

# ESTUDIO HIDROGEOLOGICO E HIDROGEOQUIMICO EN EL MUNICIPIO DE MANI DEPARTAMENTO DE CASANARE

Jairo Alfredo Veloza Franco<sup>1</sup>; Carlos Julio Morales Arias<sup>2</sup>

## RESUMEN

La geología, la hidrogeología y la hidrogeoquímica juegan un papel fundamental en la evaluación de pozos y aljibes de agua, especialmente en municipios como Maní debido a que en épocas de baja precipitación no se cuenta con recursos hídricos sostenibles. El sistema hidrogeológico del municipio de Maní se halla determinado por depósitos de porosidad primaria de gran interés. No obstante, dada la inexactitud y precario análisis que se le ha efectuado al acuífero se hace necesario desarrollar el presente estudio ya que los pozos y aljibes se construyen en condiciones artesanales y sin ningún apoyo técnico y profesional. Es importante resaltar que el municipio de Maní no cuenta con sistema de alcantarillado, de tal forma que el recurso hídrico subterráneo se ve altamente vulnerado a la contaminación, para lo cual se ha analizado la evolución temporal y espacial del acuífero por intermedio de mapas piezométricos en épocas de baja y alta precipitación. La evaluación hidrogeoquímica cobra mayor relevancia para confirmar las posibles conexiones hidráulicas agua superficial – subterránea, identificando las condiciones químicas y su comportamiento en los depósitos y formaciones geológicas del Pie de monte Llanero. Los altos contenidos de  $PO_4$  y la presencia de As se deben principalmente a la actividad agrícola que utiliza gran cantidad de pesticidas, fertilizantes e insecticidas.

**Palabras claves:** Agua subterránea, hidrogeoquímica, piezometría y geofísica.

## HIDROGEOLOGICAL AND HIDROGEOCHEMICAL STUDY IN THE MANI CITY, DEPARTAMENTO DE CASANARE

### ABSTRACT

Geology, Hydrogeology and Hydrogeochemistry play a crucial role in the evaluation of wells and cisterns for drinking water especially in municipalities like Maní because in times of low rainfall has not been sustainable water resources. Maní hydrogeological system is determined by interesting primary porosity reservoirs. However, given the inaccuracy and poor analysis that has been done to the aquifer is necessary to develop this study because the wells and cisterns were built in craft conditions without any professional and technical support.

It's important to emphasize that Maní has no a sewer system, so the groundwater resources are highly vulnerable to contamination, which has been analyzed for the temporal and spatial evolution of the aquifer through piezometers maps in times of low and high precipitation. Hydrogeochemistry evaluation becomes more important to confirm the possible hydraulic connections surface water - groundwater, identifying chemical conditions and their behavior in the deposits and geological formations from the Pie de monte Llanero. High  $PO_4$  levels and the presence of As are mainly due to agricultural activities using large amounts of pesticides, fertilizers and insecticides.

**Keywords:** Groundwater, hydrogeochemistry, piezometry and geophysics.

<sup>1</sup>INGEOMINAS, Diagonal 53 No 34-53 Bogotá D.C, javeloza@ingeominas.gov.co.

<sup>2</sup>INGEOMINAS, Diagonal 53 No 34-53 Bogotá D.C, cmorales@ingeominas.gov.co

## INTRODUCCION

El flujo subterráneo en los depósitos no consolidados es severamente afectado por las condiciones antrópicas, contaminando no solamente los acuíferos superficiales sino los profundos y de esta forma causa afectaciones de salubridad, por lo tanto es de gran interés realizar la evaluación de las condiciones y parámetros hidrogeológicos y desarrollo de análisis hidrogeoquímicos para identificar el movimiento y calidad del recurso hídrico subterráneo.

El Municipio de Maní posee una población total de 10.493 habitantes que requiere de 2100 m<sup>3</sup> diarios, con una dotación de 200 litro/habitante por día. El pozo del acueducto que actualmente se encuentra en servicio aporta un caudal de 109 m<sup>3</sup> diarios, con un caudal promedio de 10 l/s y un tiempo de bombeo de 3 horas diarias, caudal bajo, debido a que está sobredimensionado el sistema de bombeo, lo cual significa que la oferta es solamente del 5 % presentándose un gran déficit en el abastecimiento.

## METODOLOGIA

### *Cartografía Geológica Geomorfológica*

- Se acudió a diferentes fuentes como el IGAC, INGEOMINAS, Gobernación de Casanare, Alcaldía Municipal de Maní, Asociación de Juntas Comunales de Maní (ASOJUNCOMA) y bibliotecas públicas y privadas para recolectar la información requerida.
- Organización y Revisión: se clasificó la información obtenida con base en la escala de trabajo.
- Verificación: luego de recopilar y revisar la información se llevó a cabo una comprobación en campo, realizando controles geológicos a escala 1:25.000.

### *Exploración Geofísica*

- La localización de los sitios para exploración por medio de sondeos eléctricos verticales (SEV), se realizó inicialmente mediante el uso de imágenes de satélite en donde se observaban rasgos tales como lineamientos y posteriormente se reubicaron en las visitas de campo.
- Realización de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) para prospección de aguas subterráneas; elaboración

de mapas geológicos-geofísicos para conocer el comportamiento de los materiales en el subsuelo.

### *Exploración Hidrogeológica*

- Inventario de puntos de agua: Entre los meses de septiembre a diciembre de 2007 se realizó una campaña de inventario de puntos de agua para hacer la evaluación hidrogeológica. La información se capturó en los formatos establecidos por INGEOMINAS, siguiendo los protocolos de recolección y manejo de muestras.
- Para conocer la variación temporal de los parámetros de pH, caudal, sólidos totales, nivel estático y nivel dinámico, se realizaron dos campañas de toma de datos en temporadas de alta y baja precipitación.
- Con la información del inventario de puntos de agua se seleccionaron 16 puntos para la realización de análisis físico-químicos. El principal criterio de selección de los puntos a muestrear fue el cubrimiento de las unidades acuíferas presentes en el área de estudio y una distribución espacial homogénea. La interpretación hidrogeoquímica se realizó por medio de diagramas de Piper, Stiff, Shoeller-Berkaloff.

## CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y CLIMÁTICAS

El área de estudio está localizada en el Municipio de Maní en el Departamento de Casanare al oriente del país, a una distancia de 440 km de Bogotá por la carretera “La Marginal de la Selva” y a 82 km de la ciudad de Yopal. El Municipio de Maní se encuentra en la gran Cuenca del río Meta y subcuenca del río Cusiana, a la cual confluyen los ríos Unete y Chartre (FIGURA 1).

La vegetación es de tipo arbustiva, arbórea y herbácea, algunas veces alterada por la agricultura y ganadería intensivas. Se encuentran suelos de llanura fluviodeltáica, planos de origen aluvial fino, muy ácidos, mal drenados y fertilidad moderada a muy baja. De igual forma se presentan suelos de vega con abundantes pantanos y cauces abandonados de origen aluvial.

La topografía es plana y está sujeta a inundaciones en épocas de lluvia. La red de drenaje se clasifica como dendrítica con presencia de meandros abandonados. La pluviosidad es alta, con promedios anuales del orden de 2.300 mm y un régimen de lluvias unimodal

caracterizado por dos períodos que se presentan entre diciembre-marzo (época seca) y abril-noviembre (época de lluvia). Presenta un clima cálido, la altura máxima es de 200 msnm y una temperatura que oscila entre los 26 y 28 °C. El caudal promedio del río Cusiana es del orden de 195 m<sup>3</sup>/s con un valor máximo de y 523 m<sup>3</sup>/s en el mes julio y mínimo en el mes de febrero con 5 m<sup>3</sup>/s.

## CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS

Geológicamente el área de estudio, forma parte de las estribaciones de la Cordillera Oriental, con topografía ondulada a plana y llanura aluvial de desborde, que conforma el cuerpo central del Departamento de Casanare (FIGURA 2). En el área de estudio se presentan dos tipos de depósitos del Cuaternario claramente diferenciables:

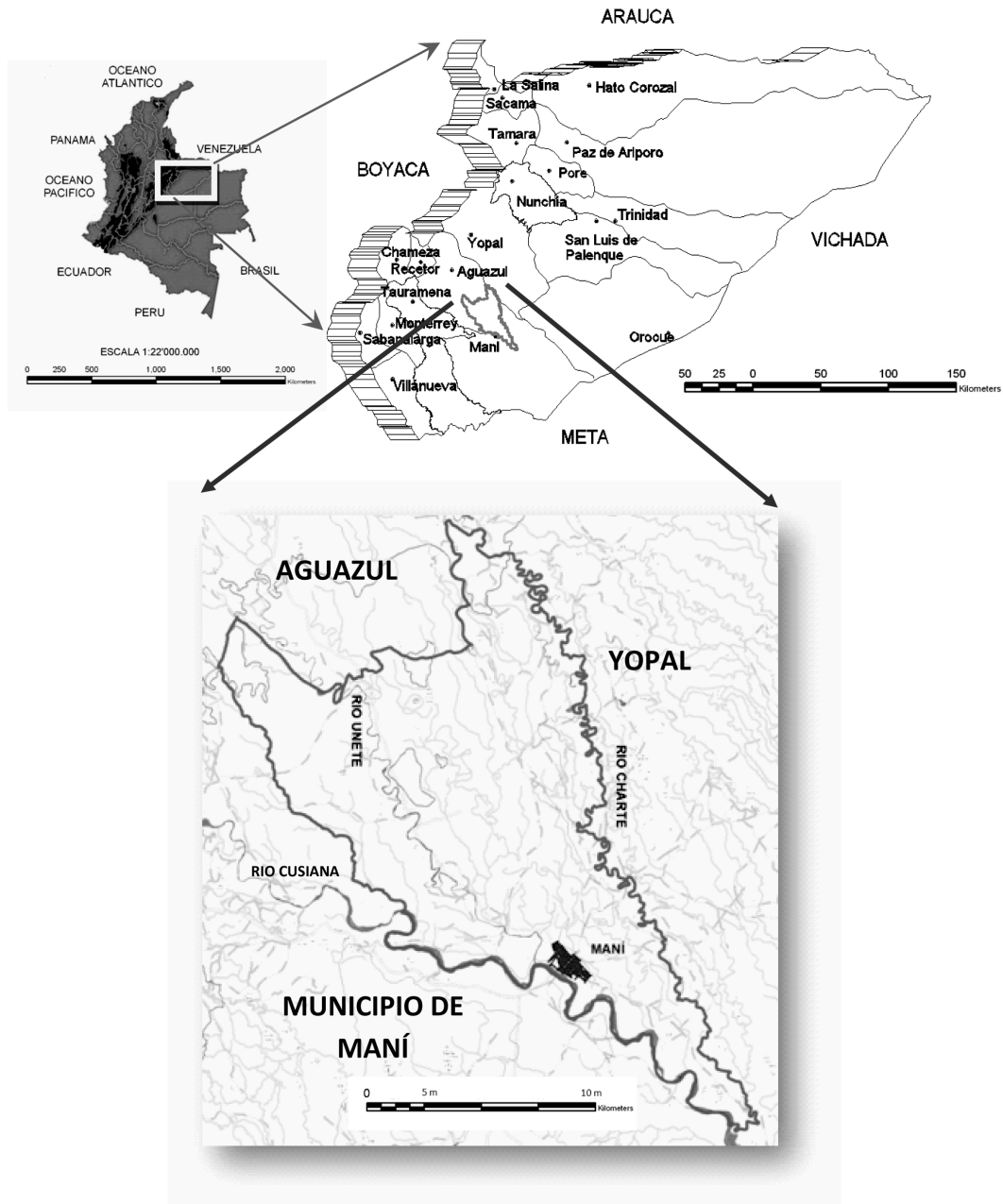


FIGURA 1. Mapa de localización de la zona de estudio.

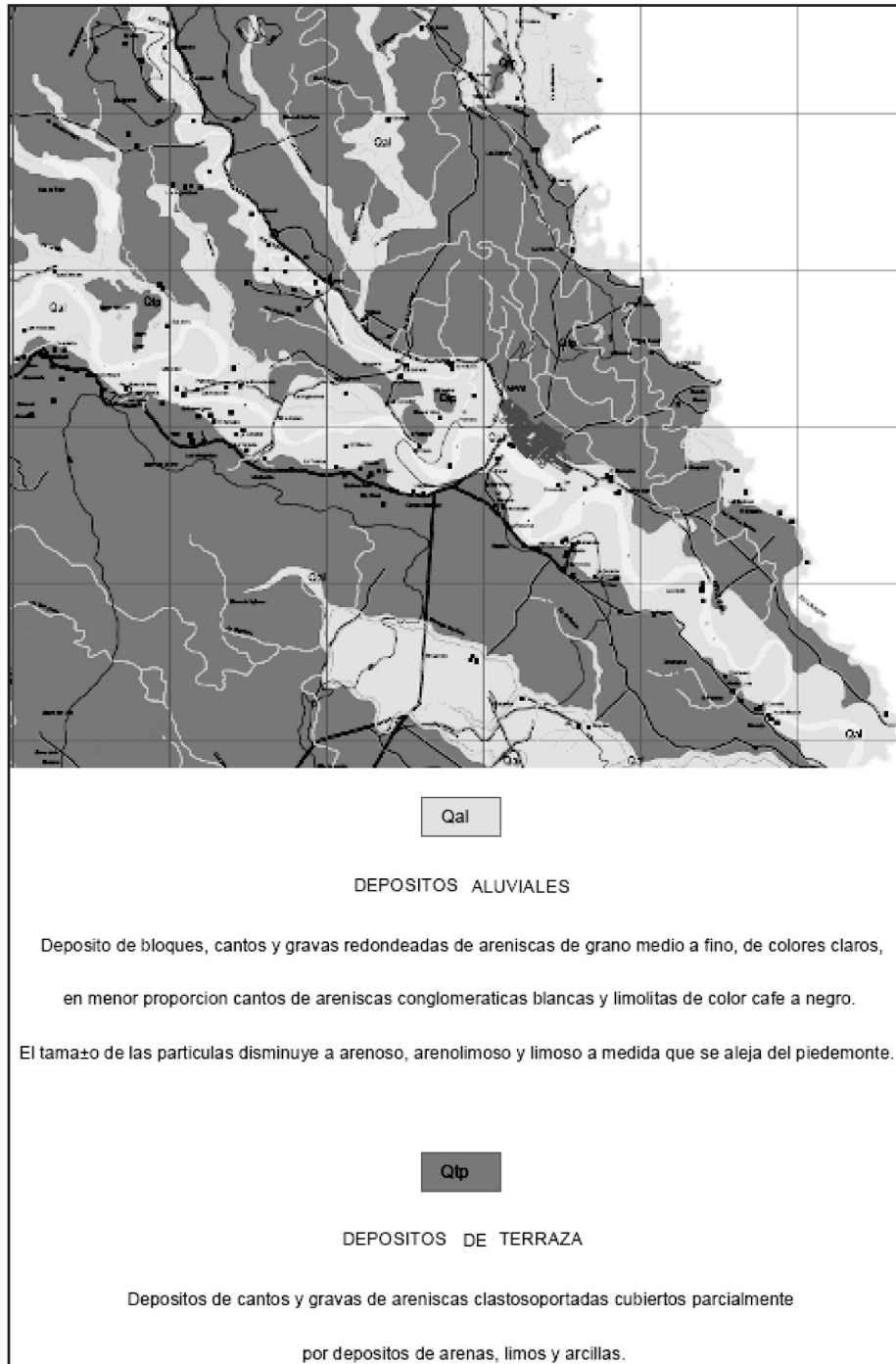


FIGURA 2. Mapa Geológico

**Depósitos de Terraza (Qt).** Se caracteriza por presentar extensas zonas consideradas como llanuras de inundación. Los procesos de formación de esta unidad, están asociados a desbordes de canal de ríos que pasaron por el sector, tales como el Cusiana, Unete y Charté. Estas llanuras han sido afectadas por la creciente deformación

del cinturón plegado, que las ha orientado regionalmente en dirección al río Meta (NW – SE); de acuerdo con la dinámica fluvial observada se evidencian dos tipos de pendiente, una alta (entre 3 – 5%) cerca al pie de monte, lo que genera ríos trenzados y en la que se ha depositado material granular y otra con pendientes menores al 3%

en la que los ríos son meandriformes y han depositado grandes volúmenes de material fino.

Se encuentra una secuencia de gravas, litológicamente constituidas por cantos de areniscas blancas a grises, de grano fino, se presentan también, limolitas negras. Las gravas son clasto-soportadas con presencia de matriz inferior al 5%. De acuerdo a los datos de la perforación y del registro el pozo del acueducto se estima que el espesor de esta unidad es de más de 150 m.

**Depósitos Aluviales (Qal).** Son depósitos recientes, contiguos a los ríos trenzados sometidos a la inundación, constituidos principalmente por cantos, gravas y arenas depositados por las corrientes mayores en llanuras relativamente angostas, conforman barras de meandro que en sus partes bajas están cubiertas por las aguas de los afluentes. Cuando las barras permanecen un tiempo relativamente largo sin ser afectadas por las corrientes o intervenidas, pueden desarrollar vegetación, aumentando la resistencia al socavamiento lateral y provocando la divagación del cauce dentro de la llanura aluvial.

Estos depósitos tienen una marcada presencia de arenas de grano medio a fino, de colores claros, muchas de las cuales presentan disposición planoparalela. La granulometría del material del cauce decrece, hasta hacerse fina con la presencia de arenas, limos y arcillas.

Se presenta un relieve desde plano a ligeramente inclinado en una zona estrecha alargada que sigue los drenajes principales y que ha sido modelado gradualmente como consecuencia de las descargas de grandes volúmenes de materiales aportados y transportados por los ríos Cusiana Charte y Unete. Adicionalmente se encuentran depósitos aluviales conformados por barras de meandros e islas de gravas y arenas que ocupan los lechos activos y fluctuantes de los principales ríos.

En el paisaje de llanura, debido a su característica de baja pendiente las corrientes pasan de trenzadas a meándricas con estrangulamiento de cauces dando origen a meandros abandonados.

Desde el punto de vista geomorfológico se evidencian las siguientes unidades:

**Planicie Aluvial Fluvio Deltaica.** Definida por un intenso remodelado, debido al constante cambio del curso de los ríos, lo que ha dado como resultado la presencia de extensas sucesiones de barras y bajos. En general, en esta unidad se presentan esteros y actividad de erosión reticular.

**Depósitos aluviales sub-recientes o sub-actuales de ríos principales y secundarios** que corresponden a los depósitos aluviales, localizados hacia las márgenes de los ríos principales y secundarios, como producto de la acumulación sobre la antigua planicie de inundación divagante y que hacen parte de las terrazas aluviales asociadas a las márgenes de los ríos principales. Dentro de los cuales se destacan los depósitos asociados a los ríos Cusiana, Unete y Charte. Se distinguen depósitos de terrazas y aluviales, que se encuentran dispuestos en forma sub horizontal, clasificados de manera informal y preliminar de acuerdo a la conformación de los paisajes geomorfológicos de llanura.

## CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

La revisión y verificación de la información geológica, permitió obtener la caracterización preliminar de las unidades geológicas para hidrogeología, teniendo en cuenta la composición litológica, porosidad y permeabilidad de los depósitos presentes en el área de estudio.

Los depósitos presentes en la zona se han clasificado como acuíferos de porosidad primaria, debido a las condiciones hidrogeológicas favorables para el almacenamiento y movimiento del agua subterránea.

## RESULTADOS E INTERPRETACION

En la zona de estudio se encontraron 500 puntos de agua, tanto en la zona urbana como la rural; de estos se consideraron 118, debido a la similitud de la conductividad, el pH y condiciones hidrogeológicas; 100 corresponden a pozos con profundidades entre 12 y 143 metros y 18 aljibes con profundidades entre 4 y 12 metros.

Los niveles piezométricos en temporada de alta precipitación tomados en el mes de Septiembre y Octubre de 2007, oscilan entre 8.92 m de profundidad y 0.75 m (saltante), con referencia a la superficie del terreno, haciendo evidente una clara variación en el comportamiento del acuífero. La tendencia del flujo subterráneo sigue una dirección de NW a SE, coincidiendo con la inclinación de la topografía.

Los niveles piezométricos en temporada de baja precipitación medidos en el mes de Diciembre oscilan entre 9.30 m de profundidad y 0.45 m, con referencia a la superficie del terreno. Se observa un aumento en la profundidad de los niveles del orden 0.4 m (saltante),

producto de la baja o nula precipitación, lo cual conlleva a una recarga muy baja. Existen tres pozos saltantes (231-II-D-18, 212-IV-C-18 y 231-II-C-18) que presentan niveles sobre la superficie del terreno, mostrando un sistema acuífero. (FIGURAS 3 y 4)

La conductividad eléctrica presenta valores de 19.4  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 151.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , incluido el río Cusiana con una conductividad de 68,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En campo se obtuvieron valores del orden de 6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 384  $\mu\text{S}/\text{cm}$  lo cual indica una muy baja mineralización. Se obtuvo un valor anómalo de 1068  $\mu\text{S}/\text{cm}$  correspondiente al aljibe 231-II-A-13, posiblemente por incorporación de sal al suelo debido a la actividad ganadera. Los valores presentes en los pozos (hasta de 143 m de profundidad) son del orden de 6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 384  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y en los aljibes con profundidades hasta de 12 m es de 22  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 284  $\mu\text{S}/\text{cm}$  los cuales tienen una mineralización, indicando un bajo recorrido desde la zona de recarga. La Conductividad Específica a 25°C muestra los valores más bajos de en el sector NW y aumenta progresivamente hacia el SE de la zona en el mismo sentido que la dirección de flujo del agua subterránea (FIGURA 5).

De acuerdo con los diagramas de Stiff, el contenido del ion hierro en todas las muestras proviene de silicatos férricos e indica el origen de las unidades del Cuaternario, con presencia de material arenoso y arcilloso rico en hierro; las concentraciones de sílice en el agua subterránea varían de 5.2 a 8.5 mg/l indicando ataque de silicatos provenientes de arenas cuarzosas, mientras que las concentraciones de sílice del río Cusiana con valor de 2.4 mg/l muestran la baja incorporación de minerales. Las concentraciones de sodio-potasio manifiestan el contacto con materiales detríticos embebidos en una matriz arcillosa. La concentración de bicarbonatos presente en todos los puntos se atribuye principalmente a la oxidación de materia orgánica presente en los suelos y al lavado de rocas calcáreas de la Formación Chipaque presente en el Pie de monte Llanero. Las muestras de los puntos, 212-IV-C-04, 231-II-D-17, 231-IV-B-11, 212-IV-C-07, 212-IV-C-03 y 212-II-D-03, tienen concentraciones similares a la muestra del río Cusiana, evidenciando una interrelación agua subterránea agua superficial. (FIGURA 6).

La caracterización geoquímica del acuífero presenta un pH entre 4.60 y 6.05, una conductividad eléctrica entre 19.4  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 151.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y una clasificación geoquímica predominantemente Bicarbonatada Cálcica 50%, Bicarbonatada Magnésica 18.75%, Bicarbonatada Cálcica Sódica 6.25%, Bicarbonatada Magnésico Sódica 6.25%, Bicarbonatada Cálcico Magnésica 6.25%,

Sulfatada Cálcico Magnésica 6.25% y Sulfatada Cálcica 6.25%. El predominio de tipo Bicarbonatada Cálcica se debe principalmente al lavado de rocas calcáreas de la Formación Chipaque presente en el Pie de monte Llanero. (FIGURA 6)

La calidad del agua para consumo humano según los diagramas de potabilidad propuestos por Catalán dio como resultado agua potable tolerable para las muestras 231-II-B-01, 212-IV-C-21, 212-IV-C-04 y 212-IV-C-07, debido a las concentraciones de Fe y  $\text{PO}_4$ . El agua adecuada en las muestras 231-IV-B-11, 23-II-A-10, 212-III-D-03 y río Cusiana, presenta un pH de carácter ácido. Y finalmente agua im potable en las muestras 231-II-C-15, 231-II-B-06, 231-II-A-15, 231-II-D-18, 231-II-D-24, 213-II-D-14, 231-II-D-17 y 231-IV-B-07 que superan el límite establecido de 0.3 ppm de Fe y 10 ppm  $\text{PO}_4$ .

Los altos contenidos de  $\text{PO}_4$  disuelto en el agua subterránea se deben posiblemente a los detergentes por la ausencia de sistema de alcantarillado en el municipio y a los fertilizantes de los cultivos de arroz en la zona de estudio.

La presencia de Arsénico en las aguas subterráneas es el resultado de la utilización de productos relacionados con actividades agrícolas y limpieza de malezas, como son los fungicidas, insecticidas y plaguicidas en general. Los valores de Arsénico no superan los límites para consumo humano.

## **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En la cuenca hidrogeológica del Municipio de Maní, el comportamiento hidrológico refleja un déficit de agua, en la temporada de Diciembre a Marzo; por lo tanto, durante esta temporada no hay remanente de agua para escorrentía superficial y mucho menos infiltración. En los meses de alta precipitación y en las zonas de alta permeabilidad y esteros se observa infiltración directa que contribuye a la recarga de las unidades hidrogeológicas.

La unidad Depósitos de Terrazas que posee matriz arcillosa, es un acuífero de media a baja productividad; su principal importancia radica en que tales depósitos se conectan con depósitos aluviales que constituyen un acuífero de muy buena productividad en la región, en los cuales se han perforado la mayoría de pozos profundos que se encuentran actualmente en explotación.

En las FIGURAS 7, 8 y 9 se observa la distribución del sistema acuifero (arenas saturadas) a diferentes

profundidades: 33 m, 63 m y 186 m. De esta manera, se puede concluir que el acuífero potencialmente explotable se encuentra entre 33 y 200 metros de profundidad.

Existen dos tipos principales de flujos de agua subterránea; un flujo regional proveniente de infiltración y recarga en las zonas de afloramiento de las formaciones del Pie de monte Llanero donde el agua se percola y se mueve hacia el SE a sectores de menor pendiente topográfica. Y otro flujo de agua originado de la recarga por infiltración directa en los materiales de alta permeabilidad y los esteros con una dirección preferencial hacia el SE.

El río Cusiana tiene interconexión hidráulica con el acuífero por lo tanto en épocas de alta precipitación estos ríos aumentan la recarga del acuífero.

La descarga del acuífero está representada por los pozos y aljibes de los que se extraen caudales del orden de 0.19 y 10 l/seg, la producción de estas captaciones es mínima debido a que se bombean durante pocas horas al día y se utilizan equipos de baja capacidad. La extracción actual de agua subterránea no está limitada a la extensión y propiedades hidráulicas del acuífero.

La capacidad de almacenamiento de los materiales de los depósitos solo podrá cuantificarse, una vez que se conozca su geometría (extensión lateral, espesores, número de lentes, etc.) y los parámetros hidráulicos de Transmisividad, Coeficiente de Almacenamiento y Porosidad Eficaz. Para ello es necesario realizar pruebas de bombeo e investigar diferentes niveles de arenas y gravas.

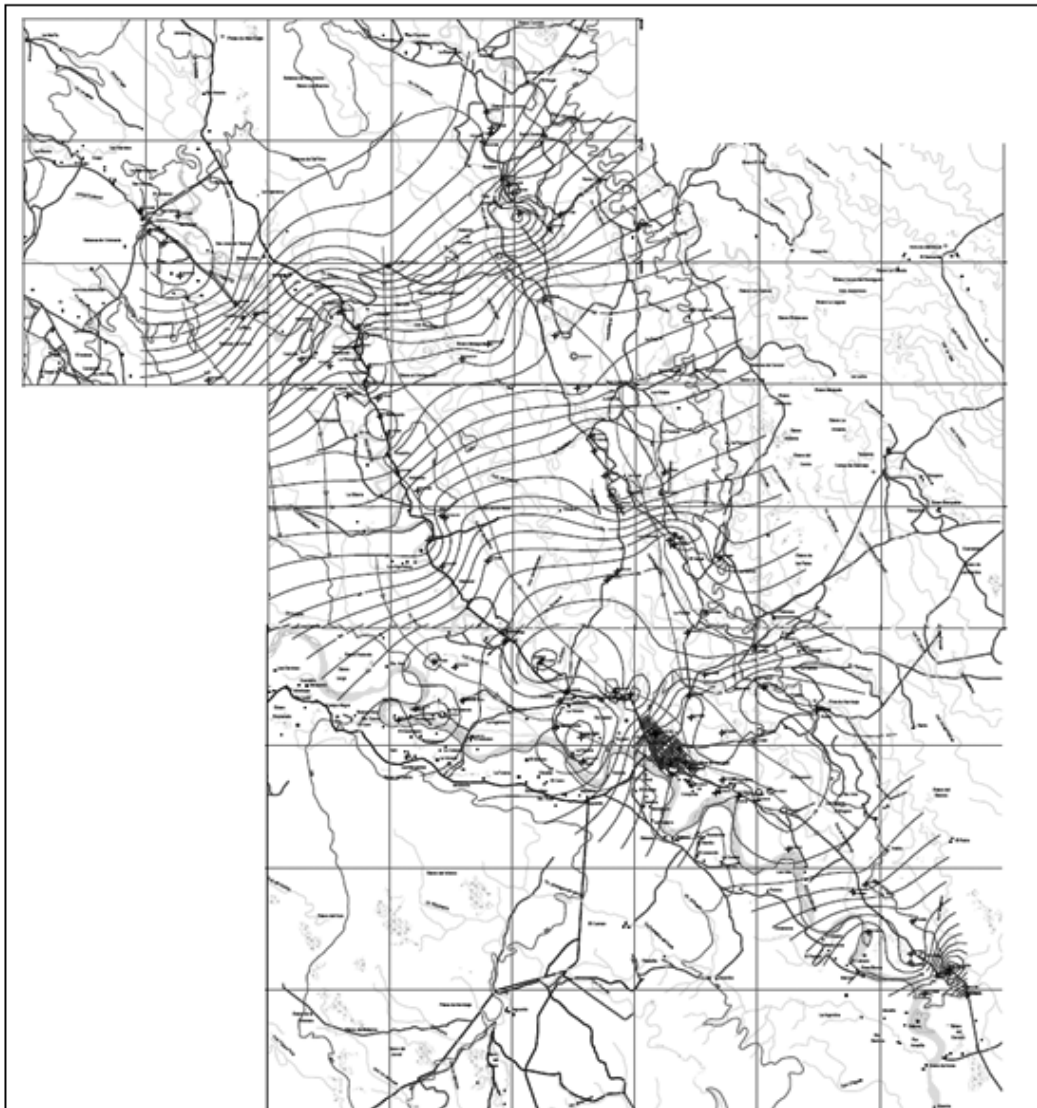
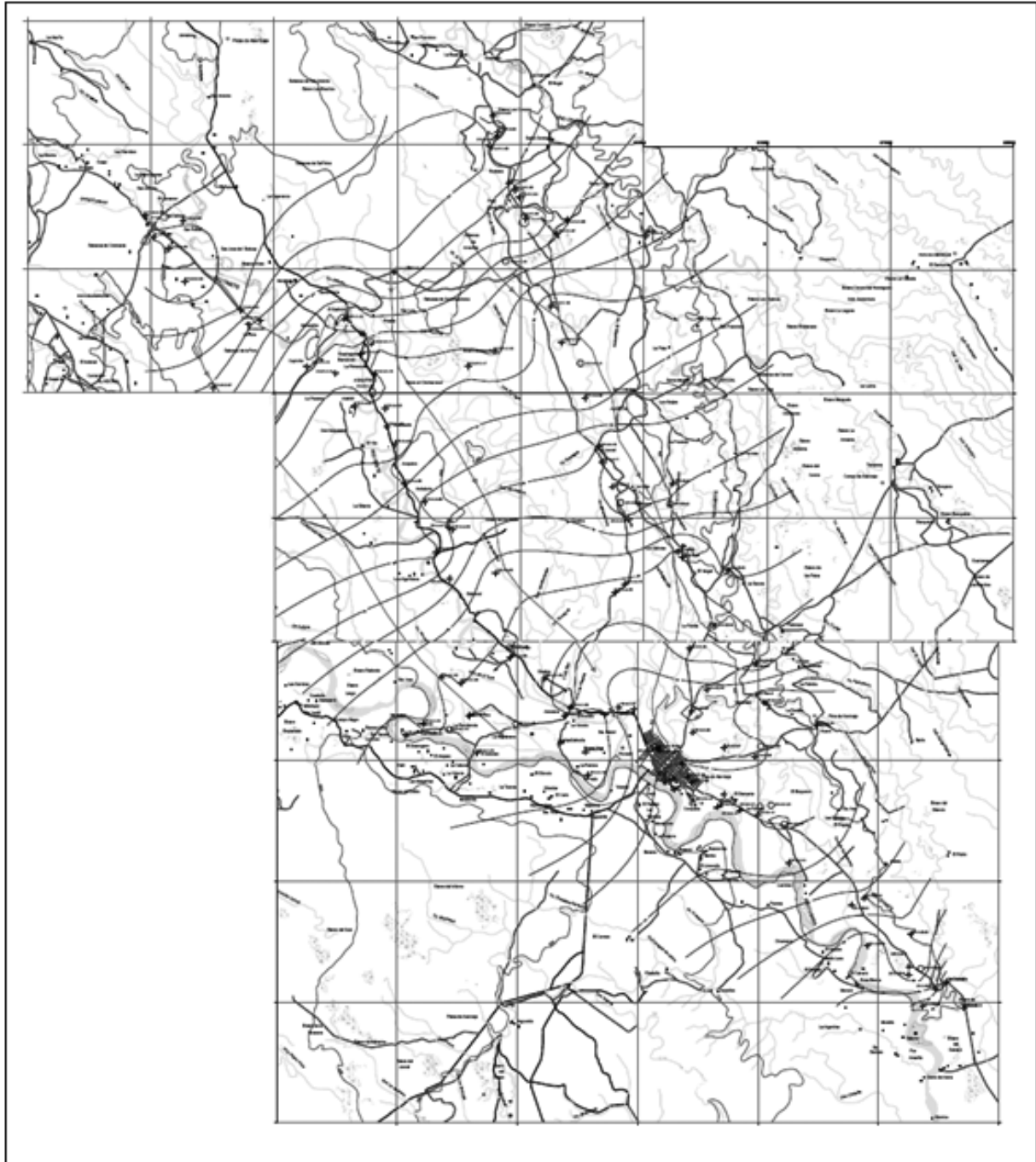


FIGURA 3. Mapa Piezométrico temporada de alta precipitación



**FIGURA 4.** Mapa piezométrico temporada de baja precipitación



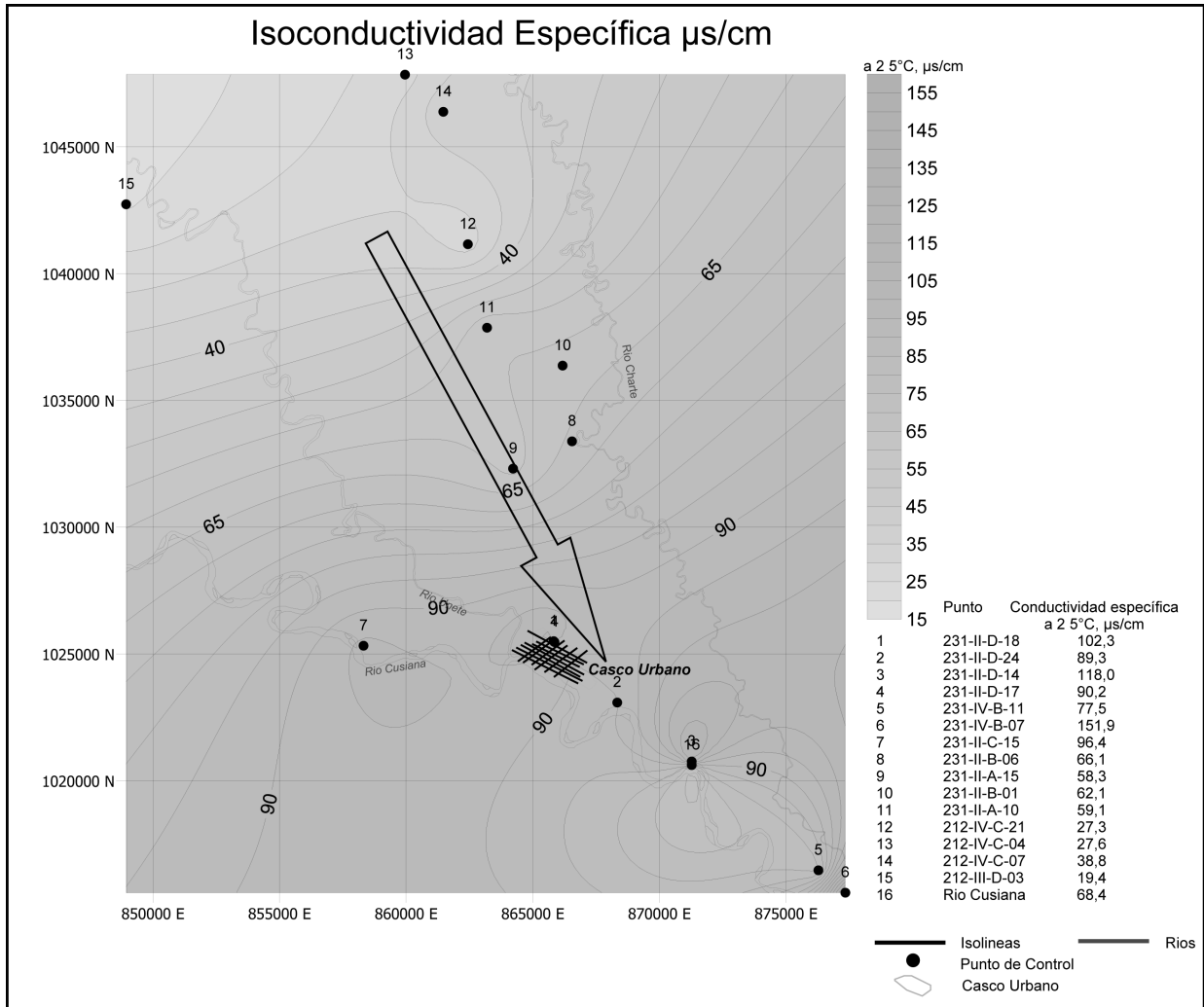


FIGURA 5. Mapa de Isoconductividad

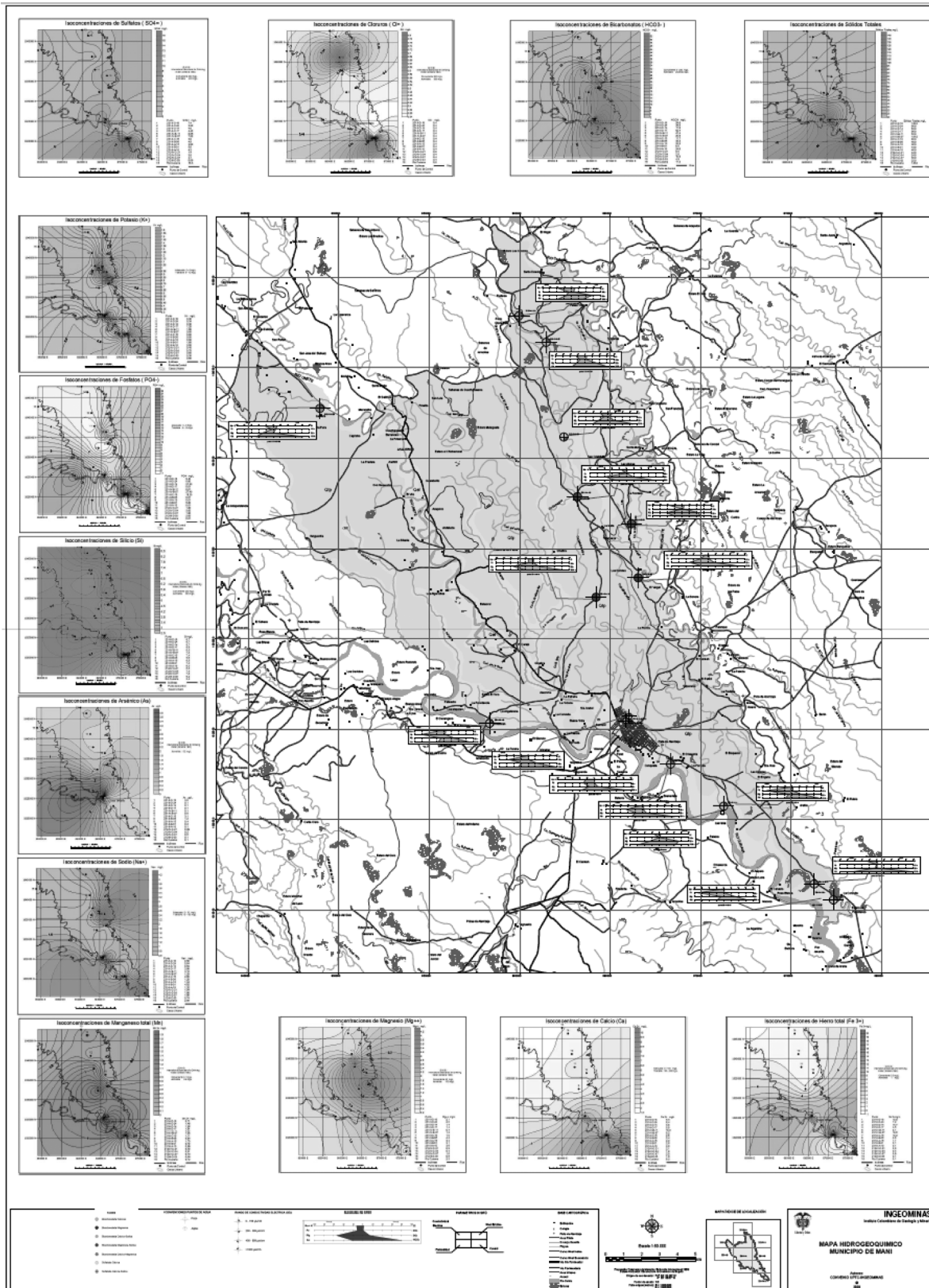


FIGURA 6. Mapa Hidrogeoquímico

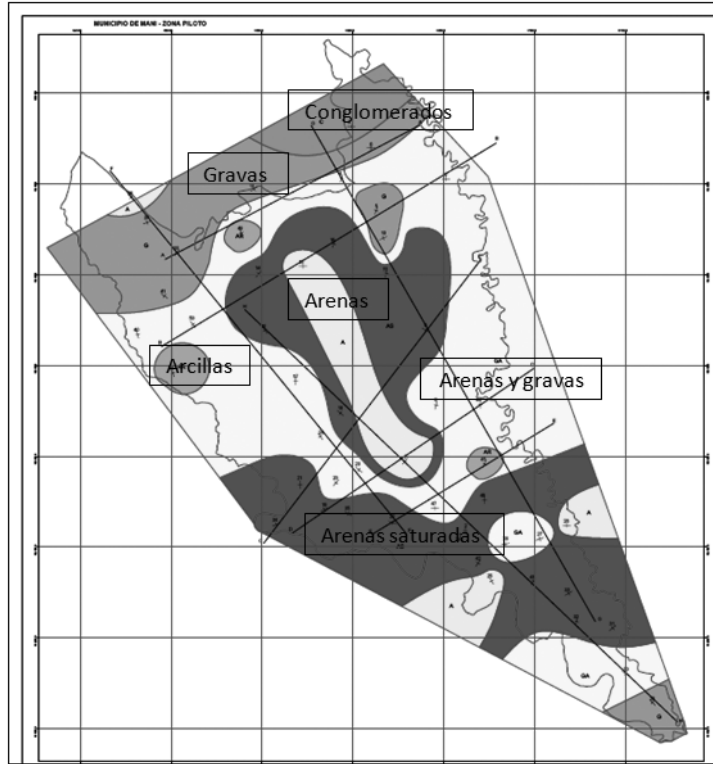


FIGURA 7. Mapa geológico - geofísico a 33 metros.

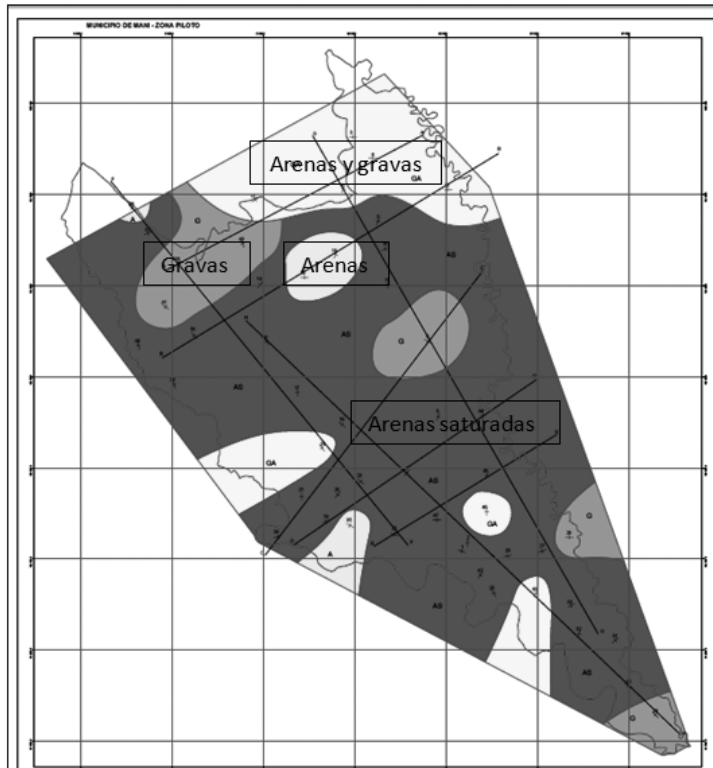


FIGURA 8. Mapa geológico - geofísico a 63 metros.

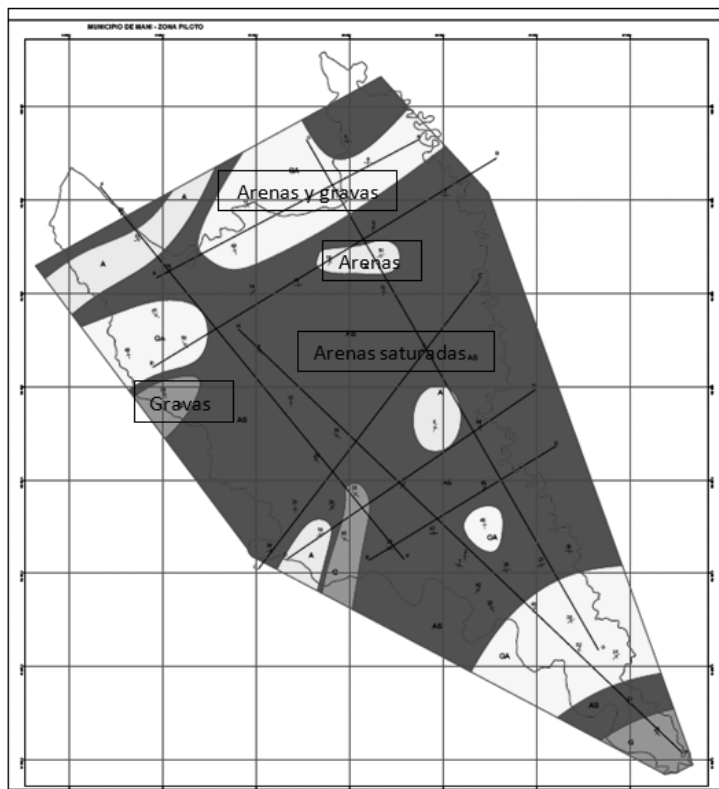


FIGURA 9. Mapa geológico - geofísico a 186 metros.

## CONCLUSIONES

El área de estudio no cuenta con servicio de acueducto y alcantarillado, es por esto que la población debe abastecerse de una gran cantidad de pozos y aljibes contruidos de manera artesanal con captaciones que no cuentan con ninguna información hidráulica. Desde el punto de vista ambiental, la mayoría de las captaciones no presentan ningún tipo de protección sanitaria ni aislamientos, encontrándose a la intemperie y expuestos a todo tipo de contaminación.

Se consideran como unidades hidrogeológicas importantes los Depósitos de Terraza (Qt) y los Depósitos Aluviales (Qal), ya que contienen agua en cantidad apreciable y permiten que ésta circule a través de ellas con facilidad. Estas dos unidades constituyen un mismo sistema acuífero.

La conductividad eléctrica indica una muy baja mineralización debido al corto recorrido que realiza el agua desde la parte de pie de monte donde se recarga en las formaciones del Terciario y Cretácico principalmente, hasta la llanura donde se efectúa la descarga e interconexión con el río Cusiana.

El contenido del ion hierro en todas las muestras proviene de silicatos férricos e indica el origen por depósitos del Cuaternario, con presencia de material arenoso y arcilloso rico en hierro; las concentraciones de Sílice en el agua subterránea varían de 5.2 a 8.5 ppm indicando ataque de silicatos provenientes de arenas cuarzosas, mientras que la del río Cusiana con valor de 2.4 ppm muestra la baja incorporación de minerales. Las concentraciones de sodio-potasio manifiestan el contacto con materiales detríticos embebidos en una matriz arcillosa. La concentración de bicarbonatos presente en todos los puntos se atribuye principalmente a la oxidación de materia orgánica presente en los suelos.

Los contenidos altos de Fe y  $PO_4$  disueltos en agua que superan el límite establecido para consumo humano por el decreto 475 del Ministerio de Salud y el Organismo Mundial de la Salud, se les debe realizar un tratamiento por aireación para el hierro y adecuación del sistema de alcantarillado del municipio.

La presencia de arsénico en las aguas subterráneas es una clara evidencia de contaminación por el uso de plaguicidas, pesticida y fertilizantes de las diferentes y extensivas actividades agrícolas.

El flujo regional proviene de infiltración y recarga en las zonas de afloramiento de las formaciones del Pie de monte Llanero donde el agua se percola y se mueve hacia el SE a sectores de menor pendiente. El Municipio de Maní presenta un flujo de agua originado de la recarga por infiltración directa en los materiales de alta permeabilidad y los esteros con una dirección preferencial hacia el SE.

El acuífero es potencialmente explotable a profundidades mayores de 33 m y hasta profundidades de 200 m según el alcance de este estudio, hacia la parte central del área.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor agradece la dotación económica y técnica de INGEOMINAS y la UPTC durante la formulación del proyecto; al apoyo profesional de Maria Consuelo Vargas y Francisco Velandia y a los árbitros por la evaluación de este trabajo.

## **REFERENCIAS**

Catalan, I. 1969. Química del agua. Editorial Blume. Madrid- Barcelona, 355p

Custodio, E y Llamas, R. 1996. Hidrología Subterránea, tomos I y II, Barcelona, 2350p.

IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2007. Sistema de Información Nacional Ambiental. Reporte de Estaciones municipios de Yopal, Aguazul y Maní, 20p.

INGEOMINAS, UPTC. 2007. Investigación geológica e hidrogeológica la zona piloto de Maní, Departamento de Casanare, 88p.

---

Trabajo recibido: Abril 3 de 2009

Trabajo aceptado: Mayo 29 de 2009