

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS PTAPS COMUNITARIAS DEL
CORREGIMIENTO EL HORMIGUERO**

LEIVER STIVEN MANRIQUE VALENCIA
BRYAN ALEXANDER LÓPEZ CHILITO

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
SANTIAGO DE CALI
2016

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS PTAPS COMUNITARIAS DEL
CORREGIMIENTO EL HORMIGUERO**

**BRYAN ALEXANDER LÓPEZ CHILITO
LEIVER STIVEN MANRIQUE VALENCIA**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingenieros
Sanitarios y Ambientales

Directores
LUZ EDITH BARBA HO, MSc.
CAMILO HERNÁN CRUZ VÉLEZ, MSc

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
SANTIAGO DE CALI
2016

DEDICATORIA

A Dios quien supo guiarnos por el buen camino, dándonos la fuerza para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándonos a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A nuestras familias porque por ellos somos quien somos. Para nuestros padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudar con los recursos necesarios para estudiar. Nos han dado todo lo que somos como persona, nuestros valores, principios, carácter, empeño, perseverancia y coraje para seguir nuestros objetivos.

A nuestros queridos compañeros y profesores, que apoyaron y nos permitieron entrar en su vida durante todos los años de estudio.

AGRADECIMIENTOS

- Agradecemos a la comunidad del corregimiento El Hormiguero, por confiar en nosotros y por permitirnos estudiar sus plantas de tratamiento de agua potable.
- A los profesores Luz Edith Barba Ho Y Camilo Hernán Cruz Veles, directores del trabajo de grado, por las sugerencias y experiencias aportadas para realizar la investigación.
- A la profesora Irene Vélez Torrez, por las sugerencias, gestión de recursos en la realización de la investigación y permitirnos conocer su trabajo social con la comunidad del hormiguero.
- A los profesores, profesionales y amigos de la Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad del Valle, por el apoyo y colaboración en la realización de los análisis físicos, químicos, microbiológicos y de agroquímicos.
- A la ingeniera Diana Marcela Hurtado, por su apoyo logístico, gestión de recursos, conocimientos y colaboración en la realización de los trabajos de campo.
- Al profesor Carlos Passos y sus alumnas de maestría de la Universidad de Brasilia por sus conocimientos y análisis de agroquímicos de las muestras tomadas.
- A todas las personas que nos apoyaron en la realización del proyecto de investigación.

RESUMEN

Se realizó un estudio exploratorio con el fin de evaluar la calidad del agua en 4 plantas de tratamiento de agua potable del corregimiento El Hormiguero, en sus fuentes de agua subterránea y agua tratada, las plantas evaluadas corresponden a: Cabecera, Cascajal, Morgan y Pailita. Para ello, en primer lugar se hizo un reconocimiento de campo en donde se evidenció la extensa presencia de cultivos de caña de azúcar y se identificaron puntos de muestreo, seguido de una recolección de datos históricos del monitoreo de la calidad que realiza la Secretaría de Salud al agua tratada en las PTAPs, por último se realizaron muestreos y el análisis de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y plaguicidas de uso común en la caña de azúcar, tanto para el agua cruda como tratada en las PTAPs.

Se determinó que la calidad de las fuentes de abastecimiento subterráneas; según el RAS para los muestreos realizados, estuvo: entre regular a deficiente para Cabecera y Morgan; regular para Cascajal; y de deficiente a muy deficiente para Pailita. Dentro de las principales causas que deterioran la calidad de las fuentes se encuentra la presencia de Coliformes y altos niveles de color y turbiedad.

Por otra parte, la calidad del agua tratada de estas PTAPs se determinó mediante el IRCA para los muestreos realizados, obteniéndose que el IRCA para Cabecera estuvo entre 1,1 a 3,8% describiendo un nivel de riesgo bajo; Cascajal estuvo entre 2,7 a 16,3% describiendo un nivel de riesgo bajo a medio; Morgan estuvo entre 60,9 a 76,1% describiendo un nivel de riesgo alto y Pailita estuvo entre 52,2 a 67,4% describiendo un nivel de riesgo alto. Dentro de las principales causas que deterioran la calidad del agua tratada en Morgan y Pailita se encuentra la presencia de Coliformes totales, E.coli y la ausencia de cloro residual, mientras que en Cabecera y Cascajal es el hierro y el manganeso.

Se halló presencia de los plaguicidas Ampa (en el agua cruda de Cascajal y Pailita; y en el agua tratada de Cabecera y Cascajal), Glifosato y 2,4D (en el agua cruda de Cascajal). Esto junto con las concentraciones moderadas de nutrientes (Nitratos y Fosfatos) halladas puede indicar que es posible que las prácticas agrícolas estén influyendo en la calidad del agua que abastece estas comunidades; sin embargo, según lo establecido por la normatividad colombiana, las concentraciones de plaguicidas encontradas NO sobrepasaron los límites permisibles y de acuerdo a esto no representan un riesgo para la salud.

Palabras claves: Aguas subterráneas; plaguicidas; contaminación; agroquímicos; caña de azúcar.

GLOSARIO

ACEQUIA	Zanja o cañal pequeño que conduce agua, especialmente de riego.
AMPA	Aminomethylphosphonic acid (Ácido aminometilfosfónico)
CAS	Chemical Abstrac Registry.
DL50	Mean Lethal Dose (Dosis letal media)
EPA	Enviromental Protection Agency (Agencia de protección ambiental).
FAO	The Food and Agriculture Organization of the United Nations.
GUS	Groundwater Ubiquity Score
HPLC	High Performance Liquid Chromatography.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
PTAP	Planta de Tratamiento de Agua Potable.
OPS	Organización panamericana de la salud
CINARA	Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico
RAS	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	2
3.	ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	2
4.	OBJETIVOS	7
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	7
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
5.	MARCO TEORICO.....	8
5.1.	PARÁMETROS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	8
5.1.1.	Parámetros fisicoquímicos indicadores de la calidad del agua.....	8
5.1.2.	Parámetros microbiológicos indicadores de la calidad del agua.....	9
5.1.3.	Clasificación de la calidad del agua cruda	11
5.1.4.	Clasificación de la calidad del agua tratada.....	13
5.2.	PAGUISIDAS Y CAÑA DE AZUCAR.....	14
5.3.	PLAGUICIDAS.....	16
5.3.1.	Glifosato y AMPA.....	19
5.3.2.	2,4 D (Ácido 2,4-Diclorofenoxiacético).....	21
5.3.3.	Carbofurano.....	23
5.3.4.	Diurón	26
5.3.5.	Glufosinato	27
5.4.	NORMATIVIDAD	29
5.4.1.	Normatividad de plaguicidas en agua para consumo humano.	29
6.	METODOLOGÍA.....	32
6.1.	ÁREA DE ESTUDIO.....	32
6.2.	RECONOCIMIENTO DE CAMPO.	33
6.3.	REVISIÓN HISTÓRICA DE CALIDAD DE AGUA.....	33
6.4.	MUESTREO	34
6.5.	ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS	35
6.6.	ANÁLISIS DE PLAGUICIDAS.....	37

7.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	39
7.1.	DESCRIPCIÓN DE LAS PTAPS DEL CORREGIMIENTO EL HORMIGUERO.....	39
7.2.	REVISIÓN HISTÓRICA DE CALIDAD DE AGUA TRATADA EN LAS PTAP'S.....	46
7.3.	RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS Y PLAGUICIDAS ANALIZADOS EN LAS PTAP.....	49
7.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE AGUA CRUDA EN LAS PTAP.....	52
7.5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE AGUA TRATADA EN LAS PTAPS	55
7.6.	ANÁLISIS DE PLAGUICIDAS.....	60
8.	CONCLUSIONES	63
9.	RECOMENDACIONES.....	64
10.	TEMAS PARA FUTUROS ESTUDIOS	65
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	66
12.	ANEXOS.....	71
	ANEXO 1: Datos históricos de calidad de agua.....	71
	ANEXO 2: Evidencia de Toma de muestras.	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de riesgo del acuífero del Valle del Cauca. Fuente: modificado de (CVC, 1999)	5
Figura 2. Área sembrada de caña de azúcar 2014.....	16
Figura 3. Estructura química del AMPA.....	19
Figura 4. Ruta de degradación del Glifosato.	20
Figura 5. Estructura molecular del 2,4D.	22
Figura 6. Estructura molecular del Carbofurano	24
Figura 7. Estructura molecular del Diuron	26
Figura 8. Estructura molecular Glufosinato. Fuente: (Pubchem, 2016).	28
Figura 10. Localización del municipio el Hormiguero y Las PTAP's de las veredas del área de estudio. Fuente: Modificado de (Alcaldía de Santiago de Cali, 2011).	32
Figura 11. Esquema de la PTAP Cabecera.....	41
Figura 12. Esquema de la PTAP Cascajal.....	43
Figura 13. Esquema de la PTAP Morgan y Pailita.....	44
Figura 14. Recopilación histórica de calidad de agua tratada en PTAPs de El Hormiguero.....	48
Figura 15 Recolección de muestras	74
Figura 16 Recolección de muestras de Glifosato.	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Productos en el mercado para la caña de azúcar.....	3
Tabla 2. Agentes patógenos transmitidos por el agua y su importancia en sistemas de abasto.....	10
Tabla 3. Clasificación del agua subterránea, con base en criterios regionales del Valle del Cauca, según CVC	11
Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos característicos de las aguas subterráneas en el Valle del Cauca	12
Tabla 5. Clasificación de calidad de fuentes de abastecimiento según el RAS 2010 título B.....	12
Tabla 6. Puntaje de riesgo asociados a los parámetros de calidad del agua potables para el cálculo del IRCA, según la Resolución 2115 de 2007	13
Tabla 7. Clasificación del nivel de riesgo en salud Para el IRCA.....	14
Tabla 8. Principales países productores de azúcar del mundo (millones de tmvc).....	15
Tabla 9. Clasificación toxicológica de los plaguicidas.....	18
Tabla 10. Banda de color de las etiquetas según la categoría toxicológica.....	18
Tabla 11. Clacificación de toxicidad de la EPA.....	20
Tabla 12. Normatividad Colombiana.....	30
Tabla 13. Plaguicidas en la Norma de agua potable de la EPA.....	30
Tabla 14. Normatividad para plaguicidas en estudio.	31
Tabla 15. Parámetros medidos en corregimiento el Hormiguero por parte de la Secretaria de Salud Municipal de Santiago de Cali.	34
Tabla 16 Fechas de toma de muestra en cada una de las PTAP estudiadas.	34
Tabla 17 Parámetros fisicoquímicos analizados.....	36
Tabla 18 Parámetros microbiológicos analizados.....	37
Tabla 19. Parámetros de Plaguicidas analizados.....	38
Tabla 20. Descripción de los componentes de la PTAP Cabecera.....	40
Tabla 21. Descripción de los componentes de la PTAP Cascajal.	42
Tabla 22. Descripción de los componentes de la PTAP Morgan.....	43
Tabla 23. Descripción de los componentes de la PTAP Pailita.	45
Tabla 24. Resultados de análisis fisicoquímicos realizados.	49
Tabla 25. Resultados de análisis fisicoquímicos realizados con nutrientes.....	50
Tabla 26. Resultados de análisis microbiológicos realizados.	51
Tabla 27. Resultados de plaguicidas analizados.....	51
Tabla 29. Clasificación de calidad del agua cruda de las PTAP's del Hormiguero según la metodología de la CVC y los muestreos realizados.	55
Tabla 30. Clasificación de calidad del agua cruda de las PTAPs del Hormiguero según la metodología del RAS y los muestreos realizados.	55
Tabla 31. Clasificación de calidad de las muestras de agua tratada en las PTAP's según el IRCA..	60

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: Datos históricos de calidad de agua.....	73
ANEXO 2: Evidencia de Toma de muestras.....	75

1. INTRODUCCIÓN

Con el progresivo agotamiento de las aguas superficiales y el desarrollo de nuevas técnicas de perforación las aguas subterráneas estas irán cubriendo, en un porcentaje cada vez mayor, las necesidades humanas. El origen de las aguas subterráneas es la infiltración en el terreno de las aguas de lluvia, deshielo y corrientes superficiales (producida por la fuerza de la gravedad y las fuerzas de atracción molecular) de las precipitaciones atmosféricas en cualquiera de sus modalidades (Idagarrá, 2014).

Los acuíferos pueden ser afectados de dos maneras: por sobreexplotación o por contaminación. Los mecanismos de intervención humana que impactan sobre este recurso son el desarrollo de aglomerados urbanos, las actividades industriales y la agricultura (Marschoff, 2012). La expansión de las superficies cultivadas registrada durante la segunda mitad del siglo XX permitió multiplicar la oferta de alimentos, esta expansión fue posible gracias, entre otros factores, a la generalización del uso del riego sobre grandes extensiones. Dado que el riego está basado, en más de un 80%, en el uso de agua extraída de acuíferos, es pertinente plantear la cuestión de los efectos de esta práctica sobre estos reservorios. La intensificación de la agricultura y del uso de agua subterránea tiene consecuencias ambientales que se manifiestan en muchos aspectos entre ellos la filtración a los acuíferos y la descarga a corrientes de agua de sustancias empleadas como fertilizantes y pesticidas.

Los agroquímicos son sustancias químicas que ayudan en la producción y mantenimiento de las labores agrícolas dentro de ellos los más importantes se pueden encontrar los plaguicidas (herbicidas, insecticidas, fungicidas, etc.) y fertilizantes. Los pesticidas o plaguicidas, por su parte, constituyen un problema de contaminación que se manifiesta en forma más inmediata que los anteriores, dado que en este caso se trata de sustancias tóxicas, que pueden afectar seriamente la salud humana. La utilización de técnicas responsables de aplicación de estos productos debe ser una exigencia que cuente con un sistema de verificación y control (Marschoff, 2012). La intoxicación por plaguicidas es un serio problema de salud que afecta a los trabajadores, la familia rural, la población en general y a los niños en forma desproporcionada. Los plaguicidas están diseñados para matar, reducir, o repeler los insectos, hierbas, roedores, hongos y otros organismos que puedan amenazar la salud pública y las economías de las naciones, cuando se manejan o depositan inadecuadamente, estos químicos pueden afectar la salud humana. Los principales riesgos ligados a la salud humana se relacionan con la aparición de cáncer, defectos de nacimiento, afecciones del sistema nervioso y del funcionamiento del sistema endocrino.

Las personas que pueden estar expuestas a niveles muy altos de plaguicidas durante su trabajo o mediante los alimentos o el contacto con el suelo, agua o aire contaminados o por la ingestión directa de plaguicidas. Se sabe que los plaguicidas son responsables de millones de casos de intoxicación aguda por año de los que al menos un millón requieren hospitalización. Uno a tres de cada 100 trabajadores en todo el mundo padecen cuadros de intoxicación aguda y las víctimas son frecuentemente adolescentes (Organización Panamericana de la Salud, 2009)

El propósito de esta investigación fue realizar la evaluación de la calidad del agua en 4 plantas de tratamiento de agua potable del corregimiento El Hormiguero, por medio de análisis fisicoquímicos, microbiológicos y de plaguicidas utilizados en los cultivos de caña de azúcar.

2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

El Hormiguero es un corregimiento localizado en el municipio de Santiago de Cali, en el departamento del Valle del Cauca. Este corregimiento presenta una fuerte actividad agrícola de cultivo de caña de azúcar, para la cual se suele aplicar agroquímicos constantemente a fin de proteger y mejorar la producción, sin embargo, Los agroquímicos utilizados suelen ser de carácter tóxico en humanos.

Los acuíferos de donde se abastecen las comunidades ubicadas en el corregimiento de El Hormiguero, principalmente la Cabecera, las veredas Cascajal, Pailita y Morgan pueden estar amenazados por el uso de agroquímicos utilizados en los cultivos de caña, lo cual podría afectar la calidad del agua de las fuentes de abastecimiento y del agua tratada de estas comunidades.

3. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Entre 1956 y 1961, tras la creación de la Corporación Autónoma regional del Valle del Cauca (CVC), se formuló el proyecto Aguablanca, que junto con el proyecto de construcción de la represa La Salvajina en la década de los 80, tuvieron como fin secar los humedales aledaños a la zona del Hormiguero y habilitar la zona para el desarrollo agrario, con el objetivo de disminuir las crecientes del río Cauca. Con estas nuevas condiciones del territorio (sin humedales y madres viejas), los ingenios iniciaron su expansión, esta vez invadiendo los territorios antes indeseados (pues eran inundables), en donde se encontraban las fincas tradicionales de los campesinos negros. De esta manera, para las décadas de 1980 y 1990 la expansión de la caña de azúcar es todo un hecho, a través del Ingenio La Cabaña y al Ingenio del Cauca.

En la clasificación del área cultivada en el valle del Cauca encontramos: Caña de azúcar que comprende 210,000 hás. Correspondiente al 56 % del área; transitorios como son Soya, Sorgo, Maíz, Algodón, entre otros, con un área de 43,486 hás, equivalentes al 13.7%; Pastos para ganadería que equivale al 17.7% y cultivos permanentes 6.743 hás equivalentes al 2.1 % del área total. (CVC, 2011). El crecimiento de este cultivo ha resultado en un paisaje casi completamente homogéneo en la parte plana del departamento (Arana Rengifo, 2007), a la cual hace parte el corregimiento El Hormiguero y cuyo cultivo predominante y permanente al igual que el resto del departamento es la caña de azúcar.

A febrero 24 de 2016 en el listado de registros nacionales de plaguicidas químicos de uso agrícola del instituto colombiano agropecuario (ICA) figuran 89 productos entre los cuales se encuentran herbicidas, insecticidas y reguladores fisiológicos disponibles para la caña de azúcar de los que se destacan los productos con ingredientes activos de Glifosato, 2,4D, Diuron, Ametrina por el número de productos disponibles y Paraquat por la categoría toxicológica en la cual se encuentra. En la Tabla 1 se puede observar un resumen realizado con base en los 89 productos disponibles para la caña de azúcar, estos productos se categorizan con base en la Clasificación Toxicológica de los Plaguicidas de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Tabla 1. Productos en el mercado para la caña de azúcar

CANTIDAD MARCAS	DE	INGREDIENTE ACTIVO	CAT. TOX.	CLASE PRODUCTO
5		METSULFURON METIL	III, II	HERBICIDA
9		GLIFOSATO	III, II	HERBICIDA
1		PARAQUAT DICLORURO	I	HERBICIDA
4		ACIDO 2,4D	III	HERBICIDA
1		MESOTRIONE	II	HERBICIDA
8		DIRUON	II	HERBICIDA
4		PARAQUAT	I, IB, II	HERBICIDA
1		TERBUTREX 8WG 18	III	HERBICIDA
3		PICLORAM +2,4 D	III, II	HERBICIDA
1		ATRAZINA	III	HERBICIDA
7		AMETRINA	II, III	HERBICIDA
7		2,4D	III, II	HERBICIDA
2		TERBUTRINA	II	HERBICIDA
2		HEXAZINONA,+ DIURON	III	HERBICIDA
1		AMICARBAZONE	III	HERBICIDA
2		CLOMAZONE	II, III	HERBICIDA
2		AMINOPYRALID + 2,4-D	II	---
1		CHLORANTRANILIP ROLE	III	INSECTICIDA
1		HEXAZINONE	III	HERBICIDA
2		GLUFOSINATEAMMONIUM	II	HERBICIDA
1		THIAMETHOXAM	III	INSECTICIDA
1		TEBUTHIURON	III	HERBICIDA
1		IMAZAPIC	III	HERBICIDA
1		CHLORPYRIFOS	III	INSECTICIDA
1		IMAZAPIC + IMAZAPYR	III	HERBICIDA
3		2,4-D AMINA	II	HERBICIDA
1		CLOMAZONE HEXAZINONA	III	HERBICIDA
1		OXYFLUORFEN	III	HERBICIDA
1		SULFENTRAZONE	III	HERBICIDA
1		FIPRONIL	III	INSECTICIDA
1		BISPYRIBAC SODIUM	III	HERBICIDA
1		CLOMAZONE AMETRINA	II	HERBICIDA
1		HEXAZINONA 87	II	HERBICIDA
1		FLUMIOXAZIN	III	HERBICIDA
1		METRIBUZIN	III	HERBICIDA
1		TRINEXAPAC ETHYL	III	REGULADOR FISIOLÓGICO
1		ABAMECTINA	III	INSECTICIDA
1		CLOMAZONE	III	HERBICIDA
1		INDAZIFLAM	II	HERBICIDA
2		AMINOPYRALID	III	HERBICIDA
		2,4-D		
1		TRINEXAPACETHYL	II	REGULADOR FISIOLÓGICO

Fuente: Registros ICA, 24/feb/16

Dentro de los anteriores productos agrícolas, destaca el uso del glifosato que ha sido prohibido por el gobierno nacional para la fumigación de cultivos ilícitos, debido a la publicación del 20 de marzo del 2015 de la Agencia internacional para la investigación del cáncer, IARC por sus siglas en inglés, donde asigna el glifosato al grupo (2A) que significa que es “probablemente cancerígeno para los

humanos”, también encontramos el plaguicida 2,4-D que es utilizado en la caña de azúcar y es clasificado en el grupo 2B “posiblemente cancerígeno para los humanos” en la publicación de la IARC del 23 de junio del 2015. Por otra parte para los cultivos legales donde también se utiliza de forma similar y en ocasiones más intensiva se sigue realizando la fumigación por aspersión aérea por medio de helicópteros, avionetas y aviones livianos especializados en fumigación.

Según el estudio “Riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por actividades agrícolas en el Valle del Cauca” realizado por la CVC (2011), se estableció que para la caña de azúcar los agroquímicos comúnmente utilizados en el valle del cauca son fertilizantes tanto nitrogenados, fosfatados, madurantes como el Glifosato y Herbicidas con ingredientes activos como las Amidas, Carbamatos, 2,4-D, Diuron, entre otros, que se caracterizan por presentar gran movilidad y persistencia. Además en los diferentes cultivos se realizan control de plagas con pesticidas entre ellos se destacan el paraquat y el parathion, por aparecer en la literatura como algunos de los más comúnmente encontrados en el agua subterránea debido a su movilidad (CVC, 2011).

En el mismo estudio de la CVC (2011), se analizaron los indicadores de los agroquímicos más usados, mencionados anteriormente, para determinar su presencia. Los indicadores fueron: El Nitrato NO_3 , Nitrito NO_2 , Amonio NH_4 , y otros parámetros móviles derivados de los fertilizantes tales como el Potasio (K), Cloruro (Cl), Sodio (Na), Sulfato (SO_4) y el Fosfato (PO_4). Como conclusión principal de ese estudio se encontró que Palmira, Candelaria, Florida, Pradera, Cerrito, Guacarí, Tulúa y Obando donde se encuentran cultivos de caña de azúcar y cultivos transitorios, presentan áreas con una vulnerabilidad alta a extrema. Cabe resaltar que en la red de monitoreo de agroquímicos del estudio de la CVC no se encuentra incluido el corregimiento del Hormiguero que es de interés en este trabajo, sin embargo, este corregimiento presenta similares características de cultivo que los si estudiados.

Por otra parte en el Valle del cauca se han realizado estudios de vulnerabilidad a través de modelos matemáticos y características de movilidad del suelo. En el año 1999 la CVC en la construcción del plan de manejo de aguas subterráneas, elaboró un mapa de vulnerabilidad de las aguas subterráneas del Valle del Cauca el cual tuvo como objetivo identificar los acuíferos más vulnerables y establecer el control y prevención a la contaminación de las aguas subterráneas, con políticas y estrategias apropiadas para su administración. El mapa de vulnerabilidad muestra que en el municipio de Cali son críticos los sectores de Navarro, Cascajal y el cono de Pance. (CVC, 1999)

En la Figura 1 se expone el mapa de vulnerabilidad de la CVC, en el cual se resaltó las zonas de interés del corregimiento el Hormiguero para este proyecto que son: la cabecera y las veredas cascajal, Pailita y Morgan.

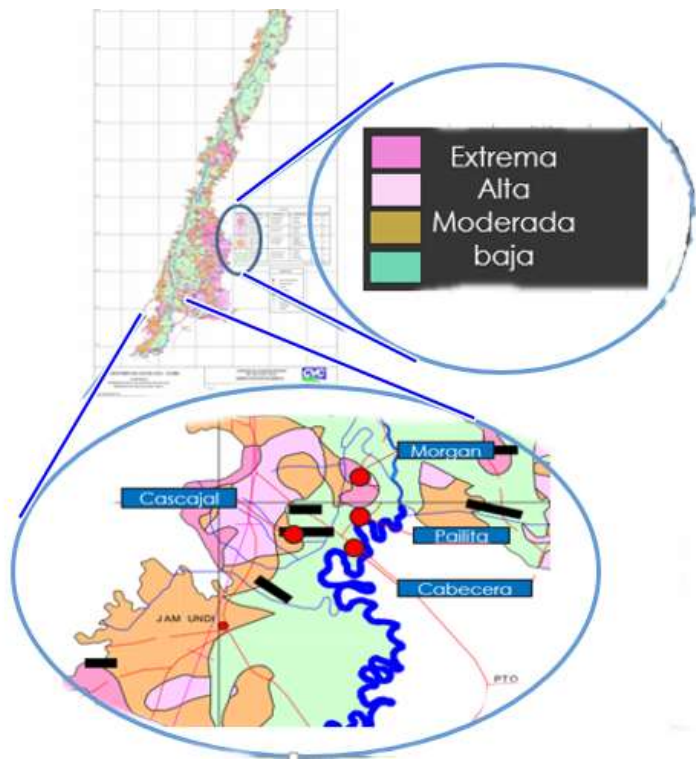


Figura 1. Mapa de riesgo del acuífero del Valle del Cauca. Fuente: modificado de (CVC, 1999)

Se puede observar en el mapa de vulnerabilidad que la zona de estudio se encuentra ubicada en los rangos de vulnerabilidad: Moderada para Cascajal, Baja para Cabecera, Extrema en Morgan y Baja en Pailita. Otros estudios relacionados con el tema de la vulnerabilidad de contaminación de los acuíferos fueron realizados por (Arana Rengifo, 2007) y (Rios Rojas & Velez Otalvaro, 2008) los cuales comprenden dentro de su estudio la contaminación por agroquímicos, estos al igual que el estudio realizado por la CVC utilizan métodos basados en modelos matemáticos a partir de índices de vulnerabilidad.

El estudio de Arana (2007), sólo comprende algunas zonas del Valle del Cauca sin incluir el corregimiento el Hormiguero; sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos de las zonas más cercanas al corregimiento en cuestión, se puede inferir que el Hormiguero se encuentra en una vulnerabilidad comprendida en un rango moderado a muy alta. Por otra parte los estudios de Rios Rojas & Velez Otalvaro (2008), comprenden dentro de su area evaluada el corregimiento El Hormiguero para el cual la vulnerabilidad asociada es de moderada a muy alta.

En países considerados desarrollados como es el caso de Alemania por ejemplo, el agua subterránea es monitoreado regularmente para la concentración de un gran número de pesticidas ya que es la principal fuente de abastecimiento de muchos países europeos, En varios casos en el pasado la presencia de elevada concentraciones de un de pesticida o sus metabolitos dieron lugar a restricciones en uso o para la retirada total de los respectivos productos del mercado, en Alemania este fue el caso de la atrazina en 1990 y para diclobenil en 2001 Como consecuencia de elevadas concentraciones en el agua subterránea (Reemtsma *et al.*, 2013). Los más recientes hallazgos de

metabolitos de plaguicidas en las aguas subterráneas estaban relacionados con los pesticidas padres que habían sido usados durante varias décadas según (Weber *et al.*, 2007; Buttiglieri *et al.*, 2009) citado por (Reemtsma *et al.*, 2013).

La calidad del agua de abastecimiento ya se ha visto afectada en el pasado, en el año 1990 hubo una epidemia de cólera en El Hormiguero, con 70 casos de la enfermedad y un deceso. La emergencia generada fue la señal para el Municipio para darle atención al servicio de abastecimiento del agua en El Hormiguero. El Municipio, a través de la Secretaría de Salud y EMCALI, se vinculó a un proceso participativo con la comunidad que llevó a cabo Cinara para la construcción de un nuevo pozo en la cabecera del corregimiento (274 metros de profundidad), mejoramiento en la red de distribución y en la administración, operación y mantenimiento del sistema.

En el año 1996 se construyó el sistema de abastecimiento que consistía de un pozo profundo, bandejas de aeración con carbón activado, un tanque de almacenamiento y la red de distribución, modelo que fue copiado de manera similar en las demás veredas del corregimiento (Bastidas, 2001). Luego se puso en marcha una reforma de las plantas en el año de 2010, con base en los estudios de Eidenar-Univalle y la secretaria de Salud Municipal, en donde se implementó: aireación tipo columna de percolación, tanque de contacto para oxidación pasiva, filtro clarificador de gravas, filtro rápido de arena con medios acondicionados con coagulante, Y pos-desinfección con cloro (Loaiza, 2009).

Según Arana Rengifo (2007) los problemas con contaminación de plaguicidas pueden estar asociados con: Cáncer y tumores; Inhibición o fracaso reproductivo; Supresión del sistema inmunitario; Perturbación del sistema endocrino; Daños celulares y en el ADN; Efectos teratogénicos y mutagénicos; Efectos intergeneracionales.

Resulta de gran importancia para esta comunidad analizar la probable presencia de contaminantes de origen agrícola asociados a la caña de azúcar, que puedan alterar la calidad de agua de suministro de la comunidad de El Hormiguero, mediante un análisis directo en las fuentes de abastecimiento de agua subterráneas y tratada.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL.

Evaluar la calidad del agua de las PTAPs comunitarias del corregimiento El Hormiguero.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica de las aguas subterráneas y tratadas en las PTAPs que son utilizadas para el abastecimiento de las comunidades objeto de estudio.
- Identificar la probable presencia de plaguicidas de uso común en la caña de azúcar en el agua subterránea y el agua tratada en las PTAPs utilizada para el abastecimiento de las comunidades objeto de estudio.

5. MARCO TEORICO

5.1. PARÁMETROS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA

5.1.1. Parámetros fisicoquímicos indicadores de la calidad del agua

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria. Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial (Martel, 2004).

La calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de la acción humana. Sin la acción humana, la calidad del agua vendría determinada por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos, y los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química del agua.

Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos.

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico (Organización de las Naciones Unidas, 2016).

Dadas las propiedades físico-químicas del agua, esta se comporta como un magnífico disolvente tanto de compuestos orgánicos como inorgánicos, ya sean de naturaleza polar o apolar; de forma que podemos encontrarnos en su seno una gran cantidad de sustancias sólidas, líquidas y gaseosas diferentes que modifican sus propiedades

Puesto que la alteración de la calidad del agua puede venir provocada tanto por efectos naturales como por la actuación humana derivada de la actividad industrial, agropecuaria, doméstica o de cualquier otra índole, no es de extrañar que el análisis de los parámetros de calidad del agua se deba realizar a todo tipo de aguas, independientemente de su origen (Jiménez, 2000). La calidad de diferentes tipos de agua se ha valorado a partir de variables físicas, químicas y biológicas, evaluadas individualmente o en forma grupal.

Los parámetros físico-químicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas (Ruiz *et al.*, 2007). En las propiedades físicas del agua se encuentran las siguientes:

- Turbiedad
- Olor
- Color
- Sabor
- Conductividad
- Temperatura
- Sólidos

Mientras en las propiedades químicas se encuentran:

- Sulfatos
- Nitritos
- Nitratos
- Acidez
- Oxígeno disuelto
- Cloro
- Hg
- Mg
- Ca
- Al
- Fe
- Mn
- Fosfatos
- Amoníaco
- Dureza (Cálcica, magnésica, total)
- Alcalinidad
- pH
- Cu
- B
- Cd
- As
- Ba
- Cr
- Zn
- Pb
- COT
- Cloruro
- Entre otros

5.1.2. Parámetros microbiológicos indicadores de la calidad del agua

El mayor riesgo microbiano del agua es el relacionado con el consumo de agua contaminada con excrementos humanos o animales, aunque puede haber otras fuentes y vías de exposición significativas. Los riesgos para la salud relacionados con el agua de consumo más comunes y extendidos son las enfermedades infecciosas ocasionadas por agentes patógenos como bacterias, virus y parásitos (por ejemplo, protozoos y helmintos).

La gama de agentes patógenos cambia en función de factores variables como el aumento de las poblaciones de personas y animales, el incremento del uso de aguas residuales, los cambios de los hábitos de la población o de las intervenciones médicas, las migraciones y viajes de la población, y presiones selectivas que favorecen la aparición de agentes patógenos nuevos o mutantes, o de recombinaciones de los agentes patógenos existentes. También existe una considerable variabilidad en la inmunidad de las personas, ya sea adquirida por contacto con un agente patógeno o determinada por factores como la edad, el sexo, el estado de salud y las condiciones de vida (Organización Mundial de la Salud, 2006). Existen diversos tipos de agentes patógenos que pueden transmitirse por el agua de consumo contaminada, La

Tabla 2 proporciona información general sobre agentes patógenos importantes en la gestión de sistemas de abastecimiento de agua de consumo.

Tabla 2. Agentes patógenos transmitidos por el agua y su importancia en sistemas de abasto.

Agente patógeno	Importancia para la salud	Persistencia en los sistemas de abastecimiento de agua	Resistencia al cloro	Infectividad relativa	Fuente animal importante
Bacterias					
Burkholderia pseudomallei	Baja	Puede Proliferar	Baja	Baja	No
Campylobacter jejuni, C. coli	Alta	Moderada	Baja	Moderada	Sí
Escherichia coli patógena	Alta	Moderada	Baja	Baja	Sí
E. coli enterohemorrágica	Alta	Moderada	Baja	Alta	Sí
Legionella spp	Alta	Prolifera	Baja	Moderada	No
Micobacterias no tuberculosas	Baja	Prolifera	Alta	Baja	No
Pseudomonas aeruginosae	Moderada	Puede Proliferar	Moderada	Baja	No
Salmonella typhi	Alta	Moderada	Baja	Baja	No
Otras salmonelas	Alta	Puede Proliferar	Baja	Baja	Sí
Shigella spp	Alta	Corta	Baja	Moderada	No
Vibrio cholerae	Alta	Corta	Baja	Baja	No
Yersinia enterocolitica	Alta	Corta	Baja	Baja	Sí
Virus					
Adenovirus	Alta	Larga	Moderada	Alta	No
Enterovirus	Alta	Larga	Moderada	Alta	No
Virus de la hepatitis A	Alta	Larga	Moderada	Alta	No
Virus de la hepatitis E	Alta	Larga	Moderada	Alta	Potencialmente
Norovirus y sapovirus	Alta	Larga	Moderada	Alta	Potencialmente
Rotavirus	Alta	Larga	Moderada	Alta	No
Protozoos					
Acanthamoeba spp	Alta	Larga	Alta	Alta	No
Cryptosporidium parvum	Alta	Larga	Alta	Alta	Sí
Cyclospora cayentanensis	Alta	Larga	Alta	Alta	No
Entamoeba histolytica	Alta	Moderada	Alta	Alta	No
Guardia intestinalis	Alta	Moderada	Alta	Alta	Sí
Naegleria fowleri	Alta	Puede proliferar	Alta	Alta	No
Toxoplasma gondii	Alta	Larga	Alta	Alta	Sí
Helmintos					
Dracunculus medinensis	Alta	Moderada	Moderada	Alta	No
Schistosoma spp	Alta	Corta	Moderada	Alta	Sí

Fuente: (Organización Mundial de la Salud, 2006)

La presencia de agentes patógenos y de microorganismos indicadores en fuentes de aguas subterráneas y superficiales depende de varios factores, como las características físicas y químicas intrínsecas de la zona de captación, y la magnitud y diversidad de las actividades humanas y fuentes animales que liberan patógenos al medio ambiente.

Las aguas subterráneas son frecuentemente menos vulnerables a la influencia directa de las fuentes de contaminación, debido a los efectos de barrera que ejercen el terreno que las recubre y su zona vadosa. La contaminación de las aguas subterráneas es más frecuente en los lugares en los que han sido alteradas estas barreras protectoras, permitiendo la contaminación directa, por ejemplo a través de pozos contaminados o abandonados, o por fuentes de contaminación subterráneas, como letrinas y conducciones de alcantarillado. No obstante, varios estudios han mostrado la presencia de agentes

patógenos y microorganismos indicadores en aguas subterráneas, incluso en profundidad y en ausencia de circunstancias de peligro como las mencionadas, sobre todo cuando la contaminación superficial es intensa, por ejemplo por el abonado de tierras con estiércol o la presencia de otras fuentes de materia fecal derivadas de la ganadería intensiva (por ejemplo, parcelas de engorde). Los efectos de estas fuentes de contaminación pueden reducirse en gran medida mediante, por ejemplo, medidas de protección de los acuíferos, y la construcción y diseño correctos de pozos (Organización Mundial de la Salud, 2006).

5.1.3. Clasificación de la calidad del agua cruda

- **Clasificación regional de agua subterránea de la CVC**

La CVC estableció una metodología “empírica” a partir de la indexación de parámetros que representan las mayores concentraciones limitantes de potabilidad que se encuentran en las aguas subterráneas en el Valle del Cauca, estableciendo rangos de concentración para cada parámetro. Los parámetros seleccionados fueron: la Conductividad, la Dureza, Gas Carbónico CO₂, Hierro y Manganeseo (CVC, 2007). De acuerdo con lo anterior, la CVC estableció 5 clases de calidad del agua subterránea para el Valle del Cauca las cuales se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación del agua subterránea, con base en criterios regionales del Valle del Cauca, según CVC

Clase	Dureza	Conductividad	Fe + Mn	CO ₂	Calificación
Clase 1	0-100	200-300	0,0 - 0,3	<10	Excelente
Clase 2	100-200	300-400	0,3 - 0,6	10 - 20	Muy buena
Clase 3	200-300	400-500	0,6 - 1,0	20 - 40	Buena
Clase 4	300-400	500-600	1,0 - 5,0	40 - 75	Regular
Clase 5	400-500	600-700	1,0 - 5,0	40 - 75	Objetable

Fuente: CVC, 2007

Por otra parte, La CVC a través de sus monitoreo de los acuíferos ha establecido parámetros fisicoquímicos característicos de las aguas subterráneas en el valle del cauca en la Tabla 4 se expresan dichos valores.

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos característicos de las aguas subterráneas en el Valle del Cauca

Parámetros	Unidades	Rango característico
Ph	Unidades	7,0 - 7,5
Turbiedad	UNT	0,1
Oxígeno Disuelto	mg/l	0,10 - 0,98
Conductividad	uS/cm	300 - 600
Sólidos Totales	mg/l	15 - 500
Dureza Total	mg/l	150 - 250
Magnesio	mg/l	25,1
Alcalinidad Total	mg/l	176 - 252
Cloruros	mg/l	2,5 - 8,0
Sulfatos	mg/l	2 - 9
Nitratos	mg/l	0,0 - 1,2
Nitrógeno total	mg/l	0 - 1
Manganeso	mg/l	0,0 - 0,3
Hierro total	mg/l	0,0 - 0,4

Fuente: CVC, 2007

- **Clasificación según el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS)**

El RAS establece que es necesario conocer: El tipo de fuente, la calidad del agua de la misma, las características organolépticas, físico-químicas y microbiológicas esenciales, los estudios de trazabilidad para seleccionar los procesos de potabilización, el procedimiento de muestreo para el control de calidad, las características de producción que debe cumplir la fuente para el abastecimiento que se requiere, la protección que debe suministrarse a este recurso. Por otra parte presenta la clasificación de los niveles de calidad de las fuentes de abastecimiento en función de unos parámetros mínimos de análisis físico - químico y microbiológico (RAS, 2010), esta clasificación se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de calidad de fuentes de abastecimiento según el RAS 2010 título B

Parámetros	Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución			
	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente Muy deficiente
DBO 5 días				
Promedio mensual mg/L	≤ 1,5	1.5 - 2.5	2.5 - 4	>4
Máximo diario mg/L	1 - 3	3 - 4	4 - 6	>6
Coliformes totales (NMP/100 mL)				
Promedio mensual	0 - 50	50 - 500	500 - 5000	> 5000
Oxígeno disuelto mg/L	≥4	≥4	≥4	<4
PH promedio	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	<2	2 - 40	40 - 150	≥150
Color verdadero (UPC)	<10	10 - 20	20 - 40	≥40
Gusto y olor	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)	<50	50 - 150	150 - 200	300
Fluoruros (mg/L - F)	<1,2	<1,2	<1,2	>1,7

Fuente: RAS, 2000

5.1.4. Clasificación de la calidad del agua tratada

El Decreto 1575 de 2007, Por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano. En el Artículo 12. Define el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano, IRCA como el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

Para el cálculo del IRCA se asigna puntajes de riesgo a cada característica física, química y microbiológica, por no cumplimiento de los valores aceptables establecidos en la presente Resolución, estos puntajes son contemplados en la Tabla 6.

Tabla 6. Puntaje de riesgo asociados a los parámetros de calidad del agua potables para el cálculo del IRCA, según la Resolución 2115 de 2007

Característica	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
Escherichia Coli	25
Sumatoria de puntajes asignados	100

Fuente: (Resolución 2115 de 2007)

La Resolución 2115 de 2007 enuncia 2 formas para el cálculo del IRCA: Por muestra y Mensual. Para efectos de esta investigación es de interés el IRCA por muestra, el cual se realiza utilizando la siguiente Ecuación 1.

$$\text{IRCA (\%)} = \frac{\sum \text{puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Esta resolución presenta también la Clasificación del Nivel de Riesgo, estableciendo los rangos del IRCA y el nivel de riesgo correspondiente, lo cual se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Clasificación del nivel de riesgo en salud Para el IRCA

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo
80.1 -100	INVIABLE SANITARIA MENTE
35.1 - 80	ALTO
14.1 – 35	MEDIO
5.1 - 14	BAJO
0 - 5	SIN RIESGO

Fuente: (Resolución 2115 de 2007)

5.2. PAGUISIDAS Y CAÑA DE AZUCAR

Historia del uso de madurantes en la caña de azucar

Desde 1920, se viene investigando sobre el uso de madurantes no sólo en caña de azúcar, sino también en cultivos de soya, maíz, piña y sorgo. Una de las prácticas más antiguas, utilizada para aumentar el contenido de sacarosa, consiste en reducir el área foliar cortando varias hojas de la planta, técnica que actualmente no se práctica.

El uso de productos químicos para mejorar la calidad de los jugos de la caña, ha sido evaluado principalmente en aquellas zonas donde las condiciones climáticas de temperatura y precipitación no favorecen la maduración natural. Los primeros ensayos con madurantes se realizaron en Hawaii, Cuba, India y Australia, utilizando 2,4-D, ácido giberélico y TBA (2,3, 6- Triclorobenzoico) sin que se encontraran resultados significativos en el aumento.

Desde 1976 se han venido realizando en Colombia ensayos con madurantes químicos en caña. A partir de 1981, el Centro de Investigación de Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA) inició una serie de ensayos a nivel semicomercial y de microparcels en varios ingenios, en condiciones distintas y con variedades diferentes. En los primeros se evaluó el efecto del Etephon (Ethrel) y el glifosato (Roundup) sobre la calidad de los jugos, aplicados en varias dosis y en épocas diferentes. Los resultados de este estudio fueron satisfactorios, y a partir de 1983 el Ingenio Risaralda adoptó esta tecnología como una labor de cultivo. Posteriormente, otros ingenios la han adoptado y durante 1992 se aplicó en 62,000 ha sembradas con caña en los valles de los ríos Cauca y Risaralda. (Arcila & Villegas, 1995)

Cultivo de caña de azúcar

Por quinto año consecutivo, la temporada 2014/15 registró un superávit azucarero mundial de 2,18 millones de toneladas. Para la temporada 2015/16, las proyecciones de la Organización Internacional del Azúcar (OIA) sugieren que el mercado mundial cambiará su tendencia y, por primera vez en cinco años, presentará un déficit cercano a 3,53 millones de toneladas (Asocaña, 2016).

De acuerdo con la Organización Internacional del Azúcar (OIA), más de un centenar de países intervienen en la oferta mundial de azúcar, ya sea a partir de caña de azúcar (el 78,7%) o de remolacha (el 21,3% restante). Existen países que no cultivan caña ni remolacha, pero importan azúcar crudo que refinan en plantas locales, y lo destinan tanto para su consumo doméstico como para exportación, como es el caso de Israel, Corea del Sur, Arabia Saudita, Emiratos Árabes, Irak y Kuwait, entre otros (Asocaña, 2015).

Los efectos que genera el azúcar en el desarrollo económico suelen ser múltiples, por la generación de empleo, por los mayores salarios relativos frente a otros productos agrícolas, y por el aporte que conlleva a la educación en las regiones donde se asienta el cultivo, según lo indicado por la organización internacional del azúcar (OIA, 2006).

En el caso de Colombia, por ejemplo, Fedesarrollo (2010) concluye que “en los municipios que tienen presencia importante del cultivo de caña los indicadores socioeconómicos son mejores que en otros municipios agrícolas del país y que el promedio nacional”. Que en “los municipios cañicultores tienen mejores índices sociales: mayor índice de calidad de Vida, ICV, y menores Necesidades Básicas Insatisfechas, NBI; educativos: mayor tasa de alfabetismo, mayor tasa de asistencia escolar y más años de escolaridad; y de salud: menores tasas de mortalidad y morbilidad; que los municipios de los demás sectores agrícolas representativos del país”

Aun cuando más de 100 países intervienen en la oferta mundial de azúcar, lo cierto es que la producción está concentrada en 10 de ellos, que en la temporada 2013/2014 representaron el 76,2% de la producción mundial de azúcar, como se observa en la Tabla 8, Colombia por su parte solo represento 1,4% de la producción mundial de azúcar en ese periodo, de tal manera que tienen una incidencia poco significativa sobre el mercado azucarero internacional (Asocaña, 2015).

Tabla 8. Principales países productores de azúcar del mundo (millones de tmvc)

País	2012/2013	2013/2014	Participación 2013/2014
Brasil	39,2	37,5	21,90%
India	25,3	24,4	14,30%
Unión Europea	15,7	16,4	9,60%
China	12,8	13,3	7,80%
Tailandia	9,6	11,3	6,60%
Estados Unidos	7,6	7,2	4,20%
México	7	6	3,50%
Pakistán	5,1	5,6	3,30%
Australia	4,9	4,3	2,50%
Rusia	4,5	4,3	2,50%
10 mayores	131,7	130,3	76,20%
Colombia	2,1	2,4	1,40%
Otros	38,2	38,3	22,40%
Total	172	171	100%

Fuente: Asocaña, 2015

El azúcar en Colombia se produce a partir de procesos agroindustriales que extraen la sacarosa de la caña de azúcar. De acuerdo con información de Cenicaña, el área sembrada en caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca en 2014 fue de 230.303 hectáreas. Cenicaña estima que durante 2014 se cosecharon 197.253 hectáreas, es decir el equivalente al 86% del área sembrada (Asocaña, 2015).

El cultivo comprende 47 municipios ubicados en el norte del Cauca, en la franja central del Valle del Cauca, y en Risaralda, Caldas y Quindío. El 75% de las tierras es propiedad de más de 2.700 cultivadores de caña y el restante 25% pertenece a los ingenios de la región: Tumaco, Incauca, Carmelita, María Luisa, Mayagüez, Pichichí, Providencia, Risaralda, Sancarlos, La Cabaña, Manuelita, Riopaila - Castilla y Lucerna (Asocaña, 2015).

Al año 2014 en Colombia había sembradas 230.303 hectáreas de caña de azúcar con una concentración del 72,20% de hectáreas sembradas en el valle del cauca esto corresponde a 165.818 hectáreas tal como se observa en la Figura 2.

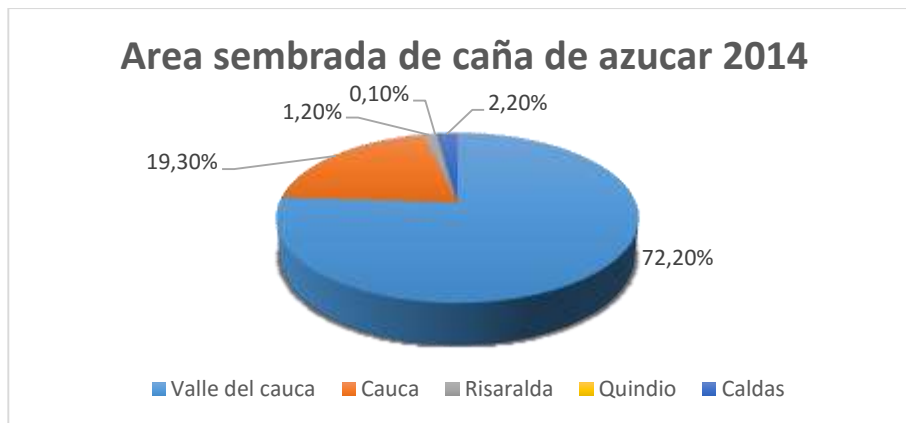


Figura 2. Área sembrada de caña de azúcar 2014
Fuente: Modificado de Asocaña, 2015

5.3. PLAGUICIDAS

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en el artículo 2° del Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas del 2002 define los plaguicidas como cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies de plantas o animales indeseables que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera o alimentos para animales, o que pueden administrarse a los animales para combatir insectos, arácnidos u otras plagas en o sobre sus cuerpos. El término incluye las sustancias destinadas a utilizarse como reguladoras del crecimiento de las plantas, defoliantes, desecantes, agentes para reducir la densidad de fruta o agentes para evitar la caída prematura de la fruta, y las sustancias aplicadas a los cultivos antes o después de la cosecha para proteger el producto contra la deterioración durante el almacenamiento y transporte.

Según la NTP 143 del Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España, los pesticidas pueden clasificarse atendiendo a diversos aspectos.

Según el destino de su aplicación pueden considerarse:

- Pesticidas de uso fitosanitario o productos fitosanitarios: los destinados a su utilización en el ámbito de la sanidad vegetal o el control de vegetales.
- Pesticidas de uso ganadero: los destinados a su utilización en el entorno de los animales o en actividades relacionadas con su explotación.
- Pesticidas de uso en la industria alimentaria: los destinados a tratamientos de productos o dispositivos relacionados con la industria alimentaria.
- Pesticidas de uso ambiental: los destinados al saneamiento de locales u otros establecimientos públicos o privados.
- Pesticidas de uso en higiene personal: aquellos preparados útiles para la aplicación directa sobre el hombre.
- Pesticidas de uso doméstico: cualquier preparado destinado para aplicación por personas no especialmente cualificadas en viviendas o locales habitados.

Atendiendo a su acción específica pueden efectuarse múltiples clasificaciones, siendo una de las más utilizadas la decimal, en la que se consideran:

- | | |
|---|--|
| ➤ Insecticidas | ➤ Herbicidas |
| ➤ Acaricidas | ➤ Fitorreguladores y productos afines |
| ➤ Fungicidas | ➤ Molusquicidas, rodenticidas y varios |
| ➤ Nematocidas, desinfectantes y fumigantes en general | ➤ Específicos post-cosecha y simientes |
| ➤ Protectores de maderas, fibras y derivados | ➤ Plaguicidas específicos varios |

Las formulaciones o preparados pueden clasificarse según el estado de presentación o sistema utilizado en su aplicación, características que determinan en buena medida la facilidad de penetración en el organismo del individuo expuesto. Según este criterio se pueden considerar los grupos:

- | | |
|---|---------------------------|
| ➤ Gases o gases licuados. | ➤ Fumigantes y aerosoles. |
| ➤ Sólidos, excepto los cebos y los preparados en forma de tabletas. | ➤ Líquidos. |
| ➤ Cebos y tabletas. | |

Desde el punto de vista de su constitución química, los pesticidas pueden clasificarse en diversos grupos, siendo los más importantes los siguientes:

- | | |
|--------------------------|----------------------|
| ➤ Arsenicales. | ➤ Carbamatos. |
| ➤ Derivados de cumarina. | ➤ Derivados de urea. |
| ➤ Dinitrocompuestos. | ➤ Organoclorados. |
| ➤ Organofosforados. | ➤ Organometálicos. |
| ➤ Piretroides. | ➤ Tiocarbamatos. |
| ➤ Triazinas. | |

Algunos de estos grupos engloban varias estructuras diferenciadas, por lo que, en caso de interés, es posible efectuar una subdivisión de los mismos (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 1983). La Organización Mundial de la Salud, clasifica los plaguicidas principalmente en base a su toxicidad aguda en estudios con animales.

Algunos plaguicidas son tan tóxicos que la ingestión de solo 5 ml (una cucharada de té) puede ser suficiente para matar a una persona adulta. En la Tabla 9 se puede observar la clasificación toxicológica de los plaguicidas según la OMS y en la Tabla 10 se muestran las clasificaciones toxicológicas de los plaguicidas y bandas de colores según la categoría toxicológica respectivamente.

Tabla 9. Clasificación toxicológica de los plaguicidas

Clasificación de la OMS según los riesgos	Formulación líquida DL50 aguda		Formulación sólida DL50 aguda	
	Oral	Dermal	Oral	Dermal
Clase I a: Productos sumamente peligrosos	>20	>40	>5	>10
Clase I b: Productos muy peligrosos	20 a 200	40 a 400	5 a 50	10 a 100
Clase II b: Productos moderadamente peligrosos	200 a 2000	400 a 4000	50 a 500	10 a 1000
Clase III: Productos poco peligrosos	2000 a 3000	> a 4000	500 a 2000	> a 1000
Clase IV: Productos poco peligrosos	> a 3000		> a 2000	

Fuente: de Organización Panamericana de la Salud, 2009

Tabla 10. Banda de color de las etiquetas según la categoría toxicológica

Color de la Banda	Clasificación de la OMS según los riesgos	Clasificación del peligro
Rojo (PMS 199 C)	I a - Producto sumamente peligroso	MUY TÓXICO
Rojo (PMS 199 C)	I a - Producto muy peligroso	TÓXICO
Amarillo (PMS Amarillo C)	II - Producto moderadamente peligroso	NOCIVO
Azul (PMS 293 C)	Producto poco peligroso	CAUTELADO
Verde (PMS 347 C)	IV - producto que normalmente no ofrece peligro	CAUTELADO

Fuente: Organización Panamericana de la Salud, 2009

Los pequeños productores de las zonas rurales de climas cálidos (entre los trópicos) pueden llegar a usar grandes cantidades de plaguicidas de los que pertenecen a las Clases I a, I b y II. El riesgo se ve aumentado debido a que muchas veces los pequeños productores rurales de países en desarrollo no utilizan los elementos de protección personal. Aun si estuvieran disponibles, las condiciones de clima cálido hacen que los trajes de protección, generalmente diseñados para ser utilizados en climas menos calurosos, sean poco confortables y si son usados por largos períodos, pueden llevar a descompensaciones por calor. Por este motivo, debido a que no se diseñan elementos de protección para ser usados en climas cálidos y con precios más accesibles, estos no están a disposición de los aplicadores de los países en desarrollo (Organización Panamericana de la Salud, 2009).

La clasificación química es interesante desde el punto de vista sanitario, ya que los efectos sobre la salud son característicos y diferentes para cada familia de plaguicidas. Es importante saber la composición química de los plaguicidas para poder prever los efectos que pueden provocar en la salud humana y en el medio ambiente y para elaborar tratamientos eficaces para eliminarlos (Losada, 2004).

5.3.1. Glifosato y AMPA

El herbicida Roundup®, con el compuesto activo glifosato, fue introducido en 1974 por la compañía Monsanto. El glifosato es un herbicida de amplio espectro de aplicación, no selectivo, que se aplica en la zona de cultivo después de la aparición de los brotes y que actúa sobre la mayoría de plantas verdes. Es un plaguicida de uso general y se utiliza tanto para aplicaciones agrícolas como no agrícolas (como eliminar las malas hierbas de los lados de caminos, carreteras, vías de ferrocarriles, jardines, etc.). Cuando se aplica en concentraciones bajas también puede actuar como regulador del crecimiento (Losada, 2004)

El nombre IUPAC para el glifosato es [(N-fosfonometil)glicina], es un ácido débil formado por una molécula de glicina y otra de fosfonometilo. El número del ácido en el *Chemical Abstracts Registry* (CAS) es el 1071-83-6 y su fórmula empírica es $C_3H_8NO_5P$ (World Health Organization, 2005). El potencial para contaminación de aguas subterráneas del Glifosato basado en el "Groundwater Ubiquity Score" (GUS) es de -0.69, lo que sugiere un potencial muy bajo de contaminación. (Pfeiffer, 2010)

El compuesto es un polvo cristalino blanco e inodoro, resistente a la volatilización y a la degradación solar, con un peso específico de 1,704 y una solubilidad en agua de 12 g/L (25°) en la forma ácida, es insoluble en la mayoría de disolventes orgánicos tales como acetona, etanol, xileno, entre otros. (Agudelo, 2011)

El producto principal de degradación del glifosato en las plantas, el suelo y el agua es el ácido aminometilfosfónico (AMPA), cuya estructura química (Figura 3) es muy similar a la de glifosato. (World Health Organization, 2005).

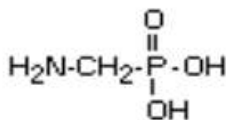


Figura 3. Estructura química del AMPA.

Fuente: Agudelo, 2011

El glifosato parece ser degradable por los microorganismos a través de dos vías. Una de ellas es la formación de AMPA y un fragmento C2, probablemente, glioxilato. En esta ruta, la ruptura de la unión C-N es la primera etapa, posteriormente, mediante la acción de la enzima C-Piase, se produce la ruptura del enlace C-P, el cual es resistente a la descomposición química, llevando a la formación de fosfato y metilamina (Figura 4) (Agudelo, 2011).

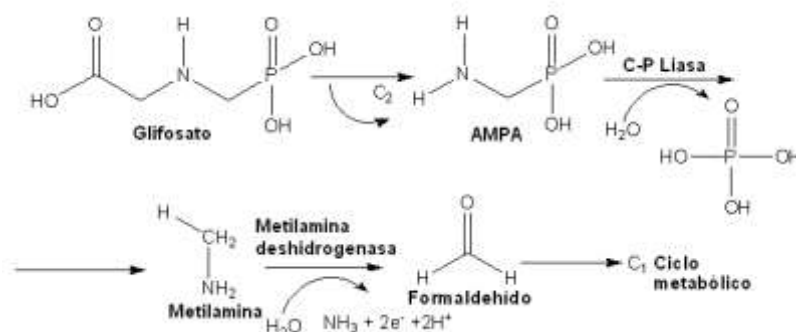


Figura 4. Ruta de degradación del Glifosato.

Fuente: Agudelo, 2011

El potencial para contaminación de aguas subterráneas del AMPA basado en el “Groundwater Ubiquity Score” (GUS) es de 0.2 (Mogusu, 2015), lo que sugiere un potencial muy bajo de contaminación aunque mayor que el del Glifosato.

- **Toxicidad**

El glifosato y sus sales son compuestos moderadamente tóxicos clasificados dentro de la clase II de toxicidad según la EPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos). Por tanto, los productos que lo contienen deben llevar la palabra WARNING, como se puede ver en la Tabla 11.

Los parámetros de toxicidad correspondientes a la clase II donde se incluye el glifosato son:

- LD50 oral:> 50-500 mg / kg
- LD50 dérmica:> 200-2000 mg / kg
- LC50 inhalación:> 0,2 a 2,0 mg / l
- Irritación ojos / piel: moderada

Tabla 11. Clacificación de toxicidad de la EPA.

Clase	Toxicidad	Indicación
I	Altamente toxico	DANGER-POISON
II	Moderadamente toxico	WARNING
III	ligeramente toxico	CAUTION
IV	prácticamente no toxico	no

Fuente: EPA, 2016

El glifosato es prácticamente no tóxico por ingestión (DL50 = 5.600 mg / kg en ratas) y en contacto con la piel (LD50> 5000 mg / kg), aunque algunas formulaciones provocan más irritación que otros. Por inhalación es moderadamente tóxico (LC50 = 5-12 mg / l en ratas) (Losada, 2004).

La Agencia internacional para la investigación del cáncer, IARC por sus siglas en inglés, asigna el glifosato al grupo (2A) que significa que es “probablemente cancerígeno para los humanos.

- **Modo de acción en plantas**

El glifosato actúa como herbicida post-emergente de amplio espectro, no selectivo, el cual es absorbido por las hojas de las plantas tratadas y se desplaza rápidamente a otras partes de la planta, incluidos los botones de las puntas de los tallos y de las raíces, y a los órganos subterráneos de almacenamiento, como rizomas y tubérculos.

El glifosato es un herbicida inhibidor de la síntesis de aminoácidos en plantas, bacterias, algas, hongos y parásitos apicomplejos, actúa a través de la inhibición de la enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintetasa (EPSPS). El glifosato puede afectar otras dos enzimas relacionadas con la vía del shikimato: la clorismatomutasa y prefrenato hidratasa. Además, puede afectar otras enzimas no relacionadas con la vía del shikimato; por ejemplo, en la caña de azúcar reduce la actividad de una de las enzimas involucradas en el metabolismo del azúcar, el ácido invertasa (Losada, 2004).

- **Modo de acción en la caña de azúcar**

El ingrediente activo de glifosato penetra en el follaje y se trasloca por el simplasto (tejido vivo de la planta), junto con los productos de la fotosíntesis, y se acumula en los meristemos, principalmente en el punto de crecimiento. La hipótesis más aceptada considera que el glifosato inhibe la acción de dos enzimas, la mutasa corísmica y la deshidratasa prefénica, que intervienen en la síntesis del ácido coríasmico el cual es, a su vez, precursor de tres aminoácidos exclusivos que solamente sintetizan las plantas: el triptofano, la tirocina y la fenilalanina. Se ha demostrado también que el glifosato actúa sobre la enzima invertasa ácida, necesaria para desdoblar la sacarosa en glucosa y fructosa que intervienen directamente en el crecimiento de la planta. El ingrediente activo de glifosato (Roundup) parece reducir los niveles de invertasa ácida en cañas tratadas y, por consiguiente, también disminuye los niveles de glucosa y fructosa. Como resultado de lo anterior, menos sacarosa se desdobla para crecimiento y se almacena en las células, principalmente en las del tercio superior del tallo. En consecuencia, la inhibición de la síntesis de estos tres aminoácidos, de los ocho que sintetizan las plantas, es la base de la toxicidad diferencial de Roundup entre éstas y los animales (Arcila & Villegas, 1995 b).

5.3.2. 2,4 D (Ácido 2,4-Diclorofenoxiacético)

El Ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) Se utiliza comúnmente en el sector de la agricultura. Se utiliza para un control de la amplia gama de malas hierbas de hojas anchas y gramíneas en cultivos de plantación, tales como la caña de azúcar, palma de aceite, cacao y caucho. El 2,4-D se prefiere comúnmente debido a su bajo costo y buena selectividad. Por otra parte 2,4-D es un contaminante con mala biodegradabilidad. En consecuencia, se ha detectado con frecuencia en los cuerpos de agua en diversas regiones del mundo (Hameed *et al.*, 2009).

Es un herbicida aniónico con lo que la solubilidad en agua depende del pH de la solución. Como la mayoría de los contaminantes aniónicos, 2,4-D es débilmente adsorbido por las partículas del suelo

y plantea una amenaza de contaminación de aguas superficiales y subterráneas (Jianfa *et al.*, 2009). Se le clasifica dentro del grupo de los herbicidas fenoxi o fenoxiacéticos o clorofenólicos. Otros compuestos pertenecientes a este grupo que han sido retirados o prohibidos por muchos países son el 2,4,5-T, el 2,4,5-TP o Silvex, el MCPA y otros herbicidas que aún se usan como el 2,4-DB, dicamba y el MCPB.

El 2,4-D es un polvo cristalino blanco. Existe en forma de escamas, polvo, polvo cristalino y en forma sólida. Tiene un leve olor fenólico y su punto de fusión se halla entre los 135 y los 142 grados Celsius. Su punto de ebullición es de 160 grados Celsius a 0,4 mm Hg.

El potencial para contaminación de aguas subterráneas del 2,4D basado en el “Groundwater Ubiquity Score” (GUS) es de 2.70 (Pfeiffer, 2010), lo que sugiere un potencial medio de contaminación.

Por su modo de acción, al 2,4-D se le incluye dentro de los “herbicidas hormonales” pues actúa de modo parecido a la hormona natural auxina, ó ácido indol-3-acético (AIA) (Se clasifica según la (Herbicide Resistance of Action Committee) HRAC dentro del grupo O, como inhibidor de la síntesis de auxinas y por ello se utiliza en preemergencia del cultivo (Campos, 2014). Las plantas de manera natural producen hormonas -que son sustancias químicas que actúan de manera precisa y en cantidades muy pequeñas- y su concentración es regulada por la propia planta; en el caso de la auxina es una hormona que regula el sano crecimiento y desarrollo vegetal, pero en su forma sintética y a una concentración mucho mayor provoca la muerte de la planta ya que no encuentra un mecanismo de control interno. (RAP-AL, 2007)

El 2,4-D se produce de diversas formas, incluyendo su forma como ácido, pero al ser ésta muy volátil y corrosiva los productos comerciales se formulan como sales aminas o ésteres del ácido, existiendo ésteres de baja y alta volatilidad. Las sales aminas se formulan comúnmente como soluciones acuosas, mientras que los ésteres menos solubles en agua se aplican como emulsiones. Su toxicidad aguda varía según estas formas. Además de su forma como ácido hay ocho sales y ésteres del 2,4-D registrados en Estados Unidos, con más de 660 productos comerciales agrícolas y domésticos que lo contienen como ingrediente activo o mezclado junto con otros ingredientes activos. En la figura 5 se observa la estructura molecular del 2,4-D.

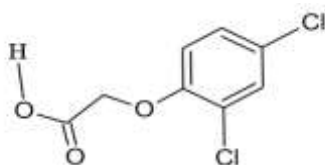


Figura 5. Estructura molecular del 2,4D.

Fuente: Campos, 2014

- **Toxicidad**

En la clasificación recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2000), el 2,4-D se ubica en la clase II: “moderadamente peligroso”; esto lo coloca en la misma clase que el endosulfán, el lindano, el paraquat y el toxafeno. En Estados Unidos está considerado como un “plaguicida de uso

restringido” (que sólo puede ser comprado y utilizado por aplicadores certificados). En la clasificación de toxicidad de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2016) ocupa un rango que va desde la Clase I hasta la Clase III (en una escala de I a IV, en la que I corresponde a la mayor toxicidad). La sal dietilamina es la más tóxica de todas las formas del 2,4-D24. El 2,4-D se considera ligeramente tóxico en forma oral (toxicidad clase III), y altamente tóxico en el caso de exposición de los ojos (toxicidad clase I). Aunque la LD50 del 2,4-D sugiere que sólo es moderadamente tóxico, está etiquetado como altamente tóxico debido a incidentes relacionados con grave irritación de la piel y de los ojos entre trabajadores agrícolas. El producto lleva la palabra PELIGRO en la etiqueta, para indicar que es altamente tóxico.

La EPA lo considera un contaminante marino. La Agencia Internacional de la Investigación sobre el Cáncer (que forma parte de la OMS) coloca a todos los herbicidas clorofenoxi, incluido el 2,4-D, dentro del Grupo 2B: *posiblemente carcinogénico para los seres humanos* (RAP-AL, 2007).

La DL50 (dosis letal media) oral del 2,4-D en la rata oscila entre 375 a 764 mg/kg; es de 370 mg/kg en el ratón; y varía desde menos de 320 a 1.000 mg/kg en los cobayos (Categoría III de toxicidad). La DL50 oral aguda oscila entre 100 mg/kg en los perros y 1.000 mg/kg en los cobayos.

La rata y el conejo tienen valores de DL50 cutánea de 1.500 mg/kg y 1.400 mg/kg, respectivamente. La tasa de DL50 por inhalación (ratas) es de 1,79 mg/L (Categoría III de toxicidad). Puede producirse la muerte de mamíferos y aves a los que se les ha administrado dosis orales de 2,4-D que exceden los 100 a 300 mg/kg de peso corporal, aproximadamente. Los patos Mallard, los Faisanes, las Codornices y los pichones tienen niveles de DL50 de 1.000, 472, 668 y 668 mg/kg, respectivamente.

5.3.3. Carbofurano

El Carbofurano es un pesticida de amplio espectro, perteneciente a la familia de los N-metil carbamatos. Fue manufacturado y comercializado por la corporación norteamericana FMC, en la década del 60, bajo el nombre de Furadan, en reemplazo de los pesticidas organoclorados altamente persistentes (Weimer, 2010).

Carbofurano ($C_{12}H_{15}NO_3$; metilcarbamato de 2,3-dihidro-2,2-dimetil-7-benzofuranol), comúnmente conocida como Furadan, es un pesticida carbamato utilizado en las prácticas agrícolas para aumentar la productividad de los cultivos. También se utiliza como insecticida, nematocida y acaricida. Sin embargo, se acumula en el medio ambiente y, por tanto, afecta negativamente a los diferentes órganos como el cerebro, el hígado, los músculos esqueléticos y el corazón incluso de sistemas mamíferos que no son objetivo. Debido a su presencia ubicua, se ha detectado en el plasma materno, el cordón umbilical y la sangre de las mujeres de raza negra y los bebés recién nacidos, respectivamente (Jaiswal *et al.*, 2016).

Su fórmula química: $C_{12}H_{15}NO_3$. En la Figura 6 se observa la estructura molecular del Carbofurano.

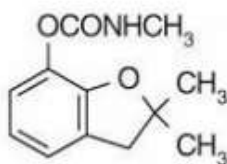


Figura 6. Estructura molecular del Carbofurano

Fuente: RAP-AL, 2008

A temperatura ambiente el Carbofurano es un sólido cristalino, de color blanco o gris, en forma de gránulos (similar a la arena). Es inodoro o con ligero olor fenólico, y una solubilidad en el agua que llega a 700 mg/l a 25° C. Si bien es muy poco soluble en los solventes convencionales utilizados en las formulaciones de uso agrícola, presenta solubilidades elevadas en diversos solventes orgánicos. Los propios distribuidores advierten que es tóxico y peligroso para el medio ambiente. (RAP-AL, 2008)

Su creación tuvo como objeto el control de las plagas de insectos en una amplia variedad de cultivos incluyendo: caña de azúcar, maíz, sorgo, café, cereales, arroz, entre otros; además de las frutas y hortalizas. Bajo este principio, se difundió en muchos países del mundo, hacia mediados de la década del 80, como ingrediente activo de los productos agrícolas “protectores de cultivos”. Los productos que contienen Carbofurano como ingrediente existen en tres formulaciones: líquida, a base de silica y granular. La primera es la más frecuente, mientras que las demás fueron diseñadas para permitir que dicho ingrediente sea absorbido, a una velocidad relativamente lenta, en las raíces de los cultivos en desarrollo. Al ser absorbido es transportado por la savia, de modo que los insectos plaga consumidores de los tejidos vegetales, sean envenenados.

No obstante debido a sus propiedades de inodoro e incoloro, y a su bajo costo, la utilización del Carbofurano se ha extendido más allá de lo planificado.

La gran persistencia del Carbofurano, análoga a la de muchos pesticidas de su familia, se traduce en tiempos de degradación muy prolongados, y por ende, en efectos adversos a largo plazo sobre los ambientes cercano y lejano al punto de aplicación. Estos efectos consisten en:

- Transferencia continúa hacia los distintos niveles de la cadena trófica: implica la exposición crónica de la población que consume los alimentos en los que se ha acumulado el contaminante. De ahí surge la urgente necesidad de evaluar los riesgos de ingestión de los pesticidas carbamato en alimentos cárnicos y pescados.
- Desarrollo de resistencia en los organismos plaga y la aparición de nuevas plagas o de plagas secundarias. Contaminación irreversible de los suelos y el agua de pozos (Weimer, 2010).

Los ambientes acuáticos son particularmente propensos a la contaminación con Carbofurano como lo indica su “Groundwater Ubiquity Score” GUS de 4,52, la caracterización de un riesgo relativamente alto de ser transportado desde el suelo de áreas de aplicación a los cuerpos de agua adyacentes después de los eventos de lluvia. Carbofurano se considera altamente tóxico para las aves, abejas y animales acuáticos, tales como peces (Mansano *et al.*, 2016).

- **Modo de acción**

Actúa interfiriendo los impulsos nerviosos por inhibición de la acetilcolinesterasa e ingresa en los organismos principalmente por contacto e ingestión, y en menor medida por inhalación. Su efecto sistémico, al ser absorbido por las raíces de las plántulas, le confiere acción de ingestión sobre pulgones e insectos de las partes aéreas (RAP-AL, 2008).

- **Toxicidad**

Debido a su toxicidad, el Carbofurano ha sido prohibido en la UE, y progresivamente en otras latitudes. Varios efectos toxicológicos del Carbofurano se han descrito en los peces y otros organismos acuáticos (Ruíz *et al.*, 2016).

Carbofurano es uno de los pesticidas carbamato más tóxicos. A pesar de que se utiliza ampliamente en todo el mundo en aplicaciones agrícolas, fue severamente restringido en muchos países después de que se encontró ser persistente y bio-tóxico. Sin embargo, debido a que aún presenta una gran amenaza para la salud humana y el ecosistema, se ha vuelto especialmente importante vigilar el contenido de Carbofurano en los productos agrícolas y el medio ambiente. (Li *et al.*, 2016)

Los seres humanos pueden absorber el carbofurano por inhalación, por ingestión, por la piel y a través de los ojos. La Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA) destaca el peligro de intoxicación aguda que presenta este plaguicida a las personas expuestas a su acción. Señala que, como es altamente tóxico, la exposición a las más pequeñas cantidades de esta sustancia química genera un riesgo importante. Por eso, considera que el riesgo de residuos de carbofurano en los alimentos es preocupante para todos los subgrupos de la población, especialmente para los niños de entre 1 y 2 años de edad. La exposición a través del agua potable es un riesgo adicional para los consumidores de fuentes específicas y vulnerables, en especial las asociadas a determinados tipos de suelo y modos de uso del plaguicida. Asimismo, la EPA advierte que también son preocupantes los riesgos ocupacionales, aun cuando se adopten medidas estrictas de protección. Las preocupaciones expresadas por la EPA se fundamentan en incidentes de envenenamiento humano asociadas a exposición ocupacional a este agrotóxico (RAP-AL, 2008)

La Organización Mundial de la Salud (2003), clasifica al carbofurano en el grupo identificado como 1b, lo que significa "altamente peligroso". Sin embargo, en el caso de ingestión en forma directa o de residuos existentes en alimentos, es "extremadamente tóxico". Este plaguicida puede producir irritaciones en la piel y, según la vía por la cual ingresa en el organismo humano, afecta el sistema respiratorio (asfixia), el aparato digestivo (náuseas, vómitos, salivación, sudor frío, dolor abdominal, diarrea) y ojos (lagrimeo, visión doble, miosis o contracción de la pupila).

A niveles más altos de exposición puede causar espasmos musculares, pérdida de coordinación y paro respiratorio. Los problemas respiratorios son característicos del edema pulmonar, síntoma habitualmente de envenenamiento grave por carbamato. Las empresas distribuidoras advierten que las personas con bajo nivel de colinesterasa basal o afecciones hepáticas pueden agravar su estado con la exposición a este plaguicida. Por otra parte, diversos estudios han aportado evidencia sobre la toxicidad del carbofurano en mamíferos de ensayo expuestos oralmente. También se ha verificado dicha toxicidad en la exposición humana (RAP-AL, 2008).

Su DL_{50} oral es 11 mg/kg de peso corporal en ratas comparado con 8 mg/kg para el paratión extremadamente tóxico y 1, 300 mg kg^{-1} para la atrazina, un herbicida de moderada toxicidad. (Cartagena *et al.*, 2011).

5.3.4. Diurón

Diurón es un herbicida de la familia fenilamida y la subclase de fenilurea. Este compuesto inhibe la fotosíntesis mediante la prevención de la producción de oxígeno y el bloqueo de la transferencia de electrones en el nivel del fotosistema II en microorganismos y plantas. Se utiliza ampliamente en muchos cultivos agrícolas como la caña de azúcar, cítricos, algodón, café, y otros, y su dispersión puede conducir a la contaminación del medio acuático principalmente por la lixiviación del suelo, como se indica por el “Groundwater Ubiquity Score” (GUS) de 2,58. Debido a su alta persistencia (un mes a un año), Diuron se puede encontrar en muchas matrices tales como suelos, sedimentos y agua. El Diurón se sabe que es ligeramente tóxico para los mamíferos y las aves, moderadamente tóxico para los peces y ligeramente tóxico para los invertebrados acuáticos (Mansano *et al.*, 2016).

Es un herbicida no selectivo que se usa principalmente para controlar malezas en superficies duras. El principal producto derivado de su descomposición, la 3,4-dicloroanilina es más tóxica que el propio Diurón. Dos compuestos ‘tipo dioxinas’ están presentes en las preparaciones de Diurón como contaminantes provenientes del proceso de fabricación. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos clasifica al Diurón como un carcinógeno ‘conocido/probable’. Es persistente y contamina las aguas marinas, las aguas subterráneas, los sedimentos y el suelo. En 2005 se inició la revisión de su uso en Europa.

El Diurón, N’-(3,4-diclorofenil)-N,N-dimetil-urea (número CAS: 330-54-1), Se absorbe principalmente a través de las raíces; es de amplio espectro y mata tanto las malezas de hoja ancha y las de tipo césped, como los musgos y las algas. (Pesticide Action Network UK, 2005). El potencial para contaminación de aguas subterráneas del Diuron basado en el “Groundwater Ubiquity Score” (GUS) es de 2.58 (Pfeiffer, 2010), lo que sugiere un potencial medio de contaminación.

Es un sólido cristalino blanco, con un punto de fusión de aproximadamente 158°C y cuya estructura química se descompone a temperaturas superiores a 180°C. Es soluble en agua y en disolventes orgánicos polares, pero escasamente soluble en hidrocarburos. Presenta gran estabilidad química a temperatura ambiente, aunque a temperaturas elevadas se descompone (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente de España, 2016). En la Figura 7 se observa la estructura molecular del Diuron.

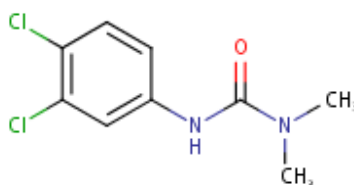


Figura 7. Estructura molecular del Diuron
Fuente: U.S. National Library of Medicine, 2016

La primera información sobre el Diurón se tuvo en 1951. Fue producido inicialmente por E.I. du Pont de Nemours Co., Estados Unidos, en 1966. Esta compañía ya no lo produce, pero hay numerosos fabricantes genéricos que lo elaboran, entre ellos Ancom, Bayer CropScience, Cedar, Crystal, Drexel, EMV, Griffin, Hegang Heyou, Hodogaya, Makhteshim-Agan, Milenia, Nufarm Ltd, Sannong, y United Phosphorus. Se usa para el control de malezas en superficies duras, como caminos, vías férreas y senderos (en una proporción de 3 kg/ha, aproximadamente), y para el control de malezas en cultivos tales como perales y manzanos, en silvicultura, en árboles y arbustos ornamentales, en plantaciones de piña, caña de azúcar, algodón, alfalfa y trigo (en proporciones más bajas, de alrededor de 1,8 kg/ha).

El Diurón es muy persistente en el medio ambiente. Su DT50 (vida media) en los suelos varía entre 90 y 180 días, mientras que otras fuentes indican que puede variar desde un mes hasta un año. Otros informes indican que los suelos tratados con Diurón pueden seguir siendo tóxicos para las plantas por lo menos tres años después del tratamiento inicial.

Tiene una constante de partición (K_{oc}) de la fracción orgánica del suelo bastante alta: 485. Esto indica que se adsorbe estrechamente a la materia orgánica del suelo y que la adsorción es afectada directamente por la cantidad de materia orgánica. Esto significa que el diurón se filtra con mayor facilidad en suelos profundos, con menos materia orgánica, lo que le otorga una mayor probabilidad de contaminar el agua.

El coeficiente de partición octanol-agua (K_{ow}) es 2,6. Esto indica que tiene una propensión baja a media a acumularse en la grasa corporal (Pesticide Action Network UK, 2005).

- **Toxicidad**

El Diurón se absorbe con facilidad a través del intestino y de los pulmones, en tanto que la absorción a través de la piel es más limitada. Es levemente tóxico para los mamíferos, pero los jóvenes son más susceptibles que los adultos. En las ratas, la LD50 oral es de 3400 mg/kg y la LD50 dérmica es > 2000 mg/kg. Un estudio previo indica que los animales sometidos a dietas deficientes en proteínas fueron considerados más vulnerables a la toxicidad del Diurón: las ratas sometidas a una dieta con un 3% de proteína fueron cinco veces más sensibles al Diurón.

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US/EPA) tiene clasificado al Diurón como conocido/probable carcinógeno desde 1997, en base al resultado de dos estudios. Una investigación con ratas indicó que los machos y las hembras alimentados con Diurón tuvieron una incidencia mayor de cáncer de vejiga que los animales de control. Las ratas machos de este estudio tuvieron además una incidencia mayor de cáncer renal que los animales de control. En una investigación con ratones, los animales sometidos a las exposiciones más altas tuvieron más cáncer de mamas (Pesticide Action Network UK, 2005).

5.3.5. Glufosinato

El Glufosinato [DL-homoalanine-4-il (metil) ácido fosfónico] es un herbicida no selectivo, de post-emergencia de amplio espectro ampliamente utilizado en aplicaciones de agricultura para el control de malezas. Provoca la muerte de malezas por inhibición competitiva de la síntesis de la enzima glutamina. (Han *et al.*, 2016).

Fue desarrollado por Hoechst en la década de 1970 y se presentó por primera vez al mercado en 1984, en Japón. También se consideró para el registro en el Reino Unido en 1984, pero, debido a las preocupaciones sobre la toxicidad a través de la absorción dérmica, no ganó la aprobación completa allí hasta 1996. Fue introducido en los EE.UU. en 1993 (Watts, 2008).

El Glufosinato es un nombre corto para la sal de amonio, glufosinato de amonio. Su fórmula molecular es $C_5H_{15}N_2O_4P$, pertenece al grupo químico del ácido fosfinico y la sal de amonio, su número CAS es 7718-82-2 (Watts, 2008). En la Figura 8 se observa la estructura molecular del Glufosinato.

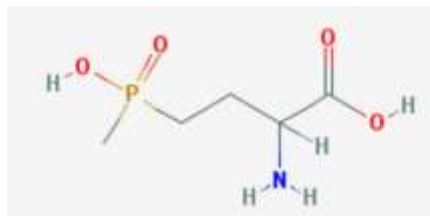


Figura 8. Estructura molecular Glufosinato. Fuente: (Pubchem, 2016).

El Glufosinato es un compuesto natural aislado a partir de dos especies de hongos *Streptomyces*. Inhibe la actividad de una enzima, la glutamina sintetasa, que es necesaria para la producción de glutamina y para la desintoxicación de amoníaco. La aplicación de Glufosinato conduce a glutamina reducida y el aumento de los niveles de amoníaco en los tejidos de la planta. Esto hace que la fotosíntesis se detenga y la planta muere dentro de unos pocos días. El Glufosinato también inhibe la misma enzima en los animales (Pesticide Action Network UK, 1998).

Más de 100 híbridos de plantas han sido modificados genéticamente para ser tolerante o resistente al herbicida Glufosinato de amonio. Ellos incluyen variedades de plátano, frijol, col, canola, coliflor, café, algodón, el maíz, mostaza, aceite de palma, piña, plátano, patata, arroz, soja, fresa, remolacha azucarera, caña de azúcar y el trigo.

El Glufosinato es moderadamente persistente en algunos suelos, y tiene el potencial para lixiviar al agua subterránea, especialmente en suelos arenosos (Watts, 2008). El potencial para contaminación de aguas subterráneas del Glufosinato basado en el "Groundwater Ubiquity Score" (GUS) es de 1.69 (Pfeiffer, 2010), lo que sugiere un potencial bajo de contaminación. La Agencia Estadounidense de Protección Ambiental (EPA) clasifica el Glufosinato de amonio como "persistente" y "móvil". La degradación de Glufosinato es en gran parte por la actividad microbiana.

La vida media se ha determinado en numerosos estudios de laboratorio y varía de 3 a 42 días en algunos estudios y hasta 70 días en los demás. La vida media más corta tiende a ser en suelos con un alto contenido de arcilla y materia orgánica. En un estudio, se encontraron residuos de Glufosinato en las espinacas, los rábanos, el trigo y las zanahorias plantadas 120 días después de que el Glufosinato había sido aplicado.

En suelos arenosos, que se superponen a muchos acuíferos, El Glufosinato se ha encontrado que es altamente persistente debido a la falta de biodegradación (Pesticide Action Network UK, 1998).

En el suelo el Glufosinato de amonio es degradado por la acción microbiana a 3-metilfosfónico-propiónico (MPP) y 2-metilico del ácido fosfonoacético (MPA), y finalmente en dióxido de carbono en condiciones aerobias oscuras.

Otro metabolito, disódico L-2-acetamido 4-metil fosfonato-butirato o glufosinato N-acetilo (NAG), sólo se encuentra en las plantas transgénicas tratadas con glufosinato de amonio y no en las plantas normales, como plantas transgénicas metabolizan glufosinato de amonio diferente. MPP se encuentra en ambos tipos de cultivo.

En los seres humanos y los animales los principales metabolitos que se han encontrado en la orina y las heces son MPP y NAG. Los metabolitos menores son AMP, 2- hidrox-4-metil-butanoico ácido fosfónico (MHB), y ácido 4-metilfosfónico-butanoico (MHB) (Watts, 2008).

- **TOXICIDAD**

La organización mundial de la salud recomienda una clasificación por peligro de toxicidad aguda: Clase III, poco peligroso, para el Glufosinato (Watts, 2008). El sistema de clasificación de la OMS se basa en la DL50 para las ratas y su objetivo es tener en cuenta las sensibilidades de los animales de prueba más vulnerables.

La toxicidad de Glufosinato varía en diferentes animales de laboratorio. La DL50 oral es 436-464 mg / kg en ratones y 1,510-1,660 mg / kg en ratas. Los perros son los más sensibles. Pueden ser dos veces tan susceptibles como los ratones (la LD50 para beagles es 200 a 400 mg / kg) (Pesticide Action Network UK, 1998). La DL dérmica 50 de Glufosinato es aproximadamente la misma que para las exposiciones orales. Sin embargo, a través de la piel, las formulaciones de Glufosinato pueden ser 2,5 veces más tóxico que el Glufosinato solo.

5.4. NORMATIVIDAD

Como se mencionó anteriormente, el Decreto 1575 de 2007 establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano. Mientras que en la resolución 2115 de 2007 señala características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

En cuanto a la fuente de abastecimiento el Decreto 1076 de 2015 reglamenta el sector ambiente y desarrollo sostenible, dentro de esto la destinación genérica de las aguas superficiales y subterráneas, Por tanto enuncia los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico e indica que para su potabilización se requiera tratamiento convencional o solo desinfección.

5.4.1. Normatividad de plaguicidas en agua para consumo humano.

- **Normatividad Colombiana**

En Colombia por medio de la Resolución 2115 de 2007 reglamenta en cuanto a plaguicidas, en el artículo 8 de esta resolución, los parámetros para establecer los límites de estos contaminantes. Realizando una síntesis de lo plasmado en el artículo 8 se obtiene lo siguiente:

- la concentración máxima aceptable presente en el agua es de 0,0001 mg/L (0,1 µg/L) para las sustancias químicas cuyo valor DL50 oral mínimo reconocido sea menor o igual a 20 mg/Kg.
- La concentración máxima aceptable para las sustancias químicas cuyos valores de DL50 oral más bajos conocidos se encuentren entre 21 y 200 mg/Kg, según las referencias reconocidas por el Ministerio de la Protección Social es de 0,001 mg/L (1 µg/L).
- La concentración máxima aceptable para cada una de las sustancias químicas cuyos valores DL50 oral más bajos conocidos se encuentren entre 201 y 2.000 mg/Kg, según las referencias reconocidas por el Ministerio de la Protección Social es de 0,01 mg/L (10 µg/L).

De acuerdo a estos parámetros establecidos por la resolución 2115 y las dosis letales reportadas anteriormente para cada uno de los plaguicidas de interés se construyó la Tabla 12, que muestra las concentraciones límites permitidas en el agua potable para cada uno de los plaguicidas de interés.

Tabla 12. Normatividad Colombiana.

PLAGUICIDA	DL ₅₀ RATAS (mg/kg)	LIMITE (µg/L)
Glifosato	5600	10
2,4 D	375 a 764	10
Carbofurano	11	0,1
Diuron	3400	10
Glufosinato	1,510-1,660	10

- **Normatividad internacional**

Estados Unidos

La agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) a través de su Reglamento Nacional de Agua Potable “*The National Primary Drinking Water Regulations (NPDWRs or primary standards)*” el cual se aplica a los sistemas públicos de agua, busca con estos estándares proteger la salud pública, limitando los contaminantes en el agua potable (EPA, 2016). En la Tabla 13 se presenta la reglamentación según la EPA para los plaguicidas de interés en este estudio.

Tabla 13. Plaguicidas en la Norma de agua potable de la EPA

CONTAMINANTE	LIMITE (µg/L)	EFFECTOS POTENCIALES SOBRE LA SALUD	FUENTES DE CONTAMINACION EN AGUA POTABLE
CARBOFURANO	40	Problemas con la sangre, el sistema nervioso o del aparato reproductor	La lixiviación del fumigante de suelos en cultivos de arroz y alfalfa
2,4D	70	Riñón, hígado, o problemas de la glándula suprarrenal	El escurrimiento de aplicación de herbicidas para cultivos en hileras
GLIFOSATO	700	Problemas de riñón; dificultades para la reproducción	Las fugas resultantes del uso de herbicidas
DIURON	-	-	-
GLUFOSINATO	-	-	-

Fuente: (EPA, 2016)

Europa

En Europa la directiva 98/83/CE establece un máximo individual para cada plaguicida de 0,1 µg/L. debido a que los plaguicidas no cumplen ninguna función necesaria en el agua, se plantea que su presencia en ella es solo por contaminación y que puede evitarse, se desea que esta sea reducida al mínimo posible y se establece un límite por criterios de sensibilidad de los métodos analíticos de control, no sobre la base del riesgo (Fernandez & Jimenes, 2012).

En la Tabla 14 se presenta un resumen con las normativas colombianas y extranjeras para los plaguicidas en estudio.

Tabla 14. Normatividad para plaguicidas en estudio.

PLAGUICIDA	COLOMBIA (2115 DE 2007)	ESTADOS UNIDOS (EPA)	EUROPA (DIRECTIVA 98/83/CE)
	LIMITE (µg/L)	LIMITE (µg/L)	LIMITE (µg/L)
Glifosato	10	700	0,1
2,4D	10	70	0,1
Carbofurano	0,1	40	0,1
Diuron	10	-	0,1
Glufosinato	10	-	0,1

6. METODOLOGÍA.

Las etapas en que se desarrolló este trabajo fueron: 1) Reconocimiento de campo en donde se evidenció la extensa presencia de cultivos de caña de azúcar y se identificaron puntos de muestreo; 2) recolección de datos históricos del monitoreo de la calidad de agua tratada que realiza la Secretaría de Salud municipal en las PTAPs de el corregimiento El Hormiguero; 3) realización de muestreos y análisis de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y plaguicidas de uso común en la caña de azúcar.

6.1. ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio comprendió el corregimiento El Hormiguero situado al Sur-Oriente del municipio de Cali del departamento del Valle del Cauca-Colombia, a una distancia de 10 km del casco urbano de Cali y a la margen izquierda del río Cauca. El área presenta una topografía plana, con una altura de 900 metros sobre el nivel del mar, tiene una temperatura media de 25°C (clima cálido) (Alcaldía de Cali, 2008).

Se analizó la calidad de agua de las PTAPs de 4 veredas pertenecientes al municipio de El Hormiguero: Cabecera, Cascajal, Pailita y Morgan. Estas PTAP's tienen como características en común que utilizan fuentes de abastecimiento de tipo subterráneo y presentan fuerte actividad agrícola de cultivo de caña de azúcar. La Figura 9 presenta la localización del corregimiento El Hormiguero y de cada una de las PTAP's estudiadas.

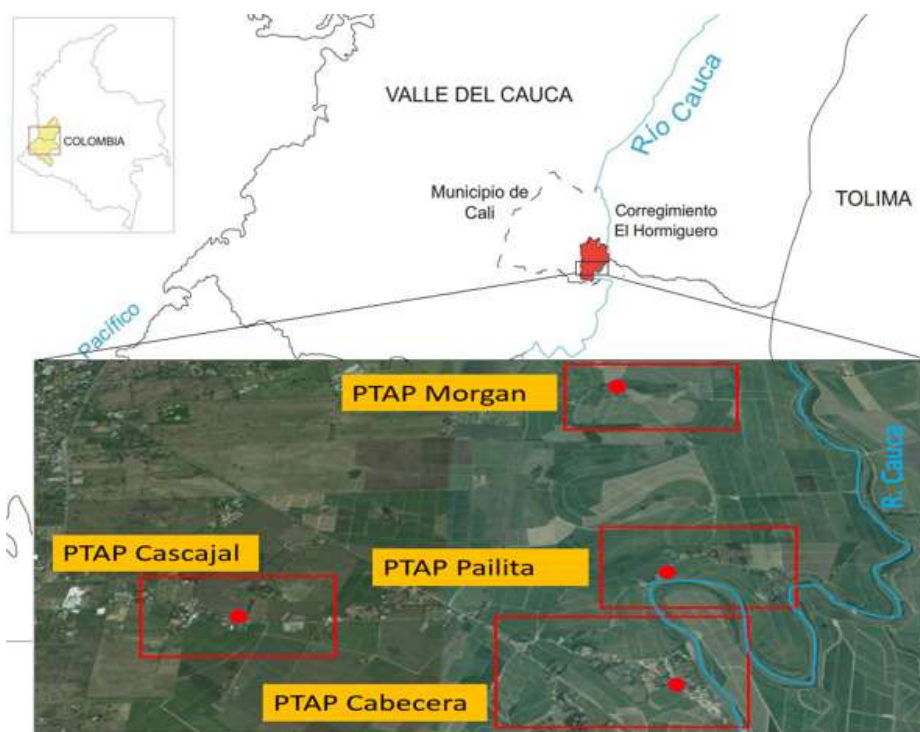


Figura 9. Localización del municipio el Hormiguero y Las PTAP's de las veredas del área de estudio. Fuente: Modificado de (Alcaldía de Santiago de Cali, 2011).

Las unidades objeto de estudio fueron las aguas de los pozos fuentes de abastecimiento y las aguas tratadas de las PTAP's de: la cabecera del corregimiento el Hormiguero y de las veredas Cascajal, Pailita y Morgan.

6.2. RECONOCIMIENTO DE CAMPO.

Se realizaron visitas de reconocimiento a cada uno de los acueductos así como alrededores de la comunidad servida, las cuales tuvieron como objetivo:

- **Descripción de las PTAPs**

Se realizó una descripción de cada una de las PTAPs de las comunidades objeto de estudio en donde se reconoció el tipo de sistemas o tecnologías de tratamiento. Dentro de esta descripción se detalló cada uno de los componentes de las PTAPs, desde la fuente de abastecimiento hasta el punto de entrega del agua tratada a la red de distribución, y como se está llevando a cabo la operación y mantenimiento por los encargados.

- **Identificación de puntos de muestreos**

Con el objetivo de evaluar la calidad de agua tanto cruda como tratada en las PTAPs estudiadas, se identificaron los posibles puntos de toma de muestras en cada una de ellas.

Para el caso de agua cruda se extrajo la muestra del pozo de abastecimiento y sin ningún tipo de tratamiento. Se encontró que todas las plantas disponían de un grifo instalado en la tubería de impulsión inmediatamente en la superficie (nivel del suelo) de cada pozo; dicho grifo fue utilizado como punto de toma de muestra.

Con respecto a la extracción de muestra de agua tratada, cada una de las PTAPs contaban con un grifo adherido a la tubería de distribución inmediatamente después del último proceso de tratamiento correspondiente en cada PTAP; estos grifos en cada una de ellas fue tomado como punto de toma de muestra de agua tratada.

6.3. REVISIÓN HISTÓRICA DE CALIDAD DE AGUA.

Se realizó una recolección de datos históricos disponibles de calidad de agua para cada una de las PTAP's en estudio, dentro de los datos analizados se tuvieron en cuenta los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y plaguicidas.

En cuanto a datos de calidad de agua cruda concerniente a los pozos utilizados como como fuente de abastecimiento en las PTAPs estudiadas, se encontró que no hay evidencia de análisis realizados en estos. Por otra parte, sí se dispone de parámetros fisicoquímicos característicos de las aguas subterráneas en el Valle del Cauca elaborados por la CVC a través del monitoreo de los acuíferos en el departamento, los cuales fueron expresaron en la Tabla 6.

En cuanto a información sobre datos de calidad de agua tratada en las PTAPs se tiene que la Secretaria de Salud Municipal de Cali, dentro de sus funciones, dirige el desarrollo de programas de vigilancia y control del agua para consumo humano en cada uno de los corregimientos ubicados en el Municipio de Cali entre ellos el Hormiguero (Secretaria de Salud Municipal de Cali , 2014). De

dichos controles se dispone de datos de calidad de agua tratada dentro de los que se incluye parámetros fisicoquímicos y microbiológicos los cuales son expresados en la Tabla 15.

Tabla 15. Parámetros medidos en corregimiento el Hormiguero por parte de la Secretaria de Salud Municipal de Santiago de Cali.

• Color	• Acidez	• Hierro
• Turbiedad	• Conductividad	• Calcio
• Alcalinidad	• Sustancias flotantes	• Nitratos NO3
• Dureza total	• Dureza cálcica	• Nitritos NO2
• Cloruros	• Dureza magnésica	• Fosfatos PO4
• Magnesio	• Aluminio 3+	• Coliformes totales
• Cloro residual	• Cobre	• Coliformes fecales
• Solidos totales	• Manganeseo	

6.4. MUESTREO

6.4.1. Muestreo de las PTAPs del corregimiento El Hormiguero

Se realizó un estudio exploratorio con la finalidad de dar un diagnostico aproximado de la calidad de agua de los pozos de abastecimiento y del agua tratada de los acueductos de interés. El número de muestras a tomar y la periodicidad de estas fue determinado de acuerdo con la disponibilidad de recursos del proyecto.

Se realizaron jornadas de muestreo, donde cada jornada para una PTAP consistía en: 1º Tomar una muestra puntual del agua cruda para determinar las características de calidad de esta, antes de ingresar a la planta de tratamiento; y 2º posteriormente con el propósito de identificar la calidad del agua tratada, se realizó una segunda toma de muestra puntual inmediatamente a la salida de la planta, tal como se indicó en la identificación de puntos de muestreo.

A cada planta estudiada se le realizo 3 jornadas de muestreo como la descrita anteriormente, donde la periodicidad entre jornadas fue de un mes. La Tabla 16 presenta las jornadas de muestreo con las fechas de realización de estas en cada una de las PTAP's estudiadas.

Tabla 16 Fechas de toma de muestra en cada una de las PTAP estudiadas.

PTAP	Jornada de muestreo 1		Jornada de muestreo 2		Jornada de muestreo 3	
	Entrada (cruda)	Salida (tratada)	Entrada (cruda)	Salida (tratada)	Entrada (cruda)	Salida (tratada)
Cabecera	26/Marz/2015	26/Marz/2015	27/Abr/2015	27/Abr/2015	14/May/2015	14/May/2015
Cascajal	26/Marz/2015	26/Marz/2015	27/Abr/2015	27/Abr/2015	14/May/2015	14/May/2015
Pailita	02/Jul/2015	02/Jul/2015	25/Ago/2015	25/Ago/2015	16/Sept/2015	16/Sept/2015
Morgan	02/Jul/2015	02/Jul/2015	25/Ago/2015	25/Ago/2015	16/Sept/2015	16/Sept/2015

Como se puede observar en la Tabla 16 las 3 jornadas de muestreo de la cabecera y la vereda Cascajal se realizaron en los meses de marzo, abril y mayo. Una vez terminado el número de

muestras designadas para la cabecera y Cascajal, luego de un mes de receso se arrancó con las muestras de Pailita y Morgan, que se realizaron en los meses de Julio, Agosto y Septiembre.

La toma de muestras se realizó de acuerdo con el manual de instrucciones para toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio (Instituto Nacional de la Salud, 2011) y (APHA *et al.*, 2012) los cuales incluyen en síntesis los protocolos de: recolección; preservación ya sea con adictivos preservantes y/o requerimientos de refrigeración; además del tiempo máximo de análisis de la muestra para cada tipo de análisis.

A cada una de las muestras se le realizó análisis fisicoquímicos, microbiológicos y de los plaguicidas de interés.

6.5. ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

Los análisis de verificación de la calidad del agua correspondiente a parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, se realizó a través de los establecidos en la Resolución 2115 de 2007 para agua tratada y del decreto 1076 de 2015 para el agua cruda destina a potabilización convencional.

El método respectivo utilizado para cada análisis fue seleccionado según los protocolos de los métodos estándar de análisis de aguas según APHA *et al.*, (2012).

La Tabla 17 presenta los parámetros fisicoquímicos analizados en las muestras de agua tomadas en las PTAPs, con sus respectivos métodos de análisis y los valores admisibles de calidad, para fuentes de abastecimiento humano, y para agua potabilizada según la legislación Colombiana.

Es de aclarar que los criterios de calidad determinados por la legislación colombiana (Decreto 1076 de 2015) corresponden a la destinación del recurso, en este caso para consumo humano, y los valores aceptables indican el tipo de tratamiento que se requiere para su potabilización, ya sea tratamiento convencional o solo desinfección. Los sistemas analizados consisten en un tren de tratamiento de aireación, clarificación, filtración y desinfección; que no constituyen las etapas de un tratamiento convencional, por lo tanto, se optó por realizar la evaluación de los parámetros con respecto a los criterios establecidos para los sistemas compuestos solo por desinfección.

Tabla 17 Parámetros fisicoquímicos analizados.

Parámetro	Método	Valor admisible	Valor admisible	Limite detección	Limite cuantificación
		Agua cruda a potabilizar con tratamiento de solo desinfección (Decreto 1076 de 2015)	Agua potable (Resolución 2115 de 2007)		
Ph (Und)	Electrométrico	(6,5 – 8,5)	6,5 – 9,0	N.A	N.A
Color aparente (UPC)	Fotométrico SM2120C	---	< 15	> 0,2	---
Color real (UPC)	Fotométrico SM2120C	< 20	---	> 0,2	---
Turbiedad (NTU/JTU)	Turbidimétrico SM2130B	< (190 / 10)	< 2	> 0,05	---
Conductividad (μS/cm)(25° C)	Electrodo SM2510B	---	< 1000	0,38	< 1,40
Alcalinidad Total (mg/l CaCO3)	Titulación por técnica volumétrica 2300B	---	< 200	> 1,06	<3,90
Acidez (mg/l CaCO3)	Titulometrico 2310	---	< 50	--	---
Dureza Total (mg/l CaCO3)	Titulométrico 2340C	---	< 300	0,455	<1,65
Dureza Cálrica (mg/l CaCO3)	Titulométrico 3500 Ca B	---	---	>0,57	<2,09
Dureza Magnésica (mg/l CaCO3)	Titulométrico 3500 Mg B	---	---	>0,54	<1,99
Solidos Totales (mg/L)	Gravimetrico 2540 B	---	< 500	>10,0	---
Hierro total (mg/L)	Colorimétrico 1,10 fenantrolina 3500 Fe B	---	< 0,3	>0,0767	<0,256
Manganeso (mg/L)	Colorimétrico 2340	---	< 0,1	>0,0228	<0,0759
Aluminio (mg/L)	Fotométrico 3500 Al B	---	< 0,2	>0,0235	<0,0782
Plata (mg/L)	Aire-Acetileno llama 3111 C	< 0,05	---	>0,13	<0,45
Cloruros (mg/L)	Fotométrico análogo 4500 Cl- B	< 250	< 250	4,09	<12,8
Cloro Residual (mg/L)	Colorimétrico 4500 Cl F	---	0,3 – 2,0	>0,1	---
Olor y Sabor (aceptable/no aceptable)	Organoléptico	---	Aceptable	---	----
Sustancias flotantes (presencia / ausencia)	Visual	---	Ausente	---	---
Sulfatos(mg/L)	Pendiente 4500 SO4 -2 E	< 400	< 250	>0,723	<2,41

Nitritos (mg/L)	4500 NO-2 B	< 1,0	< 0,1	>0,00311	<0,0104
Nitratos (mg/L)	Fotométrico 4500 NO-3 B	< 10,0	< 10,0	>0,0910	<0,303
Fosfatos (mg/L)	Determinación de fosfatos en aguas 4500 P E	---	< 0,5	>0,0383	<0,1276

La Tabla 18 presenta los parámetros microbiológicos analizados en las muestras de agua tomadas en las PTAPs, con sus respectivos métodos de análisis y los valores admisibles de calidad, para fuentes de abastecimiento humano y para agua potabilizada según la legislación colombiana.

Tabla 18 Parámetros microbiológicos analizados

Parámetro	Método agua cruda	Método agua potable	Valor admisible	Valor admisible
			Agua cruda a potabilizar con tratamiento de solo desinfección (Decreto 1076 de 2015)	Agua potable (Resolución 2115 de 2007)
Coliformes Totales	Número más probable	Filtración por membrana	< 1000 (microorganismo/100mL)	0 (UFC/100mL)
Coliformes Fecales	Número más probable	---	---	----
E. Coli	---	Filtración por membrana	---	0 (UFC/100mL)
Bacterias Mesófilas	---	Filtración por membrana	---	< 100 (UFC/100mL)

6.6. ANÁLISIS DE PLAGUICIDAS

Se seleccionaron 6 plaguicidas utilizados localmente en el cultivo de la caña de azúcar, de acuerdo con lo reportado por la CVC, CENICAÑA y productos disponibles en el mercado según el ICA para este tipo de cultivo; por otra parte se tuvo en cuenta la disponibilidad de recursos técnicos para la realización de los análisis de los plaguicidas. De acuerdo con lo anterior fueron seleccionados los siguientes plaguicidas: Carbofurano, Diuron, 2-4 D, Glifosato, AMPA y Glufosinato.

En el caso de recolección de muestra para análisis de los plaguicidas Glifosato, Ampa y Glufosinato, además de las recomendaciones mencionadas en los métodos estándar, se filtraron 100 cm³ de muestra a través de un filtro con 0,45 micrómetros con adición de presión, posteriormente se transportó refrigerada y fue congelada hasta el momento de su análisis.

Los métodos utilizados para el análisis de plaguicidas de las muestras de agua recolectadas se describen a continuación:

- **2,4 – D, Carbofurano, y Diuron.**

Se realizó limpieza a un litro de muestra por extracción en fase sólida con cartuchos de C-18 (activación y elución con acetato de etilo). La cuantificación se realizó mediante cromatografía líquida de alta eficiencia en un cromatógrafo LC20AT- Shimadzu, con columna C-18 (4,6 mm diámetro interno, 5µ, 250 mm, Nucleosil 100-5). En las condiciones de análisis de 2,4-D y Diuron se utilizó flujo

isocrático 0.8 mL min⁻¹, fase móvil Acetonitrilo (55%) – Solución acuosa de Ácido acético pH 3.0 (30%) - Agua (15%), la medición fue a una longitud de onda de 254 nm (Diuron) y 280 nm (2,4-D). La fase móvil para la cuantificación del Carbofurano fue acetonitrilo-agua (45:55) con un flujo isocrático de 1 mL min⁻¹, además la detección se realizó a 220 nm.

- **Glifosato, Ampa y Glufosinato**

Los análisis de Glifosato, Ampa y Glufosinato fueron realizados en el Laboratorio de Toxicología de la Universidad de Brasilia (UNB) (Pires, 2015).

La fase móvil se preparó diluyendo 1,36 g de fosfato de potasio (KH₂) (Vetec®) en agua ultrapura en un matraz aforado de 1000 ml (0,010M). El pH de la solución se ajustó a 2,1 con ácido fosfórico (H₃PO₄) (Merck®) usando pH-metro marca AJ Micronal®, modelo AJX-512, con electrodo de vidrio combinado pH / ATC M-201T. Después de la preparación, la solución se filtró a través de una membrana de PTFE 0,45 micrómetros (Millipore) utilizando un sistema de vacío. A continuación, la solución se llevó a ultrasonido Modelo USC - 3300 de marca Unique® durante 15 minutos para eliminar las burbujas. En la solución de fosfato de potasio, la fase móvil contenía 8% de metanol de grado HPLC (pureza 98%; Merck ®), ambos mezclados por el sistema de bombas del cromatógrafo. Al final, la fase móvil era fosfato de potasio 0,010 M (pH 2,1) 92%: de metanol 8% (Pires, 2015).

La cuantificación se realizó mediante cromatografía líquida de alta eficiencia con fluorescencia HPLC-FL Shimadzu®, modelo LC20AT con muestreador automático modelo SIL-20SA, bombas de sistema cuaternario LC, 20AT, horno de columna modelo CTO-20SAC, módulo comunicador CBM-20A, horno de reacción pos columna modelo CRB-6A, y detector de fluorescencia modelo 10AXL conectado a el software LC Solución® (Pires, 2015).

La Tabla 19 muestra en resumen los pesticidas analizados de las muestras de agua tomadas de las PTAPs así como el método respectivo y los valores admisibles según la legislación Colombiana, la cual a su vez es derivada de estudios de toxicidad existentes tal como se indicó en el Marco legal.

Tabla 19. Parámetros de Plaguicidas analizados.

Parámetro	Método	Valor admisible agua potable adoptado según normatividad Colombiana (µg/L)	Límite de detección (µg/L)
Carbofurano	HPLC	< 0,1	<5,33
2 - 4 D	HPLC	< 10	<0,489
Diuron	HPLC	< 10	<0,28
Glifosato	HPLC-FL	< 10	<0,2
Ampe	HPLC-FL	< 10	<0,5
Glufosinato	HPLC-FL	< 10	<0,07

7. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

7.1. DESCRIPCIÓN DE LAS PTAPS DEL CORREGIMIENTO EL HORMIGUERO

Las PTAPs estudiadas son de tipo compacto y fueron diseñadas para tratar agua subterránea con concentraciones moderadas de hierro y manganeso. Tienen en común que fueron construidas bajo un mismo esquema, con componentes y procesos de tratamiento similares; sin embargo, cada una presenta particularidades en la configuración u orden de procesos, capacidad de abastecimiento, presencia de cultivos, operación y mantenimiento.

El proceso de aireación-filtración adoptado por estas PTAPs es recomendado para aguas con alta concentración de hierro (mayor de 5 mg/L) con el fin de disminuir los costos en reactivos. El equipo usado en este proceso incluye comúnmente un aireador, un tanque de retención y filtros. El oxígeno de la atmósfera reacciona con las formas solubles de hierro y manganeso (Fe^{+2} y Mn^{+2}) del agua cruda para producir óxidos relativamente insolubles (Fe^{+3} y Mn^{+4}) de estos elementos. La velocidad de reacción depende del pH de la solución, siendo más rápida a valores de pH altos. Ya que el manganeso tiene una velocidad de oxidación muy lenta vía el O_2 (ac) esta técnica no es muy efectiva para la remoción de Mn^{+2} , excepto a valores de pH mayores de 9.5. Para disminuir las concentraciones de manganeso al nivel deseado se requieren frecuentemente un tiempo de reacción y un tratamiento químico adicionales (Sommerrfeld, 1999).

A continuación se describen cada una de las plantas de abastecimiento a partir de lo observado en reconocimiento de campo y con ayuda de lo reportado en trabajos anteriores en estas PTAPs realizados por (Castillo , 2006), (Salamanca , 2010), (Cuenca & Maya, 2012) y (Urrea, 2004).

7.1.1. Descripción de la PTAP Cabecera

La vereda Cabecera está ubicado en el sur este del corregimiento el Hormiguero, limitando al norte con la vereda Pailita, al oeste con la vereda cascajal, al sur con la vereda cauca viejo y al este con el rio cauca. En esta vereda predomina la ganadería extensiva y agricultura de caña de azúcar (Hurtado , 2015).

La PTAP de Cabecera está ubicada dentro del caserío sobre su calle principal, el pozo está separado de PTAP por una distancia de 50 m y este a su vez está a 10 m de la presencia de cultivos de caña de azúcar y viviendas, las cuales no disponen de alcantarillado. La PTAP abastece 635 viviendas en la Cabecera del corregimiento, con un caudal de 15,13 l/s. Su operación actualmente se realiza con un fontanero y 2 personas encargadas de la parte administrativa.

En la Tabla 20 se presenta las características de los componentes de la PTAP en el orden del proceso de potabilización, desde la captación en el pozo profundo hasta la entrega en la tubería de distribución y en la Tabla 20 se presenta el esquema de esta PTAP.

Tabla 20. Descripción de los componentes de la PTAP Cabecera.

Componente	Descripción
Pozo y bombeo	El agua es captada de un acuífero confinado mediante un pozo profundo, que fue construido en el año 1994, con 276 m de profundidad, 247,5 m de tubería en hierro fundido, y cuenta con 30 m de sello sanitario en concreto de 3000 psi. Usa bomba tipo lapicero con encendido periódico (cada 30 min aprox), la cual actualmente se encuentra a 42 m de profundidad. Su operación es automática de acuerdo al nivel de agua en el tanque de almacenamiento y semestralmente se debe realizar una inspección del equipo de bombeo, inspección que durante el estudio se realizó un mes antes de los muestreos por fallas en este equipo.
Aireación	Torre de aireación ubicada encima del tanque de almacenamiento, se compone de un cilindro de 24" de diámetro por 1,5 m de alto con perforaciones en los costados, utiliza un medio de soporte interno en tubos de pvc de ½" cortados cada 5 cm en forma de niples y en la parte inferior de la torre dispone de una bandeja de recolección del líquido. El agua que es vertida por la tubería de impulsión de la bomba choca con el medio de soporte de la torre de aireación distribuyéndose y facilitando el intercambio de oxígeno con la atmosfera, posteriormente el agua es recolectada en una bandeja al final de la torre e ingresa por tubería al tanque elevado de almacenamiento. La torre de aireación se encuentra expuesta sin techo en la losa del tanque elevado.
Tanque de almacenamiento	Una vez el agua ha sido aireada ingresa en el tanque elevado de 22 m sobre el nivel del suelo, con capacidad de 36 m ³ , construido en concreto reforzado con cubierta y con ventana de inspección. Anteriormente se realizaba pre cloración logrando un tiempo de contacto entre 20 a 25 min, ayudando con esto el proceso de oxidación y precipitación de compuestos previamente aireados; sin embargo, actualmente no se realiza. La operación de llenado de este tanque es automática y como mantenimiento se le debe realizar lavado semestral, el cual según indicaciones del operador se realiza de acuerdo a lo establecido. A partir de este tanque los próximos procesos junto con la red de suministro son presurizados por la carga estática de este.
Tanques de contacto	Una vez el agua baja del tanque de almacenamiento se distribuye en 2 líneas de tratamiento, cada línea se compone de un tanque de contacto, un filtro grueso clarificador y un filtro pulidor. Los tanques de contacto consisten en zonas de alta y baja turbulencia en módulos de flujo cruzado, están contruidos en acero al carbón con 1778 mm de diámetro por 1828,8 mm de altura, internamente el agua ingresa por arriba del tanque y desciende por una tubería interna central de 500 mm de diámetro, luego en la parte inferior el agua asciende por los costados encontrándose con dos módulos de sedimentación acelerada simple y de flujo cruzado, posteriormente el agua sale por la parte de superior en un costado del tanque.
Filtros gruesos de grava de cuarzo	Los filtros gruesos de grava de están contruidos en acero al carbón con 1778 mm de diámetro por 1828,8 mm de altura, internamente contiene 3 capas de grava de cuarzo donde se retiene gran parte de los materiales precipitados en los procesos anteriores por medio de decantación de contacto, por lo que su flujo es de tipo ascendente. Su operación consiste en realizar a diario retrolavado para evitar colmatación y pérdidas de carga.
Filtros pulidores de arena de cuarzo	Los filtros pulidores de arena están contruidos en acero al carbón con 1778 mm de diámetro por 1828,8 mm de altura. Cada filtro Internamente contiene 3 capas de arena donde se realiza el proceso de pulimento y retención de todas las partículas no decantadas en el filtro grueso, El sentido del flujo es de tipo descendente y retrolavado de flujo

	ascendente. Su operación consiste en realizar a diario retrolavado para evitar colmatación y pérdidas de carga.
Cloración	Una vez el agua ha filtrado se recolecta el agua de las dos líneas en una sola tubería donde se realiza la cloración. El proceso de clorado se efectúa con Hipoclorito granulado disuelto en agua, se aplica por medio de un sistema de Venturi instalado al inicio de la tubería de distribución, este es sensible a la cantidad de caudal en la tubería y además graduable para una mayor o menor aplicación de cloro.

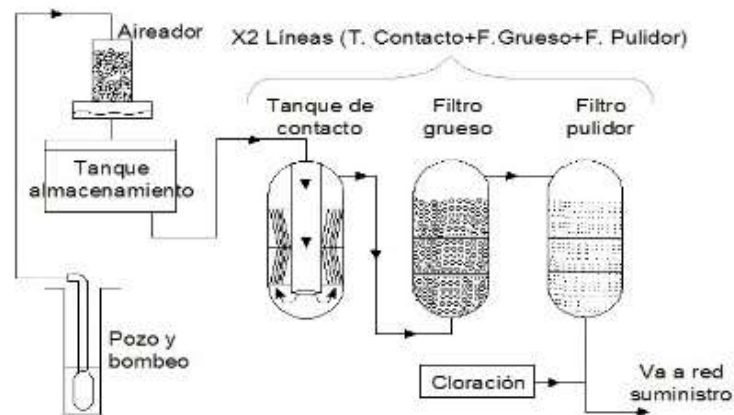


Figura 10. Esquema de la PTAP Cabecera

7.1.2. Descripción de la PTAP Cascajal

La vereda Cascajal está ubicada en el occidente del corregimiento el Hormiguero, limitando al norte con el sector Valle del Lili, al este con la vereda Cabecera, al sur con la vereda cauca viejo y al occidente con el corregimiento la Viga. Dentro del uso del suelo se encuentran algunos predios con área cultivable para frutales, el Hogar Juvenil Campesino (granja con área considerable; cría de pollos, cerdos, gallinas, conejo, ganado, zona de potrero, huerta y zona de cultivos temporal) y caña de azúcar (Hurtado , 2015).

La PTAP de Cascajal se encuentra sobre la calle principal de esta vereda, el pozo está en el mismo predio de la PTAP, este a su vez está a 30 m de la presencia de cultivos de caña de azúcar y a 50 m de viviendas, las cuales no disponen de alcantarillado. La PTAP abastece 287 viviendas de la vereda, con un caudal de 11,5 l/s. Su operación actualmente se realiza con un fontanero y 2 personas encargadas de la parte administrativa.

En la Tabla 21 se presenta las características de los componentes de la PTAP Cascajal en el orden de los procesos de potabilización, desde la captación en el pozo profundo hasta la entrega en la tubería de distribución y en la Figura 11 se presenta el esquema de esta PTAP.

Tabla 21. Descripción de los componentes de la PTAP Cascajal.

Componente	Descripción
Pozo y bombeo	El agua es captada de un acuífero confinado mediante un pozo profundo, que fue construido en el año 1995, con 144 m de profundidad revestido en hierro fundido, y cuenta sello sanitario en concreto. Usa bomba tipo lapicero con encendido discontinuo (cada 30 min aprox) dependiendo del nivel de llenado del tanque, la cual actualmente se encuentra a 36 m de profundidad. Su operación es automática de acuerdo al nivel de agua en el tanque de almacenamiento y semestralmente se debe realizar una inspección del equipo de bombeo, inspección que no fue necesaria debido a que se repuso este equipo aproximadamente 2 meses antes de los muestreos por daño en la bomba.
Aireación	Una vez es extraída el agua del pozo, se conduce por tubería hacia los próximos procesos. En esta tubería se inyecta aire, por medio de un compresor de aire atmosférico convencional, con el propósito de que se efectuó un intercambio de oxígeno entre el agua y el aire inyectado, posteriormente el agua es conducida hacia el tanque de contacto. Este proceso de aireación no se realizó durante toda el periodo evaluado debido fallas del compresor, además de que resulta ser demasiado costoso para el sistema por el consumo de energía eléctrica.
Tanques de contacto	El caudal de agua se divide para 2 líneas de tratamiento, cada línea se compone de un tanque de contacto, un filtro grueso clarificador y un filtro pulidor. Los tanques de contacto consisten en zonas de alta y baja turbulencia en módulos de flujo cruzado, están contruidos en acero al carbón, internamente el agua ingresa por arriba del tanque y desciende por una tubería interna central, luego en la parte inferior el agua asciende por los costados encontrándose con dos módulos de sedimentación acelerada simple y de flujo cruzado, posteriormente el agua sale por la parte de superior en un costado del tanque.
Filtros gruesos de grava de cuarzo	Los filtros gruesos de grava están contruidos en acero al carbón e internamente contiene 3 capas de grava de cuarzo donde se retiene gran parte de los materiales precipitados en los procesos anteriores por medio de decantación y contacto con la grava, su flujo es de tipo ascendente y su operación consiste en realizar a diario retrolavado para evitar colmatación y pérdidas de carga.
Filtros pulidores de arena de cuarzo	Los filtros pulidores de arena están contruidos en acero al carbón. Cada filtro Internamente contiene 3 capas de arena donde se realiza el proceso de pulimento y retención de todas las partículas no decantadas en el filtro grueso, El sentido del flujo es de tipo descendente y retrolavado de flujo ascendente. Su operación consiste en realizar a diario retrolavado para evitar colmatación y pérdidas de carga.
Tanque de almacenamiento	Una vez el agua ha sido filtrada ingresa en el tanque elevado de 16 m sobre el nivel del suelo, con capacidad de 48 m ³ , construido en concreto reforzado con cubierta y con ventana de inspección. La operación de llenado de este tanque es automática y como mantenimiento se le debe realizar lavado cada 15 días, sin embargo se realiza según criterio del operador.
Cloración	La cloración se realiza en el tanque de almacenamiento aplicando Hipoclorito granulado disuelto en agua por medio de una bomba dosificadora graduable. Durante el periodo evaluado la cantidad de cloro aplicado se realizó de manera empírica de acuerdo con el criterio del operador.

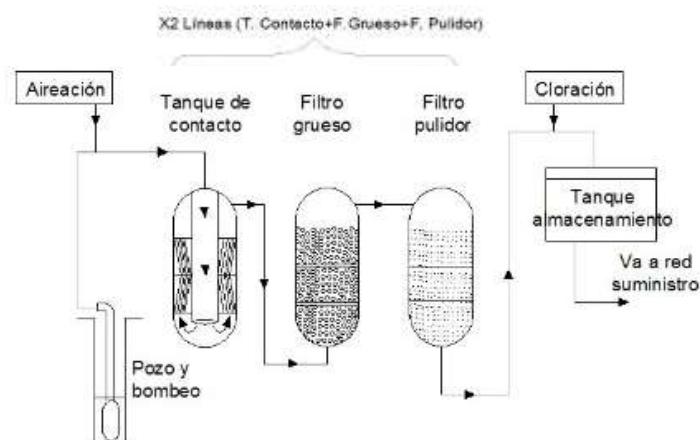


Figura 11. Esquema de la PTAP Cascajal

7.1.3. Descripción de la PTAP Morgan

La vereda Morgan está ubicada en el noreste del corregimiento el Hormiguero, limitando al norte con el corregimiento de Navarro, al este con el río Cauca, al sur con la vereda Pailita y al occidente con el sector Valle del Lili. Dentro del uso del suelo se encuentran instalaciones universitarias, Colegios privados, el Club Cañasgordas, el Centro recreacional Comfandi Valle del Lili y la Correccional para menores; en general cerca de un 30% está ocupado con estas infraestructuras, 65% son cultivos de caña, pastos y sorgo, y el 5% es destinado a vivienda (Hurtado, 2015).

La PTAP de Morgan se encuentra dentro de esta vereda sobre la carretera Hormiguero – Navarro, el pozo está en el mismo predio de la PTAP, este a su vez está a 15 m de la presencia de cultivos de caña de azúcar y a 20 m de viviendas. La PTAP abastece 42 viviendas de la vereda y su operación actualmente se realiza con un fontanero y una persona encargada de la parte administrativa.

En la Tabla 22 se presentan las características de los componentes de la PTAP Morgan en el orden de los procesos de potabilización, desde la captación en el pozo profundo hasta la entrega en la tubería de distribución y en la Figura 12 se presenta el esquema de esta PTAP.

Tabla 22. Descripción de los componentes de la PTAP Morgan.

Componente	Descripción
Pozo y bombeo	El agua es captada de un acuífero libre mediante un pozo construido en el año 1999, con 166 m de profundidad revestido en hierro fundido y cuenta con sello sanitario en concreto. Usa bomba tipo lapicero con encendido periódico, esta bomba actualmente se encuentra a 25 m de profundidad. Su operación es automática de acuerdo al nivel de agua en el tanque de almacenamiento. No se tiene un estándar de mantenimiento de este equipo.
Aireación	Torre de aireación ubicada encima del tanque de almacenamiento, al igual que en Cabecera se compone de un cilindro de fibra de vidrio con perforaciones en los costados, utiliza un medio de soporte interno en tubos de pvc de ½" cortados cada 5 cm en forma de niples y en la parte inferior de la torre dispone de una bandeja de recolección del líquido. El agua que es vertida por la tubería de impulsión de la bomba choca con el medio de soporte de la torre de aireación distribuyéndose y facilitando el intercambio de oxígeno con

	la atmosfera, posteriormente el agua es recolectada en una bandeja al final de la torre e ingresa por tubería al tanque elevado de almacenamiento. La torre de aireación se encuentra expuesta sin techo en la losa del tanque elevado.
Tanque de almacenamiento	Una vez el agua ha sido aireada ingresa en el tanque elevado de 14,15 m sobre el nivel del suelo, con capacidad de 24 m ³ , construido en concreto reforzado con cubierta y con ventana de inspección. La operación de llenado de este tanque es automática y no se tiene un estándar de mantenimiento, sin embargo se realiza lavado según criterio del operador normalmente cada mes. A partir de este tanque los próximos procesos junto con la red de suministro son presurizados por la carga estática de este.
Tanque de contacto	El tanque de contacto consisten en zonas de alta y baja turbulencia en módulos de flujo cruzado, están contruidos en acero al carbón, internamente el agua ingresa por arriba del tanque y desciende por una tubería interna, luego en la parte inferior el agua asciende por los costados encontrándose con módulos de sedimentación acelerada simple y de flujo cruzado, posteriormente el agua sale por la parte de superior en un costado del tanque.
Filtro grueso de grava de cuarzo	El filtro gruesos de grava de está construido en acero al carbón, internamente contiene 3 capas de grava de cuarzo donde se retiene gran parte de los materiales precipitados en los procesos anteriores por medio de decantación y contacto con la grava, siendo su flujo de tipo ascendente. Su operación consiste en realizar a diario retrolavado para evitar colmatación y pérdidas de carga.
Filtro pulidor de arena de cuarzo	El filtro pulidor de arena está construido en acero al carbón, internamente contiene 3 capas de arena donde se realiza el proceso de pulimento y retención de todas las partículas no decantadas en el filtro grueso, El sentido del flujo es de tipo descendente y retrolavado de flujo ascendente. Su operación consiste en realizar a diario retrolavado para evitar colmatación y pérdidas de carga.
Cloración	La cloración se realiza en la tubería de distribución, aplicando Hipoclorito granulado disuelto en agua por medio de una bomba dosificadora graduable. Durante el periodo evaluado no se realizó cloración por fallas en la bomba dosificadora.

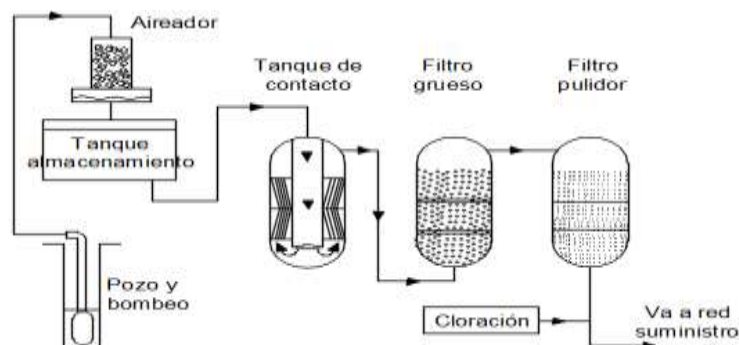


Figura 12. Esquema de la PTAP Morgan y Pailita

7.1.4. Descripción de la PTAP Pailita

La vereda Pailita está ubicada en el este del corregimiento el Hormiguero, limitando al norte con la vereda Morgan, al este con el río Cauca, al sur con la vereda Cabecera y al occidente con el sector Valle del Lili. Dentro del uso del suelo se encuentra el cultivo de caña de azúcar (Hacienda Maraño y Hacienda San Antonio); cultivos temporales de soya, sorgo, mijo y maíz; fincas tradicionales con

árboles frutales, café, plátano y otros cultivos de pan coger; y predios empresariales abandonados (Hurtado , 2015).

La PTAP de Pailita se encuentra sobre la carretera veredal Hormiguero - Navarro, el pozo está en el mismo predio de la PTAP, este a su vez está a 15 m de la presencia de cultivos de caña de azúcar, a 700 m de viviendas y a 150 m del cauce del río Cauca. La PTAP abastece 54 viviendas de la vereda y su operación actualmente se realiza con un fontanero y una persona encargada de la parte administrativa.

En la Tabla 23 se presentan las características de los componentes de la PTAP Pailita en el orden del proceso de potabilización, desde la captación en el pozo profundo hasta la entrega en la tubería de distribución. El esquema de esta PTAP es igual al de Morgan, el cual puede verse en la Figura 12.

Tabla 23. Descripción de los componentes de la PTAP Pailita.

Componente	Descripción
Pozo y bombeo	El agua es captada de un acuífero libre mediante un pozo construido en el año 1980, con 80 m de profundidad revestido en hierro fundido. Usa bomba tipo lapicero con encendido periódico, esta bomba actualmente se encuentra a 18 m de profundidad. Su operación es automática de acuerdo con el nivel de agua en el tanque de almacenamiento, sin embargo en el periodo evaluado el sensor de nivel se encontraba dañado y la operación se realizaba manual. No se tiene un estándar de mantenimiento de este equipo y no se ha hecho mantenimiento recientemente.
Aireación	Torre de aireación ubicada encima del tanque de almacenamiento, al igual que en Cabecera se compone de un cilindro de fibra de vidrio con perforaciones en los costados, utiliza un medio de soporte interno en tubos de pvc de ½" cortados cada 5 cm en forma de niples y en la parte inferior de la torre dispone de una bandeja de recolección del líquido. El agua que es vertida por la tubería de impulsión de la bomba y luego recolectada en la parte inferior por una bandeja e ingresa por tubería al tanque elevado de almacenamiento. La torre de aireación se encuentra expuesta sin techo.
Tanque de almacenamiento	Una vez el agua ha sido aireada ingresa en el tanque elevado de 15,8 m sobre el nivel del suelo, con capacidad de 24 m ³ , construido en concreto reforzado con cubierta y con ventana de inspección. La operación de llenado de este tanque es automática y no se tiene un estándar de mantenimiento, sin embargo se realiza lavado según criterio del operador normalmente cada 3 meses. A partir de este tanque los próximos procesos junto con la red de suministro son presurizados por la carga estática de este.
Tanque de contacto	El tanque de contacto consisten en zonas de alta y baja turbulencia en módulos de flujo cruzado, están contruidos en acero al carbón de 70" de diámetro por 72" de altura, internamente el agua ingresa por arriba del tanque y desciende por una tubería interna, luego en la parte inferior el agua asciende por los costados encontrándose módulos de sedimentación, posteriormente el agua sale por la parte superior en un costado del tanque.
Filtro grueso de grava de cuarzo	El filtro grueso de grava de cuarzo está construido en acero al carbón de 70" de diámetro por 72" de altura, internamente contiene 3 capas de grava de cuarzo donde se retiene gran parte de los materiales precipitados en los procesos anteriores por medio de decantación y contacto con la grava, siendo su flujo de tipo ascendente. Su operación consiste en realizar a diario retrolavado para evitar colmatación y pérdidas de carga.

Componente	Descripción
Filtro pulidor de arena de cuarzo	El filtro pulidor de arena está construido en acero al carbón de 70" de diámetro por 72" de altura, Internamente contiene 3 capas de arena donde se realiza el proceso de pulimento y retención de todas las partículas no decantadas en el filtro grueso, El sentido del flujo es de tipo descendente y retrolavado de flujo ascendente. Su operación consiste en realizar a diario retrolavado para evitar colmatación y pérdidas de carga.
Cloración	La cloración se realiza en la tubería de distribución, aplicando Hipoclorito granulado disuelto en agua por medio de una bomba dosificadora graduable. Durante el periodo evaluado se presentó fallas en la bomba dosificadora causando discontinuidad en la cloración.

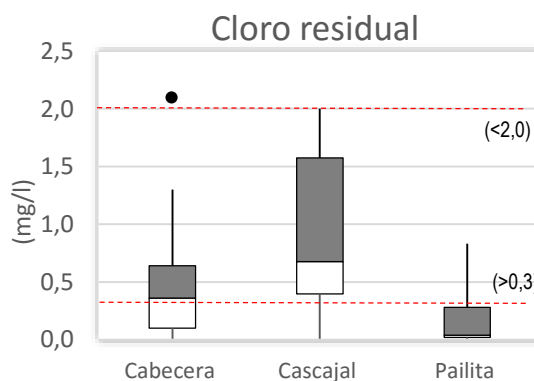
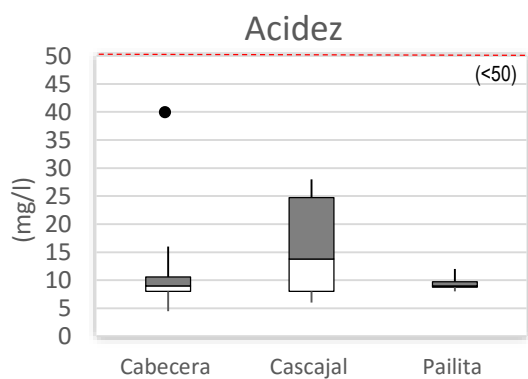
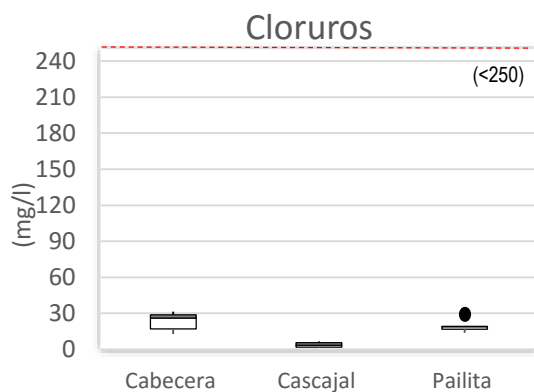
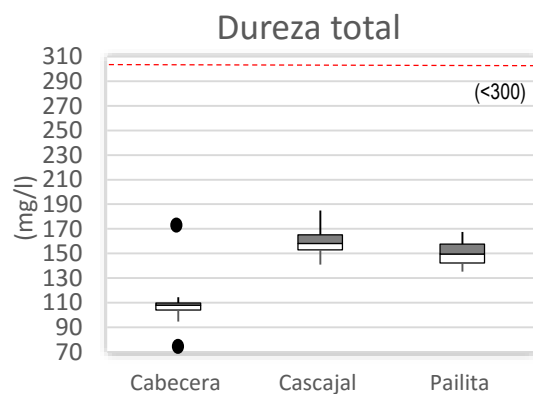
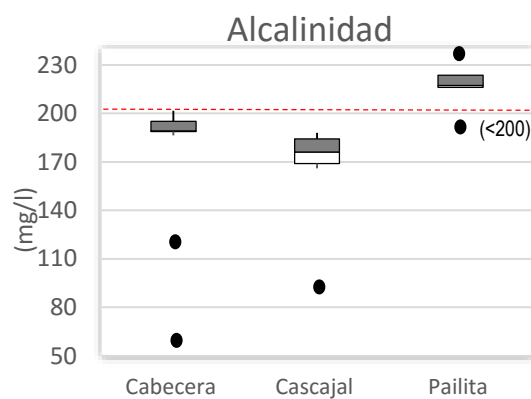
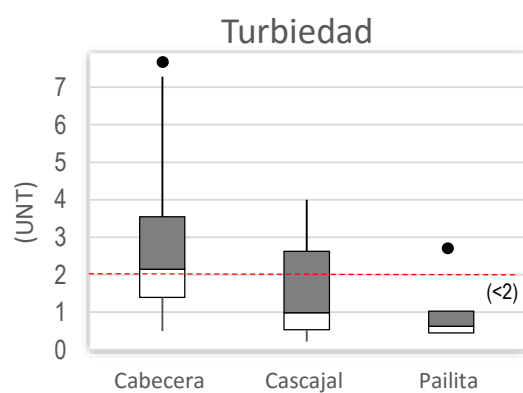
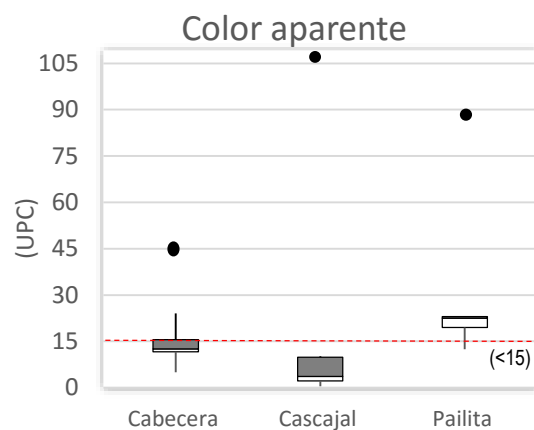
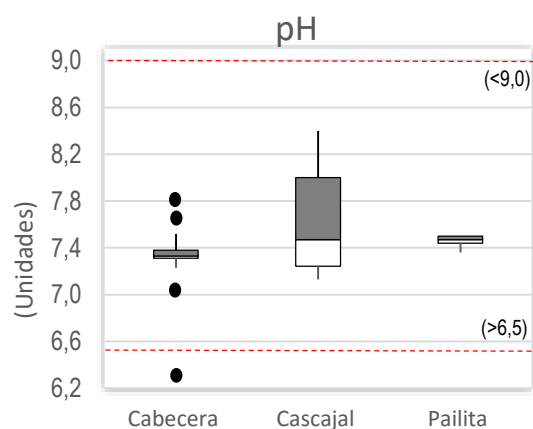
En todas las PTAPs se observa la presencia de Sello sanitario en los pozos, este es la protección sanitaria que tiene el pozo contra la contaminación procedente de la superficie o de acuíferos superiores contaminados. Consiste en aislar las primeras capas atravesadas en la perforación por medio de una lechada de cemento o mortero cuya profundidad puede oscilar entre 20 y 50 m dependiendo de la profundidad del pozo (SENA, 1999).

En ninguna de las PTAP estudiadas se diligencia por parte del operario diariamente un cuaderno de control de las actividades de operación y mantenimiento, y con respecto a Morgan y Palita no se dispone de manuales de operación y mantenimiento.

7.2. REVISIÓN HISTÓRICA DE CALIDAD DE AGUA TRATADA EN LAS PTAP'S

Se encontraron datos históricos proporcionados por Secretaria de Salud Municipal de Cali del monitoreo realizado para el agua tratada de los acueductos de las veredas Cabecera, Cascajal y Pailita en periodos de (2005-2014), (2012-2014) y (2014-2015), respectivamente. En el Anexo 1 se muestran todos los datos históricos de calidad de agua que pudieron ser recolectados y en la Figura 13 se expresan estos mediante diagrama de cajas y bigotes, que expresan los valores medianos, dispersión, máximos, mínimos y datos atípicos de las características de calidad de agua, además de representar gráficamente los valores admisibles para calidad de agua potable.

Estos datos no pueden ser comparados con los resultados de los muestreos realizados en este estudio, debido a que el reporte de estos datos se basa en muestreos realizados por la secretaria de salud en distintos puntos de la red de distribución, por lo cual las posibles alteraciones se podrían estar presentando en la red y no un proceso directo del tratamiento en la planta.



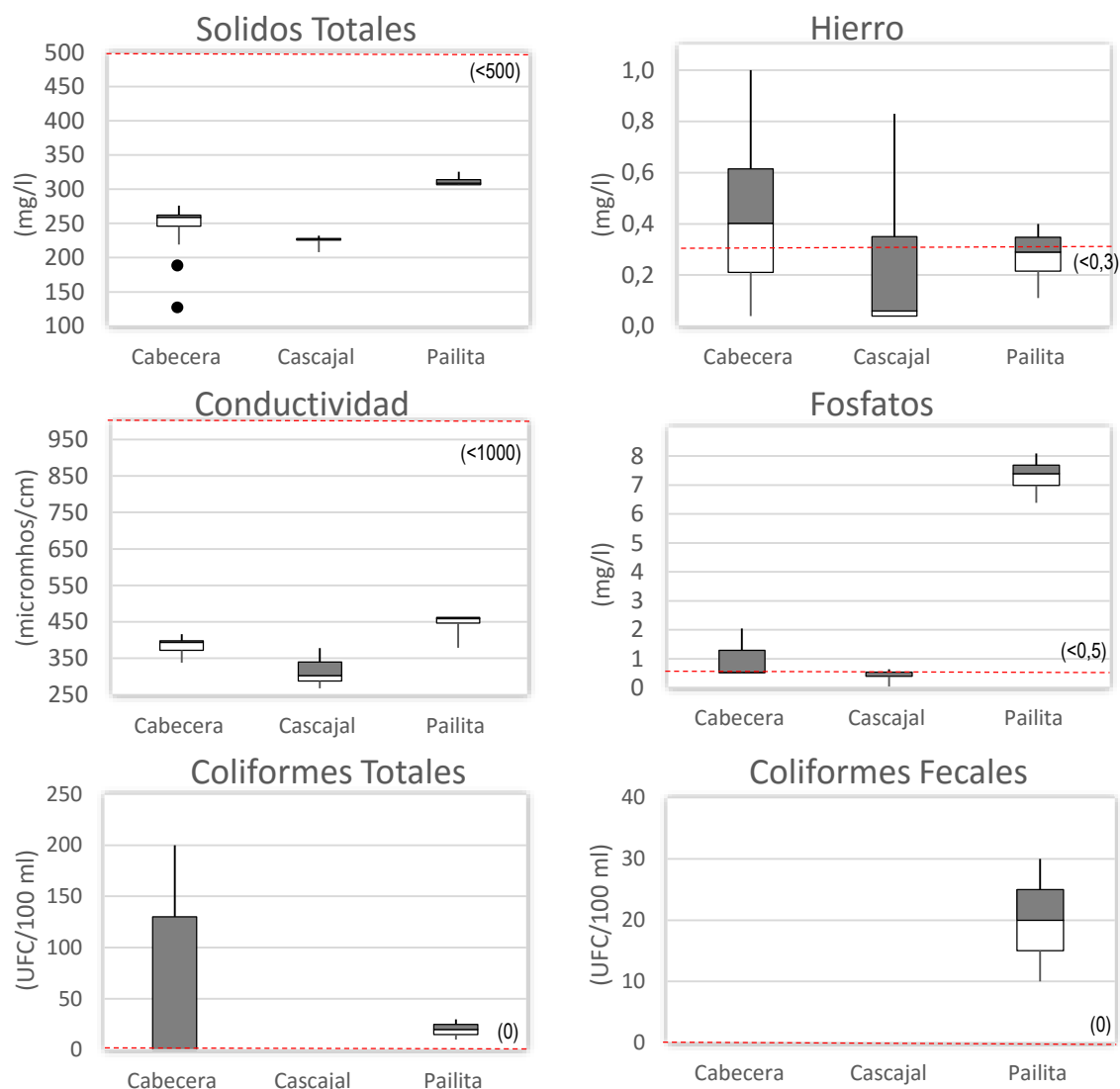


Figura 13. Recopilación histórica de calidad de agua tratada en PTAPs de El Hormiguero
 (---) Limite permisible para agua potable según normatividad colombiana (Resolución 2115 de 2007)

Según la Resolución 2115 de 2007 que regula la calidad de agua tratada para suministro y cuyos valores admisibles se encuentran descritos en la Tabla 17 y Tabla 18 del apartado de metodología, se tiene que todas las plantas analizadas, históricamente han cumplido con dicha norma en cuanto: pH, dureza, cloruros, acidez, solidos totales y conductividad. Sin embargo, no se cumple con la normatividad en cuanto a: color en Cascajal y Pailita; turbiedad en Cascajal; alcalinidad en Pailita; hierro en todas las plantas; manganeso en todas las plantas; fosfatos en Pailita, Coliformes totales en Cabecera y Pailita; y Coliformes fecales en Pailita.

Teniendo en cuenta que son plantas especialmente diseñadas para la remoción de hierro y manganeso era de esperarse el cumplimiento de las concentraciones mínimas de hierro en los resultados históricos; sin embargo, se ha visto que se han presentado inconvenientes con este parámetro debido a una mala operación y/o mantenimiento en los sistemas de aireación y filtros.

La presencia Coliformes totales y fecales en el agua tratada puede estar asociada a la desprotección del acuífero, la presencia de vertimientos de aguas residuales, contaminación difusa y falta de mantenimiento del sistema de tratamiento, sin embargo como las muestras están tomadas en algunos puntos de la red de suministro de cada vereda, puede estar siendo contaminada en las redes. En los resultados históricos, Cabecera y Pailita presentan bajas concentraciones de cloro residual por debajo de la norma, teniendo en cuenta una posible contaminación microbiológica no hay una barrera efectiva que garantice la desinfección de estas aguas en la red y es lo que se ve reflejado en la presencia de Coliformes en el agua para abastecimiento en los puntos de la red.

7.3. RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS Y PLAGUICIDAS ANALIZADOS EN LAS PTAP.

7.3.1. RESULTADOS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS ANALIZADOS

Tabla 24. Resultados de análisis fisicoquímicos realizados.

Parámetro analizado	Jornada de muestreo	PTAP Cabecera		PTAP Cascajal		PTAP Morgan		PTAP Pailita	
		Agua cruda	Agua tratada	Agua cruda	Agua tratada	Agua cruda	Agua tratada	Agua cruda	Agua tratada
pH (UND)	1	7,21	7,36	7,11	7,36	6,97	7,11	6,78	7,11
	2	7,21	7,32	7,22	7,35	6,15	7,19	6,59	7,31
	3	7,04	7,23	7,05	7,24	6,89	6,93	6,49	6,91
Olor y sabor	1	Acept.	Acept.	Acept.	Acept.	Acept.	Acept.	Acept.	Acept.
	2	Acept.	Acept.	Acept.	Acept.	Acept.	Acept.	Acept.	Acept.
	3	Acept.	Acept.	Acept.	Acept.	Acept.	Acept.	Acept.	Acept.
Color real (UPC)	1	10,50	7,20	11,00	4,80	16,40	10,98	42,58*	23,85
	2	13,83	9,09	17,86	9,76	22,26*	9,93	47,39*	26,96
	3	12,81	11,90	17,11	11,22	13,15	6,99	39,77*	22,23
Color aparente (UPC)	1	11,90	9,90	16,40	6,00	23,96	11,05	63,65	23,99*
	2	15,60	11,86	18,57	10,92	25,01	9,93	61,82	27,27*
	3	13,35	13,32	17,89	15,63*	16,33	9,63	52,07	26,02*
Turbiedad (NTU)	1	1,30	2,72*	4,85	0,94	2,68	0,34	8,65	0,68
	2	7,23	2,28*	6,32	1,83	4,54	0,48	8,96	1,83
	3	1,70	0,91	3,30	0,85	1,48	0,28	8,57	0,69
Conductividad (µS/cm)	1	392	389	330	333	389	376	450	438
	2	389	390	324	340	396	399	442	429
	3	388	386	325	333	383	403	435	433
Alcalinidad total (mg/l CaCO ₃)	1	176	164	164	168	189	182	212	156
	2	168	164	160	161	193	178	189	201*
	3	172	168	164	168	185	178	189	185
Dureza total (mg/l CaCO ₃)	1	79,2	79,2	134,8	138,7	133,2	130,9	142,8	152,3
	2	99,6	99,6	166,6	166,6	128,5	128,5	128,5	152,3
	3	104,7	104,7	180,8	166,6	100,1	112,2	109,0	122,1
Dureza cálcica (mg/l CaCO ₃)	1	51,5	47,5	79,2	79,2	76,2	71,4	76,2	66,6
	2	66,6	66,6	90,4	95,2	71,4	80,9	71,4	61,9
	3	61,8	61,8	95,2	95,2	65,4	69,7	69,7	65,4
Dureza magnésica (mg/l CaCO ₃)	1	27,7	31,7	54,8	59,5	57,1	59,5	66,6	85,7
	2	33,0	33,0	76,2	71,4	57,1	47,6	57,1	90,4
	3	42,9	42,9	85,6	71,4	34,7	42,4	39,2	56,6

Sólidos totales (mg/L)	1	272	300	252	204	1183	380	820	630*
	2	733	450	370	280	77	290	240	263
	3	670	416	656	350	540	100	316	133
Cloruros (mg/L)	1	13,7	13,7	<12,8	<12,8	<12,8	<12,8	<12,8	<12,8
	2	<12,8	13,7	<12,8	<12,8	<12,8	<12,8	<12,8	13,6
	3	<12,8	13,7	<12,8	<12,8	<12,8	<12,8	<12,8	<12,8
Hierro (mg/L)	1	0,526	0,362*	0,934	0,370*	3,259	0,214	0,973	0,132
	2	0,272	0,282	0,971	0,512*	0,391	<0,050	2,370	0,102
	3	0,246	0,502*	1,110	0,892*	0,301	0,064	2,045	0,072
Manganeso (mg/L)	1	0,171	<0,031	0,839	0,325*	0,175	0,074	0,133	<0,031
	2	0,114	<0,024	0,367	0,347*	0,129	<0,012	0,203	0,066
	3	0,102	0,375*	0,287	0,210*	0,094	0,011	0,196	0,025
Plata (mg/L)	1	<0,173	<0,173	<0,173	<0,173	<0,065	<0,065	<0,065	<0,065
	2	<0,021	0,062	0,024	<0,021	<0,210	<0,210	<0,210	<0,210
	3	<0,020	<0,020	<0,020	<0,020	<0,210	<0,210	<0,210	<0,210
Aluminio (mg/L)	1	<0,019	<0,019	<0,019	<0,019	<0,019	<0,019	<0,019	<0,019
	2	<0,019	<0,019	<0,019	<0,019	<0,019	<0,019	<0,019	<0,019
	3	<0,019	<0,019	<0,019	<0,019	<0,019	<0,019	<0,019	<0,019
Sulfatos (mg/L)	1	8,01	4,20	<2,80	<2,80	<2,80	<2,80	4,65	3,81
	2	<2,80	3,81	<2,80	<2,80	3,81	4,65	<2,80	<2,80
	3	5,91	3,81	5,07	<2,80	3,39	4,65	<2,80	<2,80
Cloro residual (mg/L)	1	---	0,3	---	0,3	---	<0,1*	---	<0,1*
	2	---	0,9	---	<0,1*	---	<0,1*	---	0,6
	3	---	0,9	---	1,2	---	<0,1*	---	<0,1*

(*) Valor que excede el límite permitido por la normatividad colombiana de calidad de agua cruda (decreto 1076 de 2015 Artículo 2.2.3.3.9.4) y agua tratada (resolución 2115 de 2007)

(<) Valor por debajo del límite de detección indicado.

Nota: Cada jornada de muestreo consiste en: 1 muestra puntual del agua cruda tomada en el pozo y 1 muestra puntual agua tratada tomada a la salida de la PTAP. A cada PTAP se le realizó 1 jornada de muestreo mensual durante 3 meses.

Tabla 25. Resultados de análisis fisicoquímicos realizados con nutrientes.

Parámetro	Muestreo	Cabecera		Cascajal		Morgan		Pailita	
		Entrada	Salida	Entrada	salida	Entrada	salida	Entrada	Salida
Nitratos (mg/L)	1	1,69	3,53	1,13	0,60	5,32	8,37	1,91	6,34
	2	1,85	4,39	1,39	1,87	3,20	7,94	7,60	9,20
	3	2,56	3,09	1,71	0,09	6,20	6,19	2,50	6,98
Nitritos (mg/L)	1	<0,011	<0,011	<0,011	<0,011	<0,0033	0,196*	0,013	0,006
	2	<0,003	<0,003	<0,003	0,005	0,0207	0,0181	0,019	0,031
	3	0,124	0,034	0,026	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,004
Fosfatos (mg/L)	1	1,70	1,61*	0,66	0,45	6,26	5,87*	2,10	2,21*
	2	1,77	1,68*	0,63	0,48	1,93	2,06*	5,32	5,46*
	3	1,81	1,76*	0,67	0,70*	2,70	2,00*	6,15	5,11*

(*) Valor que excede el límite permitido por la normatividad colombiana de calidad de agua cruda (decreto 1076 de 2015 Artículo 2.2.3.3.9.4) y agua tratada (resolución 2115 de 2007)

(<) Valor por debajo del límite de detección indicado.

Nota: Cada jornada de muestreo consiste en: 1 muestra puntual del agua cruda tomada en el pozo y 1 muestra puntual agua tratada tomada a la salida de la PTAP. A cada PTAP se le realizó 1 jornada de muestreo mensual durante 3 meses.

7.3.2. Resultados de parámetros microbiológicos analizados

Tabla 26. Resultados de análisis microbiológicos realizados.

Parámetro	Muestreo	Cabecera		Cascajal		Morgan		Pailita	
		Entrada	salida	Entrada	salida	Entrada	salida	Entrada	salida
Coliformes totales agua cruda (NMP/100 mL)	1	140	---	170	---	1100*	---	2200*	---
	2	1300*	---	20	---	700	---	9200*	---
	3	20	---	220	---	40	---	170	---
Coliformes fecales agua cruda (NMP/100 mL)	1	18	---	40	---	270	---	400	---
	2	490	---	20	---	230	---	1700	---
	3	20	---	110	---	20	---	100	---
Coliformes totales agua tratada (UFC/100 mL)	1	---	0	---	0	---	99*	---	154*
	2	---	0	---	5*	---	78*	---	97*
	3	---	0	---	2*	---	29*	---	20*
E. Coli (UFC/100 mL)	1	---	0	---	0	---	15*	---	25*
	2	---	0	---	0	---	11*	---	13*
	3	---	0	---	0	---	3*	---	2*
Bacterias Mesófilas (UFC/100 mL)	1	---	17	---	2	---	201*	---	293*
	2	---	2	---	35	---	220*	---	280*
	3	---	2	---	22	---	180*	---	170*

(*) Valor que excede el límite permitido por la normatividad colombiana de calidad de agua cruda (decreto 1076 de 2015 Artículo 2.2.3.3.9.4) y agua tratada (resolución 2115 de 2007)

(<) Valor por debajo del límite de detección indicado.

Nota: Cada jornada de muestreo consiste en: 1 muestra puntual del agua cruda tomada en el pozo y 1 muestra puntual agua tratada tomada a la salida de la PTAP. A cada PTAP se le realizó 1 jornada de muestreo mensual durante 3 meses.

7.3.3. Resultados de plaguicidas analizados

Tabla 27. Resultados de plaguicidas analizados

Parámetro	Muestreo	Cabecera		Cascajal		Morgan		Pailita	
		Entrada	salida	Entrada	salida	Entrada	salida	Entrada	salida
AMPA (µg/L)	1	<0,5	2,68*	2,19*	<0,5	<0,5	<0,5	0,8*	<0,5
	2	<0,5	1,73*	1,33*	1,55*	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	3	<0,5	<0,5	<0,5	1,69*	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Glufosinato (µg/L)	1	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
	2	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
	3	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
Glifosato (µg/L)	1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	2	<0,2	<0,2	1,58*	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
2,4-D (µg/L)	1	<0,48	<0,48	<0,48	<0,48	<0,48	<0,48	<0,48	<0,48
	2	<0,48	<0,48	<0,48	<0,48	<0,48	<0,48	<0,48	<0,48
	3	<0,48	<0,48	1,43*	<0,48	<0,48	<0,48	<0,48	<0,48
Diuron (µg/L)	1	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28
	2	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28
	3	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28	<0,28
Carbofurano (µg/L)	1	<5,33	<5,33	<5,33	<5,33	<5,33	<5,33	<5,33	<5,33
	2	<5,33	<5,33	<5,33	<5,33	<5,33	<5,33	<5,33	<5,33
	3	<5,33	<5,33	<5,33	<5,33	<5,33	<5,33	<5,33	<5,33

(*) Resultado donde se detectó presencia del herbicida correspondiente

7.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE AGUA CRUDA EN LAS PTAP

Los siguientes parámetros analizados fueron los de mayor relevancia en cuanto a los resultados obtenidos anteriormente.

- **Turbiedad**

Las aguas subterráneas normalmente, debido a su cofiltración natural en los acuíferos, presentan muy bajos niveles de turbiedad, es incolora y sin materia en suspensión (SENA, 1999). Según lo observado en los resultados se están presentando turbiedades altas en todas las aguas crudas, lo cual no es común para aguas subterráneas, y más se lo compara con el rango característico para los acuíferos del Valle del Cauca elaborado por la CVC y que establece es de menos de 0.1 UNT.

Los problemas de turbiedad alta en los pozos profundos normalmente pueden estar relacionados con el deterioro o el cumplimiento de la vida útil del pozo, por lo cual, sería necesario un estudio más exhaustivo con el fin de determinar el estado estos o de los factores que pueden estar ocasionando estos niveles de turbiedad que no son normales en el agua subterránea.

Adicionalmente se evidencia que el pozo con mayor tiempo de construido, que es Pailita (1980), presentó las concentraciones más altas de turbiedad (8,57 – 8,96 UNT) con relación a las muestras de los otros pozos.

- **Color real**

En la segunda jornada realizada en Morgan y en las tres realizadas en Pailita el agua cruda sobrepasó el límite establecido por el decreto 1076 de 2015 artículo 2.2.3.3.9.4. Como se dijo anteriormente las aguas subterráneas por lo general son incoloras, aunque esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella.

Según la Organización Panamericana de la Salud (2002), se considera que el color natural del agua, excluyendo el que resulta de descargas industriales, puede originarse por la presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos.

Para las muestras realizadas en Pailita, los niveles altos de turbiedad coinciden con estos niveles altos de Color y Hierro, comparando este último parámetro con la caracterización realizada por la CVC (Tabla 4).

Para la muestra realizada en Morgan este valor alto de Color que sobrepasa lo establecido en la norma, coincide con un valor alto de turbiedad, mientras que los parámetros de Hierro y Manganeso se encuentran en rango normales al compararlos con la caracterización realizada por la CVC (Tabla 4).

- **Sólidos totales**

La CVC estableció un rango característico para este parámetro entre 15 y 500 mg/l, hallándose agua cruda con concentraciones superiores en todas las PTAPs en los muestreos realizados, esto está relacionado con los problemas de turbiedad, color, hierro mencionados anteriormente.

- **Hierro total**

Para este parámetro, los muestreos realizados en Cabecera estuvieron en el rango característico determinado por la CVC (Tabla 4), mientras que los muestreos realizados en Cascajal, Morgan y Pailita tuvieron valores por encima de este rango característico, esto influye directamente en los parámetros anteriormente mencionados de color y turbiedad.

Los principales problemas asociados al Hierro y Manganese son: la incrustación y obstrucción de las tuberías, válvulas y medidores, aparición de manchas en la ropa, en los aparatos sanitarios, coloración del agua de amarillo a café oscuro, incidencia en el incremento de la turbiedad e interferencia en los procesos industriales. Estos factores disminuyen la vida útil de los pozos, incrementan los costos de operación y mantenimiento, aumentan la fricción en las líneas de distribución, hacen que las bombas consuman más energía y lo más importante es que generan poca aceptación del agua por parte de la comunidad (Marin, 2011).

- **Nitratos**

Los Nitratos se caracterizan en estos acuíferos entre 0 a 1,2 mg/l NO_3^- según la CVC, sin embargo en cabecera se encontró concentraciones por encima de este rango, con una concentración mínima de 1,69 mg/l NO_3^- y máxima de 2,56 mg/l NO_3^- .

Para Cascajal en los muestreos realizados se obtuvo una concentración mínima de 1,13 mg/l NO_3^- y máxima de 1,71 mg/l NO_3^- , estos muestreos fueron los que más cercanos al rango de la CVC se encontraron.

En Morgan los muestreos realizados dieron como resultado una concentración mínima de 3,20 mg/l NO_3^- y máxima de 6,20 mg/l NO_3^- .

En Pailita los muestreos realizados dieron como resultado una concentración mínima de 1,91 mg/l NO_3^- y máxima de 7,60 mg/l NO_3^- .

Los muestreos realizados en Morgan y Pailita fueron los que presentaron mayores niveles de Nitratos, este parámetro es de gran interés debido a que usualmente son producto de la descomposición de excretas humanas o animales que pueden llegar a los acuíferos procedentes de sistemas de disposición de agua residuales domésticas en el suelo como tanques sépticos, letrinas y fugas del alcantarillado sanitario principalmente. Producen corrosión y en altas concentraciones provoca CIANOSIS en los niños que puede llegar a ser mortal (SENA, 1999).

Por otro lado, en la realización de la etapa de reconocimiento en estas plantas (Morgan y Pailita) fue donde se observó una mayor intensidad agrícola.

La producción agropecuaria tiene unos profundos efectos en el medio ambiente en conjunto. Son la principal fuente de contaminación del agua por nitratos, fosfatos y plaguicidas (Gonzales, 2011).

El problema ambiental más importante relativo al ciclo del N, es la acumulación de nitratos en el subsuelo que, por lixiviación, pueden incorporarse a las aguas subterráneas (Gonzales, 2011).

El nitrógeno es uno de los principales contaminantes de las aguas subterráneas. Es conocido que las plantas aprovechan únicamente un 50% del nitrógeno aportado en el abonado, esto supone que el exceso de nitrógeno se pierde, generalmente lavado del suelo por el agua que se filtra al subsuelo, siendo arrastrado hacia los acuíferos, ríos y embalses, contaminando, por tanto, las aguas destinadas a consumo humano. De hecho, en muchos trabajos de investigación se ha concluido que el principal factor responsable de la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos es la agricultura (Gonzales, 2011).

- **Contaminación microbiológica**

Se encontró presencia de Coliformes totales y fecales en el agua cruda en los tres muestreos para las 4 plantas analizadas, aunque Cascajal a diferencia de las otras tres plantas no presento ninguno de los tres muestreos por encima del límite permisible por la norma, las aguas subterráneas están generalmente exentas de microorganismos por la falta de oxígeno y nutrientes. Sin embargo, estas pueden llegar a contaminarse por la actividad humana en la superficie del terreno si existen grietas en la zona no saturada del suelo que permitan que sustancias contaminantes, depositadas en el suelo, penetren a los acuíferos a través de ellas. Esta contaminación también pueden producirse por la boca del pozo, por el filtro de grava colocado a su alrededor cuando no ha sido bien protegido en la superficie, por la ausencia del sello sanitario o durante el mantenimiento del pozo y la instalación de la bomba (SENA, 1999).

La presencia recurrente en los muestreos realizados de estos indicadores microbiológicos, sugiere la realización de un estudio específico que permita determinar con certeza la contaminación del pozo y las posibles causas de esta contaminación, debido a que la presencia de Coliformes fecales indica que el agua del pozo está contaminada con excrementos o desechos de alcantarillados y tienen el potencial de causar enfermedades (North Carolina Public Health, 2009).

7.4.1. Clasificación de calidad según criterios regionales de la CVC

Según los resultados obtenidos y realizando el análisis para determinar la calidad del agua subterránea en las PTAP's evaluadas, con base en la metodología desarrollada por la CVC que se puede observar en el apartado 5.1.3 y en la cual se consideran los parámetros de conductividad, dureza, hierro y manganeso; se clasificaron las aguas que abastecen estas PTAP's. La Tabla 28 muestra la clasificación de calidad de las aguas crudas según la CVC.

Tabla 28. Clasificación de calidad del agua cruda de las PTAP's del Hormiguero según la metodología de la CVC y los muestreos realizados.

Jornada de muestreo	PTAP Cabecera	PTAP Cascajal	PTAP Morgan	PTAP Pailita
1	Clase 3 (Buena)	Clase 4 (Regular)	Clase 4 (Regular)	Clase 4 (Regular)
2	Clase 2 (Muy buena)	Clase 4 (Regular)	Clase 3 (Buena)	Clase 4 (Regular)
3	Clase 2 (Muy buena)	Clase 4 (Regular)	Clase 2 (Muy buena)	Clase 4 (Regular)

Se debe considerar que en esta categorización no se tienen en cuenta parámetros importantes en la realización del tratamiento de potabilización, como por ejemplo microbiológicos o de turbiedad, esto debido a que no fueron considerados como factores limitantes de tratamiento de las PTAPs que se abastecen de acuíferos en el Valle del Cauca; sin embargo, esta clasificación es importante debido a que estas PTAPs están concebidas principalmente para la remoción de Hierro y Manganeseo, el cual es un factor determinante en esta clasificación.

7.4.2. Clasificación de calidad según metodología por el RAS 2000 título C

Realizando el análisis para determinar el nivel de calidad de acuerdo al grado de polución en las fuentes de las PTAPs evaluadas, con base en la Tabla C.2.1 “Calidad en la fuente” del RAS, en el cual se consideraron los parámetros de pH, Coliformes totales, Turbiedad, Color verdadero, Cloruros, Gusto y olor, se clasificaron las aguas que abastecen estas PTAPs. La Tabla 29 muestra la clasificación de calidad de las aguas crudas según el RAS.

Tabla 29. Clasificación de calidad del agua cruda de las PTAPs del Hormiguero según la metodología del RAS y los muestreos realizados.

Jornada de muestreo	PTAP Cabecera	PTAP Cascajal	PTAP Morgan	PTAP Pailita
1	2. regular	2. regular	3. deficiente	4. Muy deficiente
2	3. deficiente	2. regular	3. deficiente	4. Muy deficiente
3	2. regular	2. regular	2. regular	3. deficiente

Aunque la clasificación de calidad de la CVC es interesante desde el punto de vista que acoge el hierro y manganeso como factores determinantes para la clasificación de la calidad de la fuente, se considera que la clasificación de calidad realizada a partir de la metodología del RAS representa mejor la calidad de las fuentes de las PTAPs del corregimiento el Hormiguero, debido a que estas fuentes de acuerdo a los resultados obtenidos y como se mencionó anteriormente, presentan parámetros que están por fuera de los rangos característicos de las aguas subterráneas regionales del Valle.

Por lo tanto parámetros como Coliformes totales y turbiedad, que estuvieron en concentraciones altas en las fuentes de estas PTAPs y los cuales fueron tenidos en cuenta por el RAS, resultan cruciales para la clasificación de calidad de estas fuentes.

7.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE AGUA TRATADA EN LAS PTAPS

Según los resultados de agua tratada y la norma colombiana de agua potable, regida por la Resolución 2115 de 2007, se encontraron problemas de calidad de agua en cuanto a los siguientes parámetros:

- **Hierro**

De los tres muestreos realizados para las cuatro plantas, Cabecera y Cascajal fueron las que sobrepasaron los límites establecidos por la norma para agua potable.

➤ **Cabecera**

Para el primer muestreo realizado en esta planta se tuvo una remoción baja de hierro (27%), considerando que esta planta está diseñada con el fin de remover este tipo de parámetros, los otros dos muestreos realizados en esta planta, arrojaron resultados de hierro que estuvieron por encima de los valores de entrada, lo cual es algo atípico, esto podría deberse a una colmatación de la línea de filtración que esté alterando estos parámetros de salida, para poder tener un análisis más preciso del funcionamiento y en qué punto se podrían estar alterando los parámetros, sería necesario la realización de un estudio que permita con un mayor número de muestras determinar con certeza las causas de estos valores atípicos.

Cabe resaltar que esta planta es la que tiene menores concentraciones de hierro a la entrada, en relación con los muestreos realizados en las demás plantas.

➤ **Cascajal**

En el primer muestreo realizado se obtuvo un porcentaje de remoción del 60%, de 47% y 19% para el muestreo 2 y 3 respectivamente, en estos tres muestreos se estuvo por encima del límite permisible (0,3mg/L), los problemas de remoción en esta planta podrían estar asociados directamente a la falta del proceso de aireación, que permite precipitar el hierro por medio de la oxidación con el oxígeno, ya que como se mencionó en la descripción de esta planta, durante los muestreos realizados no se contaba con ningún dispositivo para este proceso en la línea de tratamiento.

➤ **Morgan**

En el primer muestreo realizado se obtuvo un porcentaje de remoción del 93%, en el segundo muestreo el porcentaje estuvo por encima del 87% no se pudo determinar el porcentaje real debido a que la concentración a la salida fue menor que el límite de detección (<0,050), para el tercer muestreo realizado se obtuvo un porcentaje de remoción del 78%, con estos porcentajes de remoción se cumplió con la normatividad vigente (<0,3 mg/L) para estas muestras analizadas.

➤ **Pailita**

En el primer muestreo realizado se obtuvo un porcentaje de remoción del 86%, de 95% y 96% para el muestreo 2 y 3 respectivamente, esta planta fue la que mejores porcentajes de remoción obtuvo, aun cuando presentó las mayores concentraciones de hierro en la fuente en los tres muestreos realizados.

- **Color aparente**

Para este parámetro de los tres muestreos realizados en las 4 plantas, el muestreo 3 realizado en Cascajal estuvo por encima del límite permisible, al igual que los tres muestreos realizados en la planta de Pailita.

En Pailita este parámetro podría no estar asociado con el hierro, debido a que los porcentajes de remoción como se mencionó anteriormente fueron los mejores y las concentraciones a la salida de hierro cumplieron con la normatividad, por lo cual es posible que este parámetro se esté viendo afectado por compuesto de naturaleza orgánica, también considerando que esta planta se abastece de un acuífero que no es confinado y esto permite que haya una mayor exposición a la contaminación difusa. Sumado a esto, los datos históricos muestran que el color en la mayoría de los reportes ha sobrepasado el límite permitido.

En Cascajal debido a los resultados obtenidos en la remoción de hierro, y que el color solo se encontró por encima en uno de los muestreos, no se cuenta con un número de muestras que permitan identificar una correlación en la alteración de este parámetro.

- **Manganeso**

De los tres muestreos realizados para las cuatro plantas, Cabecera y Cascajal fueron las que sobrepasaron los límites establecidos por la norma para agua potable, Cabecera en el tercer muestreo y Cascajal en todos.

- **Cabecera**

En el tercer muestreo que se realizó en esta planta se halló una concentración atípica, debido que a la salida la concentración estuvo mayor que la de entrada, coincidentemente esto se relaciona con los resultados obtenidos para hierro en esta planta, ya que también las concentraciones de salida estuvieron más altas que las de entradas para dos muestreos, como se dijo anteriormente esta alteración podría deberse a una colmatación de la línea de filtración.

- **Cascajal**

En esta planta en los tres muestreos se estuvo por encima del límite permitido, los porcentajes de remoción fueron 61%, 11% y 26% respectivamente, este parámetro se podría estar viendo afectado por la falta del proceso de aireación, adicionalmente como plantea (CYTED, 2004), el manganeso tiene una velocidad de oxidación muy lenta vía el O₂ (ac) esta técnica no es muy efectiva para la remoción de Mn⁺², excepto a valores de pH mayores de 9,5. Para disminuir las concentraciones de manganeso al nivel deseado se requieren frecuentemente un tiempo de reacción y un tratamiento químico adicionales (Sommerfeld, 1999).

- **Nutrientes**

En la planta de **Morgan** en el primer muestreo realizado se encontró que los **Nitritos** estuvieron por encima del límite permisible (0,1 mg/L). Los nitritos producen la transformación de la hemoglobina a metahemoglobina. La hemoglobina se encarga del transporte del oxígeno a través de los vasos sanguíneos y capilares, pero la metahemoglobina no es capaz de captar y ceder oxígeno de forma funcional. La cantidad normal de metahemoglobina no excede el 2%. Entre el 5 y el 10% se

manifiestan los primeros signos de cianosis. Entre el 10 y el 20% se aprecia una insuficiencia de oxigenación muscular y por encima del 50% puede llegar a ser mortal.

Una vez formados los nitritos, pueden reaccionar con las aminas, sustancias ampliamente presentes en nuestro organismo, originando las nitrosaminas, un tipo de compuestos sobre cuya acción cancerígena no existen dudas. En las experiencias de laboratorio se ha comprobado que alrededor del 75 % de ellas pueden originar cánceres hepáticos y, aunque con menor frecuencia, también de pulmón, estómago, riñones, esófago y páncreas. También se ha podido comprobar que existe una correlación directa entre el consumo de alimentos o aguas con exceso de nitratos y los cánceres gástricos y entre el trabajo en las fábricas de abonos químicos y dichos cánceres (Gonzales, 2011).

Los valores de **Nitratos** estuvieron altos al compararlos con los niveles característicos establecidos por la CVC en las plantas de Cabecera, Cascajal y Pailita en los tres muestreos realizados, esto es de gran importancia debido a que estas plantas no cuentan con la capacidad de remoción de este tipo de parámetros y por lo contrario en lo observado en los resultados, las concentraciones de salida estuvieron más altas que las concentraciones de entrada, sería relevante estudiar este problema para determinar con certeza este fenómeno del aumento de concentración en la línea de tratamiento.

Para **Fosfatos** en las plantas de Cabecera, Morgan y Pailita en los tres muestreos realizados se sobrepasó el límite permisible ($<0,5\text{mg/L}$), para Cascajal solo el muestreo 3 sobrepasó el límite, este parámetro es de gran importancia debido a que según el artículo 7 del Decreto 2115 de 2007 es uno de los compuestos químicos que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud.

Según el análisis de los nutrientes y al compararlo con la caracterización de los acuíferos realizada por la CVC y por los rangos permisibles en la norma, se podría sugerir la realización de un estudio más extenso que pueda afirmar con certeza que las prácticas de agricultura (Caña de azúcar), están incidiendo en la calidad del agua, como se puede observar en los muestreos realizados en este estudio.

- **Parámetros microbiológicos**

En las plantas de Morgan y Pailita en los tres muestreos realizados se encontró presencia de **Coliformes totales** parámetro, en Cascajal se presentó en el muestreo 2 y 3, mientras que en cabecera no se encontró presencia, eso es coherente debido que durante la fase de muestreos en las plantas de Morgan y Pailita al momento de recolectar las muestras, los sistemas de cloración no estaban en funcionamiento debido a problemas técnicos, mientras que en Cascajal la cloración se realiza pero sin tener el conocimiento de la demanda real que se necesita, lo cual se puede ver reflejado en los resultados de cloro residual, los cuales en el muestreo 2 estuvieron por debajo del límite permisible ($<0,1$), el muestreo 1 tuvo un valor de $0,3\text{ mg/L}$ y el muestreo 3 un valor de $1,2\text{ mg/L}$ reflejando una variabilidad en la operación.

E.coli se presentó en las plantas de Morgan y Pailita en los tres muestreos realizados, esto como se dijo anteriormente se atribuye a la falta de cloración.

Bacterias Mesófilas se encontró en las 4 plantas en los tres muestreos realizados, con valores muy superiores en las plantas de Morgan y Pailita superando la normatividad (UFC/100mL).

El mayor riesgo microbiano del agua es el relacionado con el consumo de agua contaminada con excrementos humanos o animales, aunque puede haber otras fuentes y vías de exposición significativas.

Los riesgos para la salud relacionados con el agua de consumo más comunes y extendidos son las enfermedades infecciosas ocasionadas por agentes patógenos como bacterias, virus y parásitos (por ejemplo, protozoos y helmintos). La carga para la salud pública es función de la gravedad de la enfermedad o enfermedades relacionadas con los agentes patógenos, de su infectividad y de la población expuesta (OMS, 2006).

- **Cloración**

El **cloro residual** se encontró por debajo del rango de la norma (0,3 – 2 mg/l Cl_2) en Morgan y Pailita, en estos dos últimos el resultado está ligado a que los sistemas de dosificación de cloro presentaron fallas durante el periodo los muestreos realizados. En cuanto a cabecera y cascajal, la dosis de cloro aunque en algunas muestras cumple con los valores indicados, se considera que las concentraciones de cloro residual son muy bajas, aun cuando se encuentren dentro de lo reglamentario, teniendo en cuenta que las muestras son tomadas inmediatamente a la salida de la planta y que aun el agua tiene que ser transportada en la red donde probablemente ocurrirá consumo de cloro.

Bajo las actuales formas de operación Cabecera, Morgan y Pailita no disponen de tanque de contacto de cloro. Lo cual limita la efectividad del desinfectante en las plantas. Aun encontrando concentraciones de cloro residual de norma en la salida de las plantas la falta de tiempo de contacto no garantiza la desinfección del agua,

Los riesgos para la salud relacionados con el agua de consumo más comunes y extendidos son las enfermedades infecciosas ocasionadas por agentes patógenos como bacterias, virus y parásitos (por ejemplo, protozoos y helmintos). La desinfección es el último proceso unitario de tratamiento del agua y tiene como objetivo garantizar la calidad de la misma desde el punto de vista microbiológico y asegurar que sea inocua para la salud del consumidor (Organización Panamericana De La Salud, 2002).

7.5.1. Clasificación de calidad según IRCA

De acuerdo a los resultados obtenidos en las jornadas de muestreo, se calculó el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA) por muestra utilizando la ecuación 1, y con esto se realizó la Clasificación del nivel de riesgo en la salud de acuerdo a la clasificación de calidad de la resolución 2115 del 2007.

El IRCA por muestra es con el cual las autoridades sanitarias adelantan las notificaciones a la entidad correspondiente, sin embargo para poder determinar si el agua es apta o no para consumo humano es necesario determinar el IRCA mensual.

La IRCA y su clasificación determinada para las muestras tomadas en las PTAPs del corregimiento el Hormiguero se presenta en la Tabla 30.

Tabla 30. Clasificación de calidad de las muestras de agua tratada en las PTAP's según el IRCA

Jornada de muestreo	Cabecera		Cascajal		Morgan		Pailita	
	IRCA (%)	Nivel de riesgo	IRCA (%)	Nivel de riesgo	IRCA (%)	Nivel de riesgo	IRCA (%)	Nivel de riesgo
1	2,7	bajo	2,7	bajo	64,1	alto	67,4	alto
2	1,1	bajo	19,0	medio	60,9	alto	52,2	alto
3	3,8	bajo	16,3	medio	76,1	alto	67,4	alto

Según los resultados obtenidos se sugiere la realización de un análisis más profundo con el cual se puede determinar el IRCA mensual, con el fin de determinar si el agua que está siendo suministradas por estas PTAPs es apta para el consumo humano, debido a que el IRCA de las muestras realizadas asigna un nivel de riesgo que podría ocasionar que estas aguas tratadas fueran categorizadas como no aptas para consumo humano, principalmente las de las PTAPs de Morgan y Pailita.

Si los resultados de los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos, contemplados en los artículos 5° y 8° de la resolución 2115 de 2007, exceden los valores máximos aceptables, al valor del IRCA se le asignará el puntaje máximo de 100 puntos independientemente de los otros resultados. Igualmente, se le asignará el valor de 100 puntos si hay presencia de Giardia y Cryptosporidium, teniendo en cuenta los plazos estipulados en el artículo 34° de esta Resolución.

El análisis del IRCA comprende los plaguicidas, otorgando el puntaje máximo (100 puntos) de encontrarse algún plaguicida que sobrepase los límites establecidos en el artículo 8 de la resolución 2115 de 2007, indiferente del resultado que hayan arrojado los otros parámetros, de acuerdo con esto, se pudo establecer que los plaguicidas analizados en este estudio, no representan un riesgo según el IRCA debido a que las concentraciones de los plaguicidas hallados en todas las muestras realizadas a las aguas crudas y tratadas, no sobrepasaron los límites permisibles.

7.6. ANALISIS DE PLAGUICIDAS

En el agua cruda de Cabecera y Morgan no se detectaron plaguicidas. Se halló presencia de plaguicidas en el agua tratada de las plantas de Cabecera, Cascajal y Pailita, encontrándose la presencia de Glifosato en el segundo muestreo realizado en Cascajal, su principal metabolito el AMPA se encontró en el muestreo 1 y 2 de Cabecera en la salida, en el muestreo 1 y 2 en la entrada de Cascajal y el muestreo 2 y 3 en la salida de esta planta, de igual forma en el muestreo 1 realizado en Pailita se encontró en la entrada, el herbicida 2,4D se encontró en el tercer muestreo realizado en Cascajal en la entrada de la planta.

Los plaguicidas Diuron, Carbofurano y Glufosinato estuvieron por debajo de los límites de detección para todas las muestras realizadas.

Realizando un análisis global de todos los muestreos realizados, no se encontró una coincidencia ni un patrón definido entre los resultados hallados. Cabe resaltar que el compuesto que más veces se detectó fue el AMPA el cual es un metabolito producto de la degradación del Glifosato, esto es congruente con lo reportado en la literatura la cual plantea que “se ha encontrado que el AMPA es

más persistente que el glifosato. Se han reportado vidas medias para este compuesto de entre 199 y 958 días (Bravo, 2007).”

Desde el punto de vista sanitario es relevante el hallazgo de plaguicidas debido a que estas aguas son utilizadas para el consumo humano de la población, ya que en las muestras que corresponden a los puntos de muestreo de agua cruda se obtuvo un valor máximo de 2,19 µg/L para el AMPA en el acueducto de Cascajal, de igual forma en el acueducto de Pailita con un valor de 0,8 µg/L. El AMPA es un indicador directo de la contaminación con Glifosato en las aguas subterráneas analizadas.

La presencia de estos contaminantes nos da indicios sobre posibles problemas en los sellos sanitarios de los pozos, lo que permite por medio de los procesos de lixiviación que plaguicidas lleguen hasta el agua. Reportes en la literatura afirman la baja movilidad del Glifosato, el AMPA y el 2,4D, lo que se puede corroborar con indicadores como el factor GUS, que mide el potencial para contaminación de aguas subterráneas de los plaguicidas.

El indicador GUS según (Pfeiffer, 2010) reporta al Glifosato con un potencial de lixiviación extremadamente bajo, el AMPA con un potencial muy bajo de lixiviación, mientras que el 2,4D tiene un potencial moderado de lixiviación, de esto se puede deducir que estos plaguicidas están llegando al agua en niveles poco profundos, dado que no tienen las características que les permitan alcanzar grandes profundidades en el suelo.

Otro factor que ayuda a reforzar esta hipótesis es la presencia de Coliformes totales y fecales en todas las muestras de agua cruda como se puede observar en la Tabla 26 de los análisis microbiológicos, lo cual no es común en las aguas subterráneas (SENA, 1999). La presencia de Coliformes fecales en estas aguas puede estar asociada a la crianza de animales en la zona o a la práctica de utilizar letrinas para la disposición de las heces fecales, en muchos casos estas letrinas no cuentan con las prácticas correctas de construcción ni operación, según lo dialogado con líderes de la comunidad.

Los agroquímicos se aplican a los cultivos y una gran fracción de los mismos puede terminar depositada en los suelos. Es, por lo tanto, a través de la precipitación y la subsecuente escorrentía superficial agrícola, que toda esta carga contaminante termina en los cauces de agua como contaminación de origen difuso.

Los resultados de los 3 Jornadas de muestreos realizados en los meses de Julio, Agosto y Septiembre, que se realizaron en las PTAPS de las vereda Pailita y Morgan, solo se obtuvo una muestra que estuvo por encima de los límites de detección para los plaguicidas analizados. Esta ausencia de resultados en el segundo periodo de muestreos puede estar relacionada con la época de sequía por la cual atravesó el país como consecuencia del Fenómeno de El Niño, en el cual no se presentaron lluvias por un periodo extenso y se presentaron altas temperaturas.

Como es bien conocido los procesos de escorrentía y lixiviación están estrechamente relacionados a las condiciones climáticas, la intensidad y frecuencia del aporte de agua, ya sea por lluvia o riego, afectan en gran medida al movimiento y distribución de los plaguicidas en el suelo. Las lluvias que ocurren después de la aplicación de un plaguicida (su intensidad, frecuencia, distribución y estacionalidad) tienen una gran influencia en la cantidad de plaguicida lavado, ya que la retención aumenta progresivamente con el tiempo de residencia (Alcalá, 2007).

Cuando los plaguicidas son aplicados en épocas de lluvias el riesgo de lavado y por lo tanto el riesgo de contaminación será mayor que si el plaguicida es aplicado durante épocas sin lluvias, ya que en este caso el plaguicida permanecerá más tiempo en el horizonte superficial donde su degradación se verá favorecida por las altas temperaturas estivales (Alcalá, 2007).

Uno de los factores a tener en cuenta es que no solo los plaguicidas pueden estar llegando por procesos de lixiviación al agua de la población, se debe considerar el riesgo al que están expuestas las PTAPS debido a que por su diseño en el cual las 4 cuentan con tanques elevados los cuales se utilizan para ganar una energía que sea utilizada en la distribución, en estos tanques en las plantas de Cabecera, Morgan y Pailita se encuentran los dispositivos de aireación que no cuentan con ningún tipo de protección que sirva como barrera para evitar la contaminación que se pueda presentar por la aplicación de plaguicidas por medio de fumigación aérea, práctica que es común entre los ingenios cañeros de la región, y además según información obtenida directamente de la comunidad y de los operadores de las plantas, es común observar las aeronaves livianas dedicadas a esta práctica.

Aunque en los muestreos realizados se encontró presencia de los plaguicidas ya mencionados, cabe resaltar que ninguno estuvo por encima de los límites permisibles para agua potable según la legislación colombiana. Al compararlo con la normatividad internacional de la unión europea que es la más estricta, no se podría llegar a una conclusión debido a que los límites permisibles están por debajo del límite de detección utilizados en este estudio, a excepción del Glufosinato que se tuvo un límite de detección de 0,07 µg/L, pero del cual no se encontraron muestras por encima de este límite.

8. CONCLUSIONES

- Se logró determinar que la calidad del agua de las fuentes de acuerdo con los muestreos efectuados, es: entre regular a deficiente para Cabecera y Morgan; regular para Cascajal; y de deficiente a muy deficiente para Pailita. Dentro de las principales causas que deterioran la calidad de las fuentes se encuentra la presencia de Coliformes y altos niveles de color y turbiedad.
- Se evaluó la calidad del agua tratada mediante el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA) por muestra. Se concluyó que el IRCA y el nivel de riesgo asociado del agua tratada en las PTAPs del corregimiento El Hormiguero, para resultados obtenidos de los muestreo realizados, es: para Cabecera entre 1,1 a 3,8% describiendo un nivel de riesgo bajo; Cascajal entre 2,7 a 16,3% describiendo un nivel de riesgo bajo a medio; Morgan entre 60,9 a 76,1% describiendo un nivel de riesgo alto; y Pailita entre 52,2 a 67,4% describiendo un nivel de riesgo alto.

Dentro de las principales causas que deterioran la calidad del agua tratada en Morgan y Pailita se encuentra la presencia de Coliformes totales, E.coli y la ausencia de cloro residual, mientras que en Cabecera y Cascajal es el hierro y el manganeso.

De acuerdo a los nivel de riesgo concluidos podría ser que estas aguas tratadas fueran categorizadas como no aptas para consumo humano, principalmente las de las PTAP's de Morgan y Pailita. Debido a que el IRCA determinado en este estudio es por muestra, se sugiere la realización de un análisis más profundo con el cual se puede determinar el IRCA mensual, con el fin de establecer si el agua que está siendo suministradas por estas PTAP's es apta para el consumo humano.

- Como resultado de la fase de muestreos detallada anteriormente, se halló presencia de plaguicidas en:
 - Ampa en el agua cruda de Cascajal y Pailita; y en el agua tratada de Cabecera y Cascajal
 - Glufosinato en el agua cruda de Cascajal
 - 2,4D en el agua cruda de Cascajal

Para el número de muestras realizadas no se puede determinar que las plantas estén contaminadas por plaguicidas; sin embargo, las prácticas agrícolas sí podrían estar influyendo en la calidad del agua que abastece la comunidad, por lo observado también en los niveles altos de nutrientes (Nitratos, Fosfatos y nitritos), por lo cual se sugiere un estudio específico encaminado a determinar con exactitud los grados de contaminación y como podría estar influyendo a nivel económico y de salud esta problemática.

- Según lo establecido por la normatividad colombiana que establece los límites de plaguicidas según su dosis letal 50 (DL50), **NO se presentaron niveles que sobrepasaran los límites permisibles**. Sería pertinente determinar si existe una exposición crónica que a largo plazo pueda

conllevar al deterioro de la salud de la comunidad implicada, dado que compuestos como el glifosato según la Agencia internacional para la investigación del cáncer, IARC por sus siglas en inglés, en la a la publicación del 20 de marzo del 2015 lo asigna al grupo (2A) que significa que es “probablemente cancerígeno para los humanos”, también encontramos el plaguicida 2,4-D que es utilizado en la caña de azúcar y es clasificado en el grupo 2B “posiblemente cancerígeno para los humanos” en la publicación de la IARC del 23 de junio del 2015.

De acuerdo con la normatividad europea se encontraron resultados que sobrepasan los valores permitidos de AMPA en aguas subterráneas.

9. RECOMENDACIONES

- Gestionar mecanismos de acción comunitaria, que en compañía de entidades gubernamentales reguladoras de salud y medio ambiente, velen por el control de las buenas prácticas agrícolas relacionadas con la aplicación optima de agroquímicos, así como el cumplimiento de la normatividades de fumigaciones terrestres y aéreas que son un factor importante en la prevención de contaminación por agroquímicos. Dentro de los fundamentos de la aplicación de plaguicidas el Decreto No. 1843 DE 1991, sobre uso y manejo de plaguicidas, reglamenta que La aplicación de plaguicidas en zonas rurales no podrá efectuarse a menos de 10 metros en forma terrestre y de 100 metros para la aérea como franja de seguridad, en relación a cuerpos o cursos de agua, carreteras troncales, núcleos de población humana y animal, o cualquiera otra área que requiera protección especial.
- Los sistemas de aireación en Morgan y Pailita han demostrado una buena remoción de hierro y manganeso, por lo cual la implementación de un sistema de aireación similar en cascajal, podría representar una mejora en la remoción de estos parámetros, además de ser un sistema de fácil mantenimiento y operación.
- Morgan y Pailita no disponen de manuales de operación de las PTAPs en el sitio, por lo que se recomienda la elaboración o gestión de copias que posiblemente existan, debido a que estos manuales son necesarios y podrían optimizar la operación y mantenimiento de las PTAPs. Por otra parte en ninguna de las PTAPs evaluadas se realiza registro y recolección datos de operación y mantenimiento, por tanto se recomienda también el uso de libretas en dónde se consigne las actividades realizadas de operación y mantenimiento facilitando estos aspectos.
- Establecer mecanismos de gestión comunitaria ante las entidades gubernamentales correspondientes, para la solicitud de recursos, apoyo técnico y capacitación de personal operativo. Con esto permitiendo la adquisición de equipos, adecuada operación y control, para un correcto y continuo funcionamiento de las PTAPs evitando que se presenten vulnerabilidades al sistema como por ejemplo: lo evidenciado con la falla de los equipos de cloración que ponen en riesgo la salud de la comunidad.

10. TEMAS PARA FUTUROS ESTUDIOS

- Determinar las causas de los niveles altos de nutrientes (Nitratos, Nitritos, Sulfatos) con relación a los rangos característicos de los parámetros fisicoquímicos de los acuíferos del valle del cauca establecidos por la CVC
- Establecer con certeza el grado de contaminación y sus causas en los pozos del corregimiento el Hormiguero por agentes microbiológicos.
- Extender el monitoreo de los plaguicidas para confirmar los resultados preliminares obtenidos en el corregimiento el Hormiguero y las posibles afecciones agudas y crónicas en la salud humana.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo, M. A. (2011). Implementación de una metodología para la determinación de glifosato en muestras de agua. Universidad Industrial de Santander (UIS).
- Alcalá, M. C.-G. (2007). La contaminación de suelos y aguas: su prevención con nuevas sustancias naturales. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- (APHA) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd ed. (2012). American public health association, American water works association and water pollution control federation.
- Arana Rengifo, V. A. (2007). Análisis de riesgo de contaminación por lixiviación de plaguicidas de los acuíferos de la zona plana del Valle del Río Cauca. Caso de estudio: municipio el Cerrito, Palmira y Candelaria. Cali, Colombia, Valle del Cauca: Universidad del valle.
- Arcila, J., & Villegas, F. (1995). CENICAÑA, El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia.
- Arcila, J., & Villegas, F. (1995 b). Uso de madurantes, pag: 315- 335, El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali: CENICAÑA .
- Asocaña. (2015). Aspectos generales del sector azucarero. Santiago de Cali.
- Asocaña. (2016). Aspectos generales del sector azucarero colombiano. Santiago de Cali.
- Bravo, E. (2007). Impactos del Glifosato en el medio ambiente, Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas de América Latina.
- Campos, J. A. (2014). Lixiviación en columna de suelo de los herbicidas metilsulfurón metilo y 2,4-d en suelos arroceros de los municipios de Espinal y Prado (Tolima), Universidad Nacional De Colombia.
- Cartagena, C. J., Aguirre, A. L., Pérez, D. E., & Mesa, G. A. (2011). Degradación fotolítica del carbofurano en aguas del río Rionegro y en agua ultrapura bajo diferentes condiciones de pH, Revista Producción + Limpia, páginas 39 - 50.
- Castillo, Y. (2006). Evaluación de los sistemas de abasto de agua del corregimiento El Hormiguero. Santiago de Cali: Univalle .
- Cuenca, A., & Maya, K. (2012). Evaluación de sostenibilidad de plantas prefabricadas para potabilización de agua subterránea: Caso corregimiento de El Hormiguero . Santiago de Cali: Univalle .
- CVC. (1999). Plan de manejo de aguas subterráneas, CVC, Autoridad ambiental.
- CVC. (1999 b). Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas en valle del Cauca.

CVC. (2007). La calidad del agua subterránea Valle del Cauca - Colombia Hasta el año 2006. Santiago de Cali.

CVC. (2010). Las Aguas Subterráneas, Importancia y Perspectivas en el Valle del Cauca-Colombia, Gloria Isabel Páez O.

CVC. (2011). Riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por actividades agrícolas valle del cauca, Gloria isabel páez o., Grupo recursos hídricos.

CYTED. (2004). Remoción de hierro y manganeso en fuentes de agua subterránea para abastecimiento público.

EPA. (2000). Estándares del Reglamento Nacional Primario de Agua Potable

EPA. (2014). A El agua potable. Obtenido de : <http://www.epa.gov/espanol/saludhispana/agua-potable.html>

EPA. (19 de Abril de 2016). Table of Regulated Drinking Water Contaminants. Obtenido de <https://www.epa.gov/your-drinking-water/table-regulated-drinking-water-contaminants>

Escobar G. J.H (2008) Evaluación de la oxidación química en flujo confinado para el tratamiento de aguas subterráneas: caso corregimiento el hormiguero. Tesis Pregrado. Programa de Ingeniería Sanitaria Universidad del Valle

Fernández, A. M., & Jiménez, M. R. (2012). Toxicología alimentaria. Ediciones Díaz de Santos.

Gonzales, F. (2011). Contaminación por fertilizantes: "Un serio problema ambiental". Lima- Peru: Medio ambiente y desarrollo sostenible.

Hameed, B., Salman, J., & AL, A. (2009). Adsorption isotherm and kinetic modeling of 2,4-D pesticide on activated carbon derived from date stones. Journal of Hazardous Materials, 121–126.

Han, Y., Song, L., Zhao, P., Li, Y., Zou, N., Qin, Y., . . . Pan, C. (2016). Residue determination of glufosinate in plant origin foods using modified Quick Polar Pesticides (QuPPE) method and liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry. Food Chemistry, 730–736.

Hurtado, D. (2015). Sistema de Potabilización de agua y riesgos sanitarios por contaminación asociada a actividades agrícolas en el corregimientos del Hormiguero. Santiago de Cali: Universidad del valle.

Instituto Nacional de la Salud. (2011). Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio. Bogotá D.C.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1983). NTP 143: Pesticidas: clasificación y riesgos principales, Centro de investigación y asistencia técnica - barcelona

- Jaiswal, S. K., Siddiqi, N. J., & Sharma., B. (2016). Studies on the ameliorative effect of curcumin on carbofuran induced perturbations in the activity of lactate dehydrogenase in wistar rats. *Saudi Journal of Biological Sciences*.
- Jiménez, A. A. (2000). Determinación De Los Parámetros Fisico-Químicos De Calidad De. *Gestión Ambiental* vol. 2, 12-19.
- Li, S., Yin, G., X. W., Liu, C., & Luo, J. (2016). Supramolecular imprinted sensor for carbofuran detection based on a functionalized multiwalled carbon nanotube-supported Pd-Ir composite and methylene blue as catalyst. *Electrochimica Acta*, 294–300.
- Losada, C. R. (2004). Desenvolupament de mètodes de preconcentració emprant membranes líquides suportades i extracció en fase sòlida per a la determinació de l'herbicida glifosat i el seu metabòlit ampa en aigües naturals
- Loaiza A. (2009). Remoción de hierro y manganeso en aguas subterráneas mediante doble filtración con flujo a presión. Caso el Hormiguero. Santiago de Cali /df: Universidad del Valle.
- Pires, N. (2015). Expansão da fronteira agrícola e presença de Glifosato e Ampa em amostras de água da região de Santarém (PA): Desafios analíticos para o monitoramento ambiental. Brasília/df: Universidade de Brasília .
- Pfeiffer, M. (2010). Pesticide Training Resources.
- Mansano, A. S., Moreira, R. A., Pierozzi, M., Oliveira, T. M., Vieira, E. M., Rocha, O., & Regali-Seleguima, M. H. (2016). Effects of diuron and carbofuran pesticides in their pure and commercial forms on *Paramecium caudatum*: The use of protozoan in ecotoxicology. *Environmental Pollution*, 160–172.
- Marin, L. (2011). Remoción de hierro y manganeso por oxidación con cloro y filtración en grava. Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- Marschoff, C. M. (2012). La contaminación. *Petrotecnica*, 66-69.
- Martel, A. B. (2004). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua, Organización Panamericana de la Salud. Obtenido de Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente de España. (2016). Diuron, <http://www.prtr-es.es/Diuron,15624,11,2007.html>
- Mogusu, E. O. (2015). Compound specific isotopic analysis to investigate sources and degradation of glyphosate Universität Tübingen.
- North Carolina Public Health. (2009). Hoja informativa sobre las bacterias coliformes en los pozos de agua privada. Carolina EEUU.
- OIA. (2006). Azúcar y desarrollo económico. Londres: Market evaluation consumption.

- Organizacion de las Naciones Unidas (ONU). (2016). Calidad del agua. Obtenido de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (1992). Consecuencias sanitarias del empleo de plaguicidas en la agricultura. Ginebra, Suiza.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2000). The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard, Geneva.
- Organización Mundial de la Salud. (2006). Guías para la calidad del agua potable Sede Web. Obtenido de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_7_fig.pdf
- Organizacion Panamericana De La Salud. (2002). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. Colombia .
- Organizacion Panamericana De La Salud. (2009). <http://www.paho.org/>. En Herramienta de capacitacion para el manejo responsable de plaguicidas y envases (págs. 245-247).
- Pesticide Action Network UK. (1998). Glufosinate ammonium fact sheet. Pesticides News No.42, 20-21.
- Pesticide Action Network UK. (2005). Pesticides News No 67. Pesticides News , 20-21.
- Pfeiffer, M. (2010). Groundwater ubiquity score, Pesticide Training Resources.
- Pubchem. (9 de Abril de 2016). Glufosinato. Obtenido de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/glufosinate#section=Top>
- RAP-AL. (2007). 2,4-D Razones para su prohibicion mundial, Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas en América Latina (RAP-AL).
- RAP-AL. (2008).Carbofurano, Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina . Obtenido de http://www.rap-al.org/articulos_files/Carbofurano_Enlace_83.pdf
- RAS. (2010). Titulo B - Sistemas de acueducto. Bogota D.C.: Ministerio de desarrollo económico.
- Reemtsma, T., Alder, L., & Banasiak, U. (2013). Emerging pesticide metabolites in groundwater. Science Direct.
- Rios Rojas , L., & Velez Otalvaro, M. (2008). Vulnerabilidad a la contaminacion de la zona sur acuífero valle del cauca . medellin: universidad nacional de colombia .
- Ruiz, N. E., Escobar, Y. C., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. Ingeniería e Investigación, 172-181.
- Ruíz-Hidalgo, K., Masís-Mora, M., Barbieri, E., Carazo-Rojas, E., & Rodríguez-Rodríguez, C. E. (2016). Ecotoxicological analysis during the removal of carbofuran in fungal bioaugmented matrices. Chemosphere, 864–871.

Salamanca , E. (2010). Analisis de una planta de potabilizacion, Caso: Corregimiento El Hormiguero - Santiago de Cali . Santiago de Cali : Univalle .

Secretaria de Salud Municipal de Cali. (2014). Objetivos y funciones de la Secretaria de Salud Publica Municipal de Cali. Cali, Colombia.

SENA. (1999). Operación y mantenimiento de pozos profundos para acueductos. Bogota D.C.

Sommerrfeld, Elmer O. (1999) "Iron and Manganese Removal Handbook", American Water Works Association.

Urrea, M. (2004). Propuesta tecnica para el seguimiento comunitario de la prestacion del servicio de abastecimiento de agua en la comunidad del Hormiguero. Santiago de Cali: Universidad del Valle.

U.S. National Library of Medicine. (2016). TOXNET Toxicology Data Network. Obtenido de <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/r?dbs+hsdb:@term+@rn+330-54-1>

Watts, M. (Octubre de 2008). Pesticide Action Network Asia and the Pacific (PAN AP). Obtenido de <http://www.pananz.net/wp-content/uploads/2013/04/Glufosinate-monograph-12-Dec-2008.pdf>

Weimer, N. M. (2010). La controversia del Carbofurano, Universidad de Belgrano. Obtenido de http://www.ub.edu.ar/revistas_digitales/Ciencias/Vol12Numero5/Articulo-V12-5-1.pdf

World Health Organization . (2005). Glyphosate and AMPA in drinking-water, World Health Organization.

12.ANEXOS

ANEXO 1: Datos históricos de calidad de agua.

- Recopilación de calidad de agua tratada histórica PTAP Cabecera tomadas en diferentes puntos de la red de suministro.

Fecha de muestra:	14/03/06	04/10/06	12/03/07	08/05/07	10/09/07	01/12/10	12/09/11	12/11/13	24/09/14
Lugar de toma de muestra	Restaurante bosque	Casa 392	Escuela Antonio V.	Cocina escolar asunción	Centro social edu.	Puesto salud	Puesto salud	Casa 244	No registra
Ph (unidades)	6,3	7,31	7,37	7,37	7,52	7,31	7,17	7,38	7,67
Color (UPC)	5	12,2	11,6	15,6	15,7	13,6	14	11,6	8,6
Turbiedad (unt)	0,5	1,4	1,08	3,36	3,89	7,8	2,69	1,62	1,38
Alcalinidad (mg/l)	60,3	201,7	189	199	188,8	189,1	186,4	197	119,8
Dureza total mg/l	79,6	106,2	109,6	108,2	108,2	114,4	104	101,8	108
Cloruros (mg/l)	17,73	25,89	31,57	26,99	26,24	23,41	14,9	15,4	-
Magnesio (mg/l)	40,6	49,2	52	20,2	-	-	19,7	11,21	11,85
Cloro residual (mg/l)	0,91	0,36	0,18	0,1	0,11	1,3	0,59	0,53	2,11
Sólidos totales (mg/l)	122	262	258	261	266	254	260	276	182
Hierro (mg/l)	0	-	1	-	0,66	0,405	0,18	0,48	-
Calcio (mg/l)	39	57	57,6	88	-	-	29	22,26	23,7
Acidez (mg/l)	39	10	4,5	8,51	6	9	8	16	8
Conductividad (micromhos/cm)	185	398	394	398	404	388	394	416	360,2
Sustancias flotantes	ausente	ausente	presente	ausente	presente	ausente	presente	ausente	ausente
Dureza cálcica (mg/l caco3)	-	-	-	-	100,6	65,6	55,6	55,6	59,2
Dureza magnésica (mg/l Mgco3)	-	-	-	-	7,6	48,8	48,4	46,2	48,8
Nitratos NO3 (mg/l)	-	-	-	-	-	1,39	-	-	-
Nitritos NO2 (mg/l)	-	-	-	-	-	0	0	0,04	0,04
Fosfatos PO4 (mg/l)	-	-	-	-	-	2,06	0,54	0,53	-
Aluminio 3+ (mg/l)	-	-	-	-	-	-	0,044	0,07	-
Manganeso (mg/l Mn)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25
Coliformes totales (ufc/100 ml)	0	0	0	160	130	0	0	0	0
Coliformes fecales (ufc/100ml)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recuento de mesofilos (ufc/100ml)	-	-	-	300	-	-	-	-	-

- Recopilación de calidad de agua histórica PTAP Cascajal tomadas en diferentes puntos de la red de suministro.

Fecha de muestra:	22/11/12	29/01/13	08/04/13	09/07/13	02/09/13	19/11/13	17/01/14	28/05/14	18/11/14
Lugar de toma de muestra	Salida planta	Salida planta	Salida planta	Salida planta	Salida planta	Sin dato	Salida planta	Puesto de salud	Punto concreto do #3
Ph (unidades)	8	8	7,8	7,15	7,13	7,19	7,5	7,4	7,44
Color (UPC)	4,2	2,3	1,9	2,28	10,2	9,7	109	0,9	18
Turbiedad (unt)	0,9	1,4	2,7	0,22	2,6	0,35	4	0,23	2,8
Alcalinidad (mg caco3/l)	171	169	169	181,23	185,3	188	93	183,5	186
Dureza total (mg caco3/l)	143	141	144	167,28	165,6	158,4	156	159,2	165
Cloruros (mg/l)	5	6,4	6,6	1,8	1,3	2	4,6	-	-
Magnesio (mg/l)	-	-	20,44	16,73	8,26	17,43	-	17,24	19,91
Cloro residual (mg/l)	<0,1	1,9	1,5	0,46	0,64	0,49	1,8	2	0,71
Sólidos totales (mg/l)	-	-	-	225	227	227	-	228	232
Hierro (mg/l)	0,2	0,04	<0,04	0	0,55	0,83	0,35	-	-
Calcio (mg/l)	-	-	-	27	34,04	34,68	-	35,32	33,23
Acidez (mg/l)	-	-	-	28	7,5	18	-	9,5	6
Conductividad (micromhos/cm)	279	279	338	268,2	347	346	291	334	378
Sustancias flotantes	-	-	-	Ausente	Ausente	Ausente	-	Ausente	Ausente
Dureza cálcica (mg/l caco3)	-	-	-	82,4	85	86,6	-	88,2	83
Dureza magnésica (mg/l Mgco3)	-	-	-	84,88	80,6	71,8	-	71	82
Nitratos NO3 (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitritos NO2 (mg/l)	0,02	<0,01	<0,01	0	-	0,02	<0,01	0	0
Fosfatos PO4 (mg/l)	0,5	0,4	0,4	0,04	0,6	0,5	0,65	-	0,6
Aluminio 3+ (mg/l)	-	-	-	0	0	0	-	-	-
Manganeso (mg/l Mn)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,34
Sulfatos	<1	<5	11	-	0	-	<10	-	-
Coliformes totales (ufc/100 ml)	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Coliformes fecales (ufc/100ml)	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Recuento de mesofilos (ufc/100ml)	110	0	0	126	124	95	0	0	0

- Recopilación de calidad de agua histórica PTAP Pailita tomadas en diferentes puntos de la red de suministro.

Fecha de muestra:	19/07/14	20/05/15	18/08/15	15/09/15	20/10/15
Lugar de toma de muestra	Salida PTAP	Sin dato	Sin dato	Punto Concertado #2	Grifo lavadero
Ph (unidades)	7,7	7,47	7,36	7,44	7,5
Color (UPC)	89	19,5	23	12,4	22,5
Turbiedad (UNT)	2,7	0,42	0,63	1,03	0,45
Alcalinidad (mg/l)	192	217,3	223,7	216	238,1
Dureza total mg/l	118	135,2	154,2	144,6	167,4
Cloruros (mg/l)	19	16,7	18,83	13,9	28
Magnesio (mg/l)	-	18,21	19,13	18,3	22,82
Cloro residual (mg/l)	<0,03	0,04	0,83	0,28	0,02
Sólidos totales (mg/l)	--	307	311	306	324
Hierro (mg/l)	0,4	-	0,25	0,33	0,11
Calcio (mg/l)	-	24,1	30,19	27,3	29,39
Acidez (mg/l)	-	9	8	12	9
Conductividad (micromhos/cm)	379	446,5	458,5	933,1	462,1
Sustancias flotantes	-	Ausente	Ausente	Ausentes	Ausente
Dureza cálcica (mg/l CaCO_3)	-	60,2	75,4	68,2	73,4
Dureza magnésica (mg/l MgCO_3)	-	75	78,8	76,4	94
Nitratos NO_3 (mg/l)	-	-	-	0	-
Nitritos NO_2 (mg/l)	-	0,02	0,01	0	0
Fosfatos PO_4 (mg/l)	7	6,4	7,7	8,1	7,4
Aluminio Al^{3+} (mg/l)	-	-	-	0	-
Manganeso (mg/l Mn)	-	-	19,13	-	-
Coliformes totales (ufc/100 ml)	-	>300	-	32	20
Coliformes fecales (ufc/100ml)	-	>300	-	30	10
Recuento de mesófilos (ufc/100ml)	-	-	-	340	-

ANEXO 2: Evidencia de Toma de muestras.



Figura 14 Recolección de muestras



Figura 15 Recolección de muestras de Glifosato.