



**DETERMINACIÓN DE ESTIGOFAUNA EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA
SUBREGIÓN DEL URABÁ ANTIOQUEÑO, COLOMBIA**

LAURA PINEDA ZAPATA

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MAGISTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**DIRECTORA: TERESITA BETANCUR VARGAS. Ph.D.
ASESOR: NESTOR JAIME AGUIRRE RAMIREZ. Dr. rer.nat.**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
MEDELLÍN
2017**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la vida y permitirme terminar parte del camino que emprendí con esta investigación.

A mi directora la Doctora Teresita y a mi asesor el Doctor Néstor Jaime Aguirre, que con el amor por su trabajo me inspiraron a seguir siempre adelante y no desistir en el camino, mil gracias por brindarme todo su apoyo, comprensión, conocimiento y asesoría, dándome siempre los mejores consejos, sin ellos cada etapa de este trabajo no habría sido posible y este logro también es para ellos.

A la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá (CORPOURABA) y al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (COLCIENCIAS) quienes financiaron parte de esta investigación y al laboratorio de aguas de la corporación CORPOURABA por analizar las muestras y en especial al Ingeniero Pedro Pablo Villegas, Don José y Carlos que estuvieron pendientes de mí y me apoyaron en cada uno de los muestreos realizados.

A los propietarios de los aljibes por permitirme amablemente tomar las muestras durante la investigación.

Al Ingeniero Juan Pablo Serna, al Doctor Jimmy Montoya, al Doctor Carlos Lasso y a la Doctora Esnedý Hernández por su colaboración en la identificación de los organismos.

A todos mis compañeros de la maestría y miembros del Grupo GIGA, Camilo Duque, Juliana Ossa, Ángel Cardona, Cristina Martínez, Silvana Bolaños, María Cecilia Chaverra, Julián Londoño, Paola Palacio, José Posada, Manuel Gonzales, Stephania Vélez, Daniel García y Ana Karina Campillo con quienes he compartido todo este proceso.

A mis amigos del grupo Geolimna, Tatiana Puerta, Sara Obando, Sara Correa, Ana Zabala que siempre me brindaron su ayuda y compañía en las jornadas de identificación en el laboratorio.

Finalmente gracias a mis amados padres a Sara mi hermanita, a Luis Sánchez, a mi prima Mariana a mis familiares y amigos que me acompañaron en todo momento, brindándome su amor, cariño y apoyo incondicional.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1 GENERALIDADES	2
1.1 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	3
1.2 HIPÓTESIS.....	3
1.3 ANTECEDENTES.....	4
1.4 OBJETIVOS.....	5
1.4.1 <i>Objetivo General</i>	5
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	5
1.5 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	5
1.5.1 <i>Características generales de la zona de estudio</i>	5
1.5.2 <i>Caracterización hidroclimática</i>	8
1.6 GEOLOGÍA.....	8
1.7 MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL.....	13
2 MARCO CONCEPTUAL	18
2.1 AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	18
2.2 ECOLOGÍA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	21
2.3 ESTIGOFAUNA	22
2.4 LA ESTIGOFAUNA COMO UN INDICADOR DE LA CALIDAD EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	26
3 METODOLOGÍA	29
3.1 COLECTA DE LAS MUESTRAS.....	29
3.1.1 <i>Muestreo biológico</i>	29
3.1.2 <i>Muestreo fisicoquímico</i>	31
3.2 ANÁLISIS EN EL LABORATORIO DE LAS MUESTRAS BIOLÓGICAS	32
3.2.1 <i>Método cualitativo</i>	32
3.2.2 <i>Método cuantitativo</i>	34
3.3 RED DE MUESTREO BIOLÓGICA.....	37
3.4 VARIABLES FISICOQUÍMICAS MEDIDAS.....	39
3.5 VARIACIONES HIDROCLIMÁTICAS	40
3.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	40
4 RESULTADOS Y DISCUSION	42
4.1 PROTOCOLO PARA EL ANÁLISIS DE ESTIGOFAUNA	42
4.2 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE MUESTREO BIOLÓGICA	45
4.3 RELACIÓN DE LA ESTIGOFAUNA CON LA CALIDAD	45
4.4 GRUPOS DE ORGANISMOS HALLADOS EN EL AGUA SUBTERRÁNEA DE LA SUBREGIÓN DEL URABÁ ANTIOQUEÑO.....	53
4.4.1 <i>Definición de los grupos de organismos para los análisis</i>	66
4.5 CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES BIOLÓGICAS CON LA CALIDAD DEL AGUA	75
4.6 RELACIÓN DE LA ESTIGOFAUNA CON LA VARIACIÓN HIDROLÓGICA ENTRE DOS PERIODOS DE MUESTREO.....	78
4.7 DISCUSIÓN	80
5 CONCLUSIONES	86
6 REFERENCIAS	88

ANEXO 1. FORMATOS CON INFORMACION RECOLECTADA EN CAMPO Y ENCUESTAS REALIZADAS A LOS PROPIETARIOS DE LOS ALJIBES	96
ANEXO 2. MEDICIÓN Y FOTOGRAFIAS DE LOS ORGANISMOS HALLADOS	112
ANEXO 3. FORMATOS CON CONTEO EN EL LABORATORIO	125
ANEXO 4. FORMATOS DILIGENCIADOS POR EXPERTOS EN EL PANEL	128

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Localización de la zona de estudio.....	6
Figura 1.2. Distribución de las precipitaciones en la zona de estudio	8
Figura 1.3. Geología de la zona de estudio.....	11
Figura 1.4. Esquema metodológico para la obtención de un modelo hidrogeológico conceptual. ...	14
Figura 1.5. Corte independencia, correlación manual	15
Figura 1.6. Corte independencia, modelado con RockWorks®.....	15
Figura 1.7. Vistas del modelo geométrico, modelado en RockWorks®.....	17
Figura 2.1. Características de los acuíferos	19
Figura 2.2. Representación gráfica de un sistema acuífero multicapa	20
Figura 2.3. Clasificación de la estigofauna	24
Figura 2.4. Grupos taxonómicos más representativos del agua subterránea	25
Figura 3.1. Esquema metodológico usado en la investigación.....	30
Figura 3.2. Diseño muestral para la colecta con las redes.....	31
Figura 3.3. Etiquetado de las muestras	31
Figura 3.4. Procedimiento del muestreo fisicoquímico	32
Figura 3.5. Método cualitativo para la medición de organismos.....	33
Figura 3.6. Panel de Expertos	34
Figura 3.7. Esquema para el conteo de las muestras para los organismos encontrados	35
Figura 3.8. Montaje de sedimentación usando el cono Imhoff	36
Figura 3.9. Líneas de flujo seleccionadas	38
Figura 3.10. Puntos seleccionados según criterios establecidos	41
Figura 4.1. Procedimiento para la construcción de la red de zooplancton modificada de 180 μm ...	43
Figura 4.2. Diseño de la red de 180 μm	43
Figura 4.3. Redes zooplancton modificadas de 180 y 39 μm	44
Figura 4.4. Protocolo de muestreo	44
Figura 4.5. Red de muestreo implementada en la investigación.....	46
Figura 4.6. Diagrama piper para los aljibes en el mes de noviembre de 2015.....	50
Figura 4.7. Diagrama piper para los aljibes en el mes de marzo de 2016.....	50
Figura 4.8. Diagrama stiff para los aljibes en el mes de noviembre de 2015	51
Figura 4.9. Diagrama stiff para los aljibes en el mes de marzo de 2016	51
Figura 4.10. Diagrama de cajas y bigotes para la riqueza	65
Figura 4.11. Diagrama de cajas y bigotes para la densidad.....	66
Figura 4.12. Distribución de los organismos estigófilos en el mes de noviembre de 2015.....	69
Figura 4.13. Distribución de los organismos estigófilos en el mes de marzo de 2016	70
Figura 4.14. Distribución de las taxa en los periodos de muestreos	71
Figura 4.15. Sedimentos de los cinco aljibes muestreados.....	71
Figura 4.16. Diagrama de cajas y bigotes para la densidad de estigofauna en los dos periodos de muestreo	73
Figura 4.17. Diagrama de cajas y bigotes para la riqueza de estigofauna en los dos periodos de muestreo.....	74
Figura 4.18. Diagrama de cajas y bigotes para la densidad de estigofauna por aljibe.....	74
Figura 4.19. Diagrama de cajas y bigotes para la riqueza de estigofauna por aljibe.....	75
Figura 4.20. Gráfica de la proyección de las variables en el plano factorial.....	78
Figura 4.21. Relaciones en la columna de agua durante los dos periodos de muestreo.	79

Figura 4.22. Variación de agua en los aljibes muestreados	80
Figura 4.23. Puntos de la nueva red de muestreo biológica.....	81
Figura 4.24. Estructura taxonómica del orden copépodo	85
Figura 4.25. Estructura taxonómica del orden ostrácodo	86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Características de los elementos naturales de la zona de estudio	7
Tabla 1.2. Características de la geología de la de zona de estudio	9
Tabla 1.3. Fallas que se presentan en la zona de estudio	12
Tabla 1.4. Pliegues presentados en la zona de estudio	12
Tabla 3.1. Expertos convocados al panel.....	33
Tabla 3.2. Aljibes pertenecientes a la red de muestreo biológica	39
Tabla 3.3. Variables medidas en laboratorio	39
Tabla 3.4. Variables medidas <i>In situ</i>	40
Tabla 4.1. Variables fisicoquímicas medidas <i>in situ</i>	47
Tabla 4.2. Resultados de los análisis fisicoquímicos para el mes de noviembre de 2015	48
Tabla 4.3. Resultados de los análisis fisicoquímicos para el mes de marzo de 2016	48
Tabla 4.4. Comparación de facies en los dos periodos de muestreo	49
Tabla 4.5. Resultado del análisis univariado para las variables medidas.....	52
Tabla 4.6. Organismos encontrados en los cinco aljibes muestreados	54
Tabla 4.7 Morfotipos hallados en las muestras para los dos periodos de muestreo	58
Tabla 4.8.Resultados para el conteo de organismos hallados en noviembre de 2015.....	59
Tabla 4.9. Resultados para el conteo de organismos hallados en marzo de 2016	62
Tabla 4.10. Resumen Estadístico de riqueza	65
Tabla 4.11. Resumen Estadístico de densidad	66
Tabla 4.12. Clasificación de los organismos según la literatura	66
Tabla 4.13. Organismos encontrados en los dos periodos de muestreo en los cinco aljibes.....	67
Tabla 4.14. Análisis de Varianza para Densidad total estigofauna.....	72
Tabla 4.15. Análisis de Varianza para riqueza total estigofauna	72
Tabla 4.16. Prueba de Kruskal-Wallis para densidad y riqueza total por muestreo	74
Tabla 4.17. Prueba de Kruskal-Wallis para densidad y riqueza total por aljibe	75
Tabla 4.18 Valores de los factores usados para el análisis de componentes principales	77
Tabla 4.19. Descripción de los puntos pertenecientes a la nueva red de muestreo biológica propuesta.....	82

ECUACIONES

Ecuación. 1 Cálculo para la densidad de organismos por mililitro.....	35
Ecuación. 2 Cálculo para la densidad de organismos por mililitro.....	36

INTRODUCCIÓN

Los acuíferos puede considerarse un ecosistema por sí mismo, puesto que desempeña un papel integrador al sostener a otros tipos de ecosistemas acuáticos, terrestres y costeros. Por lo tanto, es un factor clave, difícil de aislar de los demás ecosistemas debido a los múltiples procesos, conexiones y funciones que desempeñan todos de manera integrada. Además cumple un papel esencial en el funcionamiento del ciclo hidrológico; es un agente en la formación de paisajes, suelos y yacimientos minerales; es fundamental en la formación de acuíferos, y constituye un recurso de gran utilidad para satisfacer necesidades de la mayoría de las actividades que se desarrollan en el medio socio-productivo. También, este recurso constituye más del 97% del agua líquida dulce del planeta (Scarsbrook et al., 2000).

Los reservorios de agua subterránea albergan vida acuática con características únicas, poco estudiadas y conocidas a nivel mundial, por lo que su protección y vulnerabilidad son temas críticos que aún no han sido apropiadamente desarrollados. Los impactos que se generan en las aguas subterráneas, ya sean naturales o antrópicos, alteran la calidad de la misma, dificultando su aprovechamiento por el hombre y generando cambios en la vida acuática propia de esta, o de los ecosistemas relacionados con ellas (Griebler & Avramov, 2015).

En este trabajo de investigación se determinó la presencia de estigofauna en el sistema hidrogeológico del Urabá antioqueño, su composición en las aguas subterráneas y su relación con la calidad de la misma. De esta forma se buscó avanzar hacia el establecimiento de nuevos indicadores de calidad del agua subterránea diferente a los físicos y químicos, que servirán como insumo en la generación de medidas de protección y gestión de las aguas subterráneas.

El presente documento consta de cinco capítulos, que dan cuenta del cumplimiento de los objetivos propuestos. El capítulo 1 corresponde a las generalidades, está conformado por los objetivos, antecedentes y la descripción general de la zona de estudio; el capítulo 2 contiene el marco conceptual y estado del arte de los temas tratados; en el capítulo 3 se describe la metodología utilizada para el logro de los objetivos planteados en cuanto a la definición de zonas de muestreo, cantidad de sitios a muestrear, parámetros fisicoquímicos y construcción de equipos, también hace referencia a los métodos para el análisis de la información recopilada; en el capítulo 4 se presentan los resultados y la discusión obtenidos a partir de la toma de muestra de los aljibes seleccionados para el propósito de esta investigación y los análisis biológicos, espaciales y estadísticos correspondientes, finalmente en el capítulo 5 se presentan las conclusiones finales del trabajo.

Este trabajo de investigación hizo parte del convenio 21302406-005-2015 suscrito entre la Universidad de Antioquia y la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá (CORPOURABA), mediante el cual se formuló el Plan de Manejo Ambiental de Acuífero para el Golfo de Urabá y se avanzó en el conocimiento del sistema. Así mismo, con esta investigación se aporta al cumplimiento del objetivo: “Caracterizar los procesos físicos, químicos y biológicos propios de los ambientes de transición acuífero humedal” del proyecto COLCIENCIAS: “Evaluación de servicios ecosistémicos en sistemas de transición acuífero-humedal, incorporando los efectos de procesos de alteración a su dinámica natural”.

1 GENERALIDADES

En este primer capítulo, se presenta el contexto en el cual se lleva a cabo esta investigación: se exponen las preguntas de investigación, las hipótesis de trabajo, los antecedentes del conocimiento y estudios hidrogeológicos en la zona de estudio; posteriormente se formulan los objetivos a desarrollar; para la descripción de la zona de estudio se presentan: aspectos del entorno natural, la caracterización hidroclimatológica y la geología; finalmente, se describe el modelo hidrogeológico conceptual.

Dentro del recurso hídrico, el agua subterránea constituye un elemento estratégico que cumple diversas funciones: aporta caudal base a las corrientes superficiales, mantiene diversos ecosistemas y es una fuente importante para satisfacer las necesidades de abastecimiento del ser humano, la industria y la agricultura (Tione et al., 2014).

Desde hace un tiempo, el agua dulce superficial se considera un recurso escaso, debido al aumento de la población en las ciudades, sumado al incremento del nivel de vida, las necesidades agrícolas e industriales; actividades que demandan cada vez más agua, especialmente subterránea, dado que las superficiales son más susceptibles de contaminación y escasean en sequías prolongadas (Torres et al., 2009). Estas circunstancias crean la necesidad de estudiar en detalle las aguas subterráneas para conocer su dinámica y así contar con el conocimiento necesario para planificar y regular su explotación y establecer medidas y políticas para su protección.

En numerosos casos, las aguas subterráneas son consideradas exclusivamente como un recurso natural, independiente de factores ecológicos como lo es la fauna y los procesos ecosistémicos en los que interviene (como la descomposición de hojarasca y transformación de materia orgánica y nutrientes) (Bunn et al., 2006), por lo que su valor ecológico no es muy claro; sin embargo, diversos estudios demuestran que dentro de los sistemas hidrogeológicos hay asociaciones, procesos biológicos y especies de fauna endémicas, que cumplen un papel importante dentro de su entorno como se menciona en Danielopol et al., (2000); Boulton et al., (2008) y Gibert & Culver (2009). Los organismos que residen allí se les conoce como estigofauna y tienen características particulares como son: falta de pigmentación, cuerpos muy delgados, carencia de ojos y desarrollo de otros órganos sensitivos como antenas (Scarsbrook et al., 2000 y Humphreys, 2006).

La importancia que tiene estudiar estos organismos está relacionada con las funciones que se les atribuyen en cuanto al mantenimiento de los sistemas subterráneos como: el ciclaje de nutrientes, la degradación de materia orgánica y la eliminación de bacterias patógenas (Gibert et al., 2009); además, estos organismos son vulnerables a los cambios del medio donde habitan y sensibles a la contaminación, características que brindan la posibilidad de utilizarlos como indicadores biológicos de calidad y dar un indicio del estado en que se encuentran los acuíferos (Menció et al., 2014).

Con esta investigación se pretende dar un primer paso en el conocimiento de los organismos que habitan en las aguas subterráneas de la subregión del Urabá antioqueño; además de la creación de una red de monitoreo biológica que permita obtener información acerca de las interacciones, distribuciones, cambios y comportamientos que se presenten entre los sistemas acuíferos y los organismos que allí habitan, teniendo en cuenta que el sistema hidrogeológico de la región del Urabá antioqueño es considerado estratégico y priorizado dentro del Programa Nacional de Aguas Subterráneas de Colombia para ser objeto de protección.

Considerando que en Colombia no hay estudios relacionados con la estigofauna, la información que se obtiene de esta investigación brinda un nuevo enfoque en el desarrollo y el conocimiento de los sistemas acuíferos en el país, permitiendo dar a conocer e

identificar qué tipos de organismos habitan en el acuífero, los cuales, sirvan como una herramienta que pueda ser utilizada como indicador biológico de la calidad del agua subterránea, y con el que se sustente un mejor manejo y se genere nuevo conocimiento del sistema.

En la subregión del Urabá antioqueño en Colombia, el agua subterránea representa un recurso estratégico, y constituye la base fundamental para el suministro de agua de la población y el sector productivo (IDEAM, 2013a). También, tiene asociado los ecosistemas del Eje Bananero de Urabá dependientes del agua subterránea, dentro de los que se encuentran los humedales, que son de vital importancia para la producción de recursos hidrobiológicos y el hábitat de numerosas especies de fauna silvestre.

Conociendo el potencial en la subregión del Urabá antioqueño en relación con el agua subterránea, se visualiza la posibilidad de investigar y determinar la presencia de la estigofauna asociada a la misma, y que depende de este recurso para su subsistencia. Este trabajo está enmarcado en una zona piloto de estudio, en la cual es posible identificar diferentes condiciones naturales y antrópicas, que permiten relacionar las especies halladas con la calidad de las aguas subterráneas en dichas zonas.

1.1 Preguntas de investigación

Las preguntas que se plantean en esta investigación y que se pretenden responder son: i) ¿existen organismos en las aguas subterráneas del Urabá antioqueño que sirvan como indicadores de calidad? ii) ¿cómo se relacionan los organismos subterráneos con las condiciones físicas y químicas de la zona de estudio? iii) ¿existe un cambio en la riqueza y distribución de los organismos en diferentes periodos estacionales?.

1.2 Hipótesis

Basados en las preguntas de investigación y teniendo en cuenta el conocimiento que se tiene sobre la subregión del Urabá antioqueño, se plantean las siguientes hipótesis i) a partir de la interacción que existe entre las aguas subterráneas y diferentes sistemas hídricos dependientes de esta, es posible encontrar diferentes organismos asociados a las aguas subterráneas, según el lugar de colecta de las muestras y la calidad del agua, que permita utilizar a los organismos hallados como bioindicadores. ii) en la zona de estudio el agua subterránea es la principal fuente para el desarrollo de diversas actividades tanto agrícolas, como industriales, por lo que es posible encontrar diferentes condiciones en la calidad del agua subterránea, y esto pudiera estar relacionado con diversos tipos de organismos que presenten diferentes capacidades de adaptación a dichas condiciones. iii) algunas especies que viven en el agua subterránea realizan desplazamientos hacia las aguas superficiales en busca de alimentos, estas transiciones agua subterránea - agua superficial, puede verse afectada cuando existen variaciones hidroclimáticas como se presentan en la zona de estudio, lo que puede ocasionar que los valores de la diversidad y la riqueza puedan verse alterados de manera positiva o negativa dependiendo que tan fuerte sean esos periodos.

1.3 Antecedentes

Desde hace más de 20 años, la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá, (CORPOURABA), ha llevado a cabo diferentes estudios que permitieron comprender el sistema hidrogeológico de la región y de esta manera contar con un mejor conocimiento, base para el desarrollo del ejercicio de la Autoridad Ambiental.

INGEOMINAS en 1995, realizó un estudio de evaluación hidrogeológica en el Urabá antioqueño, con el propósito de identificar y evaluar las principales unidades acuíferas presentes en la región. Este estudio cubrió un área de 6.300 km², entre Juradó al sur y Arboletes al norte, las estribaciones de la Serranía de Abibe al oriente y el río León al occidente.

En 1996, la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, en convenio con CORPOURABA, con un trabajo de investigación de maestría, realizó el modelo numérico del acuífero del Eje Bananero (Golfo de Urabá) apoyado en un sistema de información geográfica (Betancur, 1996). Naranjo (1998), desarrolló un proyecto de caracterización de la calidad del agua subterránea, donde además se llevó a cabo la medición de niveles de 60 pozos de la red de monitoreo de aguas subterráneas. En 2003 GEOTEC, realizó una actualización del Mapa Geológico de la región, detallando la naturaleza de las formaciones del Terciario que están presentes en la zona. Entre los años 2006 y 2007, la Corporación con el apoyo del, entonces, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial adelantó sondeos de exploración geofísica y la construcción de una red de piezómetros para monitorear la posible intrusión marina en el Golfo (Universidad de Antioquia & CORPOURABA, 2014).

Durante el año 2009, en convenio con la Universidad de Antioquia, se desarrolló un estudio hidroquímico del acuífero del Golfo de Urabá, en el que se muestrearon 48 pozos que previamente fueron georreferenciados por el IDEAM. Paredes (2010), llevó a cabo el estudio “Susceptibilidad a la contaminación salina del acuífero costero del eje bananero de Urabá (Golfo de Urabá) con técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas”; como resultado de esta investigación, se determinó que el acuífero presenta vulnerabilidad alta a la intrusión salina; Villegas et al., 2012 y Villegas et al., 2013 llevaron a cabo un análisis estadístico de la hidroquímica del acuífero confinado del golfo de Urabá; aplicando técnicas estadísticas multivariadas para examinar los posibles orígenes de los patrones de composición de las aguas subterráneas y evaluar la relación entre las principales variables físicas y químicas.

En el año 2011, se desarrolló una aproximación a la evaluación del peligro a la contaminación por pesticidas utilizando información de 150 fincas bananeras de las 330 existentes (Vargas, 2011); con la información se evaluó la vulnerabilidad específica del acuífero y parcialmente el peligro potencial de contaminación por los pesticidas; Ribeiro et al., 2014 realizaron un estudio aplicando dos índices de calidad de agua subterránea en el acuífero del golfo de Urabá.

Con el apoyo del Organismo Internacional de Energía Atómica, IAEA, se desarrolló el proyecto Nacional COL8024 denominado “Estudio Isotópico de los acuíferos del Golfo Morrosquillo y el Golfo de Urabá, Colombia”. En éste se planteó el uso de las técnicas isotópicas para el estudio de dichos acuíferos y se incluyeron análisis hidrogeoquímicos. En el marco de este proyecto, en el año 2013 Villegas entregó los resultados de un trabajo de investigación de maestría que tenía por título “Caracterización Isotópica del Acuífero del Golfo de Urabá, utilizando 2H, 18O, 14C, y 13C, en este estudio se realizó una caracterización hidrogeoquímica.

En el año 2014, La Universidad de Antioquia en convenio con CORPOURABA, reinterpretó la información hidrogeológica disponible y planteó el modelo conceptual de un sistema

acuífero multicapa. En el año 2016, mediante el convenio 21302406-005-2015 de cooperación entre la Universidad de Antioquia y CORPOURABA se formuló el Plan de Manejo Ambiental del Acuífero del Golfo de Urabá. Este proyecto de identificación de estigofauna hace parte de este convenio (Universidad de Antioquia & CORPOURABA, 2016b).

1.4 Objetivos

Para el desarrollo de la presente investigación, y con el propósito de corroborar las hipótesis planteadas, se proponen los siguientes objetivos.

1.4.1 Objetivo General

Determinar la presencia de estigofauna en el sistema hidrogeológico del Urabá antioqueño; cómo es su composición en las aguas subterráneas y su relación con la calidad de la misma.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Definir un protocolo para el análisis de estigofauna incluyendo el diseño de equipos y procedimientos para obtener, recolectar y preservar muestras, así como el análisis en el laboratorio.
- Diseñar e implementar una red de muestreo biológica mediante la cual sea posible determinar y cuantificar la densidad y riqueza biológica del acuífero.
- Establecer las principales variables que puedan incidir en la presencia de las especies de estigofauna.
- Reconocer los principales géneros de estigofauna representativos del sistema hidrogeológico del Urabá antioqueño.
- Evaluar la posible presencia de estigofauna en relación con diferentes condiciones hidrológicas.

1.5 Descripción de la zona de estudio

A continuación se presenta una descripción general de la zona de estudio y sus principales características hidroclimáticas.

1.5.1 Características generales de la zona de estudio

La zona de estudio, hace parte del Eje Bananero del Urabá antioqueño conformada por los municipios de Chigorodó, Carepa, Apartadó y Turbo, con una extensión aproximada de 1.206 km² (102.000 Ha). El área de estudio está limitada de la siguiente manera: al oriente por la Serranía de Abibe y las Palomas, al norte por el litoral del mar Caribe, al occidente por el golfo de Urabá y al sur por el río León. Esta zona se enmarca entre las coordenadas 8° 10' 34" N, 76° 49' 25" W (Figura 1.1). La temperatura media es de 28°C y la humedad relativa es del orden de 85,9% que corresponde a las características climáticas de bosque húmedo tropical. (Gobernación de Antioquia, 2012 y Universidad de Antioquia & CORPOURABA, 2014).

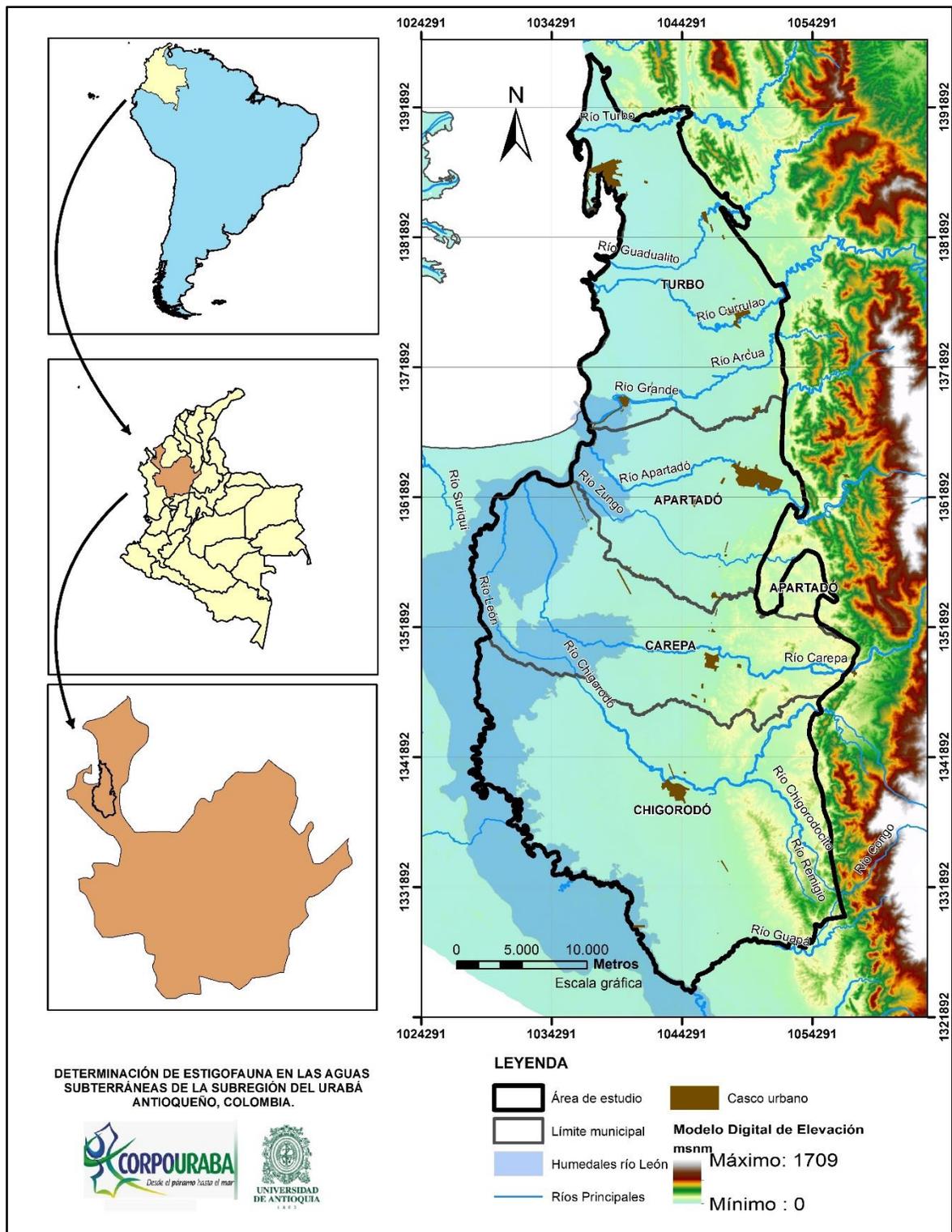


Figura 1.1. Localización de la zona de estudio
 Fuente: Universidad de Antioquia & CORPOURABA 2014

La zona de estudio está conformada por los siguientes elementos naturales que juegan un papel como ordenadores del territorio: i) el Golfo de Urabá, ii) las planicies aluviales de los ríos y sus sistemas de humedales-acuíferos y iii) la Serranía de Abibe; estas constituyen las piezas más importantes de la geografía que estructuran el territorio, tanto desde su configuración geográfica como en su constitución sociocultural, dado que los procesos de ocupación del territorio, de una u otra manera, han sido determinados por estos elementos (Gobernación de Antioquia, 2012).

En la Tabla 1.1 se resumen algunas características de los elementos naturales de la zona de estudio.

Tabla 1.1. Características de los elementos naturales de la zona de estudio

Elemento natural	Características
Golfo de Urabá	<p>Posee una gran riqueza ambiental, donde se pueden encontrar elementos de los ecosistemas mangláricos y humedales de importancia regional y global. Se considera un estuario debido a los diferentes ríos que hacen parte del territorio y que desembocan en él.</p> <p>Las aguas que los conforman presentan características salobres lo que permite la mezcla de sedimentos y nutrientes que dan paso al desarrollo de muchos organismos, generando una amplia gama de hábitats (Gobernación de Antioquia, 2012).</p>
Conjunto de humedales	<p>Constituyen una de las características más importantes de la geografía de Urabá, por su papel en el mantenimiento del sistema ambiental, puesto que desempeñan funciones de control de inundaciones, recarga y descarga de acuíferos, control de la erosión, retención de sedimentos y de nutrientes, exportación de biomasa, estabilización de microclimas, transporte por agua, recreación y turismo (Comisión Tripartita, 2007).</p>
Fuentes abastecedoras de agua superficiales	<p>Alimentan los diferentes acueductos municipales tanto de las áreas urbanas como rurales de los municipios, estas fuentes atraviesan la zona en dirección W-E, desde la Serranía de Abibe hasta el río León y constituyen el eje estructurante de los municipios, puesto que a cada cabecera y centro poblado se asocia un cuerpo de agua de los que hacen parte: quebradas, ríos y humedales (Alcaldía de Turbo, 2011; Alcaldía de Apartado, 2011; Alcaldía de Carepa, 2011 y Alcaldía de Chigorodo, 2011).</p>
Fuentes abastecedoras de agua subterránea	<p>Dentro del componente hídrico se destacan las aguas subterráneas, las cuales constituyen la base fundamental para el suministro de agua de la población y el sector productivo, además es la principal fuente de abastecimiento de 34 comunidades rurales y de las cabeceras urbanas de los municipios de Turbo y Chigorodó, también, permite la provisión de agua para riego y lavado de la fruta en cultivos de banano y de plátano en los municipios de Turbo, Apartadó, Carepa y Chigorodó, convirtiéndose este recurso en motor del desarrollo económico de la región. El agua subterránea se obtiene a partir de un sistema hidrogeológico conformado por un acuífero multicapa (Universidad de Antioquia & CORPOURABA, 2014).</p>
Relieve	<p>Se caracteriza por la presencia de una topografía suave a ligeramente ondulada; la zona plana, tiene alturas menores de 50 m.s.n.m., el resto del área lo ocupan las cadenas de colinas pertenecientes a la Serranía de Abibe con alturas que no superan los 1.000 m.s.n.m. En el pie de monte de la</p>

	Serranía de Abibe ocurren abanicos aluviales producidos por los ríos que nacen al oriente en las partes altas (Gobernación de Antioquia 2012).
--	--

1.5.2 Caracterización hidroclimática

El clima de la región está determinado por su ubicación en Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) con una precipitación media anual que varía en sentido norte-sur entre 2.100 mm/año y 3.800 mm/año. Se encontró que el año hidrológico está caracterizado por un periodo de lluvias que va de abril a diciembre y un periodo seco entre enero y marzo; en términos generales el mes más lluvioso es el mes de mayo (Figura 1.2).

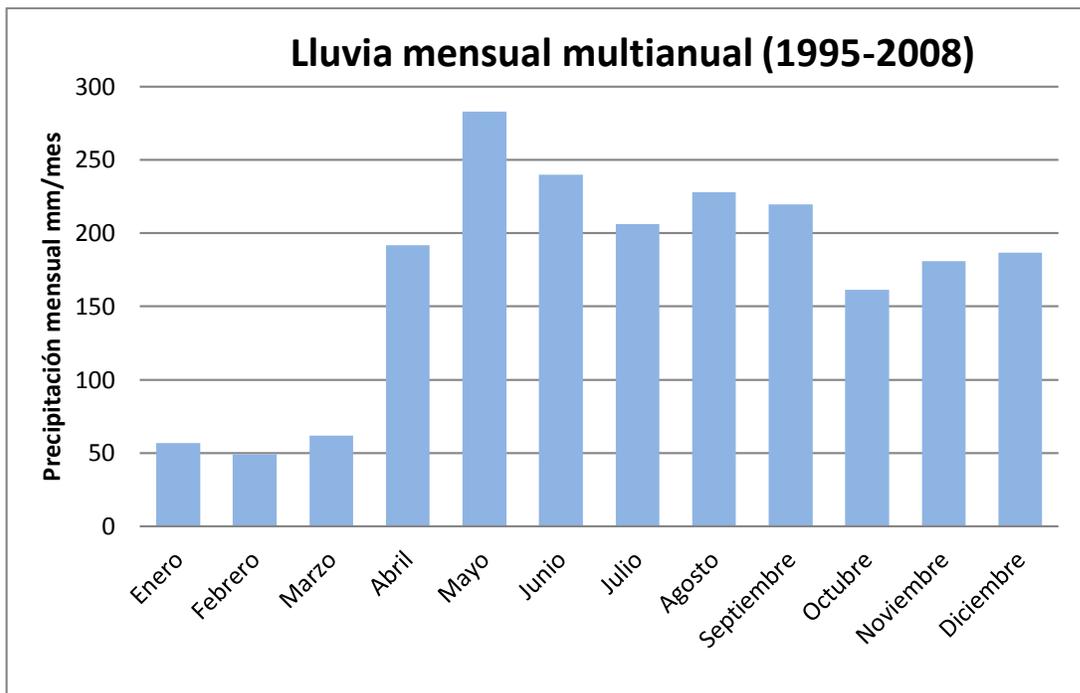


Figura 1.2. Distribución de las precipitaciones en la zona de estudio

Fuente: Universidad de Antioquia & CORPOURABA 2014

1.6 Geología

De acuerdo con INGEOMINAS (1995) y GEOTEC (2003), en la región de Urabá se registran sobre un basamento más antiguo rocas sedimentarias del Neógeno, pertenecientes a las formaciones Pavo, Arenas Monas, Corpa y depósitos aluviales, fluvio-lacustres, fluviomarinos y marinos del Cuaternario. En la Tabla 1.2 se presentan las características de las formaciones mencionadas anteriormente y en la Figura 1.3 el mapa con las unidades litológicas y fallas.

Tabla 1.2. Características de la geología de la de zona de estudio

Unidad	Sigla	Descripción
Formación Pavo		Se destaca morfológicamente por constituir los cerros más elevados que configuran el cierre de estructuras sinclinales, su espesor varía entre 4.310 m a 9.000 m. Está subdividida en: Pavo Inferior y Pavo Superior, con base en su carácter litológico.
Formación Pavo Inferior		Con una edad de Mioceno Inferior a Medio, está constituido por capas gruesas a muy gruesas de arenitas líticas a sublíticas, gris azulosas a gris medio, interestratificadas con capas delgadas a medianas de lutitas gris verdosas a pardas. Las arcillolitas esporádicamente muestran restos de plantas, concreciones ferruginosas e intercalaciones de láminas a capas delgadas de arenitas arcillosas fino granulares. Localmente en la parte superior de esta subunidad se presentan algunas capas delgadas de turba. El ambiente de depósito para la Formación Pavo Inferior, correspondería a un ambiente marino somero (INGEOMINAS, 1995).
Formación Pavo Superior	Ngpv	Con una edad que va desde el Mioceno Inferior – Medio hasta Plioceno Inferior, está formado por lutitas (70-80% de la secuencia) y son frecuentes algunos niveles arenosos en la parte inferior de la subunidad. Se identifica por el aspecto abigarrado de las lutitas y la presencia permanente de mineral de yeso y jarosita en las fracturas de las rocas o en algunos planos de estratificación. Las lutitas presentan variados colores y tonos que incluyen: pardo claro, pardo rojizo, gris verdoso, gris claro, morado y rojo. Son de aspecto macizo, con abundante materia carbonosa entre 2,2 y 1,0 metros de espesor y algunas costras endurecidas de limolitas (Hardgroundlimolítico) en la superficie del contacto con arenitas. Las areniscas intercaladas son principalmente cuarzosas, de color pardo a amarillo claro, de grano fino, subangular o subredondeado, buena selección, baja porosidad y permeabilidad; localmente cemento silíceo (5-10%). En la composición, además de cuarzo, se presenta chert negro, restos de plantas e intraclastos de lutitas; y a la base ocurren fragmentos de carbón.
Formación Arenas Monas	Ngam	Con una edad que va del Mioceno Tardío al Plioceno Temprano, está constituida de base a tope por limolitas arcillosas de color gris claro, que gradan a arenitas de grano muy fino dispuestas en capas medias a gruesas que son suprayacidas por litoarenitas de grano fino que gradan a conglomerados de guijos finos y medios. Se reconocen fragmentos líticos de color negro que corresponden a basaltos con formas tabulares y hexagonales, granos de cuarzo hialino y lechoso y una matriz limosa de color ocre pálido. Los granos son angulares y pobremente seleccionados.
Formación Corpa	Ngco	Con una edad relativa de Plioceno. Está constituida hacia la base por una serie de conglomerados arenosos polimícticos, localmente clasto-soportados, que varían a arenitas ligeramente conglomeráticas, cuarzosas y líticas, gris marrón amarillento; dispuestos en capas muy gruesas masivas, con estratificación cruzada ondulosa. Además, posee niveles supeditados de limolitas laminadas. Se presentan grandes superficies de acanalamiento y paleocauces.

		Esta unidad aflora en el flanco más occidental de la Serranía de Abibe, formando las colinas bajas que se observan a lo largo de la carretera Juradó - Turbo. Las características litológicas de la unidad Corpa, sugieren un ambiente de deposición de tipo continental, con corrientes sinuosas de períodos de media a alta energía (deposición de la fracción conglomerática) y períodos de tranquilidad (deposición de la fracción areno-arcillosa). INGEOMINAS (1995) había dividido esta unidad en tres subunidades, designadas informalmente como T2A, T2B y T2C.
Depósitos del Cuaternario	Qal	Está representado por terrazas aluviales relacionadas con los ríos Chigorodó, Carepa, Apartadó, Grande y Currulao; a los pequeños abanicos aluviales de los ríos El Tres y Turbo, y por la gran llanura aluvial de Mutatá -Turbo. Son de poca altura y extensión y en su mayoría recubiertas por cultivos de banano. El primer nivel, de poca altura, tiene un espesor de 1,5 metros. Está conformado por gravas dentro en una matriz areno - arcillosa, de baja consolidación, seguido hacia el tope de un nivel de arenas, de color marrón, grano grueso, ligeramente conglomerática y de poca consolidación. El segundo nivel, está conformado, de la base al techo de un nivel limo arcilloso, de 1,8 metros de espesor, muy friable, seguido de un material arenoso conglomerático de 1,5 metros de espesor de poca consolidación. El tercer nivel, similar al anterior, conformado de la base al techo de un nivel limo arcilloso de 1,6 metros de espesor, muy friable, seguido de un material arenoso conglomerático de 1,9 metros de espesor de poca consolidación. La unidad cubre la parte plana del área de estudio, es decir, desde el piedemonte de la Serranía de Abibe hacia el occidente. Localmente en algunas partes se observan terrazas de material más grueso, como arenas gruesas y gravas finas, pero el común es encontrar depósitos de finos.

Fuente: Universidad de Antioquia & CORPOURABA 2014

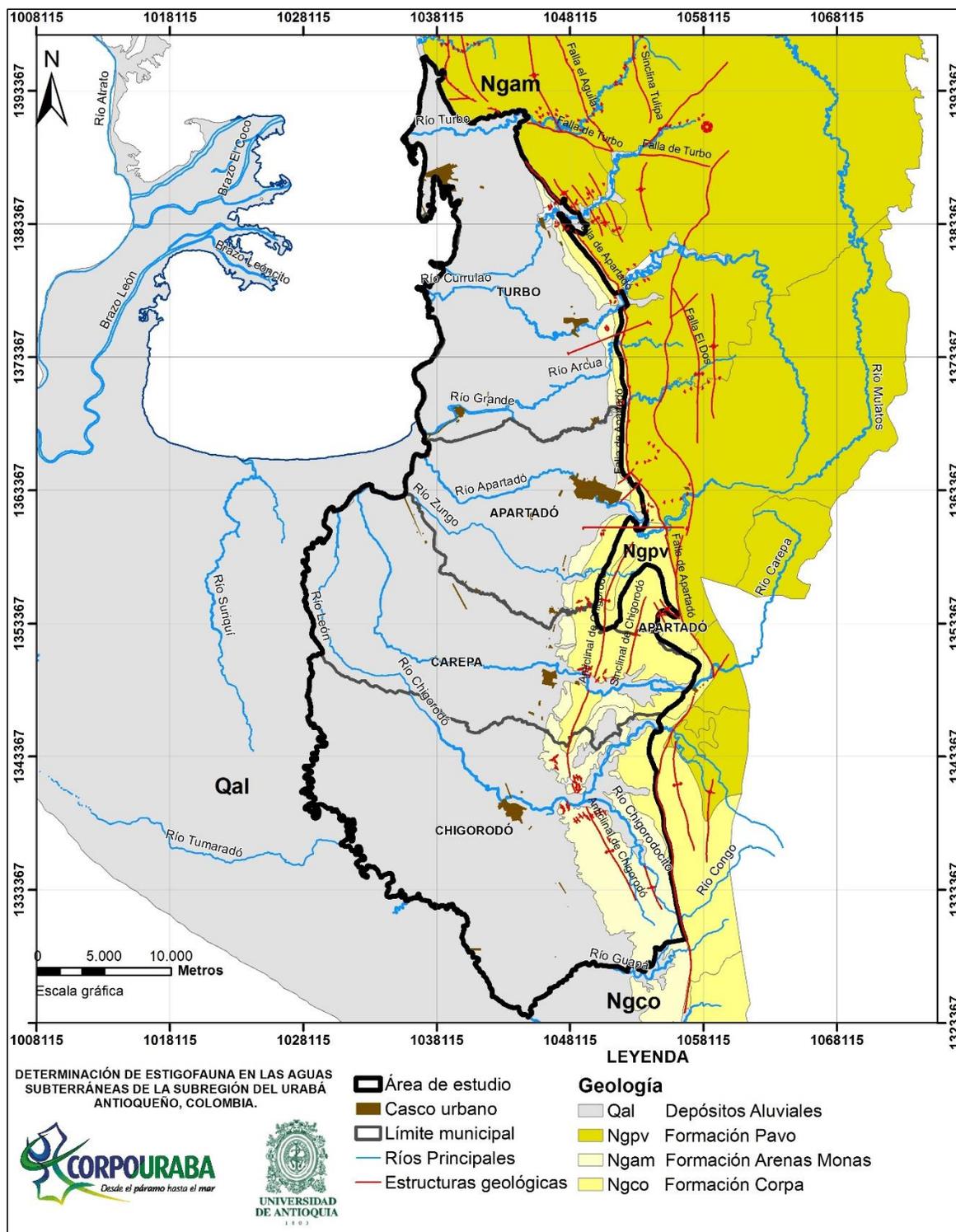


Figura 1.3. Geología de la zona de estudio

Fuente: INGEOMINAS, 1995

Desde el punto estructural se destaca la presencia de frentes de falla relacionados con el fuerte cambio morfológico asociado a la Serranía de Abibe y los sectores de lomeríos y de planicie, como se evidencia en el mapa geológico estructural. En la Tabla 1.3 y en la Tabla 1.4 se presentan la descripción de las fallas y pliegues relacionados con la zona de estudio.

Tabla 1.3. Fallas que se presentan en la zona de estudio

Estructura	Descripción
Falla de Turbo	Corresponde a una falla de rumbo con desplazamiento sinistral, su trazo es inferido y afecta rocas de la Formación Pavo y estructuras dómicas a lo largo del río Turbo. El trazo de falla controla durante largo trecho el curso del río Turbo. Posee una orientación aproximada de S80°E y una longitud estimada de 33 km (INGEOMINAS, 1995).
Falla de Apartadó.	De acuerdo con (INGEOMINAS, 1995) posee extensión regional, es de tipo inverso con bajo ángulo; dirección N - S a N30°W; buza hacia el oriente. Para el norte de Turbo, está truncada por fallas menores; hacia el sur su trazo continua por fuera de la zona de estudio.
Falla El Dos.	Falla normal de dirección N80°W, de ángulo moderado hacia el norte. Se encuentra truncada por la Falla de Apartadó (INGEOMINAS, 1995).

Fuente: Universidad de Antioquia & CORPOURABA 2014

Tabla 1.4. Pliegues presentados en la zona de estudio

Estructura	Descripción
Anticlinal de Chigorodó.	Esta estructura se encuentra en la parte sur del área; al oriente de Carepa y Chigorodó. Es aparentemente simétrica, presenta una dirección N25°W en la parte más sur del pliegue y N10°E en la parte norte. El buzamiento promedio del flanco occidental es de 40°, mientras que el oriental es de 35°. El flanco occidental se halla cubierto por los sedimentos cuaternarios, donde tiende a suavizarse. El núcleo de la estructura está conformado por los estratos de la Formación Arenas Monas, alcanzando una longitud superior a los 40 km. Hacia el norte, se encuentra afectado por las falla del frente del piedemonte de la serranía de Abibe. Al norte del área se desarrolla un anticlinal denominado San José, que involucra rocas de la Formación Pavo, pero este pliegue bien podría corresponder a la prolongación norte del Anticlinal de Chigorodó.
Anticlinal El Caimán.	Se encuentra hacia el norte del municipio de Turbo, presenta una dirección N-S. Es un anticlinal tumbado al oeste, simétrico, con buzamiento en sus flancos de 70° a 80°. Se ha desarrollado sobre rocas de la Formación Pavo. Tiene una longitud de más de 12 km y un ancho de 5 km. Se encuentra afectado en el norte por pequeñas fallas de dirección NE y SE; hacia el sur lo trunca la Falla de Apartadó de acuerdo con INGEOMINAS, (1995).
Sinclinal de Chigorodó.	Estructura orientada paralelamente al anticlinal del mismo nombre y desarrollada al oriente de este. Presenta una longitud mayor de 30 km; su núcleo se halla conformado por los estratos de la Formación Corpa y está parcialmente cubierto por sedimentos cuaternarios. El flanco oriental de esta estructura se encuentra

	afectado por las falla del frente del piedemonte de la Serranía de Abibe. Al norte se ha desarrollado el sinclinal de San José, que involucra rocas de la Formación Pavo, que podría corresponder al Sinclinal de Chigorodó en su extremo norte (INGEOMINAS, 1995).
Sinclinal El Caimán.	Se encuentra hacia el oriente del Anticlinal El Caimán. Tiene dirección N20°W a N-S en la parte norte es asimétrico con buzamientos en el flanco occidental de 40° a 70° y en el flanco oriental de 50° a 80°. Se ha desarrollado sobre los estratos de la Formación Pavo. Esta estructura está cortada por la Falla El Dos hacia el sur (INGEOMINAS, 1995).
Sinclinal de Tulipa	Definido por GEOTEC (2003), se ubica en la zona conocida como Serranía de Abibe – Las Palomas. Está conformado en su núcleo por rocas de la Formación Pavo, posee una extensión total de 29 km, teniendo su máxima expresión en el área SE de la plancha 69 Necoclí. Este sinclinal posee rumbo NS en el sector de Santa Bárbara, que varía a N30°E por el sector de la vereda Tulipa, de donde toma su nombre.

Fuente: Universidad de Antioquia & CORPOURABA 2014

1.7 Modelo Hidrogeológico Conceptual

Un modelo hidrogeológico conceptual es una representación del sistema, es decir, de sus componentes y de las interacciones entre ellos. Las unidades hidrogeológicas reconocidas en un área de estudio son los componentes, y los flujos a través de ellas y entre ellas son los procesos. Un sistema de aguas subterráneas, es un sistema abierto que intercambia materia y energía con su entorno. Para conocer la distribución y las propiedades de las unidades hidrogeológicas, se hace exploración hidrogeológica, entendida esta como “el conjunto de operaciones o trabajos que permiten la localización de acuíferos o embalses subterráneos, de los que se puede obtener agua en cantidad y calidad adecuada para el fin que se pretende” (Universidad de Antioquia & CORPOURABA, 2014).

El diagrama de la Figura 1.4 sintetiza el conjunto de procedimientos que hacen parte de la exploración hidrogeológica, el resultado de esta es un modelo hidrogeológico conceptual, el cual representa un conjunto formado por cinco elementos principales: i) las unidades hidrogeológicas y su geometría, ii) las áreas, fuentes y magnitud de la recarga, iii) la red de flujo, iv) las propiedades hidráulicas, y v) las características de calidad del recurso hídrico subterráneo (Universidad de Antioquia & CORPOURABA, 2014).

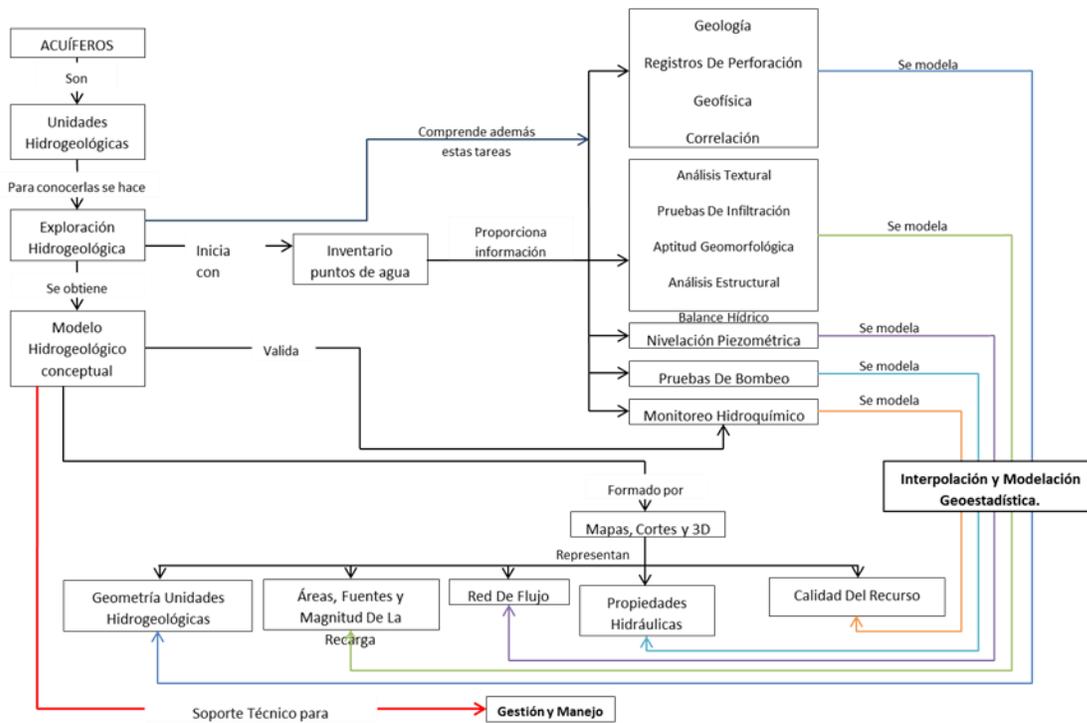


Figura 1.4. Esquema metodológico para la obtención de un modelo hidrogeológico conceptual.

Fuente: Universidad de Antioquia & CORPOURABA 2014

La conformación de un modelo conceptual de un acuífero, es un insumo necesario para la determinación de la calidad, la regulación del uso del recurso hídrico y la estimación de su dinámica; el entendimiento de los principales aspectos, permite identificar relaciones entre los componentes y predecir comportamientos bajo varios escenarios, lo que a su vez proporciona herramientas para la gestión de los recursos naturales, la evaluación de la oferta y de la demanda de agua. El sistema hidrogeológico de la zona de estudio corresponde a un acuífero multicapa; este tipo de sistema está constituido por una serie alternada de capas permeables, semi - permeables e impermeables; a esta clasificación se llegó siguiendo criterios litológicos y superponiendo varios cortes hidroestratigráficos interpretados por profesionales de la hidrogeología (Figura 1.5) y logrando la mejor reproducción de dicha interpretación mediante el proceso de modelación con RockWorks® (Figura 1.6). Luego se obtuvo la maqueta tridimensional del sistema (Figura 1.7).

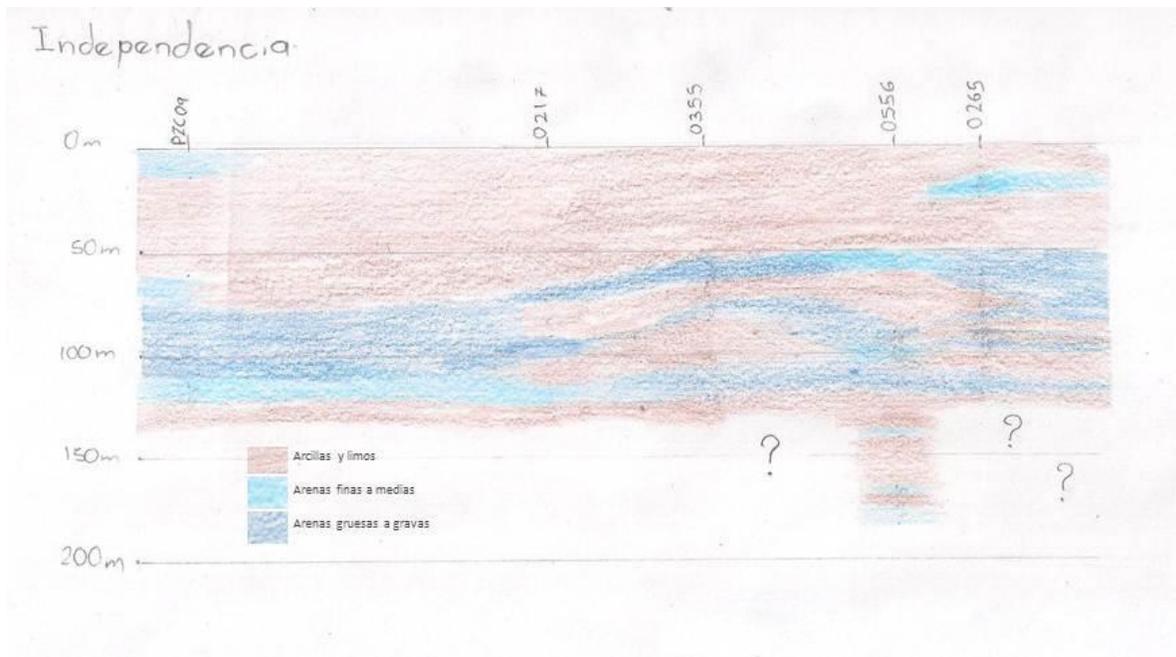


Figura 1.5. Corte independencia, correlación manual
 Fuente: Universidad de Antioquia & CORPOURABA 2014

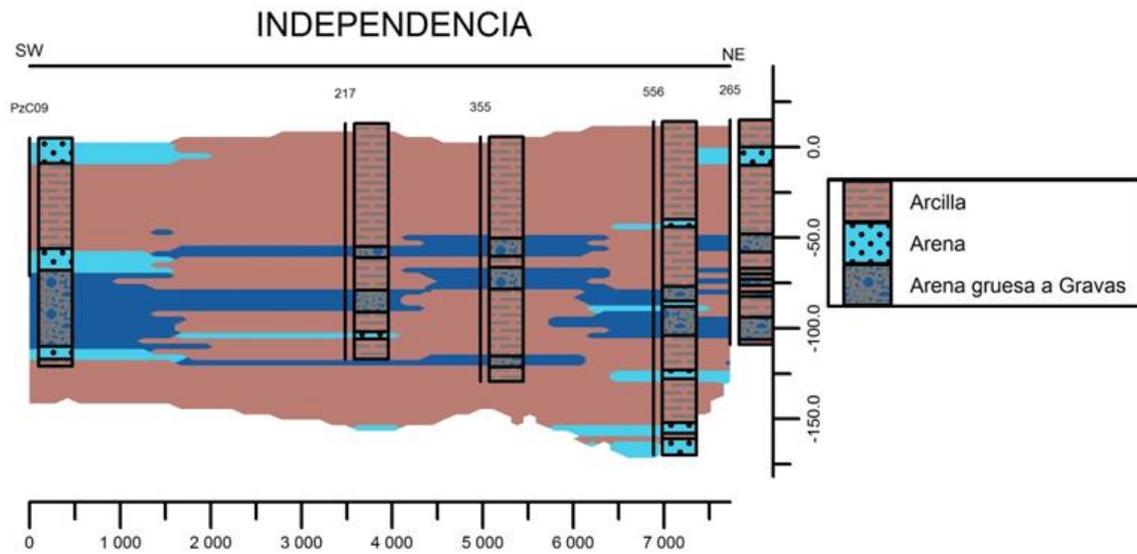


Figura 1.6. Corte independencia, modelado con RockWorks®.
 Fuente: Universidad de Antioquia & CORPOURABA 2014

La representación en planta de la naturaleza en superficie del sistema acuífero muestra la existencia de zonas arcillosas que cubren el 62% del total del área, mientras que las arenas finas a medias comprenden 29% y las arenas gruesas y gravas el 9% de la zona de estudio.

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 superficies que alcanzan 15 km² aproximadamente, cercanas al corregimiento y al río Currulao; además, hacia la parte centro de la zona de estudio 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 hacia el sur del área de interés en cercanías al municipio de Chigorodó con una extensión de 90 km² aproximadamente (Figura 1.7).

Con respecto a la profundidad del basamento, obtenida mediante el proceso de modelación, se encontró que los valores más bajos se encuentran hacia la Serranía de Abibe, los sectores que registran 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 sentido NW - SE, la cual tiene los mayores valores en cercanías al río Carepa.

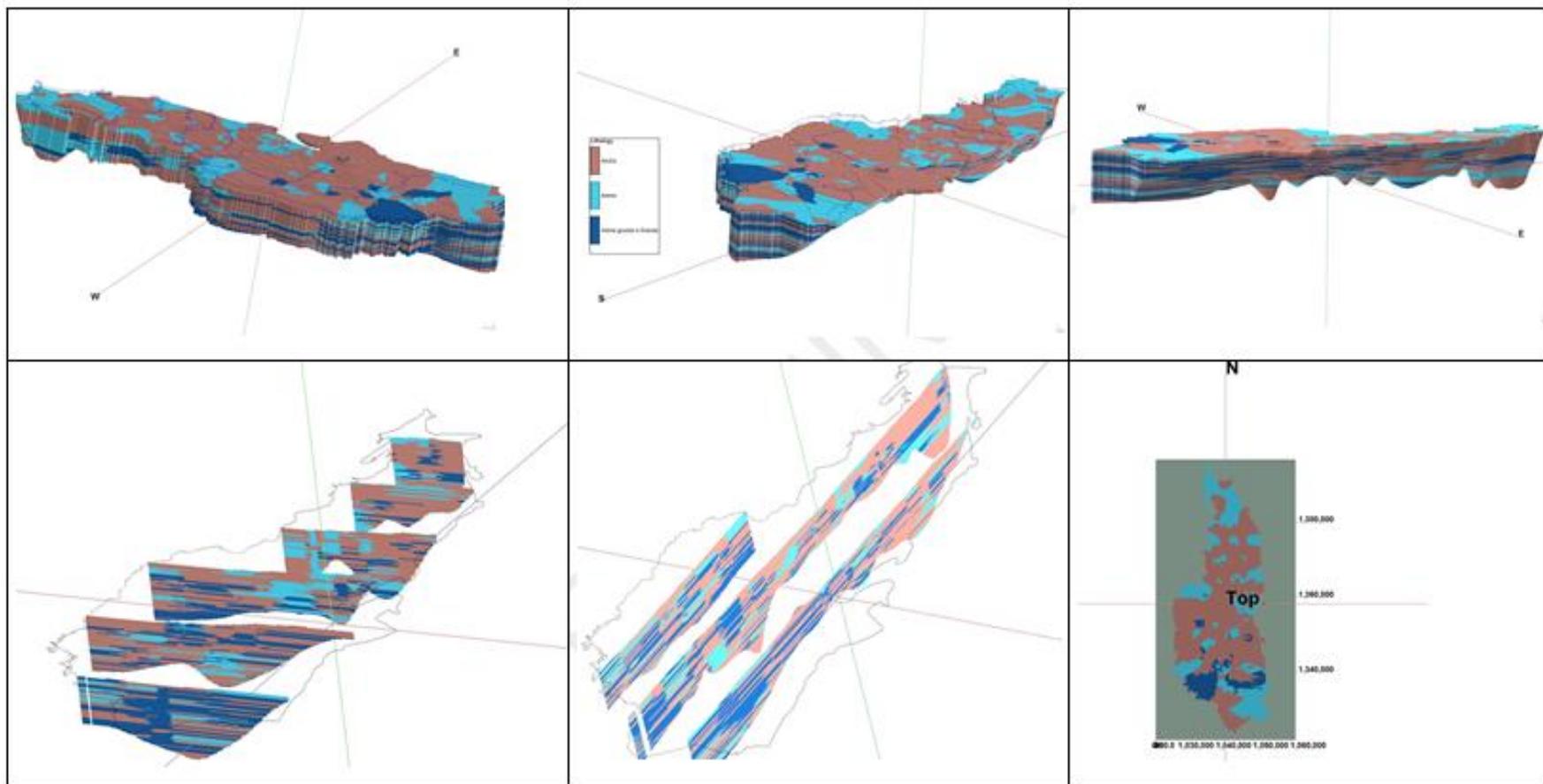


Figura 1.7. Vistas del modelo geométrico, modelado en RockWorks®.

Fuente: Universidad de Antioquia & CORPOURABA 2014

2 MARCO CONCEPTUAL

El estudio del agua subterránea puede mirarse desde diferentes enfoques, el primero relacionado con temáticas como: la hidrogeoquímica, la hidráulica, la interacción con los flujos y la permeabilidad; estos buscan comprender el comportamiento que tiene el agua a través del subsuelo y como son sus características de flujo, con el fin de generar modelos conceptuales del acuífero que permitan tener una mejor comprensión del sistema (INGEOMINAS, 1995; Betancur, 1996 y Sophocleous, 2002), el otro enfoque está relacionado con aquellos organismos que requieren de este recurso para desarrollar sus actividades básicas, los cuales interactúan con el medio para llevarlas a cabo; se habla entonces de la flora y la fauna (Danielopol et al., 2000; Hancock et al., 2005 y Datry et al., 2005). Sin embargo estos dos enfoques deben mirarse y estudiarse al unísono ya que las interacciones que se presentan no son ajenas las unas de las otras, por lo que sus estudios deben hacerse de una manera interdisciplinaria, donde ambos se conjuguen y se logre un entendimiento que recoja todas las perspectivas y puntos de vistas desde varias ramas del conocimiento a fin de entender a fondo estos sistemas (Steube et al., 2008 y Bertrand et al., 2012).

En este capítulo se presenta el marco conceptual relacionado con los temas centrales a los que hace referencia esta investigación: las aguas subterráneas, la ecología de las mismas, su relación con los organismos que allí la habitan, conocidos como la estigofauna, y la presencia de estos como indicadores de la calidad del agua subterránea.

2.1 Aguas subterráneas

El agua subterránea hace parte del ciclo hidrológico global, ésta tiene su origen en la lluvia en donde una parte se infiltra a través de la superficie, desde ríos y lagos, atravesando el subsuelo y fluyendo de manera lenta por grietas y poros a través de las unidades rocas - sedimentos y retornando a la superficie a través de áreas de rezume, manantiales o de manera artificial en captaciones como: pozos, aljibes y galerías (Danielopol et al., 2003 y López-Geta et al., 2001).

El agua subterránea puede almacenarse en lugares donde por sus condiciones geológicas ya sean porosas como arenas y gravas, o fracturadas como calizas, areniscas y lavas; permiten que el agua quede contenida en sus intersticios; a estos lugares que por sus características brindan la posibilidad de contener o ceder agua en cantidades significativas, se les denominan acuíferos (IDEAM, 2013a). Estos son formaciones geológicas (depósitos o porción de roca de la corteza terrestre) que poseen poros conectados, almacenando y permitiendo el flujo de agua a través de ellos; haciendo posible su extracción para utilidad del hombre mediante obras de captación (Universidad de Antioquia & AMVA, 2015). Por la forma en la que el agua subterránea llega y circula en los acuíferos puede transcurrir un largo tiempo de residencia en el ámbito del subsuelo (IDEAM, 2013a), tiempo que puede variar entre decímetros a algunas centenas de metros al cabo del año (López-Geta et al., 2001).

Los acuíferos que contienen las aguas subterráneas pueden clasificarse en función de la presión hidrostática del agua contenida; según estas características se reconocen tres categorías: acuíferos libres no confinados o freáticos, confinados y semiconfinados o semicautivos (Figura 2.1). En función del tipo de materiales que lo constituyen se tienen: depósitos no consolidados de materiales sueltos, rocas sedimentarias consolidadas, rocas ígneas y metamórficas y rocas volcánicas (López-Geta et al., 2001).

El movimiento del agua subterránea en las formaciones geológicas se basa en dos leyes, la primera conocida como la Ley de Darcy y la segunda como la Ley de Conservación de la Masa, en ambas ecuaciones se deben tener en cuenta tres magnitudes: i) la permeabilidad, denominada también conductividad hidráulica, esta es la medida de la facilidad con que el acuífero transmite el agua, ii) la porosidad, que determina la capacidad de almacenar agua de un acuífero, esta magnitud se define como el cociente entre el volumen de los huecos (ocupada por aire o por agua) y el volumen total de la roca, iii) el coeficiente de almacenamiento, que se define como el volumen de agua por unidad de área liberado durante un descenso unitario del nivel piezométrico (López-Geta et al., 2001).

En la Figura 2.2 se observa la representación de un acuífero multicapa que conjuga varios elementos de los mencionados anteriormente.

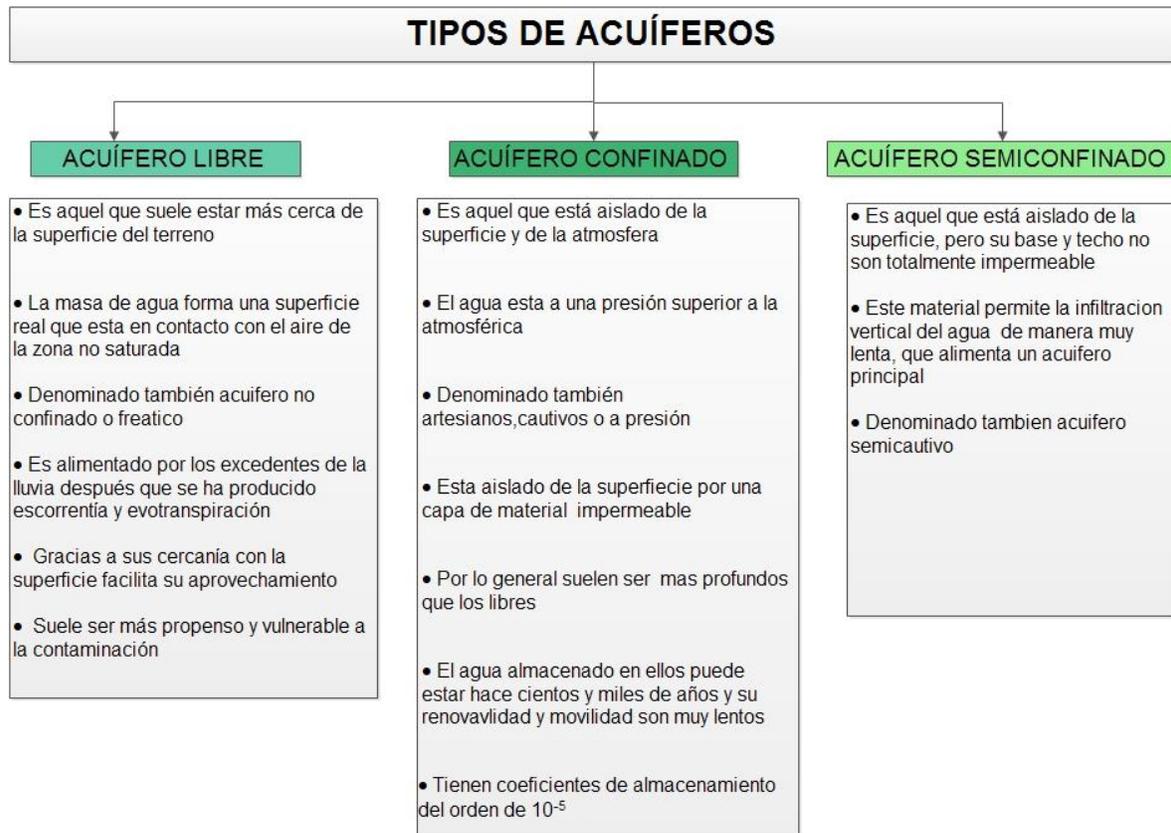


Figura 2.1. Características de los acuíferos

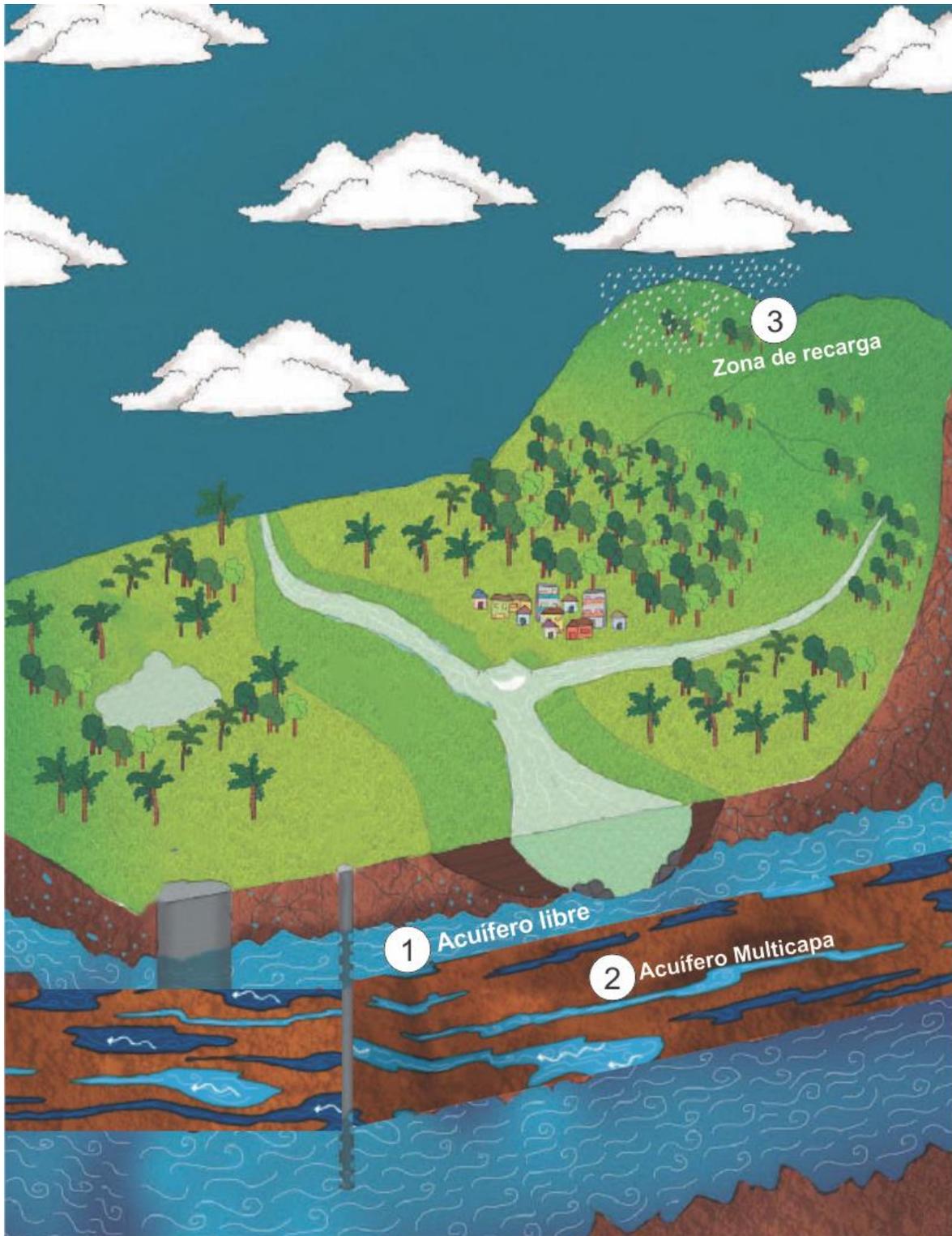


Figura 2.2. Representación gráfica de un sistema acuífero multicapa

Fuente: Tomado y modificado de Universidad de Antioquia & CORPOURABA, 2016a

Como se observa en la Figura 2.2, el agua subterránea es un recurso que no se encuentra aislado del medio exterior, sino que por el contrario posee una estrecha relación con los ecosistemas terrestres y los ecosistemas de aguas superficiales, donde la interacción con este último se comporta como un solo conjunto (Sophocleous, 2002), ya que son estos quienes le suministran el agua que conforma los denominados acuíferos (Bright et al., 1998).

El agua que queda albergada allí, tiene el carácter de ecosistema, por lo que entra a ser parte fundamental del medio natural, ya que es el soporte para el desarrollo de diferentes comunidades ecológicas que dependen de este recurso para su supervivencia (Hancock & Boulton, 2009), además de ser usada como un medio de abastecimiento para consumo humano.

Por los procesos de escorrentía, flujos regionales o infiltración, el agua que llega a los acuíferos posee una alta carga de nutrientes y minerales los cuales favorecen diversos ecosistemas dependientes de este recurso, conocidos como “ecosistemas dependientes del agua subterránea” (Castellarini et al., 2007) y que hoy en día se les otorga un carácter de alto valor ecológico y económico. Puesto que no solo el agua brinda sustento a los ecosistemas dependientes, sino que también juega un papel esencial en los seres humanos mediante el suministro de bienes y servicios (Danielopol et al., 2003). Este recurso se ve amenazado por factores antrópicos y ambientales, que afectan no solo la calidad sino la cantidad, en especial aquellos que tienen una cercanía a la superficie, pues a pesar de sus características que permiten que el agua subterránea sea de fácil acceso para su consumo, se convierte en un recurso más vulnerable y propenso a la contaminación y al agotamiento.

2.2 Ecología de las aguas subterráneas

La ecología de las aguas subterráneas tiene sus inicios en los años noventa, debido a que antes a estos sistemas se les consideraba inactivos, comparados con los sistemas superficiales, pues presentaban carencias de condiciones para la vida como: la falta de luz, la baja carga de materia orgánica, la baja productividad y la falta de organismos autótrofos, pero esta concepción cambió cuando se presentaron los primeros estudios que revelaron el hallazgo de especies propias de los sistemas subterráneos, los cuales poseían una alta variabilidad biológica, encontrándose que estos cambiaban en espacio, tiempo y que además dependían de este recurso para su supervivencia (Malard et al., 1996; Danielopol et al., 2000; Scarsbrook et al., 2000; Bruno et al., 2001; Dumas et al., 2001; Hahn & Matzke, 2005 y Ferreira et al., 2007). Desde entonces la ecología de las aguas subterráneas se ha destacado dentro de la comunidad científica, especialmente lo relacionado con los organismos que allí habitan, donde los estudios se han centrado en identificar aquellos factores evolutivos de las especies, pasando por la interacción de estos con diferentes zonas y finalmente con la descripción de los organismos a escala molecular, lo que representa una nueva línea de estudios y hallazgos en estos sistemas (Hahn, 2005).

Considerando que el conocimiento que se tiene sobre los sistemas biológicos de las aguas subterráneas es relativamente reciente, existen investigaciones que se están enfocando en el papel que estos juegan para las aguas subterráneas y viceversa, puesto que ésta está en constante interacción con las aguas superficiales y con varios ecosistemas terrestres (Humphreys, 2008; Boulton et al., 2008; Hahn, 2008; Galassi et al., 2009 y Hancock & Boulton, 2009).

Para que se dé un buen funcionamiento de los ecosistemas de aguas subterráneas, se consideran tres componentes principales, el primero relacionado con la hidrogeología, la evolución de las aguas subterráneas y la trayectoria de su flujo, el segundo hace referencia

a la importancia de la biodiversidad y el tercero a los servicios potenciales que pueden brindar los ecosistemas, estos tres componentes pueden verse afectados de manera individual (Coletti et al., 2010), además de ser estudiados por diferentes ramas científicas, las cuales hoy están mirando con otros ojos las nuevas relaciones que se presentan, además de implantar nuevas técnicas que permitan el trabajo interdisciplinar entre los hidrogeólogos y ecólogos de agua subterránea, puesto que se ha demostrado ser un campo para la colaboración con grandes beneficios (Boulton et al., 2008 y Griebler et al., 2010).

El estudio conjunto genera nuevos enfoques donde se pueden analizar las condiciones hidrológicas de los acuíferos, desde la hidrogeoquímica y la biología puesto que la primera refleja el origen del agua, mientras que la segunda trabaja con la fauna subterránea que refleja las condiciones del medio, lo que se ve en la variación de la estructura de su comunidad y la taxonomía de su riqueza (Bork et al., 2009). Estas variaciones se presentan debido a la alta dependencia que tienen estos organismos al sistema de aguas subterráneas (Stein et al., 2010 y Bertrand et al., 2012); las diferentes asociaciones biológicas que se presentan en estos sistemas también brindan información sobre algunos factores hidrológicos, geomorfológicos y fisicoquímicos particulares, por lo que estos grupos de organismos pueden brindar un conocimiento acerca de cambios ambientales y estacionales (Bruno et al., 2001).

Para que los bienes y servicios mencionados anteriormente puedan mantenerse de manera sostenible, para que puedan seguir otorgando los beneficios a las sociedades, es necesario que se generen medidas de protección integrales puesto que hoy en día no existen. Un caso en particular es la Sociedad Alemana Federal de Medio Ambiente (UBA), que junto a las autoridades ambientales y a un grupo de científicos, desarrollaran un concepto de un esquema para la evaluación ecológica de los ecosistemas de aguas subterráneas que involucran desde la selección de parámetros biológicos, la tipología de los ecosistemas de aguas subterráneas, hasta criterios de evaluación, con el fin de que todos estos factores proporcionen información valiosa, que se pueda implementar en programas de protección de los ecosistemas de aguas subterráneas (Griebler et al., 2010). Otros estudios realizados en Australia se han centrado en la evolución del estado ecológico en cuanto a la salud de los ecosistemas a partir de parámetros bióticos y abióticos (Korbel & Hose, 2010).

El conocimiento adquirido gracias a los avances en la ecología de aguas subterráneas impulsó a la comunidad científica a entrar en una nueva era de la investigación, donde se dieron los primeros pasos para la comprensión de los mecanismos de adaptación de ciertos organismos que habitan este medio (Moritz, 2002).

2.3 Estigofauna

Aquellos organismos que habitan el agua subterránea, en su mayoría invertebrados acuáticos que pueden colonizar los espacios que quedan entre los granos de arena de los sedimentos de la capas freáticas de ríos, acuíferos, cuevas y aquellas transiciones entre aguas subterráneas y superficiales (Camacho & Valdecasas, 2006).

Distintas agrupaciones de microorganismos y organismos viven en el subsuelo y pertenecen al dominio acuático, entre ellas bacterias, hongos, protozoos, zooplancton y vertebrados (Danielopol et al., 2003). A la fauna que vive en este tipo de lugares, se le conoce con el nombre de troglifauna y estigofauna, los primeros son aquellos organismos vertebrados como peces y salamandras ciegas que habitan principalmente en cuevas; los segundos son organismos invertebrados más pequeños, que comprenden fundamentalmente muchos tipos de crustáceos, pero también pueden hallarse otras variedades de especies como lo son gusanos, caracoles e insectos (Humphreys, 2006).

Dentro de los acuíferos las condiciones de vida pueden tornarse difíciles debido a las bajas concentraciones de carbono, oxígeno disuelto, el poco espacio para el movimiento y un factor que es esencial en los organismos, la luz, y que en estos hábitats se presenta una ausencia completa de la misma (Ferreira et al., 2007). Bajo estas condiciones se tornaría casi imposible la supervivencia de muchas especies, pero gracias a adaptaciones especializadas, evolutivas y morfológicas que adquirieron estos organismos, ya sea como el desarrollo de cuerpos más delgados, carencia de ojos, ausencia de pigmentos y el aumento en el desarrollo sensorial de otros órganos como las antenas, les permitieron a estos permanecer en diversos tipos de acuíferos como rocas fracturadas, calcáreas, sedimentarias entre otras (Scarsbrook et al., 2000; Dumas, 2002; Hancock et al., 2005; Gibert et al., 2009 y Menció, 2015). Estas adaptaciones se convierten en una de las principales diferencias que distinguen a los organismos que habitan los ecosistemas subterráneos de los superficiales (Humphreys, 2008). Todos estos factores dan como resultado unos tipos de hábitats con gran diversidad de organismos únicos y poco explorados (Scarsbrook & Fenwick, 2016).

Al percibirse los sistemas de aguas subterráneas como ambientes extremos en donde solo pueden vivir aquellos organismos con adaptaciones especiales, se llega a la idea que factores como la biodiversidad tienen un alto valor científico y que se requiere de un estudio global de estos organismos (Danielopol et al., 2000).

Se debe tener en cuenta que además de la diversidad de organismos que existe en los ambientes subterráneos, el tipo de acuífero juega un papel importante, ya que se ha detectado que esta varía en relación con el tipo de acuífero en el que sea muestreada (Danielopol et al., 2003). Aparentemente existe mayor diversidad en acuíferos de tipo kársticos, seguido por los aluviales y finalmente por los de roca fracturada, sin embargo este no es el único factor que puede variar la distribución, los procesos hidrológicos, geológicos y biogeoquímicos juegan un papel importante y son quienes estructuran en gran medida las comunidades presentes (Hancock et al., 2005), además de otros factores como el clima, la vegetación, la calidad del agua, los vínculos con la zona hiporreica, y las actividades humanas (Korbel et al., 2013a).

A las comunidades que se encuentran en las aguas subterráneas, las componen diferentes especies con unas etapas particulares de adaptación al medio acuático subterráneo y que reciben un nombre específico según el hábitat en el cual desarrollen su ciclo de vida, además de características de conducta físicas y morfológicas, las cuales están compuestas por tres categorías, a saber: estigógenos, estigófilos y estigobióntes (Malard et al., 2002; Hahn & Matzke, 2005 y Menció, 2015).

- **Estigógenos:** son aquellos organismos que no presentan una afinidad con el sistema de aguas subterráneas pero que llegan a este por accidente a causa de escorrentías superficiales.
- **Estigófilos:** los cuales están divididos en tres categorías:
- Hipóreos: organismos asociados con la zona hiporreica como larvas de insectos bentónicos que ocasionalmente usan el agua subterránea en sus primeros estadios de fases larvales, aunque también pueden hacerlo en el agua superficial.
- Amfibites: a esta categoría pertenecen un sin número de especies como *Isocapnia*, *Paraperla*, y *Kathroperla* entre otras; los cuales para llevar a cabo completamente sus ciclos de vida deben hacer uso de ambos sistemas, tanto el subterráneo como el superficial.

- Hipórreos permanentes: conformado por grupos como nematodos, ácaros, copépodos y ostrácodos que tiene la capacidad de pasar todo su ciclo de vida en el agua subterránea o superficial.
- **Estigobióntes:** son aquellos organismos especializados que solo pueden completar su ciclo de vida en las aguas subterráneas.

En la Figura 2.3 se observa como es la distribución de las categorías identificadas por la literatura en relación con el agua subterránea.

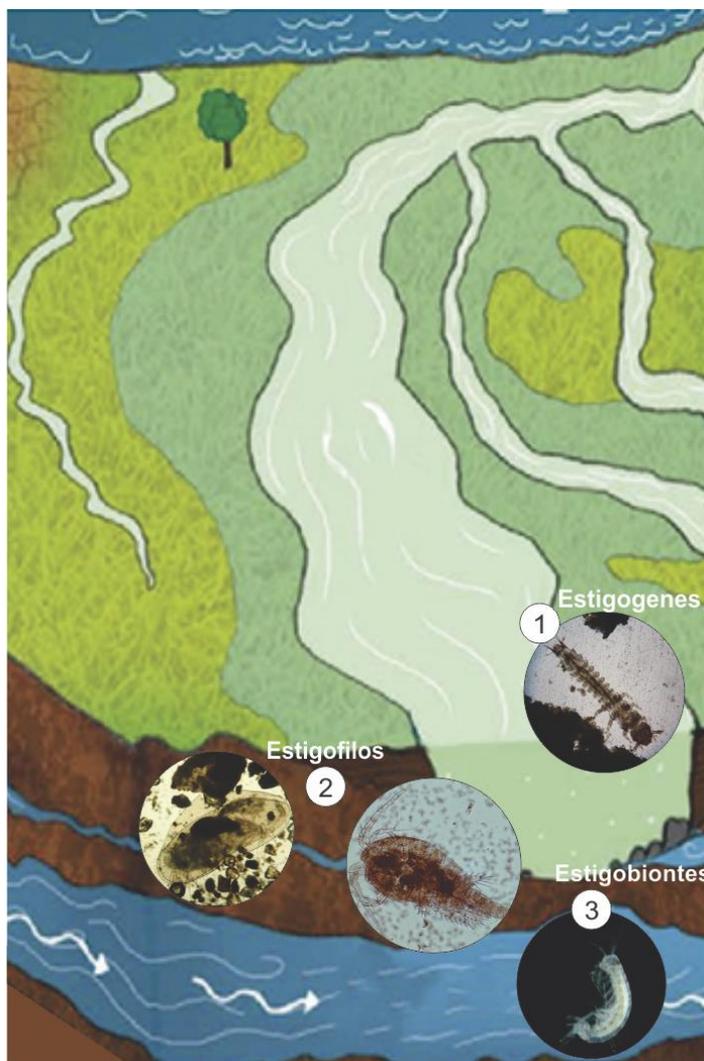


Figura 2.3. Clasificación de la estigofauna

Fuente: Tomado y modificado de Universidad de Antioquia & CORPOURABA, 2016a

Dentro de las características que presenta la biodiversidad en las aguas subterráneas se destacan el gran número de organismos que lograron cruzar la barrera de la oscuridad permanente, la alta proporción de especies endémicas y las redes alimentarias donde se pasa solo a ser heterótrofos por la falta de especies autótrofas (Gibert et al., 2009).

Según estas características los grupos taxonómicos que más abundan dentro de estos sistemas acuáticos subterráneos son seis: Mollusca, Oligochaeta, Poliquetos, Rotifera, Nematoda, Turbellarios y casi tres cuartas partes (73,8%) son Copepoda, seguido de Ostracoda (12,7%) y luego Amphipoda (5,1%), con todos los otros grupos incluidos en el 8,4% restante (Eberhard & Humphreys, 2005), como se observa en la Figura 2.4.

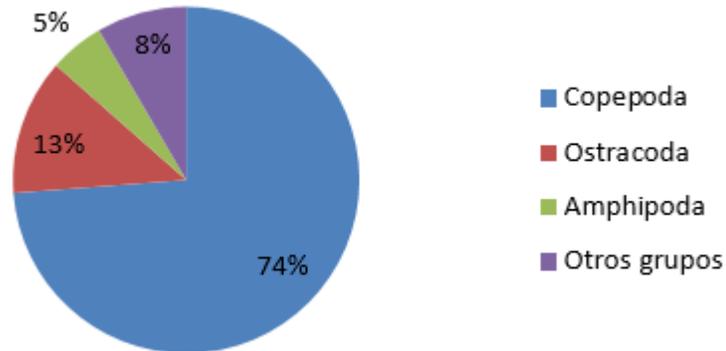


Figura 2.4. Grupos taxonómicos más representativos del agua subterránea

Fuente: Tomado y modificado de Eberhard & Humphreys, 2005

Según Danielopol et al., (2000) la fauna acuática subterránea es considerada única, comparada con la de las aguas superficiales, eso se debe al alto número de crustáceos que la dominan, además difiere de la superficial debido a la falta de insectos en el sistema (Bruno et al., 2001 y Deharveng et al., 2009).

Para conocer, identificar y cuantificar aquellas especies que viven en los ambientes subterráneos es necesaria su captura e identificación, por lo cual en cada una de las investigaciones es válido que se genere la siguiente pregunta por parte de quienes exploran y pretenden conocer más acerca de la biología de estos organismos ¿es posible muestrear la comunidad que representa un acuífero?. Para dar respuesta a esta pregunta se han desarrollado diversas técnicas e implementos tanto químicos como físicos por ejemplo: la congelación pasando por el uso de bombas, trampas y redes, pero el empleo de cada una de ellas depende del tipo de ambiente que se requiera muestrear en las aguas subterráneas. De acuerdo a esto, las investigaciones han encontrado que para la zona hiporreica la cual está relacionada con los espacios intersticiales, la captura se hace a partir de trampas y redes que se disponen en los sedimentos junto con el uso de la bomba Bou-Rouch (Malard et al., 2002; Schmidt et al., 2004; Hancock et al., 2005 y Stourmaras, 2012). En los acuíferos libres se emplean las llamadas redes de plancton modificadas (Malard et al., 2002; Eberhard et al., 2005 y Hahn, 2006), las trampas tipo Hahn (Hahn, 2005) y trampas con cebos (Hahn & Matzke, 2005; Castellarini et al., 2007 y Bork et al., 2008) y finalmente aquellos usados para las zonas más profundas de los acuíferos, donde son empleados métodos de extracción mediante bombas de pistón y eyección (Malard et al., 2002; Griebler & Lueders, 2009 y Gutjahr et al., 2013).

Sin embargo, hasta el momento no existen métodos estandarizados para la captura de estigofauna, donde se evalué el muestreo de la riqueza taxonómica y abundancia con fines ecológicos (Hahn, 2005). Aunque hay acercamientos como el Protocolo para la Evaluación y la Conservación de la Vida acuática en el subsuelo (PASCALIS) donde se da un avance

en cuanto a la manera de capturar, registrar y describir la biodiversidad en estos sitios (Malard et al., 2002).

Ahora bien en cuanto a la relación y evaluación de los parámetros ecológicos, es necesario entender cómo la biota responde a factores ambientales, y así distinguir la variación natural de los cambios inducidos por el hombre (Bergkamp & Cross, 2006 y Korbel et al., 2013b). Los estudios sobre esta temática han tenido un gran avance en los últimos años, puesto que anteriormente se carecía de parámetros para su evaluación, esto ha sido posible gracias al aumento de los estudios de las comunidades que habitan el agua subterránea y a las nuevas herramientas de identificación, ya que los estudios revelan que aquellos organismos presentes en estos ambientes son sensibles a los impactos antrópicos y naturales (Stein et al., 2010 y Maurice et al., 2016); impactos que pueden generar bajas abundancias y escasez de especies así como desaparición de las mismas en los diferentes sistemas de aguas subterráneas (Malard et al., 1996), entre ellos se mencionan la extracción intensiva de agua subterránea, altas cargas de materia orgánica, contaminaciones por agentes químicos, intrusión salina, cambios hidrológicos, cambios en el flujo de agua, que genera pérdida de oxigenación e ingreso excesivo de nutrientes, todos estos factores mencionados pueden alterar las condiciones fisicoquímicas del agua y por ende generar variaciones en cuanto a la espacialidad, riqueza y diversidad de estos organismos (Dumas, 2001).

La estigofauna se convierte en un actor clave y determinante en la protección de los ecosistemas de aguas subterráneas; el uso de estos organismos como indicadores biológicos permitirá conocer si se están presentando cambios en la estructura de los acuíferos (Menció et al., 2014), lo cual se convertirá en la primera alerta temprana para entrar a evaluar las condiciones y tomar medidas ambientales y gubernamentales con miras a proteger estos sitios que son de tanta importancia para la humanidad. Asimismo el desarrollo e implementación de medidas de protección es crítico debido a la gran riqueza de organismos que prevalecen en estos hábitats constituyendo una reserva de la biodiversidad que debe ser protegida y preservada.

2.4 La estigofauna como un indicador de la calidad en las aguas subterráneas

Es complejo entender el concepto de calidad y evaluación del agua, ya que abarca diferentes dinámicas y temas que generan discusiones en cuanto a la aplicación de diversas metodologías. Mencionando lo anterior es importante que se defina y se adopte un concepto de calidad, teniendo en cuenta la existencia de otras metodologías (IDEAM, 2013a).

Según la Evaluación Regional del Agua (ERA) se entiende la calidad de manera conceptual como la capacidad intrínseca que tiene el agua para responder a los usos que se podrían obtener de ella (IDEAM 2013a); pero si se mira desde una perspectiva ambiental se entiende como aquellas condiciones que deben darse en el agua para que esta mantenga un ecosistema equilibrado y para que cumpla unos determinados objetivos de “calidad ecológica” (IDEAM, 2013b). Sin embargo la calidad del agua no solo se ve alterada por factores ambientales, sino también por factores antrópicos y biológicos que no pueden dejarse de lado.

Con el fin de caracterizar la calidad del agua, se usan técnicas fisicoquímicas que se basan en la evaluación de parámetros como por ejemplo la temperatura, la turbiedad, el color, la conductividad eléctrica, el pH, la dureza total, la alcalinidad, iones mayoritarios, minoritarios y trazas (Decreto 2115, 2007), es decir, normalmente cuando se habla sobre los parámetros en relación a la calidad del agua solo se asocian a conceptos abióticos (fisicoquímicos) y lo que se denomina como parámetros biológicos está relacionado solo con algunas pruebas

bacteriológicas como ausencia y presencia de coliformes con el fin de detectar organismos patógenos. Sin embargo la calidad del agua va más allá de aspectos abióticos. Para el agua subterránea los parámetros de calidad son los mismos que aquellos considerados para el agua superficial, puesto que no existe una normatividad específica para la caracterización de consumo de la misma.

Un caso en particular de la evaluación de la calidad, está relacionado con los criterios ecológicos, temática de la cual existe un sin número de estudios para el componente superficial como son: las condiciones que describen el estilo de vida y que por las actividades humanas pueden generar cambios en ellas, el desplazamiento del hábitat y las posibles interacciones con variables ambientales (Roldán, 1999; Aguirre et al., 2004; Alonso & Camargo, 2005; Figueroa et al., 2007 y Gutkowska et al., 2012). Estos mismos parámetros también pueden ser medidos en el agua subterránea, ya que algunos estudios han revelado la sensibilidad hacia impactos antropogénicos y ambientales que tienen estos organismos que habitan este medio subterráneo (Bright et al., 1998 y Mösslacher, 2000), pero que por su reciente conocimiento en la investigación, se sabe poco acerca de los requerimientos ecológicos que necesita la estigofauna (Di Lorenzo et al., 2005 y Malard et al., 2009).

Por esto se hace necesario evaluar de una manera conjunta parámetros bióticos y fisicoquímicos con el fin de llegar a identificar el estado de estos sistemas a través del tiempo, de tal manera que se logre dar una alerta temprana del deterioro de los mismos.

Es difícil determinar el grado de contaminación de las aguas subterráneas, considerando que los contaminantes que allí ingresen pueden variar de manera espacial o temporal y de manera muy extensa por todo el sistema. La estigofauna se considera un indicador útil para su evaluación pues son una particularidad en este medio y proporcionan una manera de conocer los efectos de la contaminación en los acuíferos ya que desarrollan todo o gran parte de su ciclo de vida en estos medios (Malard et al., 2009; Humphreys, 2008; Steube et al., 2009; y Stein et al., 2010). Con estas consideraciones mencionadas el uso del suelo juega un papel importante, debido a que la contaminación que se genera por diferentes factores agrícolas e industriales afecta la calidad y pone en peligro la integridad de los ecosistemas asociados a ella; principalmente aquellos acuíferos más superficiales, los cuales presentan un vínculo más estrecho con la superficie. Algunos estudios comparan la calidad de las aguas subterráneas asociando la diversidad biológica presente en sitios con diversos usos de la tierra, considerando que estos se comportan como alertas biológicas (Korbel et al., 2013b).

Con los hallazgos actuales se discuten cuáles pueden ser aquellos impactos en los ecosistemas que influyen en la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y terrestres. Los cambios en el agua subterránea en relación con la biodiversidad pueden brindar un conocimiento sobre las amenazas que se estén presentando en el (Kløve et al., 2013), para ello se usan organismos centinelas como indicadores biológicos y ecológicos para estimar las alteraciones de las aguas subterráneas como un enfoque paralelo al enfoque clásico de la medición de parámetros fisicoquímicos (Marmonier et al., 2013). Por esto se seleccionan tanto variables ambientales como fisicoquímicas, las cuales permitan comprender e identificar los factores ambientales que determinan la composición de los organismos, para definir cuáles son sus preferencias ecológicas, caracterizar y comprender como las afectaciones generan variaciones en las comunidades y de esta manera evaluar su vulnerabilidad ante estos aspectos que pueden convertirse en un factor de riesgo para la desaparición de las especies y así finalmente poder generar medidas de manejo (Di Lorenzo et al., 2005; Castellarini et al., 2007 y Dole-Oliver et al., 2009).

Se estudia entonces las relaciones entre la hidrogeología y la hidrodinámica respecto a la distribución de los organismos que habitan este medio; sin embargo existen variables fisicoquímicas que también afectan esta distribución (Dumas et al., 2001) como lo son los aportes bajos de materia orgánica que generan una disminución de la biodiversidad, esto se refleja también en el aumento de la profundidad del acuífero a causa de la disminución de entrada de materia orgánica al mismo (Datry et al., 2005), el estudio de los nitritos como la relación de la ecología de las aguas subterráneas con la contaminación antropogénica (Griebler et al., 2010; Stein et al., 2010; y Moustaine et al., 2014), la variación del gradiente de salinidad con relación a la intrusión salina (Shapouri et al., 2015) y relaciones con la conductividad eléctrica, que tiene fuertes implicaciones para el oxígeno disuelto en el agua subterránea (Tione et al., 2011) además de otros factores como la conectividad hidráulica dentro de los acuíferos, y entre estos y las aguas superficiales.

3 METODOLOGÍA

El derrotero metodológico empleado para el cumplimiento de los objetivos propuestos para esta investigación comprendió varios aspectos; el primero hace referencia a los protocolos relacionados con la colecta y preservación de las muestras, tanto de las biológicas como de las fisicoquímicas; el segundo se enmarca en los análisis que se llevaron a cabo en el laboratorio para el procesamiento de las muestras; el tercero está relacionado con la creación de la red de muestreo biológica empleada en la investigación; el cuarto contiene las variables fisicoquímicas que se midieron para comprender la relación de estas con la estigofauna; el quinto contiene los periodos hidroclimáticos en los que se llevaron a cabo los muestreos; finalmente el sexto comprende aspectos relacionados con el procesamiento y el análisis de la información recopilada durante los dos periodos de muestreo. En la Figura 3.1 se muestra el esquema metodológico propuesto.

3.1 Colecta de las muestras

Para la obtención de muestras se tuvieron en cuenta dos componentes: los muestreos biológicos y los muestreos fisicoquímicos; estos procedimientos se efectuaron en orden secuencial, puesto que para capturar el mayor número de organismos es conveniente que no se creen perturbaciones en el agua como son las que se generan en el muestreo fisicoquímico.

3.1.1 Muestreo biológico

Para este muestreo existen dos factores esenciales: i) la colecta y ii) la preservación de muestra. El primero se relaciona con la manera de usar las redes para la toma adecuada de las muestras de agua en los aljibes, el segundo factor hace referencia a los protocolos que debieron seguirse para la preservación de las muestras; cumplirlos facilitó la identificación de los organismos en el laboratorio.

- **La Colecta**

Para la toma de muestras se contó con cinco aljibes seleccionados y dos redes, con cada una se realizó una réplica en todos los aljibes, esto se llevó a cabo en dos temporadas de muestreo (lluviosa y seca) y se obtuvo un total de 40 muestras para analizar, cómo se observa en la Figura 3.2. Las redes para toma de muestras fueron diseñadas y probadas en el transcurso de esta investigación, por esta razón su descripción se presenta en el capítulo de resultados.

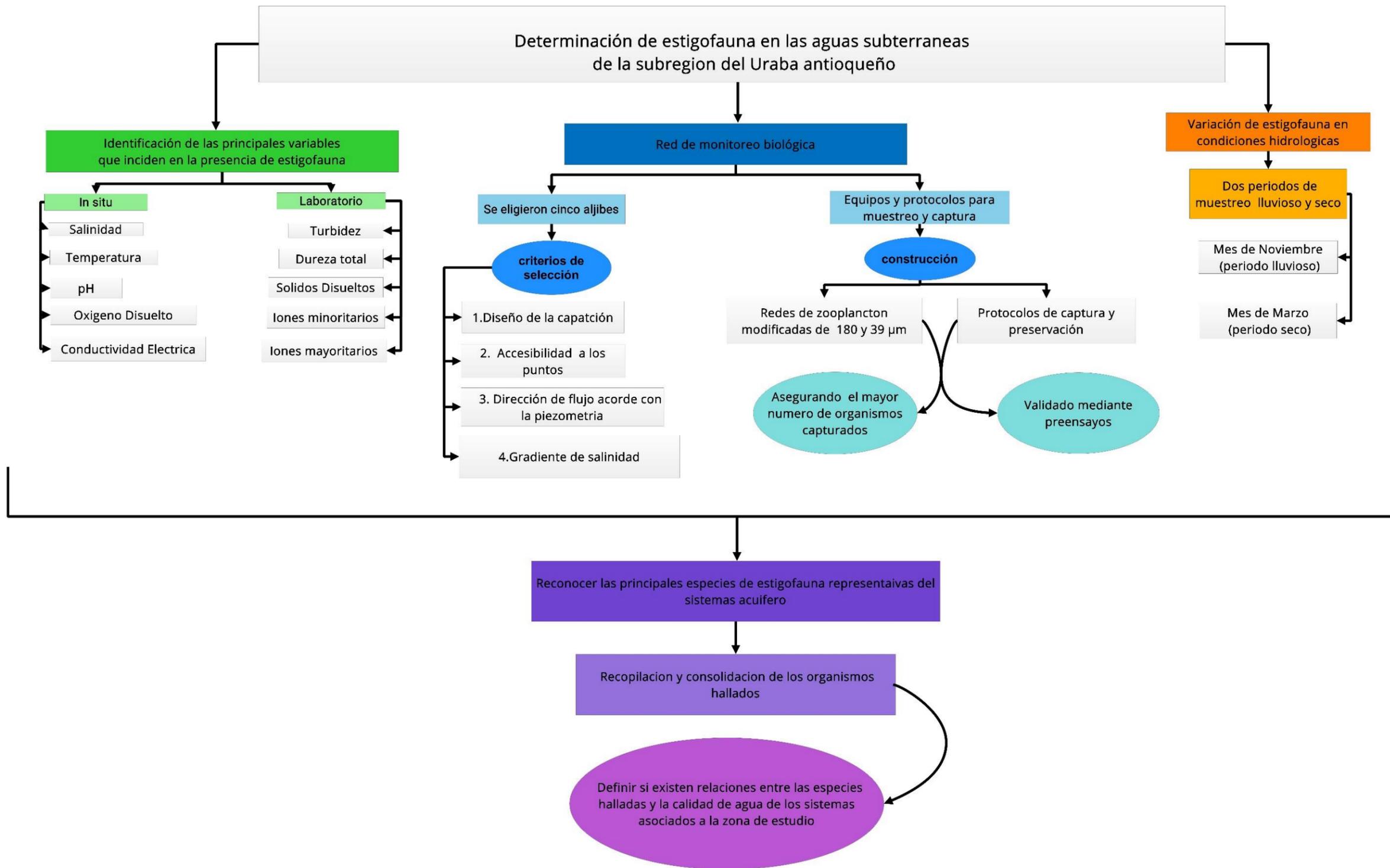


Figura 3.1. Esquema metodológico usado en la investigación

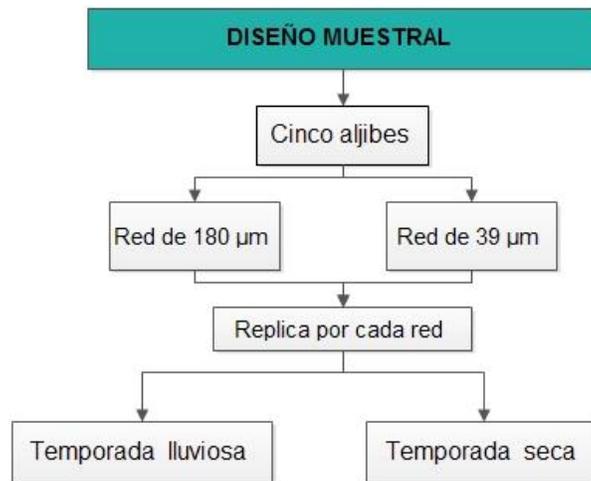


Figura 3.2. Diseño muestral para la colecta con las redes

- **Preservación de las muestras**

Para preservar las muestras se adaptaron protocolos de análisis de zooplancton, estos también hacen parte de los resultados de la investigación. Las etiquetas de colecta (Figura 3.3) de las muestras contenían la siguiente información: fecha del muestreo, el código asignado a cada captación (01 a 05) el tipo de red usada (180 o 39 µm), tipo (primera muestra o réplica) y preservada (el solvente adicionado el cual fue alcohol grado analítico).

MUESTREO DE ESTIGOFAUNA – PROYECTO MAESTRIA		
Fecha:	Red usada:	Tipo:
Código:	Preservada:	

Figura 3.3. Etiquetado de las muestras

3.1.2 Muestreo fisicoquímico.

Para todos los puntos muestreados se realizó georreferenciación utilizando un Sistema de Posicionamiento Global (GPS); así mismo en formatos de campo se realizaron observaciones relacionadas con las características del entorno y las condiciones climáticas. En el anexo 1 se incluye los formatos utilizados para registrar la información en campo, así como un registro fotográfico. La toma de muestras se realizó siguiendo rigurosamente los procedimientos establecidos en los protocolos de monitoreo hidrogeoquímico del IDEAM (2007).

Los parámetros medidos in situ fueron consignados en los formatos de campo (anexo 1); las muestras fueron almacenadas y preservadas según las recomendaciones asignadas por el laboratorio para su posterior análisis (Figura 3.4).



Figura 3.4. Procedimiento del muestreo fisicoquímico

La Figura 3.4 presenta el paso a paso seguido para la toma de muestras fisicoquímicas de agua subterránea, este proceso consta de tres procedimientos: instalación del dispositivo de bombeo, abatimiento de la captación y preservación de las muestras, estos se realizan de manera secuencial para lograr un buen muestreo.

3.2 Análisis en el laboratorio de las muestras biológicas

Es importante tener en cuenta que cuando se habla de organismos se refieren a seres vivos que con el tiempo pueden deteriorarse, por ello es recomendable el análisis lo más pronto posible, a pesar de tener un solvente que retarde su deterioro.

Las muestras se analizaron en el laboratorio mediante dos procedimientos uno cualitativo y otro cuantitativo, estos conteos permiten determinar qué tipo de organismos se tiene y la cantidad de los mismos.

3.2.1 Método cualitativo

Consistió en realizar una identificación de las taxa presentes en la muestra, sin importar su densidad (González, 2014). Previo al inicio de la observación de las muestras estas se dejaron precipitando durante 24 horas, luego con una pipeta pasteur se tomó una gota del sedimento de la muestra, la cual se depositó en un portaobjetos cubierto por un cubre objetos y se observó en un microscopio óptico (BM-180 Boeco), las observaciones se realizaron con una magnificación de 100x y 400x.

Cada organismo tuvo un registro fotográfico, donde se tomaron las medidas de ancho y largo usando el microscopio invertido de fase (BIB-100T Boeco) con una magnificación de 100x y 400x; estas medidas son necesarias para lograr la identificación (Figura 3.5 y Anexo 2).

La primera determinación de los diferentes tipos de organismos detectados en las muestras, se hizo mediante claves taxonómicas en las que a partir de las medidas tomadas y los registros fotográficos, se logró llegar hasta el género de los organismos, para esta investigación en particular, se usaron las claves encontradas en Barnes (1980), Cafferty (1981); Streble & Krauter (1973 y 1987), Roldán (1988) y Paggi (1995).

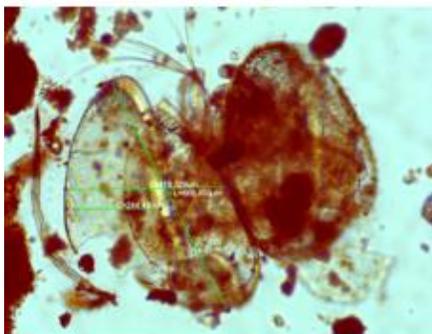


Figura 3.5. Método cualitativo para la medición de organismos

En la Figura 3.5 se presenta la imagen obtenida de uno de los organismos observados en las muestras de agua subterránea con el microscopio invertido (BIB-100T Boeco), en esta puede verse en detalle la morfología del organismo, a partir de estas imágenes fue posible la identificación de cada taxa.

Con la identificación preliminar de taxa, se convocó a un panel de expertos, con el propósito de confirmar, precisar y tener una visión más clara, acerca de la identificación de los organismos. En este ejercicio se contó con la presencia de los profesionales que se listan en la Tabla 3.1, en la Figura 3.6 se incluyen algunas fotografías de la sesión de trabajo y en el Anexo 4 se consigna la información suministrada por los expertos acerca de los organismos hallados.

Tabla 3.1. Expertos convocados al panel

Nombre	Perfil	Institución
Dra. Esnedy Hernández	Doctorado Universidad de Antioquia, Biología	Universidad de Antioquia. Grupo GeoLimna
Dr. Carlos Andrés Lasso	Doctorado Universidad De Sevilla Ciencias Biológicas	Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt
Dr. Jimmy Montoya	Doctorado Universidad de Antioquia, Ingeniería	Universidad de Antioquia. Grupo GeoLimna
Ing. Juan Pablo Serna	Maestría/Magister Universidad de Antioquia, Maestría en Ingeniería Ambiental	Universidad de Antioquia. Grupo GeoLimna
Dr. Néstor Jaime Aguirre	Doctorado Justus Liebig University, Giessen Ciencias Naturales	Universidad de Antioquia. Grupo GeoLimna



Figura 3.6. Panel de Expertos

Se observa en la Figura 3.6 la presentación realizada en el panel de expertos, celebrada en la Universidad de Antioquia, reunión en la cual fue posible lograr una interacción directa con cada experto. Esta experiencia fue de gran utilidad para el cumplimiento de los objetivos específicos de la investigación, además de obtener valiosos aportes por parte de cada experto invitado.

3.2.2 Método cuantitativo

Este método se realizó usando el cono Imhoff; para realizar este cálculo es necesario partir de la ecuación para determinar la densidad de organismos por mililitro expresada por Ross (1979) y aplicar una nueva fórmula teniendo en cuenta el volumen total de la muestra y el volumen sedimentado; a continuación se describe en detalle el procedimiento para la obtención de los cálculos.

Para proceder a realizar los cálculos, se toma una gota del sedimento de la muestra, la cual se deja durante 24 horas en reposo para garantizar que se tenga todo el volumen del sedimento. Esta se transfiere a un porta objetos y se cubre con un cubre objetos, se lleva al microscopio óptico (BM-180 Boeco), donde se evaluaron 30 campos por duplicado, siguiendo una trayectoria sinusoidal, las observaciones se realizaron con una magnificación de 400x, anotando en la tabla el número de morfotipos hallados en cada campo (Figura 3.7 y Anexo 3).

Muestra _____

Morfotipos	organismo
1	copépodo
2	Algas
3	ostrácodo



Taxas encontradas de manera cualitativa

CONTEO MORFOTIPO	CAMPOS																														TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	13
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
2	2	0	1	3	1	0	0	2	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	2	2	18
2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2



Total de taxas encontradas de manera cuantitativa

Figura 3.7. Esquema para el conteo de las muestras para los organismos encontrados

Fuente: Tomado y modificado de Aguirre & Caicedo (2013)

Como se observa en la Figura 3.7, la tabla de conteo posee cuatro columnas (la primera que hace referencia al conteo, la segunda al morfotipo detectado, una tercera que tiene los treinta campos que se revisan en el microscopio óptico (BM-180 Boeco) finalmente una cuarta casilla donde se presenta la sumatoria por filas de los treinta campos. A las tablas de conteo se les aplica la Ecuación 1 para el cálculo de la densidad de organismos por mililitro Ross (1979).

$$Densidad\ de\ organismos\ por\ ml = \frac{n \times F}{S \times c \times h} = \frac{\#organismos \times \frac{1000mm^3}{ml}}{0.166\ mm^2 \times 30 \times 0.1\ mm} \quad (ec. 1)$$

Donde:

n: número de organismos contados en la muestra

S: superficie(area)en mm²del campo del microscopio equivalente a 0.166mm²

c: número de campos contados equivalentes a 30

h: altura entre el cubreobjetos y el portaobjetos equivalente a 0.1 mm

F: factor de conversión equivalente a 10³mm³/1ml

Luego de este cálculo, se lleva la muestra al cono Imhoff y se deja sedimentando por un periodo de 24 horas, se toma el volumen total de la muestra y el volumen del sedimento (Figura 3.8) y con los datos obtenidos de la Ecuación 1, se aplica la Ecuación 2, en esta ecuación se aplica un factor de conversión donde una gota de agua equivale a 0.05 ml, se

obtiene entonces el número total de organismos que se encuentran en la muestra del sedimento.



Figura 3.8. Montaje de sedimentación usando el cono Imhoff

La Figura 3.8 muestra el montaje del cono Imhoff, el cual consta de una base de madera que funciona como soporte y un cono de acrílico graduado milimétricamente de base a punta, el cual permite medir el volumen del sedimento depositado en el fondo del cono,

$$\text{Densidad cono Imhoff} = \frac{n \times F \left(\frac{vS}{0.05ml} \right)}{vT} \quad (\text{ec. 2})$$

Dónde:

n: número de organismos obtenidos con la eq. 1

vS: volumen del sedimento

vT: volumen total de la muestra

3.3 Red de muestreo biológica

El dominio objeto de monitoreo corresponde a los niveles más someros del acuífero multicapa. Aquí se aplicaron las recomendaciones para la selección teniendo en cuenta las experiencias documentadas en los estudios de estigofauna citados dentro del marco conceptual en esta investigación.

La selección de los aljibes en la zona de estudio, se efectuó teniendo en cuenta los siguientes criterios: i) el diseño de la captación ii) la accesibilidad a los puntos iii) que se ajustara a un gradiente piezométrico que insinuara continuidad en el flujo subterráneo y iv) que fuera evidente un gradiente de conductividad eléctrica y por tanto de salinidad en el sentido del flujo.

Para la definición de los puntos que conformaron la red de monitoreo, se usaron algunas de las bases de datos brindadas por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá (CORPOURABA). Teniendo en cuenta el comportamiento del flujo según la piezometría, se identificaron tres líneas de flujo conformadas cada una por cuatro o cinco aljibes; entre ellas se elegiría una para efectuar el monitoreo biológico para esta investigación (Figura 3.9).

Para la selección de los puntos, se procedió a realizar una visita en campo, durante ella se tomaron muestras en algunos aljibes relacionados con las tres líneas de flujo (alrededor de dos puntos por línea), utilizando la red de captura de 180 μm . La identificación preliminar de posibles organismos de estigofauna serviría como indicador de la o las líneas a monitorear. Efectivamente, este muestreo arrojó como resultado el hallazgo de un organismo conocido como ostrácodo *Eucypris virens* sp en la línea tres, considerado por la literatura como un organismo perteneciente a la estigofauna (Moustaine et al., 2014), en relación a los puntos de las dos líneas restantes, no se detectó la presencia de organismos razón por lo cual fueron descartadas para hacer parte de las líneas a monitorear.

Teniendo en cuenta el hallazgo mencionado anteriormente, se implementó la línea tres como la red de monitoreo para esta investigación, dicha línea se encuentra en el municipio de Chigorodó, consta de cinco aljibes con un gradiente de conductividad eléctrica (CE) que va de 82,5 a 1.360 $\mu\text{s/cm}$ y con profundidades que van de 3,2 a 5,26 metros, estos aljibes son utilizados en su mayoría para captar agua destinada al uso doméstico y están ubicados en la zona rural del municipio. En la Tabla 3.2 se muestran los nombres, coordenadas y profundidades de los mismos. La Figura 3.10 muestra el mapa con los puntos seleccionados para los muestreos.

Como se observa en la Figura 3.9, las tres líneas que se escogieron como posibles líneas de muestreo biológico pertenecen a tres municipios de la zona de estudio, la línea 1 corresponde a aljibes ubicados en el municipio de Turbo, la línea 2 a aljibes pertenecientes al municipio de Apartadó y finalmente la línea 3 a aljibes relacionados con el municipio de Chigorodó, todas ellas cumplían con los criterios de selección mencionados anteriormente en la metodología.

Tabla 3.2. Aljibes pertenecientes a la red de muestreo biológica

código	Sitio	Vereda	N	W	Profundidad (m)
01	Centro Educativo Rural Manuel Gómez	El Guineo	7° 36'18,5"	76° 38' 31,2"	5,26
02	Vereda Champitas	Vereda Champitas	7° 38' 46,6"	76° 41' 44,1"	4,08
03	Iglesia Evangélica Interamericana	Vereda Las Guaguas	7° 41' 42,6"	76° 44' 14,4"	4,26
04	Finca El Encanto	Vereda La Bendición	7° 38' 40,8"	76° 43' 8,3"	3,2
05	Finca Mosquerita	Sadem - Colorada	7° 42' 19,2"	76° 46' 29,9"	4,9

3.4 Variables fisicoquímicas medidas

Aun cuando no está claramente definido cuales son las características y magnitud de las variables físicas, químicas y ambientales que determinen que un organismo se encuentre o no presente en los acuíferos, se ha demostrado que los parámetros a medir deben estar estrechamente relacionados con los atributos eco - fisiológicos como lo son la vulnerabilidad del medio ambiente y las perturbaciones antropogénicas (Castellarini et al., 2007). Varias investigaciones coinciden en señalar algunos parámetros a medir, considerando que pueden brindar información acerca de la presencia de los organismos; estos parámetros son la temperatura, pH, conductividad, calcio, magnesio, fosfatos, nitratos, entre otros (Castellarini et al., 2007; Boulton et al., 2008; Tione et al., 2011; Korbel et al., 2013; Moustaine et al., 2014 y Shapouri et al., 2015).

Para esta investigación se midieron variables *in situ* y se practicaron análisis en laboratorio, queriendo abarcar todos los aspectos posibles en el entendimiento de la calidad del agua subterránea, para tener así una visión más completa y un mayor acercamiento entre la biota y la calidad del agua. Los parámetros medidos se presentan en la Tabla 3.3 y Tabla 3.4.

Tabla 3.3. Variables medidas en laboratorio

Variables medidas en laboratorio	
Carbonatos (CO_3^{-2}) mg/L	Bromuros (Br^-) mg/L
Bicarbonatos (HCO_3^-) mg/L	Manganeso (Mg) mg/L
Alcalinidad ($CaCO_3$) mg/L	Mercurio (Hg) μ g/L
Cloruros (Cl^-) mg/L	Silicio(Si) mg/L
Calcio (Ca^{++}) mg/L	Sulfatos(SO_4^{2-}) mg/L
Potasio (K^+) mg/L	Aluminio (Al) mg/L
Hierro total (Fe) mg/L	Arsénico (As) mg/L
Sodio (Na^+) mg/L	Dureza total ($CaCO_3$) mg/L
Nitrógeno amoniacal $NH_4^+ - N$) mg/L	Sólidos disueltos mg/L
Magnesio (Mg^{++})	Materia orgánica mg/L
Ortofósforos (PO_4^{-3})mg/L	Turbiedad NTU
Nitritos (NO_2^-) mg/L	pH unidades de pH
Nitratos (NO_3^-) mg/L	Conductividad μ S/cm
Fluoruros(F^-) mg/L	

Tabla 3.4. Variables medidas *In situ*

In situ
Temperatura (c°)
pH (unidades de pH)
Conductividad Eléctrica (µs/cm)
Salinidad ‰
Oxígeno Disuelto (mg/l)
Sólidos Disueltos Totales (ppm)
Dióxido de carbono (mg/l de CO ₂)

3.5 Variaciones hidroclimáticas

Con el fin de evaluar si las variaciones hidroclimáticas influían en la presencia de la estigofauna, se realizaron dos muestreos donde se pudiera detectar dos condiciones diferentes; una de lluvia y otra de sequía. Conociendo el comportamiento hidroclimático de la región de estudio, se eligieron dos momentos en los cuales se realizaron los muestreos correspondientes a esta investigación: el primero en el mes de noviembre de 2015 periodo que correspondía a un periodo de lluvias y el segundo en el mes de marzo de 2016 que correspondía a un periodo de sequía.

3.6 Procesamiento y análisis de la información

Los datos obtenidos durante esta investigación se organizaron y estructuraron en una matriz, considerando el sitio (aljibes) y temporada de muestreo (1= lluviosa y 2= seca), las réplicas, los datos *in situ* y de laboratorio, además de los datos de riqueza y diversidad total de los organismos hallados; con cada uno de los datos ingresados en la matriz se procedieron a realizar análisis estadísticos mediante el programa Statgraphics Centurión XV; lo primero que se lleva a cabo es un análisis univariado de todos los datos, este se aplica a cada variable de modo independiente. Usualmente se trabaja con distribuciones de frecuencias, medidas de tendencia central y medidas de dispersión a fin de analizar el comportamiento de cada variable a investigar, luego se realizó un análisis por componentes de varianza para estimar la contribución de los factores (muestreo y aljibe) a la variabilidad de cada variable respuesta y finalmente un análisis de componentes principales que permitió sintetizar la información de tal manera que de un gran conjunto de variables se pueda encontrar relaciones entre ellas es decir encontrar patrones en los datos, reduciendo el número de dimensiones sin que se genere mucha pérdida de información, a los conjuntos de datos que se forman se les conoce como factores y son una combinación lineal de variables observadas ponderadas óptimamente que forman un nuevo conjunto de variables. En cuanto al análisis de estos datos solo los primeros factores son los que representan cantidades significativas de varianza por lo que solo se tiene en cuenta los primeros para ser analizados. Estos procedimientos se aplicaron a la matriz de datos teniendo en cuenta estudios como Dole – Oliver et al., 2009; Martin et al., 2009 Coletti et al., 2010 y Villegas et al., 2013.

4 RESULTADOS Y DISCUSION

La determinación de los diferentes organismos relacionados con el sistema acuífero de la Subregión del Urabá antioqueño, se realizó mediante el análisis de las muestras tomadas bajo dos escenarios hidrológicos diferentes y su evaluación a la luz de las condiciones de calidad del agua establecidas con base en los parámetros fisicoquímicos medidos, todo ello a partir de una red de monitoreo creada para esta investigación y diferentes protocolos para la obtención de los organismos. Los resultados según el cumplimiento de los objetivos específicos se describen a continuación. Inicialmente se describe el protocolo para la captura de estigofauna, posteriormente se muestra la red de monitoreo biológica y se presentan los análisis fisicoquímicos realizados en los cinco aljibes muestreados. En cumplimiento del objetivo específico “Reconocer las principales especies de estigofauna representativas del sistema hidrogeológico del Urabá antioqueño” se presentan los organismos hallados, se muestran las correlaciones encontradas entre las variables biológicas y las fisicoquímicas y finalmente se describen las variaciones detectadas en los dos escenarios hidrológicos considerados.

4.1 Protocolo para el análisis de estigofauna

Cuando se habla de un protocolo se refiere a una serie de procedimientos y tareas que deben cumplirse adecuadamente, de allí se deriva el éxito de la colecta y el estudio de los especímenes a analizar. Dentro de esta investigación se tuvieron en cuenta varios procedimientos, lo primero relacionado con el diseño de equipos, el manejo de los mismos y la preservación de las muestras; también se consideró el diseño de los formatos para la recolección de información en campo y la síntesis de hallazgos. El procedimiento de análisis en el laboratorio hace parte del protocolo de análisis de estigofauna y se encuentra explicado en el apartado 3.2 de este documento.

Los implementos de muestreo para la captura de estigofauna fueron esenciales en la investigación, puesto que las captaciones de agua subterránea, específicamente los aljibes son perforaciones con diámetros máximos de 1,0 metro, a los cuales no se puede ingresar directamente. En Malard et al., (2002) se mencionan diferentes técnicas y equipos para tomar las muestras de agua como son las trampas, las bombas, las redes, entre otros, la elección de estos equipos, está relacionada con el acuífero y el tipo de captación. Teniendo en cuenta que esta investigación se realizó en los niveles superiores del acuífero multicapa, donde el tipo de captación que predomina son las de tipo aljibe, se optó por trabajar con las redes de captura.

Dadas las características de la estigofauna, la toma de muestras debe realizarse con redes que tengan un tamaño de poro adecuado. Las redes funcionan como filtros y suele hacerse de gasas de seda, perlón y nailon de cedazo, cuyas hebras se mantienen firmes, las redes presentan diferentes clases de finura, que se registran con base en el diámetro de los poros o por el número de la malla por centímetro cuadrado. La dimensión de las redes utilizadas varía según el plancton que se desea recoger. En esta investigación se usaron dos redes, una de 180 μm y otra de 39 μm de tamaño de poro, con el fin de coleccionar el mayor número de organismos posibles.

Las mallas de 180 μm y 39 μm fueron construidas y adaptadas en la Universidad de Antioquia en el marco de este proyecto, para ello se tuvieron en cuenta las especificaciones establecidas en The Protocols for the ASsessment and Conservation of Aquatic Life In the Subsurface (PASCALIS).

En la Figura 4.1 se presenta el diagrama de la construcción de la red de plancton modificada de 180 μm y en la Figura 4.2 el diseño de la misma. Como puede observarse la red tiene

forma de cono y pose un radio de 7,5 cm y una altura de 38,6 cm. El sujetador esta acondicionado con tres cables de 30,0 cm de longitud cada uno, distribuidos uniformemente por el aro del cono, estos están unidos por una argolla que sujeta el cable, este se usa para introducir la red en la captación, un tubo Falcon sujetado por una abrazadera a la red en la parte inferior, constituye el recipiente en el que se recoge la muestra. Para garantizar el descenso hasta el fondo de los aljibes, el sistema está provisto en la parte inferior de un lastre de 600 gr de peso. En la Figura 4.3 se muestra la imagen de las dos redes usadas en esta investigación.

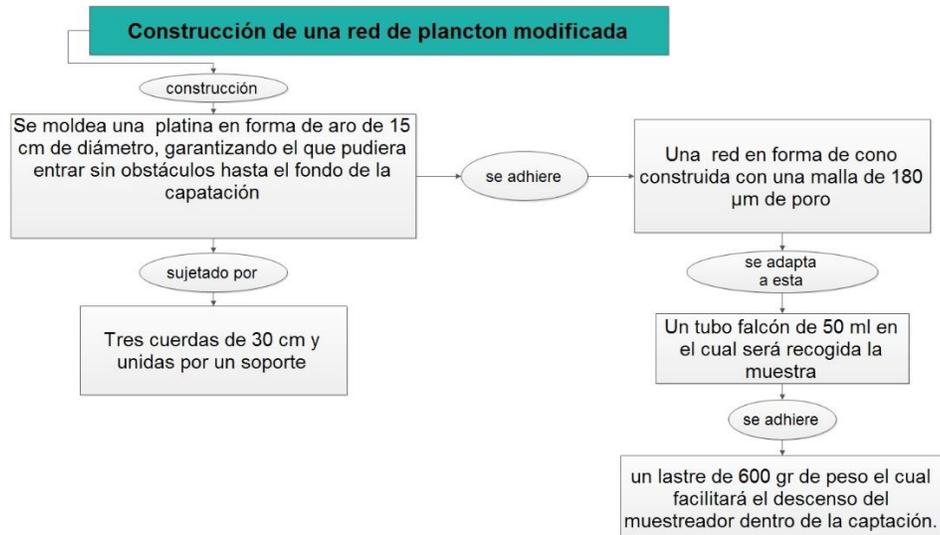


Figura 4.1. Procedimiento para la construcción de la red de zooplancton modificada de 180 µm

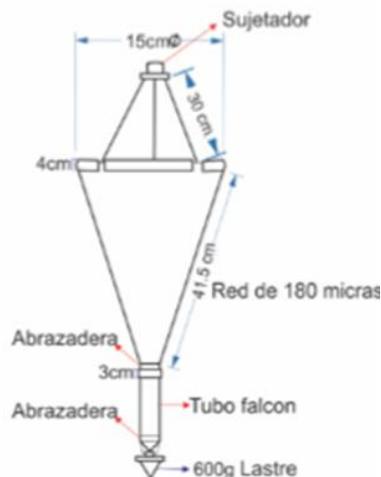


Figura 4.2. Diseño de la red de 180 µm



Figura 4.3. Redes zooplancton modificadas de 180 y 39 µm

En cuanto al protocolo para la toma de muestras, éste se obtuvo a partir de la investigación de diferentes fuentes bibliográficas como Malard et al., (2002); Hahn & Matzke (2005); Boulton et al., (2008) y Tione et al., (2014), además se realizaron pre ensayos para probar que las redes funcionaban correctamente antes de realizar las salidas de campo correspondientes a la investigación. En la Figura 4.4 se presenta el protocolo diseñado y empleado en la investigación. La red se baja hasta el fondo de la captación; en el momento de sentir que el lastre ha tocado el fondo, se procede a agitar vigorosamente la red con movimientos ascendentes y descendentes durante 10 segundos con el fin de agitar los sedimentos del fondo, posterior a ello se recupera lentamente la red para obtener el filtrado de la columna de agua, cuando se saca la red esta se lava con agua destilada por todo el borde interno del cono para evitar la pérdida de organismos adheridos a la red, luego se trasfiere el contenido del tubo Falcon a un recipiente plástico debidamente rotulado, finalmente, para preservar la muestras se adicionan 10 ml de alcohol grado analítico y se guarda en una nevera para su posterior análisis en el laboratorio.

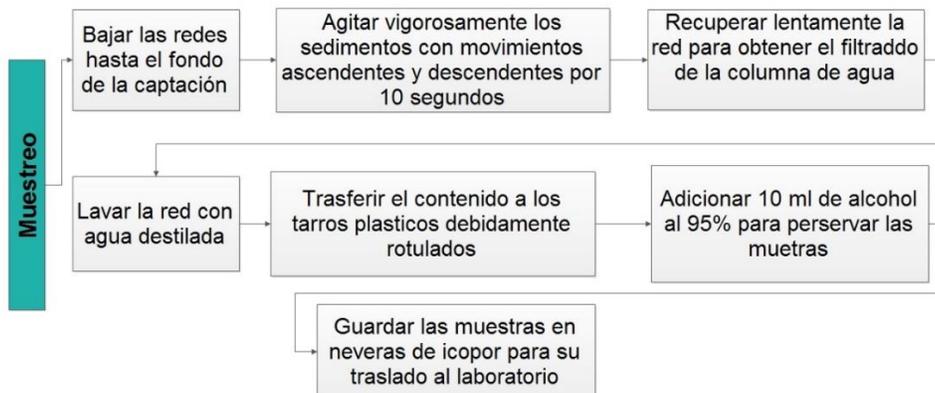


Figura 4.4. Protocolo de muestreo

Cada muestreo consta de la toma de una muestra y su réplica con el fin de que las réplicas sirvan de respaldo y se utilicen para corroborar los resultados que se hallen en la primera muestra analizada.

En cada sitio y durante cada muestreo se diligencian formatos de campo en los que se consigna información general relacionada con la fecha del muestreo, el nombre del sitio, la vereda donde se encuentra ubicado, el tipo de captación y la profundidad de la misma, las coordenadas y el código asignado a cada aljibe, así como la información relacionada con las características del entorno como condiciones climáticas, existencia de corrientes cercanas, presencia de animales, además allí se ingresan los datos de los parámetros fisicoquímicos medidos *in situ*.

También se diligencian encuestas a los usuarios que contienen información distribuida en varios numerales: i) la identificación del sitio, donde se encuentra la información general de la captación junto con el nombre del propietario del predio; ii) condiciones hidrológicas observadas por parte del propietario como el aumento o disminución del agua en el aljibe, inundaciones que recuerde, o posibles cambios en el mismo; iii) características de la captación, si está cubierta o tapada, si posee resalto y si esta entubada; iv) características y operación del entorno, es decir el uso que le dan al agua de la captación, cómo la obtienen, el cuidado que tienen con el aljibe, si se presenta cercanía de este con pozos sépticos, disposición de residuos orgánicos e inorgánicos; v) actividades agropecuarias, presencia de animales, almacenamiento de químicos cerca, elementos extraños en la captación y vi) propiedades organolépticas, color, olor y sabor, toda esta información se diligencia con el fin de lograr una mejor caracterización de los procesos que se están desarrollando alrededor de los aljibes, cada formato correspondiente a cada aljibe y muestreo se encuentra diligenciado y completo en el Anexo1.

4.2 Diseño e implementación de una red de muestreo biológica

En términos generales el muestreo se define como la observación continua con métodos estandarizados del medio ambiente (IDEAM 2013a). Las redes de muestreo tienen como objetivo cuantificar una variable que cambia en el espacio y en el tiempo, utilizando un número limitado de estaciones de medición que deben ser distribuidas en la región de observación de una forma óptima, con el fin de capturar la variabilidad espacial de la mejor manera posible, teniendo en cuenta que el punto de partida para el diseño de una red de muestreo es el conocimiento de la zona de estudio y la definición de la información que se quiere obtener a partir de ésta.

Gracias a esta red fue posible cuantificar la riqueza y la diversidad de los organismos hallados. La Figura 4.5 muestra la red de muestreo con los cinco aljibes correspondientes. El trabajo de campo se realizó en dos momentos representativos de escenarios hidrológicos diferentes, el primero entre 16 y 19 de noviembre de 2015 (época húmeda) y el segundo entre 1y 3 de marzo de 2016 (época seca enmarcada dentro de la temporada seca de El Niño).

4.3 Relación de la estigofauna con la calidad

En la Tabla 4.1 se presentan los datos fisicoquímicos medidos *in situ*, en la Tabla 4.2 (para noviembre de 2015) y en la Tabla 4.3 (para marzo de 2016) se consignan los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras de agua de los aljibes en los que se efectuó captura muestreo para análisis de estigofauna. A cada resultado se le aplicó la prueba de balance iónico y otras para evaluar la calidad analítica y verificar la confiabilidad de la información que ellos registran, se descartan para el análisis muestras con error de balance superior al 10 %.

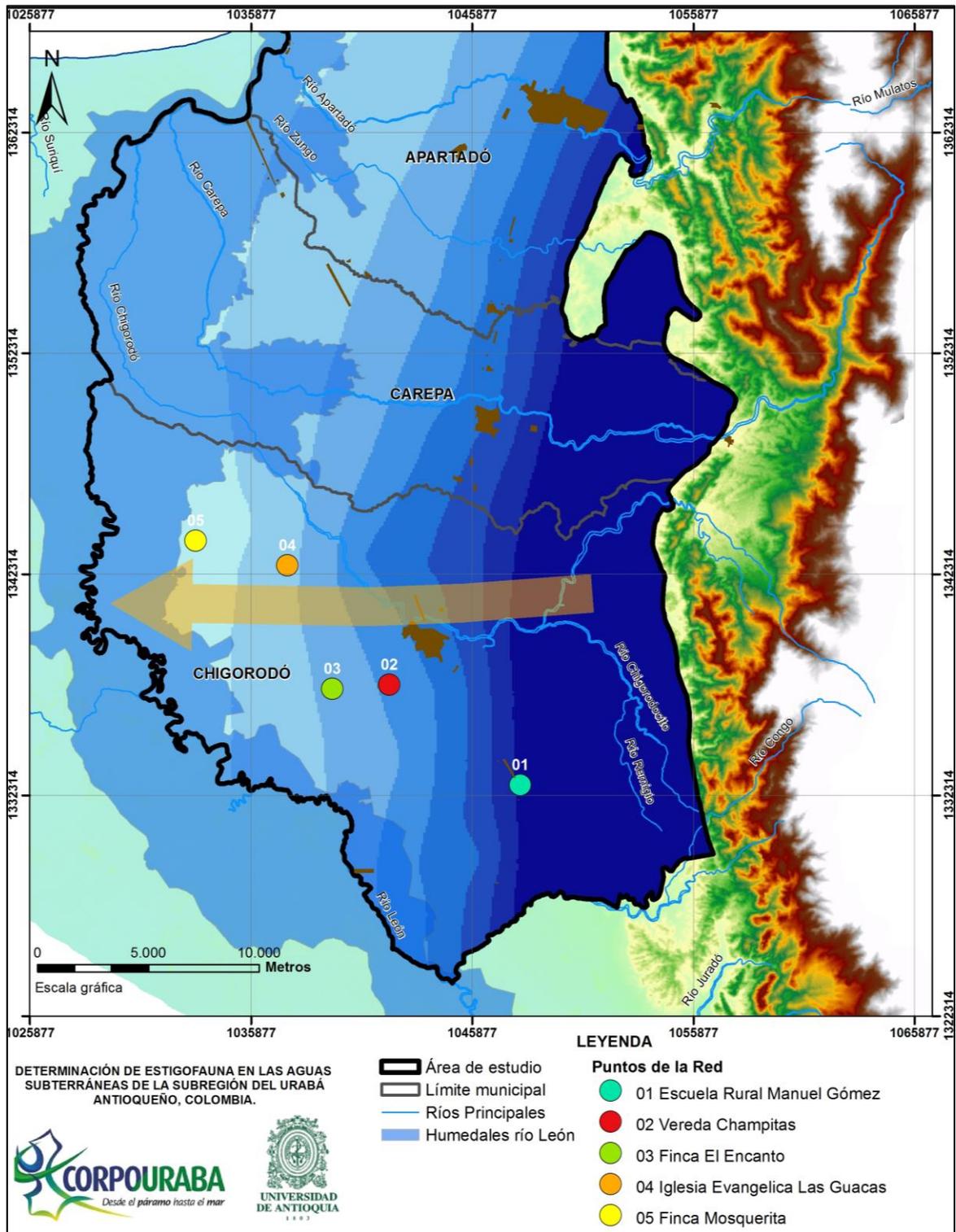


Figura 4.5. Red de muestreo implementada en la investigación

Tabla 4.1. Variables fisicoquímicas medidas *in situ*

Aljibe	Profundidad(m)	Nivel estático (m)	Columna de agua (m)	Muestreo	Replica	M,O (mg/L)	T (c°)	pH unidades de Ph	CE (µS/cm)	OD (mg/L)	Saturación O (%)	Salinidad (0/00)	STD (mg/l)
01	5,26	1,02	4,94	16 de Noviembre 2015	1	0,61	29,1	6,21	82,7	5	68,8	0,04	39,2
					2		29,3	6,11	82,5	5,64	74,4	0,03	35,6
02	4,08	0,72	3,36	17 de Noviembre 2015	1	2,15	27,7	6,35	204	1,86	24,1	0,09	90,4
					2		27,9	6,28	199	1,99	27,1	0,09	90,3
03	3,2	1,12	2,08	18 de Noviembre 2015	1	1,61	27,7	6,21	200	4,2	54,9	0,09	60,8
					2		27,9	6,21	139	4,07	52,3	0,06	62,5
04	4,26	0,5	3,76	19 de Noviembre 2015	1	2,68	28,8	6,58	340	5,6	73,1	0,15	149,9
					2		28,4	6,56	352	5,33	69,3	0,16	157
05	4,9	0,54	4,36	19 de Noviembre 2015	1	6,84	28,3	6,93	1.003	3,03	39	0,46	461
					2		28	6,97	981	2,83	36,5	0,45	454
01	5,26	3,35	1,91	01 de Marzo 2016	1	1,05	29	6,45	152	5,53	73,1	0,06	66,2
					2		28,9	6,49	142	4,94	65	0,06	61,7
02	4,08	2,36	1,72	02 de Marzo 2016	1	1,41	29	6,51	200	3,07	40,2	0,08	86,2
					2		29	6,37	201	2,35	35,6	0,09	88,9
03	3,2	2,82	0,38	02 de Marzo 2016	1	2,3	28,8	6,99	278	6,14	80,5	0,12	120
					2		28,7	7,28	278	7,1	94,5	0,12	120,8
04	4,26	2,05	2,21	03 de Marzo 2016	1	2,59	29,4	6,97	630	6,06	98	0,28	281
					2		29	6,66	645	6,05	95,5	0,28	285
05	4,9	2,23	2,67	03 de Marzo 2016	1	11,98	27,6	7,02	1.36	3,85	23,7	0,65	640
					2		27,7	7	1.355	3,51	19,3	0,64	643

Tabla 4.2. Resultados de los análisis fisicoquímicos para el mes de noviembre de 2015

Aljibe	Muestreo	Bicarbonato (mg HCO_3^- /L)	Cl (mg Cl^- /L)	Sulfatos (mg SO_4^{2-} /L)	NO3 (mg NO_3^- N/L)	Ca (mg Ca^{++} /L)	Mg (mg Mg^{++} /L)	Na (mg Na^+ /L)	K (mg K^+ /L)	NH4 (mg NH_4^+ N/L)	Si (mg/L)	Br (mg Br^- /L)	NO2 (mg NO_2^- N/L)	PO4 (mg $PO_4^{-3}P$ /L)	Mn (mg Mn^{++} L)	Fe (mg Fe^{++} /L)	Al (mg Al^{+++} /L)	Hg (mg/L)	Error de balance
01	16 de Noviembre 2015	42,75	2,1	1,52	0,248	15,9	4,63	3,77	2,37	0,05	4,85	0,12	0,0046	1,16	0,04	0,05	0	0,0011	17,18
02	17 de Noviembre 2015	90,48	2,37	13,07	0,44	26,76	6,81	8,52	1,39	1,31	16,16	0	0,032	0	1,2	7,08	0,02	0,0013	2,41
03	18 de Noviembre 2015	64,65	6,18	9	3,454	33,27	7,08	9,94	2,03	0,154	10,12	0	0	30,98	0,5	0	0,04	0,0011	14,62
04	19 de Noviembre 2015	151,02	26,68	12,66	3,72	53,61	16,32	17,63	0,99	0,822	10,36	0,29	0	0,827	2,33	0,43	0	0,0012	8,19
05	19 de Noviembre 2015	496,19	31,9	44,7	20,15	205,72	45	87,59	11,14	15,78	18,14	0,2	0	0,95	0,5	1,26	0,04	0,0012	4,75

Tabla 4.3. Resultados de los análisis fisicoquímicos para el mes de marzo de 2016

Aljibe	Muestreo	Bicarbonato (mg HCO_3^- /L)	Cl (mg Cl^- /L)	Sulfatos (mg SO_4^{2-} /L)	NO3 (mg NO_3^- N/L)	Ca (mg Ca^{++} /L)	Mg (mg Mg^{++} /L)	Na (mg Na^+ /L)	K (mg K^+ /L)	NH4 (mg NH_4^+ N/L)	Si (mg/L)	Br (mg Br^- /L)	NO2 (mg NO_2^- N/L)	PO4 (mg $PO_4^{-3}P$ /L)	Mn (mg Mn^{++} L)	Fe (mg Fe^{++} /L)	Al (mg Al^{+++} /L)	Hg (mg/L)	Error de balance
01	01 de Marzo 2016	71,78	1,3	2,4	0,44	16,99	3,73	12,7	5,5	0,54	0	0	0	0	0,37	3,31	0	0	8,84
02	02 de Marzo 2016	94,87	1,5	1,55	4,16	20,95	6,94	7,6	1,1	0,58	10,51	0,03	0	0	0,36	7,27	0	0	-2,03
03	03 de Marzo 2016	320,21	6,5	5,1	1,82	76,75	17,7	31,8	9,03	0,56	11,73	0,06	0	0	3,6	0,31	0	0	2,04
04	03 de Marzo 2016	357,62	24,1	6	0,66	49,95	29,51	94,1	32,2	3,24	10,07	0,06	0	0	9,3	7,96	0	0,0071	11,09
05	03 de Marzo 2016	866,7	20,6	3,88	1,28	232,43	55,68	134	31,3	14,86	14,05	0	0	0	0,73	2,22	0	0,0038	9,57

Se encontró que las temperaturas registradas en los aljibes variaron de 27,6 C° a 29,4 C° con el mínimo en el aljibe cinco y el máximo en el aljibe cuatro, sin embargo valores similares encontrados en otros estudios como Menció et al., (2014) y Moustaine et al., (2014) sugieren que la temperatura no es un factor que afecte la presencia de la estigofauna. El pH osciló entre 6,11 y 7,28; según los datos reportados por la literatura los rangos encontrados en esta investigación son los adecuados para la presencia de dichos organismos (Strayer, 1994). Sin embargo, a pesar de que estos valores registrados apuntan a la presencia de organismos, en el aljibe 02 no se detectó presencia de estos, lo que sugiere que el pH no es el único factor que afecte la presencia de estos organismos. El oxígeno disuelto presentó rangos de 1,9 a 6,14 mg/l donde los valores más bajos se presentaron en el aljibe 02, en el cual no se detectó la presencia de organismos. Esto se relaciona con lo expuesto por Moustaine et al., (2014) donde explica que las comunidades de estigofauna pueden estar vinculadas a la disponibilidad de oxígeno disuelto que tengan los acuíferos. Para la conductividad eléctrica se reportaron valores que alcanzaron un máximo de 1.360 µS/cm correspondiente al aljibe 05, valor acorde con la evolución normal, según principio de la hidrogeoquímica. En relación a la presencia de nitratos, el cual es considerado como un parámetro de contaminación antrópica en el agua subterránea y que además se relaciona con la desaparición de organismos, los análisis de laboratorio reportaron valores desde 0,2 hasta 4,55 mg/l, se esperaría que estos valores no condicionen la colonización de estos ambientes por parte de la microbiota (Aguirre & Caicedo 2013).

La caracterización de facies hidrogeoquímicas se puede visualizar en la Tabla 4.4 y en los diagramas Piper de la Figura 4.6 y la Figura 4.7, estos fueron construidos con el fin de clasificar y agrupar las aguas según sus características químicas. Se utilizó una simbología de figuras geométricas correspondientes a cada aljibe monitoreado.

Tabla 4.4. Comparación de facies en los dos periodos de muestreo

Código	Nombre	Noviembre			Marzo		
		STD	CE	Facies	STD	CE	Facies
01	Escuela Manuel Gómez	24	92,9	Ca-Mg-HCO ₃	72	146,1	Ca-Na-HCO ₃
02	Vereda Champitas	80	175,3	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	110	188,1	Ca-Mg-HCO ₃
03	Aljibe Iglesia Evangélica Guaguas	172	411,1	Ca-Mg-HCO ₃	394	741,8	Ca-Na-Mg-HCO ₃
04	Aljibe Finca El Encanto	60	174,6	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	206	36,55	Ca-Na-Mg-HCO ₃
05	Finca Mosquerita	566	1.122	Ca-Mg-Na-HCO ₃	756	1.464,8	Ca-Na-Mg-HCO ₃

En la tabla 4.4 se evidencia el aumento en la salinidad a medida que se avanza en el sentido del flujo subterráneo y se observa, a la vez la evolución de facies hidrogeoquímicas hacia composiciones de Na⁺ y Mg⁺⁺.

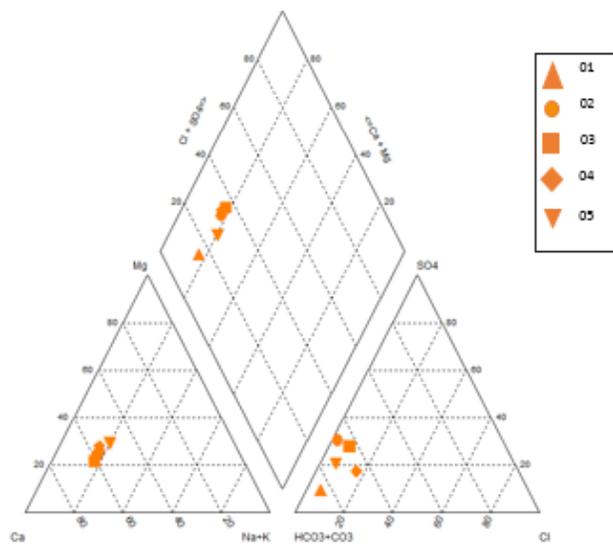


Figura 4.6. Diagrama piper para los aljibes en el mes de noviembre de 2015

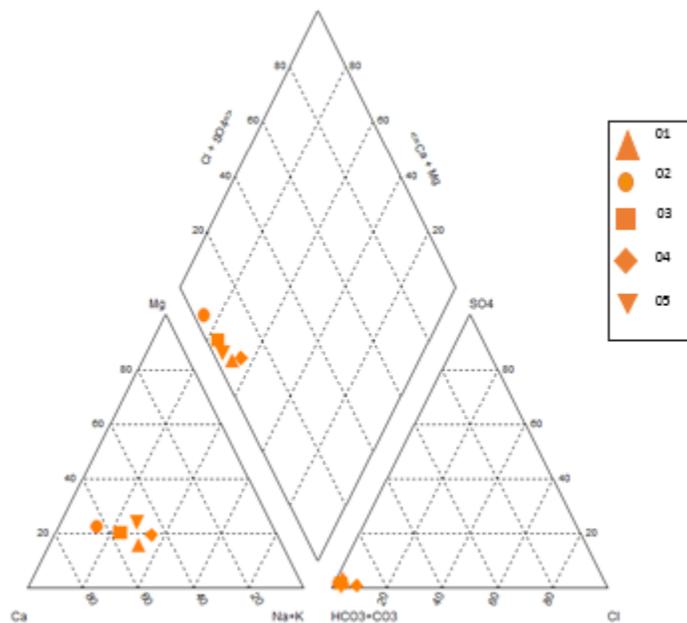


Figura 4.7. Diagrama piper para los aljibes en el mes de marzo de 2016

La variación espacial para los dos periodos hidrológicos se presenta en los mapas y diagramas stiff de la Figura 4.8 y la Figura 4.9.

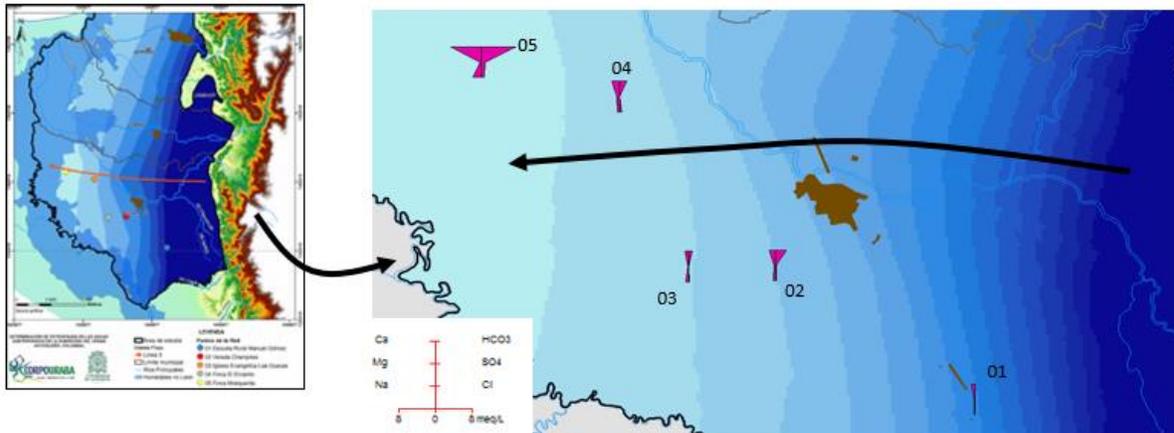


Figura 4.8. Diagrama stiff para los aljibes en el mes de noviembre de 2015

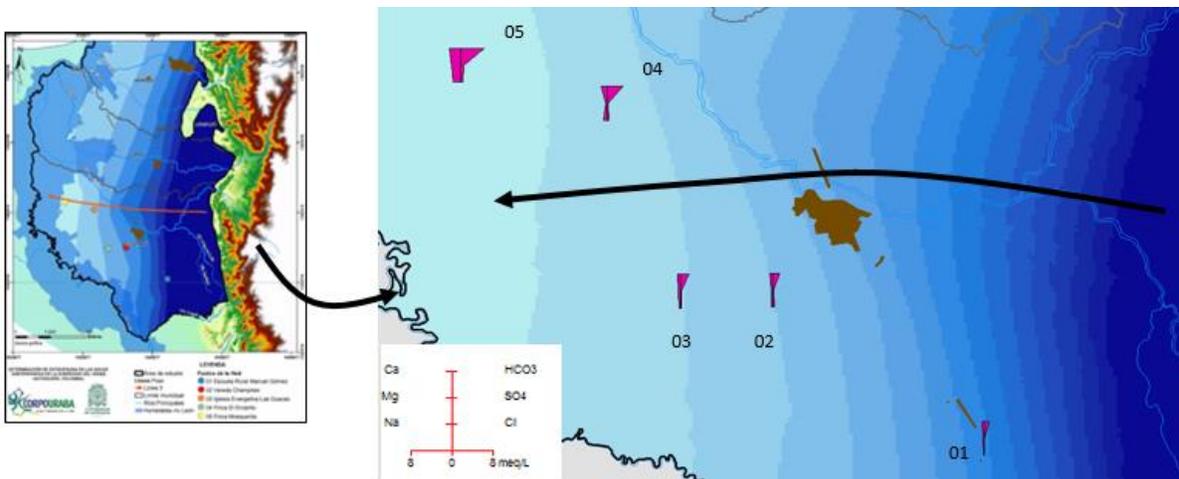


Figura 4.9. Diagrama stiff para los aljibes en el mes de marzo de 2016

En las Figuras 4.6 a 4.9 se observa que la evolución de facies en ambos escenarios hidrológicos se da en el sentido normal propuesto por Chevotareb. En el mes de noviembre se pasa de unas facies cálcico, magnésico, bicarbonatadas, a unas facies cálcico, magnésico, sódica, bicarbonatada, la cual valida el flujo que se presenta, donde se observa que se va ganando en evolución, es el caso del aljibe 01 que presenta menos concentración de sólidos totales disueltos ya que se encuentra más cerca de la zona de recarga que es donde se da el ingreso de agua hacia el acuífero, dándose una recarga rápida. Para el muestreo de marzo ganan más concentración de sodio, esto se presenta debido a la época seca en donde habría menos ingreso de agua de recarga al acuífero, por lo tanto las facies presentan una modificación al no haber ese ingreso de agua reciente, por lo que pasa a ser un poco más evolucionada con más concentración de sodio, aunque los iones predominantes siguen siendo calcio y bicarbonato, ya que son aljibes que están en las

capas superficiales del acuífero multicapa, donde el agua tiene un flujo más rápido y son más recientes. Los sólidos totales disueltos son mayores en la época más seca, presentándose una mayor concentración respecto a este parámetro en comparación con la época de noviembre que se comportó como una época húmeda.

Para cada una de las variables fisicoquímicas y biológicas medidas durante la investigación se realizó un análisis univariado con el propósito de observar como es el comportamiento de las variables muestreadas. En la Tabla 4.5 se muestran los resultados de estos análisis.

Tabla 4.5. Resultado del análisis univariado para las variables medidas

Variable	Número de datos	Promedio	Mediana	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango
Temperatura (c°)	20	28,51	28.75	0,60	2,12%	27,6	29,4	1,8
Materia Orgánica (mg/L)	10	3,32	2.23	3,49	105,15%	0,61	11,98	11,37
pH(unidades pH)	20	6,60	6.54	0,34	5,26%	6,11	7,28	1,17
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	20	441,33	241	413,22	93,63%	82,5	1.360	1.277
Oxígeno Disuelto (mg/L)	20	4,20	4.57	1,75	41,67%	1,51	7,1	5,59
Saturación O (%)	20	57,24	59.95	25,45	44,47%	19,3	98	78,7
Salinidad(0 /00)	20	0,20	0.11	0,19	98,14%	0,03	0,65	0,62
Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	20	199,67	105.2	196,12	98,22%	35,6	643	607,4
Bicarbonatos (mg CaCO3/L)	10	255,62	122.95	263,62	103,13%	42,75	866,7	823,95
Calcio (mg Ca2+/L)	10	73,23	41.61	79,42	108,46%	15,9	232,43	216,53
Cloruros(mg Cl-/L)	10	12,32	6.34	12,06	97,92%	1,3	31,9	30,6
Dureza Total (mg CaCO3/L)	10	267,76	130.91	307,44	114,82%	56,99	869,01	812,02
Magnesio(mg Mg/L)	10	19,34	11.7	18,30	94,64%	3,73	55,68	51,95
Hierro (mg Fe/L)	10	2,98	1.74	3,24	108,56%	0	7,96	7,96
Manganeso (mg Mn/L)	10	1,89	0.62	2,82	149,19%	0,04	9,3	9,26
Fluoruros (mg F ⁻ /L)	10	0,08	0.01	0,11	139,44%	0	0,31	0,31
Nitrógeno amoniacal (mg NH4 -N/L)	10	3,78	0.70	6,14	162,21%	0,05	15,78	15,73
Ortofosfatos (mg PO4 -P /L)	10	3,39	0	9,70	286,14%	0	30,98	30,98
Nitritos (mg NO2- N/L)	10	0,003	0	0,010	274,92%	0	0,032	0,032
Nitratos (mg NO3- -N/L)	10	3,63	1.55	5,98	164,62%	0,248	20,15	19,902
Potasio (mg K /L)	10	9,70	3.94	12,13	125,00%	0,99	32,2	31,21
Sodio (mg Na /L)	10	40,76	15.17	46,65	114,45%	3,77	134	130,23
Silice (mg Si /l)	10	10,59	10.44	5,23	49,42%	0	18,14	18,14
Mercurio (Hg mg/L)	10	0,001	0	0,002	129,15%	0	0,007	0,007
Al(mg Al/L)	10	0,01	0	0,016	169,97%	0	0,04	0,04
Sulfatos(mg SO4 /L)	10	9,98	5.55	12,91	129,26%	1,52	44,7	43,18

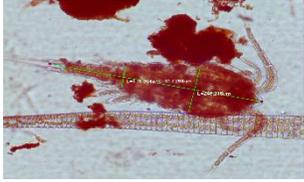
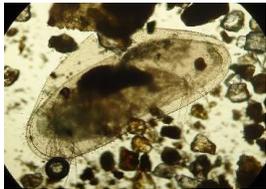
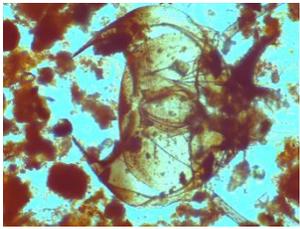
Variable	Número de datos	Promedio	Mediana	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango
Densidad Total (org /ml)	20	1.505,35	0	2281,03	151,53%	0	7.464	7.464
Riqueza Total	20	0,5	0	0,60	121,40%	0	2	2

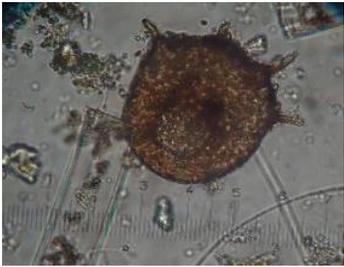
En La tabla 4,5 se presentan los estadígrafos generales de las variables analizadas en el estudio, se puede decir que la mayoría de las variables tiene coeficientes de variación mayores al 100%, esto posiblemente debido a las diferencias espaciotemporales del estudio, dentro de ella se desatacan algunas variables como el manganeso, el nitrógeno amoniacal, los ortofosfatos, los nitritos, los nitratos, el aluminio y la densidad de organismos, las cuales presentaron valores superiores al 150% destacándose como las variables de menor homogeneidad. En contraste variables como Temperatura y PH presentaron un coeficiente de variación bajo (2.12% y 5.26%) con promedios de 28,51 y 6,60; es normal que estas variables no tengan una variación muy alta debido a que están condicionadas por efectos más robustos del ambiente como la temperatura y el comportamiento de los iones generales en el medio.

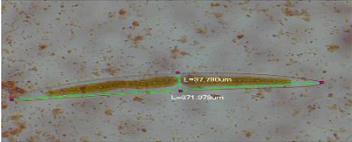
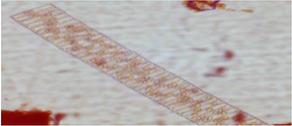
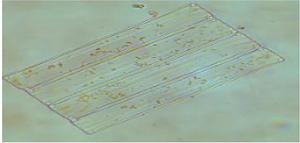
4.4 Grupos de organismos hallados en el agua subterránea de la subregión del Urabá antioqueño

Las observaciones de las muestras analizadas en el laboratorio mediante los protocolos mencionados, arrojaron como resultado el hallazgo de organismos en cuatro de los cinco puntos para un total de 7 grupos diferentes de organismos como: larvas de macroinvertebrados, diferentes metazoarios y protozoarios. Entre estos nematodos, amebas, rotíferos, además de copépodos en diferentes estadios, ostrácodos, cladóceros, y diferentes tipos de algas que pueden ser el resultado de la interacción que se presenta entre el agua superficial y el acuífero. En la Tabla 4.6 se muestran las imágenes de los organismos hallados con su respectivo género, su taxonomía y algunas características generales.

Tabla 4.6. Organismos encontrados en los cinco aljibes muestreados

Orden	Imagen del organismo	Género	Características
Copepodo		Copepodito	<p>Representan uno de los grupos más diversos de crustáceos, el 20% de las especies viven en agua dulce. Son microcrustáceos con un cuerpo cilíndrico, más ancho en frente que atrás y con 5 pares de patas natatorias. Los copépodos viven como plancton o en el fondo del agua y sus hábitos alimenticios son muy variables según la especie: filtradores, depredadores o parásitos de peces (Paggi, 1995).</p>
		Nauplio	
Ostracodo		<i>Eucypris</i> sp	<p>Micro crustáceo con caparazón elipsoidal, dos valvas visibles, dos antenas y una furca caudal con forma de garra. Tienen conchas finas lo que favorece la natación por las aguas del fondo. Consumidores de materia orgánica, escasos en fondos anóxicos (Reeves, et al., 2007).</p>
Cladócero		<i>Bosmina</i> sp	<p>Micro crustáceo, su tamaño oscila entre 0,5 - 5 mm. Poseen un cuerpo cubierto de un caparazón, tienen una cabeza bien diferenciada, órganos sensitivos, ojos, antenas, mandíbulas, apéndices. Filtran la materia orgánica pero seleccionan el tipo de comida que van a ingerir especialmente algas.(Barnes, 1980).</p>
Metazoario		<i>Chaetonatos</i> sp	<p>Metazoario pertenecientes a los gastrotriquios, se le conoce como animalito oso (Streble & Krauter, 1973).</p>

Orden	Imagen del organismo	Género	Características
Metazoario		<p>Nematodo <i>Rhabditis. sp</i></p>	<p>Se presentan cuando el agua contiene un alto contenido de nutriente o contenido orgánico y la temperatura ambiente es apropiada, suelen alimentarse del crecimiento microbiano del biofilm (biopelícula) o del limo y están asociado a alta carga de materia orgánica (Cafferty, 1981).</p>
Protozoario		<p>Rotífero <i>Cephalodella sp</i></p>	<p>Posee un cuerpo cubierto por una cutícula elástica, que en ciertas especies y en ciertas regiones forman placas rígidas Estos organismos están conformados por 1.000 células alcanzando tamaños que oscilan entre 0,1-0,5 mm (Barnes, 1980).</p>
		<p>Ameba <i>Centropyxis sp</i></p>	<p>Protozoarios de vida microscópica y unicelular. Los Sarcodinos o Rizópodos poseen pseudópodos, los cuales actúan en la locomoción y en la captura del alimento. Estos protozoos en su mayoría son de vida libre (Streble & Krauter, 1987).</p>
		<p>Tecamoeba. <i>Arcella sp</i></p>	

Orden	Imagen del organismo	Género	Características
Protozoario		Ciliado reptante <i>Euplotes</i> sp	Los ciliados se desplazan por medio de cilios, los cuales también intervienen en la captura del alimento. La mayoría de estos protozoos son de vida libre asociados a aguas ricas en materia orgánica (Streble & Krauter, 1987).
Alga		<i>Closterium</i> sp	Pertenecientes a la familia de las desmidiaceas. Se puede observar un organismo con dos hemicelulas relativamente simétricas, características particulares de este grupo. Posee un gran cloroplasto (Streble & Krauter, 1973)
		<i>Fragilaria</i> sp	Alga perteneciente a la división bacilliarophyta, posee un esqueleto de sílice, presenta una agregación colonial de células (Streble & Krauter, 1973)
		<i>Fragilaria</i> sp	
Macroinvertebrado		Coleóptero	Poseen fuertes uñas y branquias laterales en el abdomen; tienen cierta sensibilidad ante la polución y requieren altas concentraciones de oxígeno organismos del género staphylinidae (Roldán, 1988).
		Díptero	Suelen habitar generalmente aguas estancadas, nadando en la superficie, donde respiran aire atmosférico, se asocian a presencia de mayor carga orgánica organismos perteneciente a la familia: culicidae (Roldán, 1988).

Los resultados obtenidos, aplicando el protocolo de análisis de laboratorio para la identificación de organismos en las muestras de agua subterránea, permiten describir los grupos hallados en las muestras y las réplicas de cada aljibe (Tabla 4.7), donde la primera columna corresponde al tipo de muestra o réplica seguido por el número del aljibe y un guion bajo que designa el tipo del poro de la red, en la segunda columna se encuentra el número asignado al morfotipo y en la tercera y cuarta casilla el nombre del morfotipo y su presencia en el periodo de muestreo respectivo.

Como producto del conteo de los organismos se resumen en las Tabla 4.8 (noviembre de 2015) y Tabla 4.9 (marzo de 2016) los hallazgos logrados. En estas tablas, la primera columna llamada muestra se designa por (M) o por una (R) que corresponde a la muestra o la réplica, acompañada de un número correspondiente al aljibe, separado por un guion bajo que indica con qué tipo de red (180 μm o 39 μm); la columna morfotipo está representada por varios números, los cuales corresponden a cada taxa identificada (según tabla 4.7); la riqueza se define como la variedad de organismos hallados en cada muestra, es decir la cantidad de diferentes grupos de morfotipos, el criterio para discretizar un grupo de otro obedece básicamente a que un grupo de organismos está conformado por un número de individuos que tiene características morfológicas y taxonómicas que les permiten formar un conjunto. La riqueza es un número adimensional. La densidad de organismos corresponde al número de organismos por unidad de volumen, en este caso el número de organismos que se encuentran en un mililitro de muestra. Estos datos se retoman para los análisis que se presentan en los numerales siguientes correspondientes a la variabilidad temporal.

Tabla 4.7 Morfotipos hallados en las muestras para los dos periodos de muestreo

Muestra	Numeración asignada	Descripción del Morfotipo noviembre	Descripción del Morfotipo marzo
M1_180	1	ostrácodo	ostrácodo
	2	concha de ostrácodo	
R1_180	1	ostrácodo	ostrácodo
	2	rotífero	
M1_39	1	ostrácodo	ostrácodo
R1_39	1	ostrácodo	
	2	concha de ostrácodo	
M3_180	1	copépodo	
	2	ostrácodo	
	3	algas	algas
	4		ameba
R3_180	1	copépodo	
	2	ostrácodo	
	3	algas	
	4		Ameba
M3-39	1	copépodo	
	2	ameba	ameba
	3		algas
R3_39	1	copépodo	
	2	nematodo	
M4_180	1	copépodo	
	2	algas	algas
	3		Larvas de coleóptero
	4		nematodo
	5		rotífero
R4_180	1	copépodo	
	2	algas	algas
	3		Larvas de coleóptero
	4		nematodo
	5		rotífero
M4_39	1	ameba	ameba
	2	rotífero	rotífero
	3	larva de díptero	
	4	copépodo	
	5	algas	algas
R4_39	1	ameba	ameba
	2	rotífero	rotífero
	3	larva de díptero	
	4	copépodo	
	5	algas	algas
M5_180	1	nematodo	
	2	larva de díptero	
	3		cladóceros
	4		rotífero
R5_180	1	nematodo	
	2	larva de díptero	
	3		cladóceros
	4		rotífero
M5_39	1	nematodo	
	2		rotífero
R5_39	1		rotífero

Tabla 4.8.Resultados para el conteo de organismos hallados en noviembre de 2015

Muestra	Conteo	Morfotipo	Número de organismos en el conteo	#organismos /ml	Riqueza	Volumen total de la muestra (ml)	Volumen total del sedimento (ml)	# organismos/ml cono imhoff
M1-180	1	1	1	2.008	2	62	0,1	65
		2	1	2.008		62	0,1	65
	2	1	1	2.008	2	62	0,1	65
		2	0	0.00		62	0,1	0
R1_180	1	1	2	4.016	2	61	0,2	263
		2	0	0.00		61	0,2	0
	2	1	4	8.032	2	61	0,2	527
		2	1	2.008		61	0,2	132
M1-39	1	1	0	0.00	1	96	0,3	0
	2	1	0	0.00	1	96	0,3	0
R1_39	1	1	0	0.00	2	92	5,7	0
		2	0	0.00		92	5,7	0
	2	1	2	4.016	2	92	5,7	4.976
		2	1	2.008		92	5,7	2.488
M3_180	1	1	1	2.008	2	68	0,1	59
		2	0	0.00		68	0,1	0
	2	1	1	2.008	2	68	0,1	59
		2	0	0.00		68	0,1	0
R3_180	1	1	1	2.008	2	66	0,2	122
		2	1	2.008		66	0,2	122
	2	1	1	2008	2	66	0,2	122
		2	0	0.00		66	0,2	0
M3_39	1	1	0	0.00	2	550	6,4	0
		2	0	0.00		550	6,4	0

Muestra	Conteo	Morfotipo	Número de organismos en el conteo	#organismos /ml	Riqueza	Volumen total de la muestra (ml)	Volumen total del sedimento (ml)	# organismos/ml cono imhoff
	2	1	1	2.008	2	550	6,4	467
		2	1	2.008		550	6,4	467
R3_39	1	1	1	2.008	3	500	8,5	683
		2	0	0.00		500	8,5	0
		3	0	0.00		500	8,5	0
	2	1	1	2.008	3	500	8,5	683
		2	1	2.008		500	8,5	683
		3	2	4.016		500	8,5	1.365
M4_180	1	1	2	4.016	3	62	1,5	1.943
		2	13	26.104		62	1,5	12.631
		3	0	0.00		62	1,5	0
	2	1	3	6.024	3	62	1,5	2.915
		2	18	36.144		62	1,5	17.489
		3	0	0.00		62	1,5	0
R4_180	1	1	2	4.016	3	64	1,8	2.259
		2	25	50.200		64	1,8	28.238
		3	0	0.00		64	1,8	0
	2	1	0	0.00	3	64	1,8	0
		2	35	7.028		64	1,8	39.533
		3	1	2.008		64	1,8	1.130
M4_39	1	1	3	6.024	5	64	1,8	3.389
		2	1	2.008		250	23	3.695
		3	1	2.008		250	23	3.695
		4	1	2.008		250	23	3.695
		5	0	0.00		250	23	0
	2	1	1	2.008	5	250	23	3.695

Muestra	Conteo	Morfotipo	Número de organismos en el conteo	#organismos /ml	Riqueza	Volumen total de la muestra (ml)	Volumen total del sedimento (ml)	# organismos/ml cono imhoff
		2	0	0.00		50	23	0
		3	0	0.00		250	23	0
		4	0	0.00		250	23	0
		5	1	2.008		250	23	3.695
R4_39	1	1	1	2.008	4	200	21	4.217
		2	1	2.008		200	21	4.217
		3	0	0.00		200	21	0
		4	0	0.00		200	21	0
	2	1	1	2.008	4	200	21	4.217
		2	2	4.016		200	21	8.434
		3	0	0.00		200	21	0
		4	0	0.00		200	21	0
M5_180	1	1	2	4.016	2	60	2,5	3.347
		2	0	0.00		60	2,5	0
	2	1	3	6.024	2	60	2,5	5.020
		2	1	2.008		60	2,5	1.673
R5_180	1	1	3	6.024	2	64	1,4	2.636
		2	1	2.008		64	1,4	879
	2	1	2	4.016	2	64	1,4	1.757
		2	0	0.00		64	1,4	0
M5_39	1	1	1	2.008	1	425	46	4.347
	2	1	0	0.00	1	425	46	0
R5_39	1	1	0	0.00	1	439	43	0
	2	1	1	2.008	1	439	43	3.934

Tabla 4.9. Resultados para el conteo de organismos hallados en marzo de 2016

Muestra	Conteo	Morfotipo	Número de organismos en el conteo	#organismos /ml	Riqueza	Volumen total de la muestra (ml)	Volumen del sedimento (ml)	# organismos/ml cono imhoff
M1-180	1	1	0	0.00	1	62	0,2	0
	2	1	1	2.008	1	62	0,2	130
R1_180	1	1	2	4.016	1	60	0,4	535
	2	1	1	2.008	1	60	0,4	268
M1-39	1	1	2	4.016	1	330	8	1.947
	2	1	1	2.008	1	330	8	974
R1_39	1	1	1	2.008	1	310	14	1.814
	2	1	2	4.016	1	310	14	3.627
M3_180	1	1	3	6.024	2	44	0,2	548
	1	2	0	0.00		44	0,2	0
	2	1	0	0.00	2	44	0,2	0
	2	2	0	0.00		44	0,2	0
R3_180	1	1	0	0.00	2	45	0,4	0
		2	0	0.00		45	0,4	0
	2	1	0	0.00	2	45	0,4	0
		2	0	0.00		45	0,4	0
M3_39	1	1	3	6.024	2	395	6	1.830
		2	1	2.008		395	6	610
	2	1	0	0.00	2	395	6	0
		2	0	0.00		395	6	0
R3_39	1	1	1	2.008	2	329	4	488
		2	2	4.016		329	4	977
	2	1	1	2.008	2	329	4	488
		2	1	2.008		329	4	488
M4_180	1	1	27	54.216	4	64	0,2	3.389

Muestra	Conteo	Morfotipo	Número de organismos en el conteo	#organismos /ml	Riqueza	Volumen total de la muestra (ml)	Volumen del sedimento (ml)	# organismos/ml cono imhoff
		2	1	2.008		64	0,2	126
		3	0	0.00		64	0,2	0
		4	0	0.00		64	0,2	0
	2	1	23	46.184	4	64	0,2	2.887
		2	0	0.00		64	0,2	0
		3	0	0.00		64	0,2	0
		4	1	2.008		64	0,2	126
R4_180	1	1	48	96.385	4	58	1	33.236
		2	0	0.00		58	1	0
		3	0	0.00		58	1	0
		4	0	0.00		58	1	0
	2	1	20	40.160	4	58	1	13.848
		2	1	2.008		58	1	692
		3	0	0.00		58	1	0
4		0	0.00	58		1	0	
M4_39	1	1	44	88.353	3	310	3,5	19.951
		2	1	2.008		310	3,5	453
		3	0	0.00		310	3,5	0
	2	1	46	92.369	3	310	3,5	20.858
		2	0	0.00		310	3,5	0
3		0	0.00	310		3,5	0	
R4_39	1	1	93	18.6746	3	250	4	59.759
		2	0	0.00		250	4	0
		3	2	4.016		250	4	1.285
	2	1	109	21.8875	3	250	4	70.040
		2	0	0.00		250	4	0

Muestra	Conteo	Morfotipo	Número de organismos en el conteo	#organismos /ml	Riqueza	Volumen total de la muestra (ml)	Volumen del sedimento (ml)	# organismos/ml cono imhoff
		3	0	0.00		250	4	0
M5_180	1	1	0	0.00	2	62	0,1	0
		2	0	0.00		62	0,1	0
	2	1	0	0.00	2	62	0,1	0
		2	0	0.00		62	0,1	0
R5_180	1	1	1	2.008	2	68	0,8	472
		2	1	2.008		68	0,8	472
	2	1	1	2.008	2	68	0,8	472
		2	1	2.008		68	0,8	472
M5_39	1	1	1	2.008	1	320	8	1.004
	2	1	1	2.008	1	320	8	1.004
R5_39	1	1	0	0.00	1	370	10	0
	2	1	0	0.00	1	370	10	0

- **Determinación de la red de trabajo para los análisis**

A partir de los resultados obtenidos con las dos redes, se estableció que para los análisis estadísticos solo se trabajaría con los resultados de una de ellas, por ello se aplicó un análisis donde se comparó la densidad y la riqueza obtenidas con cada una de las redes, lo que permitió comparar cuál era la red de trabajo que representaba mejor la riqueza y diversidad de los organismos y de esta manera utilizar los datos para realizar los posteriores análisis.

Al realizar el análisis univariado se observa que los datos de riqueza se ajustan a una distribución normal (Tabla 4.10), mientras que los de densidad se comportan como una distribución asimétrica (Tabla 4.11); para la comparación de las muestras tanto de riqueza como de diversidad fueron utilizados los diagramas de cajas de bigotes (Figura 4.10 y Figura 4.11), la red de 39 es la que se aproxima más a una distribución normal tanto en las medianas como en la media de los datos y es donde se observan los datos de riqueza más altos.

Al comparar las densidades de organismos por mililitro de muestras en las dos gráficas, se puede observar una similitud entre ambas redes, sin embargo la de 39 μm es más consistente con los datos y es la que presenta menos datos anómalos.

Tabla 4.10. Resumen Estadístico de riqueza

Variables	Riqueza -180	Riqueza 39
Recuento	107	94
Promedio	1,38	1,47
Mediana	1,0	1,0
Desviación Estándar	1,44	1,56
Coefficiente de Variación	104,46%	105,76%
Mínimo	0	0
Máximo	4,0	5,0
Rango	4,0	5,0
Sesgo Estandarizado	2,21	2,88
Curtosis Estandarizada	-2,20	-1,00

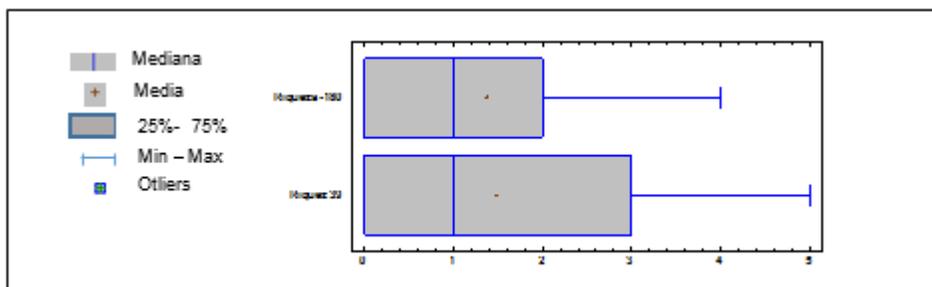


Figura 4.10. Diagrama de cajas y bigotes para la riqueza

Tabla 4.11. Resumen Estadístico de densidad

Variables	Densidad 180	Densidad 39
Recuento	107	94
Promedio	2.228,0	4.654,82
Mediana	59,06	488,28
Desviación Estándar	6.868.22	13.487.0
Coefficiente de Variación	308,268%	289,743%

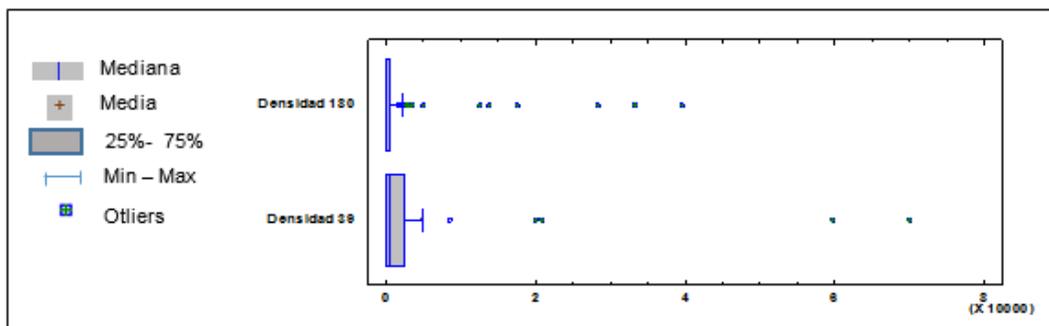


Figura 4.11. Diagrama de cajas y bigotes para la densidad

Luego de analizar estos dos componentes se decidió que los demás análisis estadísticos se realizarían teniendo en cuenta los datos obtenidos con la red de 39 μm .

4.4.1 Definición de los grupos de organismos para los análisis

Dentro de la literatura existe una manera de clasificar los grupos de organismos que se encuentran dentro de los acuíferos, esta categoría se basa en el ciclo de vida de éstos (Hancock et al., 2005 y Menció et al., 2014), para llevar a cabo la investigación se asignó un color a cada categoría con el fin de representarlo con mayor facilidad. Además de las categorías reportadas en la literatura, se identificaron otros organismos aun no clasificados en los catálogos de estigofauna, por lo que se añadió una categoría (Tabla 4.12).

Tabla 4.12. Clasificación de los organismos según la literatura

Clasificación de los organismos según su ciclo de vida	Color asignado
Estigógenos: organismos que no tienen afinidad con el agua subterránea, ocurren accidentalmente, por escorrentía del agua superficial.	Rojo
Estigófilos: amplia gama de hábitats tanto en las aguas subterráneas como en medios acuáticos superficiales, parte del ciclo vital en el agua subterránea.	Verde
Estigobióntes: los habitantes estrictamente adaptados morfológica, fisiológica y metabólicamente a las aguas subterráneas.	Naranja
Sin clasificar por la literatura: son organismos que aún no han sido clasificados por la literatura en ninguna de las tres categorías debido a que son organismos más pequeños; pero que por sus características morfológicas podrían ser considerados para formar parte de la categoría de estigófilos.	Amarillo

Dada la ausencia de estigobióntes en las muestras analizadas, la evaluación de la relación con la calidad del agua se realizó teniendo en cuenta los organismos identificados como estigófilos. No se consideraron los estigógenos ya que su presencia puede ser accidental, tampoco se consideraron los organismos sin clasificar.

En la Tabla 4.13, en la Figura 4.12 y la Figura 4.13 se identifican los hallazgos en cada captación y en cada muestreo, bien sea el realizado en noviembre de 2015 (época húmeda) o el llevado a cabo en la temporada El Niño (marzo de 2016).

Tabla 4.13. Organismos encontrados en los dos periodos de muestreo en los cinco aljibes

Orden	Aljibe1 nov de 2015	Aljibe1 mar de 2016	Aljibe2 nov de 2015	Aljibe2 mar de 2016	Aljibe3 nov de 2015	Aljibe3 mar de 2016	Aljibe4 nov de 2015	Aljibe4 mar de 2016	Aljibe5 nov de 2015	Aljibe 5 mar de 2016
Nematodo					X				X	
Ostrácodo	X	X								
Copépodo					X		X			
Cladóceros								X		
Rotífero	X				X		X	X	X	X
Ameba					X	X	X	X	X	X
Algas					X	X	X	X		

Orden	Aljibe1 nov de 2015	Aljibe1 mar de 2016	Aljibe2 nov de 2015	Aljibe2 mar de 2016	Aljibe3 nov de 2015	Aljibe3 mar de 2016	Aljibe4 nov de 2015	Aljibe4 mar de 2016	Aljibe5 nov de 2015	Aljibe 5 mar de 2016
Larvas de Maroinvertebrados							X	X	X	

Como se observa en la Tabla 4.13 para los dos periodos de muestreo se detectó la presencia de organismos en la mayoría de los aljibes, excepto para el aljibe 02. La composición de taxa no es muy variada en cada aljibe, sin embargo organismos no clasificados en la categoría de estigofauna como rotíferos, amebas y algas, se hicieron presentes a partir del aljibe 03, en el sentido del flujo, durante los dos periodos de muestreo. Para los organismos catalogados como estigofilos se detecta la presencia de ostrácodos para los dos periodos de muestreo solo en el punto 01, mientras que copépodos y nematodos solo se registraron a partir del punto 03, en el sentido del flujo, en la época húmeda. Para la temporada seca de El Niño, se registró la ocurrencia de cladóceros en el aljibe 04.

La Figura 4.12 y la Figura 4.13 dan cuenta de la distribución de los organismos estigofilos en cada captación durante los dos periodos de muestreo, según la descripción dada a partir de la tabla 4.13; finalmente la Figura 4.14 muestra los porcentajes de la distribución de los estigofilos en los dos periodos de muestreo.

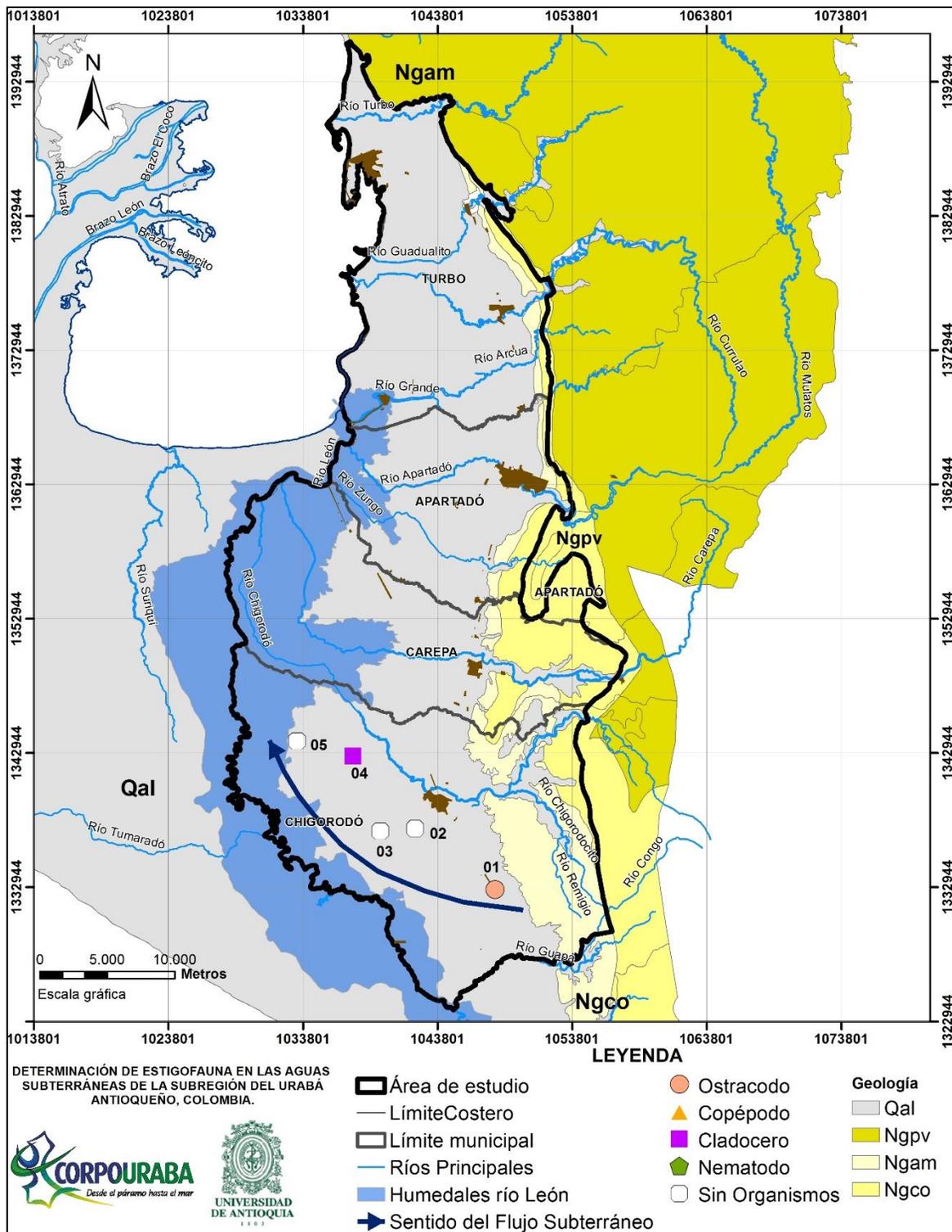


Figura 4.13. Distribución de los organismos estigófilos en el mes de marzo de 2016

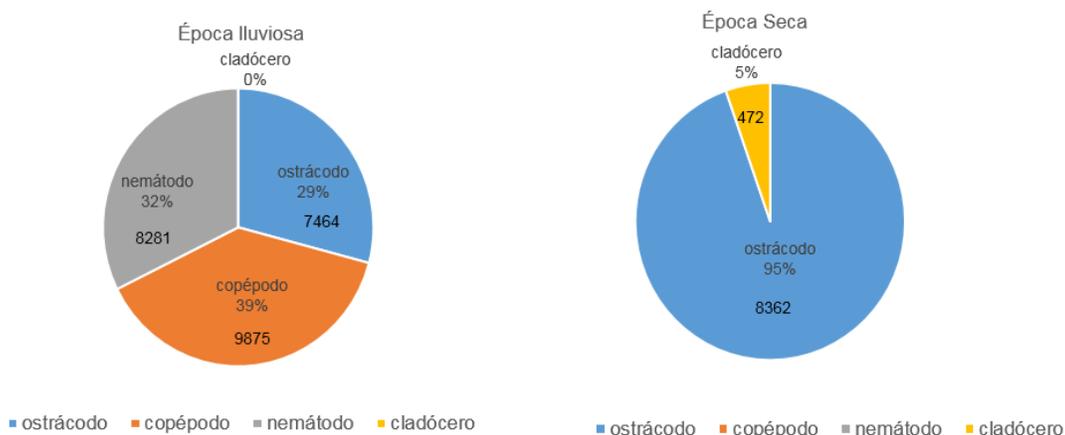


Figura 4.14 Distribución de las taxa en los periodos de muestreos

Cada número y porcentaje, corresponden a la suma de organismos de cada grupo de todos los aljibes en cada época; para ambos periodos de muestreo se presentan una dominancia de géneros, en el primer muestreo correspondiente al mes de noviembre, época de lluvia, el género copépodo, es el que presenta el valor más alto de la dominancia con un 39%, mientras que para el segundo muestreo en el mes de marzo, época seca, la dominancia se da por parte de los ostrácodos con un 95%.

En relación al tipo de sedimento encontrado en cada uno de los aljibes muestreados se detectó una diferencia en cuanto a las características que presentaban los sedimentos, en la Figura 4.15 es posible observar las diferencias, particularmente la relacionada con el aljibe 02.

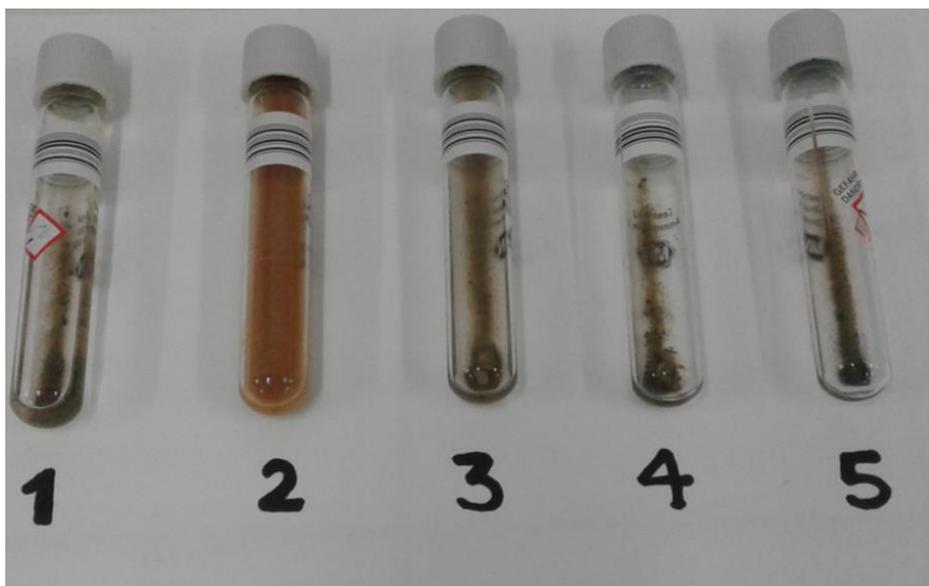


Figura 4.15 Sedimentos de los cinco aljibes muestreados.

En cuanto al componente estadístico, se realizó un análisis de componente de varianza, ya que según el diseño muestral las variables biológicas, densidad y riqueza, podrían estar influenciadas por varios factores entre ellos: muestreo, aljibe y réplica, este análisis se hace con el fin de explorar si es posible establecer alguna relación entre ellos, la prueba distribuye la variabilidad de los datos por componentes asignándole al cambio de la riqueza y la densidad total parte de la varianza a los tres factores seleccionados así que el 100% de la variabilidad está distribuida entre los factores seleccionados, cuando la variabilidad de un factor es mayor del 30% indica que se tiene una alta dependencia con las variables escogidas de esta manera se escogió como variable dependiente la densidad de organismos y la riqueza.

Al realizar el análisis se encontró que el factor que tiene más peso en cuanto a la densidad de organismos está relacionada con la réplica con un porcentaje del 72,16%, como se muestra en la Tabla 4.14, sin embargo a pesar de que la variable réplica es quien tiene más valor en cuanto a la relación con la densidad de organismos, no es un factor tan fundamental puesto que la réplica se hace como una medida de calidad de los datos.

Tabla 4.14. Análisis de Varianza para Densidad total estigofauna

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Comp. Var.	Por ciento
Muestreo	7,73	1	7,73	115,337	2,16
Aljibe	5,26	8	6,58	1,36	25,68
Replica	3,84	10	3,84	3,84	72,16

Para la variable dependiente, riqueza, se detectaron dos factores con valores mayores al 30%, aljibe y réplica con valores de 41,67% y 51,28% respectivamente como se muestra en la Tabla 4.15. Como la variable aljibe mostró más de un 30% fue necesario determinar si los aljibes eran un factor que generaba diferencia en la riqueza, para ello se realizó la prueba de Kruskal-Wallis, donde el valor del estadístico fue de 4,31944 y el valor p fue de 0,364497. Como resultado de esta prueba se encontró que el valor p obtenido es mayor a 0,05 por lo cual no existen diferencias estadísticamente significativas entre la riqueza y los aljibes muestreados, con un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 4.15. Análisis de Varianza para riqueza total estigofauna

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Comp. Var.	Por ciento
Muestreo	0,8	1	0,8	0,0275	7,05
Aljibe	4,2	8	0,525	0,1625	41,67
Replica	2,0	10	0,2	0,2	51,28

Después para tratar de evaluar la variabilidad temporal se realizaron análisis estadísticos que comprendieron varias ANOVAS de una vía no paramétrica, este procedimiento permite describir el impacto de un solo factor sobre una variable dependiente, en particular para esta investigación los factores que se tuvieron en cuenta fueron los muestreos (noviembre y marzo) y los aljibes (01, 02 ,03 ,04 y 05) los cuales se evaluaron para dos variables dependientes: la densidad y la riqueza de estigofauna, también se realizaron pruebas no paramétricas para determinar si hay o no diferencias significativas entre las medianas, por lo que se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis, ésta se aplicó teniendo en cuenta que se tenían

tamaños muestrales bajos; esta prueba agrupa los datos según un rango y calcula un valor de p el cual permite identificar si los factores seleccionados están generando diferencias en las variables seleccionadas, si se tiene valores de $p \leq 0,05$ se dice que hay diferencias significativas, cuando ocurre lo contrario se dice que hay una homogeneidad en los datos y que no existen diferencias. Para visualizar mejor los resultados se usan los diagramas de cajas y bigotes.

El diagrama para la densidad (Figura 4.16) arroja que en el muestreo de noviembre hay mayor densidad de organismos, mientras que en el mes de marzo se presenta un descenso, esto se observa gráficamente en las cajas, en las cuales se ve que son muy asimétricas, se tiene que para el primer muestreo los datos presentan una mejor distribución, ya que en el segundo hay muchos datos por fuera del intervalo de confianza del 95% (anómalos), sin embargo estos datos compensan ambas distribuciones. Para la riqueza (Figura 4.17) se observa que ambas cajas son muy similares, esto se debe a que la riqueza para todos los muestreos fue muy baja y da como resultado diagramas muy similares.

Al realizar las pruebas Kruskal Wallis (Tabla 4.16) para ambas variables se evidencia que no existen diferencias significativas, obteniéndose como resultado que los valores de p para ambas variables presentan valores mayores de 0,05, esto se debe a que para el caso de la densidad los datos anómalos compensaron ambas distribuciones, mientras que para la riqueza los datos fueron similares para ambos muestreos.

Realizando las mismas evaluaciones por aljibe (Figura 4.18, Figura 4.19 y Tabla 4.17) se puede decir que aunque las diferencias no fueron significativas, en el diagrama de la densidad se pueden observar que el aljibe 01 mostró una tendencia muy leve a ser mayor que los otros, mientras que para la riqueza el aljibe 03 fue quien presentó los valores más altos, sin embargo al realizar la prueba de Kruskal Wallis para ambas variables, nuevamente se obtiene que los valores de p son mayores de 0,05 lo que indica que no existen diferencias significativas y que las diferencias según la estadística son debidas al azar.

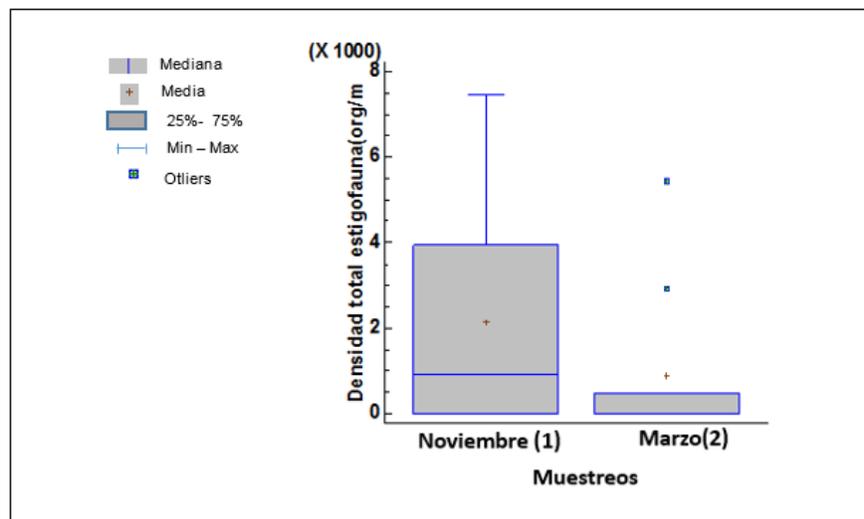


Figura 4.16. Diagrama de cajas y bigotes para la densidad de estigofauna en los dos periodos de muestreo

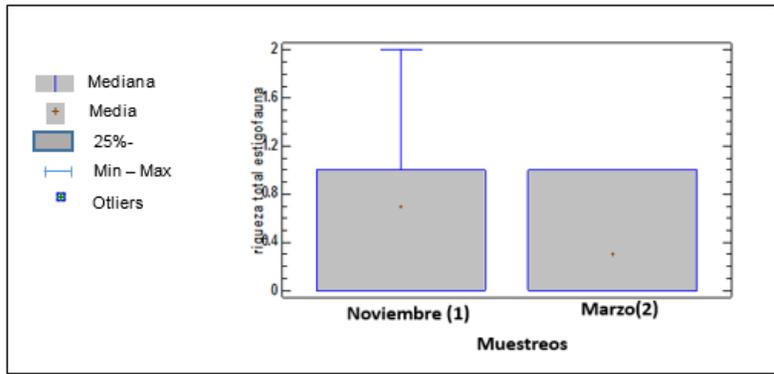


Figura 4.17. Diagrama de cajas y bigotes para la riqueza de estigofauna en los dos periodos de muestreo

Tabla 4.16. Prueba de Kruskal-Wallis para densidad y riqueza total por muestreo

Prueba Kruskal-Wallis	Estadístico	Valor p
Densidad total estigofauna por muestreo	1,75279	0,185523
Riqueza total estigofauna por muestreo	2,01667	0,155577

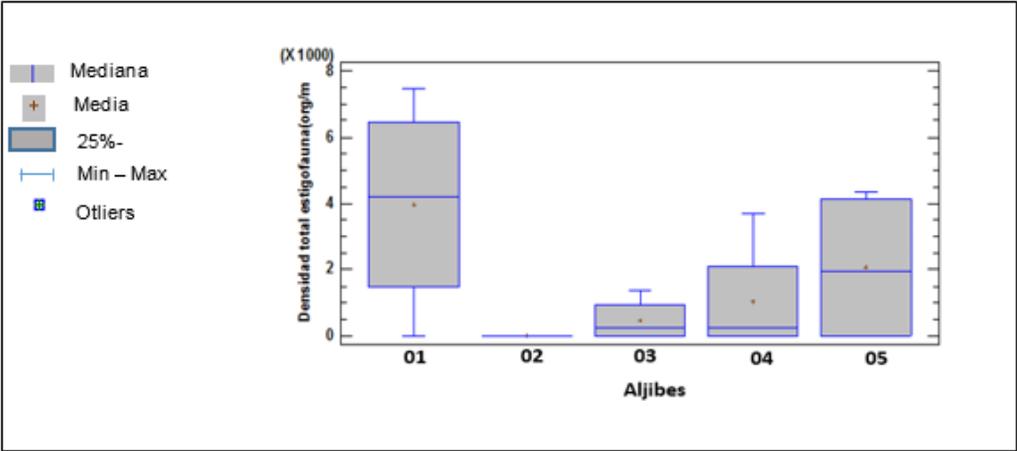


Figura 4.18. Diagrama de cajas y bigotes para la densidad de estigofauna por aljibe

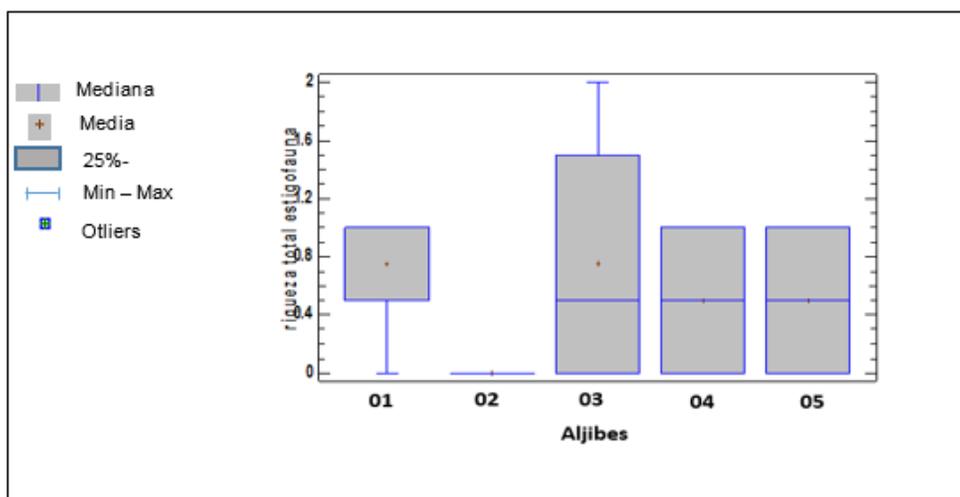


Figura 4.19. Diagrama de cajas y bigotes para la riqueza de estigofauna por aljibe

Tabla 4.17. Prueba de Kruskal-Wallis para densidad y riqueza total por aljibe

Prueba Kruskal-Wallis	Estadístico	Valor p
Prueba de Kruskal-Wallis para Densidad total estigofauna por Aljibe	5,90541	0,206325
Prueba de Kruskal-Wallis para riqueza total estigofauna por Aljibe	4,31944	0,364497

4.5 Correlación de las variables biológicas con la calidad del agua

Puede establecerse que aparentemente existe una relación entre la salinidad del agua y la ocurrencia de organismos de estigofauna, tanto en el tipo de organismos como en la riqueza y densidad. Cuando los STD superan 643 mg/l efectivamente los organismos conocidos como estigofilos no se encontraban en las muestras, mientras que para los aljibes con menos salinidad los aljibes 01 y 03 presentaron el mayor número de organismos relacionados con los estigofilos, además las densidades fueron las mayores para estos dos puntos; aunque la riqueza en todas los muestreos fueron bajas, el aljibe 03 fue el que presentó el mayor número de organismos encontrados.

También se notó que en el mes de marzo los STD aumentaron en comparación al mes de noviembre y se detectó que la densidad y riqueza de organismos de estigofilos disminuyó drásticamente en el mes de marzo, lo que permite dar un indicio de la posible relación de la estigofauna y un gradiente de salinidad.

Este estudio dio resultados satisfactorios en el sentido en que se encontró estigofauna, en cuanto a la aplicación de análisis estadísticos para relacionar estos organismos con variables fisicoquímicas se optó por la aplicación de los análisis multivariados; aun cuando

se creía desde el principio que los resultados podrían ser pobres dado que en la práctica la cantidad de datos era limitada.

En términos estadísticos se buscó una relación entre estigofauna y parámetros de calidad, para esto se realizó un análisis de componentes principales; con este procedimiento lo que se buscaba era agrupar las variables y de esta manera extraer factores comunes de un conjunto de variables que permitan relacionarse entre sí.

Como resultado se obtuvieron siete factores que explicaban la variabilidad de los datos, se encontró que los dos primeros componentes eran los que explicaban más de la mitad de la variabilidad de los datos donde el segundo componente explicó el 61% y el primero el 42% de los datos, en la Tabla 4.18 se presentan las variables de entrada así como el valor de los dos factores obtenidos y sus Eigenvalor, en la Figura 4.20 se presenta la proyección de las variables en el plano factorial.

Tabla 4.18 Valores de los factores usados para el análisis de componentes principales

Variables	Factor 1	Factor 2	Eigenvalor
Profundidad de la captación (Z)	0.069	0.037	13.983
Nivel Estático (N.E)	-0.032	-0.286	6.241
Columna de Agua (C.A)	0.049	0.240	4.403
Temperatura (T c°)	-0.100	-0.217	2.525
Materia Orgánica (M.O (mg/L))	0.252	0.012	2.206
pH in situ	0.205	-0.195	1.512
Conductividad Eléctrica (CE (µs/cm))	0.265	-0.025	1.190
Oxígeno Disuelto (OD(mg/L))	-0.115	-0.201	0.535
Saturación de Oxígeno (S.O (%))	-0.10	-0.239	0.404
Salinidad (SLD (%o))	0.264	-0.022	7.2E-16
Solidos Totales Disueltos (STD (mg/l))	0.265	-0.027	6.36E-16
Alcalinidad Total (Al. T(mg CaCO3/L))	0.253	-0.089	6.22E-16
Bicarbonatos (BiC(mg CaCO3/L))	0.253	-0.089	5.89E-16
Bromuro (Br(mg Br-/L))	0.042	0.123	4.98E-16
Calcio (Ca(mg Ca2+/L))	0.258	0.048	3.94E-16
Cloruros (Cl(mg Cl-/L))	0.206	0.011	3.83E-16
Dureza Total (DT(mg CaCO3/L))	0.262	0.056	2.59E-16
Magnesio (Mg(mg Mg2+/L))	0.265	-0.043	1.78E-16
Hierro (Fe (mg Fe/L))	-0.014	-0.148	1.59E-16
Manganeso(Mn(mg Mn/L))	0.030	-0.294	4.96E-17
Fluoruros (FI(mg FI- /L))	0.042	-0.358	7.39E-18
Nitrógeno amoniacal (NH4(mg NH4 -N/L))	0.257	0.075	0
Ortofosfatos (PO4(mg PO4 -P /L))	-0.059	0.131	0
Nitritos (NO2(mg NO2- N/L))	-0.056	0.133	0
Nitratos (NO3(mg NO3- -N/L))	0.137	0.220	0
Sodio (Na(mg Na+/L))	0.251	-0.124	0
Potasio (K(mg K+/L))	0.193	-0.247	0
Silicio (Si(mg/l))	0.168	0.132	0
Mercurio (Hg(mg/L))	0.129	-0.212	0
Aluminio (Al(mgAl/L))	0.049	0.288	0
Sulfatos (SO4mg SO4-- /L)	0.138	0.244	0
Densidad total estigofauna (D.T.E org/ml))	0.061	0.164	0
Riqueza total estigofauna (R.T.E)	0.017	0.042	0

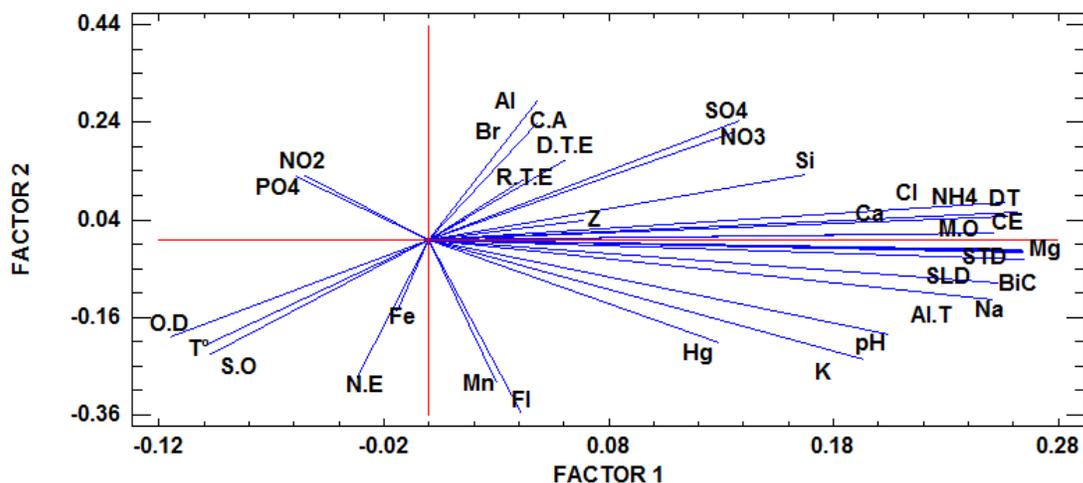


Figura 4.20. Gráfica de la proyección de las variables en el plano factorial

En la Figura 4.20 se observan tres agrupaciones de variables se puede ver que donde se ubican los vectores de la densidad y la riqueza están otras variables como nitritos, sulfatos, aluminio y bromuros, las cuales no tiene una relación directa con el comportamiento de la densidad y la riqueza, pero se posicionan en ese mismo cuadrante armando un grupo con esas variables, además se detectó una correlación inversa entre la temperatura y el oxígeno con las variables biológicas, tal y como se observa también en la gráfica y en la Tabla 4.18, donde los valores del oxígeno son positivos mientras que los valores de los parámetros biológicos son negativos. Luego con el fin de entender si existían relaciones significativas entre las variables fisicoquímicas y biológicas se hizo un análisis de correspondencia canónica, este análisis mostró que las correlaciones no eran significativas por lo que no se incluyeron dentro de esta investigación.

4.6 Relación de la estigofauna con la variación hidrológica entre dos periodos de muestreo

El clima de la región de Urabá está determinado por su ubicación en Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la cercanía al mar Caribe y el denominado Chorro del Chocó. Posee una precipitación media anual que oscila en sentido norte-sur entre 2.100 mm/año y 3.800 mm/año, además existe una temporada húmeda entre abril y noviembre y una temporada seca entre diciembre y marzo.

Conociendo el comportamiento de oscilación estacional de la lluvia en Urabá, los dos muestreos realizados en esta investigación se enmarcaron en dos salidas de campo, la primera realizada del 16 al 21 de noviembre de 2015 correspondiente al periodo de lluvias y la segunda del 1 al 3 de marzo de 2016 correspondiente al periodo seco; en esta ocasión las condiciones secas fueron excepcionalmente intensas al estar circunscritas dentro de un periodo El Niño. Estos muestreos se hicieron con el fin de determinar si los periodos hidrológicos eran un factor determinante para la presencia de estos organismos.

Como era de esperarse, la variación en las lluvias generó cambios en las condiciones de almacenamiento de agua subterránea, las cuales se vieron reflejadas en un descenso del nivel piezométrico. A continuación se presentan las variaciones en la columna de agua para los cinco aljibes seleccionados en las dos épocas muestreadas (Figura 4.21) La sigla C.A.N representa la altura de la columna de agua en noviembre de 2015 y la sigla C.A.M la altura de la columna de agua en marzo de 2016. El valor señalado como z corresponde a la profundidad total de la captación. Además la magnitud de la disminución de nivel del último periodo se evidencia en la composición de la Figura 4.22.

En la Figura 4.21 se presentan las variación de los niveles en la columna de agua para los dos muestreos, se observa que para el mes de noviembre, época lluviosa los valores de la columna de agua en los aljibes oscilan entre 2,08 metros y 4,94 metros, mientras que para el mes de marzo época seca la columna de agua en los aljibe desciende y llega a valores entre 0,38 metros y 2,67 metros.

La Figura 4.22 representa los dos periodos hidrológicos de muestreo de la investigación, la imagen de la izquierda refleja el mes de noviembre de 2015 que corresponde a un periodo de lluvias, en la imagen derecha se observa el mismo aljibe con un descenso en el nivel influenciado por el fenómeno El Niño, dicha imagen fue tomada en marzo de 2016

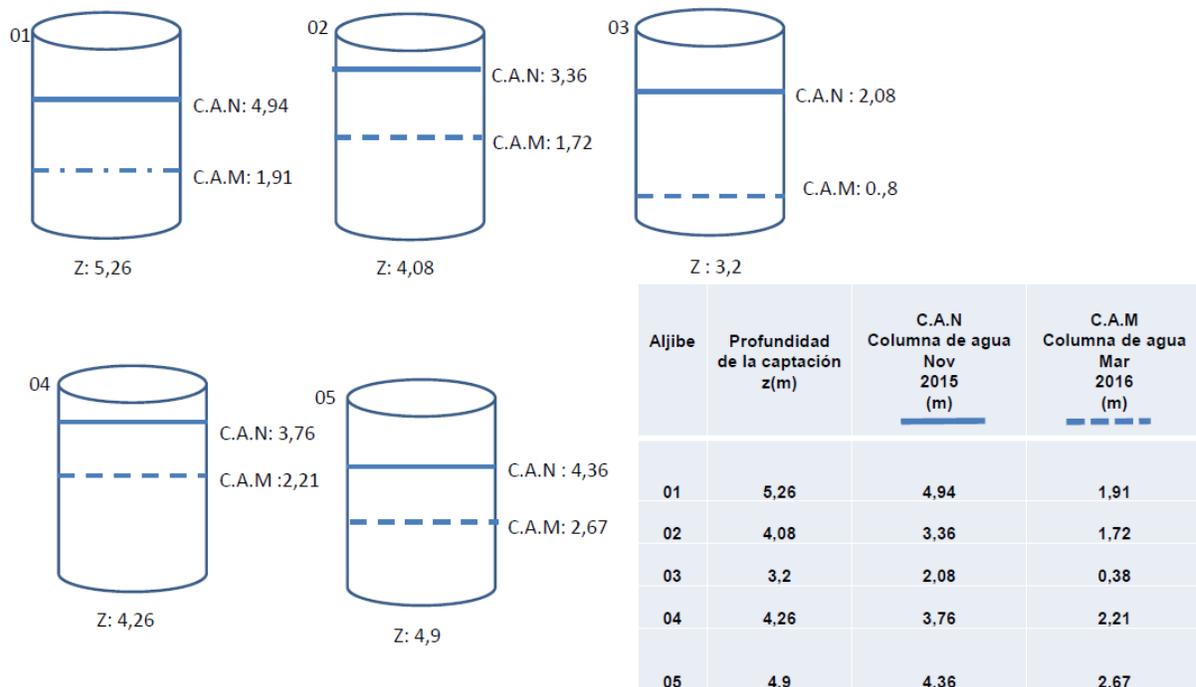


Figura 4.21. Relaciones en la columna de agua durante los dos periodos de muestreo.



Figura 4.22. Variación de agua en los aljibes muestreados
Fuente: Universidad de Antioquia & CORPOURABA, 2016^a

4.7 Discusión

Para cerrar el capítulo de resultados se presentan la discusión y los aspectos más relevantes en términos de los hallazgos y las posibilidades que se abren para realizar nuevas investigaciones en el tema de estigofauna.

Este estudio tuvo una escala espacial de dimensiones locales, ello en coherencia con lo que era el objetivo general del proyecto, el cual estaba dirigido a explorar la presencia de estigofauna en un sistema acuífero, indagando y adecuando materiales y métodos sobre los cuales no existían experiencias anteriores en Colombia. En este sentido los puntos seleccionados para la toma de muestras corresponden a lugares relacionados con los niveles más someros del acuífero multicapa, donde predominan aquellas captaciones tipo aljibe, pero es válido preguntarse qué puede ocurrir en los niveles más profundos de este acuífero ¿será posible la presencia de estos organismos?. Se puede presumir que es posible su hallazgo gracias a sus adaptaciones, las cuales son superiores a las de otras especies; como lo mencionan Danielopol et al., (2003); Hancock et al., (2005) y Hooper et al., (2005), por ello valdría la pena ampliar la red de muestreo biológica empleada en la investigación, donde se incluyan puntos que estén relacionados con las capas más profundas de este acuífero y que comprendan otras líneas de flujo seleccionadas.

La red biológica se plantea teniendo presente la dirección de flujo del agua subterránea (Este -oeste), además comprendiendo la importancia de abarcar toda la zona de estudio se sugieren tres líneas de flujo una al sur (Línea Chigorodó), una media (Línea Apartado) y una al norte (Línea Turbo). En relación al número de sitios (aljibes y pozos) que conformarían la nueva red biológica, un tamaño muestral mayor permitiría quizá encontrar unas tendencias de correlación entre las variables fisicoquímicas y bióticas, finalmente conociendo y teniendo en cuenta la variabilidad climática presente en la región es importante que el marco muestral se inscriba dentro de esa variabilidad hidrológica contemplando las épocas de sequía, lluvia así como sus transiciones los puntos seleccionados se presentan en la Tabla 4.19 y el mapa en la Figura 4.23.

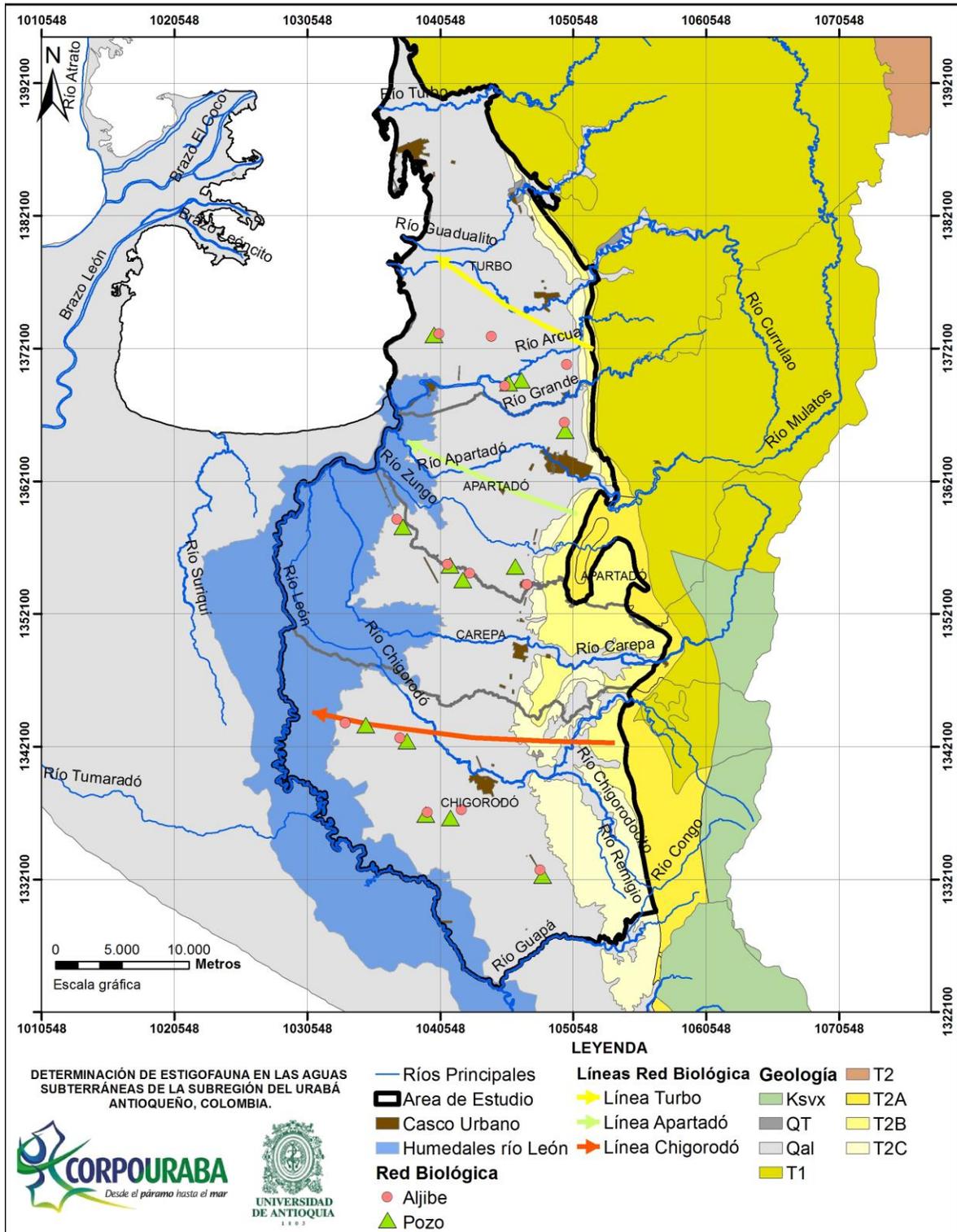


Figura 4.23. Puntos de la nueva red de muestreo biológica propuesta

Tabla 4.19. Descripción de los puntos pertenecientes a la nueva red de muestreo biológica propuesta

Código	Nombre	N	W	Observaciones	Tipo
ARCAL 7016	Finca Mari Luna	7° 58'14,5"	76° 43' 38,6"	Línea de flujo Turbo	Aljibe
ARCAL 7016	Finca Villa Dolly	7° 58'7,9"	76° 40' 30,0"	Línea de flujo Turbo	Aljibe
ARCAL 7016	Finca Petra	7° 58'59"	76° 37' 25,1"	Línea de flujo Turbo	Aljibe
ARCAL 7016	Nicuro	7° 56'7,2"	76° 40' 56"	Línea de flujo Turbo	Aljibe
ARCAL 7016	Bajo el Oso	7° 54'36,6"	76° 37' 30,3"	Línea de flujo Turbo	Aljibe
363	Finca La Revancha	7° 56'20,1"	76° 39' 16,5"	Línea de flujo Turbo	Pozo
503	Finca Dunas	7° 56'13"	76° 39' 47,5"	Línea de flujo Turbo	Pozo
121	Finca Carmen Alicia	7° 54'16,5"	76° 37' 28,3"	Línea de flujo Turbo	Pozo
PzC-08a	Colegio La Teca	7° 58' 12"	76° 42' 50,3"	Línea de flujo Turbo	Pozo
ARCAL 7016	Parador Johnson EDS	7° 48' 9"	76° 42' 10,1"	Línea de flujo Apartadó-cercanía al humedal	Aljibe
ARCAL 7016	Julio Cesar Hurtado	7° 48' 49"	76° 42' 16,6"	Línea de flujo Apartadó	Aljibe
ARCAL 7016	Finca Araguatos I	7° 48' 27,3"	76° 41' 23,4"	Línea de flujo Apartadó	Aljibe
ARCAL 7016	Barrio El Bosques	7° 47' 59,5"	76° 39' 3,1"	Línea de flujo Apartadó	Aljibe
70	Finca San Francisco	7° 50' 21,1"	76° 44' 7,5"	Línea de flujo Apartadó	Pozo
313	Acueducto Veredal Vijagual	7° 48' 46"	76° 42' 11,6"	Línea de flujo Apartadó	Pozo
Red 028	Finca La Tinaja Pozo 1	7° 48' 10,6"	76° 41' 39,8"	Línea de flujo Apartadó	Pozo
Red 027	Finca Santillana pozo I	7° 48' 43,2"	76° 39' 30,1"	Línea de flujo Apartadó	Pozo
ARCAL 7016	Centro Educativo Rural Manuel Gómez	7° 36'18,5"	76° 38' 31,2"	Línea de flujo Chigorodó	Aljibe
ARCAL 7016	Vereda Champitas	7° 38' 46,6"	76° 41' 44,1"	Línea de flujo Chigorodó	Aljibe
ARCAL 7016	Finca El Encanto	7° 38' 40,8"	76° 43' 8,3"	Línea de flujo Chigorodó	Aljibe
ARCAL 7016	Iglesia Evangélica Las Guacas	7° 41' 42,6"	76° 44' 14,4"	Línea de flujo Chigorodó	Aljibe
ARCAL 7016	Finca Mosquerita	7° 42' 19,2"	76° 46' 29,9"	Línea de flujo Chigorodó-cercanía al humedal	Aljibe
20	Finca Estadero Pozo 1	7° 42' 14,5"	76° 45' 38,8"	Línea de flujo Chigorodó	Pozo
249	Finca El Bizcocho	7° 41' 34,7"	76° 43' 57,4"	Línea de flujo Chigorodó	Pozo
223	Finca Los Andes	7° 38' 35,1"	76° 43' 12,1"	Línea de flujo Chigorodó	Pozo
438	Finca Barajas	7° 38' 26,8"	76° 42' 10,9"	Línea de flujo Chigorodó	Pozo
456	Hacienda La Gitana	7° 38' 24,9"	76° 36' 5,3"	Línea de flujo Chigorodó	Pozo

Respecto a los organismos encontrados, como ya se ha mencionado, algunos de ellos se encuentran clasificados en la literatura como estigofauna; esta definición, se basa principalmente en organismos detectados en acuíferos kársticos, donde su clasificación generalmente está relacionada con formas de vida de tamaños superiores, en el cual su desarrollo es distinto y por ende su adaptación; sin embargo teniendo en cuenta que esta investigación se realizó en acuíferos aluviales, es posible que los tipos de adaptación de los organismos y su vinculación al acuífero sean diferentes, encontrándose otros tipos de organismos que no entraron en la clasificación, la característica que tienen estos organismos no clasificados está relacionada con su tamaño, puesto que los estigófilos que entraron en el sistema de clasificación presentaron un tamaño promedio de 1,23 mm mientras que aquellos organismos que no entraron, tenían tamaños promedios de 0,11 mm

a 0,22 mm. Es importante entonces considerar y tener en cuenta aquellos organismos más pequeños detectados como son las amebas y los rotíferos, los cuales pueden aportar información importante de los aljibes en cuanto a la calidad del agua (Iannacone & Alvaríño, 2007; Campaña et al., 2009; Perbiche et al., 2013; Ludeña & Rojas, 2014 y Morales & Castro, 2015). Se propone, que estas formas de vida hagan parte de una categoría denominada la microestigofauna, ya que gracias a sus capacidades lograron permanecer en este medio cumpliendo con sus ciclos de vida y constituyendo parte fundamental de este sistema.

Un caso particular encontrado en esta investigación, está relacionado con el hallazgo de algas perifíticas, esta comunidad de microorganismos, son seres autotróficos, por ende tampoco entran en la categoría asignada por la literatura a los ecosistemas subterráneos, porque su fuente de obtención de energía es diferente y no hacen parte del componente animal que la literatura considera como estigofauna, se plantea entonces que las algas pueden hacer parte de una nueva categoría denominada como estigoflora. La posible presencia de estas comunidades, guarda relación a dos explicaciones; la primera con la entrada de luz a las captaciones, puesto que los aljibes muestreados no se encontraban cubiertos, lo que permitía el acceso de una fuente lumínica, factor que habría propiciado el florecimiento de éstas. La segunda posibilidad estaría relacionada con la existencia de especies mixótrofas como son algunas diatomeas que pueden modificar su metabolismo para sobrevivir sin necesidad de una fuente de luz (Drakare, 2002), las características que tienen estos organismos son las de ser proveedores de oxígeno y también fuente de alimentación para los organismos como la estigofauna.

En cuanto a la relación entre la estigofauna y las características fisicoquímicas del agua subterránea de los niveles someros del acuífero de Urabá, hay que destacar que el principio del que se partió estaba contemplado en la hipótesis según la cual, los gradientes de salinidad condicionaban la ocurrencia de estigofauna (Shapouri et al., 2015), por ello uno de los aspectos para la selección de los puntos, estuvo relacionado con monitorear aljibes en los que se visualizara un gradiente de salinidad. En las investigaciones de Kelly et al., (2007); Barrett, (2009) y Korbelt et al., (2013a), se ha indicado que los niveles de conductividad entre los que se ha detectado la presencia de la estigofauna van entre 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; de otra parte Shapouri et al., (2015), ha indicado que niveles muy altos del orden de 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ conllevan a su desaparición; en el caso de esta investigación el punto que presentó los valores más elevados tanto de SDT como de conductividad eléctrica, fue el aljibe 05, con valores de 643 STD y 1.355 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, en este punto se logró notar una disminución de la densidad y la riqueza; cabe señalar que los rangos de concentración de sales no fueron tan altos como se reportan en la literatura como condicionantes de la desaparición de la estigofauna.

A partir del análisis de componentes principales, se detectaron agrupaciones entre el componente biológico y variables fisicoquímicas como: nitritos, sulfatos, aluminio y bromuros, además de una correlación inversa entre la temperatura y el oxígeno, sin embargo las correlaciones entre las variables fisicoquímicas y biológicas no fueron estadísticamente significativas; la no correlación estadística, no obstante, no indica que no haya relación entre ellos, esto se afirma apoyado en la investigación de Dole-Olivier et al., (2005) quien tampoco encontró correlaciones entre las variables fisicoquímicas y las biológicas; además autores como Moustaine et al., (2014), apoyan la idea de que los cambios en la estigofauna ya sean negativos o positivos, están influenciados por algunas variables fisicoquímicas como: la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto, la temperatura y el pH, ya que todas ellas pueden cambiar las condiciones en el hábitat disponible y de esta manera afectar a las comunidades de estigofauna. A este respecto, se

debe recordar que en este caso de estudio solo se hicieron dos muestreos puntuales, en cinco puntos, durante dos momentos hidrológicos diferentes; probablemente si se implementa un monitoreo continuo y se amplía la escala de trabajo, como se recomendó anteriormente, se alcancen a recopilar suficientes datos para efectuar un análisis de componentes que proporcione resultados estadísticos más contundentes.

Acerca del cómo y el por qué, los organismos encontrados pueden haber llegado al agua subterránea surgen diferentes preguntas; en esta investigación no se encontraron organismos estigobióntes, los órdenes hallados, corresponden a organismos estigófilos, los cuales pueden cumplir parte de su ciclo en el agua subterránea, pero que también pueden encontrarse en los medios hiporreicos de los ecosistemas superficiales. Las hipótesis acerca de cómo estos organismos logran migrar a los acuíferos, están relacionadas con las múltiples vías de acceso al sistema, entre ellas el transporte a través de especies de mayor tamaño, donde los huevos de aquellos organismos relacionados con la estigofauna son llevados por aves en sus patas y alas desde las aguas superficiales y que llegan a los aljibes, logrando adaptarse de tal manera que sus siguientes generaciones logran prevalecer en este medio subterráneo; otra hipótesis es por escorrentía superficial, en donde de manera indirecta ingresan al acuífero y se adaptan; la última hipótesis está relacionada con factores de conectividad entre los ecosistemas superficiales (ambientes hiporreicos) y subterráneos, a través de los poros; en la zona de estudio esta podría ser la más válida, teniendo en cuenta que las capas más superficiales del acuífero multicapa se encuentran ubicados en depósitos aluviales los cuales por sus características poseen depósitos de gravas y arenas con porosidades aproximadas del 10 al 30%, lo que puede permitir una interacción entre el acuífero y los sistemas de aguas superficiales cercanos como charcas y riachuelos, donde se pueda dar la migración de los organismos desde la superficie hacia el acuífero y viceversa.

Con base en los resultados de esta investigación la distribución de la biota fue homogénea, según Danielopol, (1989); Strayer, (1994); Palmer et al., (1997); y Dumas, (2002), estos hallazgos son comunes en los estudios de aguas subterráneas puesto que existen muchos factores que influyen las distribuciones de este tipo de organismos en los acuíferos, sumado a que cada orden, en particular cada especie posee una preferencia de hábitat única. Lo que si parecía influenciar la presencia de estos organismos fueron los sedimentos y la estructura de la matriz de sedimento en cada punto muestreado, lo que guarda relación con lo expuesto por Korb et al., (2013b); Menció et al., (2014) y Dole-Olivier et al., (2005) quienes detectaron una fuerte correlación de la presencia de estos organismos con la geología del sustrato, esto concuerda con lo detectado en este estudio, ya que se hallaron organismos en cuatro de los cinco aljibes (01, 03, 04 y 05), en tanto en el aljibe 02 no se detectó presencia de organismos en ninguno de los dos muestreos realizados en la investigación, la ausencia de organismos en el aljibe 02, puede relacionarse con el tipo de sustrato asociado al lugar, y que corresponde a material tipo arcillas, a diferencia de los demás puntos, en los que la textura correspondía a partículas de arenas y grava fina. Según autores como Rouch, (1988); Hahn, (2006); Galassi et al., (2009); Martin et al., (2009); Dole-Olivier et al., (2009), la presencia y diversidad de los organismos están relacionados con acuíferos de formaciones geológicas más permeables con agua bien oxigenada y buenos espacios de poros, los cuales favorecen el intercambio de agua con la superficie, permitiendo el ingreso de la estigofauna al acuífero. También es importante considerar la relación con la concentración de oxígeno disuelto y tipo de sustrato, donde se asocian gravas a aguas oxigenadas por las conexiones hidrológicas con ambientes superficiales, mientras que las arcillas se asocian con aguas poco oxigenadas debido a conexiones débiles con agua oxigenada de la superficie, lo que concuerda con las medidas tomadas en el estudio para el aljibe 02, donde las concentraciones de oxígeno disuelto para los dos

periodos presentaron los valores más bajos, en el orden de 1,9 mg/L y 2,7 mg/L de oxígeno disuelto en noviembre y marzo respectivamente.

Finalmente, considerando las dos temporadas de muestreo, se detectó la presencia de algunos órdenes en ambos muestreos, como es el caso del orden ostrácodo, otros solo aparecieron en el mes seco como el orden cladócero, mientras que otro como el orden copepodo apareció en la época húmeda pero desapareció para el periodo de marzo, (Figura 4.12 y Figura 4.13).

Quizá la desaparición del orden copepodo en el mes seco, esté relacionado con la migración de éste hacia la superficie, ya que se le conoce por ser un voraz depredador (Galassi & Reid, 2009), por tanto su distribución se ve sometida a la búsqueda de alimento y teniendo en cuenta que en la temporada seca, pueden presentarse disminuciones en el ingreso de nutrientes al aljibe ya sea por recarga directa o por flujos regionales, el organismo se ve forzado a desplazarse a lugares donde pueda encontrar mayor concentración de alimento y lo hace migrando hacia el medio superficial; este orden posee una característica morfológica, una cola bifurcada, la cual le permite desplazarse rápidamente por la columna de agua y los poros, como se observa en la Figura 4.24 (Marten & Nguyen, 1994 y Suárez, 2000).

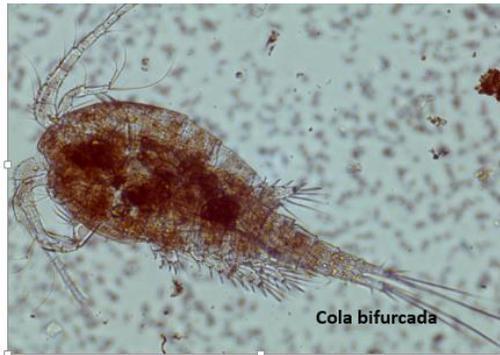


Figura 4.24. Estructura taxonómica del orden copépodo

En relación al organismo que predominó en ambos muestreos, ostrácodo, corresponde a un género más pequeño, el cual generalmente se sitúa en medio sedimentarios, ya que son especies saprófagos y pueden permanecer en los sedimentos donde adquieren su alimento a partir de la descomposición de la materia orgánica, además este género posee un desplazamiento lento en comparación con los copépodos, puesto que los ostrácodos poseen dos valvas mineralizadas que protegen sus partes blandas por lo que su movimiento se restringe a los apéndices en forma de garra que éste posee haciéndolo más lento como se observa en la Figura 4.25 (Mora, 1997 y Galassi et al., 2009), además se resalta que son organismos que abarcan amplios rangos en las características fisicoquímicas de las aguas (Reeves et al., 2007); por las características mencionadas anteriormente, se cree que fue posible su prevalencia para los dos periodos en los que se encontraron.

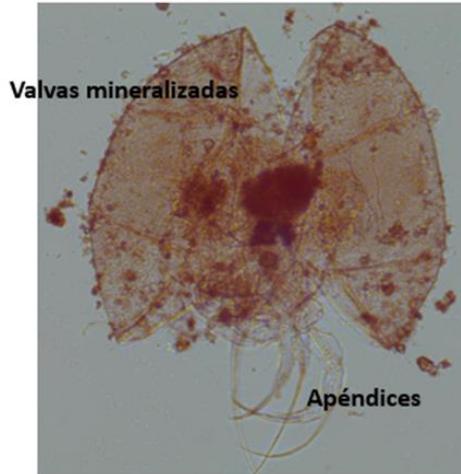


Figura 4.25. Estructura taxonómica del orden ostrácodo

5 CONCLUSIONES

Mediante este estudio fue posible determinar la presencia de estigofauna en el sistema hidrogeológico del Urabá antioqueño; la identificación por orden de organismos clasificados como estigofilos (ostrácodos, copépodos y nematodos) y otros, que aun cuando no se les asigna la condición de estigofauna corresponden a organismos de menor tamaño aun no categorizados (amebas y rotíferos); así como nuevas formas de vida que podrían entrar en una nueva clasificación denominada estigoflora (algas).

Los dispositivos construidos y empleados para la obtención de estigofauna, además de los protocolos para su captura y preservación fueron adecuados y exitosos. Esto permitió la caracterización de los organismos a partir de análisis de laboratorio, con los cuales fue posible obtener una primera visión acerca de los diferentes grupos de organismos asociados al sistema acuífero de la subregión del Urabá antioqueño. Con esto se puede trazar un nuevo rumbo dentro de ese mundo invisible subterráneo, un panorama biológico que puede brindar un nuevo enfoque dentro de la visión hidrogeológica, las cuales no pueden desligarse puesto que este recurso hídrico subterráneo debe conocerse desde el mayor número de enfoques posibles, para permitir una mejor gestión de este recurso.

En cuanto a la distribución y abundancia de los organismos según parámetros espaciales, fue posible encontrar diferencias cualitativas en la abundancia de los organismos en los muestreos de los cinco aljibes monitoreados. Se recomienda que para tener mayor claridad, deben ser realizados muestreos en periodos más prolongados en el que se considere un año hidrológico completo, donde sea posible monitorear mensualmente los cambios en estos organismos, y poder identificar si esas variaciones hidroclimáticas realmente los afecta, sin embargo los resultados obtenidos sirvieron como un primer acercamiento de la distribución espacio temporal de la estigofauna en la subregión del Urabá antioqueño.

Las encuestas realizados fueron un insumo que se hicieron con el fin de mirar factores que podrían afectar la calidad del agua, entre ellos se destacan animales y productos agroquímicos cerca de las captaciones, el no uso de tapas como elementos de protección, y la extracción de agua por baldeo para satisfacer las necesidades de agua por la falta de acueducto, factores que pueden incidir en la entrada y salida de microorganismos lo que favorecer no solo la presencia de contaminantes sino también permitir la migración de organismos estigofilos y la presencia de otros como son las algas.

Es importante entender que cuando se habla de seres vivos entran a jugar otros elementos que interfieren en el comportamiento de los organismos, los cuales pueden generar variaciones en los ciclos de vida, las conductas alimentarias, los factores evolutivos y la reproducción. Con este trabajo se avanzó en la búsqueda de estos organismos de carácter único; por ser la primera investigación que se inicia en Colombia, cada uno de los hallazgos obtenidos a nivel biológico es de vital importancia y se convierten en la base para futuros estudios con miras al entendimiento biológico y su interacción con los acuíferos. Estos estudios permitirán posicionar el tema de los ecosistemas de aguas subterráneas como tópico fundamental dentro de las políticas de gestión del recurso hídrico subterráneo.

Para el caso de estudio se destaca que en aljibe 02, de sustrato limo arcilloso donde las condiciones de oxígeno fueron las menores no se detectó la presencia de organismos detectados. En cuanto a la relación con el análisis de componentes principales se logró ver una agrupación de variables entre las biológicas y las ambientales, sin embargo realizando análisis estadísticos posteriores como las correlaciones de Spearman y las correlaciones canónicas, no se presentan resultados contundentes para decir que estas variables se relacionan, sin embargo como se propone en la síntesis es necesario implementar una red de monitoreo más extensa que brinden más datos con los cuales se pueda evidenciar que los grupos mostrados con el análisis de componentes principales si guardan relación.

La variación temporal mostró la desaparición del orden copépodos en la temporada seca, tal vez por la migración de estos hacia el agua superficial en búsqueda de alimento; y la prevalencia del orden ostrácodo en los dos muestreos, tal vez por las características morfológicas de éste que le permitieron adaptarse a ambas condiciones hidroclimáticas.

A partir del muestreo biológico realizado, se da un primer paso para la implementación de una red de monitoreo biológica, como la propuesta en el apartado 4.7. Esta red permitirá obtener mejores resultados con los cuales se pueda describir el acuífero desde una perspectiva biológica más amplia, y mayor representatividad de los diferentes organismos que se puedan asociar a todo el sistema acuífero de la sub-región del Urabá antioqueño. Para la red de monitoreo propuesta se recomienda que se realicen nuevos procedimientos, y se construyan nuevos dispositivos y protocolos, debido a que en esta red se incluyen captaciones tipo pozo, las cuales poseen un menor diámetro que las redes implementadas en esta investigación.

Un aporte significativo de esta investigación lo constituye el ser el primer trabajo que se realiza en Colombia con el propósito de tratar de identificar la presencia de estigofauna en un sistema acuífero y buscar relaciones entre especies halladas y calidad. Los resultados alcanzados abren la posibilidad de seguir trabajando en este sentido y fortalecer una línea de investigación emergente y útil en materia ambiental.

6 REFERENCIAS

- Aguirre, N., & Caicedo, O. (2013). Metos de campo y laboratorio para hidrobiología sanitaria, pp. 142. Universidad de Antioquia, Medellín- Colombia.
- Aguirre Nestor j . Jaime A Palacio y Alvaro Wills T. (2004). *Caracterizacion de los principales aspectos fisicobióticos de la microcuenca de la quebrada La Vega, municipio de San Roque, Antioquia.* (univesriddad de A. -CODI, G. D. I. E. G. Y. M. AMBIENTALGaia, R. Pscicola, Corpoica, & universidad N. sede Medellim, Eds.) . Medellín- Colombia, pp 150.
- Alcaldía de Apartado. (2011). Plan de Ordenamiento Territorial para el municipio de Apartado, pp. 155.
- Alcaldía de Carepa. (2011). Plan de Ordenamiento Territorial para el municipio de Carepa, pp. 186.
- Alcaldía de Chigorodo. (2011). Plan de Ordenamineto territorial para el municipio de Chigorodo, pp. 182.
- Alcaldía de Turbo & CORPOURABA. (2011). Plan de Ordenamiento Territorial para el municipio de Turbo, pp. 186.
- Alonso, A., & Camargo, J. A. (2005). Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles, *14*(3), 87–99.
- Barnes, R. (1980). zoología de los invertebrados. In *5 edición Interamericana McGRAW-HILL*, pp. 250.
- Bergkamp, G., & Cross, K. (2006). Groundwater and Ecosystem Services : towards their sustainable use. In *Proceedings of the International Symposium on Groundwater Sustainability (ISGWAS) Alicante, Spain*, pp. 193.
- Bertrand, G., Goldscheider, N., Gobat, J. M., & Hunkeler, D. (2012). Review: From multi-scale conceptualization to a classification system for inland groundwater-dependent ecosystems. *Hydrogeology Journal*, *20*, 5–25.
- Betancur, T. (1996). *Modelamiento de acuíferos utilizando sistemas de informacion geografica para la region de uraba. Universidad Nacional de Colombia. Seccional de Medellín. Facultad de Minas.*
- Bork, J., Berkhoff, S. E., Bork, S., & Hahn, H. J. (2009). Using subsurface metazoan fauna to indicate groundwater–surface water interactions in the Nakdong River floodplain, South Korea. *Hydrogeology*, *17*(1), 61–75.
- Bork, J., Bork, S., Berkhoff, S. E., & Hahn, H. J. (2008). Testing unbaited stygofauna traps for sampling performance. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, *38*(2), 105–115.
- Boulton, A. J. (2000). The subsurface macrofauna. In “Streams and Ground Waters” (Eds J. Jones and P. Mulholland), pp. 337–361.
- Boulton, A. J. (2005). Chances and challenges in the conservation of groundwaters and their dependent ecosystems. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, *15*(4), 319–323.

- Boulton, A. J., Fenwick, G. D., Hancock, P. J., & Harvey, M. S. (2008). Biodiversity, functional roles and ecosystem services of groundwater invertebrates. *Invertebrate Systematics*, 22(2), 103–116.
- Bright J. C., Bidwell V. J., Christina, R., & Ward J. C. (1998). *Environmental Performance Indicators for Groundwater*. Technical paper, No 38, pp. 36.
- Bruno, M. C., Loftus, W. F., & Perry, S. a. (2001). Preliminary data on microcrustacean communities from ground waters in the southern Everglades. *Europe*, (January), pp. 89–97. Bunn S.E., Thoms M.C., Hamilton S.K., Capon S.J. (2006). Flow variability in dryland rivers: boom, bust and the bits in between. *River Res. Appl.* 22:179-186.
- Cafferty, W. . (1981). *Aquatic Entomology*. (J. and B. Publisher, Ed.). Boston. U.S.A, pp 150.
- Camacho, A. I., & Valdecasas, A. G. (2006). Lista de estigofauna conocida en la comunidad de Madrid. *Graellsia*, 62, pp. 105–108.
- Campaña, A., Martínez, L. R., Villarreal, H., Hernández, J., Ezquerro, J. M., & Cortés, E. (2009). Efecto de la adición del rotífero *Brachionus rotundiformis*, sobre la calidad del agua y la producción, en cultivos super-intensivos de camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei*. *Revista de Biología Marina Y Oceanografía*, 44(2), 335–342.
- Castellarini, F., Malard, F., Dole-Olivier, M. J., & Gibert, J. (2007). Modelling the distribution of stygobionts in the Jura Mountains (eastern France). Implications for the protection of ground waters. *Diversity and Distributions*, 13(2), 213–224.
- Coletti, C., Testezlaf, R., Ribeiro, T. A. P., Souza, R. T. G. de, & Pereira, D. de A. (2010). Water quality index using multivariate factorial analysis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*. scielo, 14(5), 517-522.
- Comisión Tripartita y Departamento Nacional de Planeación. (2007). *Plan Estratégico Región Urabá-Darién, Medellín*, pp. 205.
- Danielopol, D. L., Pospisil, P., & Rouch, R. (2000). Biodiversity in groundwater : a large-scale view. *Trends in Ecology & Evolution*, 15(6), 223–224.
- Danielopol, D. L. (1989). Groundwater fauna associated with riverine aquifers. *J. Journal of the North American Benthological Society*, 18–35.
- Danielopol, D. L., Griebler, C., Gunatilaka, A., & Notenboom, J. (2003). Present state and future prospects for groundwater ecosystems. *Environmental Conservation*, 30(2), 104–130.
- Datry, T., Malard, F., & Gibert, J. (2005). Response of invertebrate assemblages to increased groundwater recharge rates in a phreatic aquifer. *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3), 461.
- Deharveng, L., Stoch, F., Gibert, J., Bedos, a., Galassi, D., Zagamajster, M., Marmonier, P. (2009). Groundwater biodiversity in Europe. *Freshwater Biology*, 54(4), 709–726.
- Di Lorenzo, T., Stoch, F., Fiasca, B., Gattone, E., De Laurentiis, P., Ranalli, F., & Galassi, D. M. P. (2005). Environmental quality of deep groundwater in the lessinian massif (Italy): signposts for sustainability. *World Subterranean Biodiversity, Proceedings of an International Symposium*, 115–124.

- Dole-Olivier, M.J., Malard, F., Martin, D., Lefébure, T., & Gibert, J. (2009). Relationships between environmental variables and groundwater biodiversity at the regional scale. *Freshwater Biology*, 54(4), 797–813.
- Drakare, S. (2002). The role of picophytoplankton in lake food webs. Uppsala University, Teknisk-naturvetenskapliga vetenskapsområdet, Faculty of Science and Technology, Biology, Department of Evolutionary Biology, Limnology, pp. 35.
- Dumas, P., Bou, C., & Gibert, J. (2001). Groundwater Macrocrustaceans as Natural Indicators of the Ariège Alluvial Aquifer. *International Review of Hydrobiology*, 86(6), 619–633.
- Dumas, P. (2002). Stability of interstitial crustacean communities in an isolated alluvial aquifer, 63–76.
- Eberhard, S. M., Halse, S. A., & Humphreys, W. F. (2005). Stygofauna in the Pilbara region, north-west Western Australia: A review. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 88(4), 167-176.
- Ferreira, D., Malard, F., & Gibert, J. (2007). Obligate groundwater fauna of France : diversity patterns and conservation implications. *Biodiversity and Conservation*, 16(3), 567–596.
- Figuroa, R., Palma, A., Ruiz, V., & Niell, X. (2007). Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: Río Chillán, VIII Región. *Revista Chilena de Historia Natural*, 80(2), 225–242.
- Galassi, D. M. P., Huys, R., & Reid, J. W. (2009). Diversity, ecology and evolution of groundwater copepods. *Freshwater Biology*, 54(4), 691–708.
- Galassi, D. M. P., Stoch, F., Fiasca, B., & Lorenzo, T. D. I. (2009). Groundwater biodiversity patterns in the Lessinian Massif of northern Italy. *Freshwater Biology*, 54(4), 830–847.
- GEOTEC. (2003). *Geología de los cinturones Sinú-San Jacinto Planchas 1:100.000. 50 Puerto Escondido, 51 Lorica, 59 Mulatos, 60 Canaletes, 61 Montería, 69 Necoclí, 70 San Pedro de Urabá, 71 Planeta Rica, 70 Turbo y 80 Tierra Alta. Bogotá.*
- Gibert, J., Culver, D. C., Dole-Olivier, M. J., Malard, F., Christman, M. C., & Deharveng, L. (2009). Assessing and conserving groundwater biodiversity: synthesis and perspectives. *Freshwater Biology*, 54(4), 930–941.
- Gibert, J., & Culver, D. C. (2009). Assessing and conserving groundwater biodiversity: an introduction. *Freshwater Biology*, 54(4), 639–648.
- Gobernación de Antioquia. (2012). *El Urabá Antioqueño: Un Mar De Oportunidades Y Potencialidades; Perfil subregional*, pp. 142.
- González, A. R. (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú, pp. 39.
- Griebler, C., & Avramov, M. (2015). Groundwater ecosystem services : a review. *Freshwater Science*, 34(1), 355-367.
- Griebler, C., & Lueders, T. (2009). Microbial biodiversity in groundwater ecosystems. *Freshwater Biology*, 54(4), 649–677.
- Griebler, C., Stein, H., Kellermann, C., Berkhoff, S., Brielmann, H., Schmidt, S., Hahn, H. J. (2010). Ecological assessment of groundwater ecosystems – Vision or illusion? *Ecological Engineering*, 36(9), 1174–1190.

- Gutjahr, S., Bork, J., Schmidt, S. I., & Hahn, H. J. (2013). Efficiency of sampling invertebrates in groundwater habitats. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, 43(1), 43–48.
- Gutkowska, A., Paturej, E., & Kowalska, E. (2012). Qualitative and quantitative methods for sampling zooplankton in shallow coastal estuaries. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 12(3), 253–263.
- Hahn, H. J. (2005). Unbaited phreatic traps: A new method of sampling stygofauna. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, 35(4), 248–261.
- Hahn, H. J. (2006). The GW-Fauna-Index: A first approach to a quantitative ecological assessment of groundwater habitats. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, 36(2), 119–137.
- Hahn, H. J. (2008). A proposal for an extended typology of groundwater habitats. *Hydrogeology Journal*, 17(1), 77–81.
- Hahn, H. J., & Matzke, D. (2005). A comparison of stygofauna communities inside and outside groundwater bores. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, 35(2), 31–44.
- Hancock, P. J., & Boulton, A. J. (2009). Sampling groundwater fauna: efficiency of rapid assessment methods tested in bores in eastern Australia. *Freshwater Biology*, 54(4), 902–917.
- Hancock, P. J., Boulton, A. J., & Humphreys, W. F. (2005). Aquifers and hyporheic zones: Towards an ecological understanding of groundwater. *Hydrogeology Journal*, 13(1), 98–111.
- Humphreys, W. F. (2008). Hydrogeology and groundwater ecology: Does each inform the other? *Hydrogeology Journal*, 17(1), 5–21.
- Humphreys, W. (2006). "Groundwater fauna" paper prepared for the 2006 Australian State of the Environment Committee, Department of the Environment and Heritage, Canberra, <<http://www.deh.gov.au/soe/2006/emerging/fauna/index.html>>.
- Iannacone, J., & Alvarino, L. (2007). *Diversidad y abundancia de comunidades zooplanctónicas litorales del humedal Pantanos de Villa, Lima, Perú*. *Gayana (Concepción)*, 71(1), 49-65.
- INGEOMINAS. (1995). *Evaluación del agua subterránea en la región de Urabá, Departamento de Antioquia*. Bogotá.
- IDEAM. (2007). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento del Agua*. Bogotá DC, pp. 60.
- IDEAM. (2013a). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, *Agua Subterráneas en Colombia: Una Visión General*. Bogotá DC, pp. 84.
- IDEAM. (2013b). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua*. Bogotá D.C, pp. 90.
- Kløve, B., Ala-Aho, P., Bertrand, G., Gurdak, J. J., Kupfersberger, H., Kværner, J., Pulido-Velazquez, M. (2013). Climate change impacts on groundwater and dependent ecosystems. *Journal of Hydrology*, 518, 250–266.

- Korbel, K. L., Lim, R. P., & Hose, G. C. (2013a). An inter-catchment comparison of groundwater biota in the cotton-growing region of north-western New South Wales. *Crop and Pasture Science*, 64(12), 1195–1208.
- Korbel, K. L., Hancock, P. J., Serov, P., Lim, R. P., & Hose, G. C. (2013b). Groundwater Ecosystems Vary with Land Use across a Mixed Agricultural Landscape. *Journal of Environmental Quality*, 42(2), 380–90.
- Korbel, K. L., & Hose, G. C. (2010). A tiered framework for assessing groundwater ecosystem health. *Hydrobiologia*, 661(1), 329–349.
- López-Geta, J. A., Fornés, J. M., Ramos, G., & Villarroya, F. (2001). Las aguas subterráneas. Un recurso natural del subsuelo. Instituto Geológico y Minero de España y Fundación Marcelino Botín. Madrid, pp. 94.
- Ludeña Guamán, I. P., & Rojas López, V. D. (2014). Diferencias de las características físicas, químicas y biológicas de dos lagunas de diferente edad y formación, de la Sierra Sur del Ecuador, pp. 47.
- Malard, F., Dole-Olivier, M. J., Mathieu, J., & Stoch, F. (2002). *Malard, F., Dole-Olivier, M. J., Mathieu, J., & Stoch, F. (2002). Sampling manual for the assessment of regional groundwater biodiversity. Protocols for the ASsessment and Conservation of Aquatic Life in the Subsurface (PASCALIS), <http://www.pascalis-pro>.*
- Malard, F., Plenet, S., & Gibert, J. (1996). The use of invertebrates in ground water monitoring: a rising research field. *Groundwater Monitoring & Remediation*, 16(2), 103–113.
- Malard, F., Martin, D., Cnrs, U. M. R., & Hydrosyste, E. (2009). Relationships between environmental variables and groundwater biodiversity at the regional scale, 797–813.
- Marmonier, P., Maazouzi, C., Foulquier, A., Navel, S., François, C., Hervant, F., Piscart, C. (2013). The use of crustaceans as sentinel organisms to evaluate groundwater ecological quality. *Ecological Engineering*, (57), 118–132.
- Marten, G. G., Bordes, E. S., & Nguyen, M. (1994). Use of cyclopoid copepods for mosquito control. In *Ecology and Morphology of Copepods* Springer Netherlands, 491–496.
- Martin, P., De Broyer, C., Fiers, F., Michel, G., Sablon, R., & Wouters, K. (2009). Biodiversity of Belgian groundwater fauna in relation to environmental conditions. *Freshwater Biology*, 54(4), 814–829.
- Maurice, L., & Bloomfield, J. (2012). Stygobitic invertebrates in groundwater : a review from a hydrogeological perspective, 51–71.
- Maurice, L., Robertson, A. R., White, D., Knight, L., Johns, T., & Edwards, F. (2016). The invertebrate ecology of the Chalk aquifer in England (UK). *Hydrogeology Journal*, 24(2), 459–474. <http://doi.org/10.1007/s10040-015-1334-2>
- Menció, A., Korbel, K. L., & Hose, G. C. (2014). River-aquifer interactions and their relationship to stygofauna assemblages: a case study of the Gwydir River alluvial aquifer (New South Wales, Australia). *The Science of the Total Environment*, 479, 292–305.
- Menció, A. (2015). *El uso de la estigofauna como indicadora de la calidad de los ecosistemas acuáticos subterráneos*. Cornellà de Llobregat (Barcelona).
- Ministerio de Protección Social Ambiente Desarrollo y Vivienda. (2007). *Resolución número 2115*. Bogotá.

- Morales, A. I. T., & Castro, E. C. (2015). Importancia y utilidad de los bioindicadores acuáticos. *Biodiversidad Colombia*, (5), 39–48.
- Moritz, C. (2002). Strategies to protect biological diversity and the evolutionary processes that sustain it. *Systematic Biology*, 51(2), 238–254.
- Mösslacher, F. (2000). Sensitivity of groundwater and surface water crustaceans to chemical pollutants and hypoxia : implications for pollution management. *Archiv Für Hydrobiologie*, 149(1), 51–66.
- Moustaine, R. E., Chahlaoui, A., & Rour, E. H. (2014). Relationships between the physico-chemical variables and groundwater biodiversity: a case study from meknes area, morocco. *International Journal of Conservation Science*, 5(2), 203–214.
- Naranjo, L. (1998). *Monitoreo de los niveles freáticos estacionales y de la calidad físico-química de las aguas subterráneas en el Urabá Antioqueño*. CORPOURABA, Apartadó.
- Nevill, T. C., Hancock, P. J., Murray, B. R., Ponder, W. F., Humphreys, W. F., Phillips, M. L., & Groom, P. K. (2010). Groundwater-dependent ecosystems and the dangers of groundwater overdraft: A review and an Australian perspective. *Pacific Conservation Biology*, 16(3), 187-208.
- Paggi, J. C. (1995). Ecosistemas de aguas continentales. Metodología para su estudio II. La plata, Argentina, pp. 45.
- Palmer, M., Covich, A., Finlay, B., Gilbert, J., Hyde, K., Johnson, R., & Ricci, C. (1997). Biodiversity and ecosystem processes in freshwater sediments. *Ambio*, 571–577.
- Paredes, V. (2010). *Suceptibilidad a la contaminación salina del acuífero confinado costero del Eje Bananero de Urabá con técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas*. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Perbiche-Neves, G., Fileto, C., Laço-Portinho, J., Troguer, A., & Júnior, M. S. (2013). Relations among planktonic rotifers, cyclopoid copepods, and water quality in two Brazilian reservoirs. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 41(1), 138.
- Ribeiro, L., Villegas, P., Paredes V., & Betancur T. (2014) Desarrollo y aplicación de dos índices de calidad de agua subterránea en el acuífero del golfo de Urabá, Colombia in XII Congreso Latinoamericano de Hidrogeología, Santiago, Chile.
- Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Universidad de Antioquia, Fondo FEN, Medellín.
- Roldán Pérez, G. (1999). Los Macroinvertebrados Y Su Valor Como Indicadores De La Calidad Del Agua. *Revista Academica Colombiana de Ciencias Exactas, Fisicas Y Naturales*.
- Ross, J. (1979). *Practicas de Ecologia*. (Omega, Ed.). Barcelona.
- Rouch, R. (1988). Sur la répartition spatiale des Crustacés dans le sous-écoulement d'un ruisseau des Pyrénées. *Annales de Limnologie*, 24(3), 213–234.
- Scarsbrook, M , Graham, F., & Radford, J. (2000). Living groundwater : studying the fauna beneath our feet. *Water and Atmosphere*, 8(3), 15–17.
- Scarsbrook, M. R., & Fenwick, G. D. (2016). Preliminary assessment of crustacean distribution patterns. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater*, (37), 405–413.

- Schmidt, S. I., Hahn, H. J., Watson, G. D., Woodbury, R. J., & Hatton, T. J. (2004). Sampling Fauna in Stream Sediments as well as Groundwater Using One Net Sampler. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 32(2), 131–137.
- Shapouri, M., da Fonseca, L. C., Iepure, S., Stigter, T., Ribeiro, L., & Silva, A. (2015). The variation of stygofauna along a gradient of salinization risk in a coastal Mediterranean aquifer. *Hydrology Research*, 47(1), 89-103.
- Sophocleous, M. (2002). Interactions between groundwater and surface water: The state of the science. *Hydrogeology Journal*, 10(1), 52–67.
- Stein, H., Kellermann, C., Schmidt, S. I., Brielmann, H., Steube, C., Berkhoff, S. E., Griebler, C. (2010). The potential use of fauna and bacteria as ecological indicators for the assessment of groundwater quality. *Journal of Environmental Monitoring : JEM*, 12(1), 242–54.
- Steube, C., Richter, S., & Griebler, C. (2008). First attempts towards an integrative concept for the ecological assessment of groundwater ecosystems. *Hydrogeology Journal*, 17(1), 23–35.
- Stournaras, G. (2012). Groundwater bodies in ecology and ecosystems. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 11(3), 159–165.
- Strayer, D. L. (1994). Limits to biological distributions in groundwater. *Groundwater Ecology*, 287–310, New York.
- Streble, H., & Krauter, D. (1973). *Das leben im wassertropfen*. Kosmos Gesellschaft der Naturfreunde Franckh'sche Verlagshandlung.
- Streble, H., & Krauter, D. (1987). *Atlas de los microorganismos de agua dulce: La vida en una gota de agua*. Edicion Omega, Barcelona, pp. 34.
- Suárez, E. (2000). Copépodos, seres ubicuos y poco conocidos. CONABIO. Biodiversitas, (29), 7–11.
- Tione, M. L., Bedano, J. C., & Blarasin, M. T. (2011). Comunidades de invertebrados en aguas subterráneas y su relación con variables ambientales. *Ecología Austral*, 21(1), 87–100.
- Tione, M. L., Blarasin, M., & Laura, M. (2014). Cuaderno de estudios de aguas subterráneas: El acuífero como ecosistema: comunidades de invertebrados en aguas subterráneas y su relación con variables ambientales. (UniRio, Edición 1.). Rio Cuarto-Argentina, pp. 232.
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79–94.
- Universidad de Antioquia & AMVA. (2015). Bien Natural en un Ambiente Urbano, Memoria Técnica. Diagnostico para la formulación del Plan de Manejo Ambiental de Acuífero del Valle de Aburra. Edición 1, registro ISBN 978-958-85113-86-6, pp. 28.
- Universidad de Antioquia & CORPOURABA. (2014). Actualización del Modelo Hidrogeológico Conceptual del Sistema Acuífero del Urabá antioqueño Convenio Interadministrativo de Cooperación 136. Medellín, pp. 246.
- Universidda de Antioquia & CORPOURABA. (2016a). Memoria Plan de Manejo ambiental de Acuíferos Golfo de Urabá. Edición 1, registro ISBN 978-958-8947-54-9, pp. 10.

- Universidda de Antioquia & CORPOURABA. (2016b). *Plan de Manejo Ambiental de Acuífero Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá Convenio de cooperación número 21302406-005-2015*, pp. 210.
- Vargas, M. (2011). *Evaluación del peligro potencial de contaminación de las aguas subterráneas por agroquímicos*. CORPOURABA, Apartadó.
- Villegas, P., Paredes V., Betancur T., &.Ribeiro, L. (2012) *Análisis estadístico de la hidroquímica del acuífero confinado del golfo de Urabá, Colombia in XI Congreso Latinoamericano de Hidrogeología, Cartagena de Indias, ALHSUD*.
- Villegas, P. (2013). *Caracterización isotópica del Acuífero del Golfo de Urabá, utilizando $2H$, $18O$, $14C$ Y $13C$* . Trabajo de investigación para optar al título de Magister en Ingeniería Universidad de Antioquia.
- Villegas, P., Paredes V., Betancur T., &.Ribeiro, L. (2013) Assessing the hydrochemistry of the Urabá aquifer (Colombia) by Principal Component Analysis, *Journal of Geochemical Exploration*, 134, 120-129.

ANEXO 1. FORMATOS CON INFORMACION RECOLECTADA EN CAMPO Y ENCUESTAS REALIZADAS A LOS PROPIETARIOS DE LOS ALJIBES

	Convenio Interadministrativo PI 15-1-02 Proyecto de Maestría Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia. Medición de Parametros Físicoquímicos en Campo	
Nombre del sitio : Centro Educativo Rural Manuel Gomez Municipio: Chigorodó Vereda: El Guineo Tipo de captación : Aljibe Profundidad de la captación: 5,26 m	Codigo:01	Fecha: <u>29/02/2016</u> <u>10:36am</u>
		Coordenada N: 7° 36' 18,5" Coordenada W: 76° 38' 31,2"

Replica	N. E (m)	T (c°)	pH	CE (µs/cm)	OD (mg/L)	Saturacion O (%)	Salinidad (0/00)	STD (mg/l)	Gotas de NaoH	Color	Olor	Sabor	Turbiedad
Antes del bombeo	3.35	28.3	6.19	96.6	2.25	29.2	0.04	42.7	ND	Transparente	in olor	in sabor	Poco
1	3.35	29	6.45	152.3	5.53	73.1	0.06	66.2	2	clara	in olor	in sabor	Poco
2	3.35	28.9	6.49	142.4	4.94	65.0	0.06	61.7	2	clara	in olor	in sabor	Poco

Observaciones: Sin bombeo Redox: 101.9 mV M Redox: -14.1 mV R Redox: -17.7 mV Dia nublado, con lluvia, el aljibe fue bombeado el nivel del agua se observa muy bajo, no hay presencia de objetos extraños, el pasto se ve quemado, El agua sale por debajo de la captación cerca esta la quebrada el Guineo (7° 35' 56.1" - 76° 38' 20.2") Sedimento del aljibe con arena y grava color oscuro	Datos graficos : Foto 1 y 2
---	---------------------------------------



Foto 1



Foto 2



Convenio Interadministrativo PI 15-1-02

Proyecto de Maestría

Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia.

Medición de Parametros Físicoquímicos en Campo



Nombre del sitio : Champitas
Municipio: Chigorodo
Vereda: Champitas
Tipo de captación : Aljibe
Profundidad de la captación: 4,08 m

Codigo:02

Fecha: 29/02/2016 2:23 pm

Coordenada N: 7° 38' 46,6"

Coordenada W: 76° 41' 44,1"

Replica	N. E (m)	T (c°)	pH	CE (µs/cm)	OD (mg/L)	Saturacion O (%)	Salinidad (0/00)	STD (mg/l)	Gotas de NaoH	Color	Olor	Sabor	Turbiedad
Antes del bombeo	2.36	32.0	6.38	183.2	2.41	31.4	0.08	81.3	ND	cafe claro	a hierro	a hierro	Muy Turbia
1	2.36	29.0	6.51	200.1	3.07	40.2	0.08	86.2	3	cafe claro	a hierro	a hierro	Muy Turbia
2	2.36	29.0	6.37	201.5	2.35	35.6	0.09	88.9	3	cafe claro	a hierro	a hierro	Muy Turbia

sin bombeo

Observaciones: Redox -13.9 mV Redox -73.1 mV Redox -29.4 mV

Datos graficos : ...

Día neblado, sin presencia de lluvia, el nivel del agua es muy bajo, hay presencia de hojarasca y frutas dentro de la captación, se ve presencia de una película de "grasa", hay cerca del aljibe un árbol de guayabas, se encuentra cerca el caño Floresta (7° 38' 48,2" - 76° 41' 44,4") sedimento del aljibe lodoso color naranja

Foto 3 y 4



Foto 3



Foto 4



Convenio Interadministrativo PI 15-1-02

Proyecto de Maestría

Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia.

Medición de Parametros Fisicoquímicos en Campo



Nombre del sitio : Finca El Enacanto

Codigo:03

Fecha: 02/3/2016 8:00 am

Municipio: Chigorodo

Vereda: La Bendición

Tipo de captación : Aljibe

Profundidad de la captación: 3,2 m

Coordenada N: 7° 38' 40,8"

Coordenada W: 76° 43' 8,3"

Replica	N. E (m)	T (c°)	pH	CE (µs/cm)	OD (mg/L)	Saturacion O (%)	Salinidad (0/00)	STD (mg/l)	Gotas de NaoH	Color	Olor	Sabor	Turbiedad
Antes del bombeo	2.82	28.5	6.68	265	2.34	80.4	0.11	115.3	ND	claro "gris"	sin olor	sin sabor	alga Turbia
1	2.82	28.8	6.99	278	6.14	80.5	0.12	120	3	claro	sin olor	sin sabor	alga
2	2.82	28.7	7.28	278	7.1	94.9	0.12	120.8	3	claro	sin olor	sin sabor	alga

Observaciones: Redox: -7.3 mv Redox 29.7 Redox -1.8

Datos graficos :

Día soleado, el aljibe esta casi seco, utilizan una teja metalica para tapar el aljibe, tiene un arbol de mango cerca, tiene un corral muy cerca del aljibe, el sedimento es limoso cerca hay un caño (7°38'38" -76°43'9.2")

Foto 5 y 6



Foto 5



Foto 6



Convenio Interadministrativo PI 15-1-02

Proyecto de Maestría

Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia.

Medición de Parametros Fisicoquímicos en Campo



Nombre del sitio : Iglesia Evangelica Interamericana

Codigo:04

Fecha: 01/3/2016 1:00 pm

Municipio: Chigorodo

Vereda: Las Guaguas

Tipo de captación : Aljibe

Profundidad de la captación: 4,26 m

Coordenada N: 7° 41' 42,6"

Coordenada W: 76° 44' 14,4"

Replica	N. E (m)	T (°C)	pH	CE (µs/cm)	OD (mg/L)	Saturación O (%)	Salinidad (0/00)	STD (mg/l)	Gotas de NaOH	Color	Olor	Sabor	Turbiedad
Antes del bombeo	-2.05	27.5	7.74	483	0.7	8.9	0.22	222	ND	clara gris	sin olor	algo de hierro	algo turbia
1	2.05	29.4	6.97	630	6.06	180	0.28	281	4	clara			
2	2.05	29.0	6.66	645	6.05	95.9	0.28	285	4	clara			

Observaciones: Redox = 75.6 mV Redox = 90.6 Redox = 107.6

Datos graficos :

Día levemente nublado, la captación tiene una película de hojas y sustancias oleosas posible residuo de pesticida, no se encuentra tapada, el sedimento es limoso, tiene cerca arboles, aproximada/ a 300 metros esta el río Chigorodo no hay caños cerca.

Foto 7 y 8



Foto 7



Foto 8



Convenio Interadministrativo PI 15-1-02

Proyecto de Maestría

Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia.

Medición de Parametros Físicoquímicos en Campo



Nombre del sitio : Finca Mosquerita
Municipio: Chigorodo
Vereda: Sadem - Colorada
Tipo de captación : Aljibe
Profundidad de la captación: 4,9 m

Codigo:05

Fecha: 01/3/2016 8:40 am

Coordenada N: 7° 42' 19,2"
Coordenada W: 76° 46' 29,9"

Replica	N. E (m)	T (c°)	pH	CE (µs/cm)	OD (mg/L)	Saturacion O (%)	Salinidad (0/00)	STD (mg/l)	Gotas de NaOH	Color	Olor	Sabor	Turbiedad
Antes del bombeo	2.23	27.4	7.07	984	0.41	5.3	0.46	467	ND	clara (9119)	sin olor	algo salado	Poco Turbia
1	2.23	27.6	7.02	1360	3.85	23.7	0.65	640	6	clara	sin olor	Salada	Poco
2	2.23	27.7	7.00	1355	3.51	19.3	0.64	643	6	clara	sin olor	salada	Poco

Observaciones: redox 46 mV Redox -133 Redox -137.3

Datos graficos :

Día nublado, sin lluvia, hay un fuerte olor a materia orgánica, del aljibe salen burbujas, el agua sale por debajo de la captación, material del sedimento limoso, presencia de basuras alrededor del aljibe, cerca hay arboles de limón
Cerca hay un caño (7° 42' 19,1" - 76° 46' 25,6")

Foto 9 y 10



Foto 9



Foto 10



Convenio Interadministrativo PI 15-1-02

Proyecto de Maestría

Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia.



I. Identificación del sitio

Nombre : Centro Educativo Rural Manuel Gomez

Código:01

Municipio: Chigorodó

Coordenada N: 7° 36' 18,5"

Vereda: El Guineo

Coordenada W: 76° 38' 31,2"

zona urbana

rural

Profundidad de la captación: 5,26 m

Responsable: Laura Pineda Zapata

Encuestado: Leydy Lorena Ibarquén

Telefono: 314 7022155

Fecha: 29/02/2016

II. Condiciones Hidrológicas

1. Como ha estado el clima en el año lluvioso seco otro _____

2. Recuerda usted la ultima vez que llovió si cuando Principio de Diciembre no

3. Ha notado que el agua de la captación disminuye en época seca si no

4. En época de lluvia se han producido inundaciones en el predio si no

5. Las inundaciones se presentaron cerca de la captación si no

6. Hay alguna quebrada o caño cerca del predio si a que distancia 300 mt no

7. Ha notado cambios en la catidad de agua en el caño o quebrada si no

8. Observaciones adicionales cuando se presentan inundaciones solo se munda la entrada y la parte trasera del colegio, los cambios en la quebrada es de aumento

III. Características de la captación

1. Tipo de captación Aljibe Pozo

2. La captación se encuentra Cubierta A cielo abierto Otro _____

3. La captación posee placa de concreto si no

4. La captación posee Resalto Esta a ras del suelo

5. La captación está entubada si no

6. Observaciones adicionales Antes habia una tapa pero se la robaron

IV. Fotos

V. Características de operación y del entorno

Consumo humano Aseo Riego

1. Uso que se le da al agua subterránea

Hidratación de animales Otro cocina

2. Como saca el agua del aljibe

Baldeo Bomba

3. El agua que saca del aljibe

La almacena en tanque La transporta manualmente

Llega directo por tuberías

4. Cual de estos sistemas se utiliza en el lugar para la recolección de las aguas residuales

Pozo septico distancia de la captación 20 mt

Alcantarillado

Vierten al terreno distancia de la captación _____

Letrina distancia de la captación _____

5. Como hace la disposición los residuos solidos

Entierra las basuras Las quema

Dispone de sitios especiales Recolección por una empresa de aseo Separan

6. Observaciones adicionales cada 15 dias recolectan la basura y desechos solidos como organicos de abono para una plantanera

VI. Actividaes agropecuarias

1. cerca de la captacion se observan Animales Almacenaje de combustibles

Agroquimicos que tipo _____ Cultivos otros _____

2. Ha encontrado presencia de elementos extraños en la captación si cuales _____

no

3. Observaciones adicionales la persona que cuida el lugar tiene gallinas que esta en el terreno, una pequeña plantanera

VII. Propiedades organalépticas

1. como nota la apariencia del agua Clara Oscura Otro _____

2. Ha percibido algun sabor u olor especial en el agua si cuales olor a hierro no

3. Observaciones adicionales



Convenio Interadministrativo PI 15-1-02

Proyecto de Maestría

Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia.



I. Identificación del sitio

Nombre : Champitas Código:02 Municipio: Chigorodó
 Coordenada N: 7° 38' 46,6" Vereda: Champitas
 Coordenada W: 76° 41' 44,1"
 zona urbana rural Profundidad de la captación: 4,08 m

Responsable: Laura Pineda Zapata Encuestado: Cesar Costañó
 Telefono: 312 893 15 75 Fecha: 29/02/2016

II. Condiciones Hidrológicas

- Como ha estado el clima en el año lluvioso seco otro _____
- Recuerda usted la ultima vez que llovió si cuando Noviembre no
- Ha notado que el agua de la captación disminuye en época seca si no
- En época de lluvia se han producido inundaciones en el predio si no
- Las inundaciones se presentaron cerca de la captación si no
- Hay alguna quebrada o caño cerca del predio si a que distancia 20 mt no
- Ha notado cambios en la catidad de agua en el caño o quebrada si no

8. Observaciones adicionales solo se inunda la parte de arriba

III. Características de la captación

- Tipo de captación Aljibe Pozo
- La captación se encuentra Cubierta A cielo abierto Otro _____
- La captación posee placa de concreto si no
- La captación posee Resalto Esta a ras del suelo
- La captación está entubada si no

6. Observaciones adicionales Cubierta por plastico y tablas de madera

IV. Fotos

V. Características de operación y del entorno

Consumo humano Aseo Riego

1. Uso que se le da al agua subterránea
 Hidratación de animales Otro _____

2. Como saca el agua del aljibe Baldeo Bomba

3. El agua que saca del aljibe La almacena en tanque La trasporta manualmente
 Llega directo por tuberías

4. Cual de estos sistemas se utiliza en el lugar para la recolección de las aguas residuales
 Pozo septico distancia de la captación 15 mt
 Alcantarillado
 Vierten al terreno distancia de la captación _____
 Letrina distancia de la captación _____

5. Como hace la disposición los residuos solidos Entierra las basuras Las quema
 Dispone de sitios especiales Recolección por una empresa de aseo Separan

6. Observaciones adicionales las ponen en costales retirado de la casa y pasa un carro de basura cada 15 días

VI. Actividdaes agropecuarias

1. cerca de la captacion se observan Animales Almacenaje de combustibles
 Agroquimicos que tipo _____ Cultivos otros _____

2. Ha encontrado presencia de elementos extraños en la capación si cuales gusanos
 no

3. Observaciones adicionales gallinas y pollos de engorde

VII. Propiedades organolépticas

1. como nota la apariencia del agua Clara Oscura Otro _____

2. Ha percibido algun sabor u olor especial en el agua si cuales olor a hierro no

3. Observaciones adicionales



Convenio Interadministrativo PI 15-1-02

Proyecto de Maestría

Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas
de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia.



I. Identificación del sitio

Nombre : Finca El Enacanto

Código:03

Municipio: Chigorodó

Coordenada N: 7° 38' 40,8"

Vereda: La Bendición

Coordenada W: 76° 43' 8,3"

zona urbana rural

Profundidad de la captación: 3,2 m

Responsable: Laura Pineda Zapata

Encuestado: Rosaura Posso Madera

Telefono: 3207752067

Fecha: 02/03/2016

II. Condiciones Hidrológicas

1. Como ha estado el clima en el año lluvioso seco otro _____

2. Recuerda usted la ultima vez que llovió si cuando Diciembre no

3. Ha notado que el agua de la captación disminuye en época seca si no

4. En época de lluvia se han producido inundaciones en el predio si no

5. Las inundaciones se presentaron cerca de la captación si no

6. Hay alguna quebrada o caño cerca del predio si a que distancia 50 mt no

7. Ha notado cambios en la catidad de agua en el caño o quebrada si no

8. Observaciones adicionales

III. Características de la captación

1. Tipo de captación Aljibe Pozo

2. La captación se encuentra Cubierta A cielo abierto Otro _____

3. La captación posee placa de concreto si no

4. La captación posee Resalto Esta a ras del suelo

5. La captación está entubada si no

6. Observaciones adicionales la tapan en la noche con una lata

IV. Fotos



Convenio Interadministrativo PI 15-1-02

Proyecto de Maestría

Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia.



I. Identificación del sitio

Nombre : Finca El Enacanto

Código:03

Municipio: Chigorodó

Coordenada N: 7° 38' 40,8"

Vereda: La Bendición

Coordenada W: 76° 43' 8,3"

zona urbana

rural

Profundidad de la captación: 3,2 m

Responsable: Laura Pineda Zapata

Encuestado: Rosaura Posso Madera

Telefono: 3207752067

Fecha: 02/03/2016

II. Condiciones Hidrológicas

1. Como ha estado el clima en el año lluvioso seco otro _____

2. Recuerda usted la ultima vez que llovió si cuando Diciembre no

3. Ha notado que el agua de la captación disminuye en época seca si no

4. En época de lluvia se han producido inundaciones en el predio si no

5. Las inundaciones se presentaron cerca de la captación si no

6. Hay alguna quebrada o caño cerca del predio si a que distancia 50 mt no

7. Ha notado cambios en la catidad de agua en el caño o quebrada si no

8. Observaciones adicionales

III. Características de la captación

1. Tipo de captación Aljibe Pozo

2. La captación se encuentra Cubierta A cielo abierto Otro _____

3. La captación posee placa de concreto si no

4. La captación posee Resalto Esta a ras del suelo

5. La captación está entubada si no

6. Observaciones adicionales la tapan en la noche con una lata

IV. Fotos

V. Características de operación y del entorno

1. Uso que se le da al agua subterránea
 Consumo humano Aseo Riego
 Hidratación de animales Otro _____

2. Como saca el agua del aljibe
 Baldeo Bomba

3. El agua que saca del aljibe
 La almacena en tanque La transporta manualmente
 Llega directo por tuberías

4. Cual de estos sistemas se utiliza en el lugar para la recolección de las aguas residuales
 Pozo septico distancia de la captación 9 mts
 Alcantarillado
 Vierten al terreno distancia de la captación _____
 Letrina distancia de la captación _____

5. Como hace la disposición los residuos solidos
 Entierra las basuras Las quema
 Dispone de sitios especiales Recolección por una empresa de aseo Separan

6. Observaciones adicionales la consume poco y la basura la recojen a proximidad cada 15 dias y usa el material organico para abono

VI. Actividades agropecuarias

1. cerca de la captación se observan
 Animales Almacenaje de combustibles
 Agroquimicos que tipo _____ Cultivos otros _____

2. Ha encontrado presencia de elementos extraños en la captación
 si cuales _____
 no

3. Observaciones adicionales Hay un gallinero muy cerca de la captación

VII. Propiedades organolépticas

1. como nota la apariencia del agua
 Clara Oscura Otro _____

2. Ha percibido algun sabor u olor especial en el agua
 si cuales _____ no

3. Observaciones adicionales



Convenio Interadministrativo PI 15-1-02

Proyecto de Maestria

Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia.



I. Identificación del sitio

Nombre : Iglesia Evangelica Interamericana

Código:04

Municipio: Chigorodó

Coordenada N: 7° 41' 42,6"

Vereda: Las Guaguas

Coordenada W: 76° 44' 14,4"

zona urbana

rural

Profundidad de la captación: 4,26 m

Responsable: Laura Pineda Zapata

Encuestado: Alfonso Sando

Telefono: 320 7281220

Fecha: 01/03/2016

II. Condiciones Hidrológicas

1. Como ha estado el clima en el año lluvioso seco otro _____

2. Recuerda usted la ultima vez que llovió si cuando Diciembre no

3. Ha notado que el agua de la captación disminuye en época seca si no

4. En época de lluvia se han producido inundaciones en el predio si no

5. Las inundaciones se presentaron cerca de la captación si no

6. Hay alguna quebrada o caño cerca del predio si a que distancia _____ no

7. Ha notado cambios en la cantidad de agua en el caño o quebrada si no

8. Observaciones adicionales Esta el Rio Chigorodó 300 mt de la propiedad

III. Características de la captación

1. Tipo de captación Aljibe Pozo

2. La captación se encuentra Cubierta A cielo abierto Otro _____

3. La captación posee placa de concreto si no

4. La captación posee Resalto Esta a ras del suelo

5. La captación está entubada si no

6. Observaciones adicionales solo la usan en epoca de invierno y a que en verano produce una coloracion rojiza

IV. Fotos

V. Características de operación y del entorno

Consumo humano Aseo Riego

1. Uso que se le da al agua subterránea

Hidratación de animales Otro _____

2. Como saca el agua del aljibe

Baldeo Bomba

3. El agua que saca del aljibe

La almacena en tanque La transporta manualmente

Llega directo por tuberías

4. Cual de estos sistemas se utiliza en el lugar para la recolección de las aguas residuales

Pozo septico distancia de la captación 90 mt

Alcantarillado

Vierten al terreno distancia de la captación _____

Letrina distancia de la captación _____

5. Como hace la disposición los residuos solidos

Entierra las basuras Las quema

Dispone de sitios especiales Recolección por una empresa de aseo Separan

6. Observaciones adicionales cada 15 días pasa un camion que recolecta la basura

VI. Actividdaes agropecuarias

1. cerca de la captacion se observan Animales Almacenaje de combustibles

Agroquimicos que tipo _____ Cultivos otros _____

2. Ha encontrado presencia de elementos extraños en la capación si cuales _____

no

3. Observaciones adicionales hay gallinas

VII. Propiedades organalépticas

1. como nota la apariencia del agua Clara Oscura Otro cobrioso

2. Ha percibido algun sabor u olor especial en el agua si cuales olor a Hierro no

3. Observaciones adicionales



Convenio Interadministrativo PI 15-1-02

Proyecto de Maestría

Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia.



I. Identificación del sitio

Nombre : Finca Mosquerita

Código:05

Municipio: Chigorodó

Coordenada N: 7° 42' 19,2"

Vereda: Sadem - Colorada

Coordenada W: 76° 46' 29,9"

zona

urbana

rural

Profundidad de la captación: 4,9 m

Responsable: Laura Pineda Zapata

Encuestado: Rosiris Teran

Telefono: 3122872410

Fecha: 01/3/2016

II. Condiciones Hidrológicas

1. Como ha estado el clima en el año

lluvioso

seco

otro _____

2. Recuerda usted la ultima vez que llovió

si

cuando Noviembre

no

3. Ha notado que el agua de la captación disminuye en época seca

si

no

4. En época de lluvia se han producido inundaciones en el predio

si

no

5. Las inundaciones se presentaron cerca de la captación

si

no

6. Hay alguna quebrada o caño cerca del predio

si

a que distancia _____

no

7. Ha notado cambios en la cantidad de agua en el caño o quebrada

si

no

8. Observaciones adicionales Aumenta la cantidad del agua del caño

III. Características de la captación

1. Tipo de captación

Aljibe

Pozo

2. La captación se encuentra

Cubierta

A cielo abierto

Otro _____

3. La captación posee placa de concreto

si

no

4. La captación posee

Resalto

Esta a ras del suelo

5. La captación está entubada

si

no

6. Observaciones adicionales algunas veces la tapa con una tapa de concreto y esta protegida con una caseta de madera y tejas de aluminio

IV. Fotos

V. Características de operación y del entorno

- Consumo humano Aseo Riego
1. Uso que se le da al agua subterránea
Hidratación de animales Otro lavado de platos
2. Como saca el agua del aljibe Baldeo Bomba
3. El agua que saca del aljibe La almacena en tanque La transporta manualmente
Llega directo por tuberías
4. Cual de estos sistemas se utiliza en el lugar para la recolección de las aguas residuales
Pozo septico distancia de la captación 20 mt
Alcantarillado
Vierten al terreno distancia de la captación _____
Letrina distancia de la captación _____
5. Como hace la disposición los residuos solidos Entierra las basuras Las quema
Dispone de sitios especiales Recolección por una empresa de aseo Separan
6. Observaciones adicionales pasan el caso cada 15 dias a recoger las basuras

VI. Actividdaes agropecuarias

1. cerca de la captacion se observan Animales Almacenaje de combustibles
Agroquimicos que tipo fertilizantes Cultivos otros _____
2. Ha encontrado presencia de elementos extraños en la captación si cuales _____
no
3. Observaciones adicionales hay bultos de abono a 5 metros del aljibe aproximadamente

VII. Propiedades organolépticas

1. como nota la apariencia del agua Clara Oscura Otro _____
2. Ha percibido algun sabor u olor especial en el agua si cuales no es dulce no
3. Observaciones adicionales

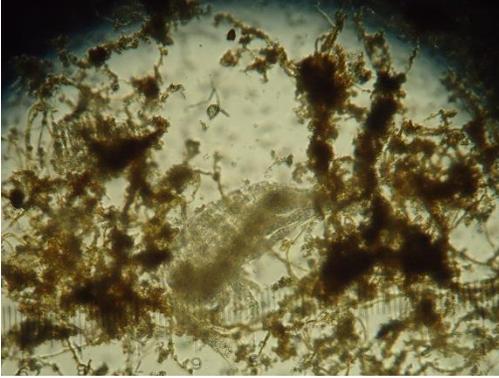
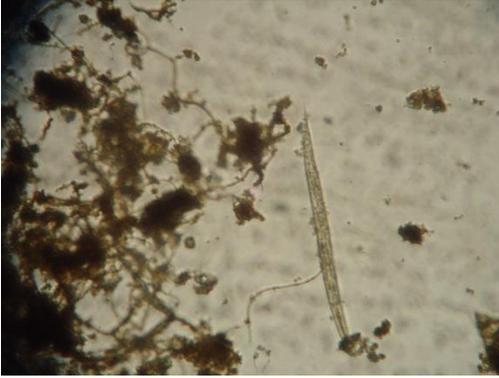
ANEXO 2. MEDICIÓN Y FOTOGRAFÍAS DE LOS ORGANISMOS HALLADOS

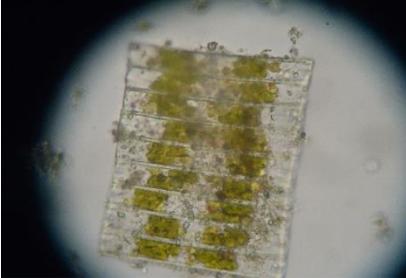
Aljibe 1	Foto organismo	Medida ancho μm	Medida largo μm	Identificación
Malla 180		Ext 319 Int 110	770	Ostracodo
Malla 180		Ext 385 Int 99	935	Ostracodo
Malla 180		875	1225	posible caparazón
Malla 180		Exte 330 Inte 165	780	Ostracodo

Aljibe 1	Foto organismo	Medida ancho μm	Medida largo μm	Identificación
Malla 180		42.5	152.5	Rotifero
Mala 180		Ext 385 Int 165	748	Ostracodo
Malla 180		Ext 231 Int 110	506	Ostracodo
Malla 180		Ext 209 Int 143	649	Ostracodo

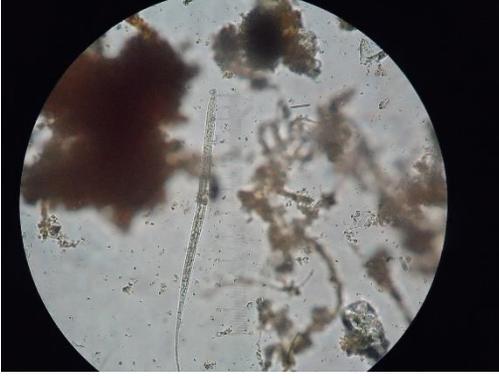
Aljibe 1	Foto organismo	Medida ancho μm	Medida largo μm	Identificación
Malla 39		Ext 341 Int 154	748	Ostracodo
Malla 39		Ext 231 Int 110	550	Ostracodo

Aljibe 2	Foto organismo	Medida ancho μm	Medida largo μm	Identificación
Malla 180				No se detectó presencia de organismos
Malla 39				No se detectó presencia de organismos

Aljibe 3	Foto organismo	Medida ancho μm	Medida largo μm	Identificación
Malla 180		209	880	Copepodo
Malla 180		198	759	Copepodo
Malla 180		165	250	Copepodo
Malla 180		11	440	Nematodo

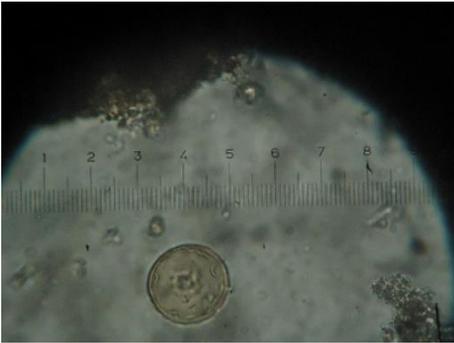
Aljibe 3	Foto organismo	Medida ancho μm	Medida largo μm	Identificación
Malla 180		11	1067	Nematodo
Malla 180		125	3300	alga
Malla 39		209	935	Copepodo
Malla 39		525	1750	Copepodo

Aljibe 3	Foto organismo	Medida ancho μm	Medida largo μm	Identificación
Malla 39		132	704	Copepodo
Malla 39		42.5	220	Rotifero
Malla 39		198	803	Copepodo
Malla 39		80	90	<i>Centropyxis</i> sp

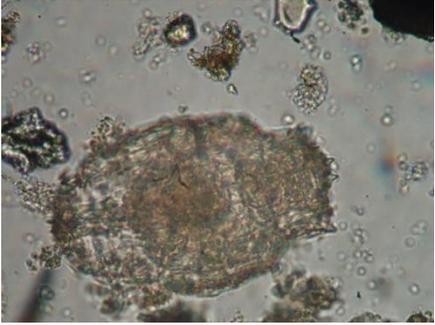
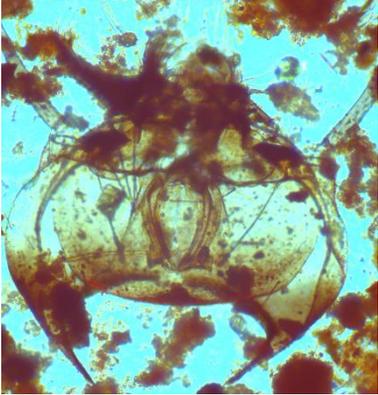
Aljibe 3	Foto organismo	Medida ancho μm	Medida largo μm	Identificación
Malla 39		275	990	Copepodo
Malla 39		220	1012	Copepodo
Malla 39		5	287.5	Nematodo

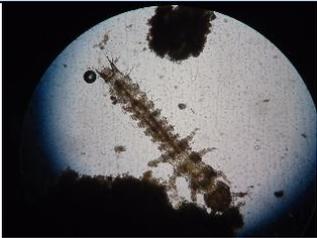
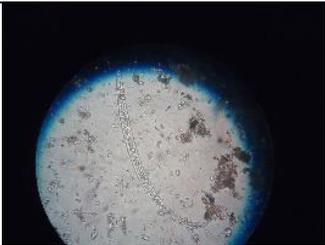
Aljibe 4	Foto organismo	Medida ancho μm	Medida largo μm	Identificación
Malla 180		150	337.5	Copepodito.
Malla 180		231	1100	Copepodo
Malla 180		341	1309	Copepodo
Malla 180		187	1078	Copepodo.
Malla 180		154	770	Copepodo.

Aljibe 4	Foto organismo	Medida ancho μm	Medida largo μm	Identificación
Malla 180		132	935	Copepodo
Malla 180		110	253	Nauplio.
Malla 180		253	1210	Copepodo
Malla 180		132	1034	larva macroinvertebrado

Aljibe 4	Foto organismo	Medida ancho μm	Medida largo μm	Identificación
Malla 39		42.5	40	ameba
Malla 39		50	210	Rotífero
Malla 39		77	770	Larva de macroinvertebrado

Aljibe 4	Foto organismo	Medida ancho μm	Medida largo μm	Identificación
Malla 39		75	102	<i>Centropyxis</i> sp
Malla 39		-		Copepodo
Malla 39		275	1200	Copepodo
Malla 39		132	676	Copepodo

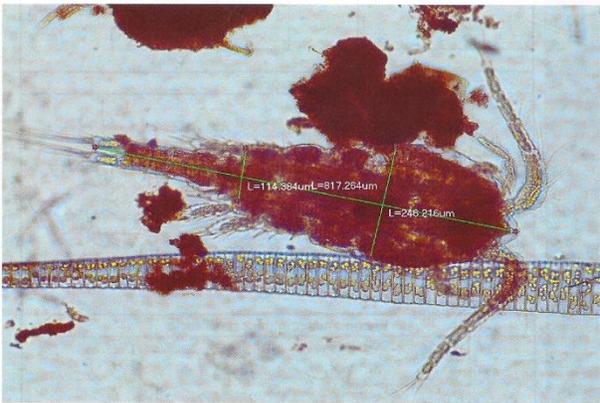
Aljibe 4	Foto organismo	Medida ancho μm	Medida largo μm	Identificación
Malla 39		107	150	Rotifero
Malla 39		570	742	Cladocero

Aljibe 5	Foto organismo	Medida ancho μm	Medida largo μm	Identificación
Malla 180		125	1075	Larva de coleóptero
Malla 180		25	880	Nematodo. en descomposición

Aljibe 5	Foto organismo	Medida ancho μm	Medida largo μm	Identificación
Malla 180		330	770	<i>Acaridae</i> . Ácaro.
Malla 180		50	105	Rotífero.
Malla 180		82.5	112.5	Tecamoeba. <i>Arcella</i>
Malla 39		15	1386	nematodo
Malla 39		25	1000	nematodo

ANEXO 4. FORMATOS DILIGENCIADOS POR EXPERTOS EN EL PANEL

 UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA <small>1803</small>	Convenio Interadministrativo 21302406-005-2015 Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia. PANEL DE EXPERTOS - ECOSISTEMAS ACUÁTICOS SUBTERRÁNEOS 01 de Abril de 2016	 Corpourabá <small>Un Gran Ecosistema</small>			
Experto : Esnedy Hernandez	Institución: Universidad de Antioquia				
 Medición en 40X	Nombre asignado	Está de acuerdo			
	Nauplio 1	sí	<input checked="" type="checkbox"/>	no	<input type="checkbox"/>
	Apreciación del experto				
	Larva de Copepodo. Ver: Wetzel y Likens 2000. Guía Copepoda Libro: Limnological Analysis.				
Recomendación para clasificarlo					
Ver tabla de Wetzel y Likens. Definir estado de adulto					

 UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA <small>1803</small>	Convenio Interadministrativo 21302406-005-2015 Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia. PANEL DE EXPERTOS - ECOSISTEMAS ACUÁTICOS SUBTERRÁNEOS 01 de Abril de 2016	 Corpourabá <small>Un Gran Ecosistema</small>			
Experto : Esnedy Hernandez	Institución: Universidad de Antioquia				
 Medición en 10X	Nombre asignado	Está de acuerdo			
	Copepodo	sí	<input checked="" type="checkbox"/>	no	<input type="checkbox"/>
	Apreciación del experto				
	Quizá Copepod. to. - identificar Diatomeas. → Yimny.				
Recomendación para clasificarlo					
Wetzel y Likens. 2000 Limnological Analysis.					



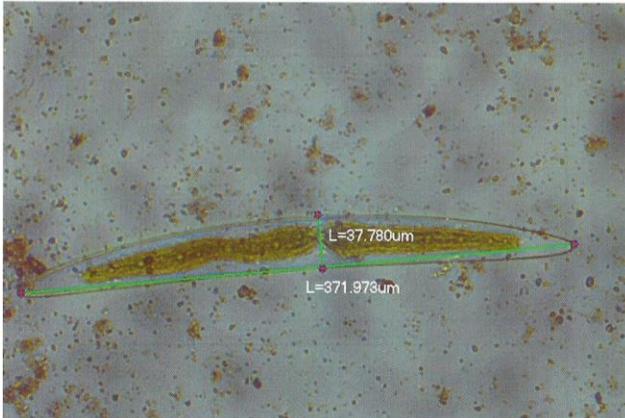
Convenio Interadministrativo 21302406-005-2015
 Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas
 de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia.

PANEL DE EXPERTOS - ECOSISTEMAS ACUÁTICOS SUBTERRÁNEOS
 01 de Abril de 2016



Experto : Carlos Lasso

Institución: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt



Medición en 20X

Anotó: Esmedy

Nombre asignado	Está de acuerdo
Alga	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>

Apreciación del experto

En efecto se trata de un alga perteneciente a la división Chlorophyta probablemente del género *Chaetium* sp. perteneciente a la familia de las demidiáceas. Se puede observar que corresponde a un organismo con dos hemitecitas relativamente simétricas. Característica particular de este grupo. Poseen un gran cloroplasto.

Recomendación para clasificarlo

Tomar (descartar) dimensiones de los planos geométricos según el catálogo de biodiversidad. Hay algo que me llamó la atención y la dimensión lineal máxima del organismo. Tener en cuenta esta medida para la diatomea "*Fragilaria* sp." la dimensión lineal máxima debe ser por célula y por colonia. Este contenido brinda



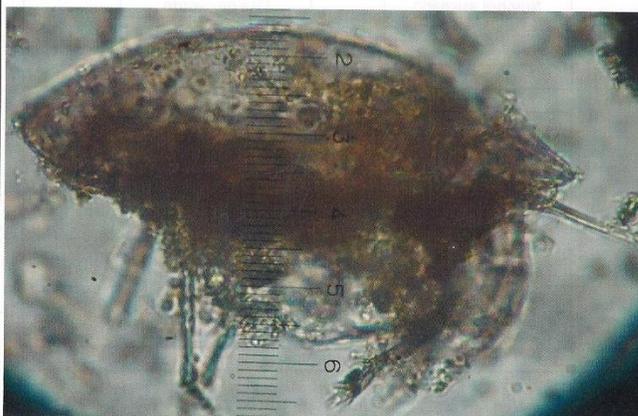
Convenio Interadministrativo 21302406-005-2015
 Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas
 de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia.

PANEL DE EXPERTOS - ECOSISTEMAS ACUÁTICOS SUBTERRÁNEOS
 01 de Abril de 2016



Experto : Jimmy Montoya

Institución: Universidad de Antioquia



Medición en 40X

Nombre asignado	Está de acuerdo
Acaridae	si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>

Apreciación del experto

parece, seis boca tres, más fbs y ojo-lí en otras vistas

Recomendación para clasificarlo

podría mirar al estereoscopio. Lavar el organismo.



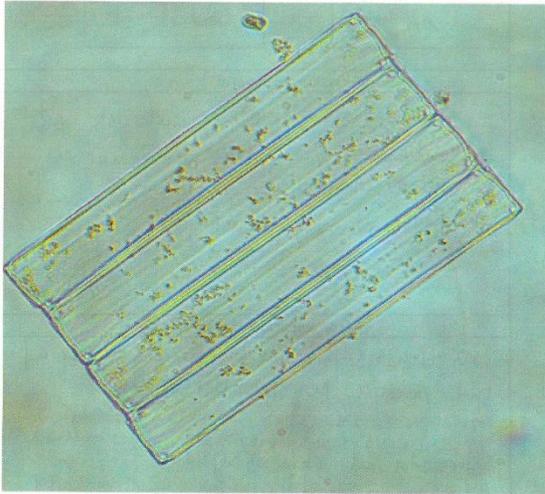
Convenio Interadministrativo 21302406-005-2015
 Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas
 de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia.

PANEL DE EXPERTOS - ECOSISTEMAS ACUÁTICOS SUBTERRÁNEOS
 01 de Abril de 2016



Experto : Carlos Lasso

Institución: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt



Medición en 40X

Anotó: Esnedy.

Nombre asignado	Está de acuerdo
Alga	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>
Apreciación del experto	
<p>Alga perteneciente a la división Bacillanophyta. Posee esqueleto de sílice, este individuo presenta una agregación colonial de 4 células. Posiblemente pertenece al género Fragilaria sp. sin embargo se debe confrontar su determinación en objetivo de 100x.</p>	
Recomendación para clasificarlo	
<p>Por favor tomar dimensiones en los planos que sugiera el catálogo de formas geométricas o biovolumen recomendado por Hillbrand et al. 1999. Adicionalmente contar el número de células por colonia, para verificar si se trata de colonias bien establecidas!</p>	

-Tener en consideración la clasificación del profesor Jimmy Montoya.



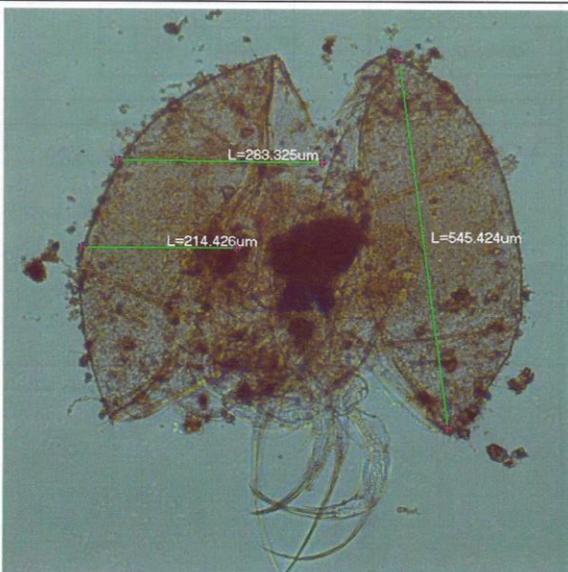
Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas
 de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia.

PANEL DE EXPERTOS - ECOSISTEMAS ACUÁTICOS SUBTERRÁNEOS
 01 de Abril de 2016



Experto : Jimmy Montoya

Institución: Universidad de Antioquia



Medición en 10X

Nombre asignado	Está de acuerdo
Ostrácode 1	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>
Apreciación del experto	
<p>Esta ostrácode, pero considero que es un ostrácode. Requiere literatura especializada y en Colombia no contamos expertos en el tema</p>	
Recomendación para clasificarlo	
✓	



Convenio Interadministrativo 21302406-005-2015
 Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas
 de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia.



PANEL DE EXPERTOS - ECOSISTEMAS ACUÁTICOS SUBTERRÁNEOS
 01 de Abril de 2016

Experto : Juan Pablo Serna

Institución: Universidad de Antioquia



Imagen tomada en estereomicroscopio

Nombre asignado	Está de acuerdo
Macroinvertebrado	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>

Apreciación del experto

Orden: Coleoptera
 asociados a tipos de agua de
 buena calidad

Recomendación para clasificarlo



Convenio Interadministrativo 21302406-005-2015
 Determinación de estigofauna en las aguas subterráneas
 de la subregión del Urabá antioqueño, Colombia.



PANEL DE EXPERTOS - ECOSISTEMAS ACUÁTICOS SUBTERRÁNEOS
 01 de Abril de 2016

Experto : Carlos Lasso

Institución: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt



Imagen tomada en estereomicroscopio

Nombre asignado	Está de acuerdo
Macroinvertebrado	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>

Apreciación del experto

Diptera
 familia Culicidae.

Recomendación para clasificarlo

Ver el libro de
 Roldán (1988)