

**EVALUACIÓN DEL INDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL MUNICIPIO
DE MAHATES Y LOS CORREGIMIENTOS DE SAN JOAQUÍN, MALAGANA,
MANDINGA Y SAN BASILIO DE PALENQUE (BOLÍVAR, COLOMBIA)**

JASSER MARTINEZ GARCIA

BEATRIZ EUGENIA JARAMILLO COLORADO, Química, Ph.D.

Directora



**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
MAESTRÍA EN QUÍMICA
GRUPO DE INVESTIGACIONES AGROQUÍMICAS
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.
2017**

**EVALUACIÓN DEL INDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL MUNICIPIO
DE MAHATES Y LOS CORREGIMIENTOS DE SAN JOAQUÍN, MALAGANA,
MANDINGA Y SAN BASILIO DE PALENQUE (BOLÍVAR, COLOMBIA)**

**Proyecto de investigación presentado como
requisito para optar al título de Magister en Química**

BEATRIZ EUGENIA JARAMILLO COLORADO Ph. D.

Directora

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
MAESTRÍA EN QUÍMICA
GRUPO DE INVESTIGACIONES AGROQUIMÍCAS
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.**

2017

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi toda mi familia en especial a María García Jiménez mi madre, Velia Martínez García y Verónica Mendoza García mis hermanas por su apoyo incondicional y por ser el motor que me levanta cada nuevo día, así como a todos mis tíos y primos por darme el impulso para lograr alcanzar mi metas profesionales.

Gracias a Beatriz Jaramillo Colorado por brindarme la oportunidad de trabajar junto a ella y a los integrantes del Grupo de Investigaciones Agroquímicas de la Universidad de Cartagena en el desarrollo de este proyecto, también por guiarme por en este arduo camino de la ciencia y por esos momentos de alegría que compartí con todos ellos, pero en especial a Flor María Palacio Herrera por tantas veces que me brindó sus consejos para alcanzar este logro.

También le doy las gracias a mis compañeros de la maestría y a los que conocí en ella de una u otra forma me han apoyado a lo largo de estos años, pero un agradecimiento especial para Gilberto Chiquillo Correa y Juan David Sierra Márquez porque con su ayuda pude llevar a cabo esta investigación

Agradezco igualmente a mis compañeros de trabajo de la Institución Educativa Ezequiel Martelo Pimienta de San Joaquín, Mahates porque su ayuda en este proceso y consejos, que me han ayudado a ser una mejor persona en el ámbito personal y profesional, además a la Hermana Elfride Jagersberger Glück y a la Fundación el Divino Sembrador por ser forjadores de mi deseo por lograr esta meta en el inicio.

Por último a los acueductos de Mahates, San Joaquín, Malagana, Mandinga y Palenque, por colaborar de forma atenta y amable en el estudio de los recursos hídricos y por preocuparse por el bienestar de estas poblaciones.

CONTENIDO

1. RESUMEN.....	10
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	11
2.1 PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN	11
2.2 Objetivos.....	15
2.2.1 Objetivo General.....	15
2.2.2 Objetivos Específicos	15
3. MARCO TEÓRICO	16
3.1 Parámetros de la Calidad de Agua.....	16
3.1.1 Características Físicas	18
3.1.2 Características Químicas	18
3.1.3 Características Microbiológicas	22
3.1.4 Características relacionadas con los Plaguicidas.....	23
3.2 ESTADO DEL ARTE	25
4. METODOLOGÍA.....	28
4.1 Región de estudio	28
4.2 Sitios de muestreo.....	28
4.2 Caracterización de las propiedades de la calidad de agua	31
4.2.1 Caracterización Físicoquímica	31
4.2.2 Caracterización Microbiológica	33
4.2.3 Determinación de Pesticidas.....	33
5. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	36
5.1. Muestreo	36
5.2 Estado de los sitios de muestreo	36

5.3 Caracterización Física.....	42
5.4 Caracterización Química	43
5.5 Caracterización Microbiológica	56
5.6 Cálculo del IRCA	57
6. CONCLUSIONES.....	60
7. RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES	61
8. BIBLIOGRAFIA	62
ANEXOS	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Puntaje de Riesgo Resolución 2115 de 2007.....	15
Tabla 2. Clasificación del agua según la dureza.....	19
Tabla 3. Ubicación de los sitios de muestreo.....	27
Tabla 4. Muestreo realizado para aguas sin tratamiento.....	30
Tabla 5. Caracterización de fisicoquímica de las fuentes de agua potable.....	31
Tabla 6. Turbidez y color de las muestras.....	42
Tabla 7. pH y Dureza de las muestras.....	43
Tabla 8. Concentración de iones interés para la calidad del agua de las muestras.....	44
Tabla 9. Concentración de metales pesados de las muestras de aguas.....	45
Tabla 10. Especificaciones de los componentes activos de los pesticidas de interés.....	48
Tabla 11. Caracterización microbiológica de las muestras.....	55
Tabla 12. Índices de Riesgo de la calidad del agua (IRCA) para los sitios analizados.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo en el municipio de Mahates, Bolívar...	28
Figura 2a. Muelle de Mahates.....	36
Figura 2b. Bomba de abastecimiento Mahates casco urbano.....	36
Figura 3. Acueducto de Mahates.....	37
Figura 4a. Arroyo Ají Molido, Malagana.....	38
Figura 4b. Bomba de abastecimiento de Malagana.....	38
Figura 5a. Represa artesanal de Mandinga.....	39
Figura 5b. Bomba de abastecimiento de Mandinga.....	39
Figura 6a. Fuente de abastecimiento de Palenque.....	40
Figura 6b. Bomba de succión de Palenque.....	40
Figura 7a. Planta potabilizadora de San Joaquín.....	41
Figura 7b. Bomba de succión de San Joaquín.....	41
Figura 8a. Proceso de extracción líquido - líquido.....	47
Figura 8b. Proceso de concentración con el Kuderna - Danish.....	47
Figura 9. Espectro de GC – MS de la muestra de Mahates (MAH).....	49
Figura 10. Espectro de GC – MS de la muestra de Malagana (MAL).....	50
Figura 11. Espectro de GC – MS de la muestra de Mandinga (MAN).....	50
Figura 12. Espectro de GC – MS de la muestra de Palenque (PAL).....	51
Figura 13. Espectro de GC – MS de la muestra de San Joaquín (SJ).....	51
Figura 14. Espectro de GC – ECD de la muestra de Mahates (MAH).....	52

Figura 15. Espectro de GC – ECD de la muestra de Malagana (MAL).....	53
Figura 16. Espectro de GC – ECD de la muestra de Mandinga (MAN).....	53
Figura 17. Espectro de GC – ECD de la muestra de Palenque (PAL).....	54
Figura 18. Espectro de GC – ECD de la muestra de San Joaquín (SJ).....	54

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Análisis microbiológico de las muestras.....	67
ANEXO B. Análisis de mercurio por vapor frío de las muestras.....	76
ANEXO C. Análisis de metales pesados por absorción atómica en llama de las muestras...	78
ANEXO D. Resultados de la cromatografía iónica de las muestras de las fuentes abastecimiento de Mahates y sus corregimientos.....	86
ANEXO E. Resultados de la GC - MS de las muestras de las fuentes abastecimiento de Mahates y sus corregimientos.....	92
ANEXO F. Resultados de la GC - ECD de las muestras de las fuentes abastecimiento de Mahates y sus corregimientos.....	97

1. RESUMEN

Este proyecto evaluó el Índice de la Calidad del Agua de las fuentes de abastecimiento del municipio de Mahates que se provee del Canal del Dique en su cabecera municipal y de los corregimientos de San Joaquín, Malagana y San Basilio de Palenque que utilizan pozos profundos, además del corregimiento de Mandinga que se abastece de una represa artesanal y de los acueductos de Mahates y Malagana. El índice de calidad fue evaluado con base en la Resolución 2115 del 2007 que establece el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA), puesto que de estas fuentes se distribuye el agua a la población sin realizar tratamiento al agua en los corregimientos de Mandinga, San Basilio de Palenque y San Joaquín.

Esto se realizó con el muestreo y la medición de parámetros físicos (turbidez y color), químicos (pH, dureza, la presencia de iones y metales pesados), microbiológicos (coliformes totales y *Escherichia Coli*), además de la presencia de plaguicidas (organoclorados y organofosforados) utilizados en la agricultura y ganadería de la región. Para realizar el análisis de estos parámetros se emplearon el método nefelométrico, fotométrico, complexométrico, potenciométrico, absorción atómica, cromatografía iónica y cromatografía de gases acoplada a espectrometría masas y captura de electrones.

El objetivo del proyecto es contribuir en el diagnóstico de los contaminantes que están afectando a las fuentes de abastecimiento de agua potable utilizada en la región, con lo cual se pueden proponer, diseñar e implementar estrategias viables para disminuir el IRCA al cual está expuesta la población de Mahates.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN

El municipio de Mahates y los corregimientos de San Joaquín, Malagana, San Basilio de Palenque, Gamero, Evitar y Mandinga pertenecientes a su jurisdicción, se abastecen de una fuente superficial como el Canal del Dique en su cabecera municipal y los corregimientos de Gamero y Evitar, los demás se toman el agua de pozos profundos y represas artesanales que proveen a acueductos comunitarios, los cuales sólo bombean agua al 65% de la población urbana durante 10 horas diarias y en las zonas rurales durante 8 horas semanales, esta agua en algunos casos es bombeada sin un tratamiento previo para eliminar los contaminantes generados en el municipio (Alcaldía de Mahates, 2008, p. 68), a su vez el aumento de la población está generando una mayor demanda de alimentos, vivienda, energía y una enorme presión sobre los recursos hídricos, especialmente en la calidad del agua, la cual se está degradando debido principalmente a las actividades agrícolas junto con una creciente urbanización son amenazas latentes para el agua potable y pese a que la calidad del agua está garantizada en Colombia para las zonas urbanas, pero en las zonas rurales y de población dispersa del país la situación es más grave. Según cálculos del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2002), del 56% de la población rural colombiana que tiene alguna forma de abastecimiento de agua, solo el 6% cuenta con agua a la cual se le da algún tratamiento para disminuir el riesgo de los contaminantes producidos por estas actividades para la seguridad alimentaria y la salud humana (Giri & Qiu, 2016), (Ding et al., 2016) y (Procuraduría General de la Nación, 2007, p. 36 -37).

La medición de la calidad del agua es hecha con base en un conjunto de características físicas, químicas y biológicas necesarias para el uso que se le vaya dar (UNEP, 2013, p. 3) y en Colombia están establecidos en la Resolución 2115 del 2007 los parámetros exigidos para el agua potable, los cuales según reportes de la Contraloría no son cumplidos en muchas ocasiones en la mayoría de los municipios del territorio nacional (Contraloría General de la Nación, 2008) y el departamento de Bolívar no es la excepción puesto que en muestreos reportados por el Sistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano (SIVICAP) en el periodo comprendido entre el 2007 y

2011 sólo Cartagena de los 39 municipios evaluados mantuvo Índices de Riesgos de la Calidad del Agua (IRCA) aptos para el consumo humano en todo este periodo (SIVICAP, 2012a), además en controles realizados en el 2011 varios municipios entre ellos se encuentra Mahates, presentaron muestras con IRCA's inviabilidades sanitariamente (SIVICAP, 2012b, p. 11) y en el último informe entregado por el SIVICAP en 2016 sólo Cartagena y el Carmen de Bolívar obtuvieron IRCA's sin riesgo para el consumo humano (SIVICAP, 2016), lo cual representa una situación preocupante para la salud del Departamento de Bolívar, ya que el deterioro de la calidad del agua según un informe del Ministerio de Salud y Protección Social está asociado a enfermedades como Hepatitis A y la mortalidad por enfermedad diarreica en menores de 5 años (Ministerio de Salud y Protección Social, 2014) y según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud el 80% de las enfermedades se transmiten por agua contaminada (Procuraduría General de la Nación, 2005).

En estos controles realizados por el SIVICAP en Bolívar los análisis de la calidad del agua se han centrado en evaluar parámetros físicos como la turbidez, el pH y el color debido a que son un indicio de la presencia de materia orgánica y agentes patógenos como coliformes totales y *Escherichia Coli*, pues son parámetros de rápida medición y vectores generadores de enfermedades como la diarrea y cólera con gastos superiores a los 1,96 billones de pesos anuales, donde un 70% se invierte en combatir estas enfermedades y el 30% en prevenirlas (Procuraduría General de la Nación, 2005, p. 36) y (Wright et al., 2014).

Otro parámetro presente pero en menor frecuencia son los metales pesados ya que tienen la capacidad de bioacumularse en los humanos, con potenciales efectos cancerígenos entre otros riesgos, estos son generados en grandes concentraciones por la explotación descontrolada de las minas presentes en el departamento y por características propias de los suelos de cada región (Chowdhury et al., 2016) y los iones como los cloruros, sulfatos, magnesio y calcio por su presencia frecuente en las fuentes subterráneas (Zaidi, Mogren et al., 2016), porque le agregan mayores costos al tratamiento del agua potable agregándole un sabor salado al agua, el cual le da un efecto laxante al agua para los consumidores no habituales y su presencia favorece el aumento de la contaminación por plomo proveniente de las cañerías oxidadas (Foster et al, 2013) y (Guías para la calidad del agua potable, 2006).

Así mismo en estos controles de calidad de agua para consumo humano, un parámetro ausente es la concentración de plaguicidas (SIVICAP, 2012a) derivados de la práctica de la agricultura y la ganadería, actividades de amplia práctica en el departamento de Bolívar y en el municipio de Mahates ubicado como décimo en el departamento con 31.527 cabezas de ganado reportadas por el Censo Bovino Nacional del 2016 realizado por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2016). Los plaguicidas representan un gran riesgo para las fuentes de abastecimiento de agua potable ya que debido a su gran estabilidad química pueden permanecer en los suelos por muchos años (Ravelo Pérez, 2011, p. 10). De igual forma tienen una dosis letal del orden de las partes por billón las cuales son imperceptibles en muchos casos para cierto instrumentos analíticos y peor aún hoy en día en muchos municipios no se cuenta con laboratorios propios para análisis microbiológicos, y sobretodo para metales pesados, iones, y pesticidas, debido a la gran inversión que estos requieren. Esta deficiencia dificulta el análisis de la calidad del agua hasta en parámetros como los microbiológicos de evaluación constante, pues algunas muestras superan el tiempo máximo recomendado para su análisis (Wright et al., 2014). Otro factor directamente relacionado con aumento del riesgo por el uso de plaguicidas, es que se van acumulando en mayores concentraciones cuando se va avanzando en la cadena trófica, además sus efectos tardan años en manifestarse en los humanos y pueden causar cáncer, daño al hígado, en el sistema reproductor y nervioso (Ravelo Pérez, 2011, p. 13).

En la actualidad no existen estudios recientes de la calidad del agua de las fuentes utilizadas para agua potable de los corregimientos del municipio de Mahates, considerados por Estudio Nacional del Agua del 2014 (IDEAM, 2014) como zona de gran variación en los niveles de escorrentías entre años secos y húmedos. En dicha variación la zona pasa de tener niveles bajos a niveles comparables en algunos casos a los del departamento de Chocó que presenta durante todos los años los niveles más altos en el país (IDEAM, 2014). Este fenómeno se presenta en el municipio por la presencia de varias ciénagas y cuerpos de aguas (Alcaldía de Mahates, 2008, p. 18) con flujo creciente a partir del mes de mayo periodo en el cual se aumenta el nivel de las escorrentías en todo el país y los cuales afectan la calidad del agua como se logra ver en el IRCA mensual del acueducto de Mahates realizado por el SIVICAP en 2011 donde se presentó el nivel de riesgo más alto de todo el año. Además los estudios realizados por los entes de control solo se han centrado en la

cabecera municipal abastecida del Canal del Dique (SIVICAP , 2012c), y han dejado de lado la calidad del agua con que se abastecen los corregimientos propensas a tener un mayor riesgo afectadas por los contaminantes de las escorrentías del suelo, utilizado en su mayoría para la agricultura y ganadería, así como por el manejo de residuos sólidos, realizado de manera descontrolada en algunas ocasiones(Procuraduría General de la Nación, 2007, p. 51) y (Foster et al., 2013).

Este proyecto se realizó ante la necesidad de conocer el estado actual de la calidad del agua en las fuentes de abastecimiento del municipio de Mahates y los corregimientos de San Joaquín, Mandinga, Malagana y San Basilio de Palenque, afectada por las lluvias, el viento, la lixiviación de los suelos, el manejo de residuos sólidos y el uso de plaguicidas en la agricultura y la ganadería. Al mismo tiempo contribuirá en el diagnóstico de las fuentes contaminantes que están afectando al agua potable distribuida por los acueductos de Mahates y Malagana, facilitando evaluar el IRCA al cual se están sometidos los habitantes de Mahates y sus corregimientos, con lo cual se podrían diseñar e implementar estrategias viables de fuentes naturales y propias de la región (Martínez García & González Silgado, 2012) y (Villabona Ortiz, Paz Astudillo, & Martínez García, 2013), para disminuir el riesgo al cual está sometida la población de la región.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo General

Evaluar la calidad del agua teniendo en cuenta los contaminantes procedentes del uso de plaguicidas en la ganadería, así como por los procesos geológicos y del manejo de residuos sólidos, en las fuentes de abastecimiento usadas para el tratamiento de agua potable del municipio de Mahates y sus corregimientos, junto con los acueductos de Mahates y Malagana.

2.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar los contaminantes generados en la región por el manejo de residuos sólidos, los procesos geológicos y los plaguicidas usados en la agricultura y ganadería en el municipio de Mahates y sus corregimientos.
- Medir la concentración de metales pesados (mercurio, níquel, hierro, cadmio, cromo, plomo, cobre y zinc), los parámetros microbiológicos (coliformes totales y *Escherichia coli*) y parámetros químicos (cationes, aniones, dureza, pH, turbiedad y color) que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana y de los plaguicidas organoclorados y organofosforados usados en la región, de las fuentes de abastecimiento usadas para el tratamiento de agua potable y luego tomar dos sitios de muestreo luego ser tratados para medir aquellos parámetros que hayan presentado mayor riesgo en los análisis preliminares.
- Calcular el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) de las fuentes de abastecimiento del agua y de los sitios de muestreo escogidos luego de tratados en el municipio de Mahates y sus corregimientos de acuerdo a la normativa vigente (Resolución 2115 del 2007).

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Parámetros de la Calidad de Agua

Los parámetros de la calidad del agua varían con el fin para el cual se vaya utilizar el agua, en particular los parámetros del agua utilizada para consumo humano están regulada en Colombia por la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Ambiente en ella se señalan las características físicas, químicas, fisicoquímicas, microbiológicas y relacionadas con otras sustancias químicas, además de la vigilancia y los riesgos que estas representan para la salud humana.

Tabla 1. Puntaje de Riesgo Resolución 2115 de 2007 (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

Parámetro	Puntaje de riesgo
Color Aparente	6
Turbiedad	15
pH	1,5
Cloro residual libre	15
Alcalinidad total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza total	1
Sulfatos	1
Hierro total	1,5
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio (Al ³⁺)	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes totales	15
<i>Escherichia coli</i>	25
Sumatoria de puntajes asignados	100

El riesgo para estas características es evaluado a través del Índice de Riesgo de la Calidad de Agua (IRCA), este índice es interpretado como la evaluación de naturaleza química, física y biológica del agua en relación con la calidad natural, los efectos humanos y usos posibles. El IRCA reduce una gran cantidad de parámetros a una expresión simple de fácil interpretación este índice le confiere un puntaje de riesgo a cada una de las características que no se cumplan, la mayoría de las características son adquiridas en la fuente de abastecimiento las cuales están expuestas al constante deterioro por las actividades socioeconómicas de cada región y de acuerdo a las fuentes de contaminación se escoge el tipo de tratamiento requerido para garantizar el suministro de agua segura (**Tabla 1**).

El índice le da un puntaje de riesgo alto a las características microbiológicas bastante frecuentes en los controles realizados en municipios de Colombia(SIVICAP, 2012a) y a las características físicas como la turbiedad y el color aparente que son monitoreadas y tratadas en las plantas de agua potable, un caso particular es el cloro residual ya que es una propiedad que adquiere el agua luego ser tratada y que representa un gran riesgo para el IRCA(Martínez García, J. & González Silgado, L. 2012).

Pese a que la Resolución 2115 no tiene en cuenta un nivel de riesgo para el mercurio, níquel, cobre, cromo, plomo y los pesticidas, en el parágrafo del Artículo 13 establece que si se exceden los valores aceptables de estos elementos, compuestos químicos o mezcla de compuestos químicos, al valor del IRCA se le asignará el puntaje máximo de 100, independiente de los demás resultados debido a su peligrosidad (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

El valor del IRCA se calcula con la **Ecuación 1**, en ella se logra apreciar que el valor puede ajustarse a las variables que se midan, sin necesidad de medir todas las que aparecen en la **Tabla 1** y la calidad del agua se puede clasificar de acuerdo con el nivel de riesgo del agua para consumo humano en sin riesgo (0 – 5%), bajo (5,1 – 14%), medio (14,1 – 35%), alto (35,1 – 80%) e inviable sanitariamente (80,1 – 100%).

Ecuación 1. IRCA por muestra

$$IRCA (\%) = \frac{\text{Puntaje de riesgo a las características no aceptables}}{\text{Puntaje de riesgo asignados a todas las características analizadas}} \times 100\%$$

3.1.1 Características Físicas

Son características que dan un indicio de contaminación de las aguas y pueden ser palpadas a simple vista, pero no que fuente la ha producido, entre ellas están:

- **Turbiedad:** Es una característica presente en las fuentes utilizadas para abastecer agua potable y los altos niveles pueden proteger a los microorganismos contra los efectos de desinfección, estimular el crecimiento bacteriano y requerir altos niveles de cloro para la desinfección. En los procesos de tratamiento el nivel máximo de turbiedad exigido es de 2 NTU en la legislación colombiana, pero es preferible niveles inferiores a 1 NTU.
- **Color aparente:** El color del agua es producido por el material disuelto de origen orgánico, metales, residuos industriales o sustancias húmicas de color, esta propiedad es asociada con una posible contaminación y se recomiendan valores máximos de 15 UPC (Guías para la calidad del agua potable, 2006).

3.1.2 Características Químicas

Las características químicas del agua para consumo humano son aquellos elementos y compuestos químicos que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud, estas son el pH, concentración de iones y metales pesados.

3.1.2.1 pH: El pH no tiene efectos sobre la salud, pero puede afectar los procesos de tratamiento del agua potable, su valor debe estar entre 6,5 y 9 (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

3.1.2.2 Iones: Son elementos o moléculas de carga positiva o negativa que pueden afectar la salud humana o generar mayores costos al proceso de tratamiento y afectan en su mayoría a las aguas subterráneas, ya que son generados por los procesos geológicos de la tierra (Foster, S., Chilton, J., Nijsten, G., & Richts, A. 2013), entre ellos se encuentran:

- **Fosfato:** El fósforo generalmente se encuentra en aguas naturales, residuales y residuales tratadas como fosfatos y en concentraciones mayores a 0,5 mg/L pueden afectar la salud humana. Éstos se clasifican como ortofosfatos, fosfatos condensados y compuestos organofosfatados. Estas formas de fosfatos provienen de una gran

cantidad de fuentes, tales como productos de limpieza, fertilizantes, procesos biológicos, etc. (ISO International, 2009).

- **Fluoruro:** El flúor es un elemento esencial para la formación de los huesos y dientes, pero sólo es requerido en pequeñas cantidades, ya que con niveles superiores a los 10 mg/L se producen intoxicaciones crónicas que pueden causar la muerte, los fluoruros están generalmente presentes en las aguas subterráneas que en muchos casos son usadas para consumo humano y su ingesta de forma continua por largos periodos resulta perjudicial para la salud (ASTM International, 2010).
- **Cloruro:** El ion cloruro es un elemento esencial para nuestro organismo y hace parte de nuestra dieta diaria, se presenta en general junto con otros minerales, pueden afectar a la producción de los cultivos, disminución de la producción lechera y a humanos en niveles superiores a 250 mg/L, produce diarrea, hipertensión y problemas renales (Shakir, E. et al., 2016).
- **Sulfato:** El ion sulfato es abundante en aguas naturales. Un amplio rango de concentraciones se encuentra presente en aguas lluvias y su determinación proporciona valiosa información respecto a la contaminación y a los fenómenos ambientales, para consumo humano se establecido como límite los 250 mg/L. (ASTM International, 2011).
- **Amonio:** Es el producto final de la reducción de la materia orgánica y micronutriente de algunos microorganismos, cuando su concentración es mayor a 0,1 mg/L es un indicador de contaminación, ya que las principales fuentes que lo generan son los desagües de aguas residuales domésticas e industriales. Este ion genera mayores gastos económicos en proceso de desinfección (Guías para la calidad del agua potable, 2006).
- **Dureza:** Comúnmente es la suma de las concentraciones los cationes Ca^{+2} (60 mg/L) y Mg^{+2} (36 mg/L), expresada como la cantidad equivalente de CaCO_3 (valor máximo recomendado de 300 mg/L). La dureza no ha sido asociada afectos adversos en la salud, es asociada con el uso de los detergentes y jabones, a su vez está bastante relacionada con pH básicos, con la formación de sedimentos a altas temperaturas y la obstrucción de las tuberías (Guías para la calidad del agua potable,

2006) y (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

Cabe mencionar que teniendo en cuenta la dureza se pueden clasificar de acuerdo con la tabla las aguas en blandas, moderadamente duras, duras y muy duras (Mora Alvarado, 2009). Por último, se debe mencionar que estudios epidemiológicos han mostrado una relación inversa entre los niveles de Mg y Ca, en el agua potable y las enfermedades cardiovasculares por eso se recomiendan unos niveles que oscilen entre 40 – 80 mg/L de Ca y 20 – 30 mg/l de Mg (Abtahi et al., 2016).

Tabla 2. Clasificación del agua según la dureza (Mora Alvarado, 2009, p. 20).

Tipo	Concentración de CaCO ₃ en ppm
Blanda	0 – 60
Moderadamente dura	60 – 120
Dura	120 – 180
Muy dura	> 180

3.1.2.3 Metales pesados: se les llama de esta manera aquellos elementos químicos con densidad mayor e igual a 6 g/cm³ y representan menos del 0,1 % de la corteza terrestre, a los cuales se les atribuye una gran toxicidad y efectos contaminantes sobre el medio ambiente. En estos se encuentran agrupados algunos micronutrientes esenciales para la vida de determinados organismos (As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, V, Zn) y los no esenciales cuya presencia es perjudicial en ciertas dosis para algunos seres vivos (Be, Cd, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn y Ti).

Las principales fuentes expuestas a la contaminación por metales pesados son los cuerpos hídricos debido a la lixiviación de los suelos y los procesos antropogénicos como la agricultura y el manejo de los residuos urbanos (Chowdhury et al., 2016, p. 2-3).

- **Cadmio (Cd):** Es un elemento no esencial y las principales fuentes que lo generan son el lavado de suelos agrícolas, los desechos municipales y las descargas mineras e industriales. Su presencia en ambientes marinos disminuye la supervivencia de los peces, moluscos y crustáceos.

Es utilizado para la producción de pinturas, plásticos, pigmentos y en algunos abonos fosforados ricos en Cd. La exposición a largo plazo en trazas (0,003 mg/L),

se asocia en disfunción renal, enfermedades en los pulmones, en la presión arterial y en efectos adversos en el tejido óseo (Nordberg, 2014).

- **Cobre (Cu):** Es un elemento poco soluble en agua esencial para el metabolismo humano, con una toxicidad aguda capaz de producir irritación del tracto gastrointestinal, que pocas veces llega a ser grave. Se recomiendan niveles inferiores a 1 mg/L, la contaminación proviene principalmente de los suelos, la atmosfera y de las tuberías desgastadas. La acumulación de cobre también produce taponamiento de las cañerías (Nordberg, 2014).
- **Cromo (Cr):** El Cr es un oligoelemento indispensable en el metabolismo de nuestro organismo en su estado Cr^{+3} , pero toxicológicamente el más peligroso y al cual estamos más expuestos es el Cr^{+6} generalmente proveniente de los cromatos utilizados en para la producción de productos químicos industriales y en los residuos sólidos que estos generan.

El Cr^{+6} es considerado cancerígeno en concentraciones superiores a 0,05 mg/L, pese a no haber sido comprobada esta hipótesis, puede generar alteración de cromátidas hermanas, aberraciones cromosómicas y reacciones cruzadas en la cadena de ADN (Nordberg, 2014).

- **Hierro (Fe):** Es el segundo metal más abundante y vital para nuestro organismo, ya que juega un papel importante en la formación de la hemoglobina. No presenta efectos adversos para la salud humana, pero genera mayores gastos económicos para el proceso de tratamiento ya que taponan las tuberías y le da un sabor metálico al agua, su presencia es mayor en las aguas subterráneas debido a la sedimentación de los suelos, Para evitar esto se recomiendan niveles inferiores a 0,3 mg/L de acuerdo con la OMS (Guías para la calidad del agua potable, 2006).
- **Mercurio (Hg):** es un metal que se encuentra en su forma elemental en el ambiente y en varias formas químicas, a su vez es muy volátil y tóxico en concentraciones trazas (0,001 mg/L) en el ambiente y su movilización es favorecida por los procesos bióticos y abióticos.

Está presente en gran variedad de procesos de las actividades humanas y la principal fuente de exposición para nuestro organismo es el consumo de pescado debido

fácilmente bioacumulada en la cadena alimenticia de los ecosistemas acuáticos. Puede producir mutaciones y problemas de salud (Chowdhury et al., 2016).

- **Níquel (Ni):** es un elemento metálico que se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre, los alimentos son la principal fuente de ingesta pero en las aguas subterráneas propensas a sedimentación o puestas en contacto con grifos recubiertos de níquel o cromo se encuentran niveles superiores 0,020 ppm recomendados, ya que según la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) el níquel es potencialmente cancerígeno aunque faltan mayor cantidad estudios para demostrarlo (Guías para la calidad del agua potable, 2006) y (Nordberg, 2014).
- **Plomo (Pb):** es un componente natural presente en la corteza terrestre en niveles de trazas, que generalmente forma minerales como la galena (PbS) y la cerusita (PbCO₃), pese a que su toxicidad es conocida hace muchos años sus efectos se manifiestan aun hoy en día, ya que es utilizado como antidetonante para la gasolina y en la producción de pinturas.
Puede afectar a casi todo el organismo en concentraciones superiores a 0,01 mg/L, pero en mayor medida al sistema nervioso en los niños, a los riñones y al sistema reproductivo (Guías para la calidad del agua potable, 2006).
- **Zinc (Zn):** es un nutriente esencial y componente de las metaloenzimas participes del metabolismo de los ácidos nucleicos y en la síntesis de las proteínas. No causa efectos adversos a la salud humana pero no se recomienda valores superiores a 3 mg/L, ya que puede afectar la aceptabilidad del agua por su color y sabor (Guías para la calidad del agua potable, 2006).

3.1.3 Características Microbiológicas

Establecer los microorganismos presentes en el agua y su concentración proporciona una herramienta vital para conocer la calidad del agua y para la toma de decisiones en relación al tratamiento de aguas, entre los microorganismos reconocidos como indicadores de calidad del agua encontramos a la cantidad de coliformes totales y *Escherichia Coli*.

3.1.3.1 Coliformes totales: Los microorganismos coliformes son un indicador adecuado de contaminación bacteriana debido a que son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal, en los coliformes totales se encuentran: *Escherichia*, *Enterobacter*,

Klebsiella, *Serratia*, *Edwardsiella* y *Citrobacter*, la mayoría no suelen sobrevivir en el medio acuático, ya que están sometidas a un estrés fisiológico y pierden la capacidad para reproducirse en cualquier medio. Su presencia en el agua indica contaminación bacteriana reciente e indica la degradación de los cuerpos de agua.

Pero dentro de los coliformes totales se encuentran los coliformes fecales los cuales tienen la capacidad de soportar temperaturas elevadas y en las condiciones propicias de materia orgánica, pH, humedad, etc., pueden reproducirse fuera del intestino de los animales.

Estas bacterias son de interés clínico, ya que pueden generar infecciones en el sistema respiratorio, diarreas severas, infecciones en la piel, entre otras. La cantidad de coliformes totales no debe ser superior a 2-3 coliformes, su presencia indica una contaminación en los cuerpos de agua, pero debido a la gran cantidad de fuentes generadoras es difícil identificar su fuente y son alertas que demuestran una falla en el sistema de tratamiento de agua para consumo humano (Reed B. C. & Rasnake M. S., 2016) y (Pulido et al., 2005).

3.1.3.2 Escherichia Coli: Es una bacteria de origen fecal resistente a las temperaturas extremas y a los ácidos débiles. La dosis infectante mínima es baja; se estima entre 10^3 y 10^2 bacterias. La principal fuente donde se encuentran son los animales, en particularmente en los bovinos, en los cuales ha sido detectada en múltiples ocasiones en carnes poco cocidas, produce diarrea, fiebre y en algunos casos más graves hasta la muerte en humanos (Pulido et al., 2005).

3.1.4 Características relacionadas con los Plaguicidas

Los plaguicidas son cualquier sustancia, o mezcla de sustancias, que se utilice para prevenir, controlar o destruir una plaga, en la agricultura y la ganadería han ayudado a mejorar la producción agrícola y el cuidado del ganado, con lo cual se han aumentado los ingresos que estas actividades producen, pero el uso intensivo de ellos ha incrementado el deterioro del medio ambiente y la exposición humana a estos agentes tóxicos (Ravelo Pérez, 2011, p. 8 -18).

En estos campos se utilizan los herbicidas (control de la maleza) e insecticidas (control de insectos), que en su mayoría son organoclorados, organofosforados y carbamatos,

compuestos químicos bastante tóxicos y con una estabilidad prolongada que representa un riesgo para la salud pública (Ravelo Pérez, 2011, p. 9).

Los efectos de los pesticidas sobre la salud humana son reconocidos y su utilización ha sido prohibida en algunos casos por el Ministerio de Protección Social (Ministerio de Protección Social, 2007) y el ICA (ICA 2005), el total de las concentraciones de plaguicidas no pueden ser superior a 0,1 mg/L (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

- **Organoclorados:** son sustancias orgánicas cloradas con diferente grado de toxicidad. Estos compuestos están considerados entre los mayores contaminantes de los ecosistemas, por su mínima biodegradabilidad representan un riesgo latente pese a estar prohibidos desde hace más de 30 años y tienen capacidad de afectar a todos los grupos taxonómicos de la biota, incluyendo a organismos diferentes para los cuales son aplicados (ICA 2005).

Además, poseen una baja solubilidad en agua, pero alta liposolubilidad, es por eso que generalmente se encuentran en los depósitos grasos tanto de animales como de vegetales. En el suelo y en aguas aparecen adheridos a partículas (Aguilar Garduño, 2010).

- **Organofosforados:** son esteres de ácido fosfórico generalmente lipofílicos, son una fuente importante de la contaminación del medio ambiente por su uso generalizado en la agricultura, lo que implica su paso posterior a las redes tróficas, fuentes de agua y por medio de estos llegan a la población. Los organofosforados son los plaguicidas más utilizados alrededor de todo el mundo para el control de plagas, tanto en entornos residenciales como agrícolas (Ravelo Pérez, 2011, p. 23)

3.2 ESTADO DEL ARTE

La calidad de agua de las fuentes utilizadas para abastecimiento de agua potable ha sido desde siempre un tema de interés científico debido a la gran importancia de este recurso para la vida humana y es determinada por distintos factores químicos, físicos y microbiológicos. Estos a su vez nos indican las posibles fuentes de contaminación, entre ellas podemos encontrar las actividades antropogénicas (agricultura, ganadería y manejo de residuos sólidos), procesos geológicos, el tipo de fuente de abastecimiento (subterránea o superficial), los factores bióticos y abióticos (Meléndez, Quintero & Ramírez, 2013).

Entre los análisis de la calidad del agua realizados, se han escogido distintos puntos de las redes de distribución, así como distintos tipos aguas subterráneas o superficiales o los grifos del agua en las casas, en cada etapa los parámetros utilizados varían y a su vez el índice de calidad ya que este se ajusta al uso final que se le vaya a dar al agua. Dentro de estas variables una de gran interés ha sido las fuentes de abastecimiento ya que estas se ven afectadas por muchos contaminantes y perturban a todos los organismos vivos. Por tal razón el agua debe cumplir con parámetros que no afecten en algunos casos a la pesca y la cría de animales en aguas superficiales destinadas para este fin. Estas fuentes han sido analizadas e interpretadas preliminarmente de acuerdo con las leyes exigen en países como Indonesia, en el que se exigen cumplir con hasta 29 parámetros entre microbiológicos y químicos, en los resultados hasta el momento se han reportado índices de calidad buenos para la pesca y la cría de animales con niveles muy bajos de metales e índices microbiológicos aptos para el desarrollo del ecosistema (Effendi, 2016).

Por esto la calidad del agua es en un gran desafío también para la agricultura y la seguridad alimentaria, y puede afectar la salud de la población a través de la agricultura y la alimentación. En revisiones hechas sobre la calidad del agua en China muestran que todos los cuerpos de agua del país se encuentran bajo una ligera contaminación y alrededor del 60% del agua subterránea está contaminada por nitratos y las superficiales debido a la eutrofización lo cual son serias amenazas a la seguridad del agua potable. Cabe anotar la calidad del agua potable está garantizado en las zonas urbanas, pero es preocupante en las zonas rurales, aún más porque China es el mayor consumidor de fertilizantes y plaguicidas en el mundo y las cantidades de aplicación muestran tendencias crecientes, estos

compuestos son las fuentes más importantes de contaminación, que afectan a la salud humana por ser contaminantes orgánicos persistentes y disruptores endocrinos ambientales (Zhang, Guo, Shen, Yu, & Qiu, 2015).

Los análisis para medir la calidad del agua deben tener en cuenta los parámetros pertinentes que reflejen el efecto de los ciclos hidrológicos y la geografía de las regiones de interés, ya que cada punto de muestreo de agua sufre diferentes impactos antropogénicos y deben ser clasificados de forma diferente. Los datos obtenidos pueden ser analizados y las mediciones obtenidas de turbidez, pH, temperatura, metales (Ca, Fe, Mg, Na y K) e iones (Cl^- , NH_4^+), ajustadas estadísticamente con distintas ponderaciones sirven proponer índices de calidad del agua con los que se pueden reflejar el efecto de estos parámetros en las fuentes de agua (Lobato et al., 2015).

En lo que respecta al agua potable la calidad ha sido evaluada en distintos lugares del mundo con el fin de evaluar la efectividad de los procesos de tratamiento del agua potable y residuales en ellos ha calculado los niveles de pH, conductividad eléctrica, la demanda bioquímica de oxígeno, *E. coli*, temperatura, turbidez y nutrientes (nitrógeno y fosfatos) de cuencas hidrográficas. En ellos se ha observado que estos cuerpos de agua poseen una calidad del agua calificada como media, lo cual indica que debe ser tratada y a partir de los procesos realizados en las plantas de agua potable se puede lograr una mejora sustancial de la calidad del agua hasta el punto de alcanzar niveles aceptables (Wanda, Mamba, & Msagati, 2016). Aunque cabe anotar que pese esto la población mundial está expuesta a pesticidas, compuestos policíclicos, perfluorados entre otros que tienen efectos adversos sobre la salud humana y análisis del agua muestran valores por debajo de los límites de cuantificación. A partir de ellos se puede ver que el agua del grifo hace una contribución menor pero potencialmente no despreciable para algunos microcontaminantes, en nuestra dieta y el aire. También muestra que la exposición a través del agua potable permanece por debajo de los valores de referencia de toxicidad para estas sustancias en países como Francia (Enault et al., 2015).

En algunos municipios de Colombia también se han realizado estos análisis, ya que muchos de ellos no cumplen con los parámetros de calidad exigidos por la Resolución 2115 del 2007, entre ellos está Bojacá en el Departamento de Cundinamarca este estudio determinó

parámetros como la turbidez, coliformes fecales, cloro residual, hierro y el color en varios puntos de la red de distribución que se abastece de un pozo y un nacedero, en los resultados se observó el cumplimiento de los parámetros microbiológicos y químicos exigidos por la normatividad, pero los niveles de cloro residual exceden los límites mínimos permisibles, lo cual indica una falla en el proceso de tratamiento del agua (Estupiñán Torres & Ávila de Navia, 2010).

Otro municipio donde fue valorada la calidad fisicoquímica y microbiología del agua fue el municipio de Turbaco en el Departamento de Bolívar, el muestreo fue realizado directamente desde los grifos de varias casas del municipio y los resultados revelaron que existe un déficit en la calidad microbiológica, a su vez los parámetros fisicoquímicos como el cloro residual, este parámetro no cumple con los valores mínimos que exige la Resolución 2115 del 2007. Además, se encontraron altos niveles de dureza, conductividad y cloruros arrojados en algunas estaciones de muestreo, esto evidencian que parte de la población está consumiendo agua no potable (CSS Consultoría, Interventoría & Formación SAS, 2015).

4. METODOLOGÍA

4.1 Región de estudio

El municipio de Mahates está ubicado al norte del departamento de Bolívar a 9 m sobre el nivel del Mar y una temperatura promedio de 28 °C, forma parte de la Zodes Diques. El casco urbano del municipio se encuentra a 55 km de Cartagena, tiene una extensión de 479 km². Cuenta con seis Corregimiento (Evitar, Gamero, Malagana, Mandinga, San Basilio de Palenque y San Joaquín), cinco veredas y dos caseríos. Limita al norte con los municipios de San Estanislao de Kostka, Soplaviento y San Cristóbal, al sur con el municipio de María la Baja y San Juan Nepomuceno, al este con el municipio de Arroyo Hondo y por el oeste con el municipio de Arjona.

La mayor parte de la economía se basa en la actividad agropecuaria; en donde la agricultura y la explotación en la cría de bovinos, ovicaprinos, aves de corral, porcinos y peces son el pilar fundamental de los habitantes 27586 se dedican a esta actividad, destacando que la mayor parte de la población económicamente activa se encuentra ubicada en el área rural del municipio.

4.2 Sitios de muestreo

El muestreo fue llevado a cabo en las ubicaciones indicadas en la **Tabla 3**, durante la etapa inicial utilizando únicamente fuentes de aguas crudas y luego se realizó el muestreo de las aguas tratadas, los puntos escogidos en cada uno de ellos fueron las bombas utilizadas para extraer el agua de las fuentes de abastecimiento.

Tabla 3. Ubicación de los sitios de muestreo.

Sitio	Longitud	Latitud
Malagana	10.1389350	-75.2286670
Mahates	10.2398670	-75.2031650
Mandinga	10.1433724	-75.1358747
San Joaquín	10.1615690	-75.1114490
Palenque	10.1353230	-75.2291330
Acueducto de Mahates	10.235942	-75.1955876
Acueducto de Malagana	10.1389350	-75.2286670

Las fuentes utilizadas (**Figura 1**), se clasifican en superficiales y subterráneas, en el caso de Mahates que utiliza el Canal del Dique y Mandinga que tiene una represa artesanal son consideradas superficiales. Por otra parte, las fuentes utilizadas en los corregimientos de Malagana, Palenque y San Joaquín son pozos profundos considerados fuentes subterráneas. Los puntos de muestreo escogidos en el municipio de Mahates y en sus corregimientos, fueron analizadas durante el mes de Junio y Julio se tomaron muestras en los puntos donde se bombea el agua en la región, en Mahates del Canal de Dique en la planta de bombeo ubicada en el Muelle del municipio. Mandinga se abastece de una represa artesanal construida por la junta de acción comunal ubicada en la cabecera del corregimiento cerca de plantaciones y de los pozos profundos utilizados en los corregimientos de San Joaquín, Malagana y San Basilio de Palenque, el primero con más de 10 años de haber sido construido, ubicado en la cabecera en la vía a San Cayetano y propenso a sedimentación. Los últimos dos con pozos profundos de 70 y 115 metros de profundidad respectivamente, ubicados a menos de un kilómetro de distancia en la entrada de Malagana y Palenquito.

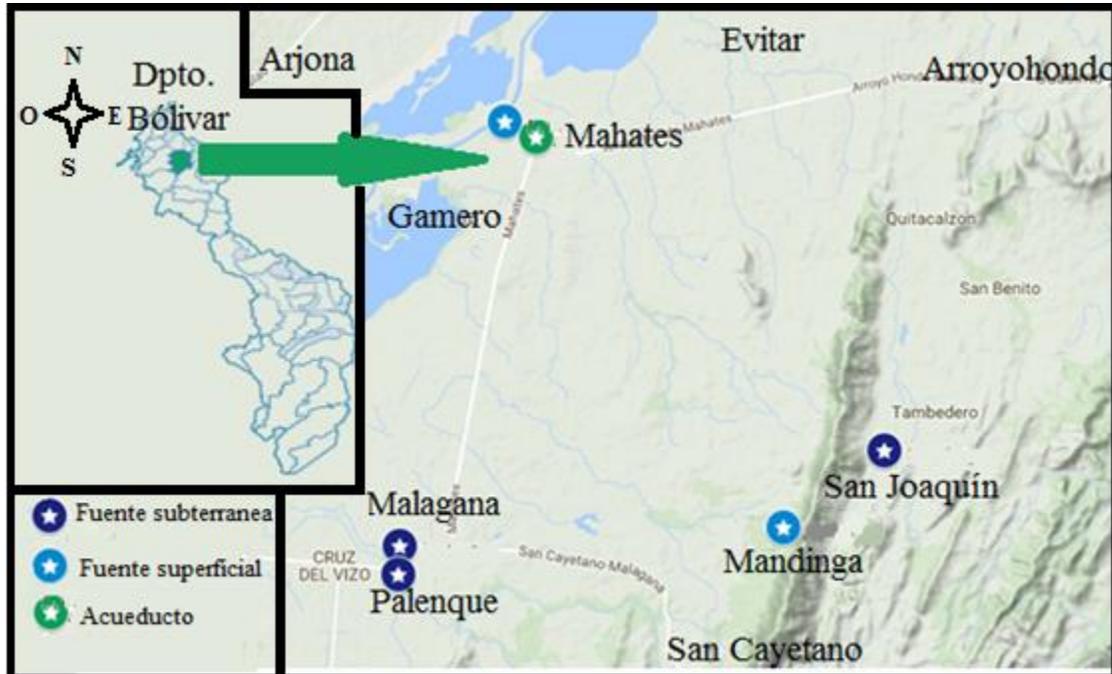


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo en el municipio de Mahates, Bolívar.

Luego de haber realizado los análisis de las fuentes de abastecimiento, se escogieron los acueductos de Mahates y Malagana, para realizar el muestreo y análisis después del proceso de tratamiento y antes de ser distribuida a la población. Estos acueductos fueron escogidos puesto que son los únicos que funcionan actualmente en el municipio y sus corregimientos, además de haber evidenciado algunos riesgos para la salud de la población en los sitios donde se abastecen. El acueducto de Mahates es el más grande y se encuentra en el casco urbano de la población a casi 1 km de la fuente de abastecimiento, en él se realizan los procesos de clarificación y coagulación con sulfato de aluminio debido a la alta turbidez que presenta el Canal del Dique, también se realiza desinfección con hipoclorito de sodio con una bomba dosificadora programada para funcionar bajo los mismos parámetros. En Malagana el acueducto se encuentra ubicado en el mismo lugar donde extraen el agua del pozo profundo, en el únicamente se realiza el proceso de desinfección con hipoclorito de sodio, por la baja turbidez que presenta el agua del pozo profundo utilizado en este acueducto. Estos procesos se realizan diariamente, pero el agua es bombeada únicamente 6 horas al día en promedio y los acueductos tienen alrededor de más de 10 años de funcionamiento

Las muestras fueron recolectadas (**Tabla 4**) y analizadas para medir las características físicas se utilizó una muestra de medio litro (Turbiedad, color y temperatura) la cual sirvió para medir pH y dureza, el muestreo se realizó por duplicado para evaluar la su variación de estos parámetros con el tiempo y se tomaron con un mes de diferencia entre cada muestreo para un total de 10 muestras, dos por cada uno de los 5 puntos de abastecimiento seleccionados y 2 por los acueductos tomados como control del proceso de tratamiento. Las muestras para características químicas fueron de medio litro para metales pesados y en viales de 15 ml para la medición de iones. Las características microbiológicas fueron medidas con muestras de medio litro (coliformes totales y *Escherichia coli*) tomadas en bolsas ziploc recomendadas por el laboratorio de Control de Alimentos de la Universidad San Buenaventura, el cual fue contratado para estos análisis. Para el análisis de pesticidas se contrató con el laboratorio de Prestación de Servicios de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas de la Universidad de, para estos se requirió de 5 litros para realizar la extracción, y poder establecer el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) para

consumo humano de acuerdo con la Resolución 2115 del 2007 del Ministerio de Protección Social.

Tabla 4. Muestreo realizado para aguas sin tratamiento.

Caracterización	Cantidad de muestras	Volumen de cada muestra (L)	Volumen total recolectado (L)
Físicas (Turbiedad, color, dureza y temperatura) – pH	14	0,500	7
Metales pesados	7	0,500	3,5
Iónica	5	0,015	0,075
Microbiológica	7	0,500	3,5
Pesticidas	5	5	25

A las muestras escogidas como control de aguas tratadas de los acueductos de Mahates y Malagana no se les realizó análisis de iones y de concentración total de pesticidas, porque en los análisis preliminares no excedieron los valores exigidos por la normativa vigente en Colombia para agua potable. Cabe destacar que esto no afecta el cálculo del IRCA puesto que de acuerdo con la Resolución 2115 de 2007 este índice de calidad se puede calcular con la cantidad de parámetros de interés para cada región y no necesariamente todos los exigidos por la esta norma.

4.2 Caracterización de las propiedades de la calidad de agua

4.2.1 Caracterización Físicoquímica

La caracterización de las parámetros físicoquímicos de las muestras fue llevada a cabo con el apoyo del grupo de Grupo de Investigaciones Agroquímicas de la Universidad de Cartagena y en la **Tabla 5** se pueden observar los métodos y procedimientos que se realizaron para medir los parámetros propuestos para determinar la calidad del agua.

Los iones fueron determinados por los métodos 4110 A. de APHA-AWWA-WPCF y el 300.0 de la EPA con la utilización de cromatografía iónica por ser un método instrumental de rápida detección, repetibilidad y sensibilidad para diversos iones presentes en aguas superficiales, industriales, potables y subterráneas (Trujillo et al., 2009).

Tabla 5. Caracterización de fisicoquímica de las fuentes de agua potable

Parámetro	Equipo	Método	Procedimiento
Turbiedad	Turbidimetro Turbiquant 3000 IR	Nefelométrico	ISO 7027
Color	Colorimetro Lovibond PFX 195	Fotométrico	GTC 2 – 1994
pH	pHmetro pH Basic 20 Crison Instruments	Potenciométrico	IDEAM TP 0080 – 2
Dureza	-	Complexometría	IDEAM TP 0341 - 2
Fosfatos	Cromatógrafo iónico IC 940 Vario Metrohm	Cromatografía de iones	ASTM D4327
Cloruros			ASTM D4327
Amonios			ASTM D6919
Fluoruros			ASTM D4327
Sulfatos			ASTM D4327
Mercurio	Analizador Portable Zeeman de Mercurio RA 915 M Ohio Lumex Co.	Absorción Atómica	ASTM D3223-12
Plomo	Espectrómetro de Absorción Atómica EspectrAA 220 FS Varian		TP0096 – 02
Cadmio			ASTM D3557-12A
Cromo (+3)			TP0096 – 02
Hierro			TP0096 – 02
Níquel			TP0096 – 02
Cobre			ASTM D857-12

La determinación de metales pesados fue realizado por Absorción Atómica con digestión ácida utilizando ácido nítrico en recipientes de vidrio de acuerdo con la metodología

recomendada por el IDEAM en la norma técnica TP0096 versión 2, la concentración de plomo, cadmio, cromo, cobre, níquel y hierro se evaluó en un espectrómetro de Absorción Atómica con llama de acetileno recomendado para el análisis de aguas (IDEAM, 2004) y el mercurio fue valorado por vapor frío, ya que este método ofrece mayor sensibilidad para este contaminante (Mädler et al., 2016).

4.2.2 Caracterización Microbiológica

Esta se realizó para medir los índices de contaminación microbiológica de coliformes totales y *Escherichia Coli*, presentes en los cinco puntos de abastecimiento del municipio de Mahates y los corregimientos de San Joaquín, Malagana, San Basilio de Palenque y Mandinga, también fueron analizadas dos muestras de los acueductos de Mahates y Malagana luego de realizado el proceso de tratamiento.

El análisis se efectuó a través del método de filtración por membrana, debido a que es la más recomendada por la normativa vigente para aguas, a su vez por su repetibilidad, rapidez y economía, esta metodología con las diluciones adecuadas junto con la filtración por membrana sirve para atrapar los microorganismos con tamaños mayores a 0,45 μm , la muestra fue filtrada con una bomba eléctrica que ejerció una presión diferencial y en un medio de Agar Chromocult se dio el crecimiento de colonias independientes macroscópicamente visibles, después de fueron incubadas en placas a 37 °C durante 24 horas. Esto permitió calcular el número de microorganismos presentes en las muestras, teniendo en cuenta el número de colonias desarrolladas y multiplicar dicho valor por el factor de dilución (IDEAM, 2007).

4.2.3 Determinación de Pesticidas

4.2.3.1 Extracción: Se realizó a través del método de extracción líquido – líquido utilizando diclorometano por ser el mejor disolvente para extraer pesticidas, ya que su volatilidad facilita los procesos siguientes de concentración y Cromatografía, el solvente orgánico y un litro de muestra de agua estarán en contacto, el solvente arrastrará los compuestos orgánicos inmiscibles presentes en la solución acuosa. La separación se logrará por el contacto de las fases y la diferencia de solubilidad entre la mezcla y diclorometano (Gomes et al., 2013, p. 235).

El método es recomendable porque la destilación no es práctica debido a que los componentes de los pesticidas están en concentraciones muy bajas y el análisis por Cromatografía de Gases debe ser realizado sin la presencia del agua y al ser arrastrados por el solvente se evita este problema y pueden ser analizados los pesticidas de mejor manera debido a la volatilidad del diclorometano (Ravelo Pérez, 2011, p. 61).

Se realizaron 4 extracciones por cada una de los puntos de abastecimiento, para un total de 20 extracciones, esto con el fin de medir la repetibilidad del método y realizar la validación.

4.2.3.2 Concentración: Se sometieron las muestras obtenidas de los procesos de extracción, a una concentración con el fin de obtener una muestra con mayor concentración de pesticidas, ya que esto suelen encontrarse en orden de trazas, utilizando el concentrador de Kuderna – danish, se minimizará las pérdidas de análogos y disminuirá la cantidad de solvente, la concentración se realizará hasta alcanzar un volumen de 10 ml y la muestra obtenida será secada y limpiada usando una columna de algodón, sulfato de sodio anhídrido para retirar el agua presente en la muestra y florisil previamente a activado a 500°C, la muestra se reducirá a un volumen de 1 o 2 ml (Barakat et al., 2012) & (Rovedatti et al., 2001).

4.2.3.3 Cromatografía: Una vez obtenido el extracto orgánico, la mezcla de pesticidas se separó mediante el método de Cromatografía de Gases (GC) acoplada con espectrometría de masas (MS) para determinar la presencia de organoclorados y organofosforados. Esta técnica, permite una aproximación eficiente en el análisis de pesticidas debido a su gran selectividad y sensibilidad para detectar su presencia a nivel de trazas en muestras obtenidas de soluciones acuosas. También se utilizó captura de electrones como detector como comprobación final para los compuestos organoclorados por su mayor sensibilidad para los compuestos halogenados (Cheng et al., 2016).

Las condiciones de cromatográficas están prácticamente estandarizadas y han sido usadas en distintos análisis de muestras de aguas ambientales para analizar pesticidas y están serán (Xiao et al., 2016) & (Ravelo Pérez, 2011):

- Una columna capilar HP-5 (30m * 0.32 mm* 0.25 µm).
- Gas de arrastre Helio a 27.59 cm/s medido a 80°C.

- La rampa de temperatura del horno inició en 80°C por minuto, luego fue llevada a una temperatura de 300°C a razón de 10°C/min.
- Inyector Split 10:1, 280°C, el tiempo de activación de la purga es de 30 segundos; 1 microlitros.
- Detector MSD de análisis completo en m/z 25-400 a 300°C de línea de transferencia.
- Detector de captura de electrones de 15 milicurios de Niquel – 63.

5. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Muestreo

En cada uno de los sitios de muestreo, se recolectaron muestras compuestas por submuestras para el análisis microbiológico, físico y químico, obtenidas en la fase inicial de análisis de las fuentes de abastecimiento durante cuatro campañas llevadas a cabo en 2 horas para un total de 7 litros por cada sitio. Luego de uno de los fenómenos del niño más duros en muchos años en las siguientes fechas: 16 de junio del 2016, 30 de junio del 2016, 21 de julio del 2016 y 18 de agosto del 2016. Las fuentes de agua tratada fueron muestreadas en un periodo de 1 hora debido a la menor cantidad de sitios escogidos, el mismo volumen total en dos campañas el 27 de octubre del 2016 y el 3 de noviembre del 2016.

A las muestras recolectadas se les analizaron 22 parámetros físicos: turbidez, color y temperatura, químicos: pH, dureza, iones (fluoruro, cloruro, bromuro, sulfato, nitratos y amonio), metales pesados (cobre, cadmio, zinc, plomo, cromo, hierro, níquel y mercurio) y plaguicidas, microbiológicos (coliformes totales y *Escherichia Coli*). Los resultados se muestran de las **Tabla 6** a hasta la **Tabla 11** y su respectivo análisis en la discusión de los resultados.

5.2 Estado de los sitios de muestreo

5.2.1 Mahates

El sitio de abastecimiento de Mahates en su casco urbano es el Canal del Dique, al noreste de la cabecera municipal en la vía a Soplaviento, más específicamente el muelle del municipio (**Figura 2a**) utilizado por pequeñas embarcaciones dedicadas a la pesca y al transporte de productos agrícolas desde los municipios aledaños y del sector conocido como la Isla dedicado en su mayoría a la agricultura. Los terrenos aledaños son propensos a inundarse en temporadas de lluvias y no son muy explotados.

El agua es bastante turbia, con sólidos suspendidos y bastante contaminada por el ramaje de la vegetación de la zona, la bomba utilizada para bombear el agua hasta el acueducto presenta oxidación en la parte exterior y funciona por 12 horas (**Figura 2b**).



Figura 2. a. Muelle de Mahates. **b.** Bomba de abastecimiento Mahates casco urbano.

El agua es transportada hasta el acueducto por una tubería de PVC instalada hace más de 10 años se encuentra ubicado en el casco urbano cerca de la vía principal y está aproximadamente a un 1 km de distancia de la fuente de abastecimiento. El acueducto (**Figura 3a**) actualmente presenta deterioro en sus equipos, tuberías, accesorios y funciona durante 12 horas. El proceso de tratamiento empieza con la floculación utilizando sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) sólido dosificado con una máquina que presenta bastante deterioro (**Figura 3b**). Luego pasa al proceso de sedimentación a través de 5 sedimentadores que son lavados día de por medio, después viene una filtración por medio 4 filtros de arcilla, posteriormente continua con la desinfección agregando hipoclorito de sodio (NaClO) a través de un mecanismo artesanal de goteo (**Figura 3c**) de una solución preparada cada 4 horas. Finalmente se almacena el agua en un tanque subterráneo y uno elevado (**Figura 3d**), donde se mezcla con el agua almacenada del día anterior. El bombeo a la población empieza alrededor de las 5 de la mañana y es durante un promedio de 6 horas si no hay problemas.



Figura 3 Acueducto de Mahates. **a.** Tuberías deterioradas. **b.** Dosificador de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.
c. Mecanismo de goteo para el NaClO . **d.** Tanque elevado de almacenamiento.

5.2.2 Malagana

En este corregimiento se abastecen de dos pozos profundos por medio de una bomba (Figura 4b), las instalaciones se encuentran ubicadas en el casco urbano cerca de la vía a San Cayetano en medio de varias casas, el cementerio y cerca de Arroyo Ají Molido (Figura 4a) que para esta época estaba bajo en su nivel por la sequía. El acueducto lo administra la empresa comunitaria de los usuarios llamada ASPUMA, la cual funciona por seis horas diarias a partir de las 6 de la mañana, el agua no presenta turbidez, ni sólidos

suspendidos y una leve fetidez. El tratamiento se realiza por medio de una bomba dosificadora de hipoclorito de sodio y luego de finalizado se almacena en un tanque elevado de 250 m³.



Figura 4. a. Arroyo Ají Molido, Malagana. **b.** Bomba de abastecimiento de Malagana.

5.2.3 Mandinga

El corregimiento de Mandinga cuenta con una represa artesanal (**Figura 5a**) construida y administrada por los pobladores a pocos metros de la entrada al casco urbano, cerca de varias plantaciones en medio de un relieve rodeado de varios cerros que rodean esta población. Durante el muestreo se observó el bajo nivel de la represa debido al fuerte fenómeno del niño que afectó a todo el país, hasta el punto de no funcionar durante varios días por el bajo nivel. El agua es tomada a través de una bomba (**Figura 5b**) y se le inyecta una dosis de hipoclorito que en ocasiones no se realiza por el difícil acceso a la población, luego de esta etapa es distribuida a la población.

El agua es ligeramente turbia, de color verde debido a la gran cantidad de algas presentes en este ecosistema, con sólidos suspendidos e inodora.



Figura 5. a. Represa artesanal de Mandinga. **b.** Bomba de abastecimiento de Mandinga.

5.2.4 San Basilio de Palenque

San Basilio de Palenque es el corregimiento con la fuente abastecimiento más alejada de su casco urbano a casi 4,5 km de distancia, en la vía a San Cayetano, también cerca del arroyo Ají Molido, en el sector conocido como Palenquito a la entrada de la vía que conduce hasta esta población. La fuente de abastecimiento se encuentra tan alejada debido a que los terrenos cercanos al casco urbano son arenosos y de poca retención de aguas subterráneas (Shaxson and Barber, 2005, p. 14), además de contar con otro pozo más cercano, pero con problemas técnicos en la bomba de succión que no han podido ser arreglados en más de un año.

El agua es cristalina, sin sólidos suspendidos y un leve olor fétido, luego de tomada a través de una bomba el agua es distribuida sin tratamiento a la población, ya que las instalaciones del acueducto no cuentan con una planta para su tratamiento en funcionamiento, la maquinaria está ubicada en un terreno con encerramiento rodeada de maleza y con oxidación superficial (**Figura 6**).



Figura 6. a. Fuente de abastecimiento de Palenque. **b.** Bomba de succión de Palenque.

5.2.5 San Joaquín

En este corregimiento el servicio de agua es abastecido de un pozo profundo que se encuentra a la salida de la vía al caserío de Songó Alto camino a San Cayetano. A pocos metros se encuentra el casco urbano, el acueducto cuenta con una planta potabilizadora (**Figura 7a**) donada hace 2 años por el Ministerio de Salud, pero no se encuentra en funcionamiento por fallas técnicas desde inicios del 2016. Actualmente solo distribuye a través de una bomba en buen estado (**Figura 7b**) el agua durante 3 o 4 horas diarias a la población y a los corregimientos vecinos de San Francisco y Monroy jurisdicción de Arroyohondo, Bolívar. La población es de difícil acceso ya que no cuenta con vías en buen estado, no tiene servicio de manejo de residuos sólidos, está dedicada en su mayoría a la ganadería y a la agricultura. El agua es cristalina, sin sólidos suspendidos y con cierto sabor metálico.



Figura 7. a. Planta potabilizadora de San Joaquín. **b.** Bomba de succión de San Joaquín.

5.3 Caracterización Física

En esta etapa se evaluó la turbidez, color y temperaturas de las muestras en los sitios de muestreo, los resultados los podemos observar en la **Tabla 6**, a partir de los análisis realizados se pueden distinguir dos subgrupos. El primer subgrupo corresponde a las aguas turbias con valores que superan los exigidos por la normativa vigente conformado por los puntos de muestreo de Mahates (MAH) y Mandinga (MAN). Estas son muestras de aguas superficiales propensas a ser turbias debido a que están más expuestas a floraciones de algas y el vertimiento de desechos generados por las actividades antropogénicas en comparación con las aguas subterráneas (Guías para la calidad del agua potable, 2006, p. 118).

Tabla 6. Turbidez y color de las muestras.

Parámetro	Fuente							Valor Límite*
	MAH	SJ	MAL	PAL	MAN	MAL-T	MAH-T	
Turbidez (NTU)	<u>77,36</u>	0	0	0	<u>8,67</u>	0	0	<u>5</u>
Color (UCP)	<u>90</u>	0	0	0	5	0	0	<u>15</u>
Temperatura(°C)	31	28	28	29	31	30	30	NA

* Resolución 2115 del 2007.

El segundo subgrupo corresponde a las aguas claras sin turbidez alguna que cumplen la normativa vigente, en este grupo se encuentran las muestras de los corregimientos Malagana (MAL), San Joaquín (SJ), Palenque (PAL), además la de los acueductos de Malagana (MAL-T) y Mahates (MAH-T). Estas fuentes son subterráneas y no están expuestas al crecimiento de algas y vertimientos producidos por las actividades antropogénicas, por lo cual presentan niveles bajos de turbidez como los reportados por (Samantara et al., 2017) y (Chidya et al., 2016). En el caso del acueducto de Malagana no presentó turbidez desde la fuente abastecimiento y para Mahates luego de pasar por los procesos de coagulación y floculación se alcanzó el valor de turbidez exigido. De los resultados el más preocupante es la fuente de abastecimiento de Mandinga (MAN) ya que es distribuida a la población sin el cumplimiento de la normativa vigente para la turbidez, aunque los valores no están muy alejados de los exigidos.

5.4 Caracterización Química

5.4.1 pH y Dureza: Las mediciones pH y dureza (**Tabla 7**), muestran que los sitios de muestreo cumplen con los niveles de pH recomendados, de acuerdo con (Mora Alvarado, 2009, p. 20). Los niveles de dureza nos indican que el agua de la fuente de abastecimiento de Mahates (MAH) y la de su acueducto son aguas blandas (0 - 60 mg/L CaCO₃), la de Mandinga (MAN) es moderadamente dura (60 - 120 mg/L CaCO₃), la de Palenque es dura (120 - 180 mg/L CaCO₃) y muy duras (mayor a 180 mg/L CaCO₃) las muestras de San Joaquín (SJ), la fuente de abastecimiento de Malagana (MAL) y su acueducto (MAL-T). Este último es el único que superó los niveles exigidos por la Resolución 2115 de 2007 para la calidad del agua.

Tabla 7.pH y Dureza de las muestras.

Parámetro	Fuente							Valor
	MAH	SJ	MAL	PAL	MAN	MAL-T	MAH-T	Límite*
pH	7.66	7.07	7.20	7.46	8.14	7.15	7.10	Menor a 6,5 o mayor 9,0
Dureza (ppm CaCO₃)	50,05	244,22	288,26	170,15	110,1	<u>312,28</u>	46,04	<u>300</u>

* Resolución 2115 del 2007.

El comportamiento observado nos demuestra que las aguas subterráneas se ven más afectadas por la dureza, puesto que ellas están más expuestas a los procesos geológicos en donde surge el agua y las formaciones de caliza en el subsuelo lo cual aumenta la dureza del agua subterránea (Mora Alvarado, 2009, p. 22). Es importante mencionar que la OMS no recomienda ningún valor de referencia para la dureza debido a que no se demostró algún efecto adverso sobre la salud humana, el perjuicio que representa la dureza es económico porque puede causar incrustaciones en las tuberías y afectar la aceptabilidad por parte del consumidor. Además algunos estudios mencionan que la dureza previene infartos en el miocardio, aunque no se ha encontrado suficiente evidencia para probar esta hipótesis (R.W. Morris, 2011) y (Miyake, Y. & Iki, M., 2004).

5.4.2 Iones: En general las muestras cumplieron los límites exigidos por la normativa vigente y los valores recomendados por la OMS en algunos casos, respecto a los aniones para la calidad del agua, como se logra observar en la **Tabla 8** y en el **ANEXO D** los informes de los análisis. En algunos casos con el ion bromuro (Br⁻) la concentración era tan pequeña que no fue cuantificada por el equipo. Además cabe mencionar que las muestras de aguas subterráneas (SJ, MAL y PAL) presentaron mayor concentración de Cloruros (Cl⁻) y Sulfatos (SO₄⁻²) con respecto a las aguas superficiales (MAN y MAH). Esta es una de las características propias de las aguas subterráneas debido a la gran solubilidad de estos aniones y que una de las principales fuentes de sulfatos y cloruros es la sedimentación de minerales como el yeso y la anhidrita presentes en los suelos, aunque también pueden ser indicio del uso de fertilizantes en la zona. Es importante mencionar que la concentración de sulfatos contribuye a la acidez y a la dureza permanente del agua, porque el ion sulfato

generalmente se encuentra presente en forma de sulfato de calcio y magnesio (Ministerio de Agricultura de Chile, 2005). Es por esto que se observa que la mayor concentración del ion sulfato coincide con los valores de pH más ácidos y la mayor dureza con las fuentes de aguas subterráneas utilizadas en el presente estudio. La presencia del ion sulfato es indicio de una posible liberación de metales pesados por corrosión de las tuberías, por esto sería factible que a lo largo del sistema de abastecimiento se liberen algunos metales pesados y por esta razón hay un gran riesgo latente en las fuentes de SJ y PAL, porque los niveles son superiores a los 75 mg/L reportados por (Sun et al., 2017) en los que se liberaban por corrosión hasta 69 µg/g de plomo y 114 µg/g de níquel.

Tabla 8. Concentración de iones interés para la calidad del agua de las muestras.

Parámetro (mg/L)	Fuente					Valor Límite
	MAH	SJ	MAL	PAL	MAN	
Fluoruros	0,0058	0,321	0,276	0,287	0,161	<u>1,000*</u>
Cloruros	3.809	84,975	79,086	43,137	5,545	<u>250*</u>
Bromuros	NA	NA	0,062	0,114	NA	<u>1**</u>
Nitrato	0,387	3.339	2,309	0,021	0,034	<u>10*</u>
Sulfato	43,348	169,507	77,662	121,788	32,911	<u>250*</u>
Amonio	<u>7,071</u>	<u>93,007</u>	<u>91,242</u>	<u>112,717</u>	<u>11,310</u>	<u>0,100**</u>

* Resolución 2115 del 2007. ** Guías de calidad del agua OMS.

Con respecto catión amonio podemos observar que los valores obtenidos no cumplen con el límite recomendado, pero este parámetro no es exigido por la normativa vigente para la calidad del agua en Colombia, únicamente es un parámetro recomendado por la OMS. Puesto que los altos valores que superan el límite recomendado son indicio de actividad microbiana, ya que el amonio es el producto final de la reducción de sustancias orgánicas o inorgánicas nitrogenadas que se incorporan tanto a las aguas, pero en mayor proporción a las subterráneas y es indicio del desarrollo intensivo de las explotaciones ganaderas o del uso intensivo de fertilizantes nitrogenados (Vu et al., 2017).

5.4.3 Metales pesados: En las muestras se encontraron las concentraciones de metales pesados que podemos observar en el **ANEXO B** para mercurio y los demás metales en el **ANEXO C**, los resultados luego fueron tabulados en la **Tabla 9**. En ella podemos observar que todos los puntos de muestreo cumplieron con los límites exigidos de cobre (Cu), Zinc

(Zn) y Mercurio (Hg). Aunque los niveles de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) de las fuentes de abastecimiento (MAH, SJ, MAL, PAL y MAN) cumplieron el valor límite exigido, pero los acueductos (MAL-T y MAH-T) no cumplen con la normativa exigida, los valores superan hasta en un triple este valor para el Cadmio y en hasta trece veces para el Plomo. Esta situación es preocupante ya que los efectos de estos metales representan un riesgo crítico para población, ya que son disruptores endocrinos que afectan el funcionamiento del organismo (Avigliano and Schenone, 2015) y (Deshommes et al., 2016). La contaminación por estos metales raras veces proviene de fuentes naturales, en la mayoría de las ocasiones proviene de las tuberías, soldaduras, accesorios y conexiones de fontanería, también se libera al medio ambiente Cadmio con el uso de fertilizantes (Chowdhury et al., 2016).

Tabla 9. Concentración de metales pesados de las muestras de aguas.

Parámetro (mg/L)	Fuente							Valor
	MAH	SJ	MAL	PAL	MAN	MAL-T	MAH-T	Límite*
Cu	0,018	0,081	0,017	0,026	0,007	0.0295	0.0275	<u>1,000</u>
Cd	0,002	0,002	0,003	0,001	0,002	<u>0.009</u>	<u>0.008</u>	<u>0.003</u>
Zn	0,024	2,027	0,010	0,026	0,004	0.027	0.025	<u>3,000</u>
Pb	NA	0,006	0,002	NA	NA	<u>0.083</u>	<u>0.079</u>	<u>0.010</u>
Cr⁺³	0,018	NA	<u>0.225</u>	<u>0.205</u>	<u>0.879</u>	NA	NA	<u>0.050</u>
Fe	<u>5.384</u>	<u>0.496</u>	0,107	0,125	<u>1.143</u>	0.019	0.018	<u>0.300</u>
Ni	<u>0.045</u>	<u>0.093</u>	<u>0.039</u>	<u>0.042</u>	<u>0.032</u>	0.011	0.012	<u>0.020</u>
Hg	0,0007	0,0008	0,0006	0,0005	0,0005	0,0003	0,0002	<u>0.0010</u>

* Resolución 2115 del 2007.

Otro caso particular es el Níquel (Ni), ya que los acueductos cumplieron el límite exigido posiblemente porque estos niveles disminuyen con el tiempo y el agua en estos acueductos dura unas horas almacenada antes de ser distribuida a la población (Sun et al., 2017). Pero como podemos observar las demás muestras superan el valor exigido por la normativa vigente, a tal punto que San Joaquín (SJ) presenta una concentración de 4,5 veces el límite permitido para aguas potables. Cabe anotar que este valor es recomendado por la OMS y fue establecido teniendo en cuenta aquellas personas sensibles a este elemento, pero el valor puede llegar hasta 1 ppm sin causar mayores efectos a la mayoría de la población (Avigliano and Schenone, 2015).

Estos niveles altos de Níquel son indicios de altas concentraciones en los suelos de la región. Pero aunque este metal es el quinto elemento más abundante en la tierra, la contaminación por Níquel en las aguas en la región de acuerdo con las actividades económicas podría nacer en la incineración de residuos municipales y el Níquel que liberan las tuberías de las bombas de extracción. Porque las principales fuentes contaminantes reportadas son la industria petrolera y la minería, que no están presentes en la región (Nordberg, 2014, p. 62.35).

La concentración de Hierro fue superior al límite para las muestras de Mahates, Mandinga y San Joaquín, aunque esta última sobrepasa el límite en una menor proporción en comparación a las otras dos. Este comportamiento es acorde con los niveles esperados para las aguas superficiales, ya que el color de las aguas superficiales es asociado con iones metálicos compuestos de hierro y manganeso. En las aguas dulces el hierro se encuentra en concentraciones de 0,5 ppm a 50 ppm, entre otras cosas porque es uno de metales más abundantes de la corteza terrestre y por la corrosión de tuberías de acero (Kumar et al., 2017). Pero debido al proceso de coagulación del agua el acueducto de Mahates cumple con la norma exigida.

En cuanto al Cromo trivalente (Cr^{+3}) solo los puntos de muestreo Malagana (MAL), Palenque (PAL) y Mandinga (MAN), superan el valor exigido por la normativa vigente para agua potable, pero se observa que en Malagana el agua luego ser tratada (MAL - T) cumple con el límite establecido por la Resolución 2115 del 2007. Las posibles fuentes de contaminación por Cromo en la región serían la quema de residuos sólidos, la sedimentación de minerales y la excreción de los seres vivos, ya que el este metal se encuentra presente en plantas, suelos, rocas y animales. La exposición prolongada a niveles superiores a 0,240 ppm representa un riesgo crónico para la niñez y superiores a 0,840 ppm tienen un efecto adverso para los adultos (Albert L., 1997). Cabe mencionar que la norma hace referencia al cromo total ósea Cr^{+3} y Cr^{+6} que es el reportado por la OMS como cancerígeno, por tal razón se espera que la cantidad de cromo total pueda ser mayor que la obtenida en la presente investigación.

5.4.4 Pesticidas

La caracterización para medir la concentración total de pesticidas inició con el proceso de extracción (**Figura 8a**), llevado a cabo con 5 litros de los sitios de muestreo seleccionados y con un extractor líquido – líquido de un litro de capacidad utilizando diclorometano como solvente, este fue calentado hasta 40 °C, es decir ligeramente por encima del punto de ebullición del solvente (39,6 °C) durante 2 horas. Para las muestras turbias (Mandinga – MAN y Mahates – MAH) fue necesario utilizar 200 ml de solvente ya que la presencia de algunos sólidos suspendidos afectaba el proceso de extracción y en las muestras claras (Malagana – MAL, Palenque – PAL y San Joaquín – SJ) se utilizaron 100 ml de solvente.



Figura 8. a. Proceso de extracción líquido - líquido. **b.** Proceso de concentración con el Kuderna - Danish.

Luego el extracto obtenido fue concentrado a 40 °C, con el aparato de Kuderna – Danish (**Figura 8b**) durante una hora treinta minutos para las muestras turbias, las cuales eran inicialmente de 190 ml y con las muestras claras el proceso duro cerca de una hora e inició con cerca de 95 ml de volumen. Ambas muestras fueron reducidas hasta 10 ml, ya que es el

volumen aproximado del dedo (parte inferior del aparato de Kuderna – Danish). El extracto final fue filtrado a través de una columna de algodón, sulfato de sodio anhídrido y florisil activado a 500 °C para eliminar la posible presencia de agua y turbidez de la muestra, puesto que esto deterioraría la columna del cromatografo de gases. Al final se obtuvieron entre 1 y 2 ml de muestra y en algunos casos debido que la muestra aún tenía cierto grado de turbidez debió ser diluida con diclorometano, concentrada nuevamente en el Kuderna – Danish y filtrada, esto sucedió en particular para las muestras obtenidas de Mandinga – MAN.

En las muestras se buscó la presencia de Clorpirifos, Acido 2,4 – D y Aminopiralida, ya que son los componentes activos de los pesticidas comerciales ESTERON 47 EC, PASTAR 360 SL, TRONADOR SL, ESTELAR 480 SL y LORSBAN 4 EC. Los cuales son utilizados en la región para el control de maleza y las plagas que afectan a los animales, de acuerdo con testimonios de los habitantes de la región y los negocios que se dedican a la venta de estos pesticidas comerciales. La **Tabla 10** presenta los métodos de detección recomendados y el peso molecular de estos componentes activos, estos valores sirvieron de guía el análisis de los resultados de la cromatografía de gases acoplada a masas (GC – MS) y captura de electrones (GC – ECD). Los componentes activos Acido 2,4 – D y Aminopiralida en ocasiones no son detectables por GC – MS debido a su baja volatilidad y polaridad, por tal razón el método más recomendado es GC – ECD (Rodríguez & Agüera, 2002).

Tabla 10. Especificaciones de los componentes activos de los pesticidas de interés.

Componente activo	Método de detección	Peso molecular (g/mol)
Clorpirifos	GC – MS	350,59
Acido 2,4-D	GC – ECD	221,04
Aminopiralida	GC – ECD	207,01

En los espectrogramas de la cromatografía de gases acoplada con masas (**Figura 9** a la **Figura 13** y **ANEXO E**) de las muestras, se resaltaron las especies con abundancias mayores o iguales a 75% y relación masa carga más cercana los valores reportados para los componentes activos de los pesticidas comerciales mencionados con anterioridad, para

darle mayor exactitud al análisis. En los espectros se logra observar que en todos el primer pico corresponde al solvente (Dicloro metano – Methylene Chloride), a partir de allí aparecen picos correspondientes a hidrocarburos en su mayoría y otros compuestos como m-di- terbutilbenceno y 1,1,1,5,5,5-hexametil siloxano correspondiente al sangrado de la columna. Algunos tiempos de retención fueron parecidos o cercanos a los componentes activos de los pesticidas de interés, pero el espectro de masas no coincidió con el reportado para estas sustancias. Todas las muestras fueron corridas por triplicado y en ninguna se encontraron pesticidas.

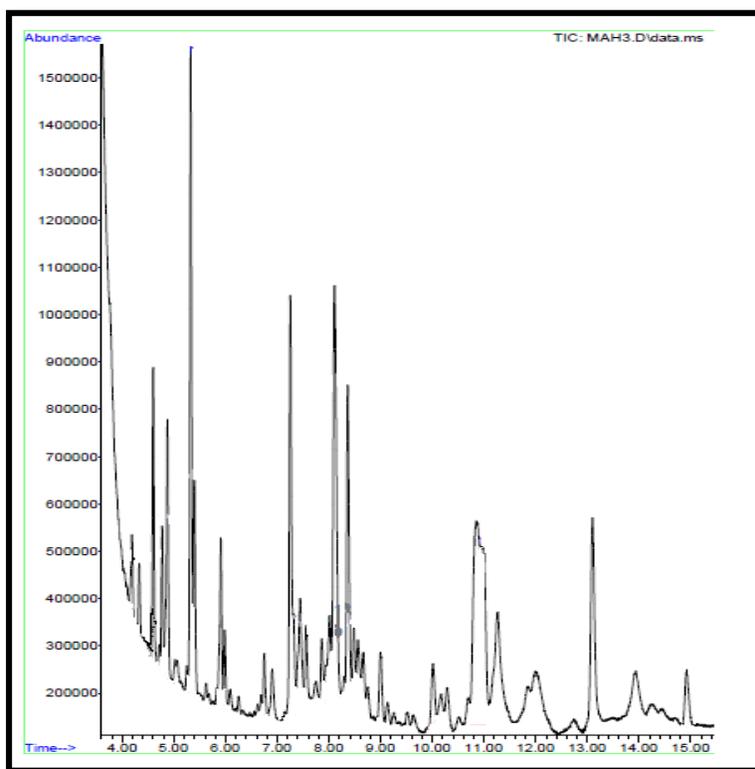


Figura 9. Espectro de GC – MS de la muestra de Mahates (MAH).

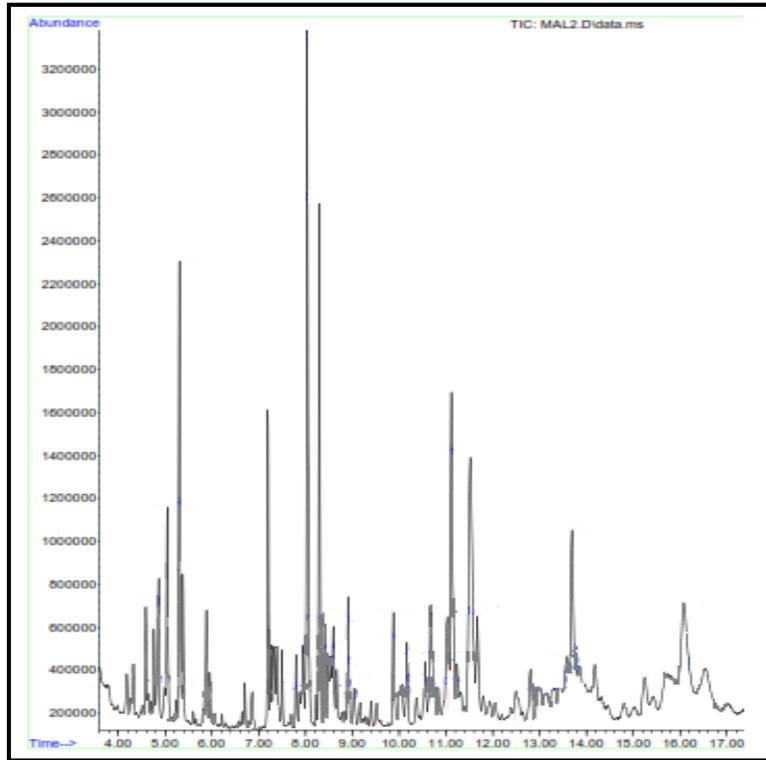


Figura 10. Espectro de GC – MS de la muestra de Malagana (MAL).

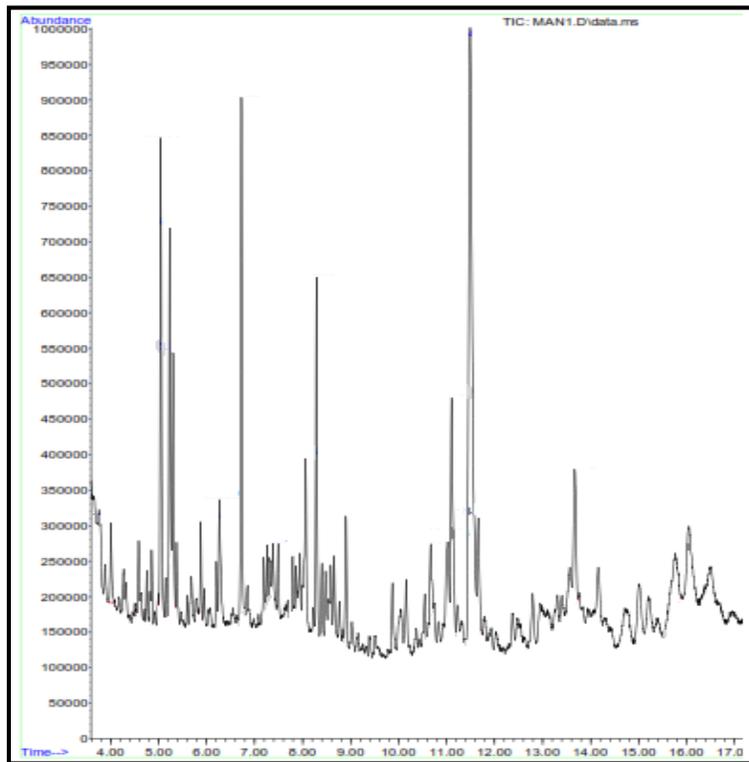


Figura 11. Espectro de GC – MS de la muestra de Mandinga (MAN).

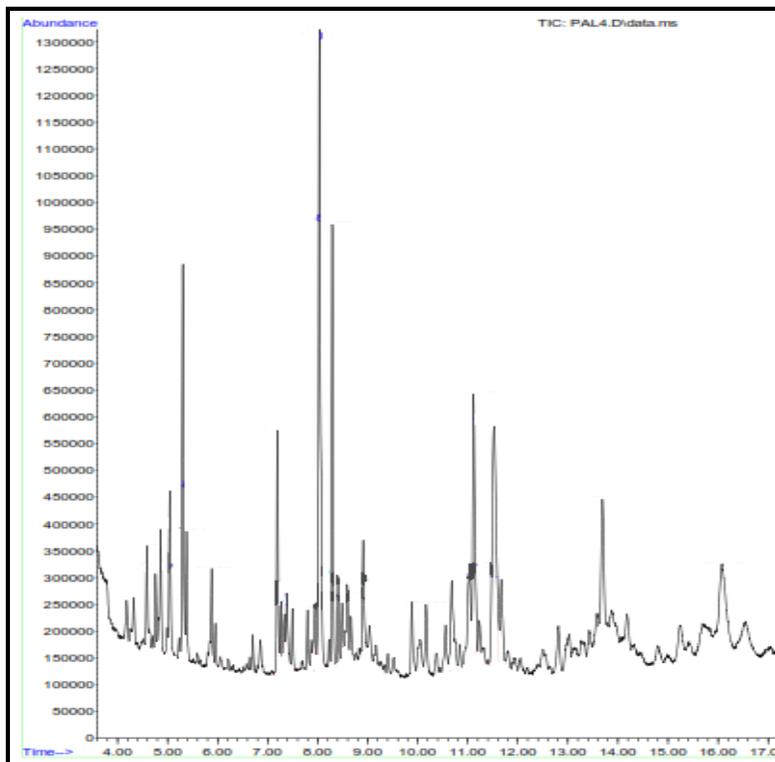


Figura 12. Espectro de GC – MS de la muestra de Palenque (PAL).

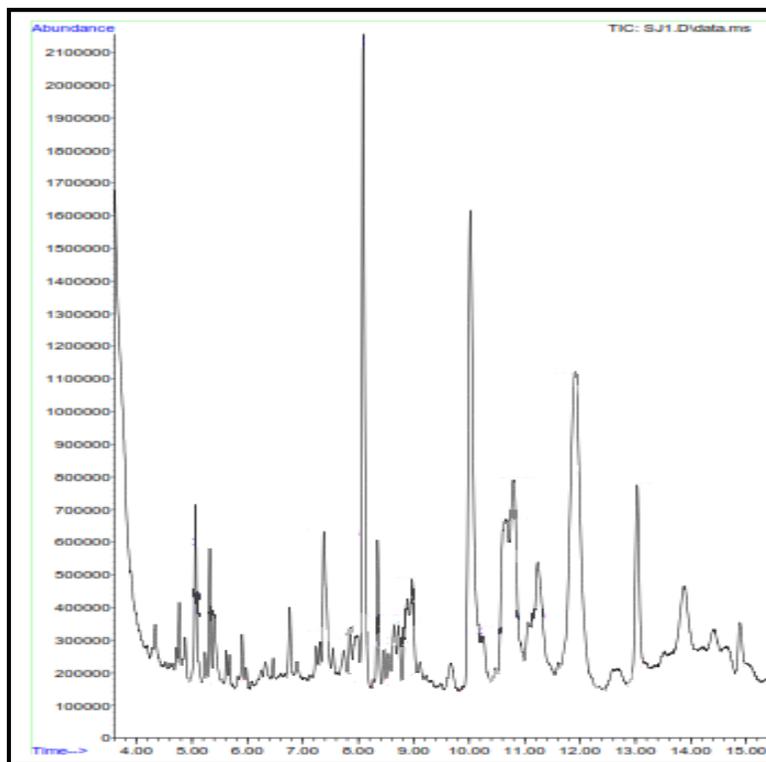
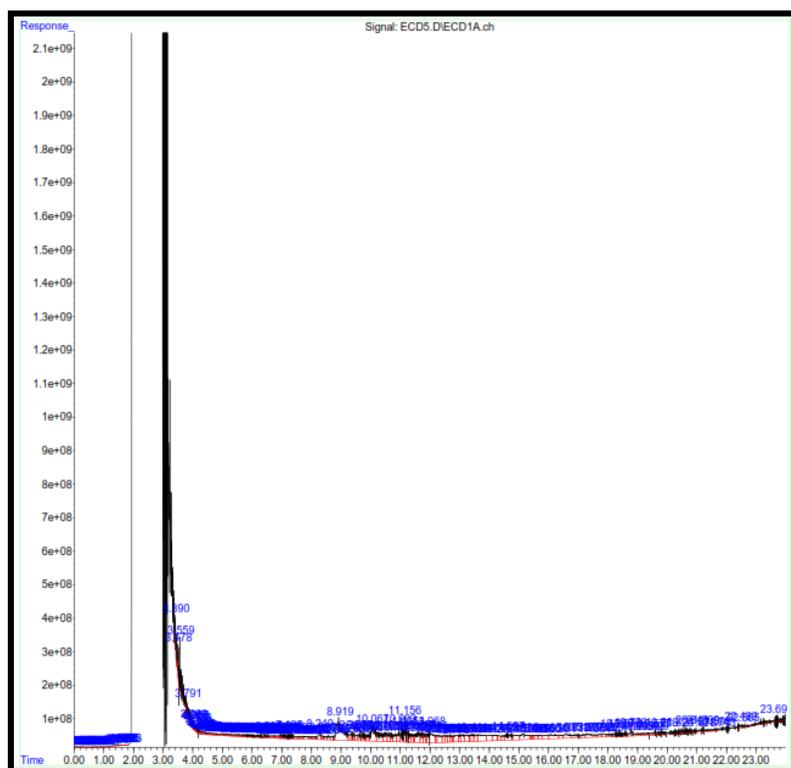


Figura 13. Espectro de GC – MS de la muestra de San Joaquín (SJ).

En los resultados del análisis de las muestras por cromatografía de gases acoplada con captura de electrones que aparecen en las **Figura 14** a la **Figura 18** y en el **ANEXO F**, se logra observar únicamente el pico del solvente, lo cual indica que la presencia de organoclorados es tan mínima que no fue detectada y por tal razón cumple con la normativa exigida para agua utilizada para consumo humano.



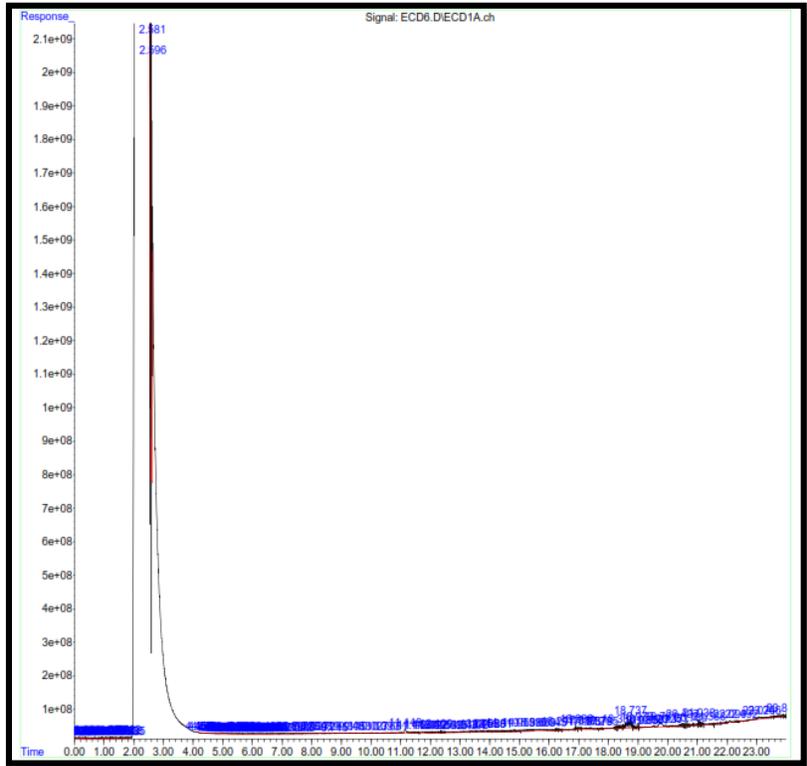


Figura 15. Espectro de GC – ECD de la muestra de Malagana (MAL).

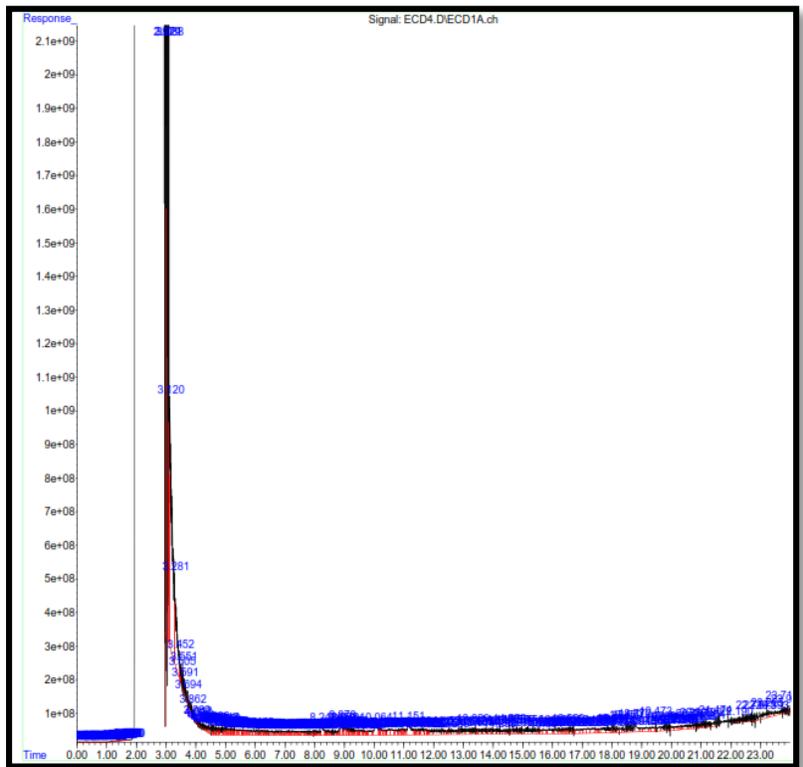


Figura 16. Espectro de GC – ECD de la muestra de Mandinga (MAN).

5.5 Caracterización Microbiológica

En los resultados obtenidos se observan en la **Tabla 11** y el informe completo se encuentra en el **ANEXO A**, en ellos se halló que todas las puntos de muestreo superaron los valores límites exigidos por la normatividad vigente para coliformes totales y de *Escherichia Coli* solo es cumplida por los acueductos (MAL-T y MAH-T). Esto es grave y representa un riesgo agudo para la población ya que se encuentra expuesta a bacterias que producen infecciones en nuestro organismo y grandes epidemias como el cólera, la disentería y la criptosporidiosis (Duncanson, 2000) y (Pal, 2014).

Tabla 11.Caracterización microbiológica de las muestras.

Parámetro (UFC/100 ml)	Fuente							Valor
	MAH	SJ	MAL	PAL	MAN	MAL-T	MAH-T	Límite*
Coliformes	1000	1000	580	1000	1000	> 100	> 100	0
Totales								
<i>Escherichia Coli</i>	< 10	< 10	140	< 10	30	0	0	0

* Resolución 2115 del 2007. UFC = Unidades Formadoras de Colonias.

Cabe mencionar que pese que en la normativa vigente para la calidad del agua el total de bacterias coliformes totales tiene una alta ponderación, la OMS considera que este parámetro no es aceptable para medir la calidad sanitaria de los sistemas de abastecimiento de agua. En especial en las regiones tropicales donde casi todas las fuentes de agua no tratada contienen gran cantidad de bacterias que son termotolerantes, que no constituyente un problema sanitario. Pero la presencia de *Escherichia Coli* requiere de una investigación inmediata para detectar su origen, en la mayoría de los casos es un indicador de contaminación fecal del agua (Pal, 2014). Este tipo de contaminación es frecuente en sistemas de abastecimiento rurales en países en vía de desarrollo, es recomendable establecer medidas de control para alcanzar metas a mediano plazo con el fin de lograr una mejora progresiva (Guías para la calidad del agua potable, 2006, p. 123).

5.6 Cálculo del IRCA

El IRCA fue calculado con base en la Resolución 2115 del 2007, esta normativa es aplicable para agua utilizada para el consumo humano en Colombia, es por esto que se aplicó para los puntos de abastecimiento de Mandinga (MAN), Palenque (PAL) y San Joaquín (SJ). Puesto que en estos corregimientos no tienen plantas de tratamiento en funcionamiento actualmente y ante la necesidad el agua se suministra a la población en las mismas condiciones que sale de la fuente de abastecimiento. En los casos de Malagana (MAL) y Mahates (MAH), se evaluó en la fuente de abastecimiento y en las plantas de tratamiento (MAL-T y MAH-T), para identificar si este proceso disminuía IRCA al que se encuentran expuestas las poblaciones.

Los resultados obtenidos aparecen en la **Tabla 12**, en ellos aparecen los parámetros con sus respectivas ponderaciones de acuerdo con la Resolución 2115 del 2007 y que fueron evaluados en la presente investigación. Con la (x) se representan los parámetros que sobrepasan los límites exigidos por esta normativa, con (+) aquellos parámetros con valores que no representa riesgo para el consumo humano y con (N) aquellos que no fueron analizados.

Todas las muestras analizadas representan un riesgo crónico debido en su mayoría a que superan niveles de algunos metales como el Cr, Cd, Ni y Pb, de acuerdo con la Resolución 2115 de 2007 con el párrafo del artículo 13 si los valores exceden los máximos exigidos al valor del IRCA se le asignará un valor de 100 independientemente de que cumpla o no los demás para parámetros. Además dentro de la normativa estas muestras son catalogadas como inviables sanitariamente debido al alto riesgo que representan para la población. Lo más grave aún es que estas muestras no cumplieron más de uno de estos parámetros que le otorgan automáticamente una ponderación de 100 al IRCA.

Tabla 12. Índices de Riesgo de la calidad del agua (IRCA) para los sitios analizados.

Parámetro	Ponderación *	Sitio de muestreo						
		MAH	MAL	MAN	PAL	SJ	MAH-T	MAL-T
Turbidez	15	x	+	x	+	+	+	+
Color	6	x	+	+	+	+	+	+
pH	1,5	+	+	+	+	+	+	+
Dureza	1	+	+	x	+	+	+	x
Fluoruros	1	+	+	+	+	+	N	N
Cloruros	1	+	+	+	+	+	N	N
Nitrato	1	+	+	+	+	+	N	N
Sulfato	1	+	+	+	+	+	N	N
Cu	100	+	+	+	+	+	+	+
Cd	100	+	x	+	+	+	x	x
Zn	1	+	+	+	+	+	+	+
Pb	100	+	+	+	+	+	x	x
Cr	100	+	x	x	x	+	+	+
Fe	1,5	x	+	x	+	x	+	+
Ni	100	x	x	x	x	x	+	+
Hg	100	+	+	+	+	+	+	+
Coliformes totales	15	x	x	x	x	x	x	x
<i>Escherichia Coli</i>	25	x	x	x	x	x	+	+
Concentración total de plaguicidas	100	+	+	+	+	+	N	N
Ponderación total		100	100	100	100	100	100	100
IRCA		100	100	100	100	100	100	100
Nivel de Riesgo		Inviabile	Inviabile	Inviabile	Inviabile	Inviabile	Inviabile	Inviabile

* Resolución 2115 del 2007.

La norma también exige que las muestras que obtengan un nivel de riesgo inviable, deben ser reportadas a la empresa prestadora del servicio, al alcalde, al gobernador y a los entes de control administrativo (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007). A su vez de acuerdo con la OMS deben hacerse correctivos como el cambio de equipos, disminución de la corrosión en las tuberías y accesorios. Estas mejoras deben ser progresivas y orientadas para disminuir el riesgo al cual está expuesta la población, de la misma forma deben estar acompañadas de controles

periódicos para evaluar el avance de estos correctivos (Guías para la calidad del agua potable, 2006).

Es importante mencionar que pese a que el índice de la calidad establecido para el agua potable en Colombia no está estandarizado con respecto a los índices internacionales como ICA Dinius de Estados Unidos o UWQI de Europa. La calidad del agua de las fuentes analizadas sería mala ya que no cumple con los parámetros microbiológicos y presenta un riesgo químico por la presencia de metales pesados, y estos son la principal preocupación en la actualidad de los países desarrollados y en vía de desarrollo que tienen sus esfuerzos orientados hacia la vigilancia de calidad del agua para consumo humano, con el objetivo de prevenir el deterioro de la salud humana (Abbasi and Abbasi, 2012).

6. CONCLUSIONES

- Con base en el (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2013), las fuentes abastecimiento de agua del municipio de Mahates y sus corregimientos son deficientes en el caso de Mahates y Mandinga por su alta turbidez (40 – 150 NTU), color (20 – 40 UPC) y alta cantidad de coliformes totales (500 – 5000 UFC) y en los corregimientos Malagana, San Joaquín y San Basilio de Palenque también por una alta cantidad de coliformes totales y un nivel medio de concentración de cloruros (50 -150).
- El Índice de Riesgo para Calidad del Agua para consumo humano (IRCA) calculado para las fuentes de abastecimiento del municipio de Mahates y sus corregimientos San Joaquín, Malagana, Mandinga y San Basilio de Palenque clasifico las aguas como inviables sanitariamente de acuerdo con la Resolución 2115 de 2007, es decir no aptas para consumo humano. Los mayores riesgos lo representan contaminantes como Cromo y Níquel por encima de los niveles máximos permitidos, además de exceder los niveles de coliformes totales y en algunos casos de *Escherichia Coli*.
- Los acueductos de Malagana y Mahates también obtuvieron un IRCA que los clasifica como las aguas como inviables sanitariamente, pese una disminución en los niveles de Cromo, Níquel y *Escherichia Coli* al punto de cumplir los valores exigidos por la normativa, no cumplieron con las especificaciones exigidas para coliformes totales y durante el proceso de tratamiento aumentó la concentración de Plomo y Cadmio, superando el limite exigido por la Resolución 2115 del 2007.

7. RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES

- Es necesario desarrollar a partir de esta investigación un índice de la calidad del agua que tenga en cuenta características como el tipo de fuente, el relieve, clima y uso predominante del suelo, para dar una clara perspectiva de la calidad del agua del municipio de Mahates y los corregimientos de Malagana, Mandinga, San Joaquín y San Basilio de Palenque. Puesto que el índice de calidad propuesto para evaluar la calidad del agua para consumo humano en Colombia por la Resolución 2115 del 2007 desconoce estos aspectos tan determinantes antes mencionados y el valor no detalla de forma minuciosa las diferencias entre los características de cada región.
- Para disminuir los riesgos generados por la presencia de metales pesados y coliformes totales es necesario implementar el proceso de filtración, disminución de la corrosión de las tuberías y accesorios de los equipos de tratamiento, además de realizar la desinfección del agua con compuestos clorados, a una concentración de 50 ppm de cloro y una duración mínima de 24 horas de contacto para eliminar los agentes patógenos de forma efectiva y que al final el agua quedé libre de cloro residual (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2013, p. 117).

8. BIBLIOGRAFIA

- Abtahi, M., Yaghmaeian, K., Mohebbi, M., Koulivand, A., Rafiee, M., Jahangiri-rad, M., Jorfi, S., Saeedi, R. and Oktaie, S. (2016). An innovative drinking water nutritional quality index (DWNQI) for assessing drinking water contribution to intakes of dietary elements: A national and sub-national study in Iran. *Ecological Indicators*, Vol. 60, pp.367-376.
- Abbasi, T. and Abbasi, S. (2012). Chapter 3 – ‘Conventional’ Indices for Determining Fitness of Waters for Different Uses. En: T. Abbasi and S. Abbasi, *Water Quality Indices*, 1st ed. Amsterdam, pp.25–62.
- Aguilar Garduño, C. (2010). Exposición ambiental a 18 plaguicidas organoclorados y su efecto sobre la calidad seminal en jóvenes del sureste español. Doctoral. Universidad de Granada.
- Albert, Lilia (1997). Introducción a la toxicología ambiental. 1st ed. Metepec, Estado de México: Gobierno del Estado de México, pp.229 - 242.
- Alcaldía de Mahates. (2008). Plan de Desarrollo Municipal “¡Para volver a creer!” (pp. 19 - 21, 68). Mahates, Bolívar.
- ASTM International (2010), ASTM D1179 – 10. Standard Test Methods for Fluoride Ion in Water, 2.
- ASTM International (2011), ASTM D516 Standard test method for sulfate ion in water, 2.
- Avigliano, E. and Schenone, N. (2015). Human health risk assessment and environmental distribution of trace elements, glyphosate, fecal coliform and total coliform in Atlantic Rainforest mountain rivers (South America). *Microchemical Journal*, 122, pp.149-158.
- Barakat, A. O., Mostafa, A., Wade, T. L., Sweet, S. T., & El Sayed, N. B. (2012). Assessment of persistent organochlorine pollutants in sediments from Lake Manzala, Egypt. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 64, No. 8, pp. 1713–1720. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.03.022>
- Cheng, Z., Dong, F., Xu, J., Liu, X., Wu, X., Chen, Z., Zheng, Y. (2016). Atmospheric pressure gas chromatography quadrupole-time-of-flight mass spectrometry for simultaneous determination of fifteen organochlorine pesticides in soil and water. *Journal of Chromatography*. Vol. 1435, pp. 115–24. <http://doi.org/10.1016/j.chroma.2016.01.025>
- Chidya, R., Matamula, S., Nakoma, O. and Chawinga, C. (2016). Evaluation of groundwater quality in rural-areas of northern Malawi: Case of Zombwe Extension Planning Area in Mzimba. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 93, pp.55-62.
- Chowdhury, S., Mazumder, M., Al-Attas, O., & Husain, T. (2016). Heavy metals in drinking water: Occurrences, implications, and future needs in developing countries. *Science of the Total Environment*, Vol. 569-570, pp. 476-488. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.166>

CSS Consultoría, Interventoría & Formación SAS. (2015). Calidad del agua para consumo humano: municipio de Turbaco- Bolívar, norte de Colombia (pp. 66 -68). Turbaco: Ana Karina Petro Niebles - Tatiana del Carmen Wees Martínez.

Contraloría General de la Nación. (2008). Informe al Congreso sobre el Estado de los Recursos Naturales y del ambiente 2007-2008 (pp. 178-180). Bogotá D.C.

Deshommes, E., Andrews, R., Gagnon, G., McCluskey, T., McIlwain, B., Doré, E., Nour, S. and Prévost, M. (2016). Evaluation of exposure to lead from drinking water in large buildings. *Water Research*, 99, pp.46-55.

Ding, J., Jiang, Y., Liu, Q., Hou, Z., Liao, J., Fu, L., & Peng, Q. (2016). Influences of the land use pattern on water quality in low-order streams of the Dongjiang River basin, China: A multi-scale analysis. *Science of the Total Environment*, Vol. 551-552, pp. 205-216. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.162>.

Duncanson, M. (2000). Rates of notified cryptosporidiosis and quality of drinking water supplies in Aotearoa, New Zealand. *Water Research*, 34(15), pp.3804-3812.

Effendi, H. (2016). River Water Quality Preliminary Rapid Assessment Using Pollution Index. *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 33, pp. 562-567. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.108>.

Enault, J., Robert, S., Schlosser, O., & The, C. De. (2015). Drinking water, diet, indoor air: Comparison of the contribution to environmental micropollutants exposure. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. Vol. 218, pp. 723–730.

Estupiñán Torres, S. & Ávila de Navia, S. (2010). Calidad físico-química y microbiológica del agua del municipio de Bojacá, Cundinamarca. *NOVA - Publicación Científica En Ciencias Biomédicas*, Vol. 8 No. 14, pp. 206 - 212.

Foster, S., Chilton, J., Nijsten, G., & Richts, A. (2013). Groundwater—a global focus on the ‘local resource’. *Current Opinion In Environmental Sustainability*, Vol 5, No. 6, pp. 685-695.

Giri, S. & Qiu, Z. (2016). Understanding the relationship of land uses and water quality in Twenty First Century: A review. *Journal Of Environmental Management*, 173, 41-48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.029>

Gomes, J., Amaya, A., Waliszewski, S. M., Colín, A., Magdalena, M., & Fabila, G. (2013). Chemosphere Extraction and clean-up methods for organochlorine pesticides determination in milk. *Chemosphere*, 92(3), 233–246. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.04.008>.

Guías para la calidad del agua potable. (2006) (3rd ed., pp. 298 - 334). Ginebra, Suiza. Retrieved from http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/.

Instituto Colombiano Agropecuario - ICA. (2005). Restricciones, prohibiciones y suspensión de registros de plaguicidas de uso agrícola en Colombia (p. 1). Bogotá D.C.

Instituto Colombiano de Agricultura - ICA. (2016). Lista bovinos municipio por municipio Colombia 2016 (p. 1). Bogotá D.C.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2014). Estudio Nacional del Agua 2014 (pp. 71-80). Bogotá D.C.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2007). Determinación de *Escherichia coli* y coliformes totales en agua por el método de filtración en agar Chromocult. TP0314 – 03.

ISO International (2009), DIN en ISO 10304-1:2009-07 Water quality - Determination of dissolved anions by liquid chromatography of ions - Part 1: Determination of bromide, chloride, fluoride, nitrate, nitrite, phosphate and sulfate, 3.

Kumar, V., Bharti, P., Talwar, M., Tyagi, A. and Kumar, P. (2017). Studies on high iron content in water resources of Moradabad district (UP), India. *Water Science*. Impreso, trabajo aceptado.

Lagnika, M., Ibikounle, M., Boutin, C., & Sakiti, e. (2016). Groundwater biodiversity and water quality of wells in the Southern region of Benin. *Comptes Rendus Chimie*, 19(7), 798-806. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crci.2015.08.009>.

Lobato, T. C., Hauser-davis, R. A., Oliveira, T. F., Silveira, A. M., Silva, H. A. N., Tavares, M. R. M., & Saraiva, A. C. F. (2015). Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region. *Journal of Hydrology*. Vol. 522, pp. 674–683.

Martínez García, J. & González Silgado, L. (2012). Evaluación del poder coagulante de la tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas. (Pregrado). Universidad de Cartagena.

Meléndez, V. G., Quintero, O. C., & Ramírez, N. A. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Gestión y Ambiente*. Vol. 16, No. 1, pp. 97 – 108.

Ministerio de Agricultura de Chile, (2005). Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego. Santiago de Chile, pp.135-137.

Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Resolución 2115 - Calidad del agua (pp. 4, 7-8). Bogotá D.C.

Ministerio de Protección Social. (2007). Guía de Atención Integral de Salud Ocupacional para Trabajadores Expuestos a plaguicidas inhibidores de la colinesterasa (organofosforados y carbamatos) (GATISO-PIC) (pp. 32-36). Bogotá D.C.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2014). Informe Nacional de la Calidad del Agua para consumo humano año 2013 con base en el IRCA (pp. 157 -158). Bogotá D.C.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, (2013). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - Título C. Sistemas de Potabilización. Bogota D.C., pp.23-64.

Miyake, Y., & Iki, M. (2004). Lack of association between water hardness and coronary heart disease mortality in Japan. *International Journal of Cardiology*, 96, 25–28. <http://doi.org/10.1016/j.ijcard.2003.05.028>

Mora Alvarado, D. (2009). Agua (p. 20). 1st ed. San José, CR: EUNED.

Nola M., Njine T., Djuikom E., & Foko V. S., (2002). Faecal coliforms and faecal streptococci community in the underground water in an equatorial area in Cameroon (Central Africa): the importance of some environmental chemical factors. *Water Research* Vol. 36 (2002), pp. 3289–3297

Nordberg, G. F., Fowler, B. A., & Nordberg, M. (Eds.). (2014). Handbook on the Toxicology of Metals. Academic Press.

Pal, P. (2014). Detection of Coliforms in Drinking Water and its Effect on Human Health - A Review. *International Letters of Natural Sciences*, 17, pp.122-131.

Procuraduría General de la Nación. (2005). La infancia, el agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo departamentales y municipales (pp. 32-86). Bogotá D.C.

Pulido, M. D. P. A., de Navia, S. L. A., Torres, S. M. E., & Prieto, A. C. G. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Publicación Científica En Ciencias Biomédicas*, Vol. 3, No. 4, pp. 69 – 79.

Ravelo Pérez, L. (2011). Metodologías analíticas alternativas para la determinación de plaguicidas en aguas y productos agroalimentarios. [La Laguna]: Servicio de Publicaciones, Universidad de La Laguna.

Reed B. C. & Rasnake M. S., (2016). An Assessment of Coliform Bacteria in Water Sources near Appalachian Trail Shelters within the Great Smoky Mountains National Park. *Wilderness & Environmental Medicine*, Vol. 27, pp. 107–110.

Rodríguez Fernández-Alba, A. and Agüera López, A. (2002). Evaluación y seguimiento de plaguicidas en aguas subterráneas y superficiales. 1st ed. La Cañada, Almería: Universidad de Almería, pp.12 - 13.

Rovedatti, M. G., Castañé, P. M., Topalián, M. L., & Salibián, A. (2001). Monitoring of organochlorine and organophosphorus pesticides in the water of the Reconquista River (Buenos Aires, Argentina). *Water Research*, Vol. 35, No. 14, pp. 3457–3461. [http://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00058-6](http://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00058-6).

R.W. Morris. (2011). Water Hardness and Risk of Death from Coronary Heart Disease. In *Encyclopedia of Environmental Health* (1st ed., pp. 732–740). London, UK: University College London.

Samantara, M., Padhi, R., Sowmya, M., Kumaran, P. and Satpathy, K. (2017). Heavy metal contamination, major ion chemistry and appraisal of the groundwater status in coastal aquifer, Kalpakkam, Tamil Nadu, India. *Groundwater for Sustainable Development*. Impreso, trabajo aceptado.

Shakir, E., Zahraa, Z., Al-Obaidy, A.H.M.J. (2016). Environmental and health risks associated with reuse of wastewater for irrigation. *Egyptian Journal of Petroleum*, Vol. 28. Issue 1, p. 95 – 102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.01.003>.

Shaxson, F. and Barber, R. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. 1st ed. Roma: FAO.

SIVICAP. (2012a). IRCA Municipal Bolívar (pp. 1-2). Bogotá D.C.

SIVICAP. (2012b). MUESTRAS INVIABLES BOLIVAR (pp. 1-28). Bogotá D.C.

SIVICAP. (2012c). Información de los IRCA's mensuales para la certificación de las Personas Prestadoras (p. 11). Bogotá D.C.

SIVICAP. (2016). Base de datos IRCA Nacional. Bogotá D.C. Obtenido el 11 Junio del 2016, de <http://www.datos.gov.co/frm/catalogo/frmCatalogo.aspx?dsId=74717>.

Sun, H., Shi, B., Yang, F. and Wang, D. (2017). Effects of sulfate on heavy metal release from iron corrosion scales in drinking water distribution system. *Water Research*, 114, pp.69-77.

Villabona Ortiz, Á., Paz Astudillo, I., & Martínez García, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana De Biotecnología*, Vol 15, No. 11, pp. 137 - 144.

Vu, T., Trinh, V., Doan, D., Van, H., Nguyen, T., Vigneswaran, S. and Ngo, H. (2017). Removing ammonium from water using modified corncob-biochar. *Science of The Total Environment*, 579, pp.612-619.

UNEP, Global Environment Monitoring System, (GEMS)/Water Programme. (2007). Global Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis Report (pp. 3-12). Burlington, Ontario.

Wanda, E. M. M., Mamba, B. B., & Msagati, T. A. M. (2016). Determination of the water quality index ratings of water in the Mpumalanga and North West provinces, South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. Vol 92, pp. 70–78.

Wright, J., Liu, J., Bain, R., Perez, A., Crocker, J., Bartram, J., & Gundry, S. (2014). Water quality laboratories in Colombia: A GIS-based study of urban and rural accessibility.

Science of the Total Environment, Vol. 485-486, pp. 643-652.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.127>

Xiao, Z., He, M., Chen, B. and Hu, B. (2016). Polydimethylsiloxane/metal-organic frameworks coated stir bar sorptive extraction coupled to gas chromatography-flame photometric detection for the determination of organophosphorus pesticides in environmental water samples. *Talanta*, Vol. 156-157, pp.126-133.

Zaidi, F., Mogren, S., Mukhopadhyay, M., & Ibrahim, E. (2016). Evaluation of groundwater chemistry and its impact on drinking and irrigation water quality in the eastern part of the Central Arabian graben and trough system, *Saudi Arabia. Journal of African Earth Sciences*, Vol. 120, pp. 208-219. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.05.012>.

Zhang, X., Guo, Q., Shen, X., Yu, S., & Qiu, G. (2015). Water quality, agriculture and food safety in China: Current situation, trends, interdependencies, and management. *Journal of Integrative Agriculture*, Vol. 14, No. 11, pp. 2365-2379. [http://dx.doi.org/10.1016/s2095-3119\(15\)61128-5](http://dx.doi.org/10.1016/s2095-3119(15)61128-5).

ANEXOS

ANEXO A. Análisis microbiológico de las muestras.

 UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA CARTAGENA	LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS	Pág. 1 de 1	  
	INFORME DE RESULTADOS	Código: F-GR-01	
		2009-02-27/V1	

FECHA: 15 de noviembre de 2016

TIPO DE MUESTRA: **AGUA SUPERFICIAL "MAND"**

SITIO TOMA DE MUESTRA: MUNICIPIO MAHATES

FECHA DE RECIBDO DE MUESTRA: 03 de noviembre de 2016

CANTIDAD: 300 mL

MUESTRA NÚMERO: 3255

PROCEDENCIA: **UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

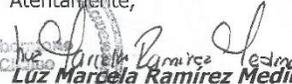
ANÁLISIS	RESULTADOS
Recuento Coliformes Totales	1.000 UFC/100 mL
Recuento <i>Escherichia coli</i>	30 UFC/100 mL

TÉCNICA UTILIZADA: filtración por Membrana.

OBSERVACIONES:

- Los resultados solo son válidos para la muestra analizada.

Atentamente,


Luz Marcela Ramírez Medina, Bacterióloga- Reg. 23338
Esp. Gerencia integral de la Calidad-U. San Buenaventura
Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco



Calle Real de Ternera, Diag. 32 No. 30 - 966 • PBX: 6535555 Ext. 184
Telefax: Directo: 6537778 • email: controldealimentos@usbctg.edu.co
Cartagena de Indias - Colombia

CALIDAD HUMANA
Y PROFESIONAL

LÍNEA DE ATENCIÓN
PBX 653 5555
EXT. 184 • 185

VISITANOS EN:
www.usbcartagena.edu.co



LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS

Pág. 1 de 1



INFORME DE RESULTADOS

Código: F-GR-01

2009-02-27/V1

FECHA: 15 de noviembre de 2016

TIPO DE MUESTRA: **AGUA SUPERFICIAL "MAL"**

SITIO TOMA DE MUESTRA: MUNICIPIO MAHATES

FECHA DE RECIBDO DE MUESTRA: 03 de noviembre de 2016

CANTIDAD: 300 mL

MUESTRA NÚMERO: 3256

PROCEDENCIA: **UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

ANÁLISIS	RESULTADOS
Recuento Coliformes Totales	580 UFC/100 mL
Recuento <i>Escherichia coli</i>	140 UFC/100 mL

TÉCNICA UTILIZADA: filtración por Membrana.

OBSERVACIONES:

- Los resultados solo son válidos para la muestra analizada.



Atentamente,

Luz Marcela Ramirez Medina
Luz Marcela Ramirez Medina, Bacterióloga- Reg. 23338
 Esp. Gerencia Integral de la Calidad-U. San Buenaventura
 Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco





LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS

Pág. 1 de 1



INFORME DE RESULTADOS

Código: F-GR-01

2009-02-27/V1

FECHA: 15 de noviembre de 2016

TIPO DE MUESTRA: **AGUA SUPERFICIAL "MAL"**

SITIO TOMA DE MUESTRA: MUNICIPIO MAHATES

FECHA DE RECIBDO DE MUESTRA: 03 de noviembre de 2016

CANTIDAD: 300 mL

MUESTRA NÚMERO: 3256

PROCEDENCIA: **UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

ANÁLISIS	RESULTADOS
Recuento Coliformes Totales	580 UFC/100 mL
Recuento <i>Escherichia coli</i>	140 UFC/100 mL

TÉCNICA UTILIZADA: filtración por Membrana.

OBSERVACIONES:

- Los resultados solo son válidos para la muestra analizada.



Atentamente,

Luz Marcela Ramirez Medina
Luz Marcela Ramirez Medina, Bacterióloga- Reg. 23338
 Esp. Gerencia Integral de la Calidad-U. San Buenaventura
 Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco





LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS

Pág. 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS

Código: F-GR-01

2009-02-27/V1



FECHA: 15 de noviembre de 2016

TIPO DE MUESTRA: **AGUA SUPERFICIAL "SJ"**

SITIO TOMA DE MUESTRA: MUNICIPIO MAHATES

FECHA DE RECIBDO DE MUESTRA: 03 de noviembre de 2016

CANTIDAD: 300 mL

MUESTRA NÚMERO: 3257

PROCEDENCIA: **UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

ANÁLISIS	RESULTADOS
Recuento Coliformes Totales	1.000 UFC/100 mL
Recuento <i>Escherichia coli</i>	<10 UFC/100 mL

TÉCNICA UTILIZADA: filtración por Membrana.

OBSERVACIONES:

- Los resultados solo son válidos para la muestra analizada.

Afortunadamente,

Luz Marcela Ramírez Medina, Bacterióloga- Reg. 23338
 Esp. Gerencia Integral de la Calidad-U. San Buenaventura
 Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco
 Cartagena



	LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS	Pág. 1 de 1
	INFORME DE RESULTADOS	Código: F-GR-01
		2009-02-27/V1



FECHA: 15 de noviembre de 2016

TIPO DE MUESTRA: **AGUA SUPERFICIAL "PAL"**

SITIO TOMA DE MUESTRA: MUNICIPIO MAHATES

FECHA DE RECIBDO DE MUESTRA: 03 de noviembre de 2016

CANTIDAD: 300 mL

MUESTRA NÚMERO: 3258

PROCEDENCIA: **UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

ANÁLISIS	RESULTADOS
Recuento Coliformes Totales	1.000 UFC/100 mL
Recuento <i>Escherichia coli</i>	<10 UFC/100 mL

TÉCNICA UTILIZADA: filtración por Membrana.

OBSERVACIONES:

- Los resultados solo son válidos para la muestra analizada.



Atentamente,
Luz Marcela Ramirez Medina
Luz Marcela Ramirez Medina. Bacterióloga- Reg. 23338
 Esp. Gerencia integral de la Calidad-U. San Buenaventura
 Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco



	LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS	Pág. 1 de 1
	INFORME DE RESULTADOS	Código: F-GR-01
		2009-02-27/V1



FECHA: 15 de noviembre de 2016

TIPO DE MUESTRA: **AGUA SUPERFICIAL "MAH"**

SITIO TOMA DE MUESTRA: MUNICIPIO MAHATES

FECHA DE RECIBIDO DE MUESTRA: 03 de noviembre de 2016

CANTIDAD: 300 mL

MUESTRA NÚMERO: 3254

PROCEDENCIA: **UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

ANÁLISIS	RESULTADOS
Recuento Coliformes Totales	1.000 UFC/100 mL
Recuento <i>Escherichia coli</i>	<10 UFC/100 mL

TÉCNICA UTILIZADA: filtración por Membrana.

OBSERVACIONES:

- Los resultados solo son válidos para la muestra analizada.

Atentamente,


Luz Marcela Ramirez Medina, Bacterióloga- Reg. 23338
 Esp. Gerencia Integral de la Calidad-U. San Buenaventura
 Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco



**LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS**

Pág. 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS

Código: F-GR-01

2009-02-27/V1



FECHA: 15 de diciembre de 2016
TIPO DE MUESTRA: **AGUA TRATADA MALT**
SITIO TOMA DE MUESTRA: ACUEDUCTO MAHATES
FECHA DE RECIBIDO DE MUESTRA: 12 de diciembre de 2016
CANTIDAD: 300 mL
MUESTRA NÚMERO: **3523**
PROCEDENCIA: **UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

ANÁLISIS	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
Rto Coliformes Totales	>100 UFC/100mL	0 UFC/100 mL
Rto <i>Escherichia coli</i>	0 UFC/100mL	0 UFC/100 mL
Recuento de Aerobios mesófilos	>100 UFC/100mL	<100 UFC/100 mL

NOTA: Valores de Referencia acorde a la resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Protección Social.

- Los resultados sólo son válidos para la muestra analizada.

TÉCNICA UTILIZADA: Filtración por membrana.

CONCEPTO: la muestra analizada **NO** cumple las especificaciones establecidas por la norma desde el punto de vista bacteriológico.

Atentamente,

Piedad Franco Anaya – Bacterióloga – Reg. 5285
Esp. Aseguramiento de la Calidad Microbiológica de los Alimentos
Colegio Mayor de Antioquia - U. San Buenaventura



**LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS**

Pág. 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS

Código: F-GR-01

2009-02-27/V1



FECHA: 15 de diciembre de 2016
TIPO DE MUESTRA: **AGUA TRATADA MAHT**
SITIO TOMA DE MUESTRA: ACUEDUCTO MAHATES
FECHA DE RECIBIDO DE MUESTRA: 12 de diciembre de 2016
CANTIDAD: 300 mL
MUESTRA NÚMERO: **3524**
PROCEDENCIA: **UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

ANÁLISIS	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
Rto Coliformes Totales	58 UFC/100mL	0 UFC/100 mL
Rto <i>Escherichia coli</i>	0 UFC/100mL	0 UFC/100 mL
Recuento de Aerobios mesófilos	>100 UFC/100mL	<100 UFC/100 mL

NOTA: Valores de Referencia acorde a la resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Protección Social.

- Los resultados sólo son válidos para la muestra analizada.

TÉCNICA UTILIZADA: Filtración por membrana.

CONCEPTO: la muestra analizada **NO** cumple las especificaciones establecidas por la norma desde el punto de vista bacteriológico.

Atentamente,

Piedad Franco Anaya – Bacterióloga – Reg. 5285
Esp. Aseguramiento de la Calidad Microbiológica de los Alimentos
Colegio Mayor de Antioquia - U. San Buenaventura





LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS

Pág. 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS

Código: F-GR-01

2009-02-27/V1



Cartagena, D, T, H y C., 15 de diciembre de 2016

Señores:
UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
Ciudad.

Cordial saludo,

A continuación describo interpretación de los resultados obtenidos, en muestras recibidas el 12 de diciembre de 2016 en sus instalaciones.

Las muestras de aguas tratadas tomada en el acueducto, presentó recuentos de bacterias coliformes totales y aerobios mesófilos por fuera de la norma.

Se recomienda:

- Revisar todo el proceso de tratamiento y potabilización del agua.
- Realizar medición de cloro residual libre para verificar el tratamiento de la misma.

Atentamente


Piedad Franco Anaya Bacterióloga- Reg. 5285
Esp. Aseguramiento de Calidad Microbiológica de los Alimentos
Colegio Mayor de Antioquia. U. San Buenaventura



ANEXO B. Análisis de mercurio por vapor frío de las muestras.

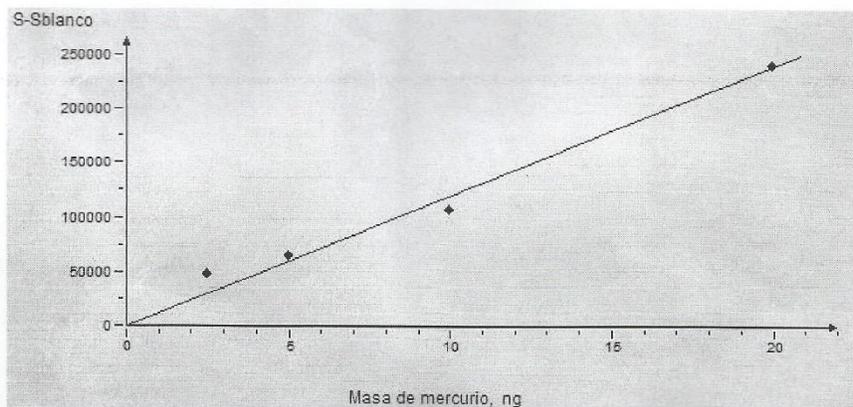
REPORT

Instrument RA915M

Serial number 2345

Calibration name

Jasser curva Hg



Results

N	Mercury mass, ng	S-Blank	Ref.data, ng/l	Calculated, ng/l	d, %
1	20,00	242700	4000,0	4028,5	0,7
2	10,00	109000	2000,0	1809,8	-9,5
3	5,00	66430	1000,0	1102,6	10,3
4	2,50	49840	500,0	827,2	65,4

Calibration

S - Sblanko = a·m

Algorithm

LSM

Correlation coefficient

0,995115

Residual standard deviation

139,004726

Coefficient

a = 12050,0000

REPORT

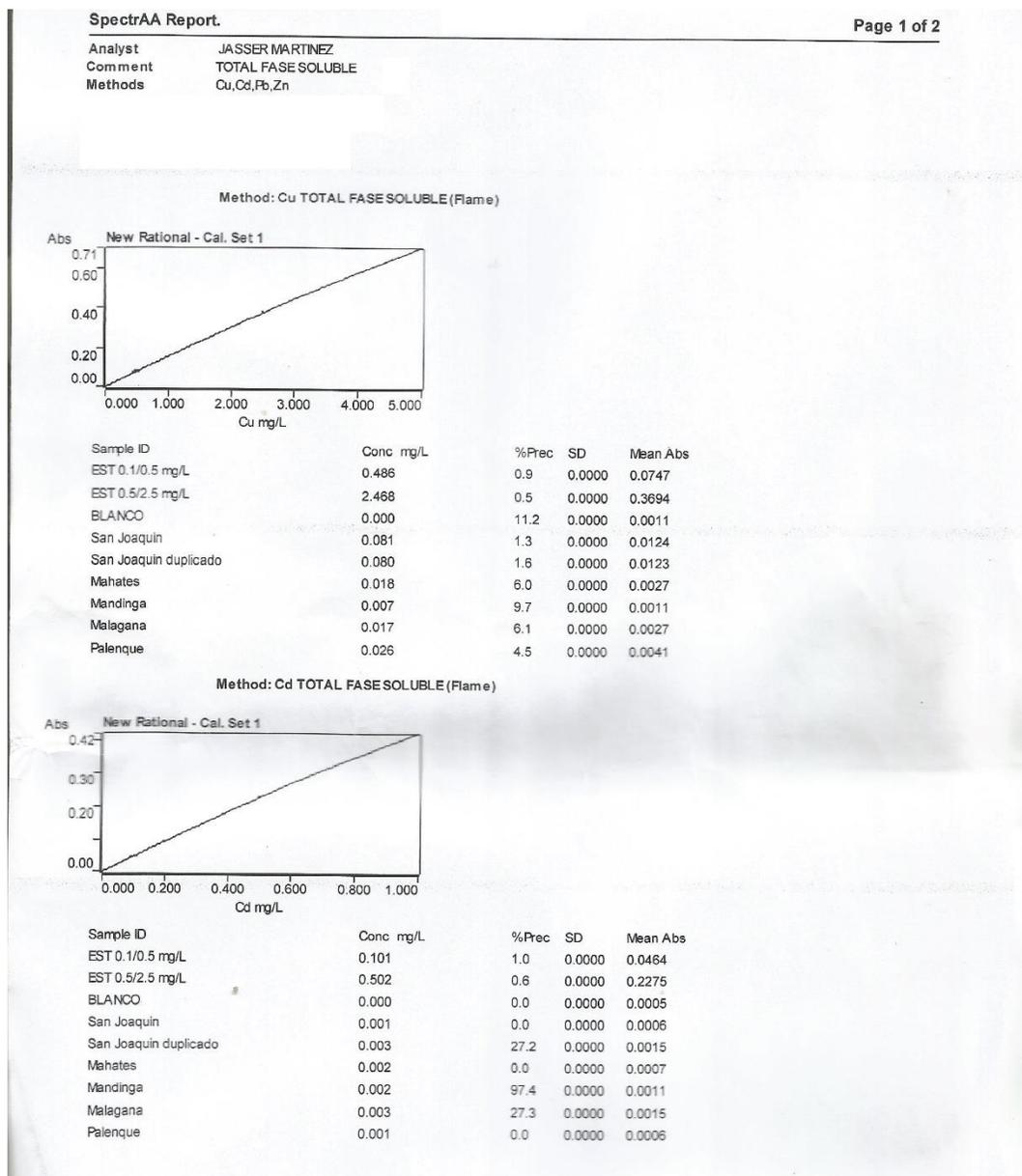
Instrument RA915M

Serial number 2345

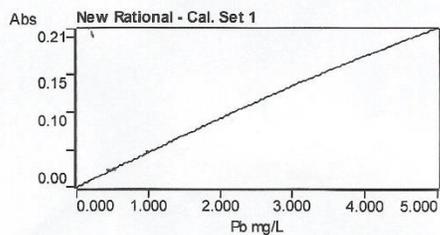
Results

N	Sample description	Concentration	Area	Height
1	PALENQUE	496,7	29920	646,5
2	MANDINGA	457,2	27540	657,0
3	MAHATES_	722,5	43530	979,3
4	SAN JOAQUIN	820,3	49420	952,1
5	MALAGANA	568,8	34270	790,6
6	MAHATES_ T1	222,5	13548	328,1
7	MAHATES_ T2	281,3	15122	367,2
8	MALAGANA_ T1	372,1	21789	498,8
9	MALAGANA_ T2	333,4	20176	479,5

Anexo C. Análisis de metales pesados por absorción atómica en llama de las muestras.

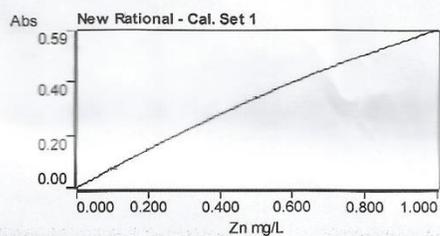


Method: Pb TOTAL FASESOLUBLE(Flame)



Sample ID	Conc mg/L	%Prec	SD	Mean Abs
EST 0.1/0.5 mg/L	0.483	1.0	0.0000	0.0221
EST 0.5/2.5 mg/L	2.460	0.8	0.0000	0.1106
BLANCO	0.000	38.0	0.0000	-0.0002
San Joaquin	0.006	16.0	0.0000	0.0003
San Joaquin duplicado	0.007	16.3	0.0000	0.0003
Mahates	-0.012	>100	0.0000	-0.0006
Mandinga	-0.005	43.4	0.0000	-0.0002
Malagana	0.002	23.4	0.0000	0.0001
Palenque	-0.011	>100	0.0000	-0.0005

Method: Zn TOTAL FASESOLUBLE(Flame)

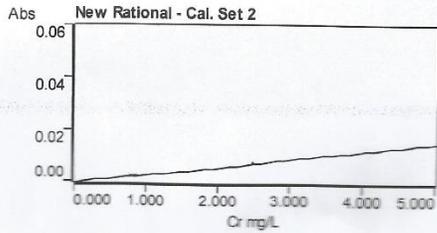


Sample ID	Conc mg/L	%Prec	SD	Mean Abs
EST 0.1/0.5 mg/L	0.099	0.7	0.0000	0.0706
EST 0.5/2.5 mg/L	0.498	0.5	0.0000	0.3354
BLANCO	0.000	27.4	0.0000	-0.0003
San Joaquin	OVER	0.2	0.0000	0.8760
San Joaquin duplicado	OVER	0.2	0.0000	0.8573
Mahates	0.024	1.0	0.0000	0.0171
Mandinga	0.004	3.5	0.0000	0.0031
Malagana	0.010	2.1	0.0000	0.0071
Palenque	0.025	1.0	0.0000	0.0189
San Joaquin f5	2.001	0.6	0.0000	0.2748
San Joaquin dpo f5	2.054	0.4	0.0000	0.2818

SpectrAA Report.

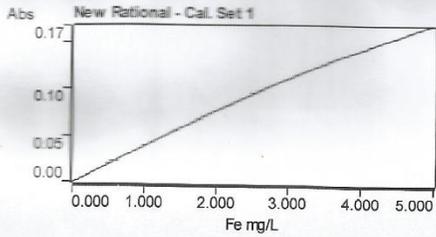
Analyst JASSER MARTINEZ G.
 Comment TOTAL FASE SOLUBLE
 Methods Cr,Fe,N

Method: Cr TOTAL FASE SOLUBLE (Flame)



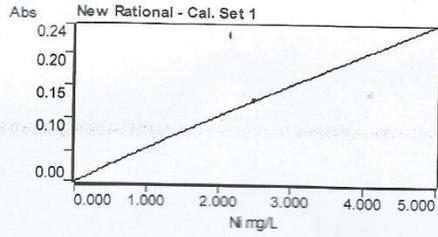
Sample ID	Conc mg/L	%Prec	SD	Mean Abs
EST 0.5/1 mg/L	0.820	16.2	0.0000	0.0020
EST 2.5 mg/L	2.601	7.0	0.0000	0.0073
BLANCO	0.002	24.3	0.0000	0.0005
Mahates	0.018	27.9	0.0000	0.0000
Mandinga	0.879	18.0	0.0000	0.0021
Malagana	0.225	20.3	0.0000	0.0005
Palenque	0.205	24.6	0.0000	0.0005
San Joaquin	-1.608	0.0	0.0000	-0.0035
San Joaquin duplicado	-1.665	0.0	0.0000	-0.0036

Method: Fe TOTAL FASE SOLUBLE (Flame)



Sample ID	Conc mg/L	%Prec	SD	Mean Abs
EST 0.5/1 mg/L	0.571	1.7	0.0000	0.0216
EST 2.5 mg/L	2.574	0.9	0.0000	0.0959
BLANCO	0.001	0.0	0.0000	0.0024
San Joaquin	0.484	2.2	0.0000	0.0183
San Joaquin duplicado	0.509	1.9	0.0000	0.0192
Mahates	OVER	0.9	0.0000	0.1923
Mandinga	1.143	1.0	0.0000	0.0435
Malagana	0.107	20.0	0.0000	0.0040
Palenque	0.125	13.8	0.0000	0.0047
Mahates	5.384	1.0	0.0000	0.0999

Method: Ni TOTAL FASE SOLUBLE (Flame)

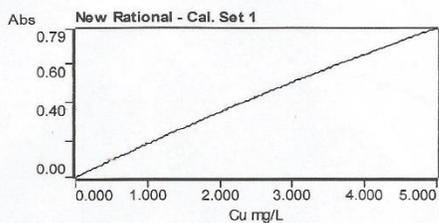


Sample ID	Conc mg/L	%Prec	SD	Mean Abs
EST 0.5/1 mg/L	0.527	1.6	0.0000	0.0283
EST 2.5 mg/L	2.594	0.9	0.0000	0.1317
BLANCO	0.000	0.0	0.0000	0.0007
Mahates	0.045	0.0	0.0000	0.0024
Mandinga	0.032	0.0	0.0000	0.0017
Malagana	0.039	0.0	0.0000	0.0021
Palenque	0.042	0.0	0.0000	0.0023
San Joaquin	0.087	20.4	0.0000	0.0047
San Joaquin duplicado	0.098	15.4	0.0000	0.0054

SpectraAA Report

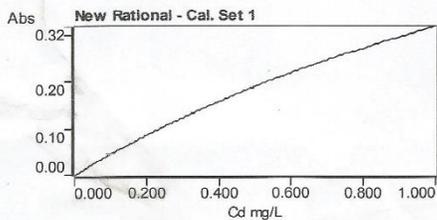
Worksheet (Cd, Cu, Pb, Zn) Jas
 Comment TOTAL FASE ACUOSA
 Methods Cd,Cu,Pb,Zn

Method: Cu TOTAL FASE ACUOSA (Flame)



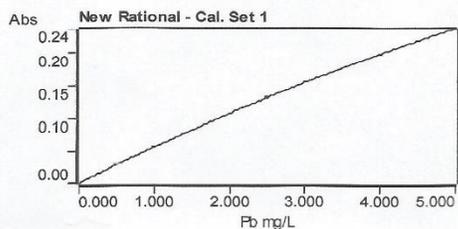
Sample ID	Conc mg/L	%Prec	SD	Mean Abs
EST 0.1/0.5	0.493	0.8	0.0000	0.0898
EST 0.5/2.5	2.543	0.3	0.0000	0.4324
BLANCO	0.015	5.2	0.0000	0.0027
MAHT1	0.027	3.4	0.0000	0.0050
MAHT1	0.026	3.6	0.0000	0.0048
MALT	0.028	3.6	0.0000	0.0053
MALT	0.031	3.1	0.0000	0.0058

Method: Cd TOTAL FASE ACUOSA (Flame)



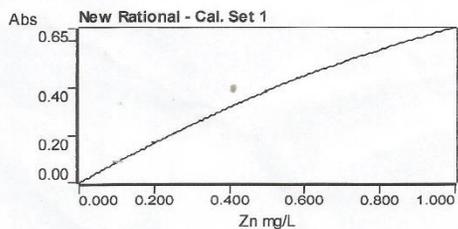
Sample ID	Conc mg/L	%Prec	SD	Mean Abs
EST 0.1/0.5	0.099	1.0	0.0000	0.0436
EST 0.5/2.5	0.493	0.5	0.0000	0.1855
BLANCO	0.010	3.7	0.0000	0.0046
MAHT1	0.017	2.5	0.0000	0.0076
MAHT1	0.018	2.6	0.0000	0.0081
MALT	0.019	2.4	0.0000	0.0086
MALT	0.019	2.3	0.0000	0.0088

Method: Pb TOTAL FASEACUOSA (Flame)



Sample ID	Conc mg/L	%Prec	SD	Mean Abs
EST 0.1/0.5	0.520	1.0	0.0000	0.0292
EST 0.5/2.5	2.430	0.7	0.0000	0.1278
BLANCO	0.049	5.2	0.0000	0.0028
MAHT1	0.130	2.2	0.0000	0.0074
MAHT1	0.127	2.1	0.0000	0.0072
MALT	0.129	2.0	0.0000	0.0073
MALT	0.135	2.2	0.0000	0.0077

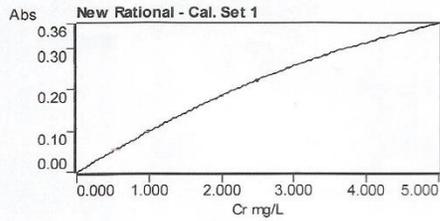
Method: Zn TOTAL FASEACUOSA (Flame)



Sample ID	Conc mg/L	%Prec	SD	Mean Abs
EST 0.1/0.5	0.103	0.9	0.0000	0.0855
EST 0.5/2.5	0.484	0.4	0.0000	0.3733
BLANCO	0.002	5.8	0.0000	0.0018
MAHT1	0.027	1.0	0.0000	0.0224
MAHT1	0.027	1.0	0.0000	0.0227
MALT	0.030	1.0	0.0000	0.0249
MALT	0.028	1.0	0.0000	0.0233

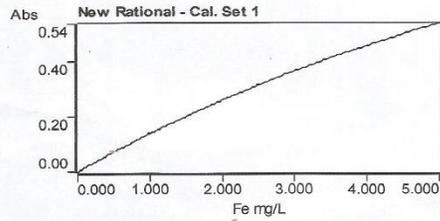
Worksheet (Cr, Ni, Fe)JASS
 Comment TOTAL FASE ACUOSA
 Methods Fe,Ni,Cr

Method: Cr TOTAL FASE ACUOSA (Flame)



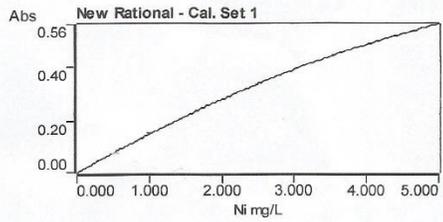
Sample ID	Conc mg/L	%Prec	SD	Mean Abs
EST 0.1/0.5	0.531	1.0	0.0000	0.0533
EST 0.5/2.5	2.340	0.9	0.0000	0.2105
BLANCO	-0.011	46.5	0.0000	-0.0011
MAHT1	-0.017	84.5	0.0000	-0.0018
MAHT1	-0.028	0.0	0.0000	-0.0029
MALT	-0.006	32.5	0.0000	-0.0006
MALT	-0.022	>100	0.0000	-0.0023

Method: Fe TOTAL FASE ACUOSA (Flame)



Sample ID	Conc mg/L	%Prec	SD	Mean Abs
EST 0.1/0.5	0.502	1.0	0.0000	0.0706
EST 0.5/2.5	2.505	0.4	0.0000	0.3115
BLANCO	-0.006	0.0	0.0000	-0.0009
MAHT1	0.045	10.0	0.0000	0.0065
MAHT1	0.045	10.8	0.0000	0.0065
MALT	0.010	0.0	0.0000	0.0015
MALT	0.018	0.0	0.0000	0.0025

Method: Ni TOTAL FASE ACUOSA (Flame)



Sample ID	Conc mg/L	%Prec	SD	Mean Abs
EST 0.1/0.5	0.517	1.0	0.0000	0.0767
EST 0.5/2.5	2.427	0.5	0.0000	0.3270
BLANCO	0.002	0.0	0.0000	0.0003
MAHT1	0.014	>100	0.0000	0.0020
MAHT1	0.009	0.0	0.0000	0.0013
MALT	0.009	0.0	0.0000	0.0014
MALT	0.012	>100	0.0000	0.0018

ANEXO D. Resultados de la cromatografía iónica de las muestras de las fuentes abastecimiento de Mahates y sus corregimientos.



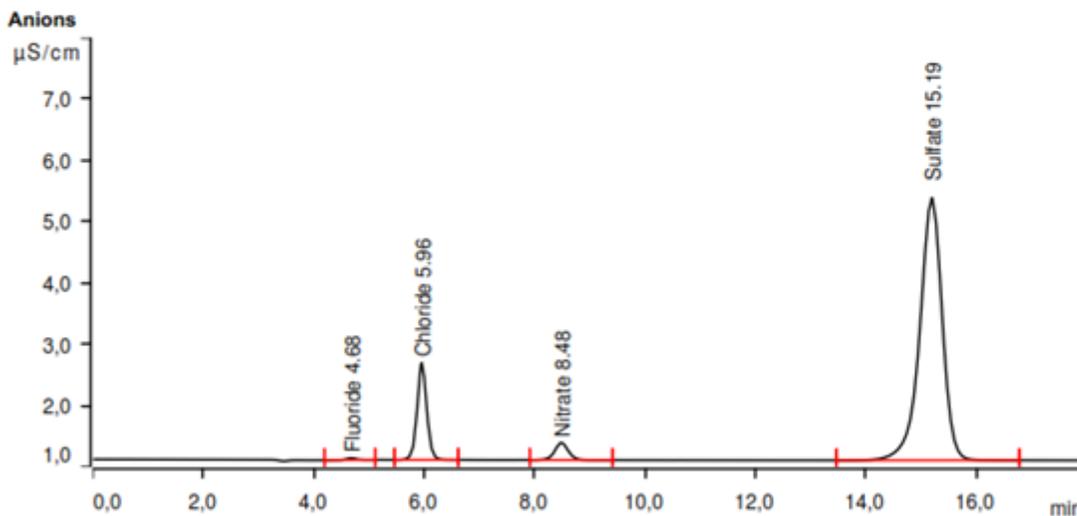
Sample data

Sample type Muestra
 Method ASTM D4327 ANIONES 2
 Operator

Anions

Fuente de los datos Detector de conductividad 1 (940 Professional IC Vario 1)
 Canal Conductividad
 Tiempo de registro 18.0 min
 Integración Automáticamente
 Tipo de columna Metrosep A Supp 4 - 250/4.0
 Composición del eluyente no definido
 Flujo 1.000 mL/min
 Flujo máximo supervisado sí
 Presión 7.89 MPa
 Presión máxima supervisada sí
 Temperatura 30.0 °C

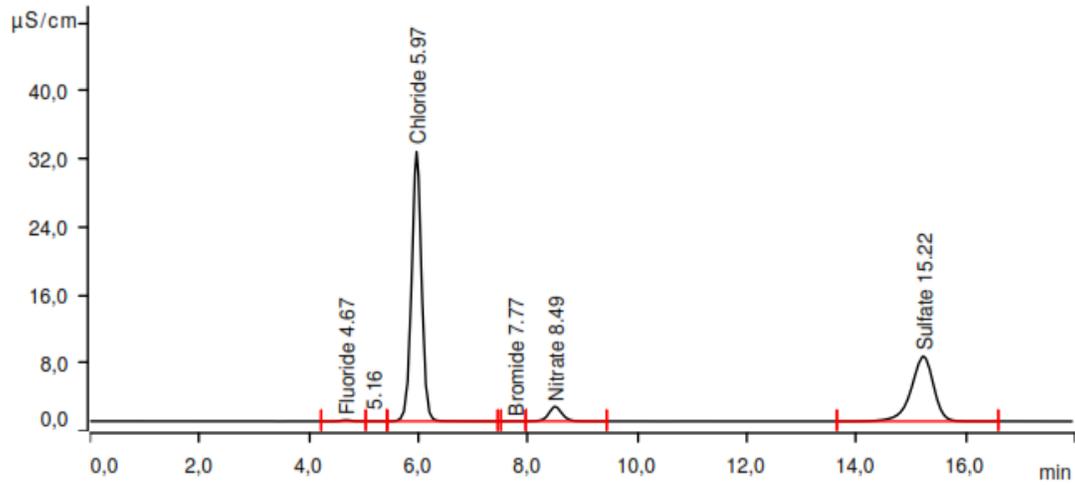
Mahates



Número de pico	Tiempo de retención min	Área (µS/cm) x min	Altura µS/cm	Concentración ppm	Nombre del componente
1	4.677	0.0068	0.032	0.058	Fluoride
2	5.957	0.3206	1.582	3.809	Chloride
3	8.483	0.0810	0.284	0.386	Nitrate
4	15.192	2.0266	4.283	43.348	Sulfate

Malagana

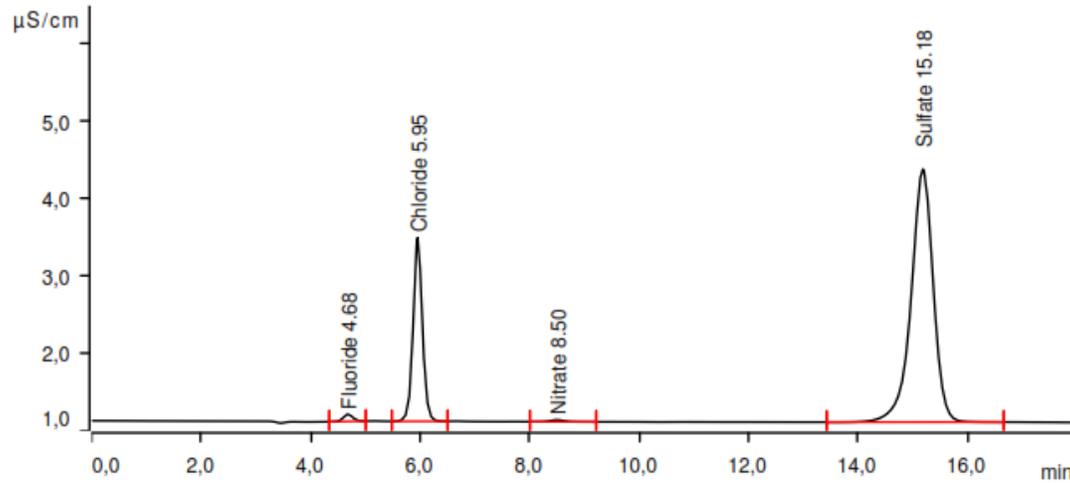
Anions



Número de pico	Tiempo de retención min	Área ($\mu\text{S/cm}$) x min	Altura $\mu\text{S/cm}$	Concentración ppm	Nombre del componente
1	4.672	0.0320	0.140	0.276	Fluoride
2	5.163	0.0027	0.011	inválido	
3	5.965	6.6567	31.727	79.086	Chloride
4	7.768	0.0023	0.011	0.062	Bromide
5	8.493	0.4843	1.725	2.309	Nitrate
6	15.222	3.6309	7.648	77.662	Sulfate

Mandinga

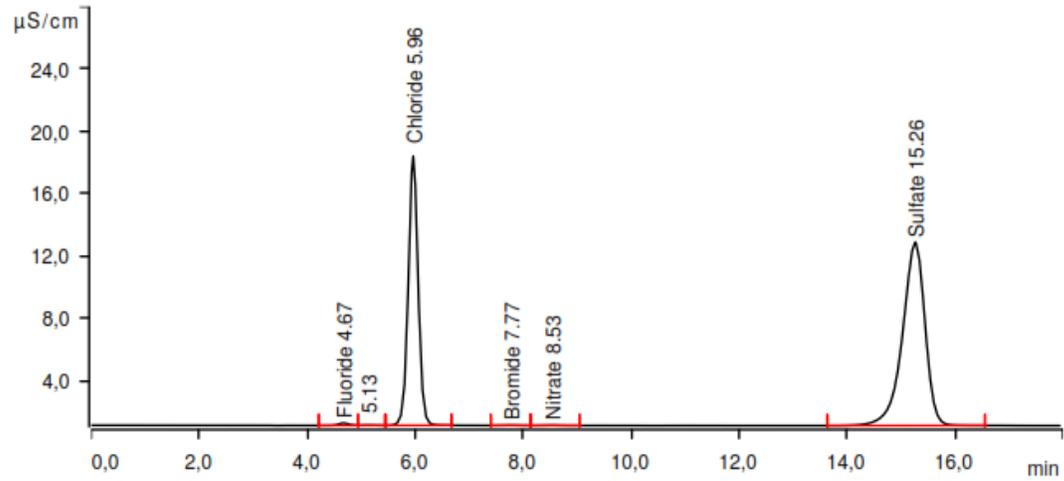
Anions



Número de pico	Tiempo de retención min	Área ($\mu\text{S/cm}$) x min	Altura $\mu\text{S/cm}$	Concentración ppm	Nombre del componente
1	4.680	0.0186	0.092	0.161	Fluoride
2	5.953	0.4667	2.376	5.545	Chloride
3	8.495	0.0071	0.024	0.034	Nitrate
4	15.180	1.5387	3.275	32.911	Sulfate

Palenque

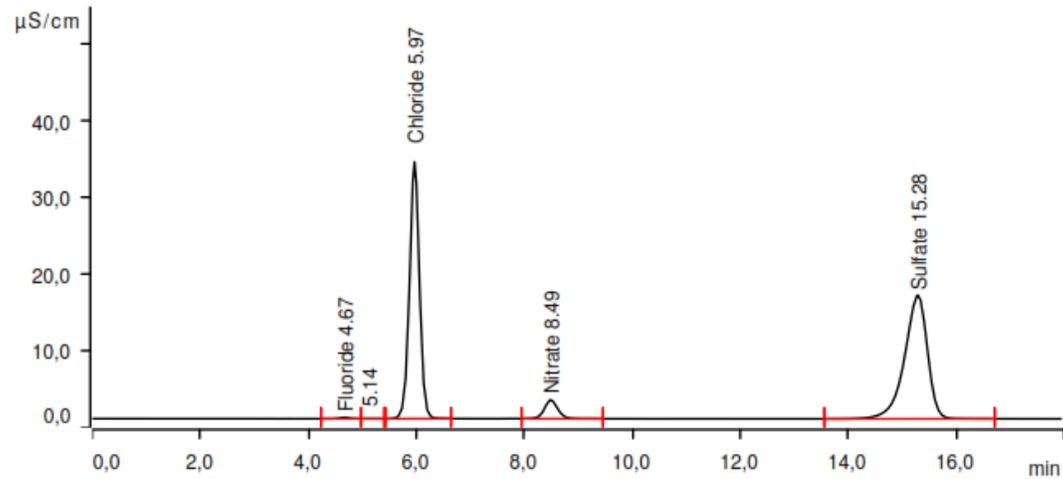
Anions



Número de pico	Tiempo de retención min	Área ($\mu\text{S/cm}$) x min	Altura $\mu\text{S/cm}$	Concentración ppm	Nombre del componente
1	4.670	0.0333	0.157	0.287	Fluoride
2	5.132	0.0056	0.018	inválido	
3	5.962	3.6308	17.271	43.137	Chloride
4	7.768	0.0041	0.016	0.114	Bromide
5	8.533	0.0044	0.015	0.021	Nitrate
6	15.255	5.6939	11.762	121.788	Sulfate

San Joaquín

Anions



Número de pico	Tiempo de retención min	Área ($\mu\text{S/cm}$) x min	Altura $\mu\text{S/cm}$	Concentración ppm	Nombre del componente
1	4.667	0.0372	0.177	0.321	Fluoride
2	5.142	0.0023	0.008	inválido	
3	5.965	7.1524	33.562	84.975	Chloride
4	8.485	0.7003	2.456	3.339	Nitrate
5	15.283	7.9248	16.158	169.507	Sulfate

Sample data

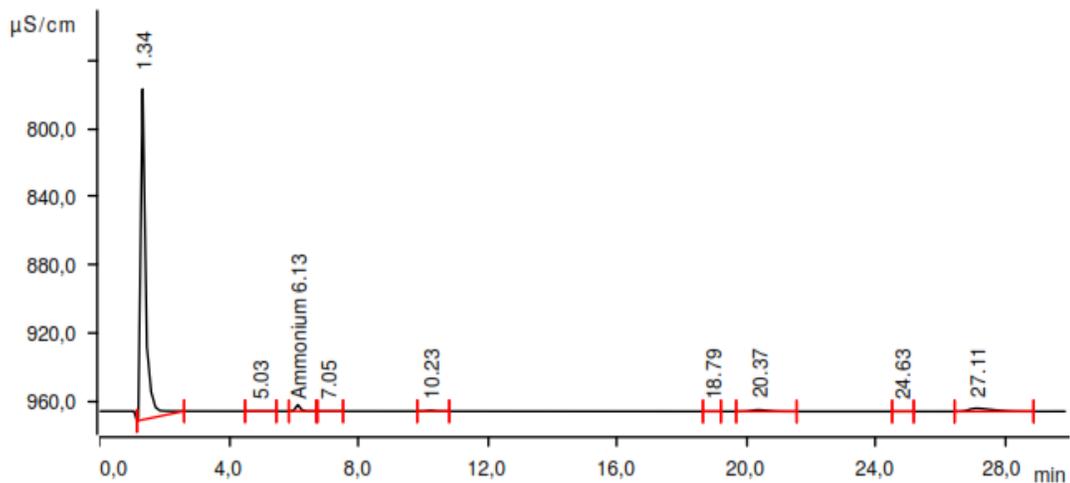
Sample type Muestra
 Method ASTM D6919 CATIONES
 Operator

Cationes

Fuente de los datos Detector de conductividad 2 (940 Professional IC Vario 1)
 Canal Conductividad
 Tiempo de registro 30.0 min
 Integración Automáticamente
 Tipo de columna Metrosep C 6 - 150/4.0
 Composición del eluyente no definido
 Flujo 0.900 mL/min
 Flujo máximo supervisado sí
 Presión 7.99 MPa
 Presión máxima supervisada sí
 Temperatura °C

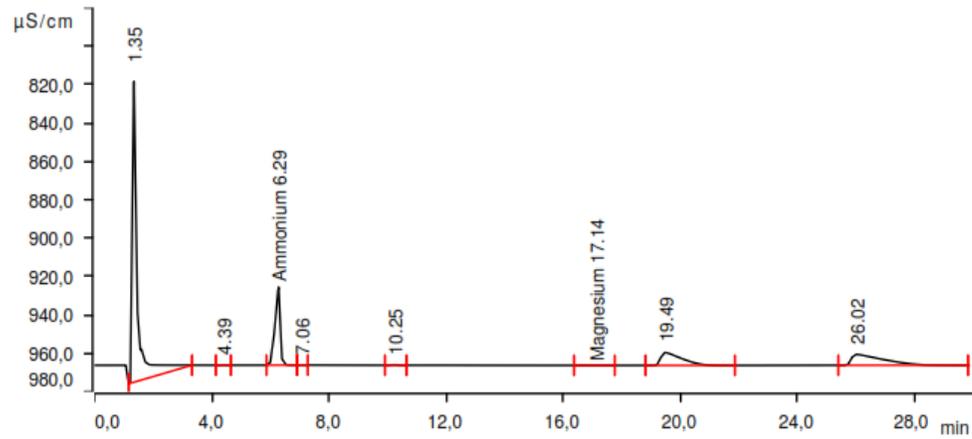
Mahates

Cationes



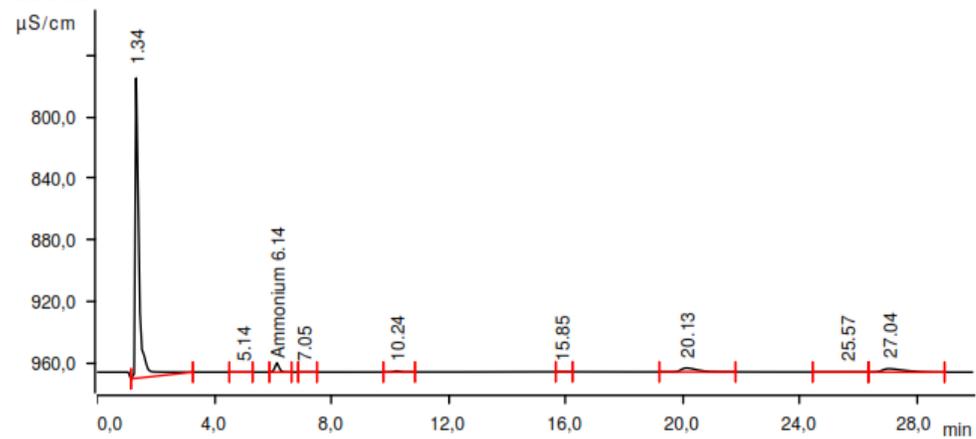
Número de pico	Tiempo de retención min	Área (µS/cm) x min	Altura µS/cm	Concentración ppm	Nombre del componente
1	1.337	28.5191	194.603	inválido	
2	5.032	0.0055	0.010	inválido	
3	6.130	0.6184	3.740	7.071	Ammonium
4	7.050	0.0061	0.021	inválido	
5	10.228	0.1174	0.477	inválido	
6	18.785	0.0015	0.004	inválido	
7	20.372	0.5088	0.891	inválido	
8	24.625	0.0018	0.004	inválido	
9	27.110	1.5228	1.854	inválido	

Malagana
Cationes



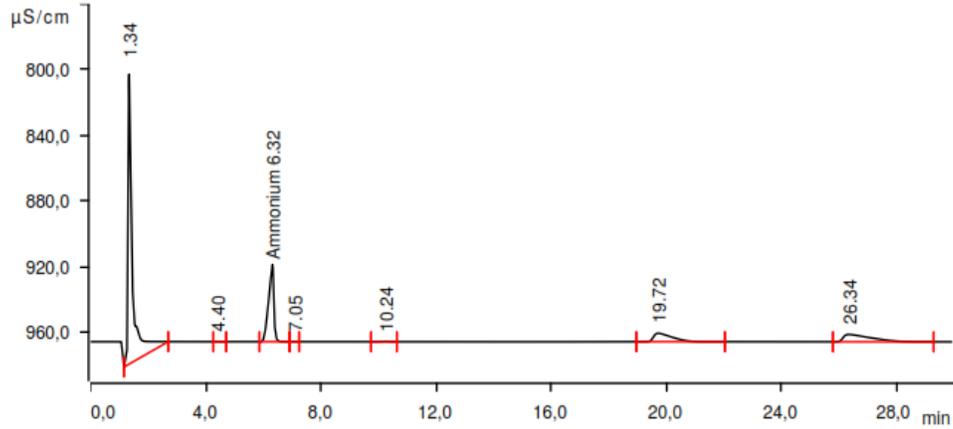
Número de pico	Tiempo de retención min	Área ($\mu\text{S/cm}$) x min	Altura $\mu\text{S/cm}$	Concentración ppm	Nombre del componente
1	1.347	26.6883	156.785	inválido	
2	4.392	0.0091	0.064	inválido	
3	6.285	7.9041	40.648	91.242	Ammonium
4	7.062	0.0037	0.025	inválido	
5	10.245	0.0566	0.235	inválido	
6	17.140	0.0087	0.012	-0.101	Magnesium
7	19.487	5.4137	6.672	inválido	
8	26.022	6.9910	5.579	inválido	

Mandinga
Cationes



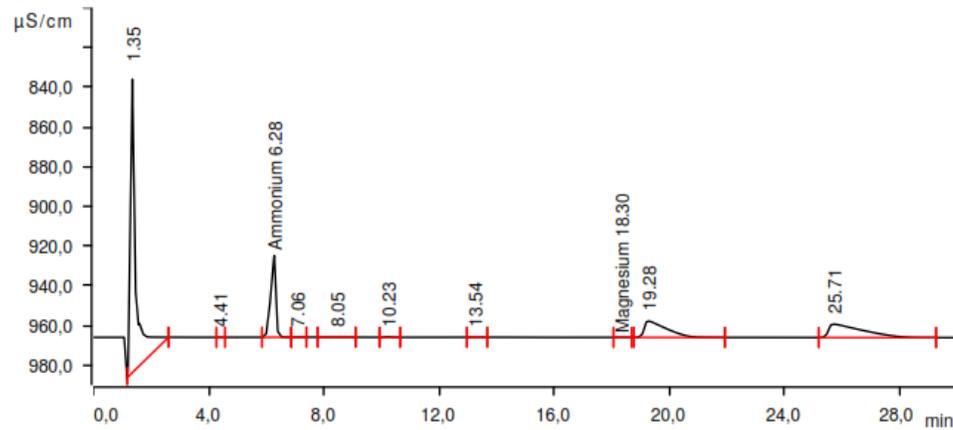
Número de pico	Tiempo de retención min	Área ($\mu\text{S/cm}$) x min	Altura $\mu\text{S/cm}$	Concentración ppm	Nombre del componente
1	1.337	29.3211	195.747	inválido	
2	5.138	0.0034	0.007	inválido	
3	6.143	0.9853	6.008	11.310	Ammonium
4	7.053	0.0119	0.062	inválido	
5	10.237	0.1618	0.647	inválido	
6	15.850	0.0011	0.004	inválido	
7	20.125	1.5947	2.528	inválido	
8	25.565	0.0168	0.019	inválido	
9	27.038	1.8123	2.137	inválido	

Palenque
Cationes



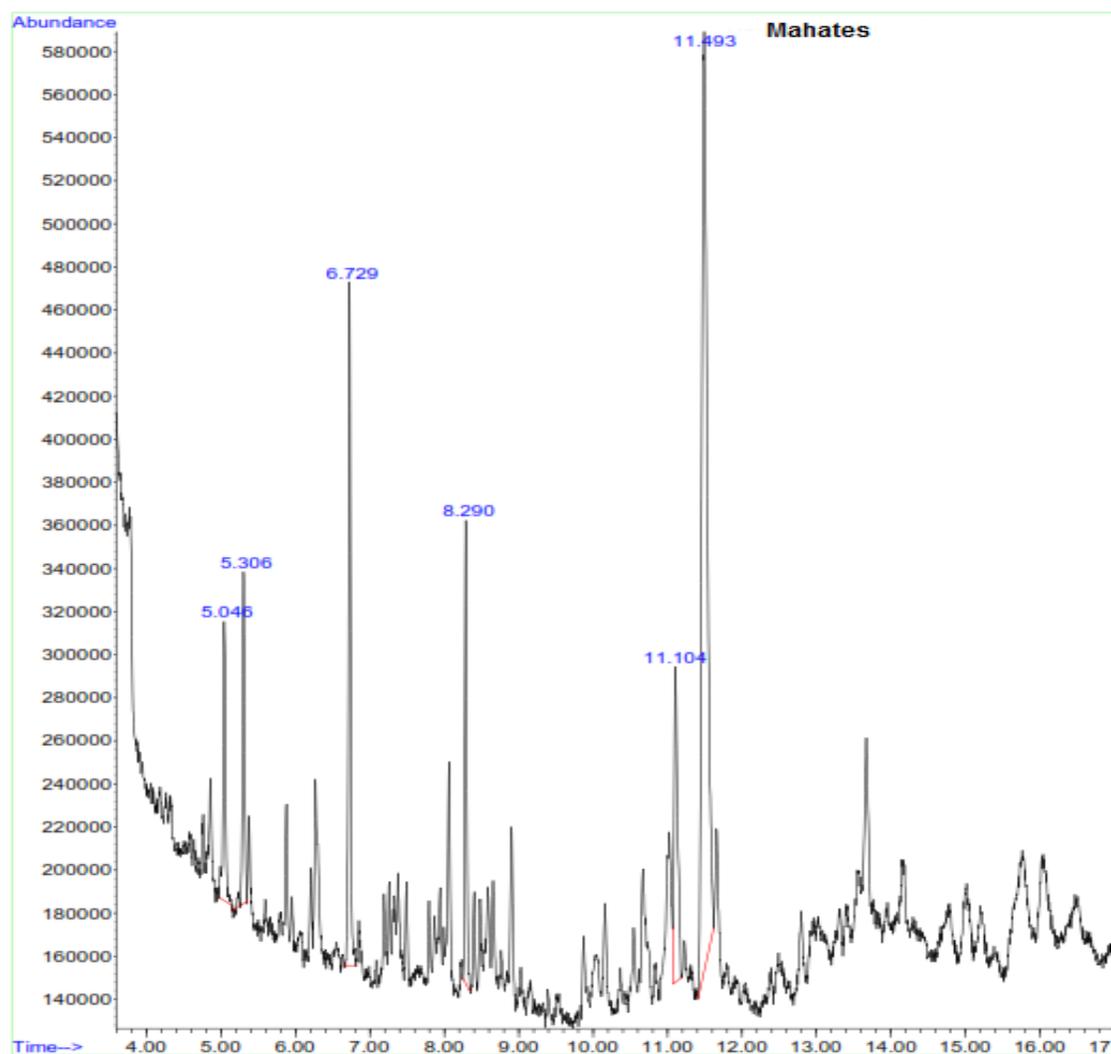
Número de pico	Tiempo de retención min	Área (µS/cm) x min	Altura µS/cm	Concentración ppm	Nombre del componente
1	1.343	30.1289	176.763	inválido	
2	4.395	0.0098	0.066	inválido	
3	6.320	9.7629	46.965	112.717	Ammonium
4	7.053	0.0067	0.045	inválido	
5	10.240	0.0613	0.252	inválido	
6	19.717	3.8573	5.194	inválido	
7	26.337	5.0092	4.517	inválido	

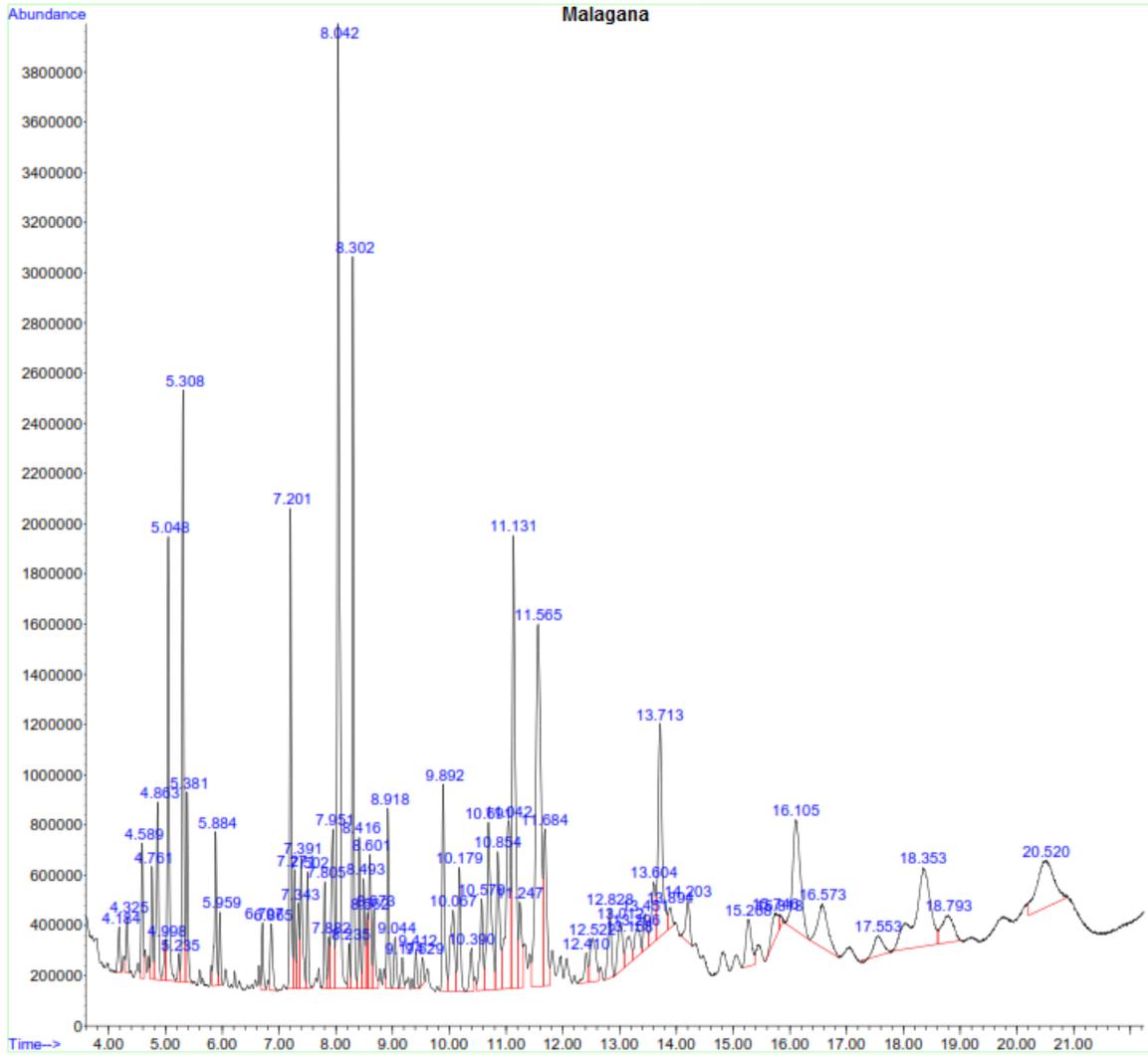
San Joaquín
Cationes

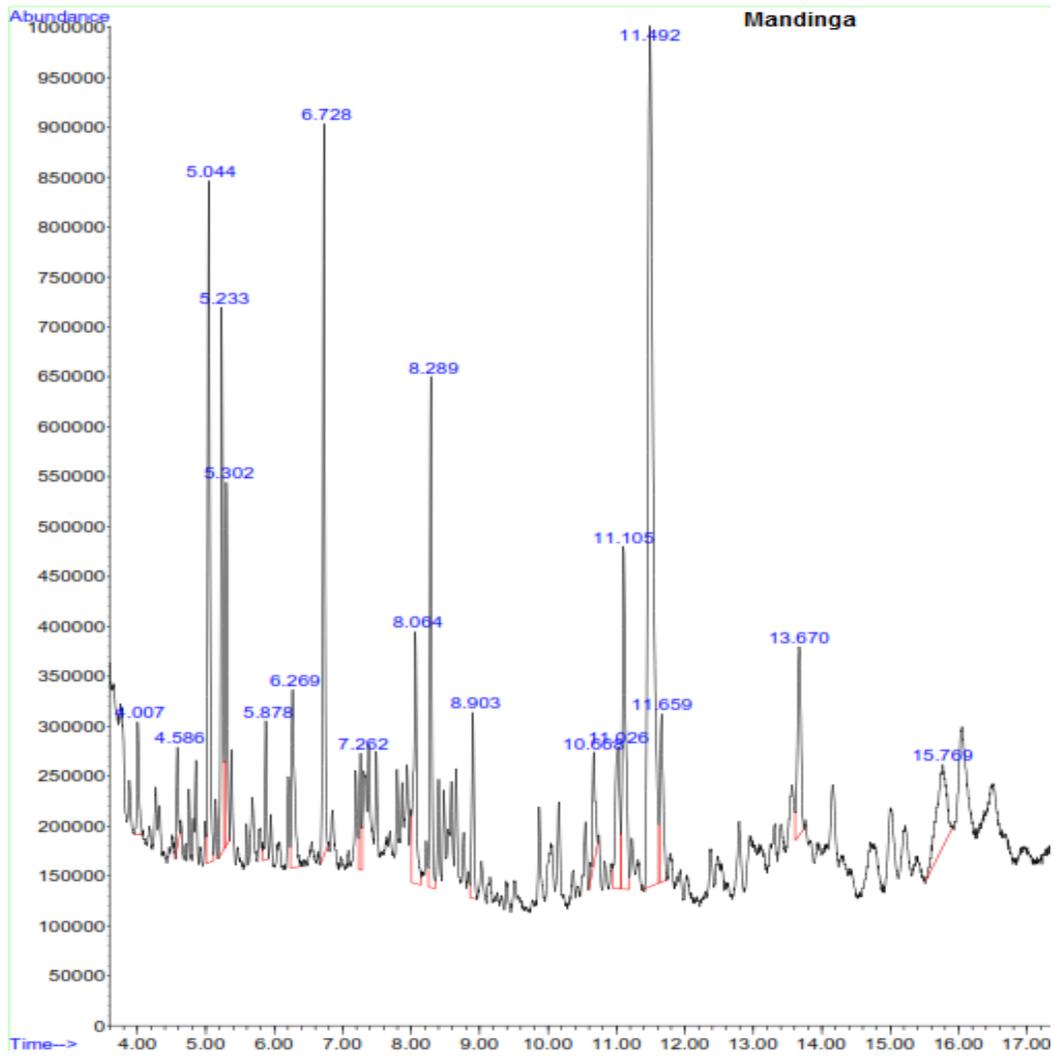


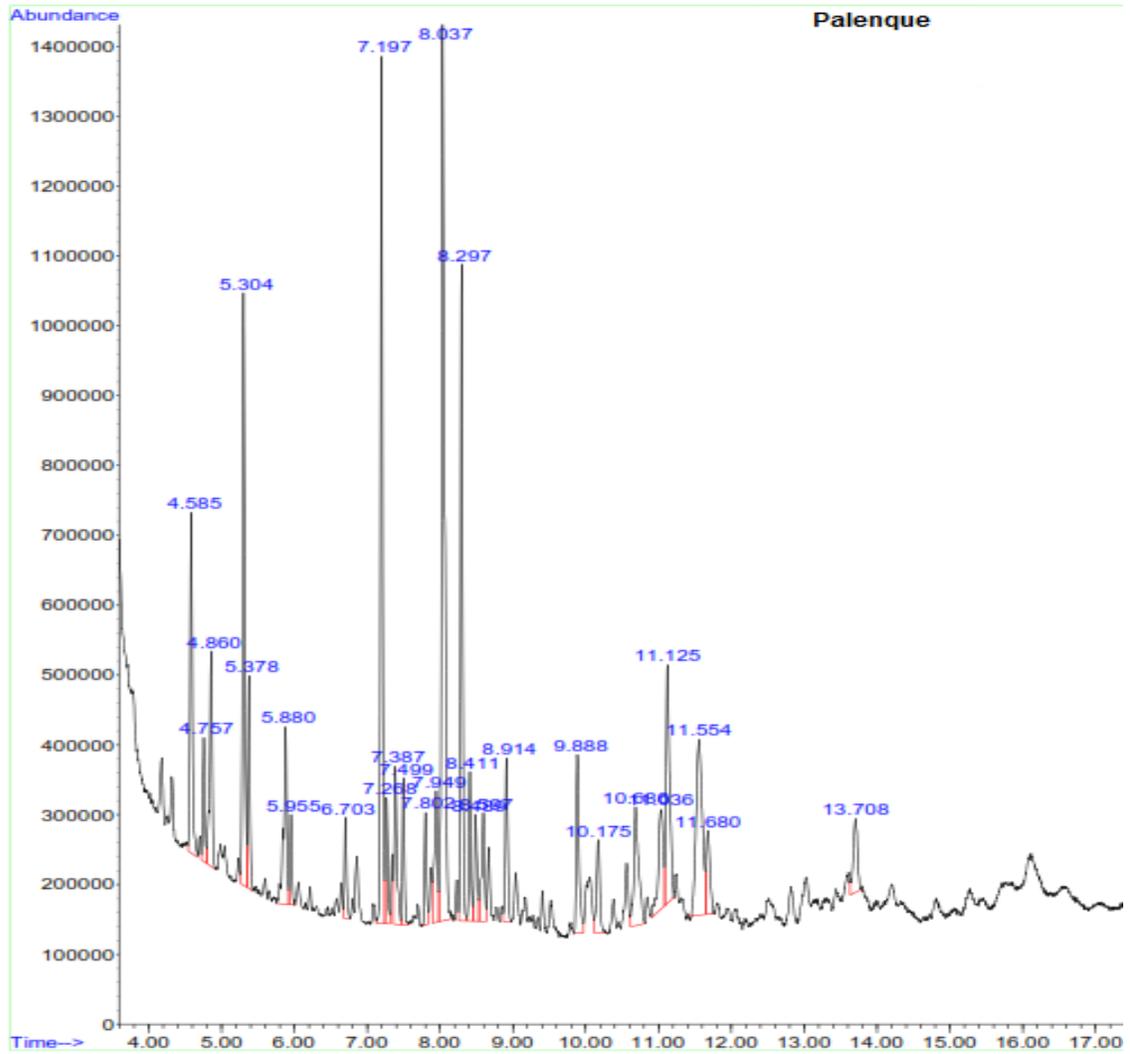
Número de pico	Tiempo de retención min	Área (µS/cm) x min	Altura µS/cm	Concentración ppm	Nombre del componente
1	1.352	27.1468	147.860	inválido	
2	4.408	0.0018	0.012	inválido	
3	6.282	8.0568	41.121	93.007	Ammonium
4	7.058	0.0064	0.037	inválido	
5	8.048	0.0119	0.009	inválido	
6	10.233	0.0680	0.279	inválido	
7	13.542	0.0026	0.004	inválido	
8	18.303	0.0021	0.005	-0.171	Magnesium
9	19.275	7.2592	8.206	inválido	
10	25.707	9.1906	6.750	inválido	

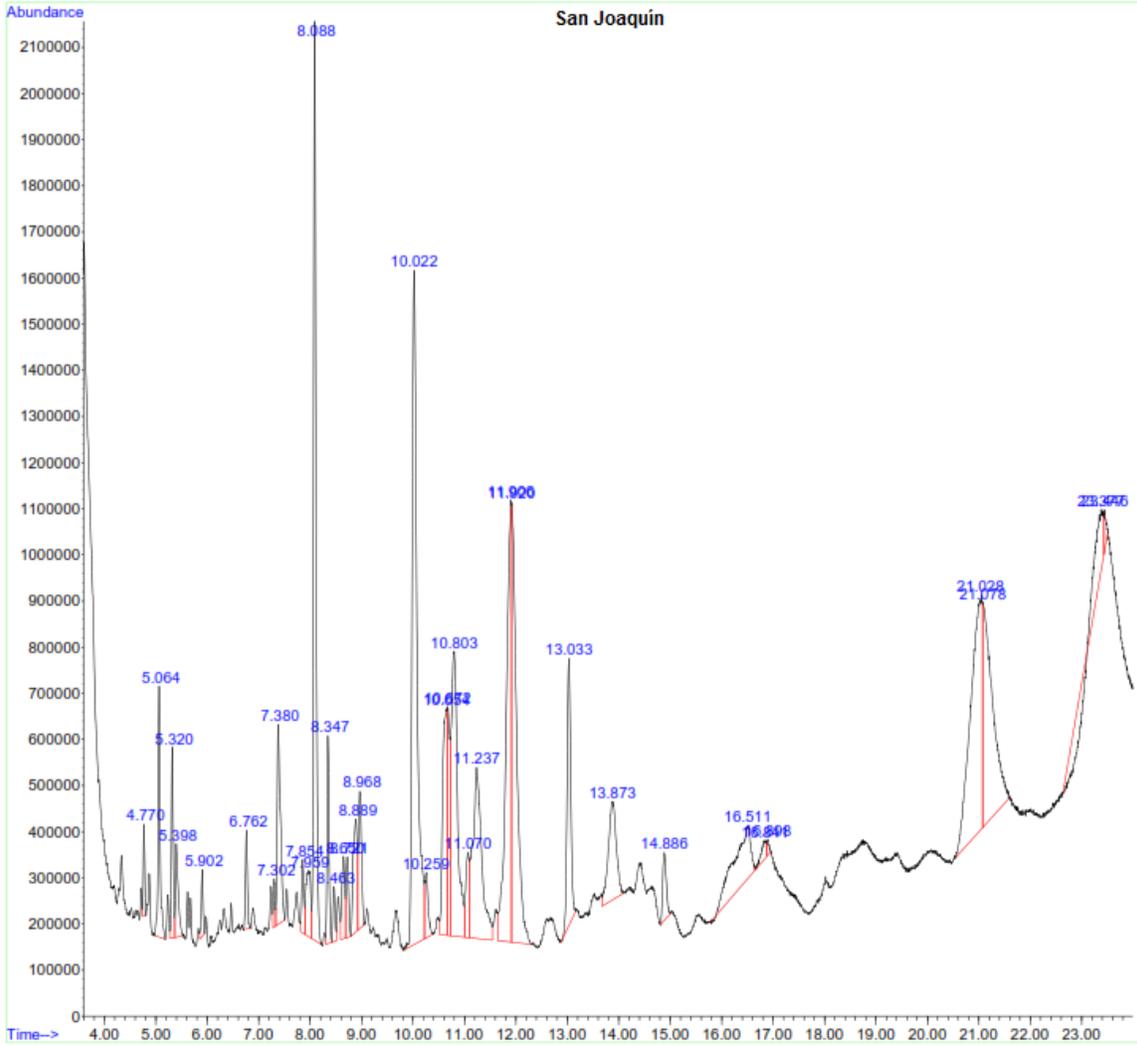
ANEXO E. Resultados de la GC - MS de las muestras de las fuentes abastecimiento de Mahates y sus corregimientos.











ANEXO F. Resultados de la GC - ECD de las muestras de las fuentes abastecimiento de Mahates y sus corregimientos.

