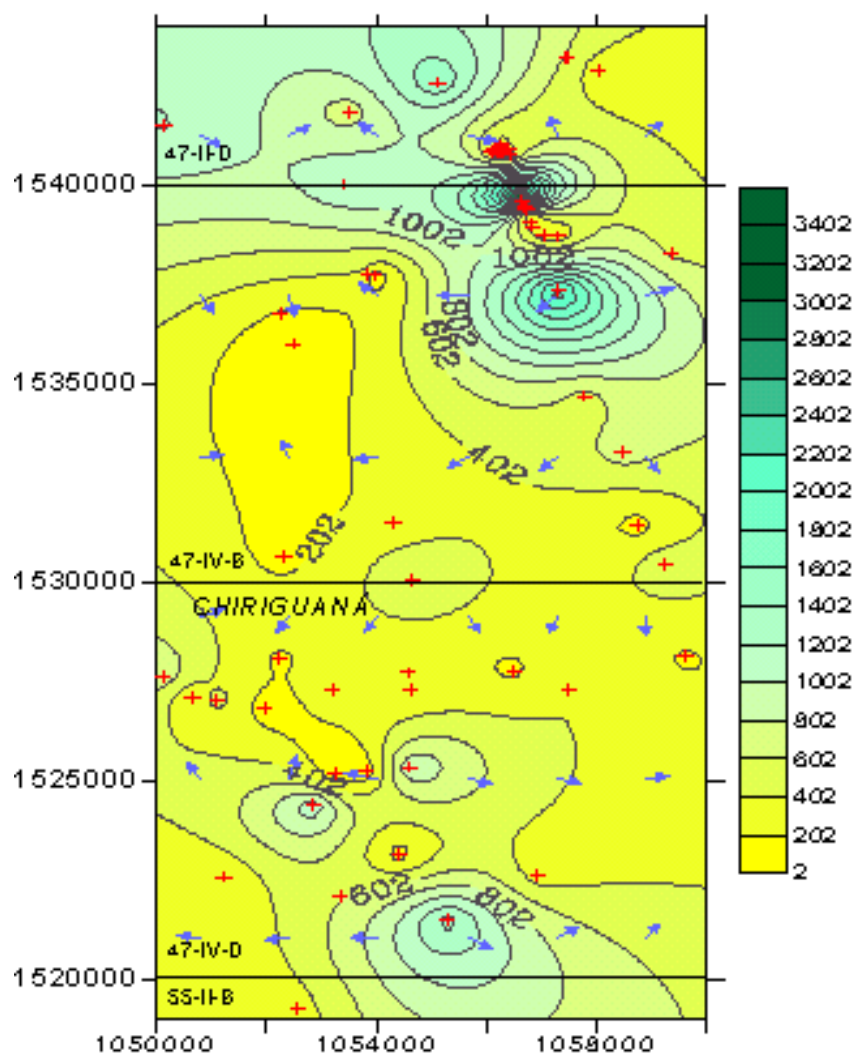
- Los puntos con valor alto de pH forman líneas concéntricas, lo que no es normal en un modelo de flujo.
- El flujo de agua se dirige de Noroeste a Sureste, aunque en algunos sitios con mínima proporción cambia su trayectoria, dirigiéndose hacia el norte.
- Los valores de pH de las aguas subsuperficiales captadas por los aljibes de esta zona, se encuentran dentro de un rango de 5.38 – 7.99; El decreto 475 de 1998, “Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable” indica que el

rango de pH óptimo del agua para consumo humano debe ser entre 6.5 y 9, por lo tanto de la muestras analizadas el 19.4%, se encuentra por debajo del rango admisible, y el 80.5% restante cumplen con la norma.

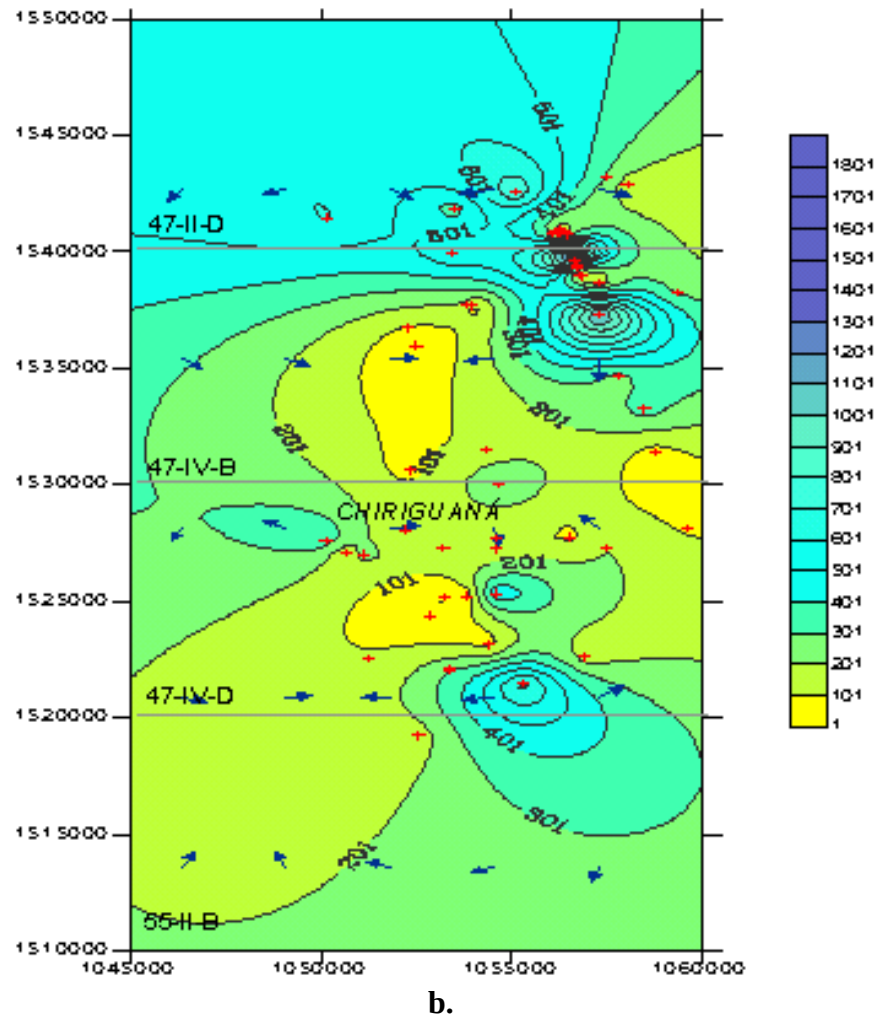
7.2 Municipio de Chiriguaná

Para el municipio de Chiriguaná se realizó el modelo de flujo para cada parámetro, teniendo en cuenta que estos captan la tabla de agua de la unidad geológica Depósitos de Llanura Aluvial Qlla.

Gráfica 6. Mapas de Isolíneas de la unidad acuífera depósitos de Llanura Aluvial Qlla. Febrero de 2006. Municipio de Chiriguaná. **a)** Mapa de Isoconductividad; **b)** Mapa de Isosólidos disueltos totales.



a.



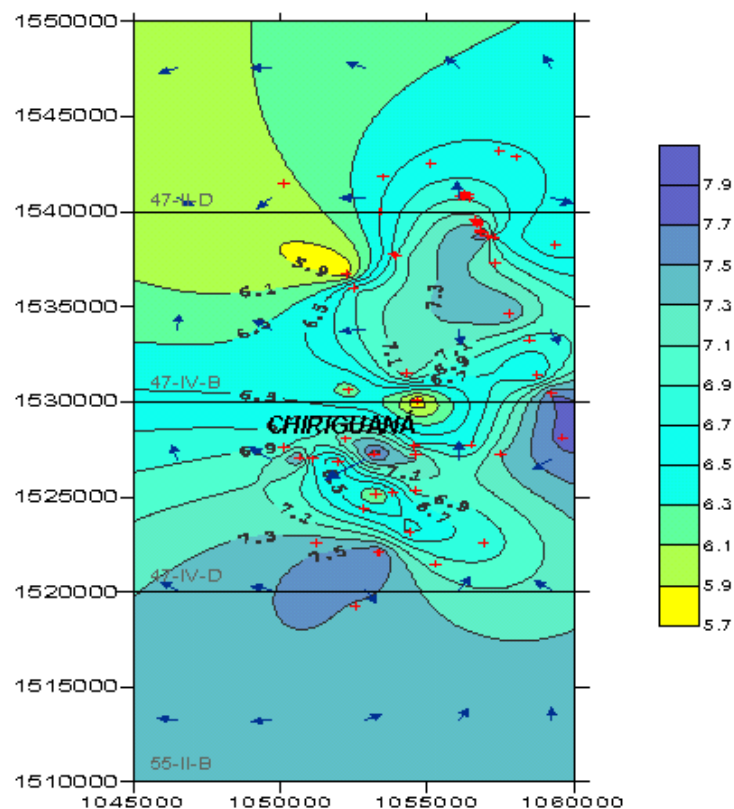
En los mapas de isótopos de conductividad y de sólidos disueltos totales del municipio de Chiriguaná se puede observar:

- 3 puntos sobresalientes con valor alto de conductividad y de SDT, originando isótopos concéntricos, lo que posiblemente modifica el modelo de flujo.
- El flujo de las aguas subsuperficiales tiene dirección Norte – Sur, sin embargo se observa que alrededor de las isótopos concéntricos el flujo tiende a cambiar de dirección.
- Los valores de conductividad para esta zona varían entre 2.07 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 3580 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Se debe tener en cuenta que el valor mínimo es muy bajo, por lo que es posible que haya un error en la toma de la muestra. Según el decreto 475 de 1998, “Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable” que indica los criterios de calidad de agua potable para el consumo humano, la conductividad debe encontrarse dentro de un rango de 50-1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, es decir aguas clasificadas como

dulces, por lo que el 81.4% de las muestras realizadas a los aljibes cumplen con la norma; sin embargo este mismo decreto plantea criterios de calidad del agua segura, que es aquella que sin cumplir algunas de las normas de potabilidad, puede ser consumida sin riesgo para la salud humana, en este caso la conductividad puede ser menor a 15000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, considerando que mayores de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se clasifican como aguas saladas, dentro de los datos analizados encontramos que el 18.1% de ellos sobrepasan el valor de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

- Los valores de Sólidos Disueltos Totales del agua captada por los aljibes se encuentran entre 1.04 mg/lit – 1820 mg/lit. El decreto 475 de 1998, el criterio de calidad de agua potable para el consumo humano en cuanto a SDT indica que deben ser menores a 500 mg/lit; y para agua segura, deben ser menores de 1000 mg/lit, por lo tanto el 96% de las aguas captadas por los aljibes cumplen con la norma.

Gráfica 7. Mapas de Isolíneas de pH de la unidad acuífera depósitos de Llanura Aluvial Qlla. Febrero de 2006. Municipio de Chiriguana.



En el mapa de IsopH se puede observar:

- Que se forman algunas isolíneas concéntricas en puntos con valores de pH tanto altos como bajos, afectando el modelo de flujo.

- El flujo de agua se dirige de Este a Oeste principalmente, aunque en algunos sitios debido a las isolíneas concéntricas el flujo cambia de dirección radicalmente.
- Los valores de pH de las aguas subsuperficiales captadas por los aljibes de esta zona, se encuentran dentro de un rango de 5.7 – 7.84; El decreto 475 de 1998, “Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable” indica que el rango de pH óptimo del agua para consumo humano debe ser entre 6.5 y 9, por lo tanto el 16.6% de los datos analizados se encuentran por debajo del rango, y el 83.3% restante cumplen con la norma.

7.3 Municipios de San Diego y La Paz

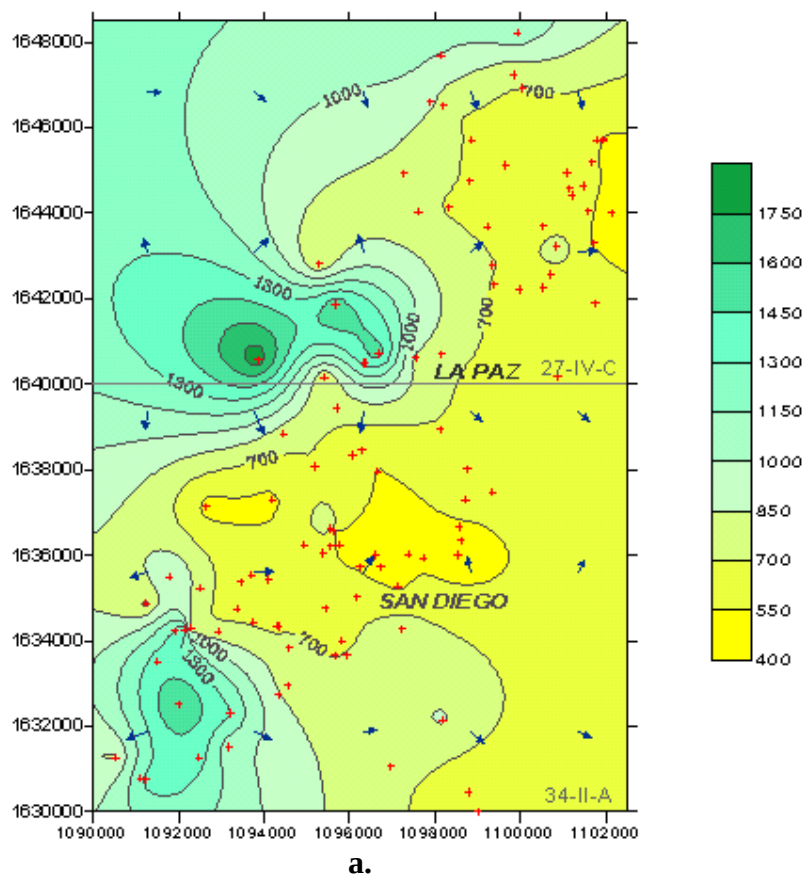
Para los municipios de San Diego y La Paz se realizó el modelo de flujo para cada parámetro, teniendo en cuenta que estos captan la tabla de agua de la unidad geológica Depósitos de Llanura Aluvial Qlla.

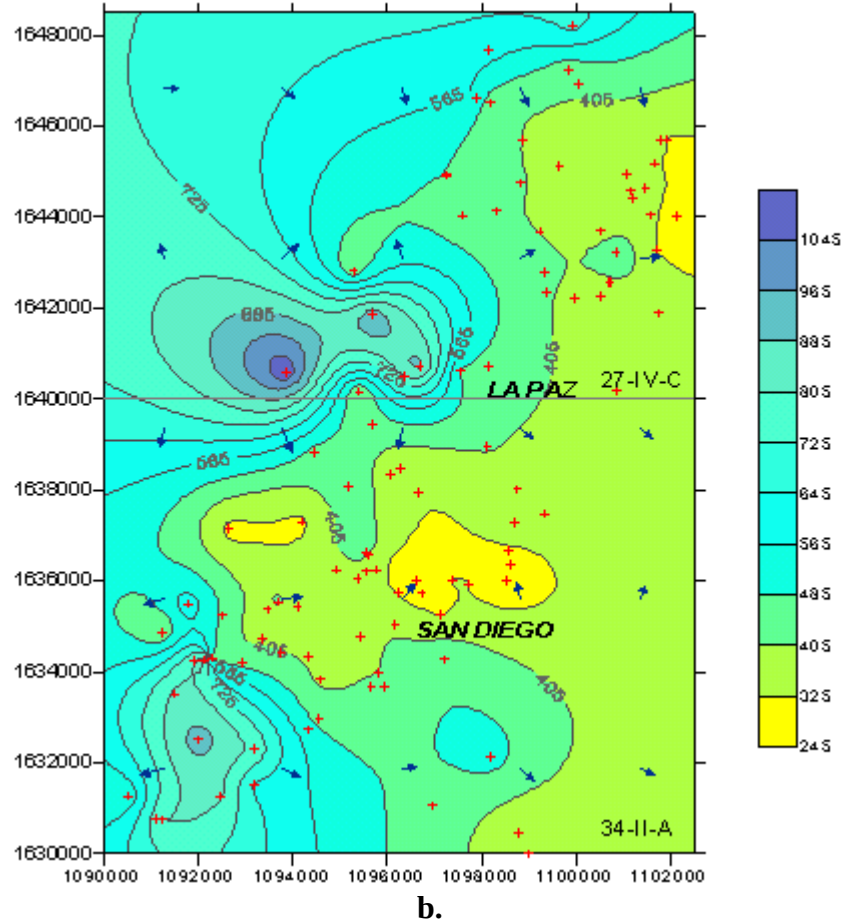
En la gráfica 8, mapas de isolíneas de conductividad y de sólidos disueltos totales se puede observar:

- 2 puntos sobresalientes con valor alto de conductividad y de SDT, los cuales se ubican al Noroeste y Suroeste de las gráficas donde se encuentran las isolíneas de alto valor de conductividad y SDT. Éstos dos puntos posiblemente modifican el modelo de flujo.
- Que la mayoría de los puntos de agua se encuentran concentrados a lo largo del mapa (Noreste – Suroeste), específicamente para el caso del mapa de isoconductividad están dentro de la franja amarilla, la cual indica las isolíneas con rango de 400 a 850 μs , y de igual forma para el mapa de isosólidos disueltos se ubican dentro de la franja amarilla-verde, es decir entre el rango de 245 a 485 mg/lit.
- El flujo de las aguas subsuperficiales tiene dirección Noroeste – Sureste principalmente.
- Los valores de conductividad para esta zona varían entre 410 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y 1848 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Según el decreto 475 de 1998, “Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable” que indica los criterios de calidad de agua potable para el consumo humano, la conductividad debe encontrarse dentro de un rango de 50-1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, es decir aguas clasificadas como dulces, por lo que el 85.2% de las muestras realizadas a los aljibes cumplen con la norma; sin embargo este mismo decreto plantea criterios de calidad del agua segura, que es aquella que sin cumplir algunas de las normas de potabilidad, puede ser consumida sin riesgo para la salud humana, en este caso la conductividad puede ser menor a 15000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, considerando que mayores de 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ se clasifican como aguas saladas, dentro de los datos analizados encontramos que el 14.7% de ellos sobrepasan el valor de 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

- Los valores de Sólidos Disueltos Totales del agua captada por los aljibes se encuentran entre 246 mg/lit – 1111 mg/lit. El decreto 475 de 1998, el criterio de calidad de agua potable para el consumo humano en cuanto a SDT indica que deben ser menores a 500 mg/lit; y para agua segura, deben ser menores de 1000 mg/lit, por lo tanto el 99% de las aguas captadas por los aljibes cumplen con la norma.

Gráfica 8. Mapas de Isolíneas de la unidad acuífera depósitos de Llanura Aluvial Qlla. Febrero de 2006. Municipios de San Diego y La Paz. **a)** Mapa de Isoconductividad; **b)** Mapa de Isosólidos disueltos totales.



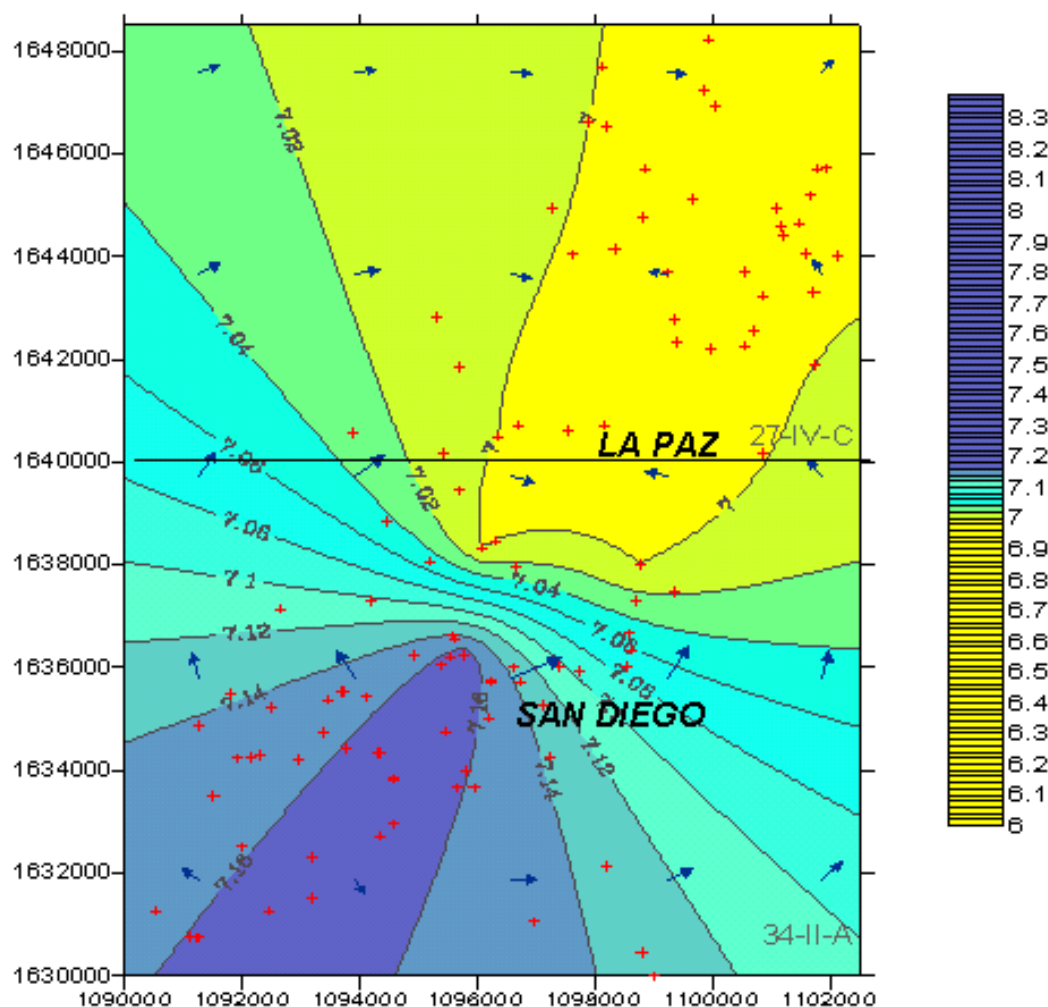


En la gráfica 9, mapa de IsopH se puede observar:

- Que los aljibes ubicados en el Norte del mapa, es decir en la plancha 27IVC, en donde se encuentra el municipio de La Paz, registran valores de pH relativamente bajos, aproximadamente en un rango entre 6 a 7.02 (zona amarilla-verde). Al contrario de los aljibes ubicados en la plancha 34IIA, más exactamente en el Sureste del mapa donde se encuentran la mayoría de los aljibes inventariados para este plancha, los cuales registran valores de pH altos con un rango de 7.14 a 8.3 (zona azul).
- El flujo de agua se dirige de Oeste a Este principalmente en la zona del Norte, y en la parte Sur del mapa, el flujo de agua tiene dirección Suroeste-Noreste partiendo de las isolíneas de mayor valor.
- Los valores de pH de las aguas subsuperficiales captadas por los aljibes de esta zona, se encuentran dentro de un rango de 6.06 – 8.37; El decreto 475 de 1998, “Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable” indica que el rango de pH óptimo del agua para consumo humano debe ser entre 6.5 y 9, por lo tanto los

datos analizados cumplen con la norma, teniendo en cuenta que sólo uno de ellos se encuentra por debajo del rango.

Gráfica 9. Mapas de Isolíneas de pH de la unidad acuífera depósitos de Llanura Aluvial Qlla. Febrero de 2006. Municipios de San Diego y La Paz.



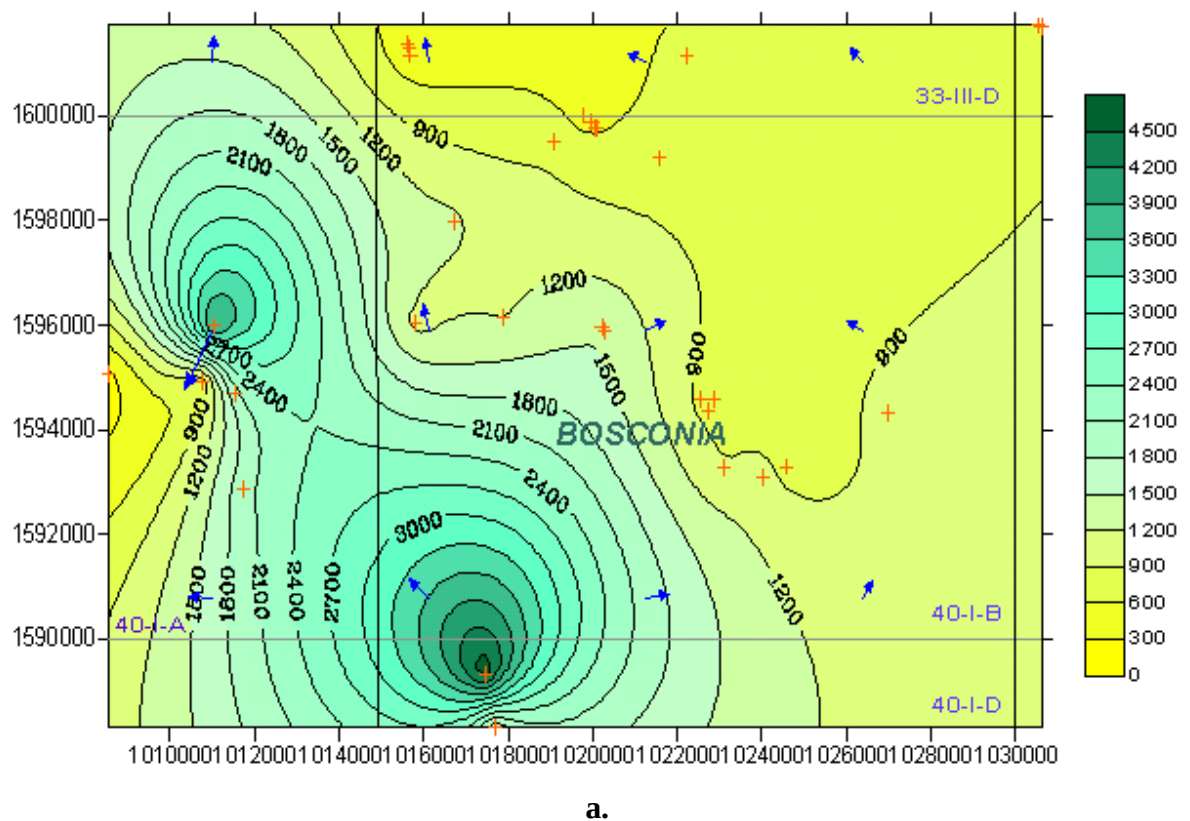
7.4 Municipio de Bosconia

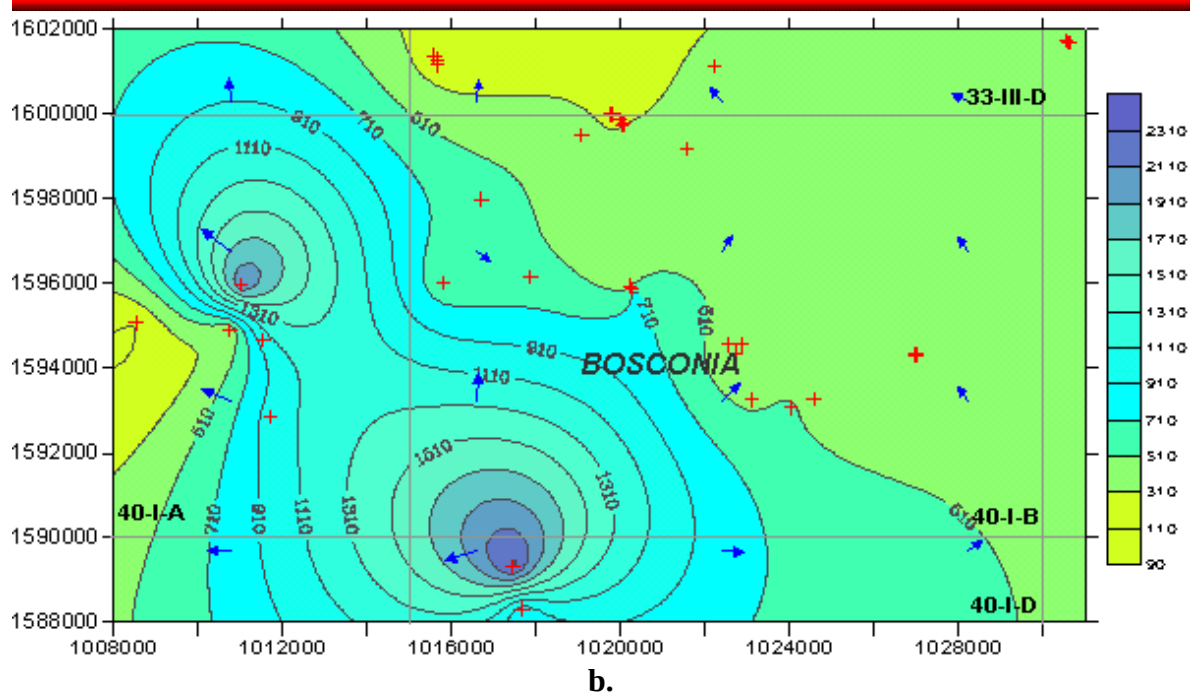
Para el municipio de Bosconia se realizó el modelo de flujo para cada parámetro, teniendo en cuenta la profundidad a la que captan la tabla de agua, esto debido a que se encontraron aljibes con profundidades mayores de 30 mt, los cuales no están captando la primera capa acuífera sino que pueden estar captando capas acuíferas más profundas, las cuales tienen características diferentes a las aguas captadas por los aljibes de menor profundidad.

Según lo anterior se realizaron mapas de isolíneas de conductividad, sólidos disueltos totales y pH, de manera independiente para aljibes que tienen profundidad entre 0-10 mt, 10-20 mt y 20-30 mt.

➤ **Aljibes con profundidad de 0-10 metros.**

Gráfica 10. Mapas de Isolíneas de la unidad acuífera depósitos de Llanura Aluvial Qlla. Febrero de 2006. municipio de Bosconia, profundidad entre 0-10 mt. **a)** Mapa de Isoconductividad; **b)** Mapa de Isosólidos disueltos totales.





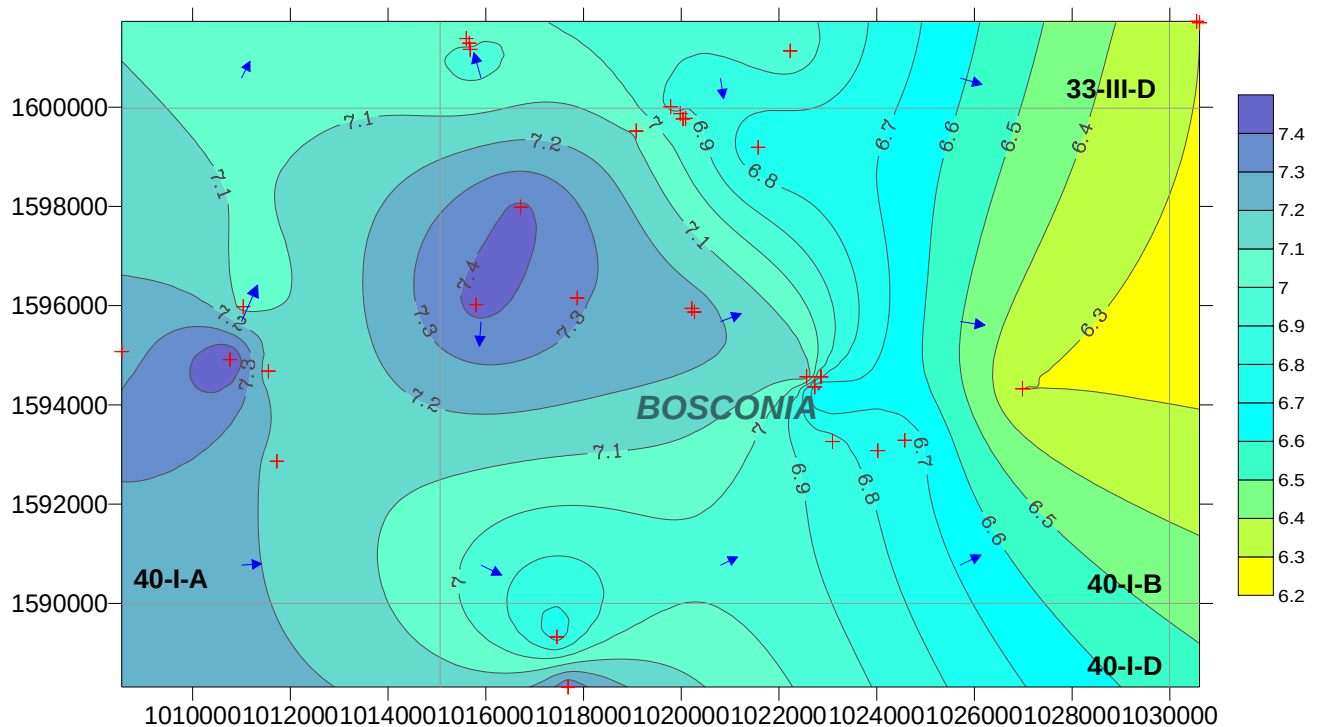
En los mapas de isolíneas de conductividad y de sólidos disueltos totales de aljibes con profundidad entre 0-10 mt se puede observar:

- Tanto en el mapa de isolíneas de conductividad como en el de sólidos disueltos totales, se forma una franja con dirección Noreste-Suroeste, debido a dos puntos de mayor valor de conductividad y de SDT, los cuales son centros de algunas isolíneas concéntricas, por lo tanto las isolíneas que conforman dicha franja son las de mayor valor, para el caso del mapa de isoconductividad las isolíneas de este franja se encuentran dentro de un rango de 1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 4500 $\mu\text{s}/\text{cm}$; y para el caso del mapa de isosólidos disueltos totales las isolíneas que conforman la franja se encuentran en un rango de 710 mg/lt a 2310 mg/lt .
- La mayor concentración de puntos de captación de agua se encuentran ubicados en la zonas que indican las isolíneas de menor valor de conductividad y de SDT; es decir dentro de la franja mencionada anteriormente sólo se encuentran el mínimo número de puntos.
- Los valores altos de conductividad y de SDT definen un modelo de flujo que diverge a partir del centro de las isolíneas concéntricas de conductividad, por lo que se observan dos direcciones de flujo de las aguas subsuperficiales; una con dirección hacia el Suroeste y otra hacia el Noreste, teniendo como punto de partida la franja mencionada anteriormente.
- Los valores de conductividad para los aljibes con profundidad entre 0-10 mt varían entre 117 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y 4730 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Según el decreto 475 de 1998, "Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable" que indica los criterios de

calidad de agua potable para el consumo humano, la conductividad debe encontrarse dentro de un rango de 50-1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, es decir aguas clasificadas como dulces, y los criterios de calidad del agua segura, que es aquella que sin cumplir algunas de las normas de potabilidad, puede ser consumida sin riesgo para la salud humana, en este caso la conductividad puede ser menor a 15000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, considerando que mayores de 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ se clasifican como aguas saladas, dentro de los datos analizados encontramos que el 31.2% de ellos sobrepasan el valor de 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

- Los valores de Sólidos Disueltos Totales del agua captada por los aljibes con profundidad entre 0-10 mt se encuentran entre 111mg/lt – 2380 mg/lt. El decreto 475 de 1998, el criterio de calidad de agua potable para el consumo humano en cuanto a SDT indica que deben ser menores a 500 mg/lt; y para agua segura, deben ser menores de 1000 mg/lt, por lo tanto el 90.6% de las aguas captadas por los aljibes cumplen con la norma.

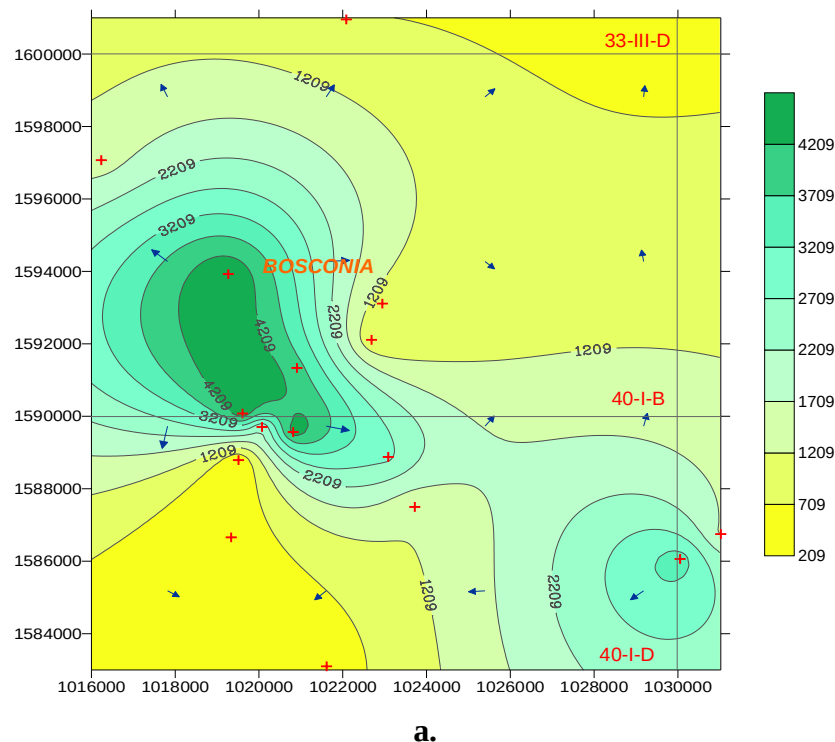
Gráfica 11. Mapas de Isolíneas de pH de la unidad acuífera depósitos de Llanura Aluvial Qlla. Febrero de 2006. Municipio de Bosconia, profundidad entre 0-10 mt.

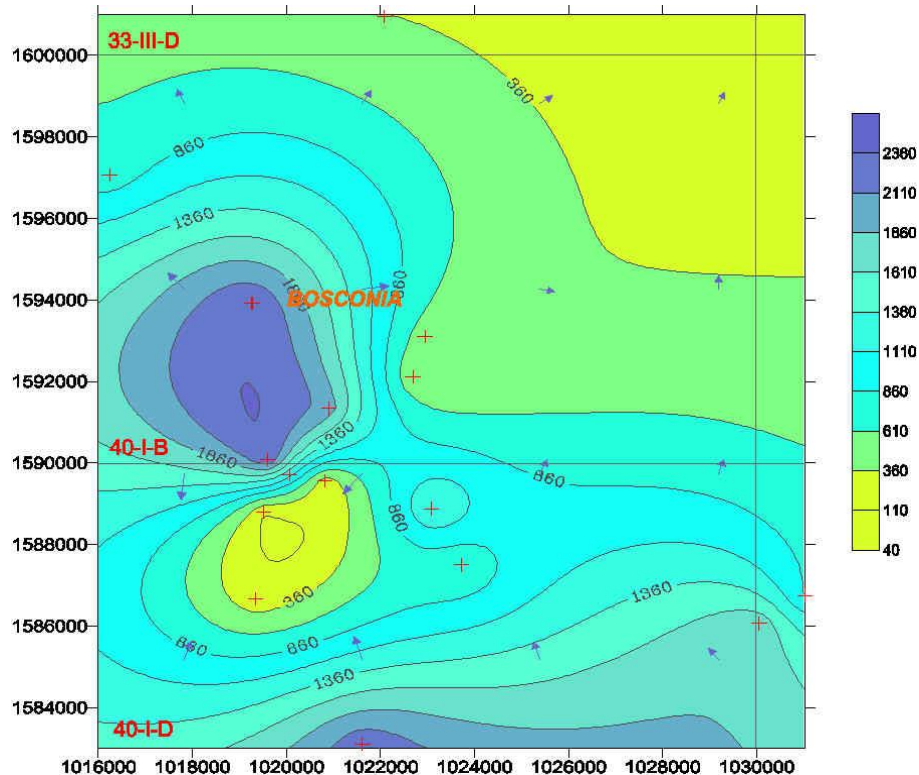


En la gráfica anterior sobresalen las siguientes características:

- Hacia el Este se encuentran las isolíneas con menor valor de pH, entre los valores de 6.2 a 6.9, y así mismo hacia el Oeste se encuentran las isolíneas con mayor valor en un rango entre 7.1 a 7.4.
- El flujo de agua se dirige de Oeste a Este, es decir de mayor valor de pH a menor valor.
- Los valores de pH de las aguas subsuperficiales captadas por los aljibes de esta zona, se encuentran dentro de un rango de 6.3 – 7.52; El decreto 475 de 1998, “Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable” indica que el rango de pH óptimo del agua para consumo humano debe ser entre 6.5 y 9, por lo tanto los datos analizados cumplen con la norma, teniendo en cuenta que sólo uno de ellos se encuentra por debajo del rango.
- **Aljibes con profundidad de 10-20 metros.**

Gráfica 12. Mapas de Isolíneas de la unidad acuífera depósitos de Llanura Aluvial Qlla. Febrero de 2006. municipio de Bosconia, profundidad entre 10-20 mt. **a)** Mapa de Isoconductividad; **b)** Mapa de Isosólidos disueltos totales





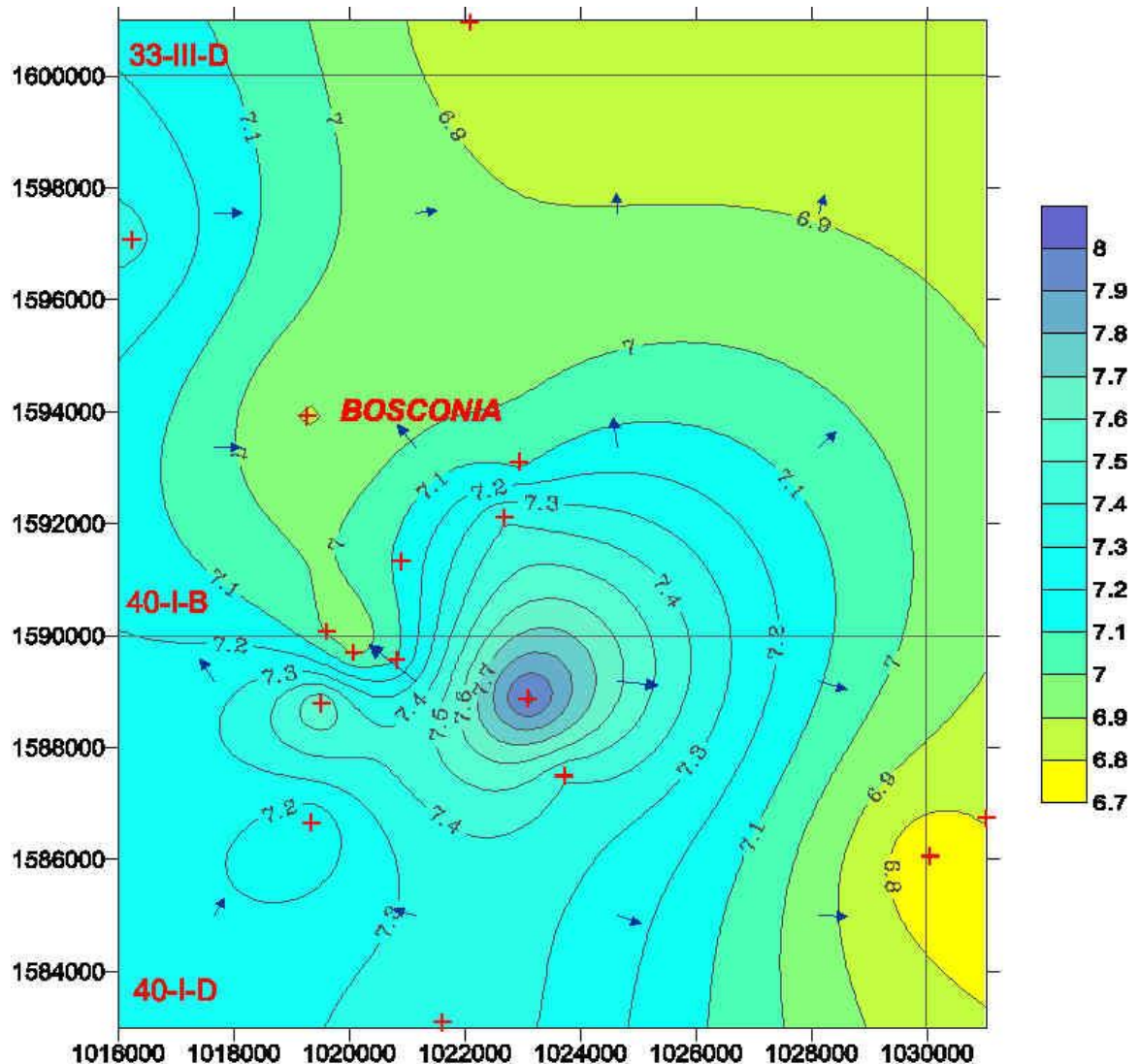
b.

En los mapas de isolíneas de conductividad y de sólidos disueltos totales de aljibes con profundidad entre 10-20 mt se puede observar:

- En el mapa de isoconductividad, un punto con alto valor de conductividad el cual forma algunas líneas concéntricas, y en el mapa de isolíneas de sólidos disueltos totales, dos puntos que también forman algunas líneas concéntricas, pero en este caso uno es de valor alto y otro con valor bajo de SDT.
- Que el flujo de agua tienen dirección de Oeste - Este principalmente, sin embargo para el caso del mapa de isoconductividad, éste se ve afectado por las líneas concéntricas de alto valor, ya que dirigen el flujo con dirección Norte o dirección Oeste, lo que no es normal; y en el mapa de isosólidos disueltos totales se observa este mismo comportamiento con respecto a los puntos de mayor y menor valor de SDT, además se identifica que en la parte sur de este mapa hay algunas isolíneas de alto valor de SDT las cuales dirigen el flujo de agua hacia el norte.
- Los valores de conductividad para los aljibes con profundidad entre 10-20 mt varían entre 209 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y 4700 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Según el decreto 475 de 1998, el 37.5% de los datos analizados cumplen con los criterios de calidad para el agua potable.
- Los valores de Sólidos Disueltos Totales del agua captada por los aljibes con profundidad entre 0-10 mt se encuentran entre 111mg/lit – 2350 mg/lit. Teniendo en cuenta el decreto 475 de 1998, el criterio de calidad de agua potable para el

consumo humano en cuanto a SDT indica que deben ser menores a 500 mg/lt; y para agua segura, deben ser menores de 1000 mg/lt, por lo tanto el 56.2% de las aguas captadas por los aljibes cumplen con la norma.

Gráfica 13. Mapas de Isolíneas de pH de la unidad acuífera depósitos de Llanura Aluvial Qlla. Febrero de 2006. Municipio de Bosconia, profundidad entre 10-20 mt.

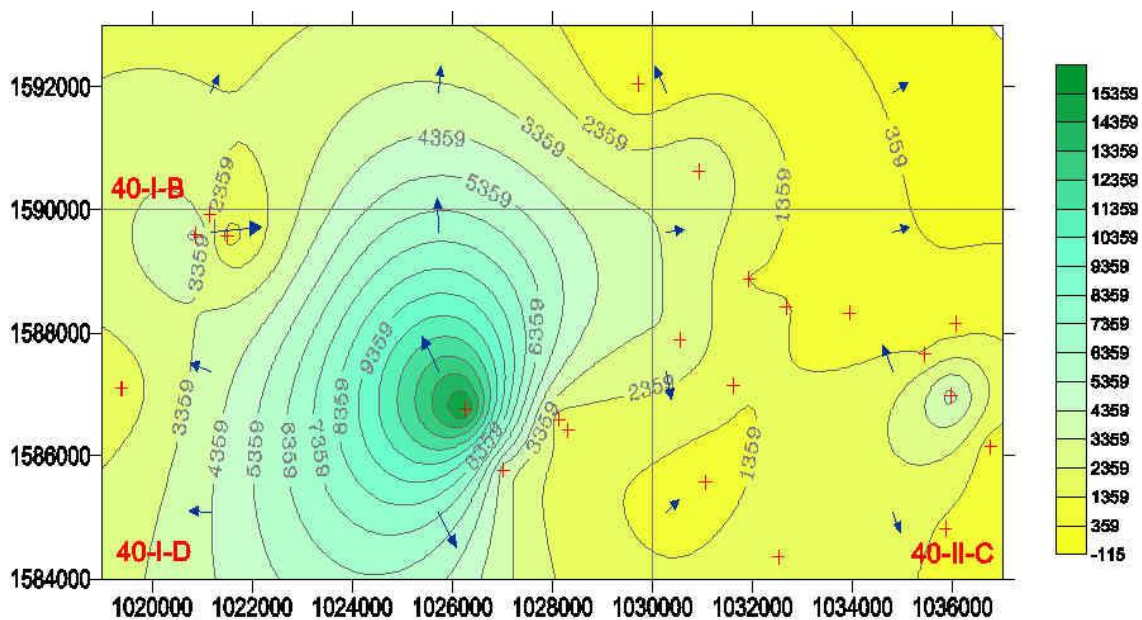


En la gráfica se observa:

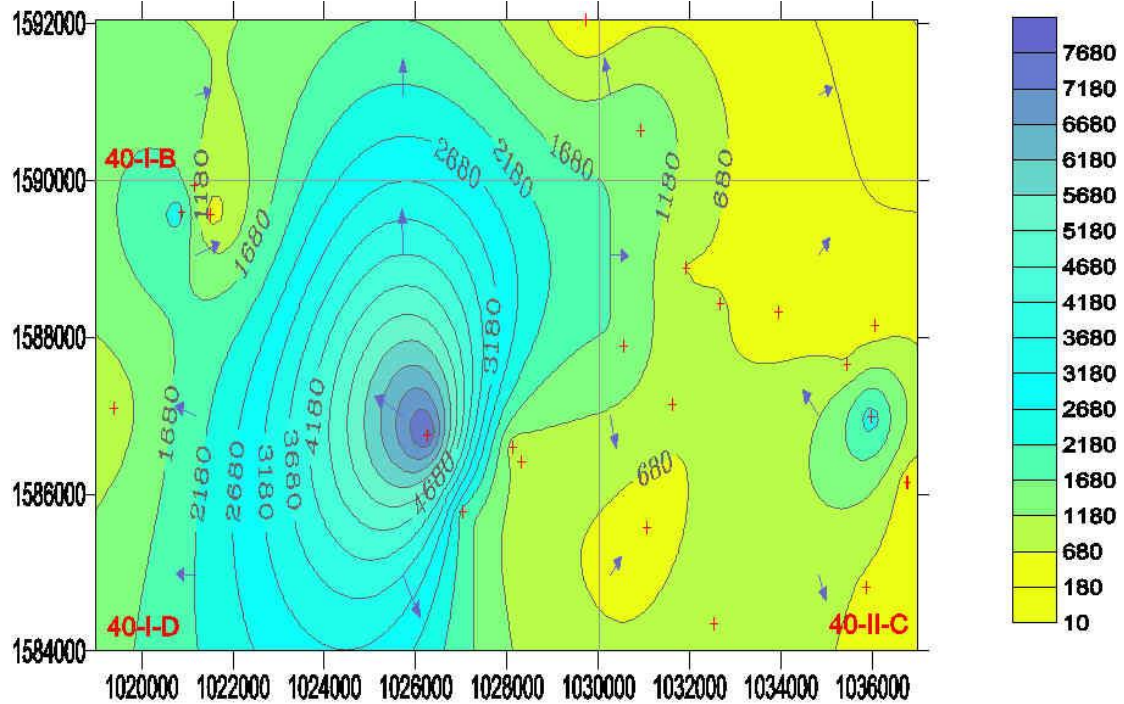
- Que la mayoría de puntos de agua analizados se encuentran dentro de un rango de pH de 7.1 a 8, los cuales se ubican en la parte sur de la plancha 40IB y gran parte de la plancha 40ID, así mismo se puede observar que al Noreste del mapa y parte Este del mismo se registran las isótopas de menor valor de pH.

- Se puede observar que el flujo de agua no tiene una dirección definida, ya que las isolíneas de mayor valor de pH que se encuentran ubicadas en el centro del mapa interfiere con el modelo de flujo, dirigiéndolo en distintas direcciones.
- Los valores de pH de las aguas subsuperficiales captadas por los aljibes de esta zona, se encuentran dentro de un rango de 6.71 – 8.04; El decreto 475 de 1998, “Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable” indica que el rango de pH óptimo del agua para consumo humano debe ser entre 6.5 y 9, por lo tanto los datos analizados cumplen con la norma.
- **Aljibes con profundidad de 20-30 mt.**

Gráfica 14. Mapas de Isolíneas de la unidad acuífera depósitos de Llanura Aluvial Qlla. Febrero de 2006. municipio de Bosconia, profundidad entre 20-30 mt. **a)** Mapa de Isoconductividad; **b)** Mapa de Isosólidos disueltos totales.



a.



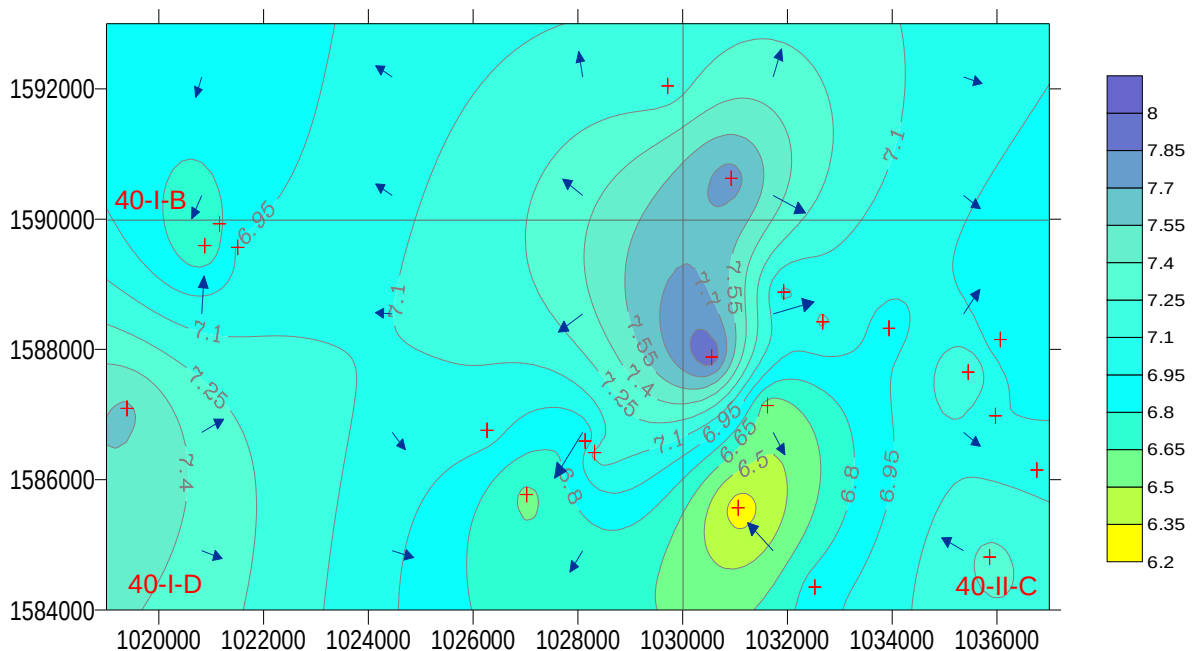
b.

En las gráficas anteriores se encuentran las siguientes características:

- En el Este del mapa se encuentran la mayoría de los aljibes, más exactamente en la plancha 40IIC, en donde también se ubican las isolíneas de menor valor tanto de conductividad como de SDT. En el centro del mapa se identifica un punto con alto valor tanto de conductividad como de SDT, el cual es centro de varias líneas concéntricas, esto es debido a que no hay otro punto con valor similar con el que se pueda interpolar y formar correctamente las isolíneas.
- Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se observa que las isolíneas concéntricas interfieren en el modelo de flujo, ya que a partir de éstas el flujo de agua toma diferentes direcciones.
- Los valores de conductividad para los aljibes con profundidad entre 20-30 mt varían entre 359 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y 15560 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Según el decreto 475 de 1998, el criterio de calidad para el agua potable en cuanto a conductividad ésta debe ser menor a 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, por lo tanto el 27.2% cumplen con la norma, y en cuanto al agua segura el criterio para conductividad es que debe ser menor a 15000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, teniendo en cuenta esto el 4.5% de los datos no cumplen con esta norma (lo equivalente a un dato), el cual está por encima del rango admisible para el agua segura.
- Los valores de Sólidos Disueltos Totales del agua captada por los aljibes con profundidad entre 20-30 mt se encuentran entre 181mg/lt – 7830 mg/lt. Teniendo en

cuenta el decreto 475 de 1998, el criterio de calidad de agua potable para el consumo humano en cuanto a SDT indica que deben ser menores a 500 mg/lit; y para agua segura, deben ser menores de 1000 mg/lit, por lo tanto el 59% de las aguas captadas por los aljibes cumplen con la norma.

Gráfica 15. Mapas de Isolíneas de pH de la unidad acuífera depósitos de Llanura Aluvial Qlla. Febrero de 2006. Municipio de Bosconia, profundidad entre 10-20 mt.



En el mapa de isolíneas de pH se observa

- Que la mayoría de puntos de agua analizados se encuentran dentro de un rango intermedio es decir con valores entre 6.6 a 7.2 de pH, y por lo tanto las isolíneas con estos valores son las que predominan en el mapa; sin embargo se identifican dos puntos uno con valor alto y otro con valor bajo, los cuales forman algunas isolíneas concéntricas.
- Que aunque la mayoría de los puntos se encuentran dentro de un rango intermedio, los puntos con mayor y menor valor de pH que están formando algunas isolíneas concéntricas, interfieren en el modelo de flujo, ya que aunque son de valores opuestos se encuentran muy cerca, haciendo que el flujo se dirija en dos sentidos a partir de éstas, uno con sentido Este y otro con sentido Oeste.
- Los valores de pH de las aguas subsuperficiales captadas por los aljibes de esta zona, se encuentran dentro de un rango de 6.26 – 7.98; El decreto 475 de 1998, “Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable” indica que el rango de pH óptimo del agua para consumo humano debe ser entre 6.5 y 9, por lo tanto el 95.4% de los datos analizados cumplen con la norma.

8. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

En la cabecera y en el área de influencia rural del municipio de Bosconia se extienden subsuperficialmente y en el subsuelo unidades roca sedimento que forman acuíferos locales a semiregionales de poca a gran importancia hidrogeológica.

El límite municipal de Bosconia se extiende a través de dos subprovincias hidrogeológicas que Ingeominas (1994) las identifica de acuerdo a la ocurrencia de las aguas subterráneas. Dichas subprovincias corresponden a la denominadas Sierra Nevada de Santa Marta y Planicie del Cesar. En cada una de estas subprovincias hidrogeológicas se han identificado varios sistemas acuíferos o formaciones o unidades roca sedimento que pueden contener a la vez uno o varias capas acuíferas que de acuerdo a las presiones a las cuales estén sometidas pueden ser de tipo libre, semiconfinado o confinado).

8.1 Subprovincia Hidrogeológica Sierra Nevada de Santa Marta

La margen suroccidental de las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta hace parte de esta subprovincia hidrogeológica, conformando la zona montañosa del municipio de Bosconia, la cual es drenada por el cauce y los tributarios del río Cesar y Ariguani principalmente.



Foto 17. Depósito Llanura Aluvial (Qlla) con elevación de la formación Guatapurí (Trg)

En el municipio de Bosconia esta subprovincia la conforman rocas metamórficas, ígneas intrusitas y volcánicas, complejos volcánicos clásticos y en menor proporción calizas y depósitos de piedemonte.

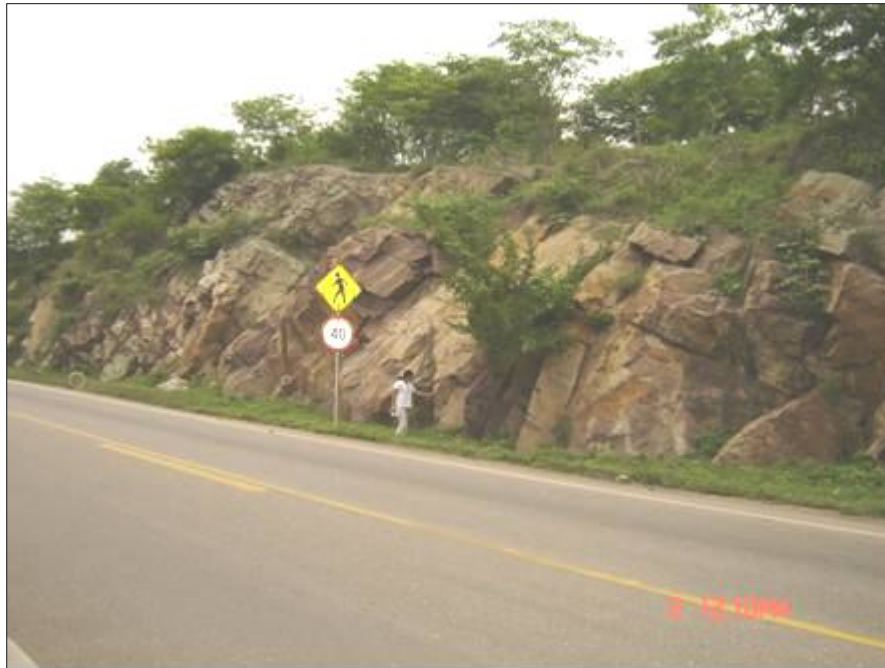


Foto 18. Formación Guatapurí a la entrada de Bosconia

La Subprovincia Hidrogeológica Sierra Nevada de Santa Marta en el municipio de Bosconia presenta condiciones húmedas sobre rocas ígneas intrusivas y volcánicas, con muy pocas posibilidades de infiltración y una región árida en su gran mayoría sobre rocas sedimentarias, razón por la cual se le ha considerado de poca importancia hidrogeológica. Desde el punto de vista de flujo se le considera como la fuente de recarga de los sistemas de drenajes que se extienden sobre la subprovincia Planicie del Cesar.

8.2 Subprovincia Planicie del Cesar

La zona baja, plana a semiplana de la cabecera y área de influencia rural del municipio de Bosconia hace parte de la Subprovincia Hidrogeológica Planicie del Cesar; incluye afloramientos rocosos que forman cerros aislados sobre la planicie, la cual se encuentra drenada por el cauce del río Ariguaní y sus tributarios.

En el municipio de Bosconia la Subprovincia Hidrogeológica Planicie del Cesar la conforman sedimentos aluviales con granulometría predominantemente gravas gruesas a arenas de grano medio a gruesa, perteneciente al Cuaternario. En menor proporción se encuentran rocas sedimentarias de grano fino a grueso, como la Formación Guatapurí, de edad Terciaria y rocas volcánoclasticas y flujos volcánicos del triásico Jurásico, conformando estas ultimas cerros aislados.



Foto 19. Depósitos de Llanura Aluvial en el municipio de Bosconia.

La Subprovincia Hidrogeológica Planicie del Cesar, en la parte plana del municipio de Bosconia presenta condiciones áridas, que origina que los unidades roca sedimentos que forman acuíferos sean recargados por el agua proveniente de la precipitación en época de fuerte invierno, donde hay ocurrencia también flujos superficiales en las quebradas, caños y quebradas que drenan la planicie del Cesar.

8.3 Grupos Hidrogeológicos y Sistemas Acuíferos

El Departamento del Cesar fue dividido en tres grandes grupos hidrogeológicos teniendo en cuenta el tipo de porosidad de sus unidades geológicas, su importancia hidrogeológica como almacenadora de agua subterránea y sus posibilidades de explotación. Los tres grupos corresponden a :

- Grupo de Sedimentos y Rocas porosas con Importancia Hidrogeológica Relativa Grande a muy pequeña.
- Grupo de Rocas Fracturadas y Porosas con Importancia Hidrogeológica Relativa Grande a Pequeña.
- Grupo de Sedimentos y Rocas Porosas o Fracturadas con muy Pequeña Importancia Hidrogeológica o sin Importancia.

8.3.1 Grupo de sedimentos y rocas porosas con importancia hidrogeológica relativa grande a muy pequeña.

El Grupo Hidrogeológico conocido como Grupo de Sedimentos y Rocas porosas con importancia Hidrogeológica Relativa Grande a muy pequeña, se encuentra constituido por sedimentos inconsolidados y rocas poco compactas que presentan porosidad primaria y buenas posibilidades como acuíferos. Este grupo se ha dividido en cuatro clases hidrogeológicas, cada una de las cuales a su vez agrupa a dos o más unidades geológicas (sistemas acuíferos) de edades cuaternarias y terciarias, depositadas en ambientes de carácter continental y marino.

Sistema Acuífero Llanura Aluvial Qlla

El Sistema Acuífero Llanura Aluvial esta constituido por sedimentos inconsolidados de origen aluvial que rellenaron durante el cuaternario una paleo topografía irregular controlada por una tectónica de bloques y plieques, razón por la cual son muy comunes sus cambios laterales de facies y de espesores.

El subsuelo del municipio de Bosconia y su área de Influencia rural se emplazan en un sector tectónico conocido como el Sector del Bloque del río Ariquani, el cual se encuentra limitado al oriente por la falla de Caracolicito, al occidente por la falla de Chimichagua y el límite departamental, al norte con el límite Departamental con el Departamento del Magdalena y al sur termina contra las estribaciones de la Cordillera Oriental.

Desde el punto de vista litológico se encuentra constituido por capas delgadas intercaladas de limos, arenas y algunas gravas, depositadas sobre rocas terciarias. El sistema acuífero es de tipo libre a semiconfinado, con espesores que varían de 10 y 40 m. El inventario de puntos de agua realizado permitió conocer que los niveles estáticos que captan esta unidad se encuentran a profundidades del orden entre 5 y 15 m.

En el área donde se ha realizado el inventario de puntos de agua el sistema acuífero de llanura aluvial es explotado por 48 aljibes, con profundidades desde 4.78 m hasta 42.5 m. Los aljibes presentan caudales estimados del orden de 0.3 a 3.6 l/s. Su régimen de bombeo es según la necesidad de cada finca, este puede llegar a ser de 15 a 20 minutos al día o hasta 12 horas al día.

En el sector actualmente inventariado se encuentran 15 pozos que también captan capas acuíferas de este sistema. Se estima que presentan caudales promedios del orden de 60 l/s, localmente son saltantes y presentan caudales reportados del orden 1l/s; en general con regímenes de bombeo de 2 a 12 horas al día. Por sus características litológicas se le asigna una conductividad media del orden entre 1 a 10 m/día.

La dirección predominante del flujo subterráneo tendiendo en cuenta las izo líneas de conductividad eléctrica en este sector, es hacia el suroccidente, aportando sus aguas a los ríos Ariguaní, Cesar y las ciénagas, en las épocas de sequía.

Por las anteriores características el Sistema Acuífero Llanura Aluvial en el sector del bloque del río Ariguaní, se le considera que tienen una importancia hidrogeológica de tipo intermedio.

Sistema Acuífero Sedimentitas de Arjona (Tpaa)

El Sistema Acuífero Sedimentitas de Arjona (Tpaa) se extiende en el subsuelo del municipio de Bosconia, asociado a los Bloques Tectónicos del Ariguaní, y los Venados, donde es captado por los pozos profundos que abastecen el sector de Palmas y los pozos del acueducto de Bosconia.

La secuencia litológica atravesada por los pozos muestra una secuencia de areniscas, limolitas y arcillolitas intercaladas, que en los sondeos eléctricos verticales presentan valores de resistividad desde 5 hasta 30 Ohm-m. Los pozos ubicados al suroccidente de Bosconia y que captan esta unidad presentan profundidades entre 177 y 200 m de profundidad. Los caudales de explotación varían entre 60 l/s y 100 l/s, con régimen de operación de 3 y 14 horas al día.

En general el sistema Acuífero Sedimentitas de Arjona (Tpaa) , se comporta como un acuífero confinado de tipo multicapas, , es de extensión regional limitada y continuo, se le considera de una importancia hidrogeológica intermedia , por la relativa baja producción de sus diferentes capas acuíferas.

8.3.2 Grupo de rocas fracturadas y porosas con importancia hidrogeológica relativa grande a pequeña.

El Grupo de Rocas Fracturadas y porosas con importancia Hidrogeológica Relativa grande a Pequeña aflora y se extiende en el subsuelo del Municipio de Bosconia y su área de

influencia rural, se encuentra constituido por rocas calcáreas compactas, las cuales presentan porosidad secundaria por fracturamiento.

El Grupo Cogollo (Kmc), de edad cretácica y depositado en un ambiente marino, constituye uno de los sistemas hidrogeológicos que hace parte del grupo mencionado anteriormente.

Sistema Acuífero Grupo Cogollo (Kmc).

El Sistema Acuífero Grupo Cogollo de edad cretácica y depositado en un ambiente marino, aflora en las estribaciones suroccidentales de la Sierra Nevada de Santa Marta, y en el subsuelo de la Planicie del Cesar, ambos en el municipio de Bosconia, haciendo parte de varias estructuras geológicas, asociadas al Bloque Tectónico Los Venados.

EL Grupo Cogollo mitológicamente esta constituido por capas gruesas de calizas, intercaladas con calizas arenosas y delgadas capas de limonitas calcáreas , afectadas por diaclasas y procesos de disolución (grietas, dolinas y cavernas), sus afloramientos se comportan como verdaderas zonas de recarga, con espesores reportados que pueden variar de 1200 a 3000 m.

En el subsuelo del municipio de Bosconia conforma varias estructuras geológicas, cubiertas generalmente por el Sistema Acuífero Llanura Aluvial (Qlla) el cual confina todo este sistema. Presenta una conductividad hidráulica que varía de alta a baja, formando acuíferos por lo general de tipo confinado a semiconfinado.

8.3.3 Grupo de sedimentos y rocas porosas o fracturadas con muy poca importancia hidrogeológica.

El Grupo de Sedimentos y Rocas Porosas o Fracturadas con muy poca Importancia Hidrogeológica corresponden a la clase hidrogeológica constituida por rocas sedimentarias y volcanosedimentarias de edades cretácicas y triásico jurásicas con porosidad primaria y secundaria las cuales pertenecen a la Subprovincia Sierra Nevada de Santa Marta.

La clase hidrogeológica mencionada anteriormente afloran y se extiende localmente en el subsuelo del Municipio de Bosconia; se les considera de pequeña a muy pequeña importancia hidrogeológica, debido a que presentan conductividades hidráulicas bajas originadas por sus características litológicas y la interpretación de las pruebas de bombeo. Localmente y dependiendo de la densidad de fracturamiento o diaclasamiento o intensidad de la meteorización pueden formar acuíferos de muy pequeña importancia hidrogeológica que pueden alcanzar valores medios de conductividad hidráulica.

9. CARACTERIZACION AMBIENTAL

La descripción del componente ambiental de los municipios objeto de estudio del convenio 201/2004, presentada a continuación, es el producto del reconocimiento ambiental realizado en septiembre de 2005, y de la consulta a los esquemas de ordenamiento territorial de cada uno de los municipios. En este reconocimiento ambiental se georeferenció y se identificó el funcionamiento de los basureros, cementerios, mataderos, lagunas de oxidación y plantas de tratamiento para agua potable de cada municipio, cuyas actividades pueden contaminar las aguas subterráneas. Además durante el inventario de puntos de captación de agua subterránea en el municipio de Bosconia, se identificaron posibles puntos de contaminación puntual tales como pozas sépticas y letrinas.

9.1 Municipio de Bosconia

Disposición final de residuos sólidos

El servicio de aseo del municipio es prestado por la Empresa de Servicios Públicos de Bosconia Empobosconia. En la foto 1. se puede observar las condiciones del botadero a cielo abierto, del cual se tienen los siguientes datos:

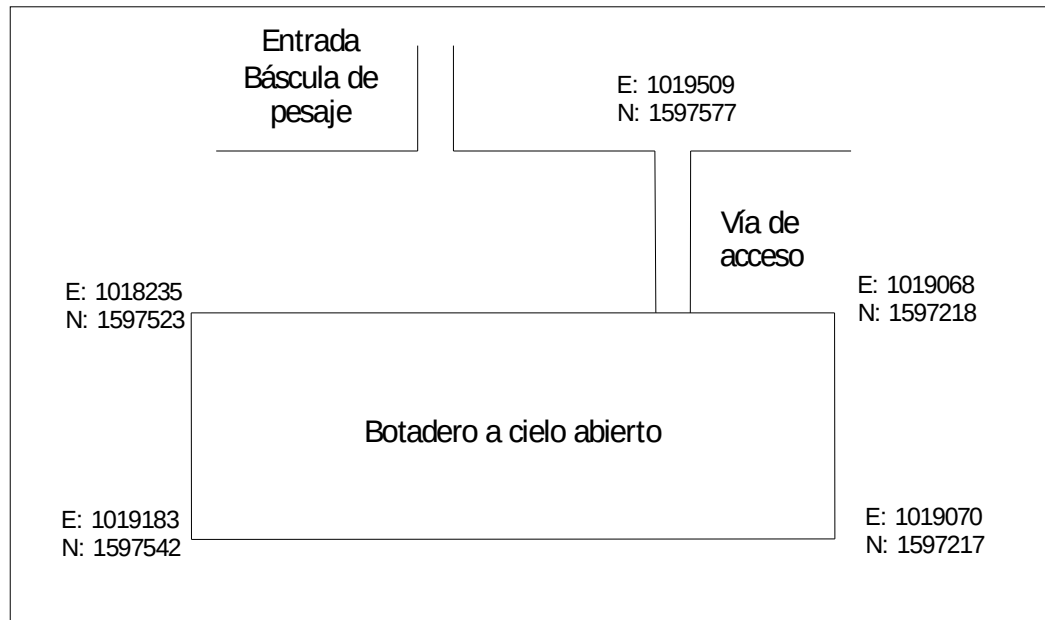
- Se encuentra ubicado en parte Noroccidental del casco urbano, su acceso se halla en el kilómetro dos de la vía que de Bosconia conduce a Fundación margen izquierda. Desde el punto de vista hidrogeológico se encuentra ubicado en la formación del Guatapurí (Trg).
- Tiene una extensión de 4 Hectáreas.
- Cuenta con cerramiento en muros de bloque y alambre de púa, con una altura de dos metros (1 metro en bloque y el otro en alambre), un portón metálico de cuatro metros de ancho por tres de alto, además cuenta con un área construida para la celaduría.
- No se realiza separación de residuos, se almacenan juntos los residuos convencionales con los residuos peligrosos.



Foto 20. Botadero a cielo abierto del municipio de Bosconia.

- No se lleva un control de entrada de los residuos, aunque hay báscula para realizar el pesaje éste no se hace.
- No se ha determinado la producción Per Cápita.
- El botadero cuenta con 6 trabajadores, 3 cuadrilleros y 1 conductor.
- La frecuencia de la recolección de los residuos es de 6 a 8 días en el sector residencial y cada 3 días en el sector comercial, teniendo una cobertura del 50%, a través de un vehículo recolector, recogiendo un promedio de 14 toneladas diarias, no se hace microruteo. cuanto a la parte Rural, el vehículo recolector presta sus servicios cada 8 días en el corregimiento de Loma Colorada y en el resto de la zona rural del municipio no existe este servicio.
- Una parte de la basura recolectada se elimina mediante la incineración.
- Presencia de gas, por lo que hay combustión de los residuos.
- No se controlan los lixiviados.
- No hay señalización a la entrada del botadero, ni vigilancia.

- Se almacena chatarra, y hay personas que hacen la recolección de ésta.
- Adicionalmente se presta el servicio de aseo a través del sistema de escobitas en el sector comercial, terminal de transportes y parque municipal con ayuda de recipientes metálicos colocados en los diferentes sectores de la ciudad.



Gráfica 16. Localización del botadero a cielo abierto del municipio de Bosconia.

Tratamiento de aguas residuales



Foto 21. Lagunas de Oxidación del municipio de Bosconia.

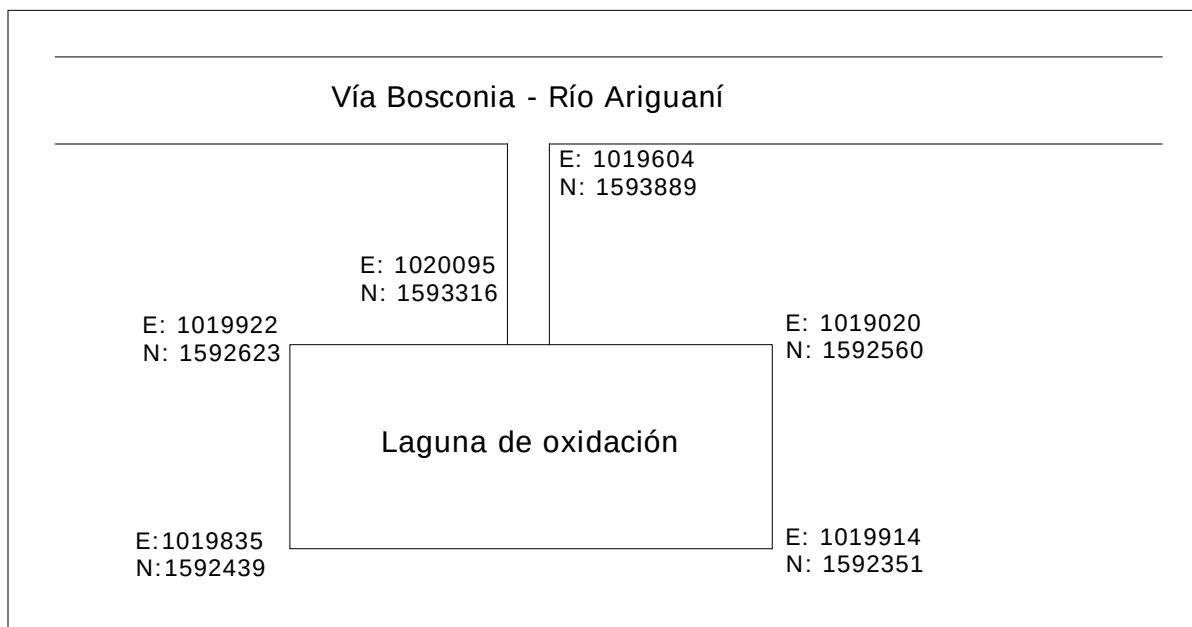
La laguna de oxidación del municipio se encuentra ubicada en parte suroccidental a dos Km. del casco urbano municipal, posee una área de carga o activa de 18.000 m², (90X200), profundidad promedio de 1.20. A ella llegan las aguas servidas por una tubería de concreto de 15" de diámetro, el tratamiento que reciben esta agua, es la acción conjunta que ejercen la luz solar y las brisas, además la decantación al recorrer los 200 metros de longitud para llegar a la trampa de grasas que posee al final y así continuar con su recorrido por un canal construido con una longitud de 1000 metros, el cual desemboca en un ramal del arroyo el jobo quien a su vez lo conduce hasta el canal Garcez, realizando un recorrido aproximado de 5 kilómetros.

Al agua de la laguna se le ha realizado muestreo por parte de Corpocesar y EmpoBosconia, pero los resultados no son conocidos por el operador, no se ha realizado medición de caudal.

Desde el punto de vista hidrogeológico se encuentra ubicado en la unidad acuífera Depósitos de Llanura Aluvial Qlla.

No existe un sistema de monitoreo de la calidad y cantidad de las aguas subsuperficiales (niveles freáticos, parámetros de calidad de agua) a través de pozos de observación o piezómetros en el área de influencia de la laguna de oxidación.

El mantenimiento de la laguna es anual, y es realizado por 6 personas.



Gráfica 17. Localización de la laguna de oxidación en el municipio de Bosconia.

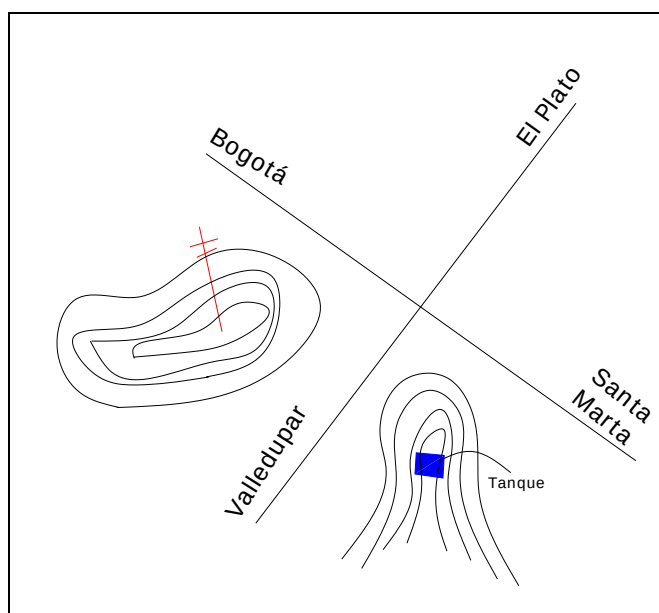
Tratamiento de aguas para consumo humano



Foto 22. Tanque de almacenamiento de agua potable del municipio de Bosconia.

El tanque tiene una capacidad de 1000 m^3 , se llena en 5 horas y se desocupa en 3 horas, el llenado es constante. El agua almacenada en este tanque se distribuye a la mitad de Bosconia por medio de tubería de conducción domiciliaria de 10”.

Los resultados de los análisis fisicoquímico que le realizan al agua, indican que ésta no es apta para el consumo humano.



Gráfica 18. Localización del tanque de almacenamiento en el municipio de Bosconia.

Matadero



Foto 23. Laguna del Matadero del municipio de Bosconia.

Se encuentra ubicado en la parte sur este de la Cabecera Municipal a una distancia de 5,5 kilómetros aproximadamente.

El matadero consta de una parte locativa moderna dotada de los elementos necesarios tales como sitio de sacrificio, sala de desollé (pelada de ganado), despresadero, lavadero de viseras, sala para sacrificar ganado menor como cerdo, carnero, y otros. Sin embargo el sacrificio de ganado se viene haciendo en las instalaciones viejas, que tiene dos corrales con piso de cemento, un corral con techo, que es donde se sacrifica el ganado y el otro corral sin techo en donde permanece el resto a sacrificar.

Tiene dos estanques donde van las aguas negras del matadero, las cuales llegan por medio de una canal de cemento que tiene una longitud aproximada de 50 metros, por lo que no se hace tratamiento a la sangre, provocando la presencia de carroñeros como se observa en la foto. Además la laguna tiene alto contenido de lodos, natas, grasas aceites y espumas, emitiendo malos olores.

Cuando las lagunas se llenan el agua se derrama hacia un caño abierto, provocando el crecimiento de algas y de eutroficación. El cauce de este caño se encuentra ubicado en el sistema acuífero Depósitos de Llanura Aluvial Qlla.

La materia orgánica se almacena hasta que algún interesado se ocupa de ella, de la misma forma los cachos se almacenan y se venden.

En el matadero se realizan de 12 a 14 sacrificios al día de ganado vacuno, no sacrifican cerdos, y se hace de manera tradicional.

Cementerio



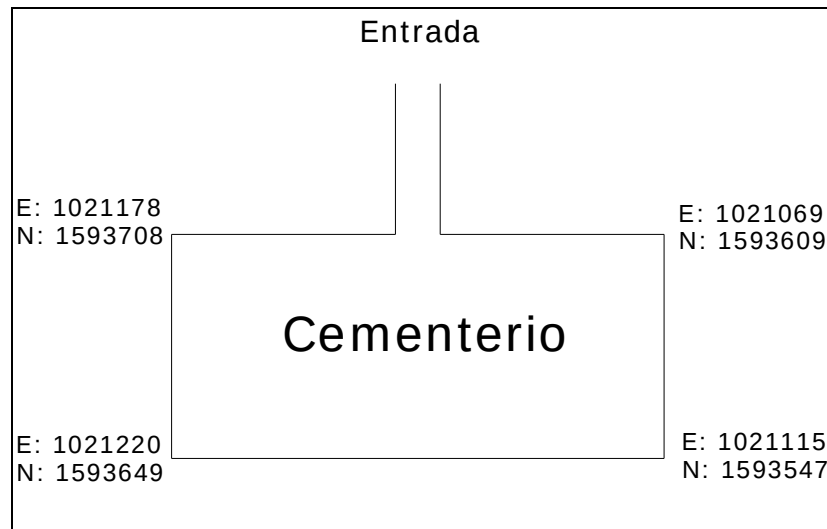
Foto 24. Entrada al Cementerio del municipio de Bosconia.

Su cerramiento es en bloque.

El cementerio cuenta con 2 tumbas (fosas criptas) y con 18 cilindros para N.N y subsidios.

Su capacidad está totalmente copada por lo cual es urgente una futura expansión o la construcción de un nuevo cementerio. Además sufre inundaciones debido a que esta ubicado en una zona baja.

Desde el punto de vista hidrogeológico se encuentra ubicado en la unidad acuífera Depósitos de Llanura Aluvial Qlla.

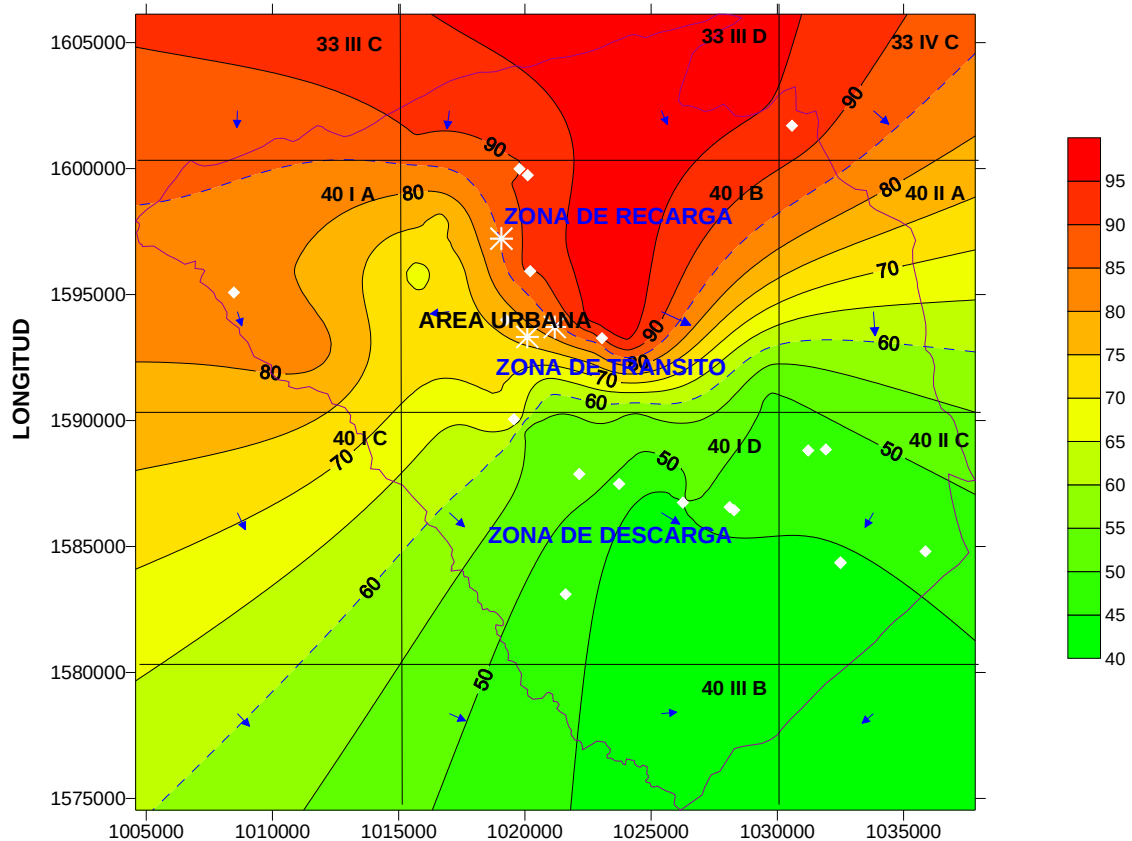


Gráfica 19. Localización Cementerio del municipio de Bosconia.

Pozas Sépticas y Letrinas

En el inventario realizado en Febrero de 2006, en el municipio de Bosconia, se identificaron 19 pozas sépticas en 18 puntos de agua visitados, principalmente cerca de aljibes, estas pozas sépticas fueron georeferenciadas debido a que es importante tener en cuenta la ubicación de estas para que una vez determinado el flujo de aguas de la zona saber si estos puntos potenciales de contaminación puedan estar afectando las aguas subterráneas captadas por los aljibes.

En la gráfica 4. se puede observar que varias de las pozas sépticas inventariadas se encuentran ubicadas en las zonas de recarga y tránsito, por lo tanto si estos puntos de contaminación afectan las aguas subterráneas, los aljibes que se encuentran en la zona de descarga pueden estar captando aguas ya contaminadas por microorganismos patógenos.



Gráfica 20. Localización de las pozas sépticas en el municipio de Bosconia.

*: Ubicación del relleno sanitario, lagunas de oxidación y cementerio.

◇: Ubicación de las pozas sépticas inventariadas.

9.2 Municipio de El Copey

Disposición final de residuos sólidos

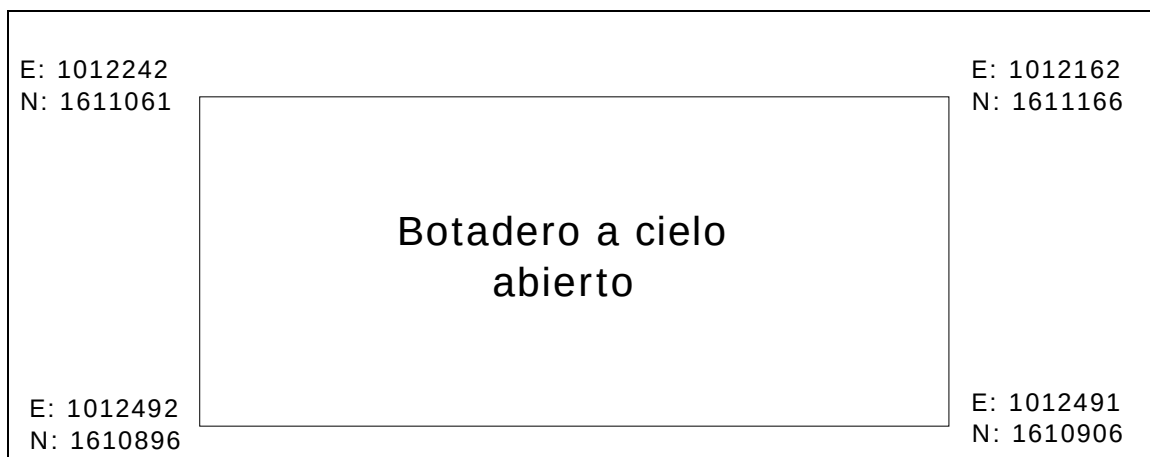
El botadero fue creado en el año 1996 y tiene una extensión de 3 Ha. La frecuencia de recolección es una vez por semana, en donde el vehículo recolector hace 4 viajes al día al botadero, cargando 7 toneladas por cada viaje, cuenta con 3 cuadrilleros incluyendo al conductor.

El botadero es un lote abierto con presencia de animales como se puede observar en la foto.

Desde el punto de vista hidrogeológico se encuentra ubicado en la unidad acuífera Depósitos de Llanura Aluvial Qlla.



Foto 25. Botadero a cielo abierto del municipio El Copey.

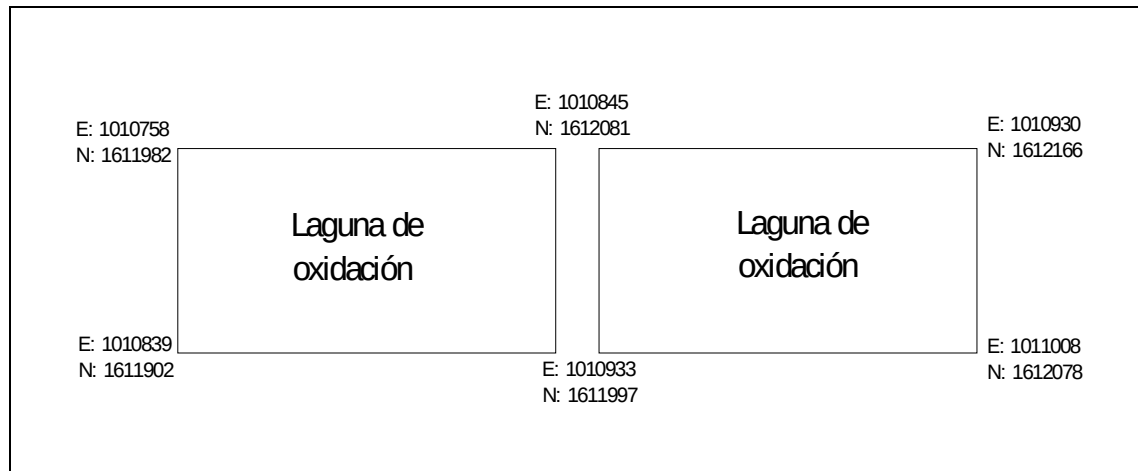


Gráfica 21. Localización del botadero a cielo abierto del municipio de El Copey.

Tratamiento de aguas residuales

Las lagunas tienen 10 metros de profundidad en el centro, que es la parte más profunda.

Desde el punto de vista hidrogeológico se encuentra ubicado en la unidad acuífera Depósitos de Llanura Aluvial Qlla.



Gráfica 22. Localización de las lagunas de ubicación del municipio de El Copey.



Foto 26. Laguna de Oxidación del municipio de El Copey.

Planta de tratamiento para agua potable

El caudal de entrada a la planta es de 60 l/s.



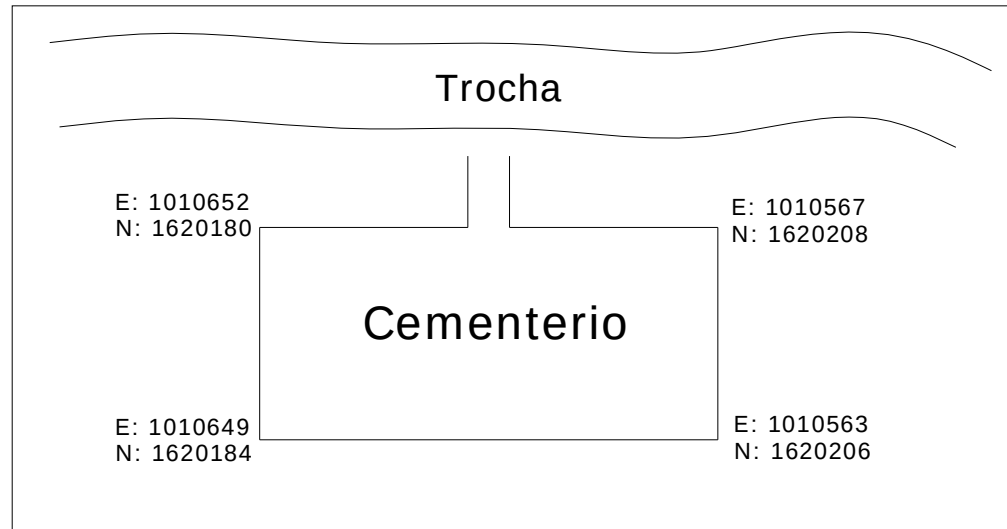
Foto 27. Planta de potabilización del municipio de El Copey.

Cementerio corregimiento Caracolicito

Desde el punto de vista hidrogeológico se encuentra ubicado en la unidad acuífera Depósitos de Llanura Aluvial Qlla.



Foto 28. Cementerio de Caracolicito



Gráfica 23. Localización cementerio de Caracolicito

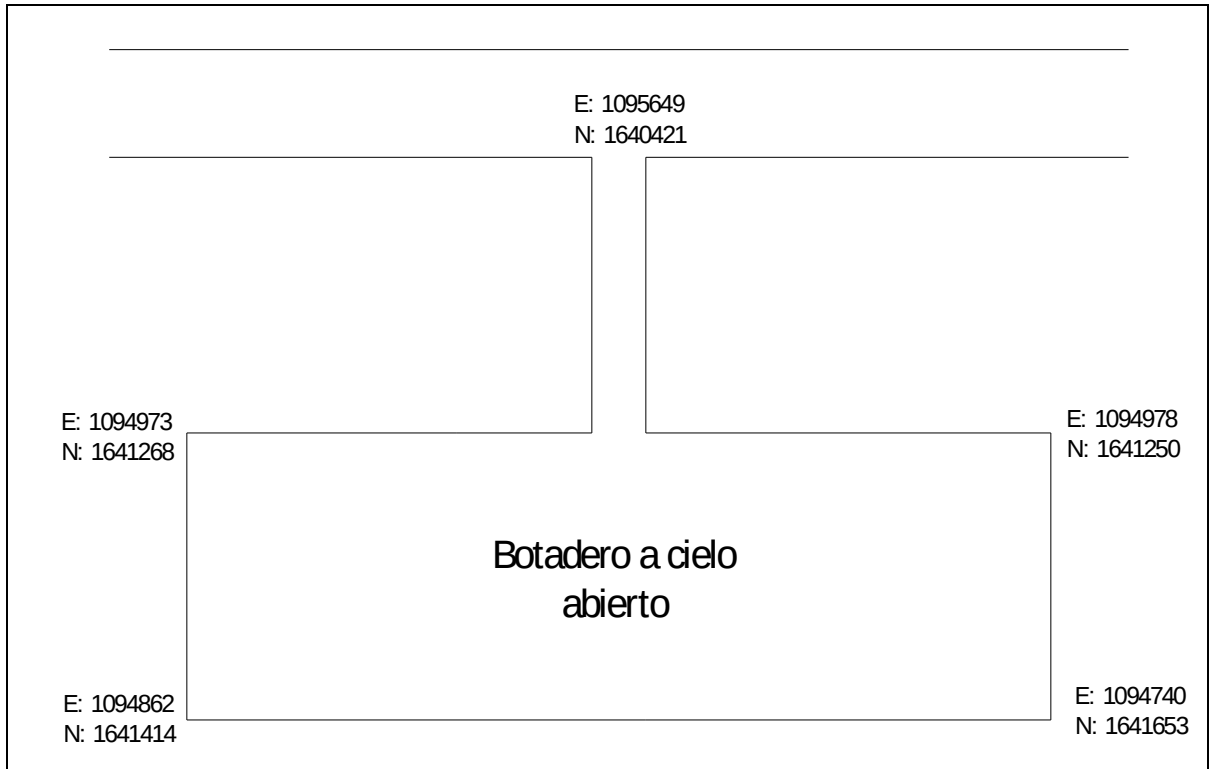
9.3 Municipio de La Paz

Disposición final de residuos sólidos



Foto 29. Botadero a cielo abierto del municipio de La Paz.

La frecuencia de recolección es de 2 veces a la semana, de lunes a sábado, y realiza 2 recorridos al día, cuenta con un vehículo compactador de 8 toneladas.



Gráfica 24. Localización del botadero a cielo abierto del municipio de La Paz.

Desde el punto de vista hidrogeológico se encuentra ubicado en la unidad acuífera Depósitos de Llanura Aluvial Qlla.

Planta de tratamiento para agua potable

La planta capta el agua del río Chiriamo por medio de una tubería de 12" de diámetro y un caudal de 90 l/s. La captación se comparte con el municipio de San Diego, la derivación se hace inmediatamente con una tubería de 8" de diámetro para San Diego. La distancia de la bocatoma a la planta es de 1 Km.

Hay tanque desarenador, filtro de grava y arena. Debido a que la planta es compartida, ésta cuenta con 3 secciones de sedimentadores para San Diego y 2 para La Paz.

Los filtros se cambian aproximadamente cada 5-7 años, la limpieza de éstos se hace todas las noches. Cada 15 días se hace mantenimiento a los sedimentadores.

La planta tiene un sistema paralelo, es decir 2 tanques para cada sistema, uno para La Paz y otro para San Diego.

Se hacen muestras de turbidez, pH y color a diario en el colector final de agua potable. Cuentan con 2 balas de cloro que son controladas con un hidrometer, duran 2 meses.



Foto 30. Planta de potabilización del municipio de La Paz.

Matadero

En el matadero se realizan de 10 a 12 sacrificios al día. La frecuencia de lavado de los establos es de 6 a 8 días.

El matadero tiene un tanque enterrado en donde se almacena el excremento para sedimentarlo, de aquí sale un ducto el cual se conecta a la canaleta de salida del agua residual que termina en el río Mocho, como muestra la foto, por dicha canaleta se conduce el agua residual proveniente de la sedimentación del excremento, este excremento se usa como abono en las fincas vecinas.

En el matadero no se cuenta con trampa grasas, solamente con el tanque de sedimentación de sólidos. Las aguas residuales son descargadas al alcantarillado, el cual la lleva a la planta de aguas residuales y ésta las descarga a un caño el cual posteriormente drena al cauce del río Cesar.



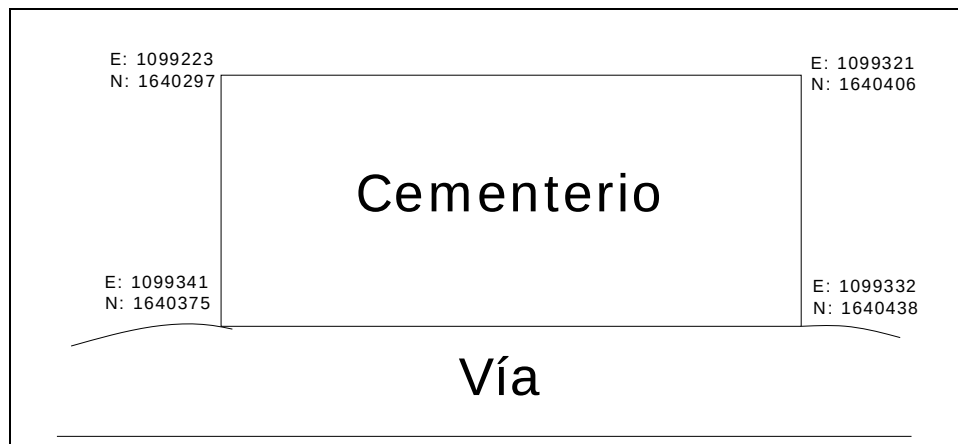
Foto 31. Canaleta de salida del agua residual proveniente del matadero del municipio de La Paz.

Cementerio



Foto 32. Entrada del cementerio del municipio de La Paz.

El cementerio ya ha cumplido con el límite de su capacidad, y aunque pueden pasar hasta dos meses para que se realice un entierro, éste ya no tolera la demanda. Desde el punto de vista hidrogeológico se encuentra ubicado en la unidad acuífera Depósitos de Llanura Aluvial Qlla.



Gráfica 25. Localización del cementerio del municipio de La Paz.

9.4 Municipio de San Diego

Disposición final de residuos sólidos



Foto 33. Botadero a cielo abierto del municipio de San Diego.

Se encuentra ubicado en la unidad acuífera Depósitos de Llanura Aluvial Qlla, a la altura de las siguientes coordenadas:

Norte: 1632773

Este: 1097061

Tratamiento de aguas residuales

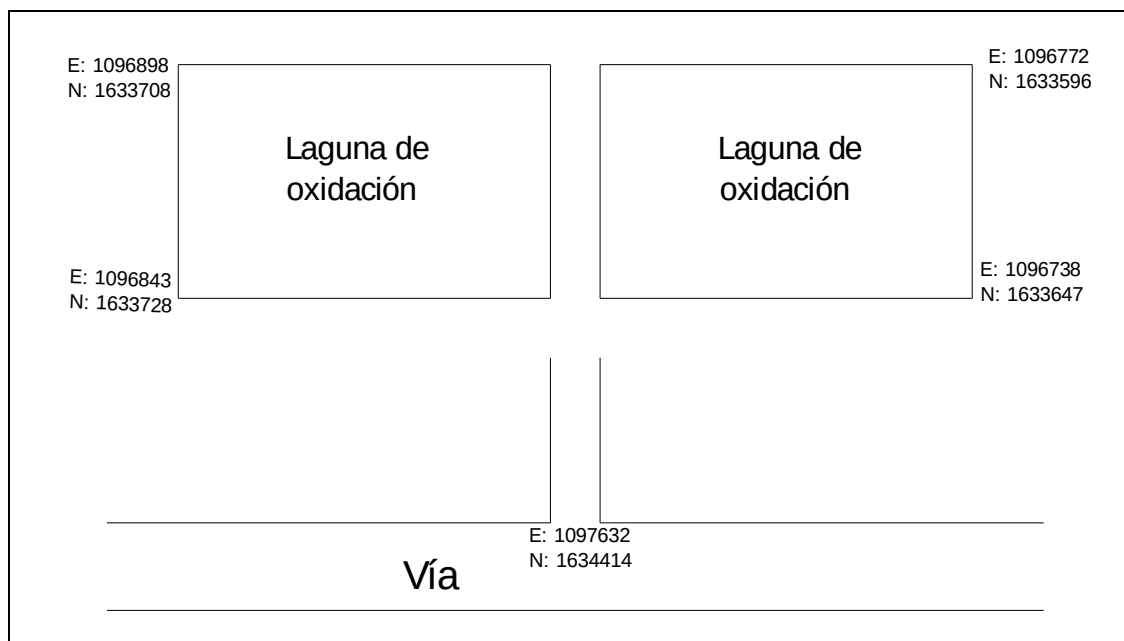


Foto 34. Laguna de Oxidación del municipio de San Diego.

Como se observa en la foto hay 4 tuberías de ingreso, donde hay vertimiento de agua sangre. Se encuentra ubicada en un tipo de suelo franco arcilloso-arenoso con cantos rodados.

Desde el punto de vista hidrogeológico se encuentra ubicado en la unidad acuífera Depósitos de Llanura Aluvial Qlla.

No existe un sistema de monitoreo de la calidad y cantidad de las aguas subsuperficiales ubicados en el área de influencia de las lagunas de oxidación. Se requiere entonces la construcción de pozos de observación o piezómetros que capten los niveles freáticos de la primera capa acuífera; y la medición de parámetros de calidad de agua.



Gráfica 26. Localización de las lagunas de oxidación del municipio de San Diego.

Cementerio



Foto 35. Cementerio del municipio de San Diego.



Gráfica 27. Localización del Cementerio de San Diego.

Desde el punto de vista hidrogeológico se encuentra ubicado en la unidad acuífera Depósitos de Llanura Aluvial Qlla.

9.5 Municipio de Chiriguaná

Disposición final de residuos sólidos

La recolección de los residuos se hace una vez por semana, mediante un tractor dotado con un remolque. Las basuras recolectadas son llevadas a las afueras del casco urbano y depositadas en cualquier sitio disponible del municipio dentro de los cuales se destaca un lote a cielo abierto paralelo a la pista de aterrizaje. La población que no es atendida por este servicio incineran los residuos sólidos en los patios de las casas.

Todos los sitios de disposición de residuos sólidos a cielo abierto se encuentran ubicados sobre la unidad acuífera Depósitos de Llanura Aluvial Qlla.

Tratamiento de aguas residuales

El agua residual es tratada por medio 3 lagunas con las siguientes funciones: dos lagunas de oxidación donde llega el agua residual y permanece un tiempo determinado degradando la materia orgánica presente y se efectúa la remoción de organismos patógenos, luego se presenta una tercera laguna llamada de maduración que garantiza un efluente sin restricción de uso en tal forma que no se altere el medio ambiente circundante ya que estas aguas caen directamente a la Ciénaga que circunda el municipio.

No hay pruebas que indiquen la calidad bacteriológica del agua que sale finalmente a los humedales del complejo Cenagoso.

Desde el punto de vista hidrogeológico se encuentra ubicado en la unidad acuífera Depósitos de Llanura Aluvial Qlla.

No existe un sistema de monitoreo de la calidad y cantidad de las aguas subsuperficiales ubicados en el área de influencia de las lagunas de oxidación. Se requiere entonces la construcción de pozos de observación o piezómetros que capten los niveles freáticos de la primera capa acuífera; y la medición de parámetros de calidad de agua.

9.6 Municipio de Astrea

Disposición final de residuos sólidos

En el municipio de Astrea, no se cuenta con un sistema técnico de recolección y disposición final de residuos. El botadero existente es un lote de 4 hectáreas en la margen izquierda de la vía que conduce al municipio de Guamal (Magdalena), y a una distancia de 2.300 m del perímetro urbano.

Para el manejo de los residuos sólidos, la administración dispone de un tractor con un zorro con capacidad para 7 toneladas, con el cual se recoge la basura de la cabecera municipal y del corregimiento de Arjona. La frecuencia de recolección es 2 veces a la semana.

En los demás corregimientos y veredas las basuras son botadas en los patios de las casas, algunas veces quemadas o enterradas.

Desde el punto de vista hidrogeológico se encuentra ubicado en la Formación Sedimentitas de Arjona Tpaá.

Tratamiento de aguas residuales

Existen dos lagunas de oxidación, las cuales presentan fallas técnicas en su construcción. Estas lagunas se encuentran ubicadas, una al norte que funciona en forma irregular; la otra laguna se encuentra ubicada al sur de la cabecera presentando mayores fallas técnicas.

Desde el punto de vista hidrogeológico se encuentra ubicado en la Formación Sedimentitas de Arjona Tpaá.

Matadero

El municipio cuenta con dos mataderos que no reúnen las condiciones sanitarias y ambientales establecidas por la ley, llegando al consumidor final, el producto posiblemente contaminado.

El matadero de la cabecera municipal está ubicado hacia el norte; las condiciones físicas y sanitarias no son las mejores. Los desechos y aguas negras son vertidas a las lagunas de oxidación. Los elementos técnicos para el sacrificio de animales de abastecimiento público no son los adecuados. Se sacrifican, en promedio, 14 cabezas a la semana.

Cementerio

Su ubicación es al sur- este en la entrada de la población. Las instalaciones del cementerio, presentan abandono, falta de área de protección y encerramiento total.

Desde el punto de vista hidrogeológico se encuentra ubicado en la Formación Sedimentitas de Arjona Tpaá.

9.7 Municipio de Becerril

Disposición final de residuos sólidos y lagunas de oxidación

La recolección de residuos, se realiza solo en la cabecera municipal, y está a cargo de EMBECERRIL, el sitio de disposición final de los residuos es en un botadero a cielo abierto que se encuentra localizado a 1 Km. de la cabecera, donde se disponen las 10 toneladas diarias de residuos que se producen. En el área rural la práctica generalizada es quemar las basuras o arrojarlas directamente a los cuerpos de agua.

Desde el punto de vista hidrogeológico el basurero y las lagunas de oxidación se encuentran ubicadas en la unidad acuífera Depósitos de Llanura Aluvial Qlla.

Matadero

Se ubica paralelo al Río Maracas, el cual que bordea la ciudad. Sus instalaciones se encuentran en mal estado y el proceso de operación es deficiente, los residuos generados son vertidos al río mencionado anteriormente.

CONCLUSIONES

- El inventario realizado en el municipio de Bosconia indica que el tipo de captación de aguas subterráneas más utilizado son los aljibes que captan la primera capa acuífera o tabla de agua que corresponde al acuífero Depósitos Cuaternarios de Llanura Aluvial (Qlla), siguiéndole los pozos, aljibes-pozos y manantiales, y que los principales usos del agua es para la ganadería y el abastecimiento doméstico.
- El modelo de flujo de aguas subterráneas para los Depósitos Cuaternarios de Llanura Aluvial Qlla en la cabecera y área de influencia rural del municipio de Bosconia indica que el agua se mueve de Norte a Sur, localmente Noreste – Sureste y Noroeste - Sureste, aproximadamente desde el contacto de la unidad acuífera Depósitos de Llanura Aluvial (Qlla) con los afloramientos de rocas ígneas y sedimentarias de las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta.
- Los mapas de isolíneas conductividad de las captaciones de poca profundidad como los aljibes , indican condiciones de salobridad moderada a alta, ya que los valores de conductividad de las aguas subsuperficiales son mayores de 1000 $\mu\text{s}/\text{cms}$, sobrepasando la norma de calidad del agua para el consumo humano.
- Los mapas de Isoconductividad, Isosólidos disueltos totales y de IsopH, para los aguas subsuperficiales captadas por los aljibes entre 20 a 30 mts ubicados hacia la cabecera y especialmente los de su área rural del municipio de Bosconia, presentan valores más altos para los parámetro básicos tomados en campo.
- El modelo hidrogeológico conceptual reconocido en campo para el municipio de Bosconia y su área de influencia rural indica que se encuentra ubicado dentro de las subprovincias hidrogeológicas de la Sierra Nevada de Santa Marta y Planicie del Cesar. De la misma forma se han identificado en campo los sistemas acuíferos de gran importancia hidrogeológica como son el Sistema Acuífero Llanura Aluvial (Qlla), Sistema Acuífero Sedimentos de Arjona (Tpaa) y el Sistema Acuífero Grupo Cogollo (Kmc).
- Las características hidrogeológicas reconocidas en campo durante las actividades realizadas hasta el momento ha permitido reconocer que el Sistema Acuífero Llanura Aluvial (Qlla) está constituido por una secuencia de capas de arena,, arcillas y gravas localmente, que aunado a su posición estructural permite la formación de capas acuíferas de tipo libre a semiconfinado, las cuales potencialmente pueden estar expuestas a focos de contaminación puntual o difusa, principalmente en sus zonas de recarga.
- La georefrenciación de las fuentes puntuales de contaminación como las pozas sépticas, el cementerio, las lagunas de oxidación y el botadero a cielo abierto de Bosconia, indican que estas se encuentran ubicadas en las zonas de recarga y

tránsito de flujos subsuperficiales de la unidad acuíferas Depósitos de Llanura Aluvial, por lo que la vulnerabilidad a la contaminación de la misma se incrementa principalmente en área donde la tabla de agua este cercana a la superficie.

RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar el monitoreo de niveles y de las propiedades físicas del agua tanto en época de verano como de invierno, para que de esta manera se identifique el comportamiento del agua subterránea en calidad y cantidad en las diferentes épocas del año en la zona de estudio.
- Teniendo en cuenta el modo del funcionamiento de algunas obras de saneamiento ambiental y de servicios públicos, se observa que éstos no cumplen con la mayoría de los requerimientos ambientales, por lo que es muy probable que sean puntos de contaminación, por lo tanto se recomienda siempre y cuando sea posible el control ambiental de éstas obras.
- En base a la recomendación anterior los botaderos a cielo abierto son unas de las obras de saneamiento ambiental que menos cumple con los requerimientos de diseño y construcción, para este caso específico se recomienda si es posible clausurar estos botaderos y llevar a cabo la construcción de un relleno sanitario intermunicipal donde se dispongan los residuos sólidos de varios municipios.
- De acuerdo a la ubicación de las pozas sépticas, del cementerio, las lagunas de oxidación y el botadero a cielo abierto en el modelo de flujo, es importante realizar análisis microbiológico al agua captada por los puntos inventariados, ya que por lo mencionado anteriormente se puede ver afectada la calidad de la misma.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	8
1 OBJETIVOS	9
1.1. OBJETIVO GENERAL	9
2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	10
3 DEMANDA DEL RECURSO HÍDRICO	12
4. GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA	13
4.1. GEOMORFOLOGÍA	13
4.2. GEOLOGÍA	15
4.2.1 Formación Guatapurí (TRg)	15
4.2.2 Volcánico Riolítico (JKvr)	18
4.2.3 Grupo Cogollo (Kmc)	18
4.2.4 Depósitos de Llanuras Aluviales (Qlla)	19
5. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA	21
5.1. GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGÍA	21
5.2. CONSTRUCCIONES Y DISEÑO	21
5.3. METODOS DE EXPLOTACIÓN	24
5.4. CONSTRUCCIONES ADICIONALES	27
5.5. NIVEL ESTÁTICO, DINÁMICO Y DE RECUPERACIÓN	29
5.6. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA EN CAMPO	29
5.7. USOS DEL AGUA	32
6. MODELO DE FLUJO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	33
7. HIDROGEOQUÍMICA	34
7.1. MUNICIPIO DE EL PASO	34
7.2. MUNICIPIO DE CHIRIGUANA	41
7.3. MUNICIPIOS DE SAN DIEGO Y LA PAZ	44
7.4. MUNICIPIO DE BOSCONIA	47
8. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL	57
8.1. SUBPROVINCIA HIDROGEOLÓGICA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA	57
8.2. SUBPROVINCIA PLANICIE DEL CESAR	58
8.3. GRUPOS HIDROGEOLÓGICOS Y SISTEMAS ACUÍFEROS	60
8.3.1 Grupo de sedimentos y rocas porosas con importancia hidrogeológica	

relativa grande a muy pequeña.	60
8.3.2 Grupo de rocas fracturadas y porosas con importancia hidrogeológica relativa grande a pequeña.	61
8.3.3 Grupo de sedimentos y rocas porosas o fracturadas con muy poca importancia hidrogeológica.	62
9. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL	63
9.1. MUNICIPIO DE BOSCONIA	63
9.2. MUNICIPIO DE EL COPEY	71
9.3. MUNICIPIO DE LA PAZ	75
9.4. MUNICIPIO DE SAN DIEGO	79
9.5. MUNICIPIO DE CHIRIGUANA	82
9.6. MUNICIPIO DE ASTREA	83
9.7. MUNICIPIO DE BECERRIL	84
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES	