

**AJUSTE DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO LEÓN
SZH (1201) LOCALIZADA EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA EN
JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL
URABÁ (CORPOURABA)**

**FASE DE DIAGNOSTICO
CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO
HIDROGEOLOGÍA**

MARZO DE 2019

CONTENIDO

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO | 5 |
| 1.3 | HIDROGEOLOGÍA | 5 |
| 1.3.1 | Identificación y caracterización hidrogeológica de unidades geológicas | 6 |
| 1.3.2 | Red de flujo | 22 |
| 1.3.3 | Propiedades hidráulicas | 24 |
| 1.3.4 | Estimación de la oferta hídrica subterránea | 25 |
| 1.3.5 | Fuentes de recarga, áreas y magnitud de la recarga | 26 |
| 1.3.6 | Oferta del agua subterránea | 30 |
| 1.3.7 | Demanda y usos actuales y potenciales de los recursos hídricos subterráneos..... | 33 |
| 1.3.8 | Calidad y características físico-químicas del agua subterránea..... | 37 |
| 2 | BIBLIOGRAFÍA..... | 57 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 70. Unidades hidrogeológicas de acuerdo a la capacidad específica de los acuíferos | 13 |
| Tabla 71. Unidades hidrogeológicas de acuerdo a la capacidad específica de los acuíferos | 14 |
| Tabla 72. Estadísticos básicos para los valores de conductividad presentes en cada zona | 24 |
| Tabla 73. Resumen de resultados del balance hídrico para cada una de las estaciones analizadas | 30 |
| Tabla 74. Oferta de aguas subterráneas para el sistema acuífero del Golfo de Urabá | 33 |
| Tabla 75. Distribución de puntos aguas subterráneas en la cuenca | 34 |
| Tabla 76. Distribución de aljibes por unidad geológica | 34 |
| Tabla 77. Distribución de usos de los aljibes | 35 |
| Tabla 78. Distribución de pozos por unidad geológica | 35 |
| Tabla 79. Distribución de usos de los pozos | 35 |
| Tabla 80. Valoración GOD para vulnerabilidad intrínseca de acuíferos | 47 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 38. Vista del Modelo Geométrico del Sistema Acuífero modelado en RockWorks®. Vista desde el suroccidente | 8 |
| Figura 39. Vista del Modelo Geométrico del Sistema Acuífero modelado en RockWorks®. Vista desde el suroriente | 9 |
| Figura 40. Perfiles del Sistema Acuífero transversales al eje de la cuenca. Modelado en RockWorks®. Vista desde el suroriente | 9 |
| Figura 41. Perfiles del Sistema Acuífero paralelos al eje de la cuenca. Modelado en RockWorks®. Vista desde el suroriente | 10 |
| Figura 42. Vista en planta del Sistema Acuífero | 11 |
| Figura 43. Vista del Modelo Geométrico del Sistema Acuífero modelado en RockWorks®. Vista desde el suroriente | 12 |
| Figura 44. Histograma de frecuencia de los materiales que componen el Sistema Acuífero | 12 |
| Figura 45. Mapa de unidades hidrogeológicas de la cuenca | 21 |
| Figura 46. Superficies piezométricas Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá | 23 |
| Figura 47. Distribución espacial de la conductividad hidráulica | 25 |
| Figura 48. Localización estaciones hidroclimatológicas | 27 |
| Figura 49. Áreas de influencia de estaciones hidroclimatológicas y zonas favorables para la recarga | 32 |
| Figura 50. Distribución espacial de las concentraciones de nitratos en la zona de estudio | 39 |
| Figura 51. Distribución espacial de la conductividad eléctrica | 40 |
| Figura 52. Distribución espacial de los sólidos totales disueltos en la zona de estudio | 41 |
| Figura 53. Distribución espacial de las concentraciones de nitratos en la zona de estudio en los niveles someros del acuífero | 43 |
| Figura 54. Distribución espacial de la conductividad eléctrica en los niveles someros del acuífero | 44 |
| Figura 55. Distribución espacial de los sólidos totales disueltos en los niveles someros del acuífero | 45 |
| Figura 56. Valoración GOD para vulnerabilidad intrínseca de acuíferos | 46 |
| Figura 57. Vulnerabilidad intrínseca de acuíferos | 48 |
| Figura 58. Zonas de recarga del sistema acuífero en el área de la cuenca | 50 |
| Figura 59. Uso actual del suelo | 52 |
| Figura 60. Conflictos por el uso del suelo-agua subterráneo | 55 |

LISTA DE GRAFICAS

No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

| | |
|---|----|
| Fotografía 19. Afloramiento de la Unidad Hidrogeológica A2, en la vereda Polines San Sebastián, en el límite de la llanura de inundación del Río Carepa | 15 |
| Fotografía 20. Llanura de inundación en el límite entre la vereda El Guineo y El Venado, en el municipio de Chigorodó..... | 16 |
| Fotografía 21. Litología presentada por una terraza aluvial del Río Carepa en la vereda Dojura ... | 17 |
| Fotografía 22. Depósitos Aluviales Recientes del Río Villarteaga cerca al piedemonte | 17 |
| Fotografía 23. Lodolitas grises de la formación pavo inferior | 18 |
| Fotografía 24. Detalle de una capa muy gruesa de lodolitas grises de la Formación Corpa Inferior | 19 |
| Fotografía 25. Afloramiento en la quebrada Cascajo Blanco | 20 |
| Fotografía 26. Muestra de mano de un aluvión encontrado en la quebrada El Cuchido, en la vereda del mismo nombre, que hace parte del municipio de Apartadó..... | 20 |

LISTA DE ANEXOS

1. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO

1.3 HIDROGEOLOGÍA

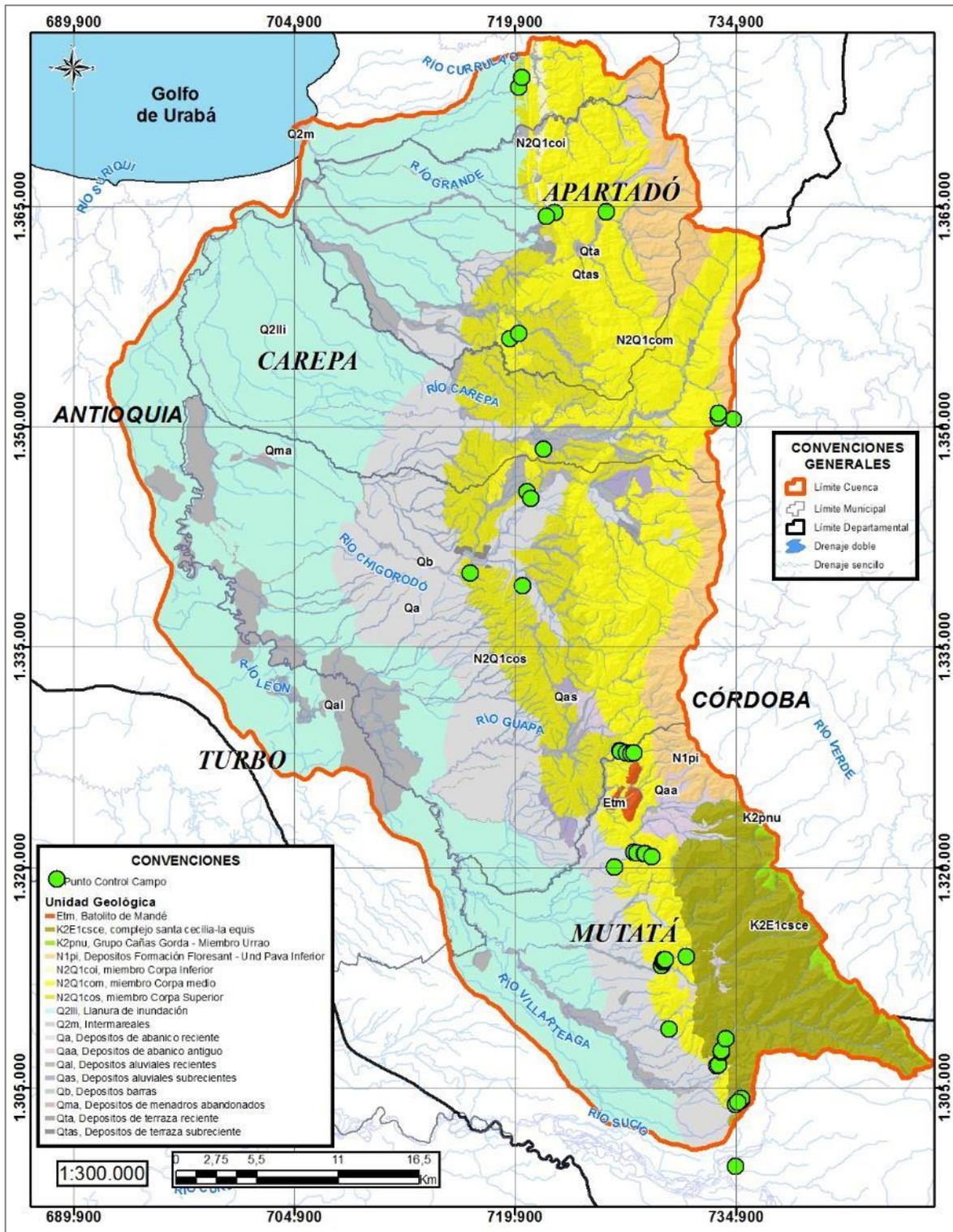
Según el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2014), hidrogeológicamente la cuenca se encuentra en la provincia hidrogeológica PC5 Urabá, sistema acuífero SAC5.1 Golfo de Urabá. De acuerdo al mismo estudio, en esta provincia hidrogeológica, existen tipos de acuíferos libres, semiconfinados y confinados, con espesores que pueden ir desde los 45 m a los 410 m, permeabilidades de 2 a 20 m/d, transitividades de 30 a 1780 m²/d, coeficiente de almacenamiento de 1.0×10^{-4} y las capacidades específicas pueden variar de 0.3 a 4.68 l/s/m. El sistema acuífero Golfo de Urabá, cuenta con un buen nivel de conocimiento, inclusive cuenta con instrumento de planificación de acuíferos, denominado “Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos -Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá, elaborado por la Universidad de Antioquia y CORPOURABA en el año 2016.

Este instrumento de planificación de los acuíferos existentes en la cuenca, contiene información hidrogeológica de mayor detalle que los términos de referencia de los POMCAS, por lo tanto como lo señala la GUIA PARA LA FORMULACION DE PLANES DE MANEJO DE ACUIFEROS, expedida por el Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible en el 2014, se debe articular los instrumentos de planificación y define la estructura de planificación de cuencas y acuíferos, tomando como base el Decreto 1640 de 2012, que reglamenta los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos. En este sentido, en la presente caracterización, se tomarán apartes textualmente de dicho Plan, ya que es información reciente que describe de manera adecuada las características de algunas variables hidrogeológicas, considerándolo oportuno, apropiado y conveniente para la articulación de los instrumentos de planificación.

Las aguas subterráneas de la cuenca, son la fuente principal de abastecimiento para la agroindustria del banano y para comunidades urbanas y rurales de la cuenca, por lo que el ENA 2014 lo considera un recurso estratégico para la región.

En la caracterización hidrogeológica de la cuenca se realizó con base en la información disponible, principalmente la Actualización del Modelo Hidrogeológico Conceptual del Sistema Acuífero del Urabá Antioqueño, Universidad de Antioquia-CORPOURABA 2014 y el Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos - Sistema hidrogeológico Golfo de Urabá, Universidad de Antioquia - CORPOURABA 2016.

En la cuenca del Río León, se identifican diez unidades geológicas: Complejo Santa Cecilia-La Equis (K2E1cs), Batolito de Mandé (Etm), Miembro Nutivara (K2pnu), formación pavo inferior (N1pi), formación corpa inferior (N2Q1coi), formación corpa medio (N2Q1com), formación corpa superior (N2Q1cos), terrazas aluviales (Q2ta), Depósitos Intermareales (Q2m), Llanura de Inundación (Q2Illi) y Depósitos Aluviales Recientes (Qalr). (Ver **¡Error! o se encuentra el origen de la referencia.**)



Fuente: Ecoforest, 2017

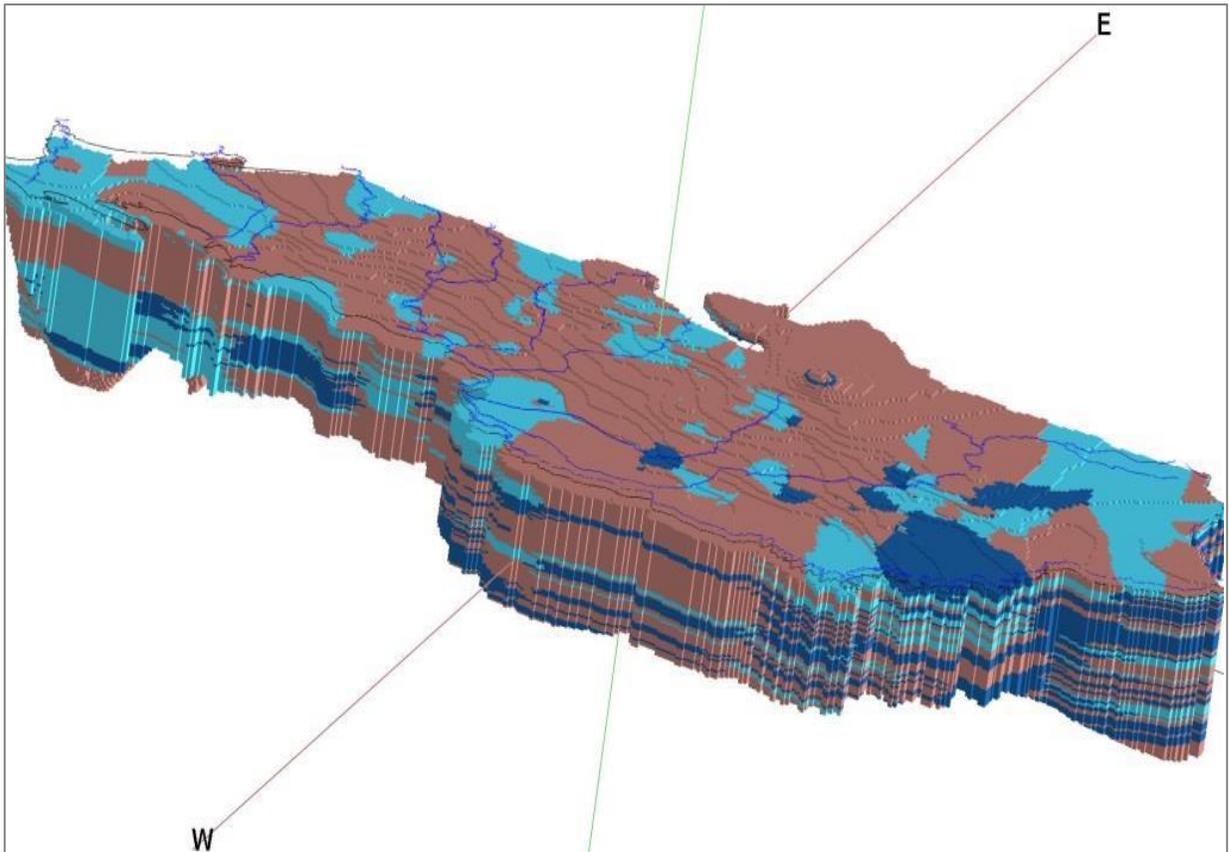
1.3.1 Identificación y caracterización hidrogeológica de unidades geológicas

De acuerdo a los resultados del estudio realizado bajo el convenio 136 de 2013 entre CORPOURABA con la Universidad de Antioquia (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2014), en la cuenca existe un **sistema acuífero multicapa** constituido por una serie alternada de capas permeables, semipermeables e impermeables. Según dicho estudio, a esta caracterización se llegó siguiendo criterios de correlación litológica e hidroestratigráfica, en los que se reunió información procedente de 103 registros de perforación y 202 sondeos geofísicos, y considerando condiciones de conductividad y transmisibilidad hidráulica correspondientes a 232 pruebas de bombeo; se cuenta con solo cuatro datos de coeficiente de almacenamiento. La superposición de varios cortes permitió la construcción del modelo tridimensional. CORPOURABA & Universidad de Antioquia (2014). Actualización del Modelo Hidrogeológico conceptual del Sistema Acuífero del Urabá Antioqueño.

“...En este sistema hidrogeológico predominaría la presencia de material arcilloso; la representación en planta de la naturaleza en superficie del sistema acuífero, muestra la existencia de zonas arcillosas que cubrirían el 62% del total del área, mientras que las arenas finas a medias comprenderían 29% y las arenas gruesas y gravas el 9%. Los sectores con textura arenosa cubren pequeñas áreas que se encuentran distribuidas a lo largo y ancho del territorio, en la parte sur se encuentran relacionados al río Guadualito, unas pequeñas porciones que alcanzan 15 km² aproximadamente cercanas al corregimiento y al río Currulao, hacia el norte de la cuenca se observa este material con extensión aproximada de 50 km² entre el río Apartadó y el río Grande y en cercanías al municipio de Apartadó. Las texturas más gruesas predominan en cercanías al municipio de Chigorodó con una extensión de 90 km² aproximadamente...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá. CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016.

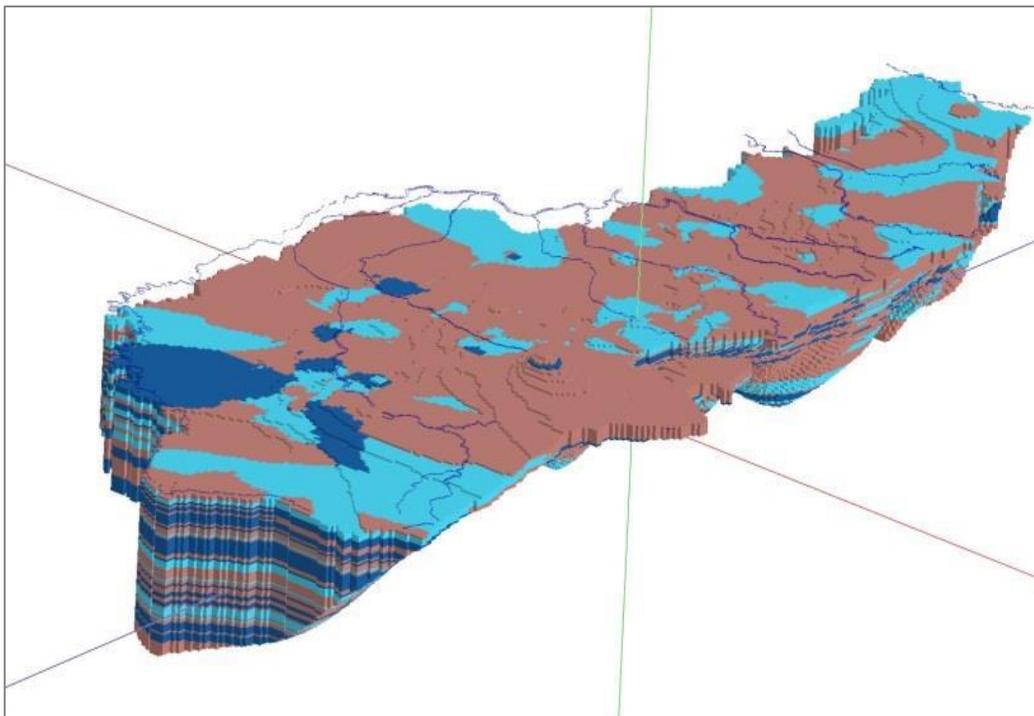
“...Con respecto a la profundidad del basamento se encontró que los menores valores se registran hacia la Serranía de Abibe, mientras los sectores con mayor profundidad se encuentran en el norte, entre los ríos Turbo y Currulao; y hacia el sur, en una franja que cubre la parte central de ésta zona, en cercanías al río Carepa. En las figuras siguientes, se presenta el resultado de ésta modelación...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá. CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016.

Figura 1. Vista del Modelo Geométrico del Sistema Acuífero modelado en RockWorks®. Vista desde el suroccidente



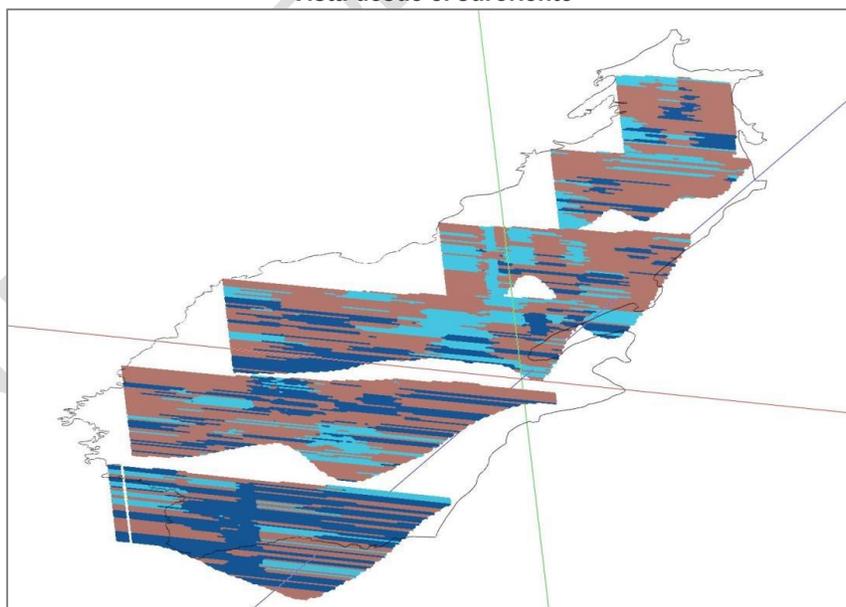
Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016).

Figura 2. Vista del Modelo Geométrico del Sistema Acuífero modelado en RockWorks®. Vista desde el suroriente



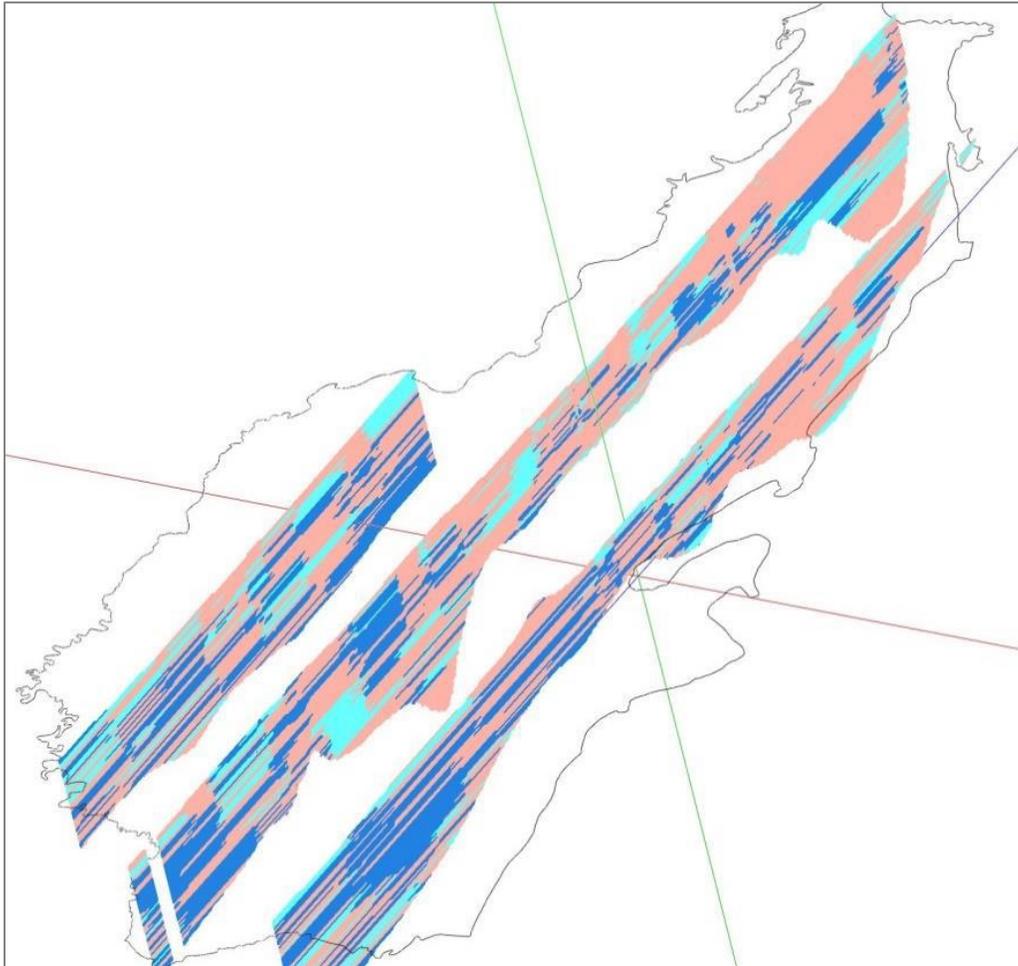
Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016).

Figura 3. Perfiles del Sistema Acuífero transversales al eje de la cuenca. Modelado en RockWorks®. Vista desde el suroriente



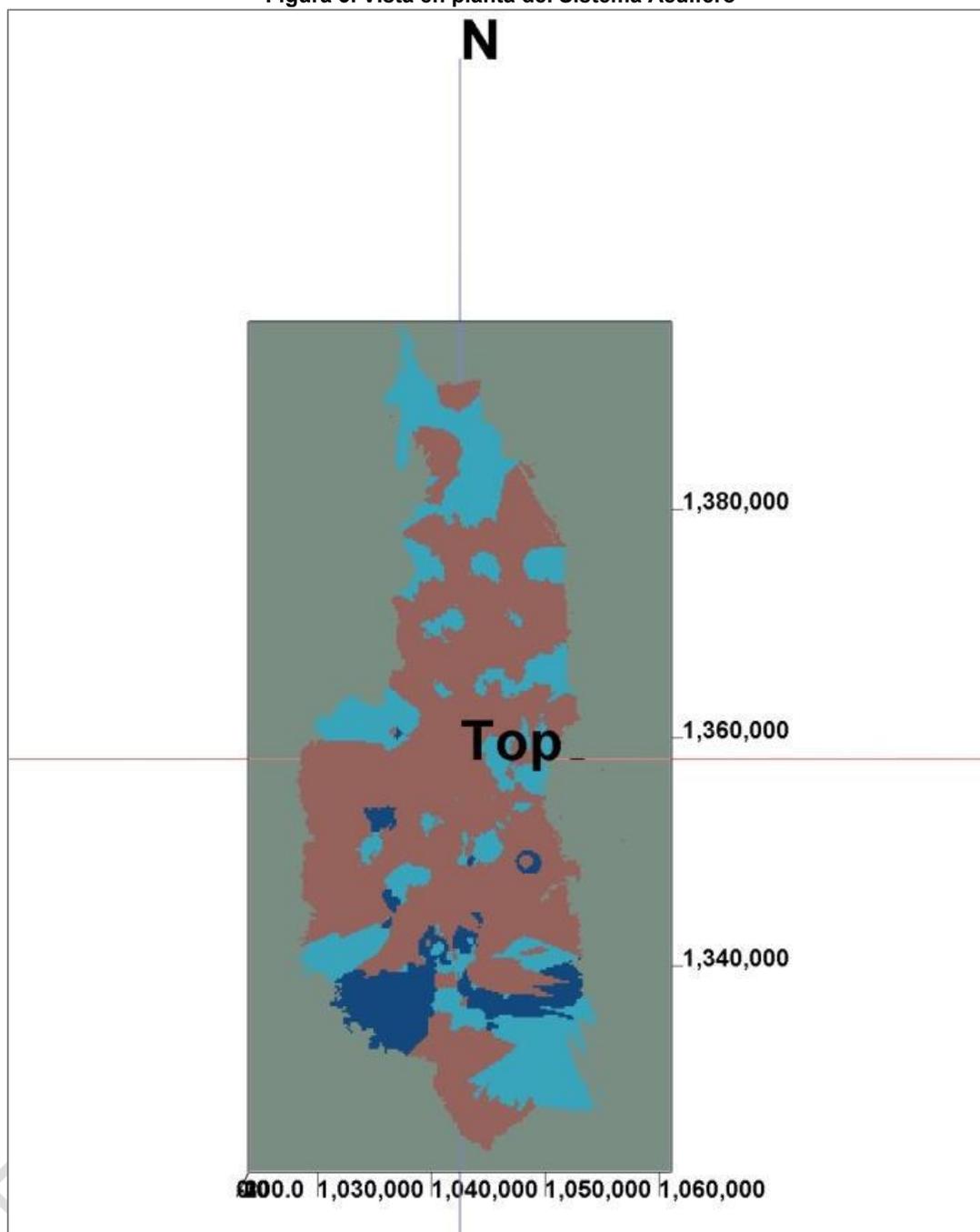
Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016).

Figura 4. Perfiles del Sistema Acuífero paralelos al eje de la cuenca. Modelado en RockWorks®. Vista desde el suroriente



Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016).

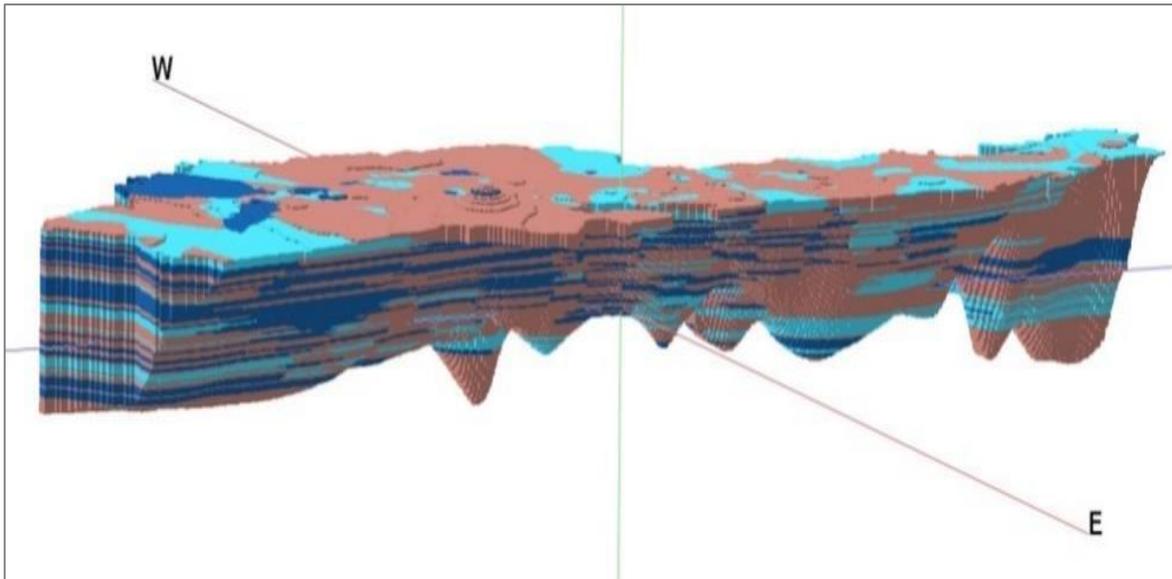
Figura 5. Vista en planta del Sistema Acuífero



Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016).

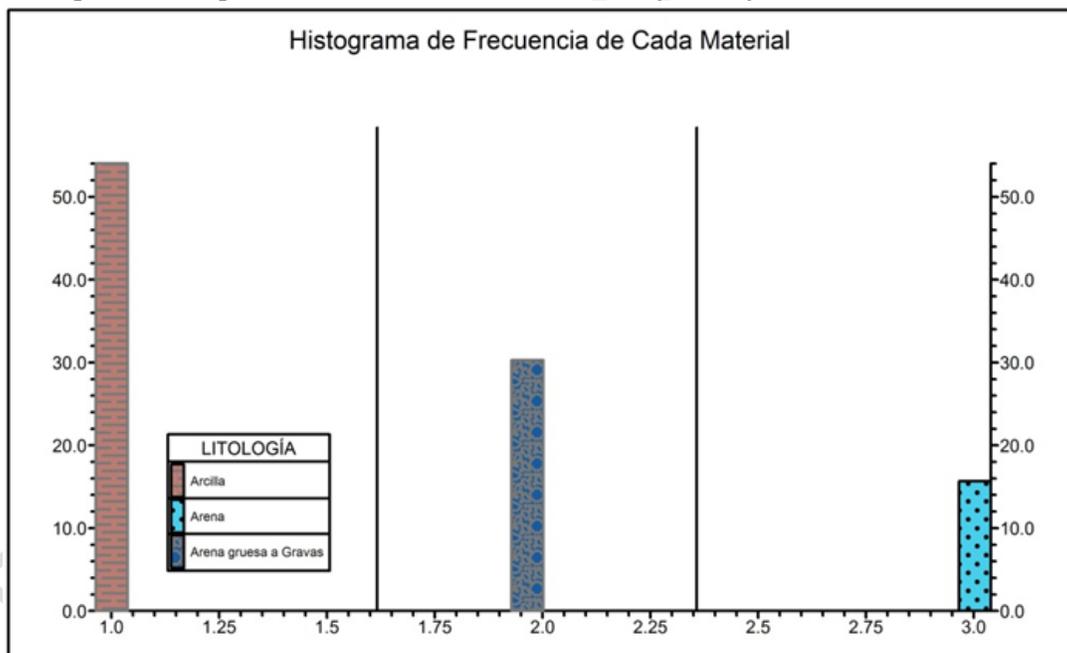
Es evidente la intercalación de materiales finos de tipo arcilloso en la secuencia litológica del acuífero multicapa, haciéndose más abundantes hacia el norte. En la Figura 6 se observa este fenómeno y en la Figura 7 se presenta el histograma de frecuencia de los materiales que componen el sistema acuífero.

Figura 6. Vista del Modelo Geométrico del Sistema Acuífero modelado en RockWorks®. Vista desde el suroriente



Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016).

Figura 7. Histograma de frecuencia de los materiales que componen el Sistema Acuífero



Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016).

El alcance técnico definido en el documento “Consultoría Para la Actualización del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río León SZH (1201)” localizada en el departamento de Antioquia en jurisdicción de la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá” el Fondo de Adaptación 2014, señala que “... Tomando como base las salidas cartográficas de geología básica y geomorfología a escala 1:25000 generada para el POMCA y el análisis

de la información en instituciones del nivel nacional, regional o local, como el Servicio Geológico Colombiano - SGC, IDEAM, Autoridades Ambientales, Universidades u otras instituciones, identificar y caracterizar unidades geológicas que puedan conformar sistemas acuíferos...” y en relación con la cartografía señala que se deben seguir los lineamientos establecidos por el Servicio Geológico Colombiano, en cuanto a la presentación y simbología en la presentación de mapas hidrogeológicos.

Como complemento realizado por la Universidad de Antioquia y CORPOURABA, teniendo en cuenta la anterior consideración, a continuación se realiza la caracterización de las unidades geológicas generadas para el presente POMCA. Para la clasificación de unidades hidrogeológicas se tomó la nomenclatura de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH), “LEYENDA INTERNACIONAL DE LOS MAPAS HIDROGEOLÓGICOS” (1995), considerada y adaptada para Colombia en la Guía Metodológica para la Formulación de Proyectos de Protección de Aguas Subterráneas, Ministerio del Medio Ambiente 2002 y por el INGEOMINAS (SGC) para el Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia. Esta clasificación se basa en asignación de categorías hidrogeológicas en función de la composición, permeabilidad y capacidad específica de cada unidad. En la Tabla 1 se presenta la clasificación utilizada.

Tabla 1. Unidades hidrogeológicas de acuerdo a la capacidad específica de los acuíferos

| UNIDAD HIDROGEOLÓGICA | CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS | Capacidad específica promedio (l/s/m) |
|-----------------------|---|---------------------------------------|
| A | Sedimentos o rocas con porosidad primaria (Flujo intergranular) | |
| A1 | Acuíferos continuos de extensión regional, de muy alta productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados. Contienen aguas de buena calidad química para consumo humano | Mayor a 5.0 |
| A2 | Acuíferos continuos de extensión regional, de alta productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas. Contienen aguas de buena calidad química para consumo humano | Entre 2.0 y 5.0 |
| A3 | Acuíferos continuos de extensión regional, de mediana productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente fluvial, glaciofluvial, marino y volcánoclastico. Acuíferos generalmente confinados. Con aguas de buena calidad química para consumo humano | Entre 1.0 y 2.0 |
| A4 | Acuitardos o Acuíferos discontinuos de extensión local, de baja productividad, conformados por sedimentos cuaternarios y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas. Estos acuitardos o acuíferos pueden ser libres o confinados. Contienen aguas de regular calidad química para consumo humano | Entre 0.05 y 1.0 |
| B | Rocas con porosidad secundaria (Flujo a través de fracturas) | |
| B1 | Acuíferos discontinuos de extensión regional, de muy alta productividad, conformados por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias bien consolidadas en las cuales el flujo se da a través de fracturas o planos de foliación | Mayor a 5.0 |
| B2 | Acuíferos discontinuos de extensión regional, de alta productividad, conformados por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias bien consolidadas en las cuales el flujo se da a través de fracturas o planos de foliación | Entre 2.0 y 5.0 |

| UNIDAD HIDROGEOLÓGICA | CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS | Capacidad específica promedio (l/s/m) |
|-----------------------|---|---------------------------------------|
| B3 | Acuíferos continuos de extensión regional, de mediana productividad, conformados por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias bien consolidadas en las cuales el flujo se da a través de fracturas o planos de foliación | Entre 1.0 y 2.0 |
| B4 | Acuitardos o acuíferos discontinuos de extensión regional y local, de baja productividad, conformados por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias bien consolidadas en las cuales el flujo se da a través de fracturas o planos de foliación | Entre 0.05 y 1.0 |
| C | Rocas o sedimentos con limitado o ningún recurso de agua subterránea | |
| C1 | Rocas sedimentarias muy consolidadas o sedimentos arcillosos con muy baja productividad | Menor a 0.05 |
| C2 | Rocas ígneas y metamórficas con muy baja o ninguna productividad | Menor a 0.05 |

Fuente: Guía Metodológica para la Formulación de Proyectos de Protección de Aguas Subterráneas, Ministerio del Medio Ambiente 2002

A partir de la información disponible y la recolectada en campo y basados en función de la composición, permeabilidad y capacidad específica de cada unidad, las unidades geológicas y/o unidades litológicas identificadas, se agrupan desde el punto de vista hidrogeológico en las siguientes unidades. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Unidades hidrogeológicas de acuerdo a la capacidad específica de los acuíferos

| UNIDAD GEOLÓGICA | | UNIDAD HIDROGEOLÓGICA | CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS |
|---------------------------------|---------|-----------------------|---|
| Aluviales recientes | Qalr | A3 | Acuíferos continuos de extensión regional, de mediana productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados. Acuíferos libres con aguas de regular a buena calidad química para consumo humano |
| Depósitos intermareales | Q2m | | |
| Llanura de inundación | Q2llli | | |
| Terrazas aluviales | Q2ta | | |
| Formación Corpa Superior | N2Q1cos | A2 | Acuíferos continuos de extensión regional multicapa, de alta productividad, conformados por rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas. Contienen aguas de buena calidad química para consumo humano |
| Formación Corpa Medio | N2Q1com | C1 | Rocas sedimentarias muy consolidadas con muy baja productividad |
| Formación Corpa Inferior | N2Q1coi | | |
| Formación Pavo Inferior | N1pi | C2 | Rocas ígneas y metamórficas con muy baja o ninguna productividad |
| Miembro Nutivara | K2pnu | | |
| Batolito de Mandé | Etm | | |
| Complejo Santa Cecilia-La Equis | K2E1cs | | |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018.

1.3.1.1 Unidad hidrogeológica A2

Esta unidad hidrogeológica se encuentra conformada por las formaciones corpa superior y corpa medio.

La formación corpa superior según CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2014, está conformado por lodolitas de color gris azulado, con capas discontinuas no paralelas, de

espesor 1 a 2 m de espesor, intercaladas con capas discontinuas de conglomerados, con guijos polimigticos en una matriz arenosa, de grano medio a grueso.

Alcanza su mayor expresi3n hacia el la parte central de la cuenca, en el municipio de Chigorod3. Su litolog3a fue caracterizada durante los recorridos sobre los r3os La Fortuna y Porroso, principalmente. Durante estos recorridos, se observaron lodolitas grises dispuestas en capas muy gruesa intercaladas con conglomerados polim3cticos tama3o guijo.

La formaci3n corpa medio. CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2014, describe esta unidad como areniscas y conglomerados. La misma referencia, expresa que las areniscas son de color amarillo gris3ceo, de grano fino a medio, polimigticas, subangulares, de baja esfericidad y moderada selecci3n y matriz arcillosa.

Esta unidad fue observada en campo a la altura del R3o Carepa entre los municipios de Apartad3 y Carepa, en donde hace parte de los flancos del Sinclinal y Anticlinal de Chigorod3. Esta unidad tambi3n aflora al sur del R3o Chigorod3, al este de la vereda El Congo y al sur de la vereda Serran3a de Abibe, donde se expresa como una franja peque3a con sentido aproximado norte-sur.

Esta unidad representa la secuencia m3s gruesa, (en cuanto a tama3o de grano), de la formaci3n corpa. Fue observada en campo como litoareniscas de grano muy fino que var3an hasta grano medio dispuestas en capas medias a gruesas, intercaladas con litoarenitas conglomer3ticas de tama3o gr3nulos a guijos y conglomerados polim3cticos arenosos tama3o granulo a guijo; tambi3n se presentan algunas intercalaciones de capas delgadas de lodolitas.

Fotograf3a 1. Afloramiento de la Unidad Hidrogeol3gica A2, en la vereda Polines San Sebasti3n, en el l3mite de la llanura de inundaci3n del R3o Carepa



X: 721.801 - Y: 1.348.477. Orientaci3n: N75W
Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Esta unidad hidrogeol3gica (Fotograf3a 1) se caracteriza por conformar ac3feros continuos de extensi3n regional, de alta productividad, conformados por rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas. Contienen aguas de buena calidad qu3mica para consumo humano. La capacidad espec3fica promedio puede estar entre 2.0 y 5.0 l/s/m.

1.3.1.2 Unidad hidrogeológica A3

Esta unidad hidrogeológica está representada por los depósitos de materiales no consolidados, entre los cuales se encuentran los Depósitos Aluviales Recientes (Qalr), los Depósitos Intermareales (Q2m), las Terrazas Aluviales (Q2ta) y las Llanuras de Inundación (Q2IIIi).

Los Depósitos de Llanura de Inundación, ocupan buena parte de la cuenca, están compuestos por sedimentos limo arcillosos no consolidados, no presentan fragmentos líticos y tienen un alto contenido de materia orgánica; además se observan suelos mal drenados. Ver Fotografía 2.

Fotografía 2. Llanura de inundación en el límite entre la vereda El Guineo y El Venado, en el municipio de Chigorodó



Nota: Al fondo se observa la Serranía de Abibe, que constituye el límite oriental de la llanura de inundación de la Cuenca del Río León. X: 713.173 - Y: 1.332.557. Orientación: <N15W.
Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018.

Las Terrazas Aluviales están compuestas por detritos redondos con tamaño y composición variables no litificados, con buena gradación y selección. Ver Fotografía 3.

Fotografía 3. Litología presentada por una terraza aluvial del Río Carepa en la vereda Dojura



Nota: Aquí se observan gran variedad de tamaños de grano, predominando el tamaño de grano guijo; también se observa la alta diversidad composicional de los clastos. X: 720.720 - Y: 1.345.592
Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Los Depósitos Intermareales corresponden a las zonas de depositación, producto de la dinámica del mar y su oleaje. En esta dinámica el mar entra y sale del continente, arrastrando y depositando sedimentos; los sedimentos que son depositados en esta zona inundable, corresponden a limos, arenas y bioclastos intercalados con materia orgánica.

Los Depósitos Aluviales Recientes (Fotografía 4), están asociados a los cauces actuales y corresponde a las gravas, arenas y limos que los ríos depositan a lo largo de su curso, cuando al alejarse de la Serranía de Abibe pierden capacidad de carga y competencia.

Fotografía 4. Depósitos Aluviales Recientes del Río Villarteaga cerca al piedemonte



Donde este se cruza con la carretera que conduce del municipio de Mutatá al municipio de Chigorodó.
X: 733.569 - Y: 1.305.692 Orientación: N85W.
Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

La Unidad hidrogeológica A3, representa acuíferos continuos de extensión regional, de mediana productividad. Los acuíferos son generalmente libres, con aguas de buena calidad química. La capacidad específica promedio puede estar entre 1.0 y 2.0 l/s/m.

1.3.1.3 Unidad hidrogeológica C1

Esta unidad hidrogeológica está representada por las rocas de las formaciones corpa inferior y pavo inferior. Ver Fotografía 5.

La Formación Corpa Inferior (Fotografía 6) es descrita por CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2014, como areniscas de color amarillo grisáceo, de tamaño de grano fino a medio, polimíctica con matriz arcillosa. Además, describe a los clastos como angulosos a subredondeados de baja esfericidad y mala selección. Por último, anota que esta unidad, se presentan en capas de 10 a 20 cm de espesor continuas paralelas, estratificadas con capas de lodolitas de color gris azulado claro, friables que se presentan en capas de 5 a 10 cm y que el espesor de este conjunto en el sector de Carepa - El Roble alcanza los 165 m.

En la Cuenca del Río León, esta unidad aflora en la parte este, a lo largo de la Serranía de Abibe y corresponde a la parte más alta y más competente de ésta. En el recorrido del área de estudio se observaron areniscas líticas de grano medio de color gris, con cemento calcáreo, en donde se observa la estratificación interna, debido a la presencia de láminas de lodolitas negras; estas areniscas están dispuestas en capas gruesas y presentan dos familias de diaclasas, además de la estratificación, lo que hace que estas areniscas tengan una partición aproximada a la hexagonal. Estas areniscas, están intercaladas con shales negros físciles; además también se observaron lodolitas grises con partición concoidea en la parte más alta de la serranía; esta partición concoidea puede indicar silicificación, lo que probablemente otorga la competencia a la parte más alta de la serranía.

Fotografía 5. Lodolitas grises de la formación pavo inferior



Nota: Donde se observa partición concoidea atribuida a silicificación o cementación calcárea muy fuerte, que le otorga la dureza o competencia a este tipo de roca, dando como resultado expresiones topográficas muy fuertes.

X: 734.738 - Y: 1.350.497

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Fotografía 6. Detalle de una capa muy gruesa de lodolitas grises de la Formación Corpa Inferior



Nota: Se encuentra como una intercalación con las litoarenitas del miembro corpa inferior, hacia el tope de la secuencia del afloramiento encontrado en la vereda El Tigre
Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

Esta unidad hidrogeológica es considerada como el basamento por su carácter impermeable, y no presentan importancia hidrogeológica por su baja capacidad para almacenar y permitir el flujo de agua subterránea. Se consideran un Acuícludo.

1.3.1.4 Unidad hidrogeológica C2

Esta unidad hidrogeológica está representada por las rocas ígneas y metamórficas de las Formaciones Miembro Nutivara, Batolito de Mandé y Complejo Santa Cecilia-La Equis.

El Complejo Santa Cecilia – La Equis, aflora en la parte sur-occidental de la Cuenca del Río León, está representado principalmente por rocas extrusivas básicas con variación composicional, que se ve reflejado en cambios de color en las rocas de textura afanítica, las cuales afloran hacia la parte alta de la Serranía de Abibe, en el noreste del municipio de Mutatá.

En el recorrido que se realizó en la parte alta de la quebrada Cascajo Blanco (Fotografía 7), en la vereda Caucheras, del municipio de Mutatá, se observaron rocas ígneas extrusivas de color negro y verde oscuro, en donde se presentan algunas intercalaciones de rocas sedimentarias (lodolitas, shales y limolitas) con metamorfismo regional de bajo grado, puesto que aunque se presentan recristalización, foliación y lustre, las características originales de la roca.

Fotografía 7. Afloramiento en la quebrada Cascajo Blanco



Nota: Se observan lodolitas verdes con metamorfismo de bajo grado, atravesadas por venas de calcita.
X: 735264 - Y: 1304150
Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

El Miembro Nutivara, se presenta en la cuenca como cuerpos pequeños de formas irregulares que se presentan en la parte más alta de la cuenca en su límite oriental. En los depósitos aluviales recientes de varios de los ríos que hacen parte de la Cuenca del Río León, se encuentran cantos de composición diabásica, como el que se observa en la Fotografía 8.

Fotografía 8. Muestra de mano de un aluvión encontrado en la quebrada El Cuchido, en la vereda del mismo nombre, que hace parte del municipio de Apartadó

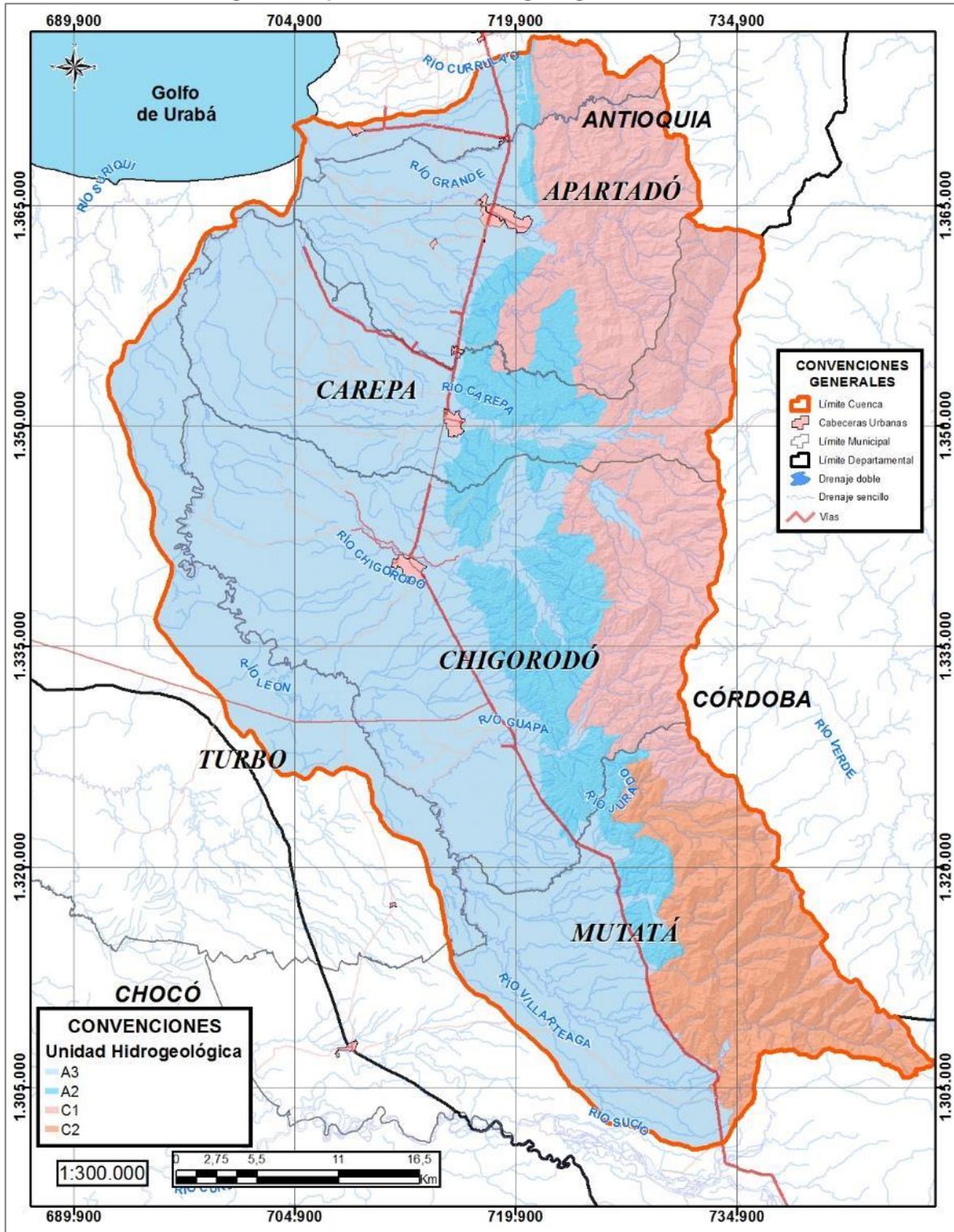


Nota: En este aluvión se observan cristales de plagioclasas embebidos en una masa de color negro, que representa un tamaño cristalino menor, dando como resultado la textura porfirítica, de esta diabasa atribuida a los silos descritos en el Miembro Nutivara de la Formación Penderisco
Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

La unidad hidrogeológica C2, conformada por rocas de origen ígneo y metamórfico no tiene interés hidrogeológico y se considera como un acuífugo.

En la Figura 8 se muestra la distribución de las unidades hidrogeológicas delimitadas en superficie. Las unidades hidrogeológicas A2 y A3 conforman el denominado el Acuífero-Sistema Hidrogeológico del Golfo de Urabá.

Figura 8. Mapa de unidades hidrogeológicas de la cuenca



Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

1.3.2 Red de flujo

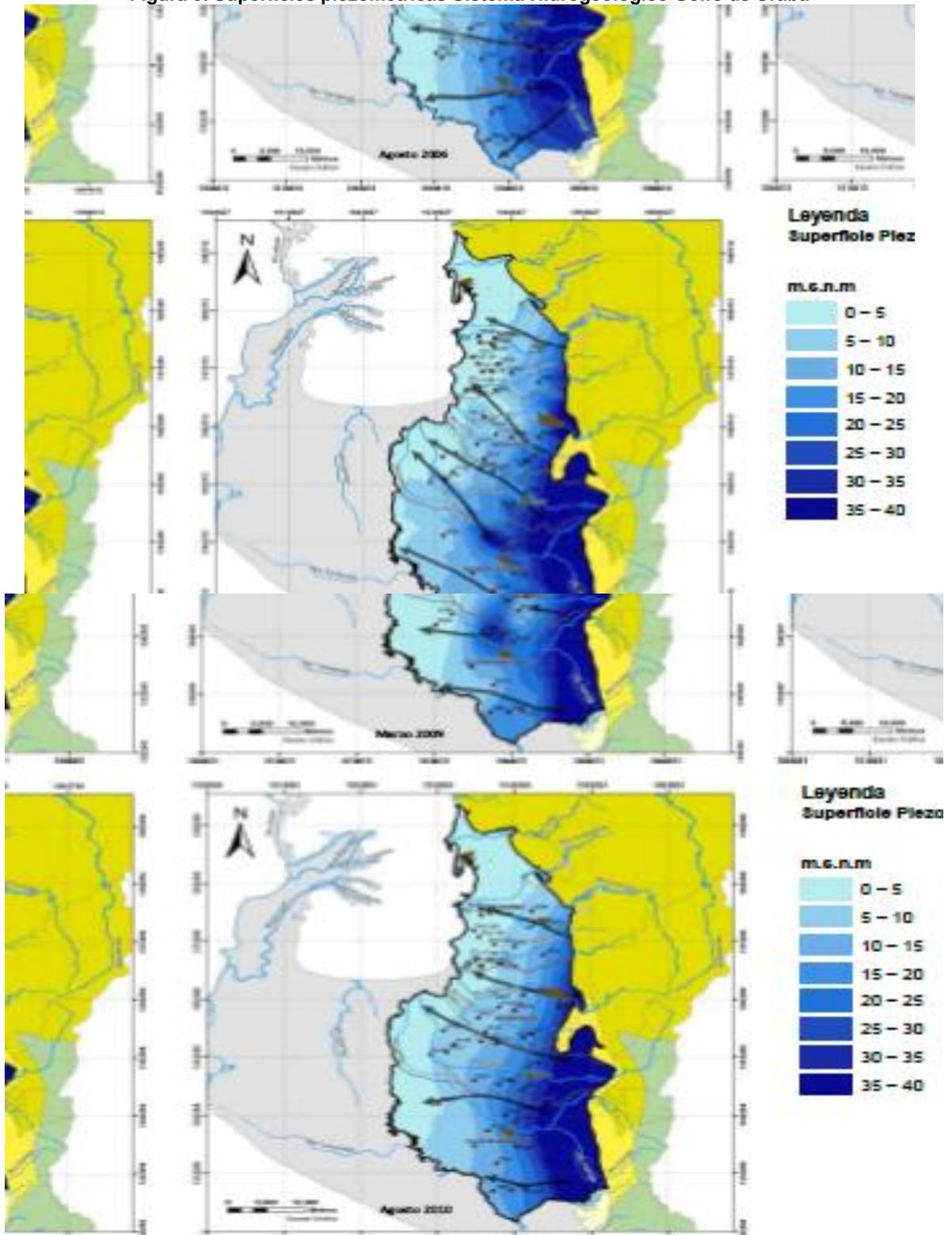
La definición de la red de flujo se tomó del estudio Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos – Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá, CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016. Dicho estudio señala que “...para describir la red de flujo se modelaron quince (15) superficies piezométricas para los meses de Marzo, Agosto y Noviembre, teniendo en cuenta los datos reportados en diferentes campañas de nivelación piezométrica realizadas por CORPOURABA...” (Ver Figura 9).

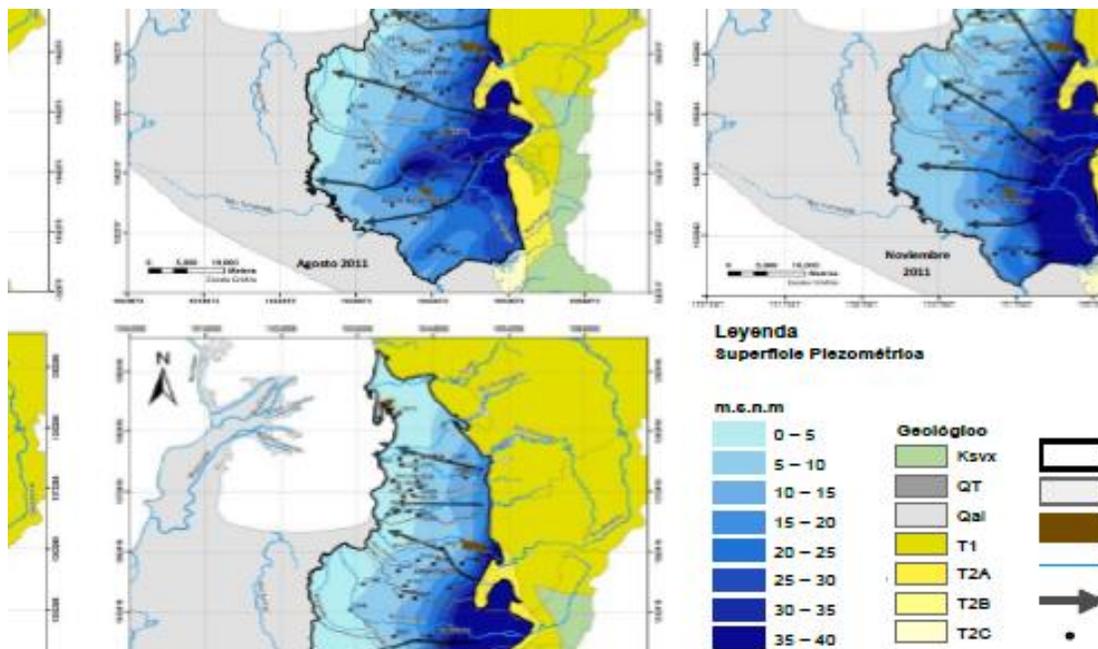
“...En general se puede observar el flujo del agua desde la Serranía de Abibe hacia el cauce del Río León en el centro y sur, y hacia el Golfo de Urabá siguiendo una tendencia sureste-noroeste al norte de la zona acuífera. Para algunos periodos (Marzo 2006, Marzo 2009, Marzo 2010, Marzo 2011, Marzo 2012, Marzo 2013, Agosto 2008, Agosto 2011, Noviembre 2008 y Noviembre 2009) se identifica una divisoria de aguas subterráneas siguiendo una alineación suroeste-noreste a través de la zona al norte donde antiguamente se ubicaba el aeropuerto del municipio de Chigorodó. Esta tendencia direcciona flujos subterráneos hacia el noroeste o hacia el suroeste...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá. CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016.

“...En las superficies piezométricas de Marzo 2006, Marzo 2009, Marzo 2010, Marzo 2011 y Marzo 2013. Se notan mayores descensos en el nivel freático en torno a ciertas captaciones de uso agrícola, doméstico e industrial. Esto correspondería a la respuesta del sistema al régimen de explotación que se estaría dando durante el mes de Marzo, época de verano, cuando se generaría mayor uso del agua subterránea para el riego de cultivos y para diferentes procesos industriales y domésticos. Una excepción a esta tendencia se presenta en la superficie piezométrica de Marzo 2008, pero hay que tener en cuenta que éste fue un año relativamente más húmedo...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá. CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016.

“...Este mismo comportamiento se observa en las superficies piezométricas de Agosto 2008, Noviembre 2008, Noviembre 2009, Agosto 2011 y Noviembre 2011. Aunque Agosto y Noviembre son meses más húmedos que Marzo, no se puede dejar a un lado el hecho de que el recurso hídrico subterráneo representa una importante fuente para el desarrollo de la actividad agrícola de la región, por lo cual las variaciones en estos meses podrían darse, de igual manera, por el régimen de explotación en las captaciones de esa región...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá. CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016.

Figura 9. Superficies piezométricas Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá





Fuente: (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2014 en Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá-CORPOURABA-Universidad de Antioquia 2016).

“La recarga al Sistema Hidrogeológico de Urabá se estaría dando a partir de los excedentes de precipitación que se infiltra a través de las zonas con mayor permeabilidad, estas se encuentran distribuidas en la planicie aluvial y en la colinas orientales que enmarcan las estribaciones de la Serranía de Abibe...”, Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá. CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016.

1.3.3 Propiedades hidráulicas

Las propiedades hidráulicas se definieron a partir del estudio Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos-Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá, CORPOURABA-Universidad de Antioquia, 2016. El PMA del acuífero menciona que “...considerando la variabilidad especial que se percibe en la textura de los materiales que conforman el sistema acuífero, se realizó una sectorización en tres áreas, una ubicada al norte del Río Zungo, otra entre este y el río Carepa y la última hacia el sur de éste. Para cada sector se realizó una exploración de estadísticos básicos, a partir de datos de ciento cincuenta y ocho (158) pruebas de bombeo, para resumir el comportamiento de la conductividad hidráulica en el territorio...” En la Tabla 3 se observa que la conductividad hidráulica aumenta en sentido norte-sur, con mayor variabilidad en la zona sur.

Tabla 3. Estadísticos básicos para los valores de conductividad presentes en cada zona

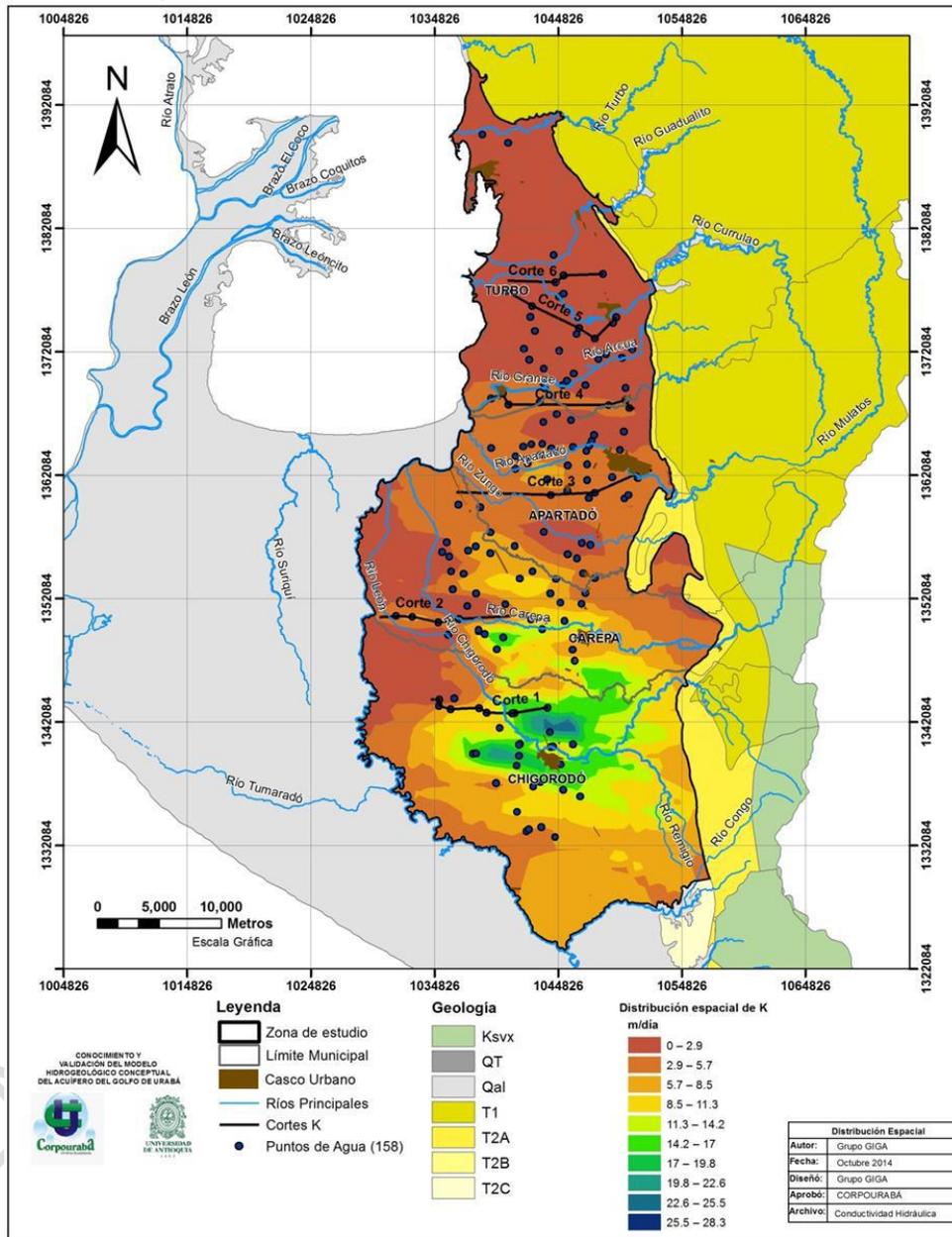
| ZONA | Nº DE PRUEBAS | PROMEDIO | DESVIACION | MIN | MAX | MODA | MEDIANA |
|--------|---------------|----------|------------|-------|------|------|---------|
| Norte | 78 | 3,4 | 2,3 | 0,200 | 13,0 | 2,1 | 2,8 |
| Centro | 35 | 5,7 | 4,2 | 0,043 | 18,6 | 5,4 | 5,6 |
| Sur | 45 | 11,3 | 6,9 | 0,200 | 12,5 | 12,5 | 11,6 |

Fuente: CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2014 en Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá-CORPOURABA-Universidad de Antioquia 2016.

A partir de la correlación de los valores de conductividad (K) y la litología de las rocas de las unidades captadas, se logró establecer en el estudio señalado anteriormente una

correlación directa entre los valores de K obtenidos y la textura de las capas. En la Figura 10, tomada del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá-CORPOURABA-Universidad de Antioquia 2016, se muestra la distribución espacial de la conductividad hidráulica de los acuíferos de la cuenca.

Figura 10. Distribución espacial de la conductividad hidráulica



Fuente: CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2014

1.3.4 Estimación de la oferta hídrica subterránea

La oferta se define a través de la recarga o agua que se infiltra y alcanza los niveles acuíferos. Teniendo en cuenta que el PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE ACUÍFEROS para el SISTEMA HIDROGEOLÓGICO GOLFO DE URABÁ, CORPOURABA & Universidad

de Antioquia 2016 contiene información reciente y que ha transcurrido sólo un año de la realización de dicho estudio, la estimación de la oferta se toma del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos. Adicionalmente teniendo en cuenta que la divisoria hidrogeológica no coincide con la divisoria de la cuenca del Río León y que el parte del agua que se infiltra en la cuenca del Río León fluye a través del subsuelo hacia el norte, el cálculo de la oferta se analiza para todo el sistema acuífero y para la parte del acuífero existente bajo la cuenca.

1.3.5 Fuentes de recarga, áreas y magnitud de la recarga

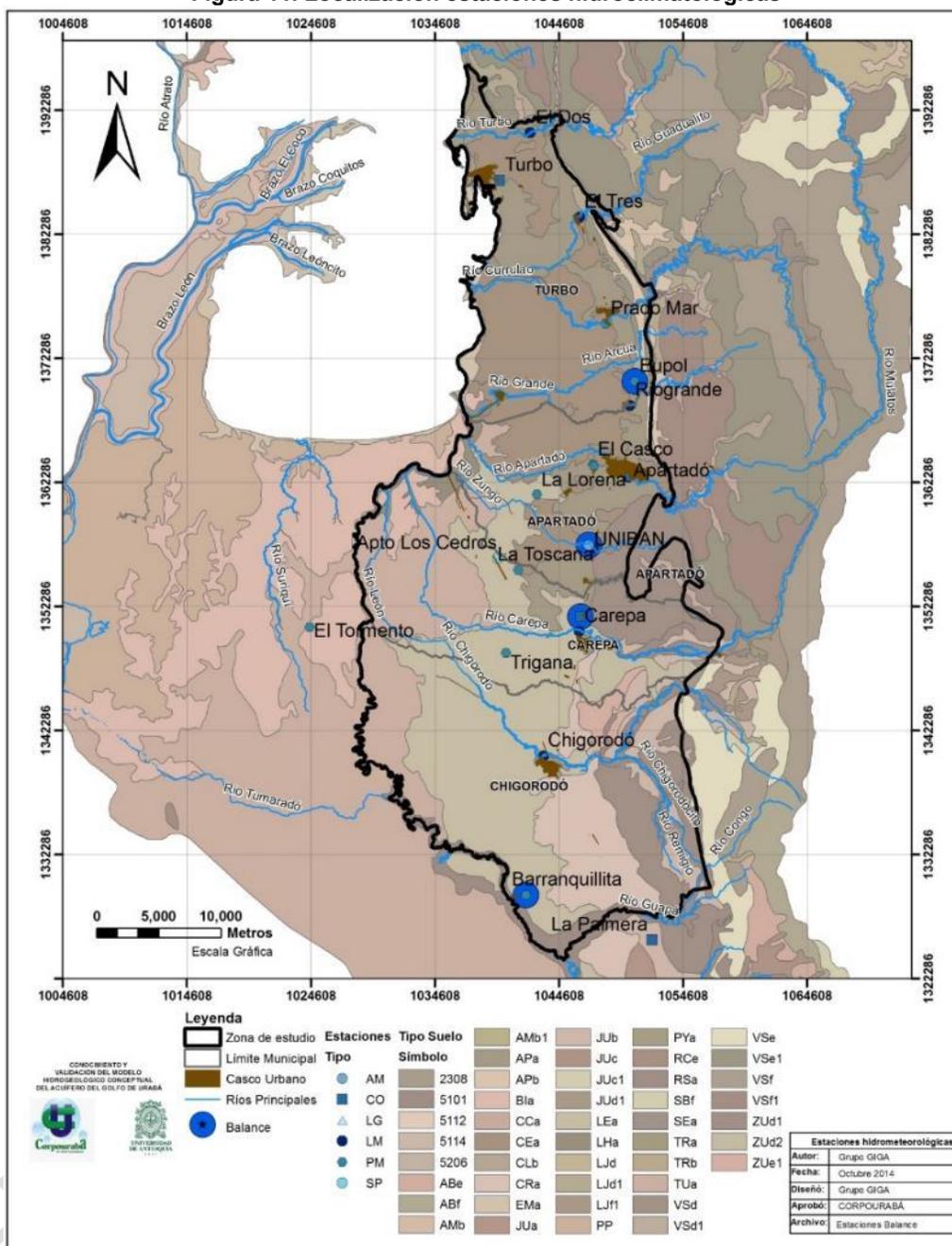
“...La recarga se da a partir de los excedentes de precipitación que se infiltra a través de las zonas con mayor permeabilidad, estas se encuentran distribuidas en la planicie aluvial y en la colinas orientales que enmarcan las estribaciones de la Serranía de Abibe. En los niveles más profundos se pueden presentar flujos regionales que involucran agua almacenada en el subsuelo por largos períodos y que seguramente han recorrido grandes distancias...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos-Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá CORPOURABA - Universidad de Antioquia, 2016.

La evaluación de la recarga se realizó por la Universidad de Antioquia y CORPOURABA (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2014), empleando el método de balance hídrico por estaciones y por unidad de suelo, como se explica a continuación.

“...Para el análisis hidrológico se definió un hidoperíodo correspondiente al intervalo Marzo - Febrero; dentro de él se registra un período de lluvias de Abril a Diciembre y un período seco entre Enero y Marzo, siendo Marzo un mes de transición. Cabe anotar que durante el período de lluvias, la lluvia es menor hacia el suroeste, mientras que hacia el centro y norte, este comportamiento se da en los meses de Agosto o Septiembre. En términos generales el mes más lluvioso es Mayo. En cuanto a la variabilidad espacial, la lluvia presenta un gradiente que disminuye de sureste a noroeste...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos - Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá CORPOURABA - Universidad de Antioquia, 2016.

“...El modelo de balance empleado se hizo en dos escalas temporales: diaria y mensual. En la primera, se asumen como flujos principales del sistema, la precipitación, la escorrentía superficial directa – calculada con el método de número de curva –, la evapotranspiración, la infiltración y la recarga potencial directa por infiltración, que es la salida del balance. En la escala mensual, los flujos principales son el caudal base, la recarga potencial directa y la recarga neta, que es la salida del balance, y el medio de almacenamiento es el acuífero. Pese a que se construyeron varios esquemas, dada la cantidad de información y el conocimiento de la zona se lograron probar solo dos de ellos, uno que considera la recarga total y el otro que extrae de la recarga total del aporte de flujo al caudal base de las fuentes superficiales. Para el reporte de los resultados se escogieron las estaciones, Barranquillita, Unibán, Tulenapa y Eupol, ya que estas registran tanto datos de precipitación como de evaporación o están próximas a estaciones con registro de datos de tanque evaporímetro y de caudal. Además, se tuvo en cuenta la ubicación espacial de estas, buscando lograr con la selección una mejor representatividad de toda la zona de estudio. Todas las estaciones utilizadas se encuentran localizadas en la Cuenca del Río León...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos - Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá CORPOURABA - Universidad de Antioquia, 2016. (Figura 11).

Figura 11. Localización estaciones hidroclimáticas



Fuente: CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2014

1.3.5.1 Balance hídrico en la estación Barranquillita

“...En la estación Barranquillita se realizó el balance para el período 1996-2005 y se analizaron los resultados para el período 1997-1998 (año seco), 2002-2003 (año medio) y 2003-2004 (año húmedo). En el año seco se obtuvieron valores de recarga potencial mensuales entre 0 y 270,4 mm/mes (Junio). En términos de porcentaje, la recarga potencial mensual varió entre el 0 y el 66,2% de la precipitación, en los meses de Febrero, Marzo,

Abril, Mayo, Agosto, Septiembre y Diciembre de 1997 no se obtuvo recarga, al igual que en Enero y Febrero de 1998. Para este año la recarga potencial estimada del acuífero fue de 722,0 mm/año de agua que representa el 34,2% de la precipitación anual. Para el año medio, el mayor valor de recarga potencial mensual se dio en Agosto (507,0 mm/mes), no se obtuvo recarga potencial del acuífero debida a la lluvia en los meses de Febrero, Marzo y Abril de 2002; y Enero y Febrero de 2003. La recarga potencial total se estimó en 52,3% de la precipitación. Para el año húmedo, el mayor valor de recarga potencial mensual se dio en Septiembre (492,2 mm/mes), no se obtuvo recarga del acuífero debida a la lluvia en los meses de Febrero, Marzo y Abril de 2003, Enero y Febrero de 2004; la recarga potencial para este año habría sido del 50,4% de la precipitación...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos-Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá CORPOURABA - Universidad de Antioquia, 2016.

“...En relación con la recarga neta en la estación Barranquillita, para el año seco no se registró recarga, esto se debe a que el caudal base superó la recarga potencial en todos los meses; cabe anotar y señalar para futuros análisis que según lo calculado, el caudal base en este escenario superaría incluso los valores de precipitación acumulada en el año, indicando esto que para tal escenario hidrológico los caudales en las corrientes estuvieron soportados en las cantidades de agua almacenadas en el acuífero. Durante el año medio se registraron valores de recarga neta entre 0 y 259,9 mm/mes (0 y 35,1% de la lluvia). En este año se tuvo que la recarga neta es de 526,5 mm/año (15,8 % de la lluvia), y solo se obtuvo recarga en los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto de 2002. En cuanto al año húmedo, se registraron valores de recarga neta entre 0 y 163,6 mm/mes (0 y 24,0% de la lluvia). En este año se tuvo que la recarga neta es de 169,6 mm/año (4,7 % de la lluvia), y solo se obtuvo recarga neta en los meses de Julio y Septiembre de 2003...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos-Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá CORPOURABA - Universidad de Antioquia, 2016.

1.3.5.2 Balance hídrico en la estación Unibán

“...En la estación UNIBÁN se realizó el balance para el período 1996-2005 y se analizaron los resultados para el año hidrológico seco 1997-1998, medio 1999-2000 y para el húmedo 1998-1999. En el año seco, se tuvieron valores de recarga potencial mensuales entre 0 y 222,6 mm/mes dándose en el mes de Octubre el mayor valor. En términos de porcentaje, la recarga potencial mensual osciló entre el 0 y el 58,3% de la precipitación. Los resultados reportan que para este año el acuífero recargaría potencialmente 695,0 mm/año de agua que representa el 36,9% de la precipitación anual. Para el año medio, el mayor valor de recarga potencial mensual se presentó en el mes de Junio (214,6 mm/mes), en los meses de Febrero y Marzo se obtuvieron los mínimos valores de recarga potencial; la variación mensual fue entre 22,6 y 67,0% de la lluvia, y para todo el año fue del 55,1% de ésta. Para el año húmedo, el mayor valor de recarga potencial mensual se obtuvo en el mes de Julio (270,4 mm/mes); en los meses de Febrero, Marzo y Abril no se obtuvo recarga; la variación mensual fue entre 0 y 66,2% de la lluvia, y para todo el año fue del 50,4% de ésta...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos-Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá CORPOURABA - Universidad de Antioquia, 2016.

“...Considerando la recarga neta en la estación UNIBÁN, para el año seco, se registraron valores de recarga neta entre 0 y 160,2 mm/mes (0 y 38,1% de la lluvia). En este año se obtuvo que la recarga neta habría sido de 387,3 mm/año (20,6% de la lluvia), y solo se dio

en los meses de Febrero, Mayo, Julio, Septiembre y Octubre de 1997; en los otros meses el caudal de las corrientes se mantuvo extrayendo reservas del medio subterráneo (corresponde a los períodos con recarga 0,0 en la tabla 25). Durante el año medio se registraron valores de recarga neta entre 0 y 147,1 mm/mes (0 y 42,2% de la lluvia). En este año se tuvo que la recarga neta es de 762,9 mm/año (26,8% de la lluvia), y no se obtuvo recarga en los meses de Febrero y Marzo de 1999. En cuanto al año húmedo, se registraron valores de recarga neta entre 0 y 178,0 mm/mes (0 y 47,3% de la lluvia). En este año se tuvo que la recarga neta es de 913,0 mm/año (27,6% de la lluvia), y no se obtuvo recarga en los meses de Febrero, Marzo y Abril de 1998, y en Febrero de 1999. Los meses en los que si se obtuvo recarga potencial pero no recarga neta, el caudal base excedió la recarga potencial...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos-Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá CORPOURABA - Universidad de Antioquia, 2016.

1.3.5.3 Balance hídrico en la estación Tulenapa

“...En la estación Tulenapa se realizó el balance para el período 1996-2005 y se analizaron los resultados para el año hidrológico seco 1997-1998, medio 2000-2001 y para el húmedo 1998-1999. Es de anotar que el año 1996-1997 es más húmedo que el período seleccionado, sin embargo no se consideró porque es el año de inicio del balance y se usa un tiempo antes para favorecer las condiciones de recarga y almacenamiento para el período siguiente. En el año seco, se tuvieron valores de recarga potencial mensuales entre 0 y 215,3 mm/mes, dándose en el mes de Octubre el mayor valor. En los meses de Marzo, Abril, Mayo y de Noviembre a Febrero no se obtuvo recarga, este último período coincide con el período más seco de este año. En términos de porcentaje, la recarga potencial mensual varió entre el 0 y el 54,7% de la precipitación. En general para este año el acuífero recarga potencialmente 597,6 mm/año de agua que representa el 30,4% de la precipitación anual. Para el año medio, el mayor valor de recarga potencial mensual se dio en Septiembre (255,1 mm/mes), no se obtuvo recarga para el mes de Enero de 2000 y Febrero de 2001, la recarga potencial mensual osciló entre 0 y 57,1% de la lluvia, y para todo el año fue del 47,6% de ésta. Para el año húmedo, el mayor valor de recarga potencial mensual se dio en Noviembre (255,1 mm/mes), la recarga potencial mensual osciló entre 0 y 56,4% de la lluvia, y para todo el año fue del 41,6% de ésta...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos-Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá CORPOURABA - Universidad de Antioquia, 2016.

“...Respecto a la recarga neta en la estación Tulenapa, para el año seco, se registraron valores de recarga neta entre 0 y 116,4 mm/mes (0 y 24,4% de la lluvia). En este año se tuvo que la recarga neta es de 236,2 mm/año (12,0% de la lluvia), y solo se obtuvo recarga en los meses de Julio, Agosto y Octubre de 1997, durante los otros meses el caudal de las corrientes se mantuvo extrayendo reservas del medio subterráneo (corresponde a los períodos con recarga 0,0 en la Tabla 7). Durante el año medio se registraron valores de recarga neta entre 0 y 181,1 mm/mes (0 y 50,1% de la lluvia). En este año se tuvo que la recarga neta es de 999,1 mm/año (33,9% de la lluvia), y no se obtuvo recarga en los meses de Enero y Febrero de 2000. En cuanto al año húmedo, se registraron valores de recarga neta entre 0 y 148,4 mm/mes (0 y 31,9% de la lluvia). En este año se tuvo que la recarga neta es de 521,3 mm/año (14,6% de la lluvia)...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos-Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá CORPOURABA - Universidad de Antioquia, 2016.

1.3.5.4 Balance hídrico en la estación Eupol

“...En la estación Eupol se realizó el balance para el período 1996-2005 y se analizaron los resultados para el año hidrológico seco 2002-2003, medio 2001-2002 y para el húmedo 1999-2000. En el año seco, se tuvieron valores de recarga potencial mensuales entre 0 y 219,5 mm/mes dándose en el mes de Mayo el mayor valor. En los meses de Marzo de 2002, Enero y Febrero de 2003 no se obtuvo recarga del acuífero. En términos de porcentaje, la recarga potencial mensual osciló entre el 0 y el 71,0% de la precipitación. En general para este año el acuífero recarga potencialmente 917,7 mm/año que representa el 50,2% de la precipitación anual. Para el año medio, el mayor valor de recarga potencial mensual se dio en Julio (295,9 mm/mes), la recarga potencial mensual varió entre 0 y 68,0% de la lluvia, y para todo el año fue del 53,3% de ésta. Para el año húmedo, el mayor valor de recarga potencial mensual se dio en Octubre (288,1 mm/mes), la recarga potencial mensual varió entre 11,7 y 69,8% de la lluvia, y para todo el año fue del 59,3% de ésta...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos-Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá CORPOURABA - Universidad de Antioquia, 2016.

“...Considerando la recarga neta en la estación Eupol, para el año seco, se registraron valores de recarga neta entre 0 y 168,8 mm/mes (0 y 61,3% de la lluvia). En este año se tuvo que la recarga neta es de 636,8 mm/año (34,9% de la lluvia), y no se obtuvo recarga en los meses de Febrero, Marzo y Agosto de 2002, y Enero y Febrero de 2003. Durante el año medio se registraron valores de recarga neta entre 0 y 251,9 mm/mes (0 y 56,7% de la lluvia). En este año se tuvo que la recarga neta es de 1007,7 mm/año (38,8% de la lluvia), y no se obtuvo recarga neta en los meses de Febrero, Marzo y Abril de 2001, y Febrero de 2002. En cuanto al año húmedo, se registraron valores de recarga neta entre 0 y 254,4 mm/mes (0 y 67,7% de la lluvia). En este año se tuvo que la recarga neta es de 1642,1 mm/año (50,4% de la lluvia), y no se obtuvo recarga en los meses de Enero y Febrero de 2000...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos-Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá CORPOURABA - Universidad de Antioquia, 2016.

Los resultados del análisis se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4. Resumen de resultados del balance hídrico para cada una de las estaciones analizadas

| Periodo | Barranquillita | | | Tulenapa | | | UNIBÁN | | | EUPOL | | |
|------------|----------------|------------|----------|-------------|------------|----------|-------------|------------|----------|-------------|------------|----------|
| | RN (mm/mes) | P (mm/mes) | RN/P (%) | RN (mm/mes) | P (mm/mes) | RN/P (%) | RN (mm/mes) | P (mm/mes) | RN/P (%) | RN (mm/mes) | P (mm/mes) | RN/P (%) |
| Año Húmedo | 169,6 | 3633,8 | 4,7 | 521,3 | 3566,3 | 14,6 | 913,0 | 3308,4 | 27,6 | 1642,1 | 3255,0 | 50,4 |
| Año Medio | 526,5 | 3327,7 | 15,8 | 999,1 | 2949,1 | 33,9 | 762,9 | 2846,8 | 26,8 | 1007,7 | 2594,0 | 38,8 |
| Año Seco | 0,0 | 2113,8 | 0,0 | 236,2 | 1969,1 | 12,0 | 387,3 | 1882,3 | 20,6 | 636,8 | 1826,7 | 34,9 |

Fuente: (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2014 en Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá-CORPOURABA-Universidad de Antioquia 2016).

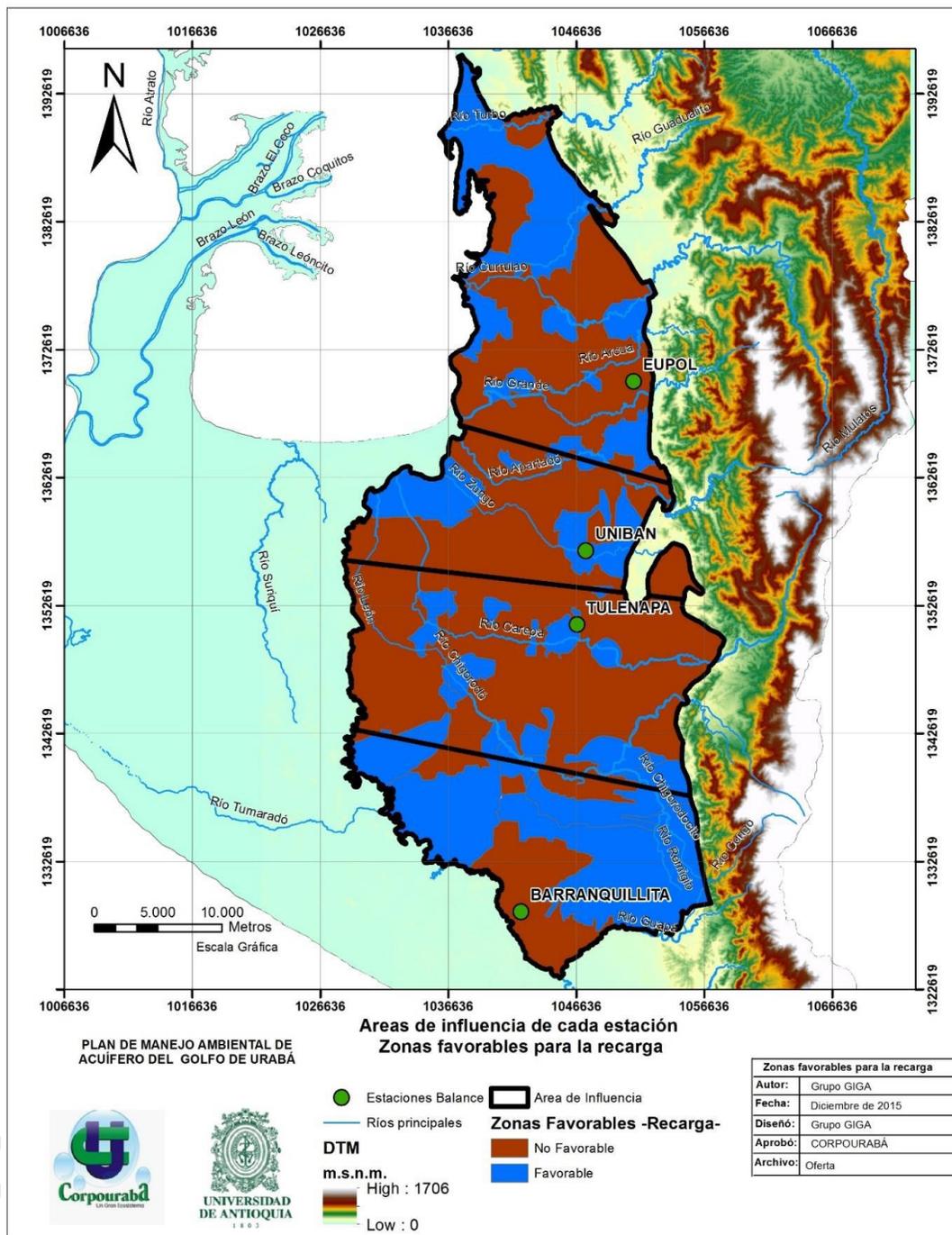
1.3.6 Oferta del agua subterránea

La estimación de la oferta se tomó del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá-CORPOURABA - Universidad de Antioquia 2016. Igualmente se calculó para el área de la cuenca, a pesar de que como se señaló en apartes anteriores, de acuerdo a la dirección de flujo, parte del agua que se infiltra en la cuenca, sale a través de los acuíferos hacia la cuenca inmediatamente al norte de la cuenca del Río León.

La metodología utilizada por CORPOURABA y la Universidad de Antioquia en el Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos-Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá para realizar un estimativo aproximado de la oferta renovable de agua subterránea del sistema acuífero fue considerar los valores de recarga total, obtenidos mediante la técnica de balance hídrico en el numeral anterior, después de descontar el flujo base estimado, para finalmente calcular la recarga neta.

Según el Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos-Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá CORPOURABA - Universidad de Antioquia 2016, “...Con los resultados de la caracterización geológica e hidrogeológica, se realiza una identificación de las áreas en las que los niveles superiores del sistema están conformados por materiales con textura arenosa o gravosa, que poseen mejor capacidad de infiltración, los materiales con textura fina (arcillas) no se consideran favorables para la recarga. Teniendo en cuenta las cuatro estaciones para las cuales se practicó el cálculo de balance hídrico, considerando tres años tipo con condiciones hidrológicas diferentes (seco, medio o húmedo), se estableció para cada uno un área de influencia mediante polígonos de Thiessen...” (Figura 12).

Figura 12. Áreas de influencia de estaciones hidroclimatológicas y zonas favorables para la recarga



Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá-CORPOURABA-Universidad de Antioquia 2016

Mediante Resolución 872 de 2006 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se estableció en el marco de la definición del Índice de Escasez para Aguas Subterráneas, la forma de calcular el caudal de agua explotable desde un acuífero. Según esta resolución el caudal explotable de agua subterránea se calcula con la expresión:

$$QE = a QN$$

QE: Caudal explotable expresado, en m³/año.

QN: Recarga del acuífero en condiciones naturales y los componentes de recarga artificial cuando ellos son conocidos, expresada en m³/año.

a: Coeficiente adimensional que toma valores entre 0,3 y 1,0, de acuerdo con el régimen de explotación establecido por la autoridad ambiental competente.

Según el Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos-Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá CORPOURABA - Universidad de Antioquia 2016, "...Es competencia de las autoridades ambientales establecer el coeficiente "a" para el régimen de explotación de los acuíferos que hacen parte de su jurisdicción. CORPOURABA definió el coeficiente adimensional como 1,0, es decir que toda el agua que se recarga al acuífero es explotable..."

El Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos-Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá CORPOURABA - Universidad de Antioquia 2016, con las consideraciones que definió, calculó los valores de oferta en km³/año para el área de influencia de cada estación en los años seco, medio y húmedo, los cuales se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Oferta de aguas subterráneas para el sistema acuífero del Golfo de Urabá

| ESTACIÓN | RECARGA NETA (mm/año) | | | ÁREA DE INFLUENCIA (km ²) | VOLUMEN RECARGADO (km ³ /año) | | |
|--|-----------------------|-----------------|---------------|---------------------------------------|--|---------------|---------------|
| | Año Seco | Año Medio | Año Húmedo | | Favorable | Año Seco | Año Medio |
| UNIBÁN (219,2 km ²) | (1997 - 1998) | (1999 - 2000) | (1998 - 1999) | 60,1 | (1997 - 1998) | (1999 - 2000) | (1998 - 1999) |
| | 336,1 | 762,9 | 913 | | 0,03 | 0,05 | 0,05 |
| Barranquillita (282,2 km ²) | (1997 - 1998) | (2002 - 2003) | (2003 - 2004) | 197,9 | (1997 - 1998) | (2002 - 2003) | (2003 - 2004) |
| | 0 | 526,6 | 169,7 | | 0,00 | 0,03 | 0,01 |
| Tulenapa (377,0 km ²) | (1997 - 1998) | (2000 - 2001) | (1998 - 1999) | 75,8 | (1997 - 1998) | (2000 - 2001) | (1998 - 1999) |
| | 236 | 1005,4 | 521,3 | | 0,01 | 0,06 | 0,03 |
| EUPOL (327,5 km ²) | (2002-2003) | (2001- 2002) | (1999- 2000) | 126,6 | (2002- 2003) | (2001- 2002) | (1999- 2000) |
| | 636,9 | 1.007,7 | 1.747 | | 0,04 | 0,06 | 0,11 |
| TOTAL | 1.309 | 3.302,60 | 3.351 | 460,5 | 0,08 | 0,20 | 0,20 |

Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá-CORPOURABA-Universidad de Antioquia 2016

Teniendo en cuenta que aproximadamente el 30% del área de influencia de la estación Eupol se encuentra en la cuenca del Río León, el volumen de recarga total en la cuenca para un año medio es de 0,158 km³ al año.

1.3.7 Demanda y usos actuales y potenciales de los recursos hídricos subterráneos

Con el fin de conocer el estado actual de la demanda de agua subterránea, la base de datos de CORPOURABA, se actualizo con ayuda de la información de las bases de datos de CORPOURABA y los expedientes de trámites de concesión de aguas subterráneas.

1.3.7.1 Puntos de agua

Del registro de CORPOURABA actualizado por Ecoforest, se tienen 7.957 puntos de agua subterránea en la cuenca, distribuidos en: 7.308 aljibes; 636 pozos; 10 manantiales y 3 jagüeyes.

Los aljibes representan el 91.8% del total de puntos de agua subterránea existentes en el acuífero del Golfo de Urabá, los pozos el 8%, los manantiales el 0.12% y los jagüeyes el 0.03%.

Los aljibes, manantiales, jagüeyes y los pozos con profundidades estimadas menor a 30 m, captan los niveles acuíferos pertenecientes a depósitos Cuaternarios; mientras los pozos con profundidades estimadas mayores a 30 m captan acuíferos pertenecientes a las rocas del Terciario Superior. La distribución porcentual de los tipos de puntos de agua se resume en la Tabla 6.

Tabla 6. Distribución de puntos aguas subterráneas en la cuenca

| TIPO DE PUNTO | Cantidad | Porcentaje |
|---------------|----------|------------|
| ALJIBES | 7.308 | 91.8 |
| POZOS | 636 | 8 |
| MANANTIALES | 10 | 0.12 |
| JAGÜEY | 3 | 0.03 |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

1.1.1.1.1. Aljibes

La distribución de aljibes por municipio es la siguiente:

| | |
|------------|-------|
| Apartadó: | 2.607 |
| Chigorodó: | 4.110 |
| Carepa: | 308 |
| Turbo: | 283 |

En la Tabla 7 se presenta la distribución de aljibes por unidad geológica:

Tabla 7. Distribución de aljibes por unidad geológica

| UNIDAD GEOLOGICA | ALJIBES |
|------------------|---------|
| N2Q1coi | 4 |
| N2Q1cos | 18 |
| Q2al | 1 |
| Q2lli | 7.284 |
| Q2ta | 1 |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

- **Usos Aljibes**

Según la base de datos de CORPOURABA, actualizada por Ecoforest S.A.S., los aljibes son la principal forma de captación para abastecimiento en la región y el agua es utilizada principalmente para suplir necesidades domesticas con caudales de explotación entre 0,2 l/s y 2 l/s. El principal método de extracción es mediante motobomba y electrobombas, con un tiempo aproximado de bombeo de 1 a 4 horas diarias, también es frecuente la extracción

de agua de forma manual. El uso denominado abastecimiento está referido a captaciones que se usan para el abastecimiento público, ya sea como fuente principal o como fuente alterna o reserva. En la Tabla 8 se presenta la distribución de usos de los aljibes.

Tabla 8. Distribución de usos de los aljibes

| USO | N° POZOS |
|-----------------------------|--------------|
| Doméstico | 5.544 |
| Abastecimiento | 291 |
| Industrial y agroindustrial | 55 |
| Pecuario | 42 |
| Agrícola | 2 |
| Otros usos | 16 |
| Sin información | 1.358 |
| Total | 7.308 |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

1.1.1.1.2. Pozos

La distribución de pozos por municipio es la siguiente:

| | |
|------------|-----|
| Apartadó: | 226 |
| Chigorodó: | 157 |
| Carepa: | 194 |
| Turbo: | 59 |

En la Tabla 9 se presenta la distribución de pozos por unidad geológica:

Tabla 9. Distribución de pozos por unidad geológica

| UNIDAD GEOLÓGICA | POZOS |
|------------------|-------|
| N2Q1com | 5 |
| N2Q1cos | 4 |
| Q2al | 2 |
| Q2lli | 621 |
| Q2ta | 4 |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

- **Usos Pozos**

Según la base de datos de CORPOURABA, actualizada por Ecoforest, los pozos son la segunda forma de captación de aguas subterráneas más frecuente.

El principal uso de los pozos es el agrícola, seguido del industrial y doméstico y en menor proporción el uso pecuario. El método de extracción es en la mayoría con motobomba y bomba sumergible. En la Tabla 10 se presenta la distribución de usos de los pozos.

Tabla 10. Distribución de usos de los pozos

| USO | N° POZOS |
|-----------------------------|----------|
| Agrícola y Riego | 329 |
| Doméstico | 56 |
| Industrial y agroindustrial | 64 |
| Abastecimiento | 26 |
| Pecuario | 10 |

| | |
|---------------------|------------|
| Monitoreo | 15 |
| Sin uso e inactivos | 116 |
| Sin información | 20 |
| Total | 636 |

Fuente: Ecoforest S.A.S., 2018

1.1.1.1.3. Manantiales

Los diez (10) manantiales existentes en la cuenca se localizan en el municipio de Chigorodó. Seis (6) son utilizados para fines domésticos, tres (3) para abastecimiento y de uno (1) no se tiene información.

1.1.1.1.4. Jagüeyes

Apartadó: 1
Chigorodó: 1
Carepa: 1

Uno de los jagüeyes se utiliza para fines domésticos, uno para pecuario y del último no se tiene información.

En general el agua subterránea en la cuenca es utilizada principalmente para riego, lavado del banano, abastecimiento público y doméstico, industrial y pecuario.

“...en el Eje Bananero de Urabá, aún no se extraen en su totalidad los recursos explotables del acuífero, pero en época seca cuando empiezan a operar los sistemas de riego para el banano, se inducen abatimientos que generan interferencia entre los pozos y modifican el flujo natural de agua subterránea”. Hidrogeología del acuífero del Eje Bananero de Urabá, P. P. Villegas, A. Vivas Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá, 2008.

1.3.7.2 Demanda

La estimación de la demanda de agua subterránea se tomó del análisis realizado en el Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá (CORPOURABA & Universidad de Antioquia 2016), el cual se basó en el esquema general para la evaluación de la demanda de agua presentado en el Estudio Nacional del Agua – ENA – (IDEAM & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Siguiendo los lineamientos planteados por la Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos promulgada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en 2014, la demanda total de agua subterránea corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales de agua, y se calcula utilizando la siguiente expresión en m³ por año:

$$DT = DUD + DUI + DUS + DUA + DUP$$

Dónde:

DT = Demanda total de agua.
DUD = Demanda de agua para uso doméstico.

| | | |
|-----|---|---|
| DUI | = | Demanda de agua para uso industrial. |
| DUS | = | Demanda de agua para el sector servicios. |
| DUA | = | Demanda de agua para uso agrícola. |
| DUP | = | Demanda de agua para uso pecuario. |

La demanda de agua subterránea en la totalidad del Sistema Hidrogeológico teniendo en cuenta el registro total de concesiones a 2015 asciende a 23.754.548 m³/año, y la estimación de la demanda de agua subterránea de captaciones no legalizadas asciende a 256.177 m³/año, para una demanda total estimada de 24.010.726 m³/año, de acuerdo al Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos - Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016.

Según el mismo estudio señalado, la demanda corresponde a un 30,01% del agua disponible en los niveles someros del sistema acuífero multicapa para un escenario hidrológico seco, teniendo en cuenta un régimen de explotación igual a 1, de acuerdo a lo establecido por CORPOURABA. *Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos - Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016.*

1.3.8 Calidad y características físico-químicas del agua subterránea

De acuerdo a los estudios realizados por CORPOURABA desde 2003, el monitoreo periódico de los parámetros físico - químicos de las aguas subterráneas, ha permitido clasificar las aguas como bicarbonatadas sódica cálcica - magnésica (HCO₃-NaCaMg) y bicarbonatadas cálcica - magnésica - sódica (HCO₃-CaMgNa). De otro lado, se conoce que la variación de las concentraciones de los iones aumentan en sentido NW (teniendo particular importancia las concentraciones de Fe, Ca, HCO₃ y Cl), indicando así un mayor tiempo de permanencia dentro del acuífero, relacionado con la dirección de flujo y la variación de la conductividad hidráulica. También, se ha determinado concentraciones de hierro superior a los 5 mg/l, de bicarbonatos de hasta 900 mg/l y cloruro superior a los 400 mg/l. La conductividad eléctrica aumenta hacia la zona costera, llegando a determinar valores de hasta 3000 uS/cm.

A continuación se describen las principales características, tomadas del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016.

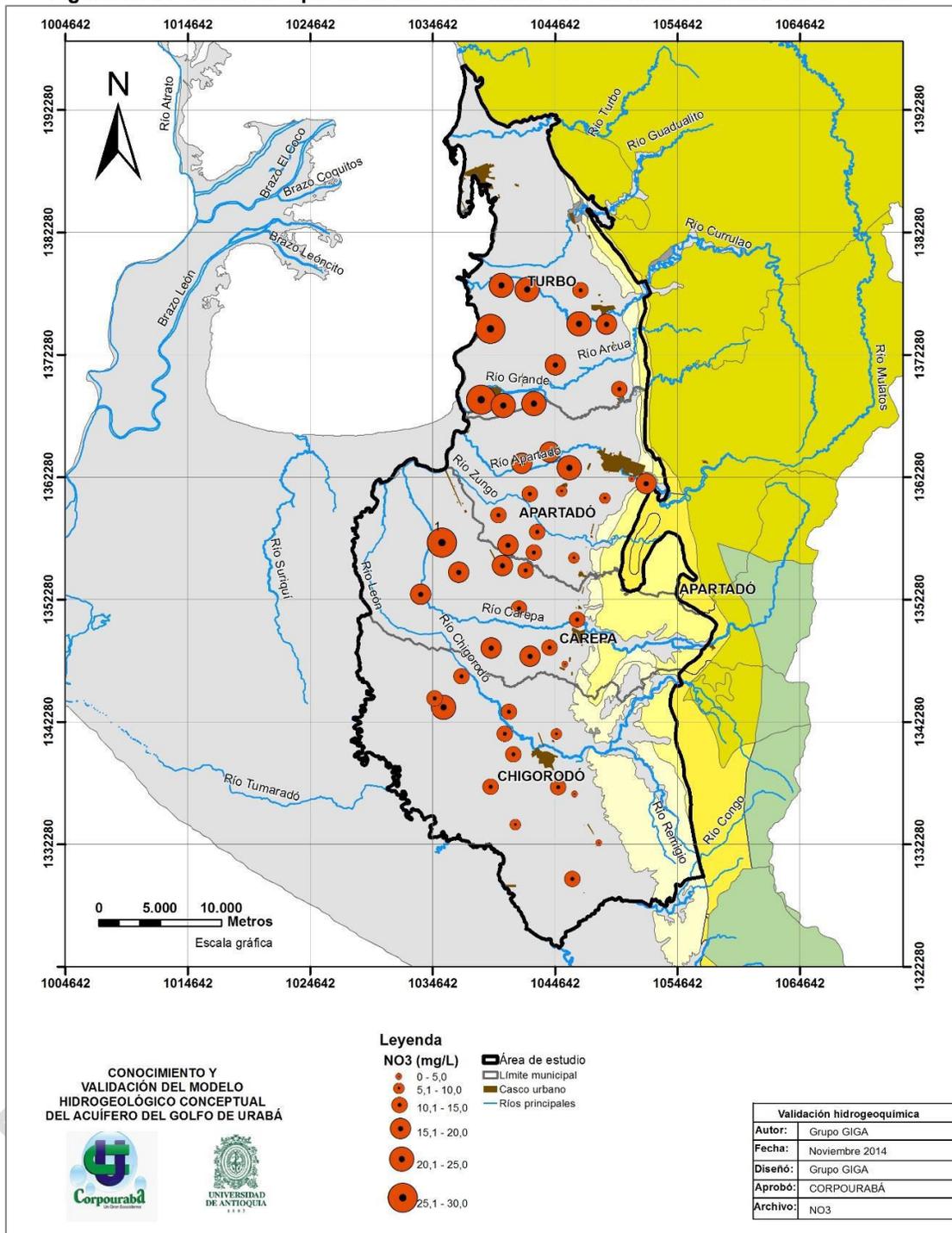
“...El acuífero multicapa, en especial los niveles más profundos, han sido evaluados repetidamente desde el punto de vista hidrogeoquímico; los niveles más someros cuentan con dos campañas de monitoreo. Para efectos de caracterizar la calidad del agua subterránea, se retoman los valores de los siguientes parámetros separando los dominios profundo y somero y refiriendo la evaluación a las campañas hidrogeoquímicas llevadas a cabo por CORPOURABA en 2010 para los niveles profundos y en 2013 para el nivel somero. Las variables que se consideran representativas para los propósitos del PMAA son: Sólidos Totales Disueltos (STD), Conductividad Eléctrica (CE), Cloruros (Cl-) y Nitratos (NO₃-), no se cuenta con reportes de análisis bacteriológicos...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá, CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016.

1.3.8.1 Calidad del agua subterránea en los niveles más profundos del acuífero

En la Figura 13 se presenta la distribución espacial de la concentración de nitratos en la zona de estudio. *“...Este parámetro se valora ya que es indicativo de contaminación por actividades agrícolas intensivas y aguas residuales. La variación en la distribución espacial de este parámetro estaría relacionado con la localización de las áreas donde se practica de forma más intensa la actividad agrícola o donde es mayor el déficit sanitario...”* Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá, CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016.

EN ETAPA DE PUBLICACIÓN

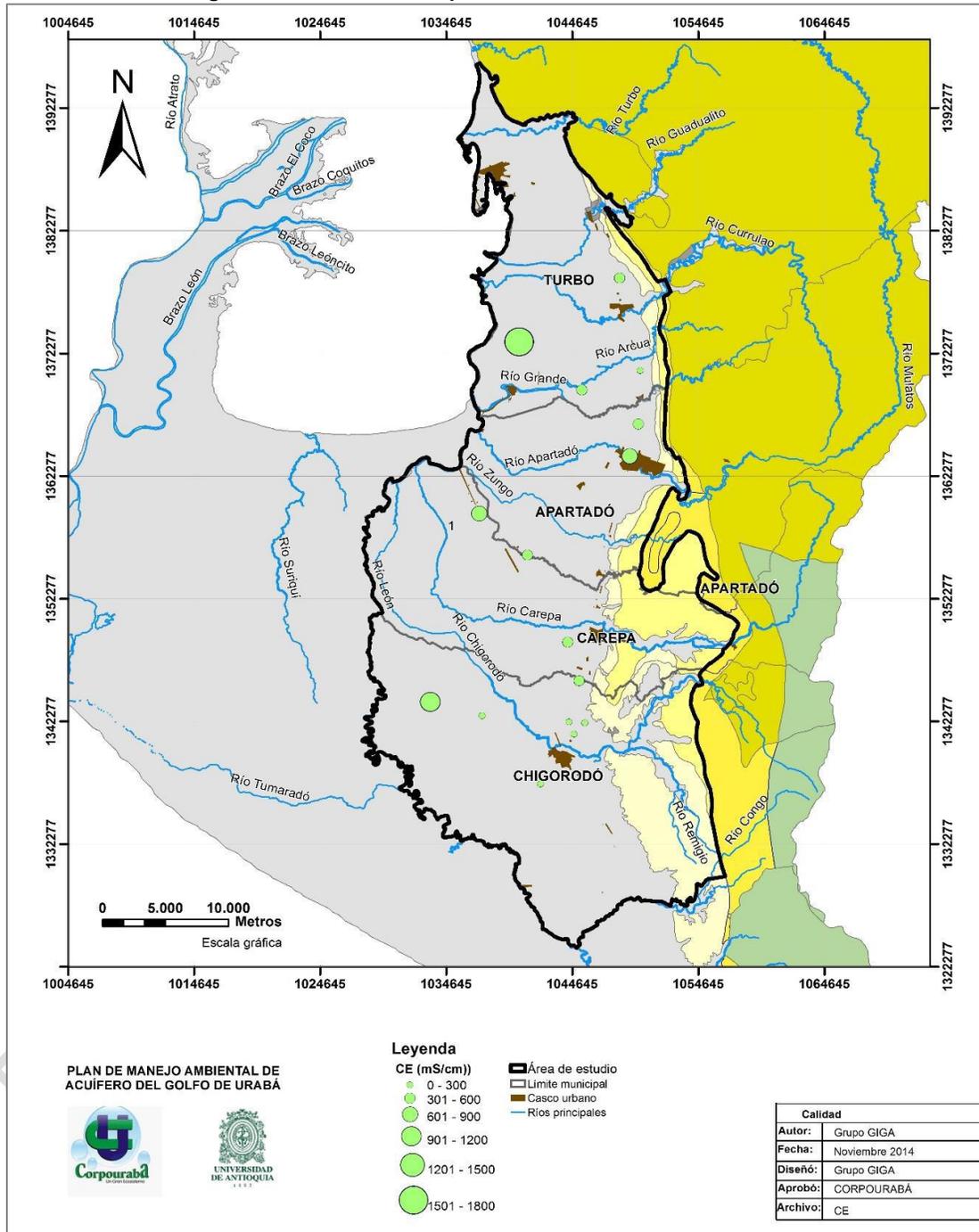
Figura 13. Distribución espacial de las concentraciones de nitratos en la zona de estudio



Fuente: (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2014)

En la Figura 14 se muestra la distribución espacial de la conductividad eléctrica, “...los mayores valores se presentan hacia la parte norte de la zona de estudio. Los valores de CE y las concentraciones de STD, dependen de la cantidad de sales disueltas en el medio...”

Figura 14. Distribución espacial de la conductividad eléctrica

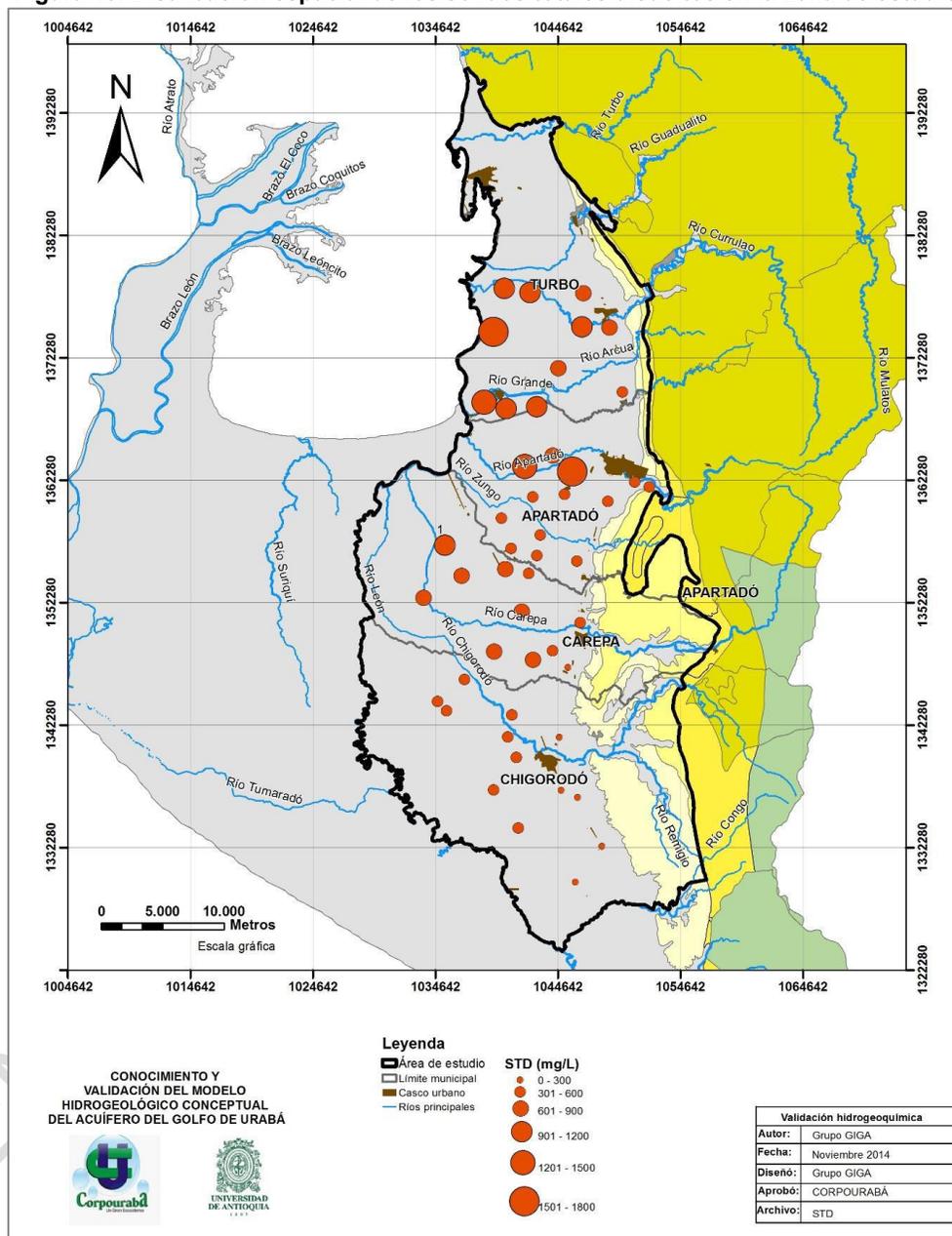


Fuente: (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2014).

La distribución espacial de los STD sigue la misma tendencia de la CE (Figura 15), "...los mayores valores se presentan hacia la parte norte de la zona de estudio, ya que hacia este sector se dirigen los flujos regionales y se presentan las menores conductividades

hidráulicas, situación que ante un gradiente hidráulico poco variable, origina un mayor tiempo de residencia del agua en el acuífero, lo que favorece el aumento en concentración de sales disueltas...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá, CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016.

Figura 15. Distribución espacial de los sólidos totales disueltos en la zona de estudio



Fuente: (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2014).

Otra posible explicación para este fenómeno hacia este sector es el contacto con algunos sedimentos con contenidos de sales que quedaron atrapados en este sector del acuífero en cercanías al Golfo de Urabá, lo que aumentaría la concentración de STD. Plan de Manejo

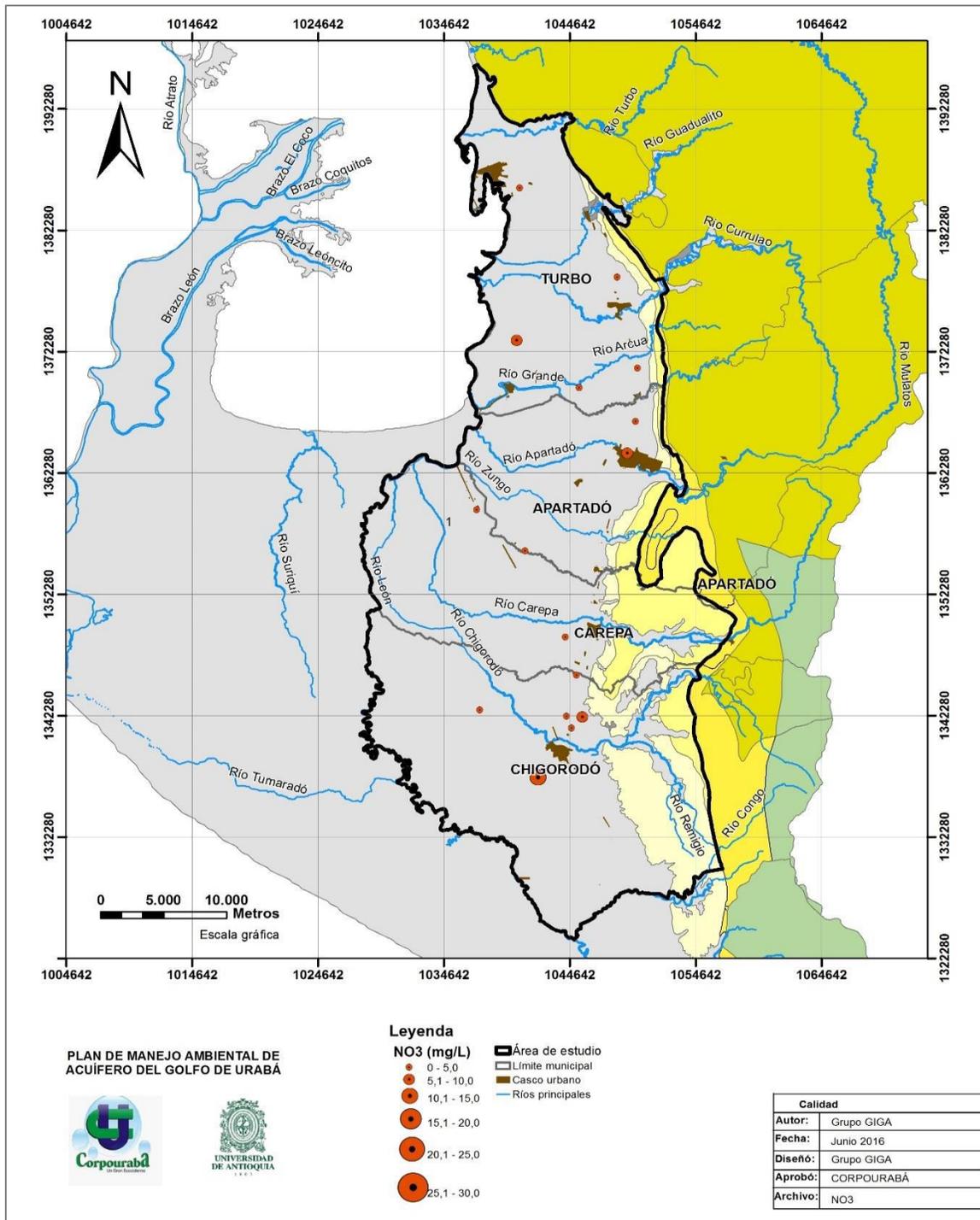
Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá, CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016.

1.3.8.2 Calidad del agua subterránea en los niveles más someros del acuífero

En la Figura 16 se presenta la distribución espacial de la concentración de nitratos en la zona de estudio para los niveles más someros del acuífero. Solo uno de los puntos con información disponible para el año 2013 supera los 10 mg/L, valor que indica la existencia de procesos de contaminación puntual, aun así no se descarta que las mayores concentraciones de este parámetro están asociadas a las condiciones de protección de las captaciones y fuentes puntuales de contaminación. Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá, CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016.

EN ETAPA DE PUBLICACIÓN

Figura 16. Distribución espacial de las concentraciones de nitratos en la zona de estudio en los niveles someros del acuífero

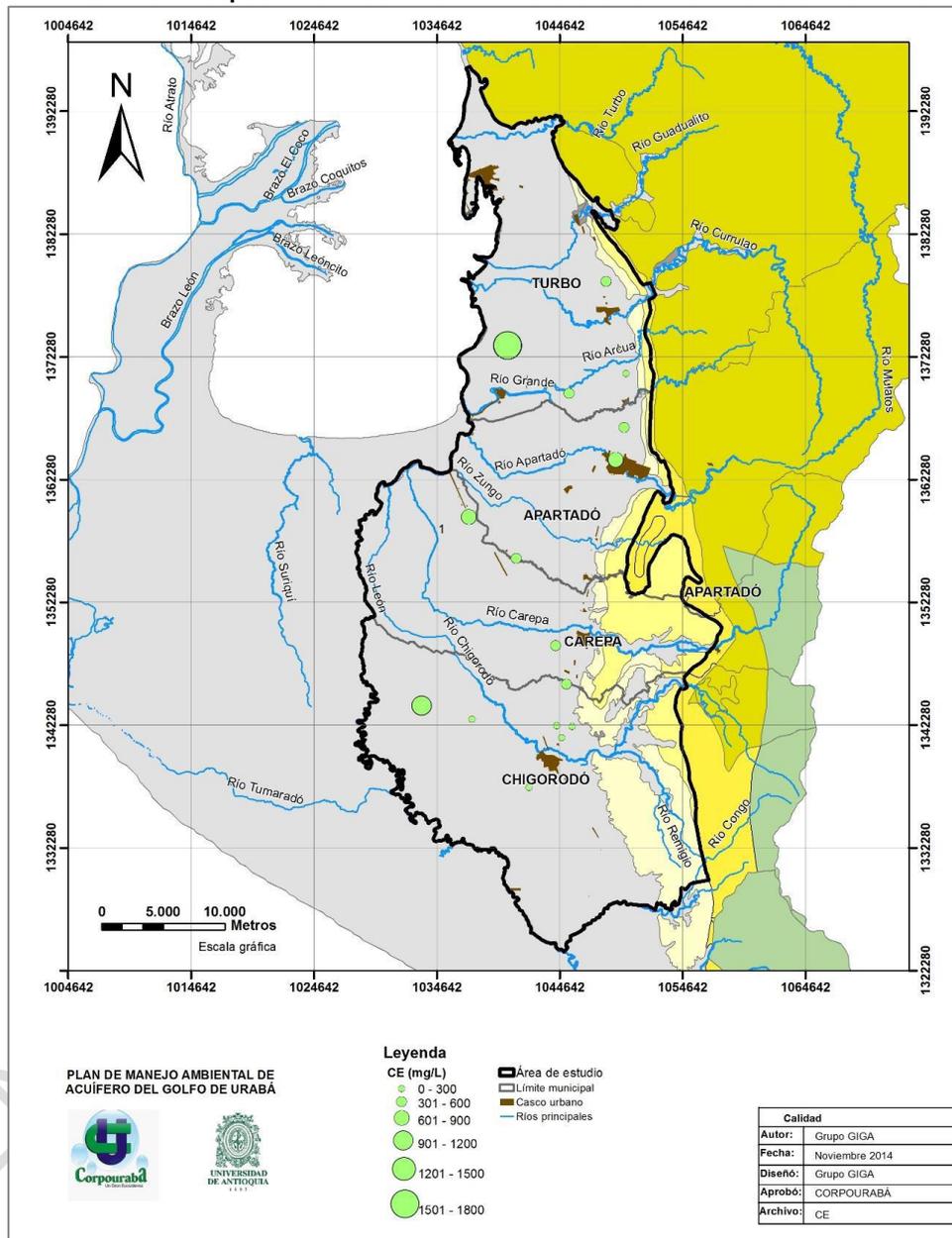


Fuente: (CORPOURABÁ & Universidad de Antioquia, 2016).

En la Figura 17 y la Figura 18 se presenta la distribución espacial de la conductividad eléctrica y las concentraciones de STD respectivamente. Como se ha mencionado anteriormente los valores de CE y las concentraciones de STD, dependen de la cantidad

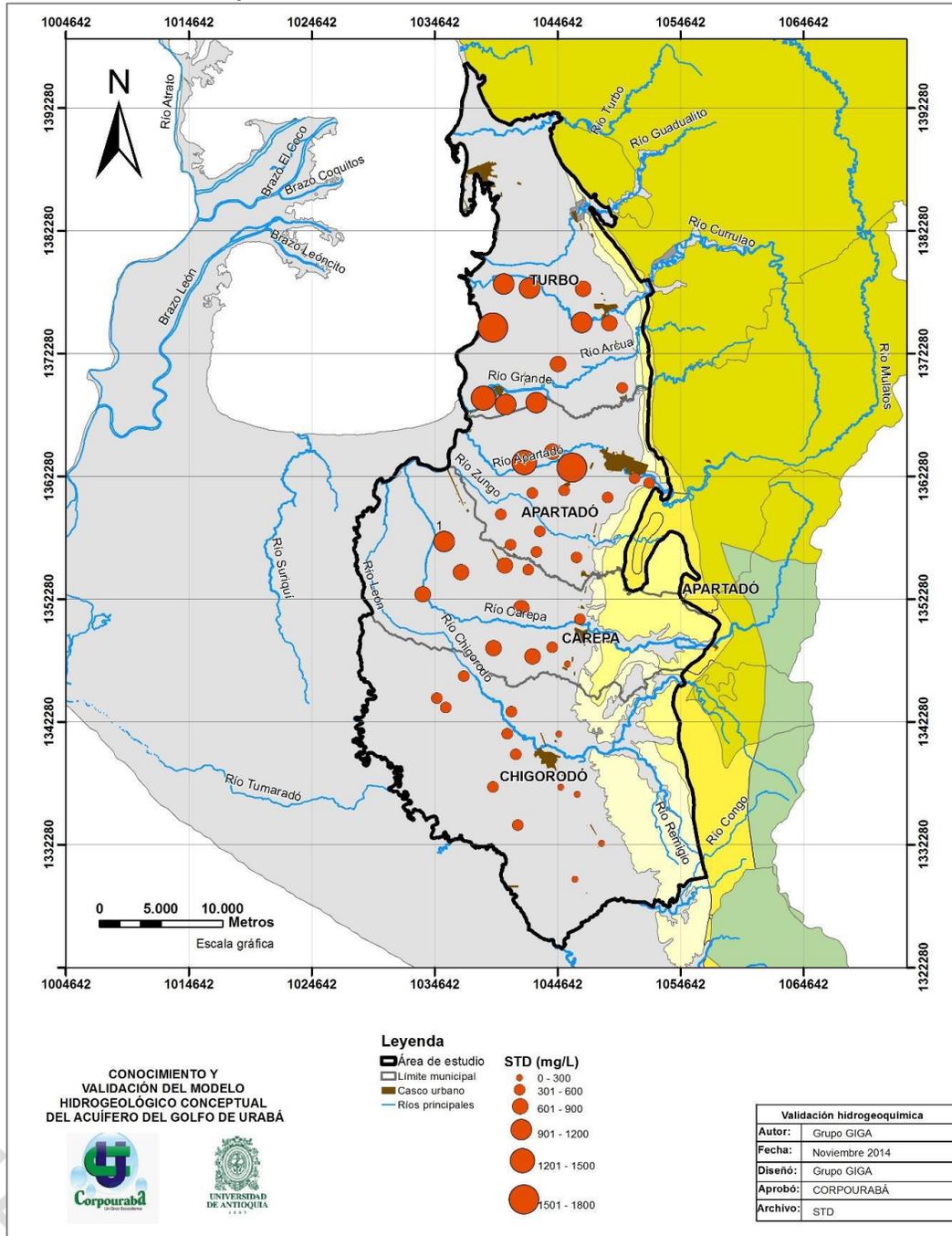
de sales disueltas en el medio, en este caso los mayores valores se encuentran al oeste de la zona de estudio, en cercanía del Río León y hacia el Golfo de Urabá. Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá, CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016.

Figura 17. Distribución espacial de la conductividad eléctrica en los niveles someros del acuífero



Fuente: (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016).

Figura 18. Distribución espacial de los sólidos totales disueltos en los niveles someros del acuífero



Fuente: (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016).

Si se comparan los dos niveles anteriores, es importante anotar que se presentan diferencias significativas en los órdenes de magnitud de las concentraciones encontradas, siendo menores en los niveles más someros del acuífero, esto debido a que podrían presentarse ingresos de agua de recarga provenientes de la precipitación. Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá, CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016.

1.3.8.3 Vulnerabilidad intrínseca

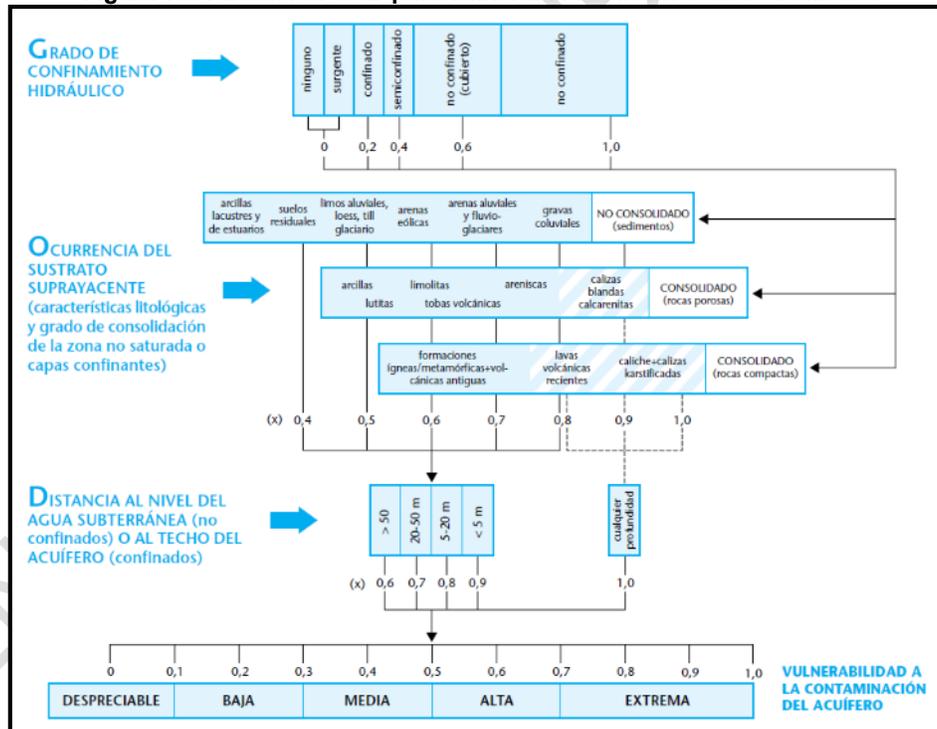
De acuerdo al análisis realizado en el Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016), el cual utilizó la metodología GOD. El índice de vulnerabilidad GOD, (Foster, 1987; Foster e Hirata 1988), caracteriza la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos, en función de los siguientes parámetros. Ver Figura 19.

G = Grado de confinamiento hidráulico del acuífero en consideración. Índice por condición de confinamiento del acuífero u ocurrencia del agua subterránea (Groundwater occurrence).

O = Ocurrencia del sustrato suprayacente (zona no saturada o capas confinantes) en términos de características litológicas y grado de consolidación, que determinan su capacidad de atenuación de contaminantes. (Overall aquifer class).

D = Distancia al agua determinada como: la profundidad al nivel del agua en acuíferos no confinados o la profundidad al techo de acuíferos confinados (Depth).

Figura 19. Valoración GOD para vulnerabilidad intrínseca de acuíferos



Fuente: Foster, 1988.

La vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación se establece por la facilidad con la cual ingresan las sustancias contaminantes al acuífero mediante infiltración a través del suelo y la zona no saturada (ZNS).

Para obtener el mapa de vulnerabilidad, el análisis GOD se realizó para las unidades acuíferas de tipo libre o sea donde aflora el acuífero y para los niveles confinados. En la Tabla 11 se definen los criterios de calificación y los valores asignados a cada uno de los tres índices que planea la metodología.

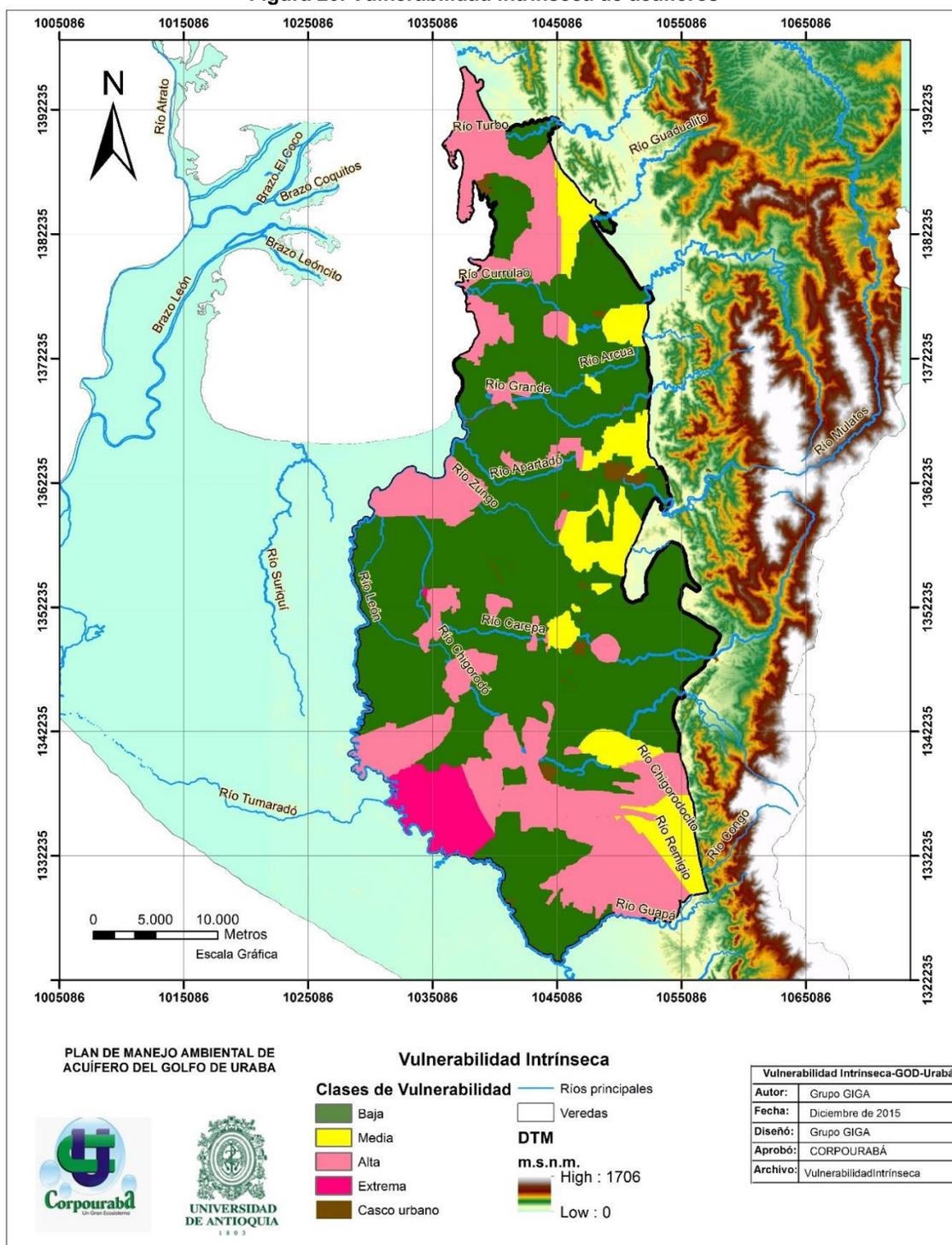
Tabla 11. Valoración GOD para vulnerabilidad intrínseca de acuíferos

| UNIDAD ACUÍFERA | G | O | D |
|-------------------------------------|---|---|--|
| Niveles donde el acuífero aflora | El valor asignado es el correspondiente al de acuífero libre $G = 1$. | Para el valor de O se tomó como 0.8 ya que los materiales que afloran en superficie son de características gruesas. (gravas, arenas gruesa y medias) | Los valores D varían entre 1 y 0.8, estos se obtuvieron con la interpolación del promedio de los niveles piezométricos, clasificados según el método GOD. |
| Niveles donde el acuífero no aflora | Teniendo en cuenta la conexión que hay entre las zonas libres y confinadas, se tomó un valor intermedio para el parámetro G (entre las condiciones de acuífero semiconfinado y confinado) $G = 0,3$. | Donde el material de la capa superior es de característica arcillosa, de acuerdo con la metodología se tomó un valor de $O=0,5$. | Como no se tiene caracterizada el espesor de la capa de arcilla, se tomaron valores aleatorios de este, donde se obtuvo un espesor promedio de 50 m, correspondiente a un valor $D= 0,6$. |

Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016).

La aplicación de la relación matemática del Índice de Vulnerabilidad Intrínseca da como resultado que en los niveles someros del acuífero (Figura 20), presentan la categoría extrema en un pequeño sector al suroeste del área de estudio localizado hacia el occidente de Chigorodó en cercanías del Río León. La categoría alta está presente en diferentes sectores, principalmente en Chigorodó; la valoración media se encuentra en algunos sectores ubicados al este de la zona de estudio en límites con las últimas estibaciones de la Serranía de Abibe. Para las zonas donde el sistema acuífero no aflora a la superficie se obtuvo una categoría baja. Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá, CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016.

Figura 20. Vulnerabilidad intrínseca de acuíferos



Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016).

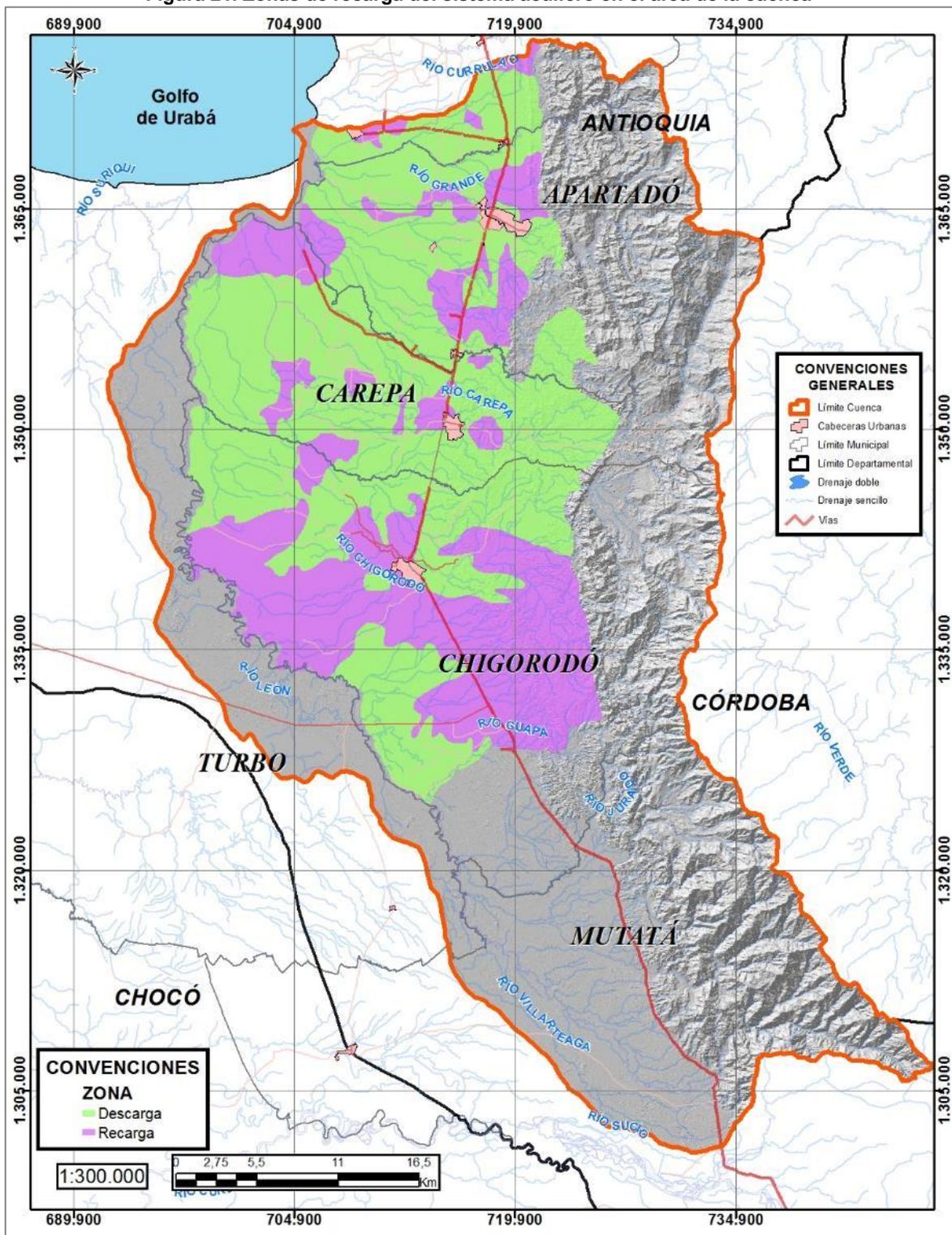
1.3.8.4 Geometría del sistema acuífero

1.1.1.1.5. Identificación y espacialización de zonas de importancia hidrogeológica

Las zonas de extrema, alta y media vulnerabilidad intrínseca, están directamente relacionadas con las áreas definidas como zonas favorables para la recarga de los acuíferos. El área de recarga consolidada de mayor extensión se encuentra al sur del municipio de Chigorodó y se extiende desde las estribaciones de la Serranía de Abibe hasta el Río León. Los afloramientos de los niveles de arenas, arenas conglomeráticas y conglomerados de las unidades terciarias, junto con las zonas de arenas y gravas de los depósitos Cuaternarios son las áreas de mayor potencial de recarga de acuíferos.

En la Figura 21 se muestran las principales zonas de recarga del sistema acuífero, tomadas del estudio “Actualización del Modelo Hidrogeológico conceptual del Sistema Acuífero del Urabá Antioqueño”, CORPOURABA & Universidad de Antioquia (2014).

Figura 21. Zonas de recarga del sistema acuífero en el área de la cuenca



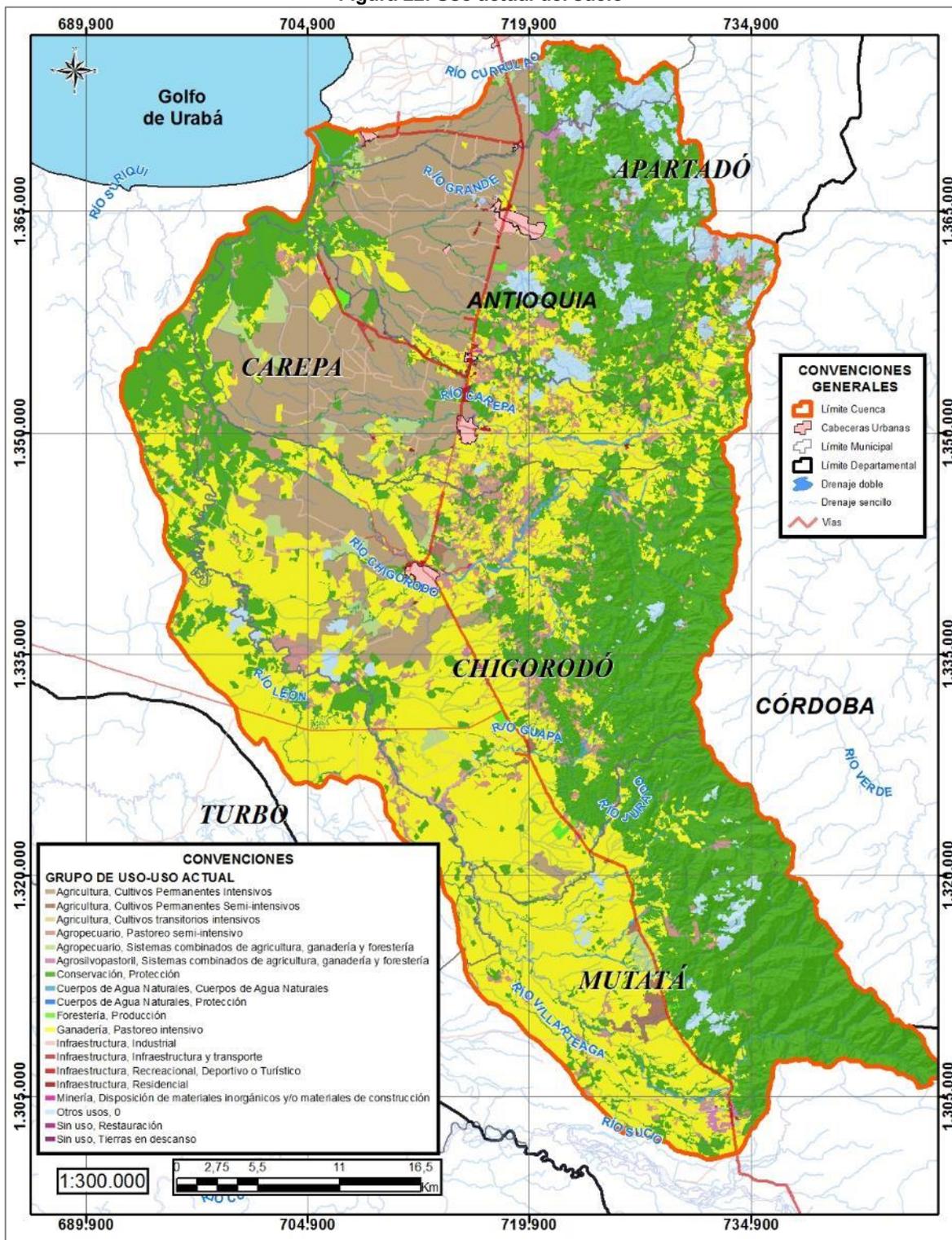
Fuente: Actualización del Modelo Hidrogeológico conceptual del Sistema Acuífero del Urabá Antioqueño. CORPOURABA & Universidad de Antioquia (2014).

1.1.1.1.6. Uso actual del suelo

De acuerdo a los análisis realizados en el diagnóstico de suelos, las siguientes son las coberturas que se identificaron en la cuenca (ver Figura 22).

EN ETAPA DE PUBLICACIÓN

Figura 22. Uso actual del suelo



Fuente: Ecoforest S.A.S, 2017

1.1.1.1.7. Conflictos asociados a los usos del suelo actuales en zonas de interés hidrogeológico del Golfo de Urabá

Teniendo en cuenta el detalle del análisis de conflictos asociados al agua subterránea realizado en el Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá, CORPOURABA & Universidad de Antioquia 2016, y el nivel de actualización de la información (2016), a continuación se presenta el conflicto que existe entre el uso actual del suelo y las zonas de interés hidrogeológico.

“...Las coberturas vegetales que potencialmente pueden afectar la calidad del agua almacenada en el sistema acuífero, y que por ello generan un conflicto uso del suelo - agua subterránea, son las asociadas a la actividad agrícola: los cultivos permanentes, los cultivos transitorios y los mosaicos agrícolas. De estos usos del suelo el de mayor extensión son los cultivos permanentes y se da tanto en zonas de recarga directa como indirecta. Esta categoría de uso del suelo es la que presenta mayor porcentaje en la zona de recarga directa. Este tipo de usos del suelo, genera conflictos en términos hidrogeológicos por su potencial afectación a la calidad del agua subterránea debido a la utilización de plaguicidas, fertilizantes y/o producción de materia orgánica, los cuales se infiltran en el subsuelo, llegan al acuífero y entran en contacto con el agua subterránea modificando sus condiciones de calidad natural...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá, CORPOURABA & Universidad de Antioquia 2016.

“...Las coberturas vegetales, pastos, mosaico de pastos, zonas industriales comerciales e infraestructura y las zonas urbanizadas tienen una doble connotación, ya que presentan conflictos no sólo por afectación a la calidad sino también a la cantidad del agua subterránea...” Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá, CORPOURABA & Universidad de Antioquia 2016.

Las categorías de usos del suelo asociados a zonas industriales, comerciales, infraestructura y las zonas urbanizadas presentan un bajo porcentaje de ocupación de las zonas de recarga directa. *“...Considerando esto, la afectación a la cantidad se da por la impermeabilización y compactación de los suelos, los cuales impiden la infiltración del agua en el subsuelo y por lo tanto su llegada al acuífero. Por otro lado, la calidad se ve afectada, por el exceso de nutrientes provenientes del estiércol relacionado con actividad pecuaria, igualmente por los vertimientos que pueden presentarse en las zonas urbanizadas, industriales, comerciales y de infraestructura, sumando a esto las fugas que se pueden generar en el sistema del alcantarillado, debido a la falta de mantenimiento y renovabilidad de las redes...”* Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá, CORPOURABA & Universidad de Antioquia 2016.

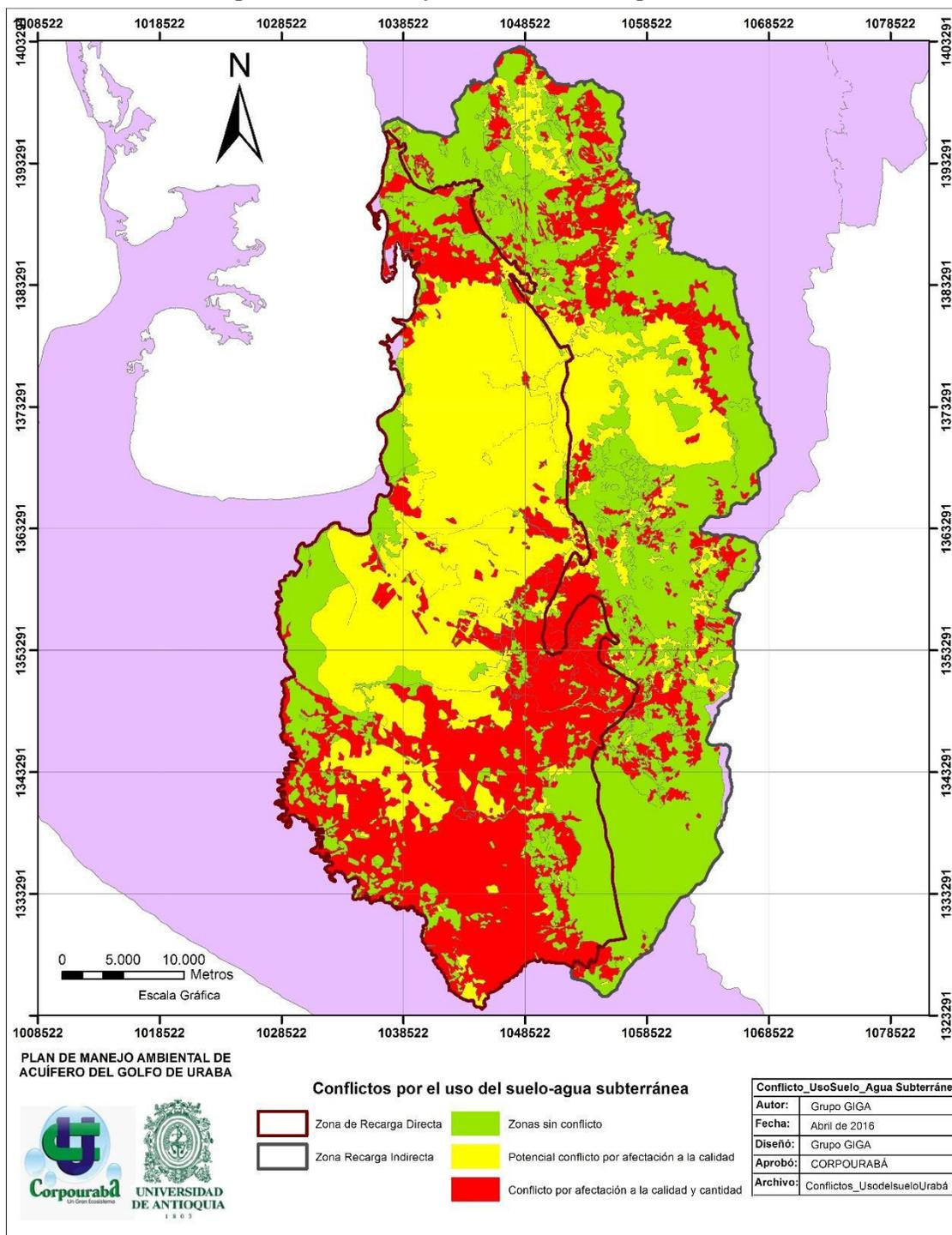
“...Es importante notar que para los conflictos por uso del suelo actual que se presentan en áreas de interés hidrogeológico asociados al Sistema Acuífero del eje bananero, predominan en la zona de recarga directa las afectaciones a la calidad. Sin embargo, en la zona de recarga indirecta predomina la afectación no sólo en términos de calidad sino también de cantidad. Aquellos usos del suelo cuya naturaleza se asocia a la protección, conservación y recuperación de ecosistemas no tienen una incompatibilidad en el uso del territorio por lo tanto estas áreas se consideran como zonas sin conflicto...” Plan de Manejo

Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá, CORPOURABA & Universidad de Antioquia 2016.

En la Figura 23 se presenta los conflictos por el uso del suelo-agua subterránea, tomado del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá, CORPOURABA & Universidad de Antioquia 2016.

EN ETAPA DE PUBLICACIÓN

Figura 23. Conflictos por el uso del suelo-agua subterráneo



Fuente: Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá (CORPOURABA & Universidad de Antioquia, 2016).

Los cuerpos lenticos y loticos que se encuentran en las zonas de recarga, por tratarse de zonas permeables, tienen una directa relación con el acuífero, por lo tanto los cuerpos

lenticos y loticos que ese encuentran en las zonas de recarga deben ser objeto de manejo especial. En estas zonas se debe realizar estudios hidrogeológicos especiales para definir la relación río-acuífero y humedales-acuífero.

EN ETAPA DE PUBLICACIÓN

2 BIBLIOGRAFÍA

- Allan, J. *Stream Ecology Structure and Function of Running Waters*. Londres: Chapman & Hall, 1995. p. 388.
- Auboin, J. et. al. (1982). Middle America Trench upper slope. Initial Reports of the Deep-Sea Drilling Project 67: 143-192.
- Ball, M. et. al. (1969). Atlantic Opening and the Origin of the Caribbean. *Nature*, vol. 223, No 5202, p. 167-168, fig. 1-2.
- Barragán, R. et. al (2008). Código estratigráfico norteamericano: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 117, xvi + 48 p., 2 tablas, 11 figuras.
- Bates, R.L. & Jackson, J.A. (1984). *Dictionary of Geological Terms*. Anchor Press, New York, 571 pp.
- Carvajal, J.H. (2012). Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Bogotá.
- Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - CORPOURABA (1988). Estudio de factibilidad presa de aprovechamiento múltiple sobre el río Chigorodó. Sodeic Ltda. Ingenieros consultores e interventores. Anexo A Climatología y Anexo B Hidrología.
- Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - CORPOURABA (2012). Plan de Gestión Ambiental Regional 2012 - 2024 Versión 02. Tomado de: <http://corpouraba.gov.co/sites/default/files/R-PG-01PGARAPROBADO.pdf>
- Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - CORPOURABA & Universidad de Antioquia (2014): Convenio interadministrativo de cooperación 136 de 2013. Escala 1:300.000. Betancur, T., Palacio, P., Gómez, A., Duque, J., Cardona, A., Ossa, J. Posada, J., García, D.
- Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - CORPOURABA & Universidad de Antioquia (2014). Actualización del Modelo Hidrogeológico conceptual del Sistema Acuífero del Urabá Antioqueño.
- Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - CORPOURABA & Universidad de Antioquia (2014). Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos: Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá. Medellín, 28 p.
- Chow Ven Te (1964). *Handbook of applied hydrology (a compendium of water-resources technology)*. Nueva York, McGraw-Hill.
- Chow, VenTe (1988). *Handbook of Applied Hydrology*.
- Chow Ven Te, Maidment David R., Mays Larry W. (1994). *Hidrología aplicada*. Editorial Mc Graw Hill. Bogotá.
- Dahmen, E.R. & Hall, M.J. (1990). Screening of hydrological data: Test for stationarity and relative consistency. *Internat. Inst. for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, ILRI pubn.* No. 49, 58 pp.

- De Porta, J. (1974). Léxico estratigráfico Internacional. América Latina – Colombia. Volumen V, Fascículo 4b. Unión Internacional de Ciencias Geológicas. Centro Nacional de la Investigación Científica, Paris.
- Dearman, W.R. (1974). Weathering classification in the characterization of rock for engineering purposes in British practice. Bulletin International Assoc. of Engineering Geology.
- Deere, D.U. & Patton, F.D. (1971). Slope stability in residual soils. Proceedings of the fourth Panamerican Conference on Soil mechanics and Foundation Engineering. San Juan de Puerto Rico.
- Donnelly, T.W. (1989). Geologic history of the Caribbean and Central America. In: BALLY, A. W. & PALMER, A. R. (eds.). The geology of North America. Boulder: Geological Society of America, 1989, 299-321.
- Duque-Caro, H. (1990). The Choco Block in the northwestern corner of South America: Structural, tectonostratigraphy and paleogeographic implications. Journal of South American Earth Sciences. Vol. 3, No. 1.
- Elderton W. P. (1953). Frequency curves and correlation, Harren, New York.
- Eslava, J., V. López & G. Olaya (1986c). Los climas de Colombia (Sistema de Caldas - Lang). *Atmósfera* 7:41- 77. Bogotá.
- Eslava, J. (1992). Perfil altitudinal de la temperatura del aire en Colombia. *Geofis. Colomb.* 1:37-52. Acad. Colomb. Cienc. Geofis., Bogotá.
- Foster, S.S.D. (1987): Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. Vulnerability of Soil and Groundwater to pollutants. TNO Committee on Hydrological Research Information nº38, Ed. by W. Van Duijvenbooden and H.G. Van Waegenigh, The Hague: 69-86.
- Foster S. & Hirata, R. (1988). Groundwater pollution risk evaluation assessment: a methodology using available data. WHO-PAHO/HPE-CEPIS, technical manual; Lima, Peru.
- Frisch, W. et. Al (1992). Origin of the Central American ophiolites: Evidence from paleomagnetic results: Geological Society of America Bulletin, 104, 1301–1314.
- García, J.; & Maza, J. Morfología de ríos. Capítulo 11 del manual de ingeniería de ríos. Instituto de Ingeniería UNAM.
- Garzon, F. (2012). Modelamiento estructural de la zona límite entre la microplaca de Panamá y el bloque norandino a partir de la interpretación de imágenes de radar, cartografía geológica, anomalías de campos potenciales y líneas sísmicas. Tesis de Maestría en Ciencias – Geofísica. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.
- Geotec (1997): Geología de los Cinturones Sinú - San Jacinto - Planchas 50 Puerto Escondido, 51 Lorica, 59 Mulatos, 60 Canalete, 61 Montería, 69 Necoclí, 70 San Pedro de Urabá, 71 Planeta Rica, 79 Turbo, 80 Tierralta. Escala 1:100.000. Bogotá D. C.
- Hermelin, M. (1987). Bases de geología ambiental. Universidad Nacional de Colombia (seccional Medellín). Medellín.

- Hill A.R. 1996. Nitrate removal in stream riparian zones. *J. Environ. Qual* 25:743-755.
- Ibáñez, D., Castro, E., Duque, T., & Villa, O. (2005). Estudio de microzonificación sísmica de Santiago de Cali. Bogotá.
- INCODER (2006). Proyecto de Adecuación de tierras Urabá, Identificación y análisis de alternativas de suministro de agua, Informe principal, Consultoría S. A.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2006). Índice de disponibilidad hídrica (IDH). Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Oficina del Servicio de Pronóstico y Alertas.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2010) Estudio Nacional de Agua. Bogotá D.C., 2011.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2013) Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia, Bogotá D.C. Colombia. Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM, noviembre de 2013. Bogotá D.C., Colombia.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2014) Estudio Nacional de Agua. Bogotá D.C., 2015. 496 p.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2017) Atlas interactivo – Climatológico. Tomado de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>
- Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero Ambiental y Nuclear - INGEOMINAS (1988). Mapa geológico de Colombia a escala 1: 1500000. Bogotá.
- Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero Ambiental y Nuclear - INGEOMINAS (1995). Evaluación del agua subterránea en la región de Urabá, Departamento de Antioquia. Bogotá D. C.
- Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero Ambiental y Nuclear - INGEOMINAS (2003). Geología de los Cinturones Sinú – San Jacinto 50 Puerto Escondido, 51 Lorica, 59 Mulatos, 60 Canalete, 61 Montería, 69 Necoclí, 70 San Pedro de Urabá, 71 Planeta Rica, 79 Turbo, 80 Tierralta. Bogotá.
- Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero Ambiental y Nuclear - INGEOMINAS (2004). Geología de los Cinturones del Sinú, San Jacinto y borde Occidental del Valle Inferior del Magdalena Caribe Colombiano. Escala 1:300.000. Bogotá.
- James, K.H. (2005). Arguments for and against the Pacific origin of the Caribbean Plate and arguments for an in-situ origin. *Caribbean Journal of Earth Science*, 39, 47-67.
- James, K.H. (2006). Arguments for and against the Pacific origin of the Caribbean Plate: discussion, finding for an interAmerican origin, *Geologica Acta*, 4(1-2), 279–302.
- Jaramillo Rojas C. C. Molina F M. Betancur T. 2011. Índices de escasez y de calidad del agua para la priorización de cuerpos de agua en los planes de ordenación del recurso hídrico. Aplicación en la jurisdicción de CORANTIOQUIA. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 10, No. 19, pp. 33-46. Medellín, Colombia.

- Keller, E. A. & Pinter, N. (1996). Active tectonics: Earthquakes uplift and landscapes, Prentice Hall, New Jersey. 362 p.
- Kirpich, ZP (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. Civil Engineering, Vol. 10, Junio. P 362.
- Klitgord, K. D. & Schouten, H. (1986). Plate kinematics of the central Atlantic. En: Vogt PR, Tucholke BE (eds) The geology of North America, Vol. M. The Western North Atlantic region. Geological Society of America, Boulder. 351-378.
- Linsley, K. & Paulhus (1975). Hydrology for engineers.
- Maidment D. (1992). Handbook of Hydrology, Capítulo 18.
- Mann, P. (1999). Caribbean Sedimentary Basins: Classification and Tectonic setting from Jurassic to Present. In: Mann, P. (Ed.) Caribbean Basins, Sedimentary Basins of the World, Volume 4. 3 – 31.
- Mejia, O. (2016). El fenómeno de El Niño, tema de la primera jornada técnica de la catedra del agua. Tomado de <http://cta.org.co/actualidad/del-cta/item/275-jornada-tecnica-de-la-catedra-del-agua-2016>
- Meschede, M. & Frisch, W. (1988). The Evolution of the Caribbean Plate and its Relation to plate Motion Vector: Geometric Constraint for an Inter-American Origin.
- Ministerio del Medio Ambiente - MAVDT, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia - IDEAM y Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Mineroambiental y Nuclear – INGEOMINAS, Coralina y CVC (2002). Formulación de proyectos de protección integrada de aguas subterráneas – Guía Metodológica
- Monsalve G. (1995). Hidrología en la Ingeniería. Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá.
- Montealegre, J. (2014). Actualización del componente meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.
- Organización Meteorológica Mundial – OMM (2011) Guía de prácticas hidrológicas. Ginebra, Suiza.
- Pindell, J. & Barrett, S. (1990). Geological evolution of the Caribbean region: a plate tectonic perspective. En: Dengo, G. and Case, J.E. (Eds.) The Geology of North America, Vol H, The Caribbean Region.
- Pindell, J. et. al. (2005). Plate-kinematics and crustal dynamics of circum-Caribbean arccontinent interactions. En: Ave-Lallemant y Sisson (eds), 2005, Geological Society of America Special Paper 394, 7-52.
- Pindell, J. & Kennan, L. (2009). Tectonic evolution of the Gulf of Mexico, Caribbean and northern South America in the mantle reference frame: an update.
- Quijano, J. E. (2014). Parámetros morfométricos, geomorfológicos y correlación estructural en cinco cuencas hidrográficas de la Cuenca Amagá.
- Rihl H. (1967) Introducción to the atmosphere.

Roldán G. 2009. Desarrollo de la limnología en Colombia: cuatro décadas de avances progresivos. *Actualidades Biológicas* vol. 31 (91): 227-237. Medellín Colombia.

ROLDÁN, G. & J. RAMÍREZ. 2008. *Fundamentos de limnología Neotropical*. 2a. Ed. Medellín (Colombia): Editorial Universidad de Antioquia, Universidad Católica de Oriente y Academia Colombiana de Ciencias– ACCEFYN.

Ross, M. I. & Scotese, C. R. (1988). A hierarchical tectonic model of the Gulf of Mexico and Caribbean region. Artículo: *Tectonophysics*, 155: 139-168

Schumm, S. (1963). A Tentative Classification of Alluvial River Channels.: an examination of similarities and differences among some graet plains rivers.

Schumm, S.A. (1963). Sinuosity of alluvial rivers on the Great Plains: *Geol, Soc. America Bull.*, v. 74, p 1089-1100.

Schumm, S. & Khan, H. (1972). *Experimental Study of Channel Patterns*. Department of Geology and Engineering research center, Colorado State University. Fort Collins, Colorado.

Servicio Geológico Colombiano – SGC. (2011). Documento metodológico para la elaboración del mapa geomorfológico, para la generación el mapa nacional de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá, 86p.

Strahler, A.N. (1964). *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*. New York.

Sykes, L.R. et. al. (1982). Motion Caribbean plate during last 7 million years and implications for earlier Cenozoic movements. *Journal of Geophysical Research*, 87(B13): 10656-10676.

Taboada, A. et. al (2000). Geodynamics of the northerm Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia). *Tectonics* 19. Issn: 0278-7407.

Temez, J.R. (1978 y 1989). *Calculo hidrometereologico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. M. O. P. U. dirección General de Carreteras. Madrid.

Terry, M. E. (1952). Some Rank order tests which área most powerful against specific parametric alternatives. *Annals of Mathematical Statistics*, 23, 346-366.

Vannote, R.L., G.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell & C.E. Cushing, 1980. The river cohtinum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37: 130-137

Vargas, M. & Diaz-Granados, M. (1997). *Curvas sintéticas de Intensidad – Duración – Frecuencia para Colombia*. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Los Andes. Bogotá.

Villegas, P. (2017) Análisis morfométrico de una Cuenca. Tomado de: <http://www.aguaysig.com/2013/10/analisis-morfometrico-de-una-cuenca.html>

Villegas, P. P. & Vivas, A. (2008): *Hidrogeología del Acuífero del Eje Bananero de Urabá*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá CORPOURABA. Apartadó, Antioquia.

Villota, H. (1991). *Geomorfología aplicada a levantamiento edafológicas y zonificación física de tierras*. IGAC, 211p.

Wald, A. & Wolfowitz, J. (1943). An exact test for randomness in the non-parametric case base don serial correlation. Annual Mathematical Statistics, 14, 378-388.

Yue, S. et. al. (2002b). The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. Hydrological Processes, 16, 1807-1829.

EN ETAPA DE PUBLICACIÓN